



**ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ & ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ  
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ**

## **ΤΕΛΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΥΚΙΩΝ - ΑΡΤΑΣ**

**Από  
Γ. ΒΡΕΛΛΗ, Π. ΒΕΚΙΟ, Θ. ΕΥΘΥΜΙΟΠΟΥΛΟ & Ε. ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ**



**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ» Γ΄ ΚΠΣ  
ΕΡΓΟ: ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ, ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ, ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ &  
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ  
(ΚΩΔ. ΕΡΓΟΥ 7.3.1.4)  
ΥΠΟΕΡΓΟ 7.3.1.4.13**

**ΑΘΗΝΑ, Σεπτέμβριος 2007**

## **ΤΕΛΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΑΡΤΑΣ**

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>3</b>
<b>ΣΥΝΟΨΗ</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>5</b>
1.1. Σκοπός του Έργου .....	7
1.2. Ερευνητικές εργασίες .....	7
<b>2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ – ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ</b> .....	<b>9</b>
2.1. Γεωθερμικό πεδίο και πώς δημιουργείται .....	13
2.2. Γεωθερμία στην Ήπειρο .....	14
<b>3. ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΠΕΙΡΟΥ</b> .....	<b>15</b>
3.1. Στοιχεία Γεωτεκτονικής .....	15
3.2. Στοιχεία Γενικής Γεωλογίας .....	18
3.2.1. <i>Λιθολογική Στήλη</i> .....	18
3.2.2. <i>Πετρολογία - Υδρολογικά Χαρακτηριστικά</i> .....	19
<b>4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ</b> .....	<b>25</b>
4.1. Εργασίες που πραγματοποιήθηκαν .....	25
4.2. Αποτελέσματα της Έρευνας.....	29
4.2.1. <i>Γεωλογία και Στοιχεία Τεκτονικής της Περιοχής Έρευνας</i> .....	29
4.2.2. <i>Γεωφυσική Διασκόπηση</i> .....	33
4.2.3. <i>Γεωθερμικά Στοιχεία της Περιοχής Έρευνας</i> .....	35
4.2.4. <i>Γεωχημική Έρευνα</i> .....	36
4.2.5. <i>Παρουσίαση Αποτελεσμάτων</i> .....	38
4.2.6. <i>Ερευνητικές Γεωτρήσεις</i> .....	45
<b>5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΥΚΙΩΝ ΑΡΤΑΣ</b> <b>49</b>	
5.1. Εκτιμώμενη Λειτουργία Γεωθερμικού Πεδίου .....	49
5.2. Σύνοψη Γεωλογικών – Γεωθερμικών παρατηρήσεων .....	52
<b>6. ΤΕΧΝΙΚΑ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b> .....	<b>53</b>
6.1. Γεώτρηση Λουτροτόπου ΓΛ-1 .....	54
6.2. Γεώτρηση Ανέζας ΓΑ-1 .....	55
6.3. Γεώτρηση Συκιών ΓΣΠ-2 .....	56
<b>7. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΓΣΠ-2</b> .....	<b>57</b>
7.1. Επεξεργασία Στοιχείων - Αξιολόγηση Δεδομένων .....	57
7.2. Διαγραφίες στις γεωτρήσεις (Logging) .....	66
<b>8. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ –ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b> .....	<b>67</b>
8.1. Τεχνικό Πλαίσιο Εκμετάλλευσης Γεωθερμικού Πεδίου .....	67
8.1.1. <i>Χημισμός ρευστών</i> .....	68
8.1.2. <i>Αντιμετώπιση Προβλημάτων</i> .....	68
<b>9. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ</b> .....	<b>69</b>
9.1. Στάδια εργασιών προσομοίωσης .....	69
9.2. Θεωρία Προσομοίωση Γεωθερμικών πεδίων .....	70

9.3.	Μαθηματικό Μοντέλο λειτουργίας – Γενικές αρχές.....	70
9.4.	Παράμετροι του μοντέλου.....	71
9.5.	Ρύθμιση του μοντέλου - Προγνώσεις .....	72
9.6.	Το λογισμικό SHEMAT & PROCESSING SHEMAT (PS).....	73
9.7.	Μεθοδολογία προσομοίωσης .....	73
9.8.	Ψηφιοποίηση - Εισαγωγή και Επεξεργασία στοιχείων .....	75
9.8.1.	Τοπογραφικός και γεωλογικός χάρτης, γεωλογικές τομές.....	75
9.8.2.	Γεωτρήσεις – Θερμομετρήσεις σε εμφανίσεις ύδατος.....	76
9.9.	Γεωμετρικό μοντέλο.....	76
9.9.1.	Μοντέλο ιδιοτήτων .....	78
9.9.2.	Χαρακτηριστικά του μοντέλου .....	78
9.10.	Γεωστατιστική εκτίμηση της κατανομής θερμοκρασιών στο υπέδαφος..	79
9.11.	Οριστικό μοντέλο Συκιών Άρτας.....	85
9.11.1.	Μεθοδολογία.....	85
9.11.2.	Επιλογή των διαστάσεων και της θέσης του μοντέλου .....	86
9.11.3.	Επιλογή της ανάλυσης του κανάβου πεπερασμένων διαφορών.....	88
9.11.4.	Γεωμετρίας γεωλογικών σχηματισμών στο χώρο του μοντέλου.....	88
9.11.5.	Αρχικές τιμές υδραυλικών και θερμικών παραμέτρων (οριακές συνθήκες, αρχική στάθμη, θερμοκρασία, πορώδες, περατότητα).....	89
9.12.	Προσομοίωση των δοκιμαστικών αντλήσεων και επαναπροσδιορισμός των υδραυλικών παραμέτρων.....	90
9.13.	Εφαρμογή μακροχρόνιου σεναρίου εκμετάλλευσης .....	91
9.14.	Συμπεράσματα – Σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	92
<b>10.</b>	<b>ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....</b>	<b>95</b>
10.1.	Προοπτικές εντοπισμού και άλλων γεωθερμικών πεδίων στην ευρύτερη περιοχή .....	97
<b>11.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>98</b>
<b>12.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>103</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:</b>	<b>Γενική Περιγραφή Γεωτρήσεων .....</b>	<b>105</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2:</b>	<b>Διαγραφίες Γεωτρήσεων ΓΛ-1, ΓΑ-1 Και ΣΠ-2 .....</b>	<b>119</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3:</b>	<b>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ (εκτός κειμένου)</b>	



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια μέσω των ερευνητικών προγραμμάτων Γ' Κ.Π.Σ. συνεχίσθηκε η ερευνητική προσπάθεια για την επέκταση, την περιχάραξη και τη γνώση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του γεωθερμικού πεδίου Συκιών Άρτας. Από την έρευνα που έγινε μέχρι σήμερα διαπιστώθηκε η επέκταση του πεδίου προς τα Δυτικά και η αύξηση των βεβαιωμένων αποθεμάτων του. Ο φορέας υλοποίησης του έργου ήταν η Διεύθυνση Γεωθερμίας και Θερμομεταλλικών υδάτων, με Διευθυντή τον κ. Γ Χατζηγιάννη.

**Η επιστημονική ομάδα του έργου λειτούργησε με προϊστάμενο τον μηχανικό Μεταλλείων Γρηγόρη Βρέλλη, συνεπικουρούμενο από τους γεωλόγους, Δρ. Παύλο Βέκιο και Θωμά Ευθυμιόπουλο με εργοδηγό το Νίκο Κωλέτση.**

Σε όλη τη διάρκεια του έργου εποικοδομητική υπήρξε η συνεργασία με τον γεωλόγο Ευάγγελο Σπυριδωνος στον οποίο είχε ανατεθεί η εκτέλεση εργασιών προσομοίωσης.

Θετική υπήρξε επίσης η συνεργασία με την περιφερειακή μονάδα Ι.Γ.Μ.Ε. Ηπείρου και ιδιαίτερα με τον γεωλόγο Διονύση Παπανίκο, ο οποίος υπήρξε μέλος της επιστημονικής ομάδας στο αρχικό στάδιο του έργου. Σημαντική ήταν η συνεργασία μας με τον γεωφυσικό Γεράσιμο Λαχανά της Διεύθυνσης Γεωφυσικής.

Καθοριστική ήταν η βοήθεια από την Διεύθυνση αναλυτικών εργαστηρίων (ΔΑ.ΝΕ) και κυρίως της Χημικού Μηχανικού κ. Ελένης Γκιντώνη για τις χημικές αναλύσεις, καθώς επίσης και του γεωλόγου Θόδωρου Καβουρίδη στην γεωχημική επεξεργασία των αναλύσεων. Ο μηχανικός μεταλλείων κ. Γιώργος Τσουκαλάς της ΔΕ.ΚΕ βοήθησε σημαντικά στην εκτέλεση των γεωτρήσεων.

Από τα έργα υποδομής που υπήρχαν, ιδιαίτερα σημαντική βοήθεια πρόσφερε η μελέτη του γεωθερμικού πεδίου που έγινε στα πλαίσια του Β'Κ.Π.Σ από τους Γ. Τραγανό, Κ. Σημιαίκη, Γρ. Βρέλλη, Θ Παπασπύρου, Θ. Ευθυμιόπουλου και Κ. Μπίμπου.

Αναφέρονται επίσης οι γεωλογικοί χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. φύλλο Άρτα και φύλλο Πέτα που έχουν συνταχθεί από την Διεύθυνση χαρτογραφήσεων του Ι.Γ.Μ.Ε..

## ΣΥΝΟΨΗ

Σε αυτή την μελέτη παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας που έγινε στην περιοχή Συκιών Άρτας για την επέκταση, την περιχάραξη και την γνώση του δυναμικού του γεωθερμικού πεδίου.

Γίνεται περιγραφή της γεωλογικής δομής της περιοχής καθώς και της τεκτονικής διατάραξης των πετρωμάτων.

Παράλληλα μέσω εργασιών επιφάνειας (γεωθερμικές μετρήσεις, δειγματοληψίες, χημικές αναλύσεις ) επιχειρείται η πρόβλεψη επέκτασης του πεδίου και με τις γεωφυσικές μετρήσεις ο προσδιορισμός του βάθους του γεωθερμικού ταμιευτήρα. Επίσης μέσω των ερευνητικών γεωτρήσεων επιχειρείται η επιβεβαίωση επέκτασης του γεωθερμικού ταμιευτήρα και σε πρώτη φάση η εκτίμηση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών του.

Με την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της επιφανειακής και σε βάθος έρευνας επιχειρείται η κατανόηση της λειτουργίας και των χαρακτηριστικών του πεδίου.

## ABSTRACT

This report presents the results of the research on the Sykies – Arta region, aiming at the delineation and geothermal potential estimation of the geothermal field, as well as the possible expansion of it.

The geological structure of the region and the tectonic distortion of the formations are described.

The prediction of possible field expansion is based on field work (geothermal measurements, sampling, chemical analyses), while the estimation of the depth of the geothermal reservoir is based on the geophysical survey.

Research drill holes were constructed to confirm the expanded field and to estimate the quantitative and qualitative characteristics of the geothermal reservoir.

By interpreting the results of the field and drilling research, the understanding of the geothermal field function and its characteristics is attempted.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι σχετικές γεωλογικές έρευνες που έχει εκτελέσει το Ι.Γ.Μ.Ε. από τη δεκαετία του 1980 για τον εντοπισμό γεωθερμικών κοιτασμάτων έδειξαν ότι η χώρα μας εμφανίζεται ιδιαίτερα ευνοημένη στον τομέα της γεωθερμικής ενέργειας. Το ενεργειακό γεωθερμικό δυναμικό που έχει εντοπιστεί ανέρχεται σε αρκετές χιλιάδες Τόνους Ισοδυνάμου Πετρελαίου (Τ.Ι.Π.) το χρόνο. Έχουν εντοπιστεί πεδία υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας, μερικά των οποίων, κυρίως τα δεύτερα και ιδιαίτερα στη Βόρειο Ελλάδα έχουν ήδη τύχει κάποιας εκμετάλλευσης. Η αξιοποίηση της ενεργειακής αυτής πηγής μπορεί να έχει σε τοπικό επίπεδο σημαντικά θετικά αποτελέσματα στην κάλυψη ενεργειακών παραγωγικών μονάδων ως προς τα συμβατικά καύσιμα, στην ανάπτυξη νέων παραγωγικών δραστηριοτήτων, στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, στην άνοδο του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων της περιοχής, στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και στη μείωση της εξάρτησης από υγρά καύσιμα.

Οι συνθήκες εκμετάλλευσης των ρευστών χαμηλής ενθαλπίας (25 – 100 °C) στον Ελλαδικό χώρο είναι ευνοϊκές γιατί αυτά βρίσκονται σε μικρά σχετικά βάθη (80 – 600 m) και είναι κατάλληλα για ένα μεγάλο αριθμό χρήσεων με εφαρμογές στη γεωργία, στον οικιακό τομέα, σε ιαματικές χρήσεις, στην ιχθυοκαλλιέργεια, στην ξήρανση βιομηχανικών και γεωργικών προϊόντων, στη θέρμανση τουριστικών εγκαταστάσεων κ.ά.

Η γεωλογική δομή και η τεκτονική της Ηπείρου, καθώς και οι γεωθερμικές εκδηλώσεις υπό μορφή πηγών και γεωτρήσεων, κίνησαν το ενδιαφέρον στη Διεύθυνση Ενεργειακών πρώτων Υλών (Δ.Ε.Π.Υ.) του Ι.Γ.Μ.Ε. ήδη από το 1993 να προτείνει την ένταξη ενός ερευνητικού έργου στα Περιφερειακά Προγράμματα της Περιφέρειας Ηπείρου με τον τίτλο «Έρευνα και εντοπισμός γεωθερμικών πηγών ενέργειας Ηπείρου» μέσω του οποίου έγινε και ο πρώτος εντοπισμός και καταγραφή των γεωθερμικών πεδίων Καβασίων Κονίτσης και Συκιών Άρτας.

Στη συνέχεια, και λόγω των ιδιαίτερα ενθαρρυντικών αποτελεσμάτων της προηγούμενης έρευνας, κρίθηκε σκόπιμη η συνέχιση της έρευνας στην περιοχή του κάμπου της Άρτας, με την ένταξή της στα γενικά ερευνητικά προγράμματα του Γ' Κ.Π.Σ., Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα με τίτλο του έργου «Μελέτη καταγραφής, αποτίμησης, προσομοίωσης και αξιολόγησης των γεωθερμικών πεδίων της χώρας» και ιδιαίτερα για την Ήπειρο σαν υποέργο «Έρευνα και εντοπισμός γεωθερμικών πεδίων περιοχής Συκιών Άρτας» (Εικόνα 1).



**Εικόνα 1:** Γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης.

## **1.1. Σκοπός του Έργου**

Το έργο που παρουσιάζεται εδώ είχε στόχο την αποτίμηση, μελέτη και επέκταση του γεωθερμικού πεδίου Συκιών Άρτας, ώστε να επέλθει αύξηση των καταγεγραμμένων αποθεμάτων γεωθερμικής ενέργειας του για αξιοποίησή τους σε διάφορες χρήσεις.

## **1.2. Ερευνητικές εργασίες**

Οι ερευνητικές εργασίες κάλυψαν την ευρύτερη ιζηματογενή λεκάνη του ποταμού Αράχθου όπου έχει εντοπισθεί το Γ/Θ πεδίο Συκιών και υπάρχουν οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την αξιοποίησή τους σε πολλές εξειδικευμένες χρήσεις (π.χ. γεωργικές χρήσεις, ιχθυοκαλλιέργειες, θέρμανση οικισμών, κ.ά.).

Στην περιοχή αυτή εφαρμόστηκαν ιεραρχημένα και καθιερωμένα στάδια και φάσεις έρευνας και μελέτης των γεωθερμικών πεδίων με τη χρήση όλων των σύγχρονων, διαθέσιμων τεχνολογιών αναζήτησης γεωθερμικών πηγών ενέργειας.

Ο προγραμματισμός των εργασιών ήταν αποτέλεσμα της υπερεικοσαετούς εμπειρίας και συσσωρευμένης γνώσης επί των γεωθερμικών πεδίων:

- Γεωλογική ανάλυση και μελέτη ευνοϊκών παραμέτρων για την πιθανή ανάπτυξη γεωθερμικών πηγών ενέργειας.
- Συστηματική μέτρηση και καταγραφή όλων των σημείων με εκδηλώσεις θερμών φαινομένων υπό κάθε μορφή (νερών, αερίων κ.ά.). Σύνταξη των αντίστοιχων χαρτών υπεδαφικών θερμοκρασιών.
- Γεωλογική αποτύπωση σε κατάλληλες κλίμακες των κατάλληλων σχηματισμών.
- Τεκτονική ανάλυση και συσχέτιση με θερμές εκδηλώσεις για τη διασαφήνιση των παραγόντων ελέγχου των γεωθερμικών ρευστών.
- Γεωφυσικές διασκοπήσεις για τον εντοπισμό ευνοϊκών γεωθερμικών δομών και εντοπισμό των υδροφορέων.

- Γεωτρήσεις έρευνας.
- Διαγραφίες εντός των γεωτρήσεων για την καταγραφή φυσικών παραμέτρων των ρευστών και των πετρωμάτων (θερμοκρασία, λιθολογία, στάθμη υδροφόρου, πορώδες).
- Διάνοιξη ερευνητικών γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου για τη μέτρηση παροχής, θερμοκρασίας νερού, περιεκτικότητας αερίων κ.ά μετρήσεων.
- Δοκιμές άντλησης.
- Δειγματοληψίες και αναλύσεις νερών και πετρωμάτων.
- Χημικές αναλύσεις νερών, αερίων και πετρωμάτων.
- Επεξεργασία, αξιολόγηση αποτελεσμάτων.
- Σύνθεση χαρτών με χρήση G.I.S.
- Εκτίμηση γεωθερμικών αποθεμάτων.
- Εκτίμηση ποσοτικών και ποιοτικών τάσεων των ρευστών
- Σύνταξη τελικής μελέτης.



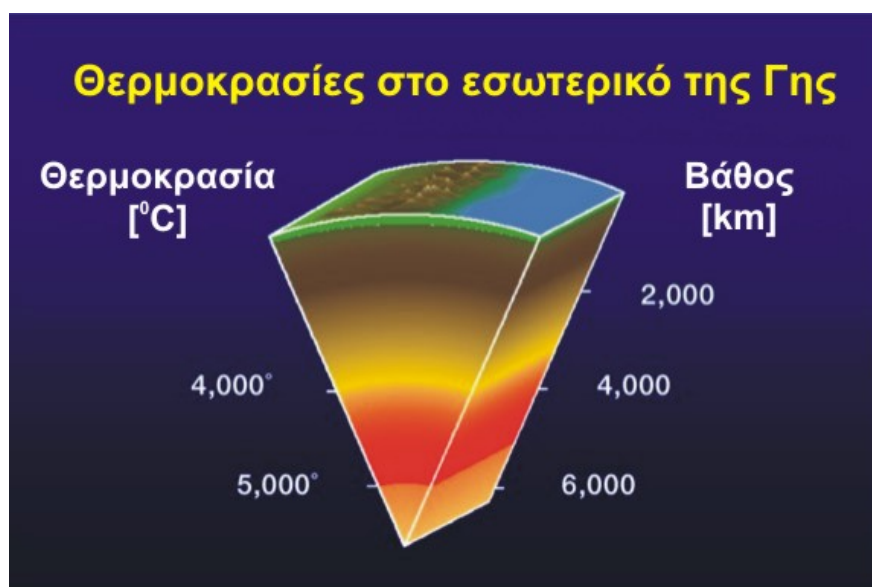
## 2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ – ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Ο όρος Γεωθερμία σημαίνει θερμότητα από τη Γη, επομένως η γεωθερμική ενέργεια λαμβάνεται από την εκμετάλλευση αυτής της θερμότητας



Εικόνα 2: Δομή του εσωτερικού της Γης

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3, η θερμοκρασία της Γης βαίνει συνεχώς αυξανόμενη προς το κέντρο της. Όπως έχει υπολογιστεί, στο υπέδαφος η μεταβολή της θερμοκρασίας με το κατακόρυφο βάθος σε φυσιολογικές συνθήκες είναι περίπου  $30^{\circ}\text{C}$  ανά  $1000\text{ m}$ . Η μεταβολή αυτή ονομάζεται **Γεωθερμική Βαθμίδα**



Εικόνα 3: Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της Γης

Κατ' αυτόν τον τρόπο στις περισσότερες ιζηματογενείς λεκάνες οι υδροφόροι ορίζοντες μπορεί να αποκτήσουν θερμοκρασίες από 35 °C ως 70 °C σε βάθη από 1000 ως 2000 m.

Σε ορισμένες περιοχές, οι γεωλογικές συνθήκες ευνοούν μια ταχύτερη άνοδο της θερμοκρασίας. Σε αυτές τις περιοχές η γεωθερμική βαθμίδα παρουσιάζει όπως λέγεται «**ανωμαλία**» και μπορεί να έχει τιμές από 10 °C μέχρι 15 °C ανά 100 m. Σε τέτοιες περιοχές μπορούν να εντοπιστούν γεωθερμικά ρευστά με υψηλές θερμοκρασίες σε βάθη λίγων εκατοντάδων μέτρων, όπως συμβαίνει σε πολλές περιοχές της Ελλάδας.

Η συγκεντρωμένη στο εσωτερικό της Γης θερμότητα μεταφέρεται κοντά στην επιφάνεια μέσω γεωλογικών διεργασιών, δημιουργώντας υπέρθερμες περιοχές. Η σημαντικότερη από αυτές τις διεργασίες είναι η **κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών**.



**Εικόνα 4:** Διεργασίες τεκτονικών πλακών

- Όταν οι πλάκες αποκλίνουν έχουμε κενό και αναβλύζει μάγμα με μεγάλες θερμοκρασίες
- Όταν οι πλάκες συγκλίνουν έχουμε βύθιση των πετρωμάτων σε βαθύτερους ορίζοντες, άρα αύξηση της θερμοκρασίας και τήξη των πετρωμάτων, και επομένως μεταφορά της θερμότητας προς τα ανώτερα στρώματα.

Και στη μία περίπτωση και στην άλλη, λόγω της ηφαιστειακής δράσης δημιουργούνται υπέρθερμες περιοχές

- Γι' αυτό το λόγο επομένως τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται στα όρια των λιθосφαιρικών πλακών

Υπάρχουν όμως και περιοχές με αυξημένη θερμοκρασία εκτός των ορίων των λιθосφαιρικών πλακών. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους γεωλογικούς παράγοντες όπως:

- Σε περιοχές όπου σε βαθύτερους ορίζοντες υπάρχουν γρανιτικά σώματα (π.χ. λακόλιθοι) προκαλείται αύξηση της θερμοκρασίας των περιβαλλόντων πετρωμάτων και επομένως παρουσιάζεται ανωμαλία στη γεωθερμική βαθμίδα.
- Σε ιζηματογενείς λεκάνες η διαπυρική κίνηση (άνοδος μέσω ρηγμάτων) των εβαποριτών (γύψου, ανυδρίτη και ορυκτού άλατος) που είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας μεταφέρει θερμότητα από τα μεγάλα σε μικρότερα βάθη.
- Επίσης το νερό κατά την κάθοδό του σε αρκετά βαθύτερους ορίζοντες μέσω βαθιών ρηγμάτων αποκτά υψηλές θερμοκρασίες λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας.



**Εικόνα 5:** Θερμές γεωθερμικές περιοχές της Γης

Η θερμότητα που αναπτύσσεται σύμφωνα με τα παραπάνω, λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στα διάφορα στρώματα, προκαλεί ροή θερμότητας από τις βαθιές και θερμές ζώνες προς τις ρηχές και ψυχρότερες. Πολύ συχνά όμως, παραμένει σε βαθύτερους ορίζοντες θερμαίνοντας τα πετρώματα και τα υπόγεια βαθειά νερά.

Τα νερά (γεωθερμικά ρευστά) θερμαινόμενα ανέρχονται προς την επιφάνεια με θερμοαρτεσιανισμό και μέσω μεγάλων ρηγμάτων μπορεί να φτάσουν στην επιφάνεια και να σχηματίσουν τις ζεστές πηγές.

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα γεωθερμικά ρευστά εγκλωβίζονται σε «πέτρωμα αποθήκη» σαν σε αρτεσιανό υδροφόρο, προστατευόμενα από υπερκείμενα στεγανά πετρώματα (Cap Rocks) τα οποία εμποδίζουν τη διάχυση της θερμότητας προς την επιφάνεια. Σχηματίζεται έτσι ένα «κοίτασμα θερμότητας» που ονομάζεται γεωθερμικός ταμιευτήρας.

## 2.1. Γεωθερμικό πεδίο και πώς δημιουργείται

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη συγκέντρωση της θερμότητας από τα πετρώματα, όπου βρίσκεται διάχυτη, είναι η ύπαρξη ενός ενδιάμεσου ρευστού (νερό ή ατμός) το οποίο τη συλλέγει και τη μεταφέρει, δημιουργώντας υπό κατάλληλες συνθήκες ένα γεωθερμικό ταμειυτήρα.

Η κυκλοφορία και συγκέντρωση του ρευστού διευκολύνεται, όταν εκτός από το υψηλό πορώδες, δηλαδή την ύπαρξη αποθηκευτικού χώρου για το ρευστό στα πετρώματα, υπάρχει και υψηλή διαπερατότητα, δηλαδή δυνατότητα ροής του ρευστού, στα πετρωμάτων της δεξαμενής. Η παραγωγικότητα δηλαδή μιας θερμικής περιοχής προσδιορίζεται από τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων. Επομένως, το γεωθερμικό πεδίο είναι ο χώρος όπου συγκεντρώνεται η θερμότητα στο υπέδαφος και τα φαινόμενα εκδήλωσής της στην επιφάνεια.

- Ένα φυσικό γεωθερμικό πεδίο προσδιορίζεται από τρία βασικά στοιχεία:
  - Ταμειυτήρας
  - Ρευστό
  - Πηγή θερμότητας
- Ανάλογα με τη θερμοκρασία του ρευστού τα γεωθερμικά πεδία χαρακτηρίζονται:
  - Υψηλής ενθαλπίας ( $>150^{\circ}\text{C}$ )
  - Μέσης ενθαλπίας ( $100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ )
  - Χαμηλής ενθαλπίας ( $< 100^{\circ}\text{C}$ )



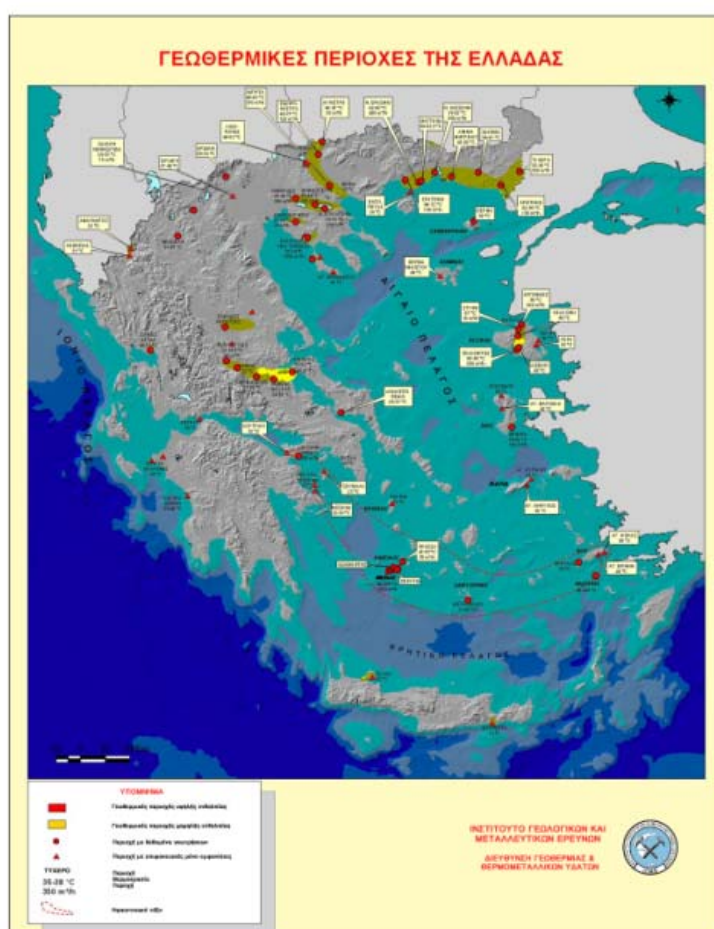
Εικόνα 6: Απλοποιημένη λειτουργία ενός γεωθερμικού πεδίου



## 2.2. Γεωθερμία στην Ήπειρο

Μέχρι την δεκαετία του 1980 η περιοχή της Ηπείρου λόγω του ιζηματογενούς χαρακτήρα των πετρωμάτων θεωρούνταν χαμηλού γεωθερμικού ενδιαφέροντος. Η αξιολόγηση των βιβλιογραφικών δεδομένων και των στοιχείων από προηγούμενες έρευνες ώθησε το Ι.Γ.Μ.Ε. να εντάξει και την Ήπειρο στα ερευνητικά προγράμματα του Β'ΚΠΣ. (1995-2000). Η έρευνα που έγινε εντόπισε τα γνωστά γεωθερμικά πεδία στα Καβάσιλα στην Κόνιτσα και στις Συκιές της Άρτας.(Εικόνα 7). Το γεωθερμικό πεδίο των Συκιών που εντοπίσθηκε σε αυτή την φάση της έρευνας ήταν έκτασης 2 km<sup>2</sup> με θερμοκρασία ρευστών 35 - 45<sup>0</sup> C σε βάθη μεταξύ 280 - 320 m ( Τραγανός κ.ά., 2000).

Λόγω του ενδιαφέροντος η περιοχή εντάχθηκε και στο ερευνητικό πρόγραμμα του Γ' Κ.Π.Σ. που αποσκοπούσε στη διερεύνηση επέκτασης και περιχάραξης του γεωθερμικού πεδίου, ώστε να αυξηθούν τα βεβαιωμένα αποθέματα γεωθερμικής ενέργειας στην περιοχή.



Εικόνα 7: Γεωθερμικές περιοχές στην Ελλάδα



### 3. ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΠΕΙΡΟΥ

Στην παρούσα μελέτη κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μια γενική παρουσίαση των γεωλογικών και τεκτονικών στοιχείων της Ιονίου ζώνης, δεδομένου ότι η ευρύτερη περιοχή του κάμπου της Άρτας, που απετέλεσε το κύριο πεδίο της έρευνας, αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της.

#### 3.1. Στοιχεία Γεωτεκτονικής

Η γεωλογική δομή της Ηπείρου, η οποία είναι τμήμα της Ιόνιας ζώνης αποτελείται από σειρές ιζηματογενών σχηματισμών, η εναπόθεση των οποίων έχει λάβει χώρα σε συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος, οι οποίες επικρατούσαν στον χώρο, σε ορισμένες χρονικές περιόδους.

Η ανάπτυξη αυτών των σχηματισμών από κάτω προς τα επάνω, έχει ως ακολούθως:

1. Εβαποριτική σειρά, Τριαδικής ηλικίας.
2. Ανθρακοπυριτική σειρά, Τριαδικής έως Κάτω Μειοκαινικής ηλικίας.
3. Σειρά του φλύσχη Ολιγοκαινικής – Κάτω Μειοκαινικής ηλικίας.
4. Μεταλπτικής ηλικίας, σειρά ιζηματογενών σχηματισμών ποικίλης σύστασης.

Ο Aubouin (1959) προτείνει την διαφοροποίηση της Ιόνιας αύλακας κατά το μέσο Λιάσιο. Στην περίοδο αυτή επικράτησαν πελαγικές συνθήκες, μετά από την ανάπτυξη μιας εκτενούς ανθρακικής πλατφόρμας στον χώρο των εξωτερικών Ελληνίδων, από το ανώτερο Τριαδικό μέχρι και το μέσο Λιάσιο. Η εξέλιξη αυτή, επιβεβαιώθηκε και από μεταγενέστερες έρευνες, που έγιναν στα πλαίσια της έρευνας για υδρογονάνθρακες από το IGRS - IFP (1966), οι οποίοι επιπλέον δέχονται και τεκτονική κεράτων, που αρχίζει από το τέλος του κατώτερου Λιάσιου και αναπτύσσεται μέχρι το ανώτερο Λιάσιο. Σαν συνέπεια αυτής της τεκτονικής θεωρούν, ότι αναδύθηκαν από την θάλασσα οι πρόδρομοι των σημερινών αντικλινικών αξόνων, που βυθίζονται και πάλι στην πλειονότητά τους κατά το Κρητιδικό.

Από το τέλος του μέσου Λιάσιου, η περιοχή δεχόταν εφελκυσμό, που προκάλεσε στην αρχή ήπια βύθιση και στην συνέχεια έναν έντονο ρηγματογόνο τεκτονισμό(κανονικά ρήγματα), με αποτέλεσμα το διαχωρισμό της Ιονίου αύλακας σε επιμέρους παλαιογεωγραφικές ενότητες διαφορετικής βύθισης, οφειλόμενης στην περιστροφή που προκαλούν εγκάρσια προς την διεύθυνση του εφελκυσμού ρήγματα (Καρακίσιος 1989).



**Εικόνα 8:** Περιθωριακή ρηξιγενής ζώνη της λεκάνης Άρτας (βόρειο περιθώριο)

Η τεκτονική δομή της Ηπείρου χαρακτηρίζεται από σύστημα αντικλίνων και συγκλίνων, με γενικούς άξονες ΒΔ–ΝΑ διεύθυνσης η οποία είναι επακόλουθο της τεκτονικής διατάραξης που άρχισε κατά την Ολιγοκαινική περίοδο υπό την επίδραση των Αλπικών ορογενετικών δυνάμεων. Πολλά από τα υπάρχοντα κανονικά παλαιά ρήγματα έδρασαν σαν ανάστροφα ρήγματα ή επιφάνειες εφίπτευσης (Καρακίσιος 1988). Εξαιτίας ενός ισχυρού συμπιεστικού πεδίου κατά την Αλπική ορογένεση έχουμε την δημιουργία πτυχώσεων και εφιπτεύσεων. Η κατάσταση αυτή συνεχίζεται και κατά την Μειοκαινική περίοδο με αποτέλεσμα την δημιουργία πιο

έντονων πτυχώσεων και πολλών ανάστροφων ρηγμάτων. Η περίοδος αυτή εκφράζεται με μεγάλα μήκη ρήγματα μετάπτωσης ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης, παράλληλα προς τους άξονες των αντικλίνων και από νεότερα ρήγματα με ΒΑ-ΝΔ, Α-Δ διεύθυνσης σχεδόν κάθετα προς τα προηγούμενα. Αποτέλεσμα αυτής της τεκτονικής είναι η έντονη και πολυσχιδής διάρρηξη των πετρωμάτων καθώς και το έντονα ορεινό τοπογραφικό ανάγλυφο που έχει αποκτήσει η Ήπειρος, καθώς επίσης και η βαθιά καρστικοποίηση των ασβεστολίθων.

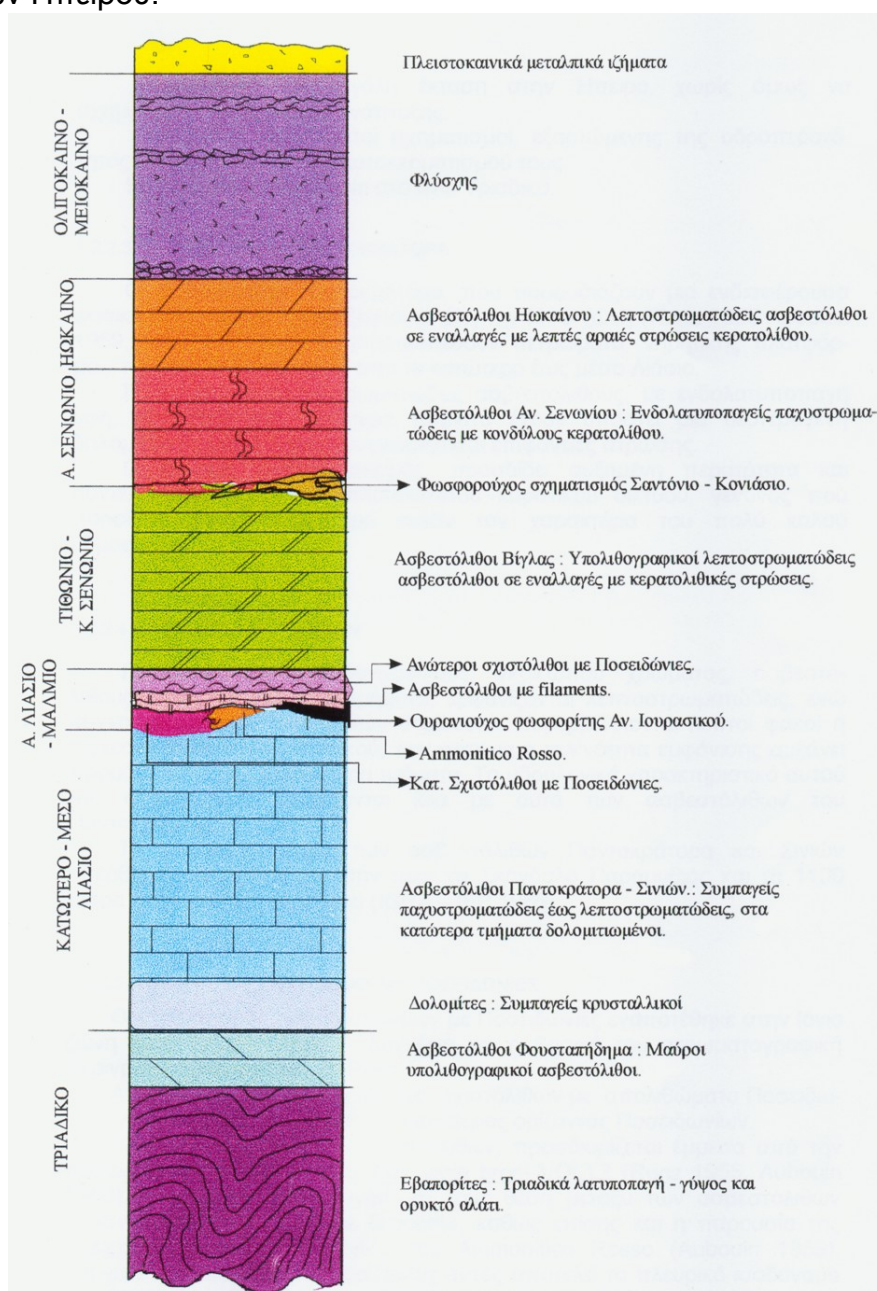
Στη διαμόρφωση της γεωλογικής – τεκτονικής δομής της Ηπείρου σημαντικός είναι ο ρόλος των υποκείμενων Τριαδικών εβαποριτών, οι ανοδικές μετακινήσεις των οποίων, λόγω διαπείρισμού, δημιουργούν πολλές φορές αλατούχους δόμους (χαρακτηριστικοί γεωλογικοί σχηματισμοί), οι οποίοι είναι δυνατόν να έχουν διαστάσεις μερικών χιλιομέτρων και οι οποίοι τείνουν να ανέλθουν προς την επιφάνεια του εδάφους (BP Co LD, 1971).

Οι τριαδικοί εβαπορίτες της Ιόνιας ζώνης, υποβλήθηκαν αρχικά σε μεγάλες διαρρήξεις και μετακινήσεις (οριζόντιες και κατακόρυφες), κυρίως κατά την ορογένεση της Πίνδου. Επαναδραστηριοποιήθηκαν όμως, κατά τη διάρκεια του Νεογενούς και Τεταρτογενούς, δίνοντας νεοδιαπείρισμούς μέσα στα αντίστοιχα ιζήματα (Νικολάου, 1986). Ως εκ τούτου, ο τρόπος μετακίνησης των εβαποριτών (παλαιοδιαπείρισμοί και νεοδιαπείρισμοί) συνέβαλε ουσιαστικά τόσο στην τεκτονική εξέλιξη, όσο και στη σημερινή μορφολογική διαμόρφωση των λεκανών της Ηπείρου μεταξύ των οποίων και ο κάμπος της Άρτας, καθώς επίσης και στη διαμόρφωση του πάχους των νεογενών ιζηματογενών αποθέσεων εντός αυτών των λεκανών.

## 3.2. Στοιχεία Γενικής Γεωλογίας

### 3.2.1. Λιθολογική Στήλη

Τα βασικά στοιχεία για τη σύνταξη της λιθοστρωματογραφικής στήλης των πετρωμάτων της Ιονίου ζώνης που παρουσιάζεται στο σχήμα (7), αντλήθηκαν κυρίως από την γεωλογική εργασία που έγινε από το IGRS- IFP (1966). Επίσης σημαντικές πληροφορίες αντλήθηκαν και από τις πολυάριθμες γεωλογικές - κοιτασματολογικές μελέτες που έχουν γίνει στην περιοχή επί των φωσφορικών εμφανίσεων Ηπείρου.



**Εικόνα 9:** Απλοποιημένη σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη της Ιονίου Ζώνης (IGRS- IFP 1966, Βέκιος 1997)

### 3.2.2. Πετρολογία - Υδρολογικά Χαρακτηριστικά

Στην Ιόνιο ζώνη εμφανίζονται από κάτω προς τα άνω οι ακόλουθοι πετρολογικοί σχηματισμοί :

#### 3.2.2.1. ΕΒΑΠΟΡΙΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ

Αποτελείται από γύψο μικροκρυσταλλική, ορυκτό αλάτι, από λατυποπαγή και καρστικοποιημένους μαύρους ασβεστόλιθους, τεμάχια υπολιθογραφικών ασβεστόλιθων και μαύρων αργιλικών οριζόντων. Επίσης σ' αυτή την σειρά τοποθετείται και ο ασβεστόλιθος Φουσταπήδημα, ο οποίος εμφανίζεται στην Κέρκυρα. Το ορυκτό αλάτι που συμμετέχει σ' αυτή την σειρά των πετρωμάτων δεν εμφανίζεται στην επιφάνεια αλλά έχει εντοπιστεί σε διάφορες θέσεις της Ιόνιας ζώνης με γεωτρήσεις, όπως στην περιοχή Μονολίθι Ιωαννίνων (Βέκιος 1979).

Από υδρολογικής άποψης, είναι γενικά διαπερατοί ή χαμηλής περατότητας σχηματισμοί. Η παρουσία των ασβεστολιθικών και λατυποπαγών, προσδίδει μια σχετική υδροπερατότητα η οποία όμως ελέγχεται από την παρουσία των αργιλικών υλικών. Η κατείσδυση στα τριαδικά λατυποπαγή είναι μέτρια έως μεγάλη, ενώ η εμπειερχόμενη υδροφορία είναι γενικά βεβαρημένη από θειικά άλατα προερχόμενα από την επαφή και απόπλυση των εβαποριτών , κυρίως γύψου.

Η ηλικία της εβαποριτικής σειράς αποδίδεται στο Κατώτερο–Μέσο Τριαδικό.

#### 3.2.2.2. ΔΟΛΟΜΙΤΕΣ

Εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση στην Ήπειρο, χωρίς όμως να σχηματίζουν πλήρη σειρά ανάπτυξης. Γενικά είναι υδροπερατοί σχηματισμοί, εξαρτώμενης της υδροπερατότητάς τους από τον βαθμό κατακερματισμού τους.

Η ηλικία τους αποδίδεται στο άνω Τριαδικό.

#### 3.2.2.3. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ

Οι ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα. Αντιπροσωπεύουν πετρώματα νηρητικής πλατφόρμας, η οποία αναπτύσσεται από το κατώτερο έως μέσο Λιάσιο. Πρόκειται για παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους, με ενδολατυποπαγή υφή, οι οποίοι στα κατώτερα τμήματα έχουν υποστεί μια δευτερογενή δολομιτίωση, ενώ σπάνια αναγνωρίζονται επιφάνειες στρώσης.

Ο έντονος κατακερματισμός, προσδίδει αυξημένη περατότητα και συντελεί στην ανάπτυξη πλουσιότατου καρστικού δικτύου, γεγονός που προσδίδει στον σχηματισμό αυτόν τον χαρακτήρα του πολύ καλού υδροφορέα.

#### 3.2.2.4. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΣΙΝΙΩΝ

Πρόκειται για υπολιθογραφικούς, γκριζωπού χρώματος, ασβεστόλιθους. Προς τα ανώτερα τμήματα, εμφανίζονται λεπποστρωματώδεις, ενώ συχνά μεταξύ των ανθρακικών στρώσεων παρεμβάλλονται λεπτοί φακοί ή στρώσεις κερατολιθικού υλικού.

Το συνολικό πάχος των ασβεστόλιθων Παντοκράτορα και Σινιών κυμαίνεται μεταξύ των 700-1000 m.

Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά αυτού του σχηματισμού θεωρούνται ίδια με αυτά των ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα

#### 3.2.2.5. ΚΑΤΩΤΕΡΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΕ ΠΟΣΕΙΔΩΝΙΕΣ

Ο σχηματισμός των σχιστόλιθων με Ποσειδώνιες εναποτέθηκε στην Ιόνιο ζώνη κατά το Αν. Λιάσιο – Δογγέριο. Αποτελείται από δύο ορίζοντες σχιστόλιθων με απολιθώματα Ποσειδωνίων γνωστούς σαν ανώτερος και κατώτερος ορίζοντας Ποσειδωνίων.

Υδρολογικά λόγω του αργιλικού τους χαρακτήρα θεωρείται αδιαπέραστος σχηματισμός.

#### 3.2.2.6. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΕ FILAMENTS

Αντιπροσωπεύονται κυρίως από κονδυλώδεις ασβεστόλιθους χρώματος γκρι μέχρι μπεζ και στα ανώτερα τμήματα από υπολιθογραφικούς ασβεστόλιθους μπεζ έως κιτρινωπού χρώματος. Το πάχος τους παρουσιάζει σημαντικές πλευρικές μεταβολές και κυμαίνεται μεταξύ των 5 και 50 m.

Λόγω του περιορισμένου της έκτασής τους δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη υδρολογική αξία.



### 3.2.2.7. ΑΝΩΤΕΡΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΕ ΠΟΣΕΙΔΩΝΙΕΣ

Αποτελείται από εναλλαγές υπολιθογραφικών μαργαϊκών ασβεστόλιθων με στρώσεις αργιλομάργας και στρώσεις πυριτικού υλικού. Το πάχος της σειράς μεταβάλλεται μεταξύ των 10 και 50 m.

Όπως και ο κατώτερος ορίζοντας και αυτός θεωρείται ως αδιαπέρατος σχηματισμός.

### 3.2.2.8. AMMONITIKO ROSSO

Αποτελείται από κονδυλώδεις λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους, κιτρινωπού έως πράσινου χρώματος και ερυθρωπές μάργες με απολιθώματα αμμωνιτών σε διάφορα μεγέθη.

Η υδροπερατότητά τους είναι περιορισμένη και εξαρτάται από την τεκτονική τους καταπόνηση και την ρωγμάτωση των ανθρακικών μελών τους.

### 3.2.2.9. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΒΙΓΛΑΣ

Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται αποκλειστικά από πελαγικά ιζήματα και η εναπόθεσή τους χαρακτηρίζεται από υψηλό ρυθμό ιζηματογένεσης. Το μέσο πάχος του σχηματισμού είναι περί τα 500 μέτρα, αλλά παρουσιάζει σημαντικές διαφορές και εξαρτάται από τον διαμορφωμένο κατά την Άνω-Ιουρασική περίοδο βυθό της λεκάνης.

Αποτελείται από εναλλαγές λεπτοπλακωδών υπολιθογραφικών ασβεστόλιθων και κερατολιθικών στρώσεων σε κονδύλους ή φακούς. Στα ανώτερα τμήματα (20–30 μέτρα) των ασβεστόλιθων Βίγλας στην κεντρική Ιόνιο ζώνη εμφανίζεται σε σταθερό στρωματογραφικό ορίζοντα ο γνωστός φωσφορούχος σχηματισμός του άνω Κρητιδικού.

Είναι οι λιγότερο υδροπερατοί ανθρακικοί σχηματισμοί, κυρίως λόγω των πυριτολιθικών ενστρώσεων και των μαργαϊκών οριζόντων που περιέχουν. Έτσι η περατότητά τους ποικίλει και η υδροφορία τους δεν είναι ενιαία, εξαρτώμενη άμεσα από την περατότητα που η σύστασή τους επιτρέπει. Συχνά οι ασβεστόλιθοι της Βίγλας ανάλογα με την τεκτονική τους κατάσταση μπορούν να χαρακτηρισθούν και σαν αδιαπέρατο όριο.



**Εικόνα 10:** Τεκτονισμένοι ασβεστόλιθοι Βίγλας

#### 3.2.2.10. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΑΝΩΤΕΡΟΥ ΣΕΝΩΝΙΟΥ

Τα κατώτερα τμήματα του σχηματισμού αποτελούνται από υπολιθογραφικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι σταδιακά προς τα ανώτερα τμήματα γίνονται μικρολατυπποπαγείς με θραύσματα ρουδιστών. Το πάχος τους κυμαίνεται από 50 – 250 μέτρα.

Χαρακτηρίζονται από έντονη περατότητα και ανεπτυγμένη υδροφορία, παρότι αυτή περιορίζεται τοπικά από την παρουσία πυριτολιθικών στρώσεων και κονδύλων. Γενικά πάντως ως παχυστρωματώδεις και έντονα διαρηγμένοι, με πολύ καλή ανάπτυξη των φαινομένων καρστικοποίησης κατατάσσονται στους έντονους υδροφορείς.

#### 3.2.2.11. ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΗΩΚΑΙΝΟΥ

Αποτελούνται από λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους υπολιθογραφικούς και ενίοτε μικρολατυπποπαγείς μέσου πάχους 100-150 μέτρων. Στα κατώτερα τμήματα

της σειράς είναι συχνή η παρουσία στρώσεων κερατολίθου πάχους 20-30 εκατοστών.

Υδρολογικά παρουσιάζουν ίδια χαρακτηριστικά με τον προηγούμενο σχηματισμό και χαρακτηρίζονται από την έντονη υδροφορία όπου αναπτύσσονται. Αρνητικό ρόλο στην υδρολογική τους αξία αποτελεί το μικρό σχετικά τους πάχος.

#### 3.2.2.12. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΛΥΣΧΗ

Στο Ανωτ. Ηώκαινο η Ιόνιος ζώνη χαρακτηρίζεται από σημαντικές αλλαγές ιζηματογένεσης. Η εναπόθεση των ασβεστόλιθων που έχει αρχίσει ουσιαστικά από το Τριαδικό – Λιάσιο διακόπτεται και στην Ιόνια λεκάνη αρχίζει η εναπόθεση κλαστικών υλικών. Η αλλαγή αυτή είναι συνδεδεμένη με το μεγάλο τεκτονικό γεγονός που αποτελεί η ανόρθωση της Πίνδου. Στην κεντρική Ιόνιο υποζώνη τα κλαστικά ιζήματα, χωρίζονται σε τρεις μεγάλες ενότητες Φλύσξης πάχους 450 μέτρων. Σχηματισμός του Ραδοβιζίου πάχους 300 m. Ο σχηματισμός του Βουρδιγαλίου πάχους 1700 m.

Επίσης στην εξωτερική Ιόνιο ζώνη τα κλαστικά ιζήματα μπορεί να χωρισθούν σε δύο μέρη: Αυτά της Ανατολικής ζώνης, που περιλαμβάνει τον κατώτερο φλύσχη, το σχηματισμό Αγίων Πάντων και τον ανώτερο φλύσχη και αυτά της Δυτικής ζώνης, που περιλαμβάνει, μια κατώτερη σειρά, που εμφανίζεται στις ν. Κέρκυρα και Λευκάδα και μια ανώτερη σειρά νεογενών Μολασσικών ιζημάτων που βρίσκεται σε ασυμφωνία με όλες τις προηγούμενες σειρές.

Υδρολογικά θεωρείται ως ο πλέον υδατοστεγής σχηματισμός αφού κυριαρχείται από αργιλομαργαϊκά υλικά. Εξαίρεση αποτελούν οι περιοχές όπου επικρατούν ψαμμιτικοί και κροκαλοπαγείς ορίζοντες οι οποίοι διαθέτουν κάποιο πρωτογενές πορώδες κόκκων με σχετικά καλή περατότητα. Ο αποσαθρωμένος μανδύας του επίσης παρουσιάζει μικρές και επιφανειακές υδροφορίες που εμφανίζονται με την μορφή εποχιακών μικροπηγών.

#### 3.2.2.13. ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

Αποτελούνται από ποταμολιμναίες αποθέσεις, ερυθρογή, παλαιά συνδεδεμένα πλευρικά κορήματα, σύγχρονες ποταμοχειμάρειες αποθέσεις και κορήματα με κατά τόπους λιγνιτικούς ορίζοντες.

Οι χαλαρές άμμοι, οι ψαμμιτικοί και κροκαλοπαγείς ορίζοντες τα πλευρικά κορήματα και οι ανθρακικοί ορίζοντες αποτελούν ευνοϊκούς υδροφόρους ορίζοντες,

οι οποίοι διαχωρίζονται μεταξύ τους από τις παρεμβαλλόμενες αργιλικές ενστρώσεις.



**Εικόνα 11:** Δειγματοληψία ιζηματογενών αποθέσεων στο βόρειο περιθώριο της λεκάνης

#### 3.2.2.14. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

Συνίστανται κυρίως από πρόσφατες αποθέσεις πεδιάδων (προσχώσεις και ελώδεις αποθέσεις), πλευρικά κορήματα, κώνους κορημάτων, καθώς επίσης από παλαιές χειμαρρώδεις αποθέσεις και κορήματα πυριτόλιθων.

Γενικά αποτελούν ευνοϊκούς υδροφόρους ορίζοντες μικρού βάθους.



## 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η μεθοδολογία της έρευνας που ακολουθήθηκε, με τις επί μέρους εργασίες απεικονίζονται στον Πίνακα 1.



Πίνακας 1: Ερευνητικές εργασίες

### 4.1. Εργασίες που πραγματοποιήθηκαν

Η ροή της γεωθερμικής έρευνας στην λεκάνη της Άρτας, ακολούθησε τις προδιαγραμμένες από το τεχνικό δελτίο εργασίες, όπως αυτές έχουν προγραμματισθεί στα ετήσια προγράμματα. Η υλοποίηση του ερευνητικού προγράμματος άρχισε τον Μάιο 2003 και ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο 2006.

Η βιβλιογραφική ενημέρωση και επεξεργασία των δεδομένων που υπήρχαν για το αντικείμενο της γεωθερμίας, αλλά και για άλλα αντικείμενα, βοήθησε στη διαμόρφωση μιας σύνθετης γεωλογικής σκέψης για το γεωλογικό τεκτονικό και γεωθερμικό υπόβαθρο της περιοχής.

Οι αρχικές εργασίες περιλάμβαναν γεωλογικές, γεωθερμικές και υδροχημικές παρατηρήσεις - μετρήσεις, που είχαν στόχο την μελέτη της στρωματογραφίας την

κατανόηση της τεκτονικής, την κατανομή της γεωθερμικής βαθμίδας και τη χημική σύσταση των νερών στην ευρύτερη περιοχή, για την κατανόηση της ανάπτυξης και την περιχάραξη στο δυνατόν του εκμεταλλεύσιμου πεδίου. Όλες οι μετρήσεις χωροθετήθηκαν με τη χρήση οργάνων G.P.S.



**Εικόνα 12:** Δειγματοληψία νερών

Με τα νέα γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία που προέκυψαν συντάχθηκε ο γεωλογικός - τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας (Εικόνα 15) και η αντίστοιχη γεωλογική τομή (Εικόνα 16).

Οι θερμομετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε νερά πηγών και αρτεσιανών γεωτρήσεων, και ήταν συμπληρωματικές των μετρήσεων του προηγούμενου έργου. Χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνταξη του γεωθερμικού χάρτη (Εικόνα 19).

Για την εφαρμογή της γεωφυσικής έρευνας εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι διερεύνησης:

- α. Γεωηλεκτρική Δυτικά της περιοχής Συκιών (Εικόνα 17) και
- β. Βαρυτική σε όλο το μήκος της λεκάνης.



Η έρευνα βοήθησε σημαντικά, αφενός για τη διαπίστωση της έκτασης του γεωθερμικού πεδίου Δυτικά και αφετέρου στον προσδιορισμό της οροφής και ρηγμάτωσης των ασβεστολίθων στο εσωτερικό της λεκάνης και κατ' επέκταση και στην επιβεβαίωση της συνέχειας, στο εσωτερικό της λεκάνης, των ρηγμάτων που έχουν εντοπισθεί στα Ανατολικά και Δυτικά περιθώριά της. (Συν. 1. Λαχανάς 2003).

Δειγματοληψία νερών και πετρωμάτων. Τα δείγματα που συλλέχθηκαν από νερά πηγών και αρτεσιανών γεωτρήσεων, καθώς και από τις ερευνητικές γεωτρήσεις, υποβλήθηκαν σε χημικές αναλύσεις στο κεντρικό χημείο του Ι.Γ.Μ.Ε. (Πίνακας 2), τα αποτελέσματα των οποίων επεξεργάστηκαν και αξιολογήθηκαν.

Με βάση τα αποτελέσματα των παραπάνω εργασιών έγινε η σύνθεση του προκαταρκτικού μοντέλου του γεωθερμικού πεδίου της περιοχής, για την επαλήθευση του οποίου ακολούθησε το στάδιο της γεωτρητικής έρευνας.

Εκτελέστηκαν δύο ερευνητικές γεωτρήσεις μεγάλου βάθους στην ευρύτερη περιοχή του γνωστού πεδίου Συκιών οι ΓΛ1 και ΑΝ1 η θέση των οποίων φαίνεται στο γεωλογικό χάρτη (Εικόνα 15)



**Εικόνα 13:** Εργοτάξιο γεώτρησης Ανέζα 1

Έγινε αναλυτική περιγραφή και δειγματοληψία πετρώματος, καθώς επίσης και εκτέλεση διαγραφιών (θερμομέτρηση, γ-ray, resistivity κλπ) για την αξιολόγηση των γεωτρήσεων.

Στη συνέχεια, σε επιλεγμένη θέση που φαίνεται στο γεωλογικό χάρτη, εκτελέστηκε η παραγωγική γεώτρηση SP2, στην οποία πραγματοποιήθηκαν και οι δοκιμές άντλησης.

## 4.2. Αποτελέσματα της Έρευνας

### 4.2.1. Γεωλογία και Στοιχεία Τεκτονικής της Περιοχής Έρευνας

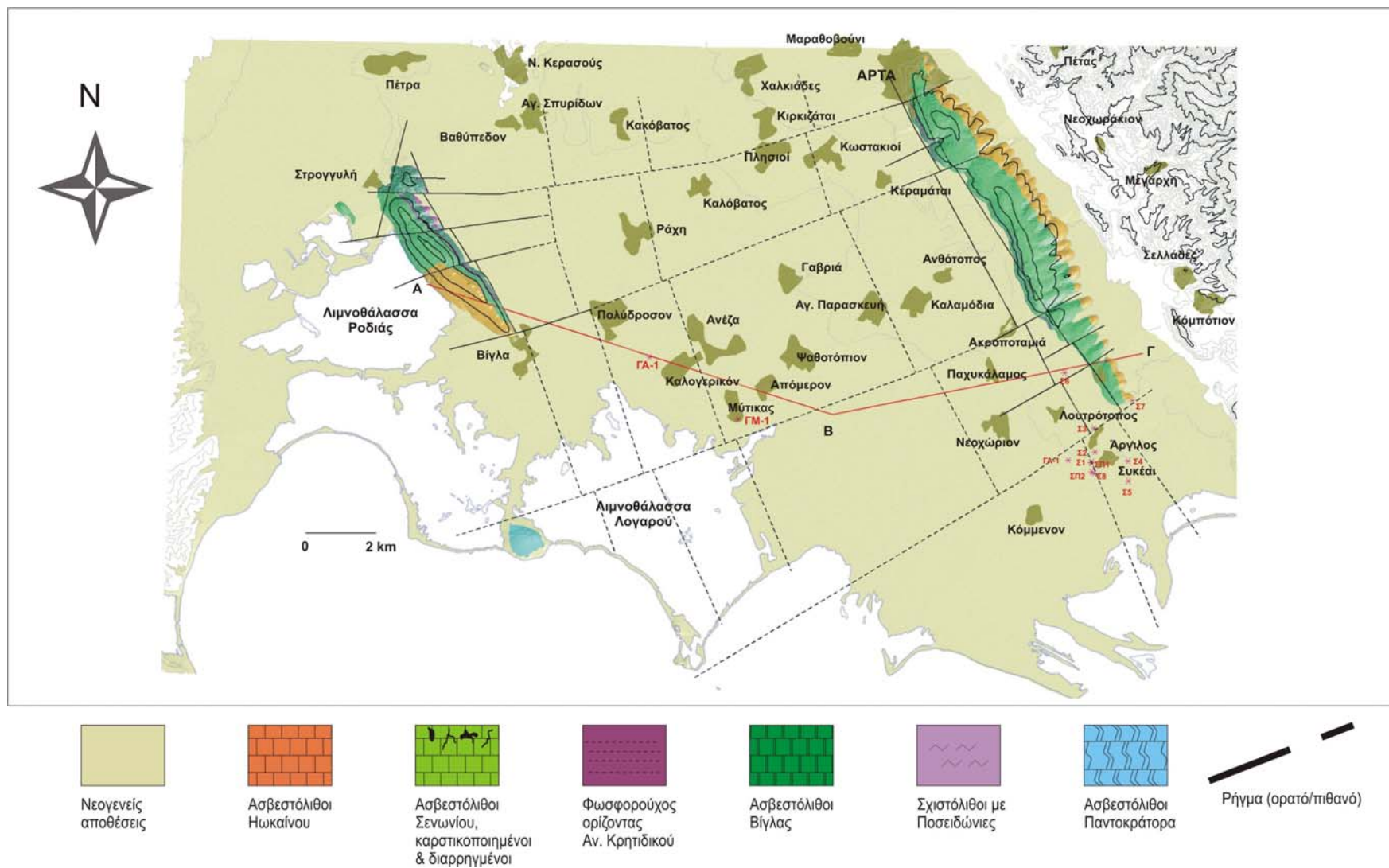
Ο κάμπος της Άρτας αναπτύσσεται στο Νότιο - ανατολικό τμήμα της Ηπείρου και καταλαμβάνει έκταση 40 km<sup>2</sup>. Στο γεωλογικό χάρτη που συντάχθηκε (Εικόνα 15) φαίνεται ότι η μάζα των Ιουρασικών και Κρητιδικών ασβεστόλιθων του Μαυροβουνίου οριοθετεί το Δυτικό όριο, ενώ στην Ανατολική πλευρά, ανορθώνεται η ίδιας ηλικίας ασβεστολιθική οροσειρά της Βαλαώρας. Στην Βόρεια πλευρά επικρατούν τα Τριαδικά λατυποπαγή της Φιλιππιάδας και οι ασβεστόλιθοι που δομούν το αντίκλινο Ξηροβουνίου - Φιλιππιάδος και Νότια ο κόλπος του Αμβρακικού. Στον εσωτερικό χώρο της λεκάνης επικρατούν οι τεταρτογενείς αποθέσεις και, όπως έχουν δείξει οι ερευνητικές γεωτρήσεις για τον εντοπισμό του γεωθερμικού πεδίου, το πάχος τους κυμαίνεται από τα 250 m στα περιθώρια της λεκάνης μέχρι και τα 550 m στο κεντρικό τμήμα της όπως φαίνεται και στη γεωλογική τομή (Εικόνα 16). Υποκείμενοι των αποθέσεων αυτών εντοπίζονται οι ασβεστόλιθοι του Ανωτέρου Σενωνίου, εντός των οποίων κυκλοφορούν τα γεωθερμικά ρευστά.

Η γεωλογική – τεκτονική χαρτογράφηση έδειξε ότι στην περιοχή επικρατούν δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων. Το παλαιότερο σύστημα με ΒΔ - ΝΑ διεύθυνση αποτελούν μεγάλα ρήγματα μετάπτωσης που εντοπίζονται στις Ανατολικές παρυφές του όρους Μαυροβουνίου, και στις Δυτικές παρυφές του όρους Βαλαώρα καθώς και στο εσωτερικό της λεκάνης, όπως διαπιστώθηκε με την γεωφυσική έρευνα που έγινε στην περιοχή. Ένα μεταγενέστερο σύστημα ρηγμάτων Α - Δ μέχρι ΝΔ - ΒΑ διεύθυνσης τέμνει σχεδόν κάθετα το προηγούμενο σύστημα. Και αυτά τα ρήγματα εντοπίζονται στους ορεινούς ασβεστολιθικούς όγκους Μαυροβουνίου και Βαλαώρας. Η δημιουργία αυτών των ρηγμάτων είναι αποτέλεσμα ενός ενεργού εφελκυστικού πεδίου τεκτονικών τάσεων που επικρατούσε στην περιοχή, (Σημιαϊάκης Κ. από Τραγανός κ.ά. 2001).



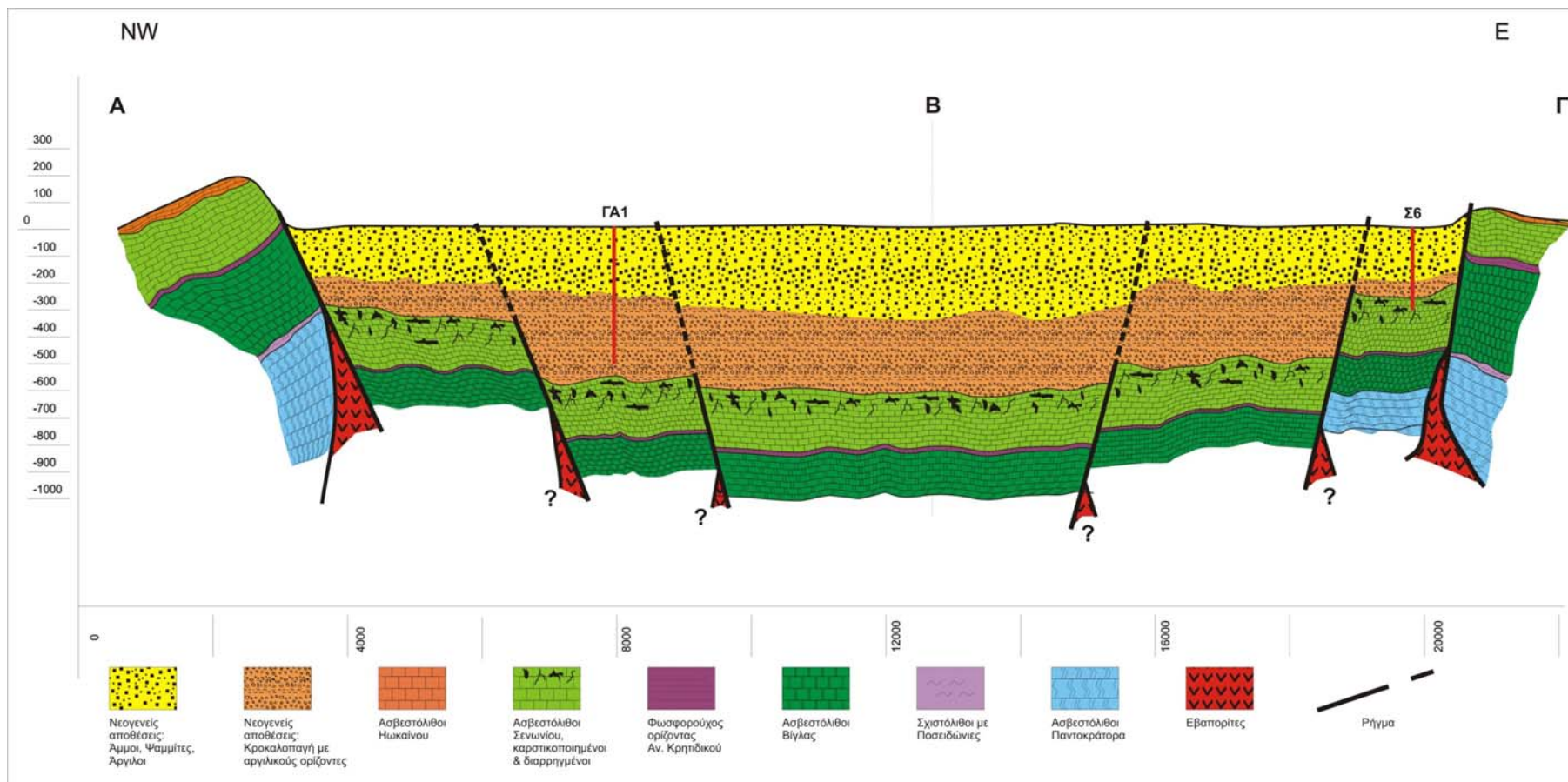
**Εικόνα 14:** Ρήγμα στο ΝΑ περιθώριο του κάμπου με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ που φέρνει σε επαφή τους ασβεστόλιθους με τα ιζήματα του κάμπου

Αξίζει εδώ, να παρατεθούν ορισμένα βιβλιογραφικά δεδομένα για τον κόλπο του Αμβρακικού, ο σχηματισμός του οποίου έχει άμεση σχέση με τον σχηματισμό και του κάμπου της Άρτας. Ο κόλπος, που αποτελεί και το νότιο όριο του χερσαίου τμήματος, έχει βάθος λίγων δεκάδων μέτρων και διακόπτει εγκάρσια τις οροσειρές της Ηπείρου και της Αιτωλοακαρνανίας. Τα περιθώρια του κόλπου δεν παρουσιάζουν μεγάλου άλματος ρήγματα ούτε και έντονες πτυχώσεις, όπως συμβαίνει στον Κορινθιακό κόλπο. Η παρουσία νησίδων από Ιουρασικούς ασβεστόλιθους στο εσωτερικό του κόλπου, δείχνει ότι το πάχος των Πλειστοκαινικών ιζημάτων είναι σχετικά μικρό συγκριτικά με αυτά του Κορινθιακού. Επίσης η ομαλή διάβρωση που έχουν υποστεί οι πάρα πάνω ασβεστόλιθοι και η απουσία μολασικών ιζημάτων Μειοκαινικής ηλικίας, δείχνει ότι αμέσως μετά την συμπιεστική τεκτονική φάση του Κατ. Πλειοκαίνου ο χώρος του σημερινού Αμβρακικού ήταν σχετικά υψηλός και υπόκειτο σε έντονη διάβρωση. Πιστεύεται πάντως, ότι κατά την διάρκεια της περιόδου Πλειόκαινο – Κατ. Πλειστόκαινο άρχισε η καταβύθιση και ο σχηματισμός του κόλπου και κατ' επέκταση και της λεκάνης Άρτας (Auboin 1959).



Εικόνα 15: Γεωλογικός Χάρτης της περιοχής μελέτης (Βέκιος & Ευθυμιόπουλος 2005) Σημειώνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων



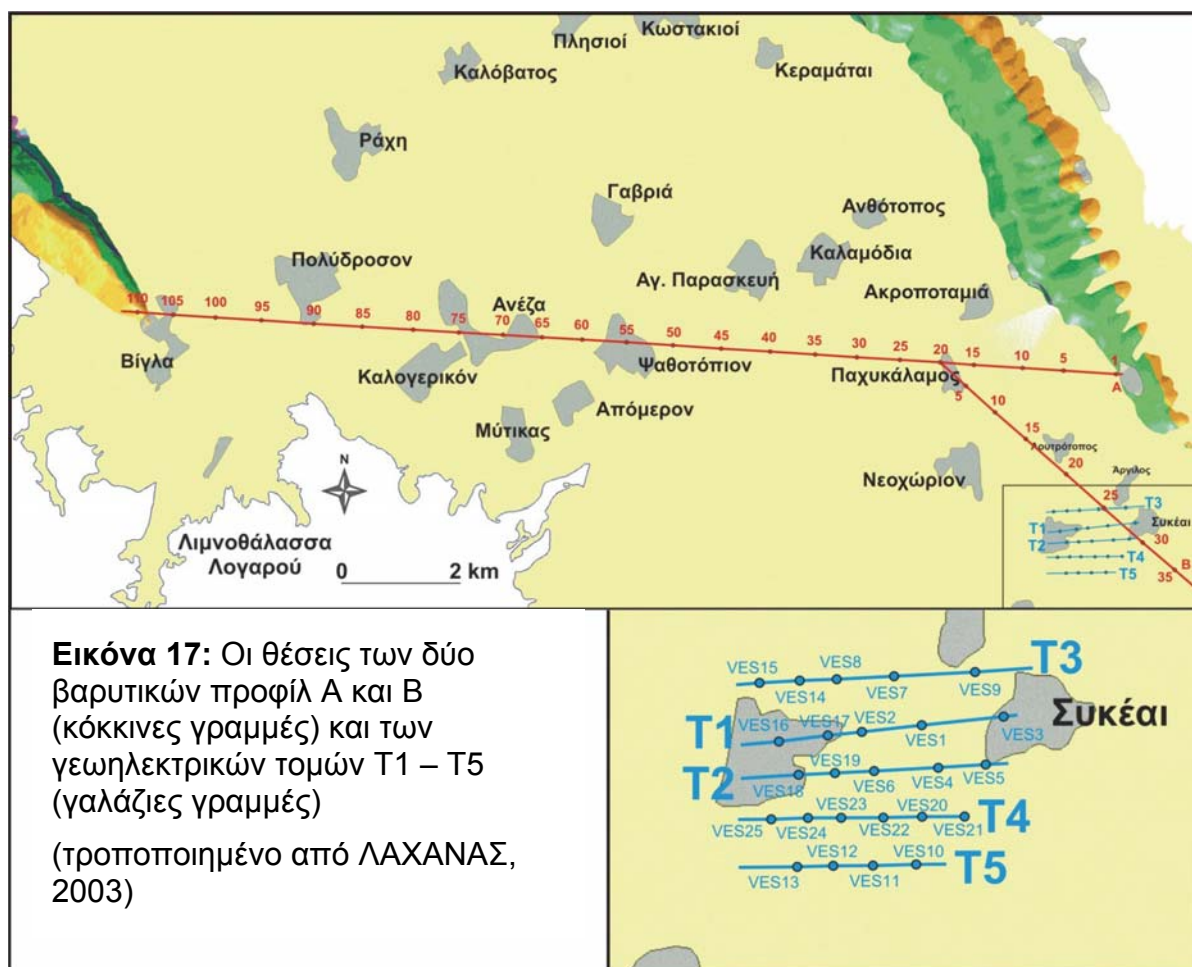


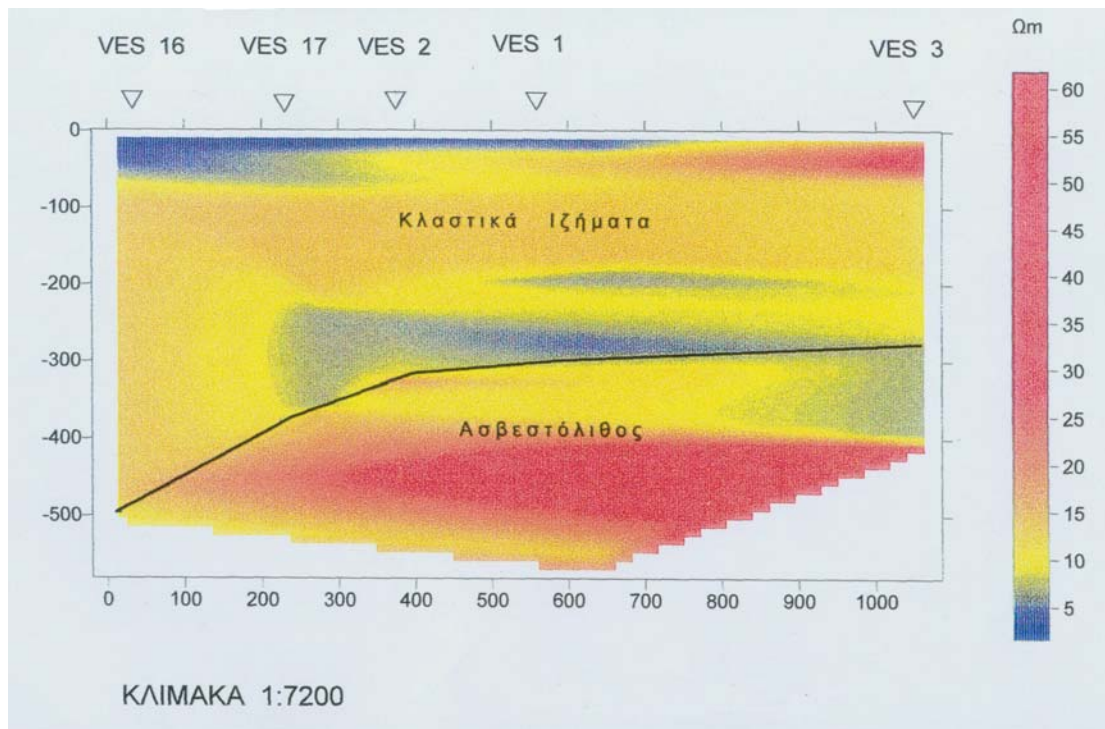
**Εικόνα 16:** Γεωλογική τομή ΑΒΓ (Βέκιος & Σπυρίδωνος, 2005)

#### 4.2.2. Γεωφυσική Διασκόπηση

Στην ευρύτερη περιοχή έρευνας εκτελέστηκε πρόγραμμα γεωφυσικής έρευνας σε βάθος για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τη στρωματογραφική διάταξη των πετρωμάτων που δομούν την περιοχή, καθώς και τον εντοπισμό των κύριων τεκτονικών δομών. Πραγματοποιήθηκαν 26 γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις, οι οποίες εντάσσονται σε 5 γεωηλεκτρικές τομές, και 2 προφίλ συνολικού μήκους 24 km με τη μέθοδο της βαρυτικής διασκόπησης. Η πρώτη τομή είχε μήκος 18 km με διεύθυνση Α-Δ, και η δεύτερη μήκος 6 km και διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ στο χώρο του κύριου πεδίου έρευνας (Εικόνα 17).

Η έρευνα έδειξε κατά προσέγγιση σε βάθος την ανάπτυξη της επαφής των ασβεστόλιθων με τα υπερκείμενα ιζήματα (Εικόνα 18). Οι λεπτομέρειες της ανάπτυξης της μεθόδου και της αξιολόγησης των στοιχείων παρουσιάζονται στη γεωφυσική έκθεση (ΛΑΧΑΝΑΣ, 2003).





**Εικόνα 18:** Γεωηλεκτρική γεωφυσική τομή T1, διεύθυνσης Α-Δ (ΛΑΧΑΝΑΣ, 2003)



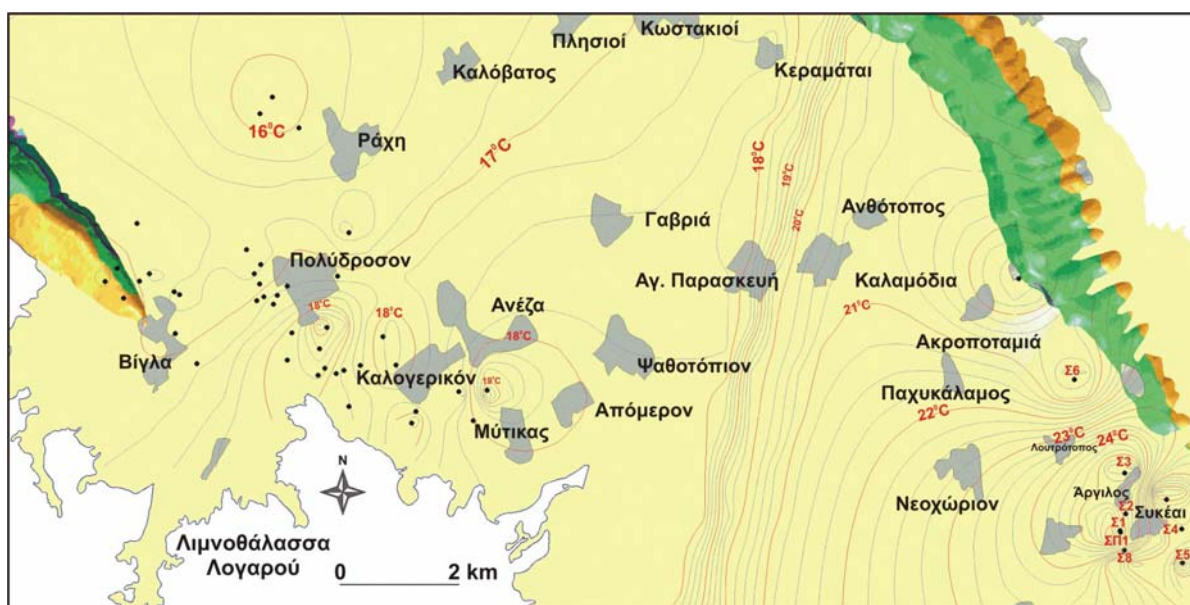
#### 4.2.3. Γεωθερμικά Στοιχεία της Περιοχής Έρευνας

Όπως είναι γνωστό, στις περιοχές τεκτονικών βυθισμάτων η κυκλοφορία των ρευστών και επομένως η μεταφορά θερμότητας προς την επιφάνεια γίνεται από τα κάθετα ή σχεδόν κάθετα ενεργά ρήγματα.

Σε ιζηματογενείς λεκάνες η διαπυρική κίνηση (άνοδος μέσω ρηγμάτων) των εβαπορίτων (γύψου, ανυδρίτη και ορυκτού άλατος) που είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας μεταφέρει θερμότητα από τα μεγάλα σε μικρότερα βάθη.

Επίσης το νερό κατά την κάθοδό του σε αρκετά βαθύτερους οριζόντες μέσω βαθιών ρηγμάτων αποκτά υψηλές θερμοκρασίες λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας.

Οι θερμομετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε νερά πηγών και αρτεσιανών γεωτρήσεων, βοήθησαν στη χάραξη των ισόθερμων καμπυλών επιφανείας και κατ' επέκταση στην σύνταξη του γεωθερμικού χάρτη (Εικόνα 19) της ερευνηθείσας περιοχής. Η μελέτη και αξιολόγηση των ισόθερμων καμπυλών και του χάρτη στο σύνολό του έδειξε ότι υπάρχουν αξιόλογα στοιχεία που επιτρέπουν να υποθέσουμε ότι το γεωθερμικό πεδίο των Συκιών επεκτείνεται και δυτικά, προς την περιοχή του χωριού Βίγλα.



**Εικόνα 19:** Στοιχεία γεωθερμικού χάρτη του κάμπου της Άρτας (Ισοδιάσταση 0.25<sup>0</sup>C, σημειώνονται με μαύρα σημεία οι επιφανειακές μετρήσεις και οι γεωτρήσεις από προηγούμενη έρευνα

#### 4.2.4. Γεωχημική Έρευνα

Η γεωχημική έρευνα νερών που έγινε στην ευρύτερη περιοχή του κάμπου της Άρτας, στο πλαίσιο του παρόντος έργου, αποσκοπούσε στη συγκέντρωση των γεωχημικών στοιχείων που θα στοιχειοθετούσαν το κριτήριο για την συνέχιση της γεωτρητικής έρευνας στην ευρύτερη περιοχή και παράλληλα θα χαρακτήριζε την χημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών.

Η επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας και ο αριθμός των δειγμάτων που συγκεντρώθηκαν έγινε με κριτήριο την γεωχημική έρευνα νερών που είχε γίνει στο παρελθόν στο πλαίσιο του περιφερειακού προγράμματος Β΄ ΚΠΣ, ώστε να αποτελεί κατά κάποιον τρόπο συνέχιση αυτής της έρευνας αλλά και συγκέντρωση τυχόν νέων στοιχείων σε ότι αφορά τον χημισμό των γεωθερμικών ρευστών. Συγκεντρώθηκαν πλέον των (70) δειγμάτων, τα οποία υποβλήθηκαν στις απαιτούμενες χημικές αναλύσεις στο κεντρικό χημείο του Ι.Γ.Μ.Ε.

Η ποσοτική συμμετοχή των κύριων στοιχείων μετρήθηκε δια μέσου της χημικής ανάλυσης. Η χημική ανάλυση του κάθε δείγματος αξιολογήθηκε και ομαδοποιήθηκε ανάλογα με τις διάφορες κατηγορίες νερών.

Στον Πίνακα 2 παρατίθενται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων από (31) δείγματα, τα οποία επιλέχθηκαν και αντιπροσωπεύουν στο σύνολό τους τα υπόγεια νερά που ενδιαφέρουν άμεσα την έρευνα για γεωθερμικά πεδία στον κάμπο της Άρτας.

Τα δείγματα με αριθμό A1, A2, A3/SP2 και B1, B2, B3/SP1 είναι από τις δύο παραγωγικές γεωτρήσεις που έχουν γίνει στην περιοχή της έρευνας και αντιπροσωπεύουν το γεωθερμικό νερό. Τα δείγματα αυτά ελήφθησαν σε διάφορους χρόνους, κατά τη διαδικασία της δοκιμαστικής άντλησης.

Τα δείγματα με αριθμό D61/PV2 και D20/PV3 ελήφθησαν από τη θάλασσα του Αμβρακικού κόλπου πλησίον της περιοχής των γεωτρήσεων και το δείγμα D60/PV1 από την ανοικτή θάλασσα του Ιονίου, μακριά από εκβολές ποταμών.

Τα δείγματα με αριθμό D21, 24, 50 προέρχονται από πηγές που αναβλύζουν κατά μήκος μεγάλων τεκτονικών δομών καθώς επίσης και το δείγμα D40 Γιανούλη που έχει ληφθεί από αβαθή γεώτρηση ιδιώτη πλησίον αυτών των πηγών.

Τα υπόλοιπα με αριθμό D,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,14,17,18,22,25 και GYEB, έχουν ληφθεί από αρτεσιανές γεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της έρευνας των οποίων το βάθος σπανίως ξεπερνούσε τα 70 m.

Αριθμός δείγματος	Ημερομηνία	Προέλευση	pH	Θερμοκρασία [°C]	Αγωγιμότητα	TDS	Na	K	Mg	Ca	Sr	Fe	F	Cl	Br	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	As	SiO <sub>2</sub>
A1 SP2	30/6/2005	γεωτρήση	7.4	42.0	63300	42500.00	13679.00	289.00	491.00	1275.00	15.60	1.33		24819.00		3750.00	3.10	233.00		33.00
A2 SP2	30/6/2005	γεωτρήση	7.2	42.0	68900	45000.00	13564.00	375.00	399.00	1299.00	16.00	1.17		26060.00		4250.00	6.20	199.00		33.00
A3 SP2	30/6/2005	γεωτρήση	7.4	42.0	68700	45200.00	13564.00	375.00	423.00	1250.00	16.20	3.16		26060.00		4250.00	6.20	198.00		44.00
B1SP1	26/10/1998	γεωτρήση	7.0	42.5	59100	39810.00	13633.00	332.00	437.80	1074.10		4.20		22550.00		2402.00	0.00	317.30	0.03	
B2SP1	26/10/1998	γεωτρήση	7.0	42.5	54100	36000.00	12323.00	266.00	447.50	978.00		7.80		20706.00		1878.00	0.00	311.20	0.06	
B3SP1	26/10/1998	γεωτρήση	7.2	42.5	51900	36150.00	12392.00	258.00	398.80	1026.00		17.50		20671.00		1979.00	0.00	347.80	0.07	
D1	20/2/2003	γεωτρήση	7.7	17.0	860	399.56	64.00	1.34	33.53	88.18	0.95	5.54	0.16	67.50	0.52	139.20	0.45	5.36	< .01	10.34
D10	20/2/2003	γεωτρήση	7.8	16.0	560	242.78	13.90	0.72	12.15	92.99	0.72	< .1	0.17	17.80	0.29	100.80	0.30	4.12	< .01	5.74
D11	20/2/2003	γεωτρήση	7.9	17.4	540	249.40	14.56	0.52	9.23	101.00	0.65	0.45	0.19	14.20	0.34	105.60	0.28	3.98	< .01	6.48
D12	20/2/2003	γεωτρήση	7.7	18.2	550	249.90	19.34	0.60	16.52	88.18	0.64	0.39	0.22	17.80	0.30	103.20	0.30	3.96	< .01	8.04
D14	20/2/2003	γεωτρήση	7.9	20.3	480	243.00	20.70	0.68	2.92	92.99	0.72	< .1	0.18	21.30	0.30	100.80	0.39	3.26	0.00	9.30
D17	20/2/2003	γεωτρήση	7.9	18.2	680	329.90	27.60	0.90	29.65	89.78	0.78	1.08	0.19	46.20	0.26	129.60	0.76	4.60	< .01	7.96
D18	20/2/2003	γεωτρήση	8.0	18.0	620	258.62	33.20	0.98	27.22	73.75	0.65	0.69	0.23	17.80	0.22	100.80	0.33	4.54	< .01	9.08
D2	20/2/2003	γεωτρήση	7.8	17.0	780	271.10	16.56	2.42	29.16	92.99	0.92	< .1	0.20	32.00	0.33	91.20	1.38	5.40	< .01	
D20 PV3	20/2/2003	Θάλασσα	8.1	16.0	19400	12610.00	3510.00	121.74	452.00	240.48	3.44	0.10	0.42	6852.00	30.11	888.00	16.38	4.90	0.01	
D21	27/3/2003	Πηγή	7.9	15.3	750	590.00	49.50	1.63	18.47	99.40	0.83	< .05	0.98	85.20		101.28	5.21	229.36	< .01	< 2
D22	27/3/2003	γεωτρήση	7.8	18.0	600	529.00	14.00	0.64	29.65	91.38	0.66	< .1	1.05	17.80		132.00	9.30	234.24	< .01	< 2
D24	27/3/2003	Πηγή Περάνθης	7.0	19.2	6700	4098.90	1199.00	78.00	74.84	205.21	5.05	< .05	0.99	2041.30		218.88	27.90	253.76	< .01	< 2
D25	27/3/2003	γεωτρήση	7.7	18.8	620	581.00	46.10	0.70	26.24	78.56	0.29	< .1	0.73	53.30		10.56	0.80	364.78	< .01	< 2
D3	20/2/2003	γεωτρήση	7.8	16.7	700	287.60	14.95	0.90	33.05	101.00	0.91	0.20	0.17	21.30	0.15	120.00	0.79	5.60	< .01	7.78
D4	20/2/2003	γεωτρήση	7.9	17.2	1040	726.66	190.80	2.54	40.82	88.18	0.99	< .1	0.23	305.00	0.94	91.20	2.12	6.00	< .01	
D40		γεωτρήση	8.1		32800		6711.40	82.11	286.12	480.96				11347.00		461.09	6.20	801.80		
D45		γεωτρήση	7.0	16.0	10280	6263.00	1702.00	54.74	323.33	219.04				3049.60		510.08	1.24	403.95		
D5	20/2/2003	γεωτρήση	7.9	16.6	610	301.10	15.76	0.66	32.56	88.18	0.79	0.37	0.15	24.90	0.17	134.40	0.22	4.42	< .01	
D50		γεωτρήση	7.5	18.0	23900	14352.30	4301.00	78.20	444.09	418.44				7872.10		1070.10	1.24	167.19		
D6	20/2/2003	γεωτρήση	7.7	15.5	660	269.72	13.70	0.98	33.53	92.99	0.78	< .1	0.13	17.80	0.12	100.80	4.44	5.48	< .01	
D60 PV1	19/4/2006	Θάλασσα	7.2	20.0	56546	41000.00	12645.00	391.00	1328.00	577.00	3450.00	210.00		22071.00		3305.00	0.00	164.00	< 10	
D61 PV2		Θάλασσα	7.0	20.0	33262	22000.00	6897.00	215.00	613.00	561.00	2640.00	130.00		11807.00		1513.00	0.00	164.00	< 10	
D8	20/2/2003	γεωτρήση	8.1	17.5	1020	438.14	103.50	2.46	29.16	88.18	0.91	< .1	0.25	153.00	2.13	52.80	2.52	6.52	< .01	
D9	20/2/2003	γεωτρήση	7.7	16.9	760	319.50	10.35	1.64	40.82	88.18	0.91	0.41	0.17	56.80	1.24	115.20	1.89	4.62	< .01	
GYEB	28/4/2005	γεωτρήση	7.4	21.5	3607	1927.00	370.00	6.30	75.70	188.00	1.70			915.00		24.00	12.40	336.00	0.01	

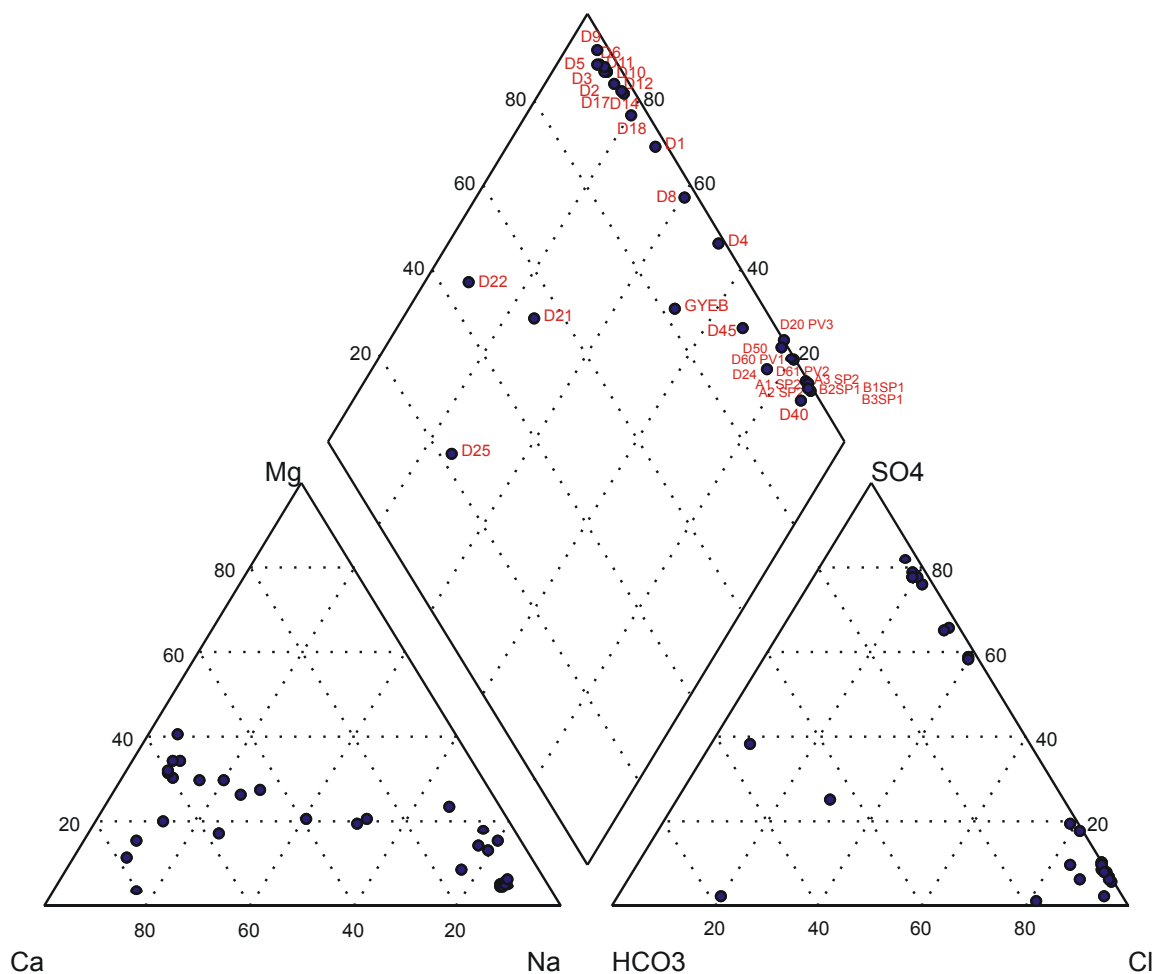
Πίνακας 2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων στα δείγματα υδάτων

#### 4.2.5. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Η επεξεργασία και αξιολόγηση της ποσοτικής συμμετοχής του κάθε στοιχείου και η κατανομή τους στο τριγωνικό διάγραμμα PIPER της Εικόνα 20 που μεταφέρθηκαν, κάνει φανερό ότι τα δείγματα που συλλέχθηκαν κατανέμονται σε τρεις ομάδες νερών οι οποίες χρησιμοποιώντας την ταξινόμηση κατά τους DAVIS & WIEST 1966, εμπίπτουν στους βασικούς τύπους όπως φαίνεται στον Πίνακας 3

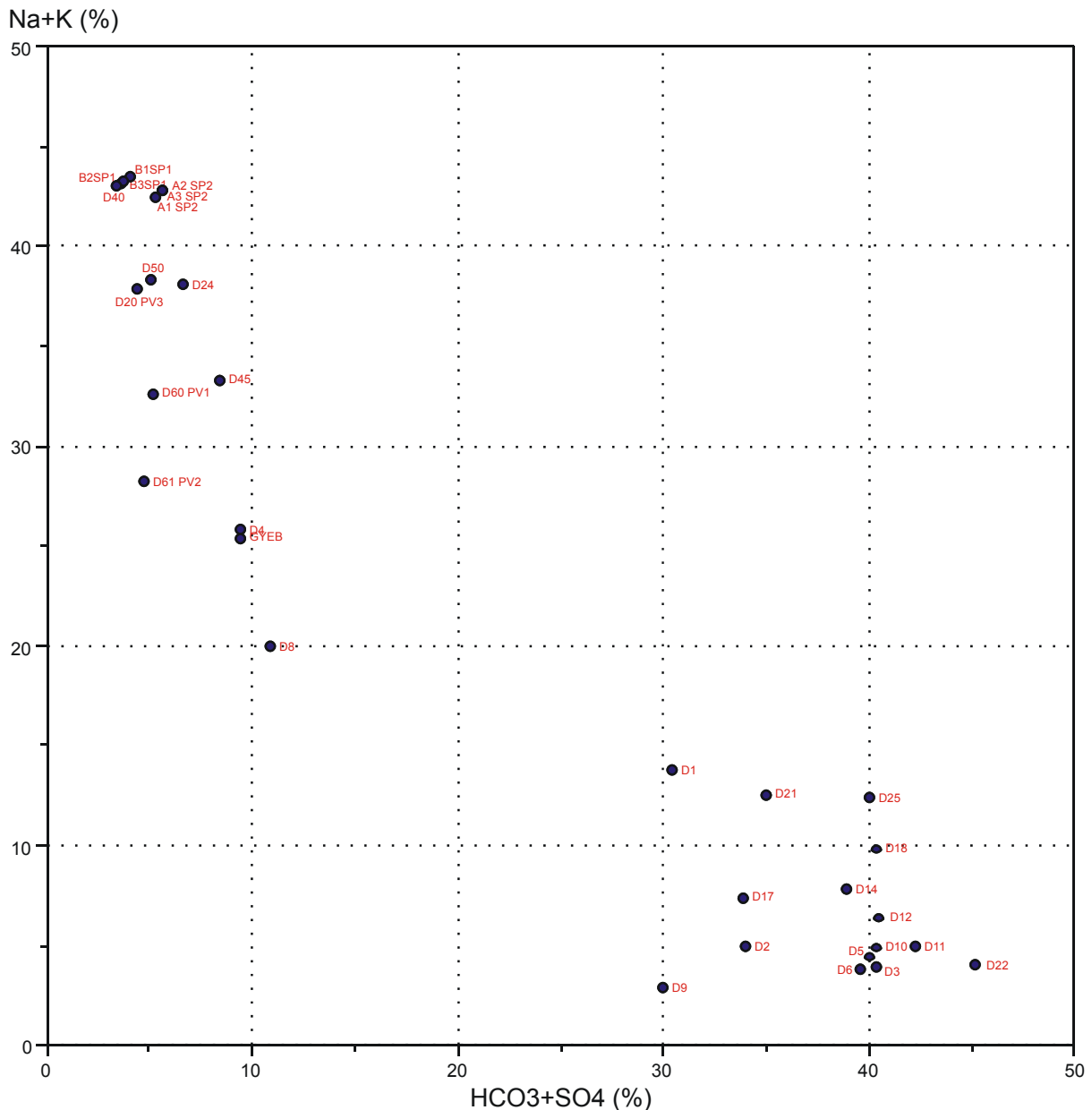
**Πίνακας 3:** Βασικοί τύποι γεωθερμικών νερών

1 <sup>η</sup> ομάδα γεωθερμικών νερών και θάλασσας	A <sub>1</sub> ,A <sub>2</sub> ,A <sub>3</sub> /SP <sub>2</sub> B <sub>1</sub> ,B <sub>2</sub> ,B <sub>3</sub> /SP <sub>1</sub> ,D <sub>1,24,40,45,20,60,61</sub>
2 <sup>η</sup> ομάδα μετεωρικών νερών	D <sub>21,22,25</sub>
3 <sup>η</sup> ομάδα μεικτά νερά με διαφορ/σεις	D <sub>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,14,17,18,50,GYEB</sub>



**Εικόνα 20:** Διάγραμμα PIPER

Τα βοηθητικά διαγράμματα που παρουσιάζονται, χρησιμοποιήθηκαν και επιλέχθηκαν με το κριτήριο της αξιολόγησης του χαρακτήρα και του μηχανισμού της κυκλοφορίας των επιφανειακών και των βαθιάς προέλευσης γεωθερμικών νερών.



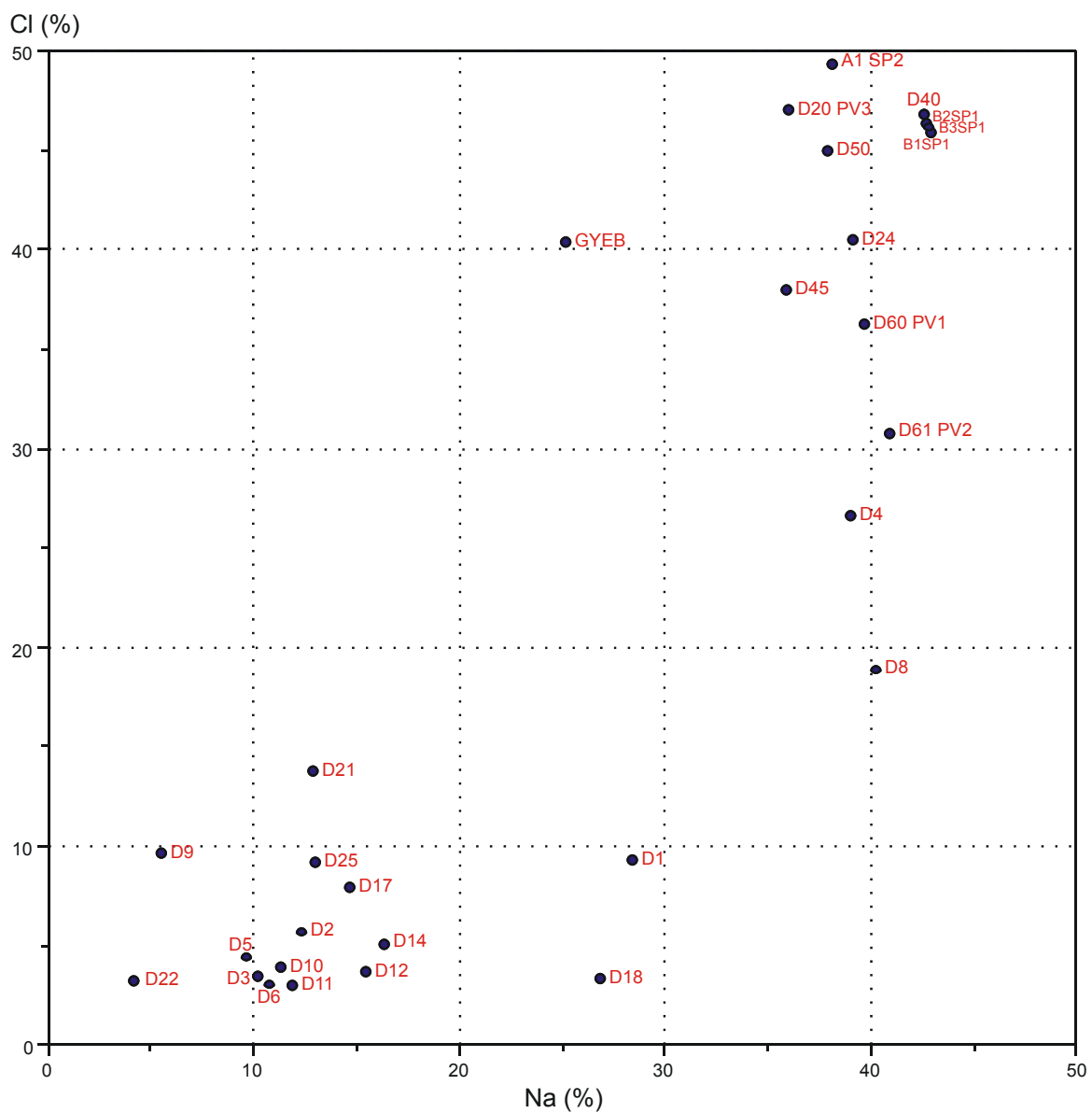
**Εικόνα 21:** Διάγραμμα κατά Langelier-Ludwig Na+K(%) / HCO<sub>3</sub>+SO<sub>4</sub>(%)

Εξετάζοντας το διάγραμμα κατά τους Langelier-Ludwig Na+K(%) / HCO<sub>3</sub>+SO<sub>4</sub>(%) (Εικόνα 21), παρατηρείται ο διαχωρισμός δύο συστημάτων νερών.

Το ένα σύστημα που χαρακτηρίζεται από νερά οξυανθρακικής σύστασης εμπλουτισμένα σε SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ανταποκρίνεται στα «επιφανειακά νερά» των αβαθών γεωτρήσεων

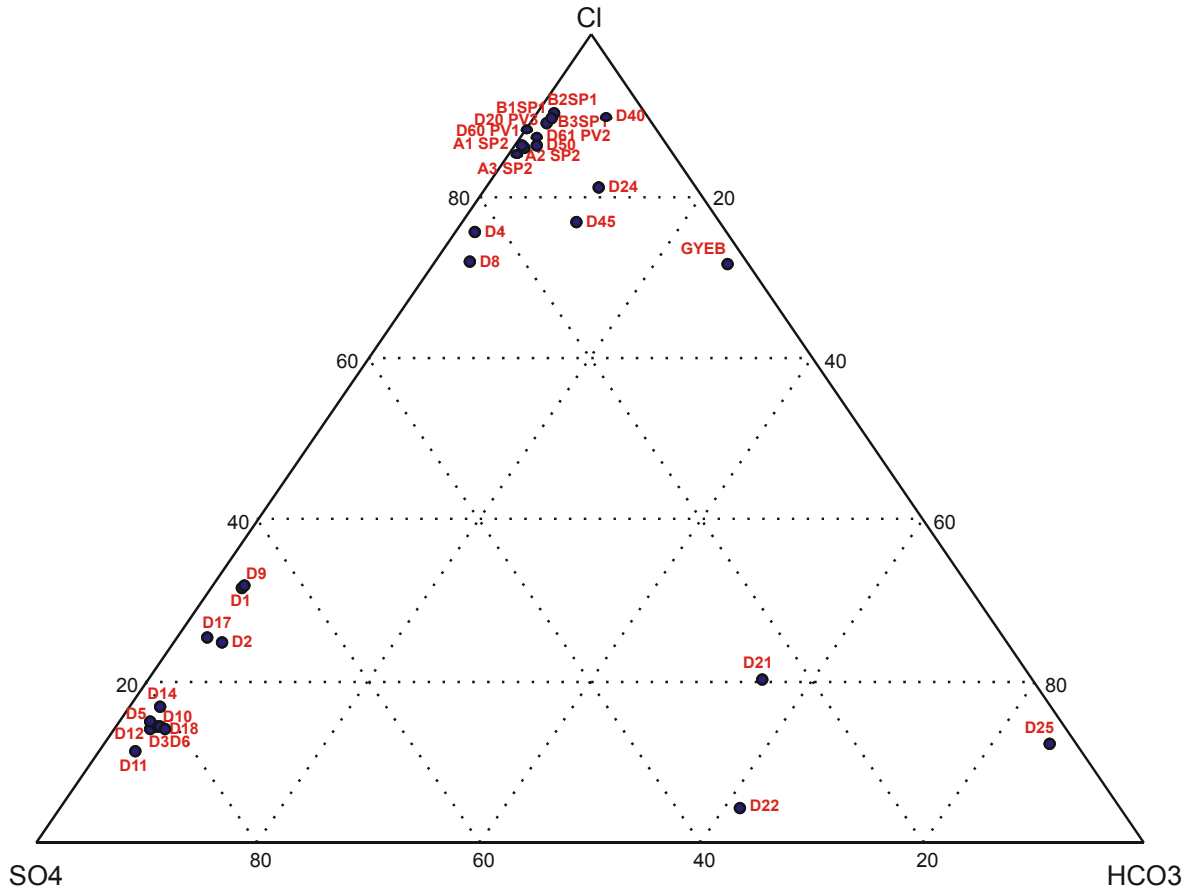
Το δεύτερο σύστημα που ανήκει στην κατηγορία των χλωρο-νατριούχων νερών ανήκουν τα γεωθερμικά νερά και το θαλασσινό νερό.

Η αυξημένη παρουσία των ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{SO}_4^{2-}$  στα κρύα επιφανειακά αυτά νερά, οφείλεται αφ' ενός μεν, στην προέλευσή τους από επιφανειακούς ορίζοντες ιζημάτων, που συνίστανται από άμμους, ψαμμίτες, αργιλικά και κροκαλοπαγή, αλλά γενικότερα, στην γεωλογική κατασκευή της ευρύτερης περιοχής τροφοδοσίας, η οποία αποτελείται από ανθρακικούς σχηματισμούς και εβαπορίτες, το υλικό διάβρωσης των οποίων έχει πληρώσει τον κάμπο της Άρτας.



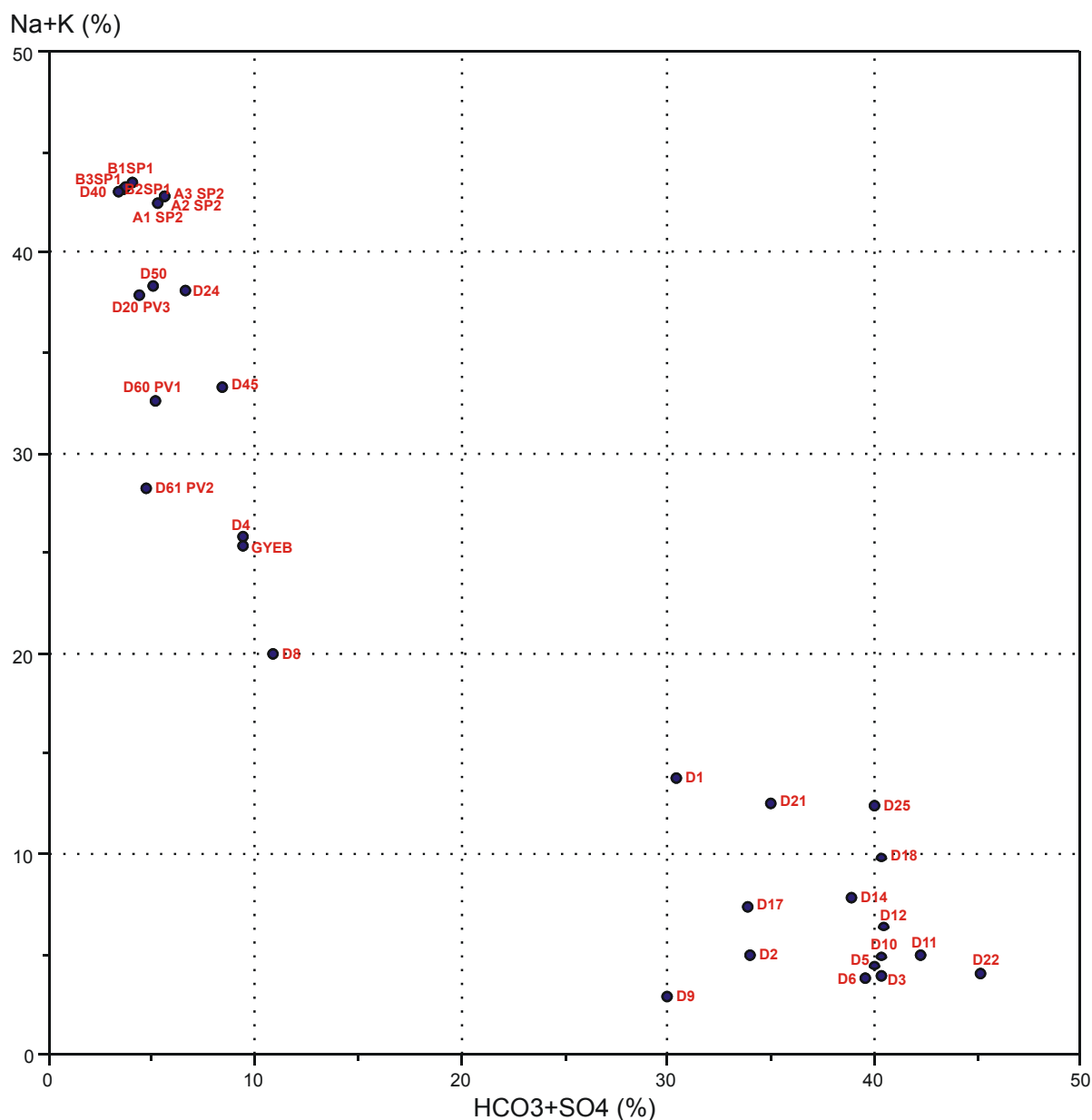
Εικόνα 22: Διάγραμμα Cl (mg/l) Na(mg/l)

Στο διάγραμμα Cl (mg/l) Na(mg/l) (Εικόνα 22) που αφορούν τις σχέσεις των ιόντων παρατηρείται ότι το γεωθερμικό νερό βρίσκεται σε ευθεία ανάμιξη με το θαλασσινό νερό.



**Εικόνα 23:** Διάγραμμα PIPER Cl - HCO<sub>3</sub> - SO<sub>4</sub>

Επίσης, και στο τριγωνικό διάγραμμα PIPER Cl - HCO<sub>3</sub> - SO<sub>4</sub> (Εικόνα 23), φαίνεται η ταυτοποίηση ως προς χλωροϊοντικό φορτίο του θαλασσινού με το γεωθερμικό νερό.



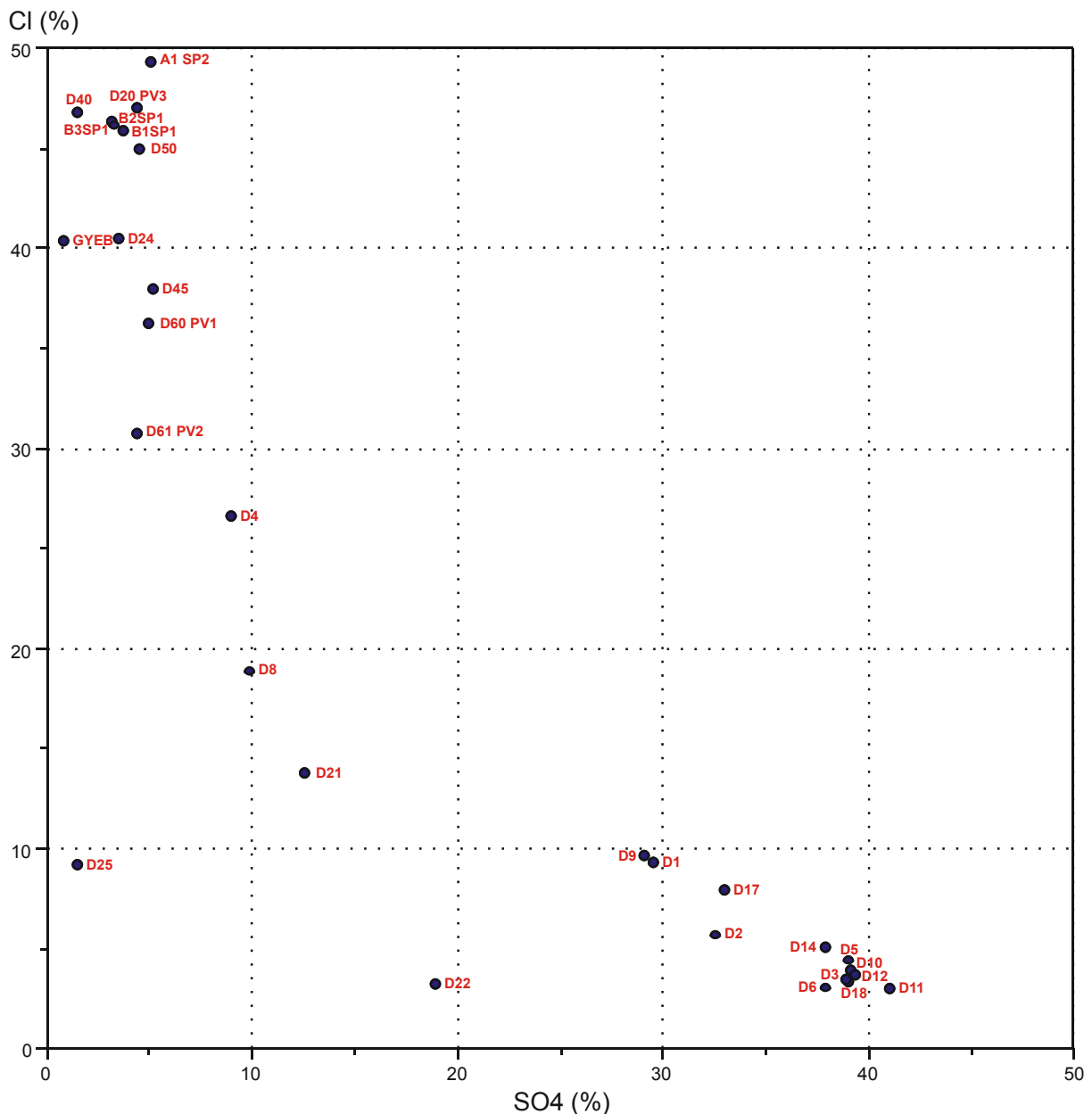
**Εικόνα 24:** Διάγραμμα κατά Langelier-Ludwig Na+K(%) / HCO<sub>3</sub>+SO<sub>4</sub>(%)

Στο διάγραμμα κατά Langelier-Ludwig Na+K(%) / HCO<sub>3</sub>+SO<sub>4</sub>(%) (Εικόνα 24), η θέση των ζεστών νερών, λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε Na και Cl, διαφοροποιείται από αυτή των θαλασσινών νερών.

Παρατηρώντας τις συγκεντρώσεις των χλωριδίων στα διάφορα διαγράμματα προκύπτει ότι το γεωθερμικό νερό όπως και το θαλασσινό, είναι χλωρονατριούχα νερά ανεξάρτητα από την αλατότητά τους. Η αυξημένη περιεκτικότητα του γεωθερμικού νερού σε ιόντα Cl<sup>-</sup> και Na<sup>+</sup>, δείχνει ότι αυτό επηρεάζεται από το θαλασσινό νερό.

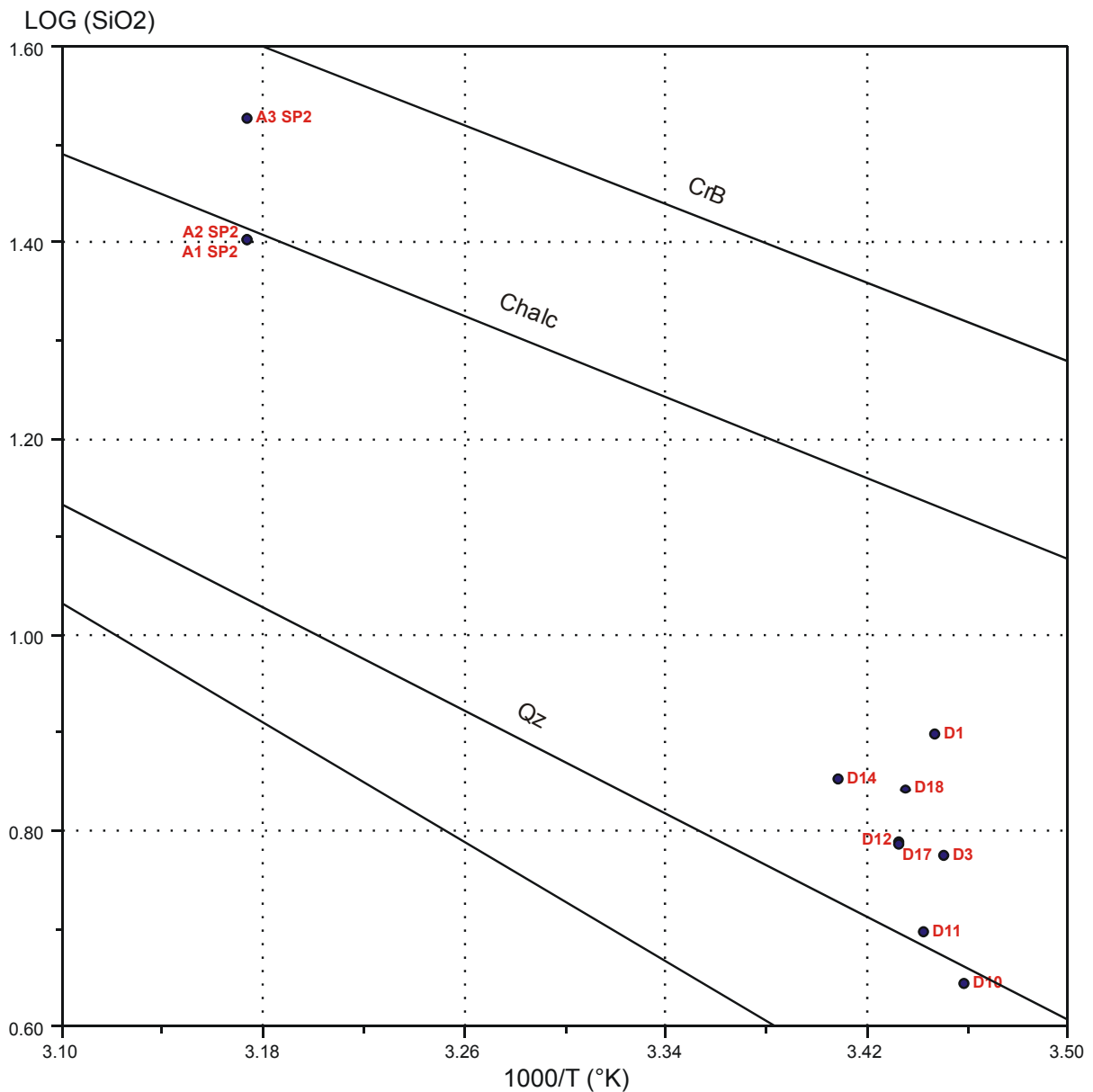


Όμως, στο διάγραμμα Cl/SO<sub>4</sub> (Εικόνα 25), διακρίνεται ένας σαφής εμπλουτισμός του γεωθερμικού νερού σε χλωροϊόντα και θειικά ιόντα. Οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε χλωροϊόντα και θειικά ιόντα στο γεωθερμικό νερό υποδηλώνουν ότι το νερό αυτό κατά την κυκλοφορία του εντός του ταμιευτήρα και κατά την άνοδό του προς την επιφάνεια ήρθε σε επαφή με εβαποριτικού τύπου πετρώματα, όπως είναι η γύψος και το ορυκτό αλάτι, τα οποία αποδεδειγμένα υπάρχουν στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 25: Διάγραμμα Cl/SO<sub>4</sub>

Σε ότι αφορά την εκτίμηση θερμοκρασιών προέλευσης των γεωθερμικών νερών (θερμοκρασία ρεζερβουάρ) βασιζόμενοι στο γεωθερμόμετρο του  $\text{SiO}_2$  (Εικόνα 26), βλέπουμε ότι το δείγμα νερού από την παραγωγική γεώτρηση βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας με το Χαλκηδόνιο. Κατά συνέπεια μπορούμε να δεχθούμε σαν πιθανή θερμοκρασία του γεωθερμικού πεδίου στο σύνολό του, αυτή που προκύπτει από τον εμπειρικό τύπο, και η οποία κυμαίνεται στους  $50^\circ\text{C}$ .



**Εικόνα 26:** Γεωθερμόμετρο του  $\text{SiO}_2$

#### 4.2.6. Ερευνητικές Γεωτρήσεις

Η μελέτη και αξιολόγηση :

- των γεωλογικών και τεκτονικών δεδομένων και στοιχείων της υπαίθριας έρευνας
- οι εργαστηριακές μετρήσεις και χημικές αναλύσεις των δειγμάτων νερού
- καθώς και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των γεωφυσικών διασκοπήσεων

οδήγησε στην εκτέλεση αρχικά δύο ερευνητικών γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου και στη συνέχεια μίας μεγάλης διαμέτρου.

Οι μικρής διαμέτρου ερευνητικές γεωτρήσεις εκτελούνται για τον εντοπισμό και την περιχάραξη του γεωθερμικού πεδίου, ενώ οι μεγάλης διαμέτρου ερευνητικές γεωτρήσεις εκτελούνται για τη μελέτη παραμέτρων και ιδιοτήτων του γεωθερμικού πεδίου. Σκοπός της εκτέλεσης των γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου είναι:

- Η **στρωματογραφική μελέτη** της περιοχής και η περιγραφή των σχηματισμών – πετρωμάτων που διατρήθηκαν
- Ο εντοπισμός της **ποιότητας** και του **βάθους** στεγανών και υδροπερατών σχηματισμών, μέχρι και το γεωθερμικό ταμιευτήρα (ασβεστόλιθος).
- Εκτίμηση του **βαθμού ρωγμάτωσης** του ασβεστόλιθου και του **δευτερογενούς πορώδους**.
- **Θερμομετρήσεις** από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα των γεωτρήσεων για τον υπολογισμό της **γεωθερμικής ανωμαλίας** και της **θερμοκρασίας** στο γεωθερμικό ταμιευτήρα.
- Μέτρηση της **επίδρασης των εξωτερικών συνθηκών** κατά την υγρή και ξηρή περίοδο στις υπεδαφικές θερμοκρασίες.

Σκοπός της εκτέλεσης των γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου είναι η διενέργεια αντλητικών δοκιμών για τη **μελέτη των χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα** και της **ροής των ρευστών**.

Από την έρευνα στα πλαίσια του Β΄ Κ.Π.Σ., το αρχικά εντοπισθέν γεωθερμικό πεδίο των Συκιών είχε ερευνηθεί με (8) ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου και μία μεγάλης διαμέτρου (ΤΡΑΓΑΝΟΣ κ.ά., 2000). Από τα δεδομένα που υπήρχαν προέκυπτε ότι, το πεδίο παραμένει ανοικτό στην Ανατολική αλλά κυρίως στη Νότια και Δυτική πλευρά του και έχρηζε κατά τη γνώμη μας περαιτέρω έρευνας, προκειμένου να αποκτήσουμε, μια πλήρη εικόνα περιχάραξής του.

Στη Νότια πλευρά κρίθηκε αδύνατη η εκτέλεση και άλλων ερευνητικών γεωτρήσεων, λόγω της άμεσης γειτνίασης με την θάλασσα.

Οι μετρήσεις που έγιναν στο ανατολικό τμήμα των Συκιών έδειξαν ότι οι ισόθερμες καμπύλες κυμαίνονταν σε χαμηλά επίπεδα, και γι' αυτό το λόγο αποφασίσθηκε να μην εκτελεσθούν περαιτέρω γεωτρήσεις στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος.

Όπως αναφέρθηκε και στα αποτελέσματα της Γεωθερμικής Έρευνας Επιφανείας, η δυτική πλευρά των Συκιών παρουσιάζει ευνοϊκά στοιχεία για τη συνέχιση της γεωτρητικής έρευνας. Οι γεωτρήσεις που έγιναν σε αυτό το τμήμα του κάμπου αποσκοπούσαν να διαπιστωθεί η ανάπτυξη του πεδίου προς αυτή τη κατεύθυνση και ενδεχόμενα σε μια πρώτη οριοθέτησή του. Εκτελέστηκαν δύο (2) ερευνητικές γεωτρήσεις (ΓΛ1 & ΓΑ1) οι θέσεις των οποίων φαίνονται στο γεωλογικό χάρτη (Εικόνα 15). Επισημαίνεται επίσης ότι και στις δύο γεωτρήσεις το γεωθερμικό ρευστό ανέρχεται στην επιφάνεια με αρτεσιανισμό.

Για την αξιολόγησή των γεωτρήσεων έγιναν οι προγραμματισμένες εργασίες μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται:

- περιγραφή πυρήνων και σύνταξη του αντίστοιχου πίνακα,
- διαγραφίες (loggings, Παράρτημα 2) για τον προσδιορισμό πορώδους, περατότητας, ειδικού βάρους, πυκνότητας κλπ.),
- δειγματοληψίες πετρώματος από τα επιστρεφόμενα των γεωτρήσεων για ορυκτολογικούς προσδιορισμούς,
- δειγματοληψία νερών τόσο κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των γεωτρήσεων, όσο και κατά την άντλησή τους.

Τα αποτελέσματα των ερευνητικών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του παρόντος έργου συναξιολογήθηκαν με τα αποτελέσματα των παλιότερων γεωτρήσεων, ώστε να σχηματίσουμε μια συνολική εικόνα της δομής και των ιδιοτήτων του γεωθερμικού πεδίου στο υπέδαφος του κάμπου της Άρτας.

Η οροφή του γεωθερμικού ταμιευτήρα, που στην προκειμένη περίπτωση πρόκειται για τον ασβεστόλιθο, βρίσκεται σε βάθος κυμαινόμενο από 280 m (γεώτρηση Σ6) στις ανατολικές παρυφές και φθάνει βαθύτερα από τα 480 m στις δυτικές παρυφές (γεώτρηση ΓΑ1). Παρατηρείται δηλαδή μία αύξηση του βάθους από τα Α προς τα Δ που είναι αποτέλεσμα της τεκτονικής διαμόρφωσης της λεκάνης. Ο ασβεστόλιθος αυτός, παρουσιάζει τα ορυκτολογικά και λιθοφασικά

χαρακτηριστικά του ασβεστολίθου του Αν. Σενωνίου και όπως προκύπτει από την περιγραφή του από τους πυρήνες των γεωτρήσεων στα ανώτερα 70 m εμφανίζεται λίαν καρστικοποιημένος και διαβρωμένος.

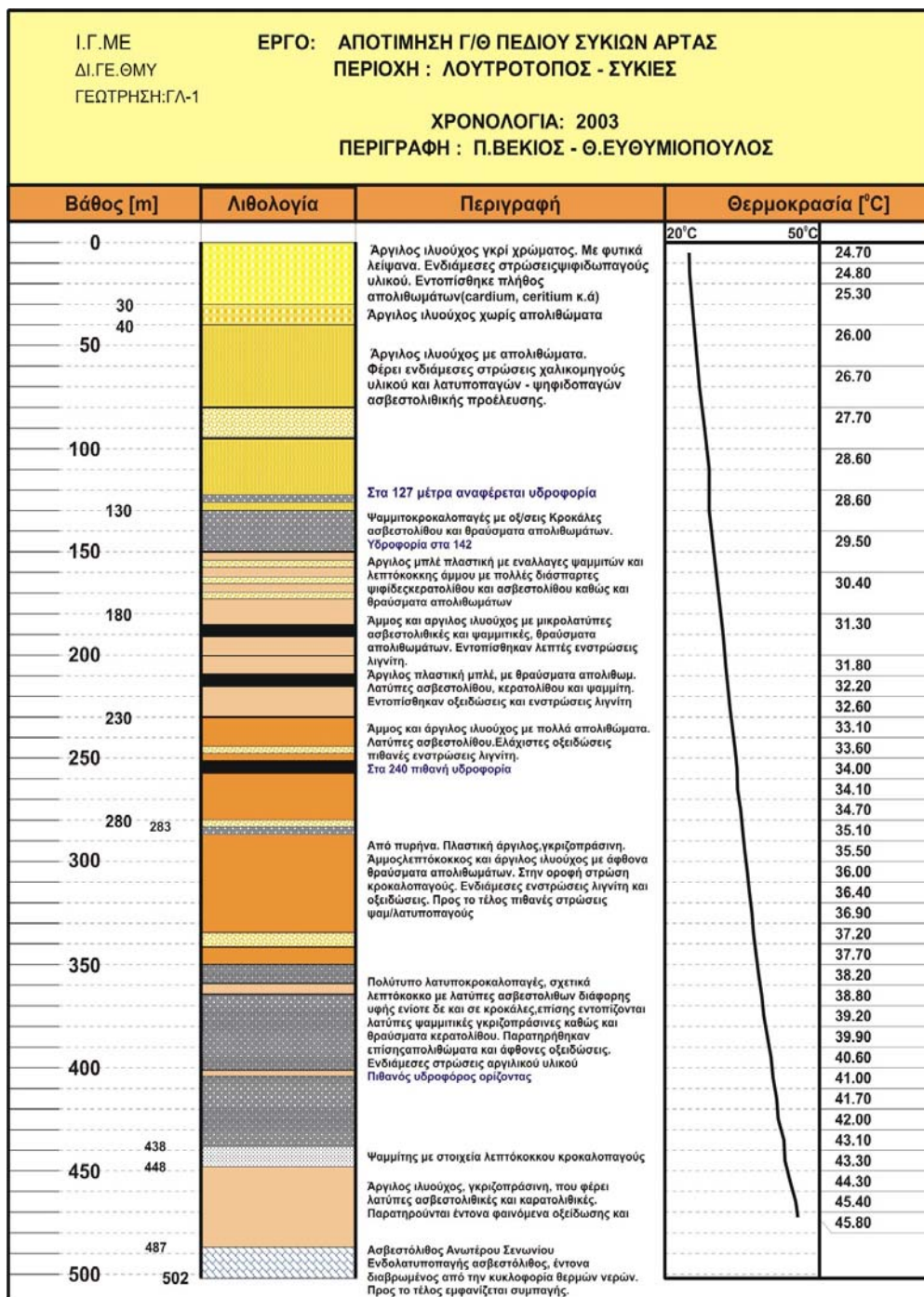


**Εικόνα 27:** Αρτεσιανισμός στη γεώτρηση ΓΛ-1

Η στρωματογραφική διάρθρωση των κλαστικών ιζημάτων που υπέρκεινται του ασβεστολίθου από τα βαθύτερα στρώματα προς την επιφάνεια, περιγράφεται ως εξής:

στο κατώτερο τμήμα και με πάχος 150-200 m αποτελούνται από οριζόντες κροκαλοπαγών διάφορης διαμέτρου σε εναλλαγές με λεπτότερους οριζόντες αργιλομαργαϊκού υλικού. Χαρακτηριστική είναι η αφθονία εμφάνισης

μακροαπολιθωμάτων στους αργιλικούς οριζόντες. Το ανώτερο τμήμα πάχους περίπου 200-300 m αποτελείται από εναλλαγές αργιλομαργαϊκών οριζόντων με ψαμμιτικούς και αργιλικούς οριζόντες εντός των οποίων εντοπίζονται λεπτά στρώματα λιγνίτη. Εξυπακούεται ότι το πάχος των κλαστικών ιζημάτων ποικίλει από γεώτρηση σε γεώτρηση λόγω της τεκτονικής διαμόρφωσης της λεκάνης και του διαφορετικού βαθμού διάβρωσης του υποκείμενου ασβεστολίθου.



Εικόνα 28: περιγραφή ερευνητικής γεώτρησης ΓΛ1.

## 5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΥΚΙΩΝ ΑΡΤΑΣ

Από την έρευνα που έχει γίνει στις ιζηματογενείς λεκάνες της Ηπείρου, διαπιστώθηκε ότι, η δημιουργία των γεωθερμικών πεδίων συνδέεται άμεσα με τη διαπυρική κίνηση των εβαπορίτων κατά μήκος των μεγάλων ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, η οποία κίνηση ευνοεί στον περιβάλλοντα χώρο την αύξηση θερμοκρασίας.. Επίσης διαπιστώθηκε ότι όπου τα ρήγματα αυτά διασταυρώνονται με τα νεότερα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ η Α-Δκής διεύθυνσης η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι μεγαλύτερη, λόγω της ταχύτερης ανόδου των ρευστών.

**Από τις ερευνητικές γεωτρήσεις διαπιστώθηκε ότι:**

- Η οροφή του γεωθερμικού ταμιευτήρα βρίσκεται σε βάθος κυμαινόμενο από τα 280 m στις ανατολικές παρυφές της περιοχής και φτάνει τα 480 m και πλέον προς τα ΝΔ
- Παρατηρείται δηλαδή μια αύξηση του βάθους από Α προς Δ που είναι αποτέλεσμα της τεκτονικής διαμόρφωσης της λεκάνης
- Το πέτρωμα ταμιευτήρας είναι ο ρωγματωμένος ασβεστόλιθος σε πάχος ~70 m
- Θερμοκρασία του νερού που ανέρχεται στην επιφάνεια αρτεσιανά κυμαίνεται από 32<sup>0</sup>C ως 50<sup>0</sup>C
- Η γεωθερμική βαθμίδα υπολογίστηκε στους 5<sup>0</sup>C ως 11<sup>0</sup>C ανά 100 m. (2 –3 φορές της κανονικής)

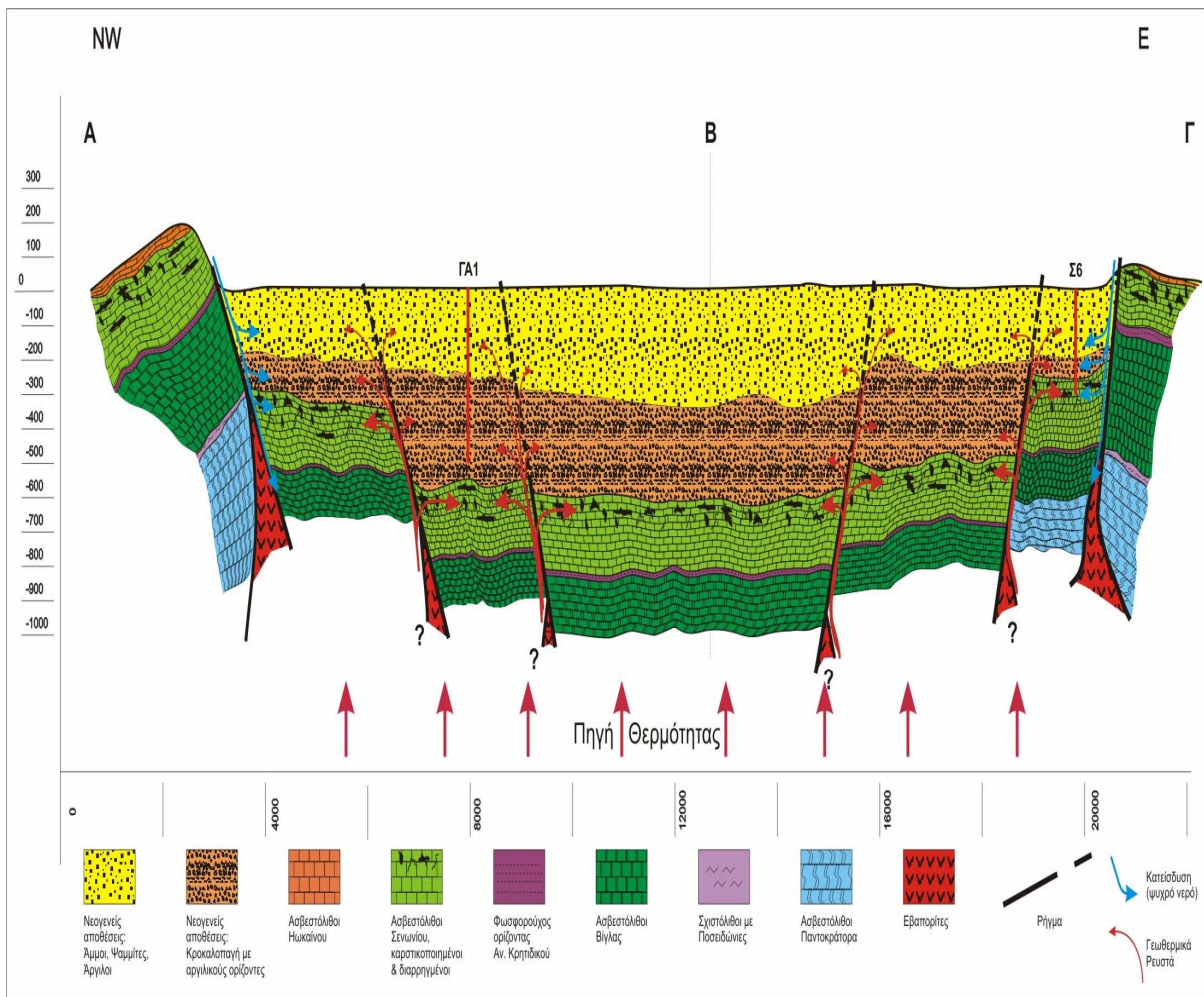
### 5.1. Εκτιμώμενη Λειτουργία Γεωθερμικού Πεδίου

Η λειτουργία του πεδίου σε πρώτη εκτίμηση θεωρείται ως ακολούθως:

- Τα επιφανειακά νερά, δηλαδή από βροχές, χιόνια, ποτάμια και ίσως θάλασσα εισχωρούν στο έδαφος και κατέρχονται προς το εσωτερικό φθάνοντας σε μεγάλα βάθη. Σ' αυτό βέβαια βοηθούν πάρα πολύ τα βαθιά ενεργά ρήγματα
- Στην πορεία θερμαίνονται λόγω της υψηλής θερμικής ροής και γίνονται ελαφρύτερα. Αυτό έχει σα συνέπεια να βρουν διόδους μέσα από τους κατακερματισμένους από τα ρήγματα ασβεστόλιθους και να επιστρέψουν προς την επιφάνεια



- Στην πορεία προς τα επάνω συναντούν τα αδιαπέρατα στρώματα των ιζημάτων και εγκλωβίζονται κατ' αυτό τον τρόπο στα ανώτερα τμήματα των ασβεστόλιθων
- Εννοείται ότι μέσω των νεότερης ηλικίας μικρορηγμάτων που έχουν διαταράξει τα ιζήματα ένα μικρό μέρος τους ανέρχεται προς την επιφάνεια, ζεσταίνοντας κατά τόπους και τους πλησίον της επιφάνειας υδροφόρους ορίζοντες



**Εικόνα 29:** Γεωλογική τομή ABΓ, στην οποία φαίνεται και η πιθανή κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών.



**Εικόνα 30:** Θέση και έκταση του βεβαιωμένου πεδίου (κόκκινο) και της πιθανής επέκτασης (πράσινο)

Η έκταση του βεβαιωμένου γεωθερμικού πεδίου είναι περίπου  $11.2 \text{ km}^2$ , ενώ μαζί με την πιθανή επέκταση φθάνει τα  $64.5 \text{ km}^2$ , όπως φαίνεται στην Εικόνα 30.

## 5.2. Σύνοψη Γεωλογικών – Γεωθερμικών παρατηρήσεων

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια των ερευνών του παρόντος έργου μας επιτρέπουν την εξαγωγή πρακτικών συμπερασμάτων για το γεωθερμικό ενδιαφέρον της περιοχής του κάμπου της Άρτας.

Με κριτήριο επομένως τα γεωλογικά, τεκτονικά και στρωματογραφικά και θερμομετρικά δεδομένα συνάγεται ότι:

Η μορφολογία της ευρύτερης περιοχής που χαρακτηρίζεται από δύο επιμήκεις κορυφογραμμές, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται αξιόλογων διαστάσεων πεδινή έκταση, είναι το αποτέλεσμα της έντονης τεκτονικής δράσης και των μεγάλων μετακινήσεων που έχουν λάβει χώρα στη διαμόρφωση της Ιονίου ζώνης.

Από τη γεωφυσική διασκόπηση και τη γεωτρητική έρευνα διαπιστώθηκε ότι η επαφή των ασβεστόλιθων με τα υπερκείμενα κλαστικά ιζήματα ακολουθεί κατά κάποιο τρόπο το παλαιοαναγλυφο των ασβεστόλιθων που είχε σχηματισθεί κατά την Ανώτερη κρητιδική περίοδο, το οποίο όμως στη συνέχεια επηρεάστηκε και διαμορφώθηκε από τις ακόλουθες τεκτονικές φάσεις μέχρι το τεταρτογενές. Το βάθος αυτής της επαφής είναι μικρότερο στα περιθώρια και κατά πολύ μεγαλύτερο στο κέντρο της λεκάνης, και γι' αυτό το λόγο ο υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται σε διάφορα βάθη από τις ερευνητικές γεωτρήσεις.

Διαπιστώθηκαν δύο συστήματα ρηγμάτων και διαρρήξεων. Το πρώτο σύστημα που αντιστοιχεί στα βαθύτερα και παλαιότερα ρήγματα με ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση και το δεύτερο σύστημα με διευθύνσεις Α-Δ και ΒΑ-ΝΔ. Το νεώτερο σύστημα ευνοεί σημαντικά την ανοδική πορεία των γεωθερμικών ρευστών και στη διασταύρωσή του με το παλαιότερο σύστημα έχουν μετρηθεί και οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες (π.χ. γεώτρηση ΓΛ1).

Τα στοιχεία του γεωθερμικού χάρτη έδειξαν ότι το γεωθερμικό πεδίο επεκτείνεται με τα ίδια χαρακτηριστικά και προς το δυτικό τμήμα της λεκάνης και αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί μελλοντικά για την εκτέλεση γεωθερμικών γεωτρήσεων.

Η γεωχημική έρευνα έδειξε ότι τα γεωθερμικά ρευστά είναι χλωρονατριούχα ανεξάρτητα από την αλατότητά τους. Οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε χλωροϊόντα και θειικά ιόντα που ανιχνεύονται στο γεωθερμικό νερό υποδηλώνουν ότι το νερό κατά την κυκλοφορία του εντός του ταμιευτήρα και κατά την άνοδό του προς την επιφάνεια ήρθε σε επαφή με εβαποριτικού τύπου πετρώματα, όπως είναι η γύψος και το ορυκτό αλάτι, τα οποία αποδεδειγμένα υπάρχουν στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης.

## 6. ΤΕΧΝΙΚΑ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για την υλοποίηση του γεωτρητικού προγράμματος στην ευρύτερη περιοχή του γεωθερμικού πεδίου Συκιών Άρτας χρησιμοποιήθηκαν δύο γεωτρύπανα: ένα δειγματοληπτικό γεωτρύπανο Long Year 44, πλήρως εξοπλισμένο με εμβολοφόρες αντλίες, στελέχη, σωλήνες, πυρηνοσυλλέκτες (καροταρίες), κοπτικά, κορώνες κ.λ.π. για τις ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου και ένα αυτοκινούμενο υδρογεωτρύπανο TONE για την ερευνητική γεώτρηση μεγάλης διαμέτρου.

Γενικά, τα τεχνικά προβλήματα που παρουσιάστηκαν στις γεωτρητικές εργασίες καθώς και τεχνικά ατυχήματα, οφείλονται στις συνθήκες διάτρησης, δηλαδή στη διάτρηση σχηματισμών με χαλαρές κατά τόπους ζώνες και κατά συνέπεια καταπτώσεις των τοιχωμάτων, στον αρτεσιανισμό ή στις μερικές ή ολικές απώλειες κυκλοφορίας κατά τη διάτρηση των ασβεστολίθων. Τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίστηκαν σε γενικές γραμμές με τη χρησιμοποίηση καλής ποιότητας μπεντονιτικής λάσπης γεωτρήσεων, με καλό καθαρισμό και με κατάλληλα σχεδιασμένο πρόγραμμα διάτρησης-σωλήνωσης των γεωτρήσεων.

Ένα σοβαρό πρόβλημα παρουσιάστηκε στην ερευνητική γεώτρηση μεγάλης διαμέτρου. Λόγω εντολής διακοπής των εργασιών, το Νοέμβριο 2004, για έλεγχο όλων των τεχνικών δελτίων των έργων του Γ' ΚΠΣ, η οποία συνέπεσε χρονικά με το τέλος των γεωτρητικών εργασιών, δεν υπήρξε χρόνος για ικανοποιητικό καθαρισμό της γεώτρησης. Έτσι, σαν αποτέλεσμα προέκυψε το μπάζωμα της παραγωγικής ζώνης με θρύμματα πετρωμάτων προερχομένων από τη διάτρηση και μπεντονίτη της λάσπης γεώτρησης που στερεοποιήθηκε λόγω παραμονής αρκετών μηνών σε περιβάλλον υψηλών θερμοκρασιών. Το πρόβλημα αυτό εντοπίστηκε πριν από την έναρξη των αντλητικών δοκιμών και αποκαταστάθηκε εν μέρει με επαναδιάτρηση-καθαρισμό τμήματος της γεώτρησης.

Οι διατρητικές εργασίες της πρώτης γεώτρησης άρχισαν αμέσως μετά την εγκατάσταση του γεωτρύπανου.

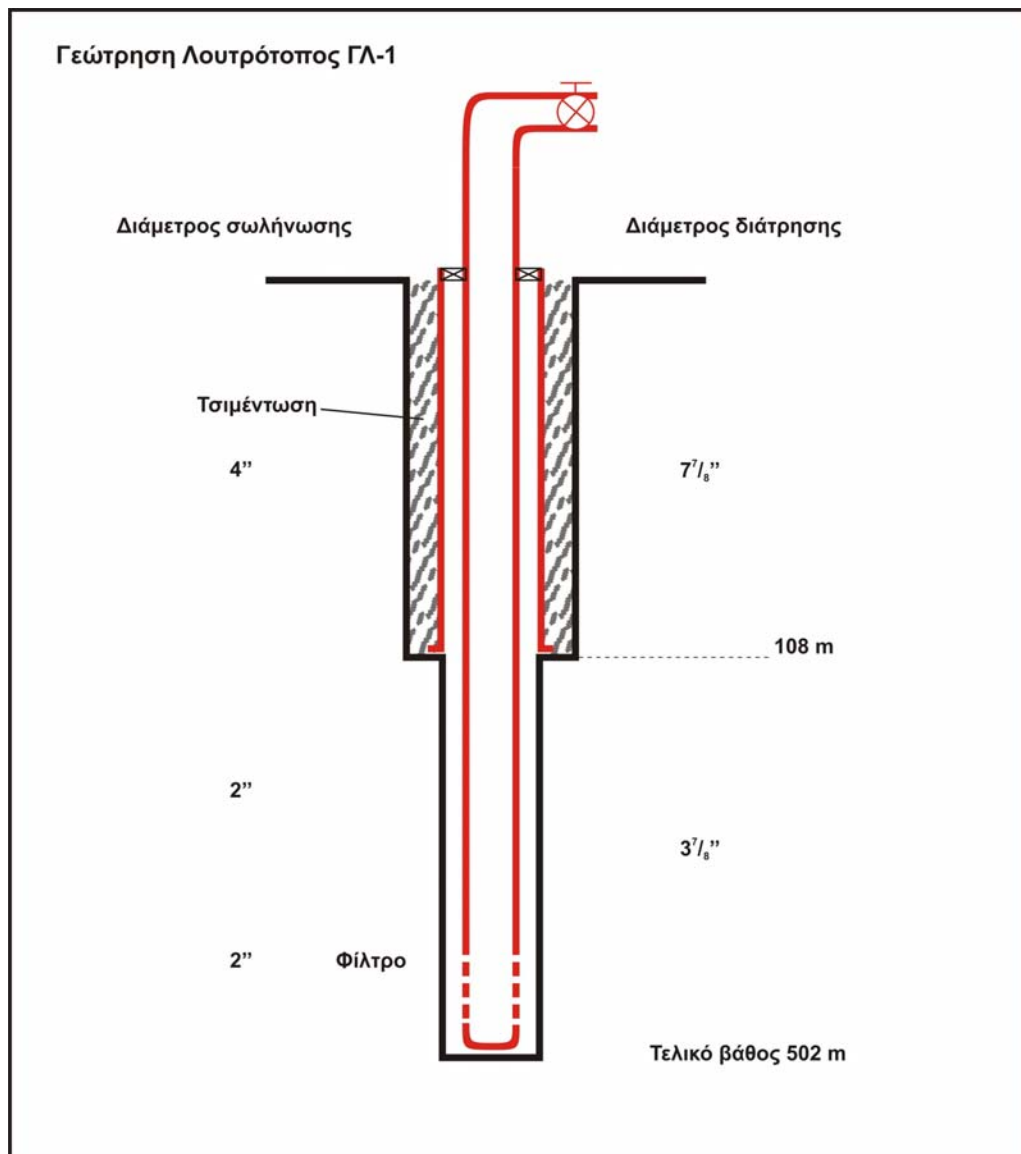
Αναλυτικότερα η κατασκευή κάθε ερευνητικής γεώτρησης έχει ως εξής:

## 6.1. Γεώτρηση Λουτροτόπου ΓΛ-1

Θέση: X=243911.00 Y=4327408.00 Z=5.00

Η διάτρηση ξεκίνησε την 18/7/2003 με κοπτικό διαμέτρου 7 7/8" μέχρι τα 108 μέτρα και η γεώτρηση σωληνώθηκε με σωλήνες 4" που τσιμεντώθηκαν.

Ακολούθησε η διάτρηση με κοπτικό 3 7/8" μέχρι τα 501 μέτρα. Στο διάστημα 280-283 μέτρα καθώς και 501-502 μέτρα έγινε διάτρηση με εξοπλισμό πυρηνοληψίας NQ και NX. Η γεώτρηση σωληνώθηκε με 2" σωλήνες γαλβανιζέ μέχρι τα 502 μέτρα, με διαμόρφωση του διαστήματος 478-502 μέτρων σε φίλτρα. Οι εργασίες τελείωσαν την 28/11/2003.



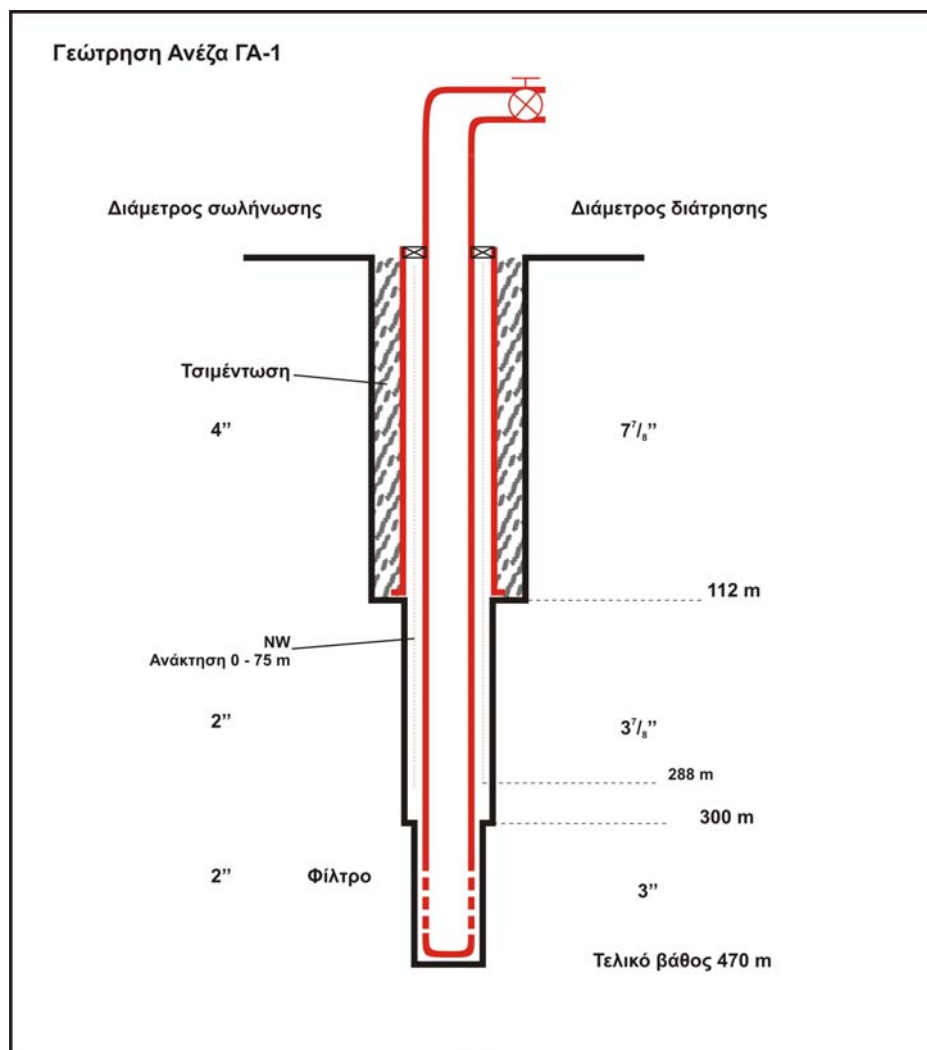
## 6.2. Γεώτρηση Ανέζας ΓΑ-1

Θέση: X=232105.00 Y=4330313.00 Z=2.00

Η διάτρηση ξεκίνησε την 17/12/2003 με κοπτικό διαμέτρου 7 7/8'' μέχρι τα 112 μέτρα και η γεώτρηση σωληνώθηκε με σωλήνες 4'' που τσιμεντώθηκαν.

Ακολούθησε η διάτρηση με κοπτικό 3 7/8'' μέχρι τα 300 μέτρα, και η σωλήνωση της γεώτρησης με NW σωλήνες μέχρι τα 288 μέτρα. Στο διάστημα 136-137,5 μέτρα έγινε διάτρηση με εξοπλισμό πυρηνοληψίας NX.

Η διάτρηση συνεχίστηκε με εξοπλισμό πυρηνοληψίας NX από 300-305μέτρα και αμέσως μετά με κοπτικό 3'' μέχρι τα 470 μέτρα. Η γεώτρηση σωληνώθηκε με 2'' σωλήνες γαλβανιζέ μέχρι τα 470 μέτρα, με διαμόρφωση του διαστήματος 440-470 μέτρων σε φίλτρα. Ανακτήθηκαν 75 μέτρα σωλήνων NW. Οι εργασίες τελείωσαν την 5/6/2004.





### 6.3. Γεώτρηση Συκιών ΓΣΠ-2

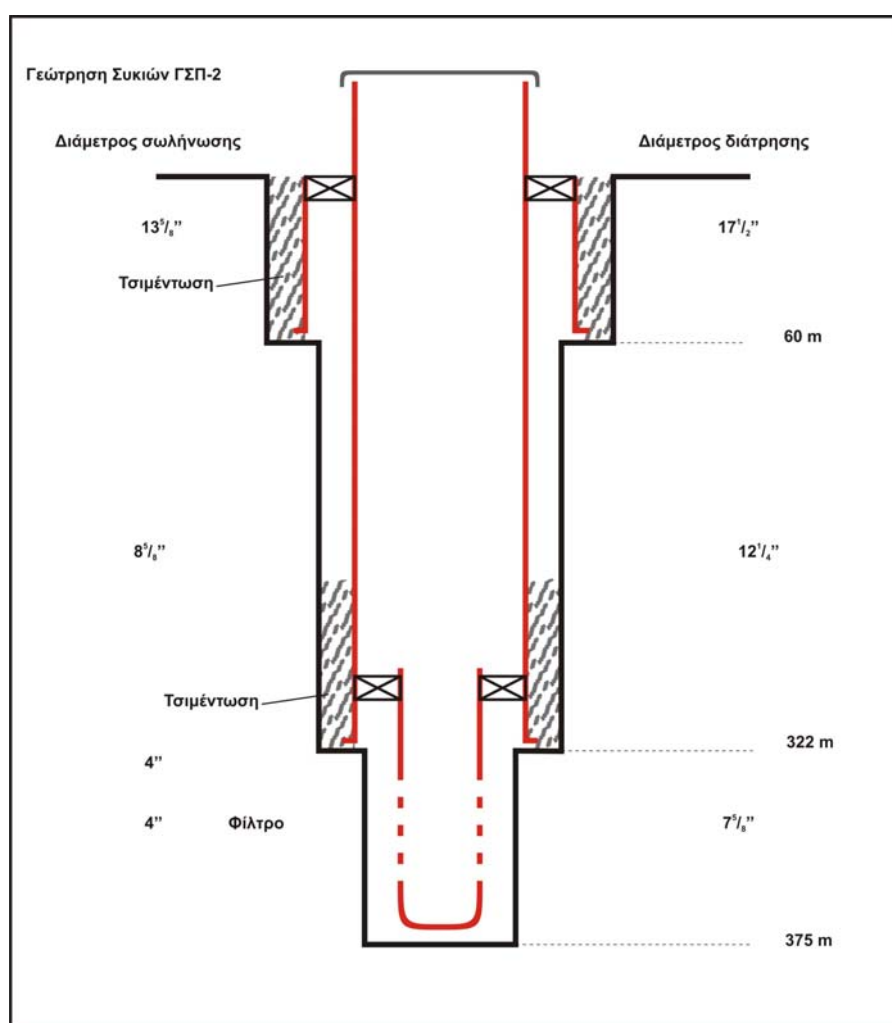
Θέση: X=244576.00 Y=4327072.00 Z=0.50

Η διάτρηση ξεκίνησε την 18/7/2003 με κοπτικό διαμέτρου 17 1/2" μέχρι τα 60 μέτρα και η γεώτρηση σωληνώθηκε με σωλήνες 13 5/8" που τσιμεντώθηκαν.

Ακολούθησε η διάτρηση με κοπτικό 12 1/4" μέχρι τα 322 μέτρα. Η γεώτρηση σωληνώθηκε με 8 5/8" σωλήνες γαλβανιζέ μέχρι τα 310 μέτρα που τσιμεντώθηκαν.

Ακολούθησε η διάτρηση με κοπτικό 7 5/8" μέχρι τα 375,5 μέτρα, και σωληνώθηκε με σωλήνες και φιλτροσωλήνες 4" από 297-375 μέτρα. Οι εργασίες τελείωσαν την 14/11/2004.

Τον Μάιο-Ιούνιο 2005 και πριν από την αντλητική δοκιμή έγιναν εργασίες καθαρισμού του μπαζωμένου τμήματος των φιλτροσωλήνων 4", με τη βοήθεια του γεωτρυπάνου Long year 44, με μερική επιτυχία.



## 7. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΓΣΠ-2

Οι αντλητική δοκιμή έγινε στη γεώτρηση ΓΣΠ-2 από τις 28/6/2005 μέχρι τις 30/6/2005, με τη μέθοδο air lift και χρήση εξοπλισμού διπλής σωλήνας που παρέχει τη δυνατότητα μετρήσεων πτώσης και επαναφοράς στάθμης. Κατά τη διαδικασία άντλησης η παροχή ήταν 40 m<sup>3</sup>/h.

Τα στοιχεία και οι μετρήσεις κατά τη διάρκεια της αντλητικής δοκιμής χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό των τιμών των παραμέτρων του υδροφορέα του γεωθερμικού ταμιευτήρα στη συγκεκριμένη περιοχή και την αξιοποίησή τους, μαζί με πλήθος άλλων στοιχείων, στη μελέτη του δυναμικού του γεωθερμικού ταμιευτήρα.



**Εικόνα 31:** Φωτογραφία κατά την άντληση

### 7.1. Επεξεργασία Στοιχείων - Αξιολόγηση Δεδομένων

Κατ' αρχή θεωρούμε σκόπιμο να υπενθυμίσουμε τις φυσικές έννοιες ορισμένων παραμέτρων που οι τιμές τους καθορίζονται από την επεξεργασία των στοιχείων και των μετρήσεων των αντλητικών δοκιμών.

Η υδροχωρητικότητα  $S$  δείχνει τον όγκο του νερού που ελευθερώνεται κατά την άντληση ανά μονάδα επιφανείας του υδροφόρου και ανά μονάδα μεταβολής της στάθμης του. Δηλαδή είναι αδιάστατο μέγεθος και εκφράζεται σαν κλάσμα της μονάδας.

Η υδροπερατότητα  $K$  δείχνει την ικανότητα του σχηματισμού (υδροφορέα) να μεταβιβάζει ένα όγκο νερού μέσα από μία επιφάνεια κάθετα προς την διεύθυνση ροής, έχει δε διαστάσεις ταχύτητας.

Η μεταβιβαστικότητα  $T$  δείχνει τον ρυθμό με τον οποίο ένας όγκος νερού μεταβιβάζεται μέσα από τη διατομή του υδροφόρου. Αποτελεί δηλαδή το γινόμενο της υδροπερατότητας επί το πάχος του υδροφόρου στρώματος ( $T = K \cdot h$ ).

Για την επεξεργασία των στοιχείων των μετρήσεων ξεκινάμε από την εξίσωση ροής του Theis

$$\sigma_m = \frac{Q}{4\pi T} * \int_0^{\infty} \frac{e^{-z}}{z} dz \quad (1)$$

όπου  $\sigma_m$  : η πτώση στάθμης

$z$  : η απόσταση της υδρομάστευσης

$r$  : η ακτίνα της γεώτρησης ή απόσταση από τον άξονα της γεώτρησης.

$$\text{Ορίζοντας} : u = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad (2)$$

$$\text{Έχουμε το ολοκλήρωμα} \int_u^{\infty} \frac{e^{-z}}{z} dz = W(u) \quad (3)$$

όπου  $W$  είναι η ένταση ροής, η δε επίλυσή του δίνεται από τη συγκλίνουσα σειρά :

$$W = -0,577216 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots \quad (4)$$

Έτσι, η εξίσωση Theis έχει τη μορφή :

$$\sigma_m = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (5)$$

Οι Cooper – Jacob προχώρησαν στην επίλυση της εξίσωσης Theis απλουστεύοντάς την όταν η τιμή  $r^2/t$  είναι πολύ μικρή, οπότε το άθροισμα των όρων της σειράς στην εξίσωση (4) μετά τον όρο  $1/u$  γίνεται αμελητέο.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η επίλυση Theis και Cooper – Jacob και η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε ημιλογαριθμικά (semi-log) διαγράμματα άντλησης με την πτώση στάθμης-χρόνο ( $\sigma_m-t$ ) και την επαναφορά ( $\sigma_m - \frac{t+\Delta t}{\Delta t}$ ).

Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν δίνονται στα διαγράμματα και στους σχετικούς πίνακες, όπου παρουσιάζονται ο χρόνος διάρκειας της άντλησης, η πτώση στάθμης και η αντίστοιχη παροχή άντλησης, μετρήσεις που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

Έτσι, υπολογίζονται οι παράμετροι του υδροφορέα της περιοχής της γεώτρησης όπως προκύπτουν από τα διαγράμματα που αναλύθηκαν και ερμηνεύθηκαν.

Από την πρώτη δοκιμή άντλησης προκύπτουν οι παρακάτω τιμές:

Μεταβιβαστικότητα  $T \text{ (m}^2\text{/min)} = 2.80 \times 10^{-2}$

(διάγραμμα άντλησης / πτώσης στάθμης)

Υδροπερατότητα  $K = \frac{T}{h}$  όπου  $h$  το πάχος του υδροφορέα, όπως προκύπτει

από τα χαρακτηριστικά διάτρησης και την περιοχή που τοποθετήθηκαν τα φίλτρα, δηλαδή έχουμε  $h=3\text{m}$ .

Επιλύνοντας την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι η υδροπερατότητα  $K$  έχει τιμή  $0.0093 \text{ m/min}$  ή  $15.5 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ , δηλαδή μέση τιμή υδροπερατότητας.

Υδροχωρητικότητα  $S = 6.3 \times 10^{-1}$

Η θερμοκρασία του παραγομένου ρευστού ήταν της τάξης των  $44^\circ\text{C}$ .

Παρόμοιας τάξης μεγέθους τιμές προκύπτουν από την ανάλυση και ερμηνεία και της δεύτερης δοκιμής άντλησης.

Για τον έλεγχο της ποιότητας της κατασκευής κάθε γεώτρησης υπολογίζεται ο συντελεστής απωλειών φορτίου της γεώτρησης, που αποτελεί ένδειξη της συμμετοχής της ποιότητας κατασκευής φίλτρων τη γεώτρησης, στην ολική πτώση στάθμης κατά την άντληση. Ο συντελεστής απωλειών φορτίου της γεώτρησης C (σε  $\text{min}^2/\text{m}^5$ ) βρίσκεται από τη σχέση :

$$\sigma_m = \frac{2.30}{4\Pi T} * \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} + C * Q^n$$

- όπου Q = η παροχή σε  $\text{m}^3/\text{min}$   
 T = η μεταβατικότητα σε  $\text{m}^2/\text{min}$   
 S = η υδροχωρητικότητα  
 R = η ακτίνα της γεώτρησης σε m  
 N = 2  
 T = ο χρόνος άντλησης σε min  
 $\sigma_m$  = η πτώση στάθμης σε m

Δηλαδή 
$$C = \frac{\sigma_m - \frac{2.3Q}{4\Pi T} * \log \frac{2.25Tt}{r^2 S}}{Q^n}$$

Αντικαθιστώντας τις αντίστοιχες τιμές στις συγκεκριμένες μονάδες, όπως υπολογίζονται από τα διαγράμματα των σχημάτων, προκύπτει ότι ο συντελεστής απωλειών φορτίου C έχει θετική τιμή, της τάξης των  $18.2 \text{ min}^2/\text{m}^5$ , δηλαδή σημαίνει ότι υπάρχουν απώλειες φορτίου στα τοιχώματα της γεώτρησης και τα φίλτρα αφού  $C > 0,5 \text{ min}^2/\text{m}^5$ .

Οι τιμές αυτές δείχνουν ότι το πρόβλημα του μπαζώματος της γεώτρησης, το οποίο έχει επισημανθεί στην τεχνική περιγραφή των γεωτρήσεων, δεν έχει πλήρως αποκατασταθεί με τον καθαρισμό, με αποτέλεσμα υπολείμματα μπεντονιτικής λάσπης και θρυμμάτων να εμποδίζουν τη ροή του γεωθερμικού νερού προς το εσωτερικό της γεώτρησης.

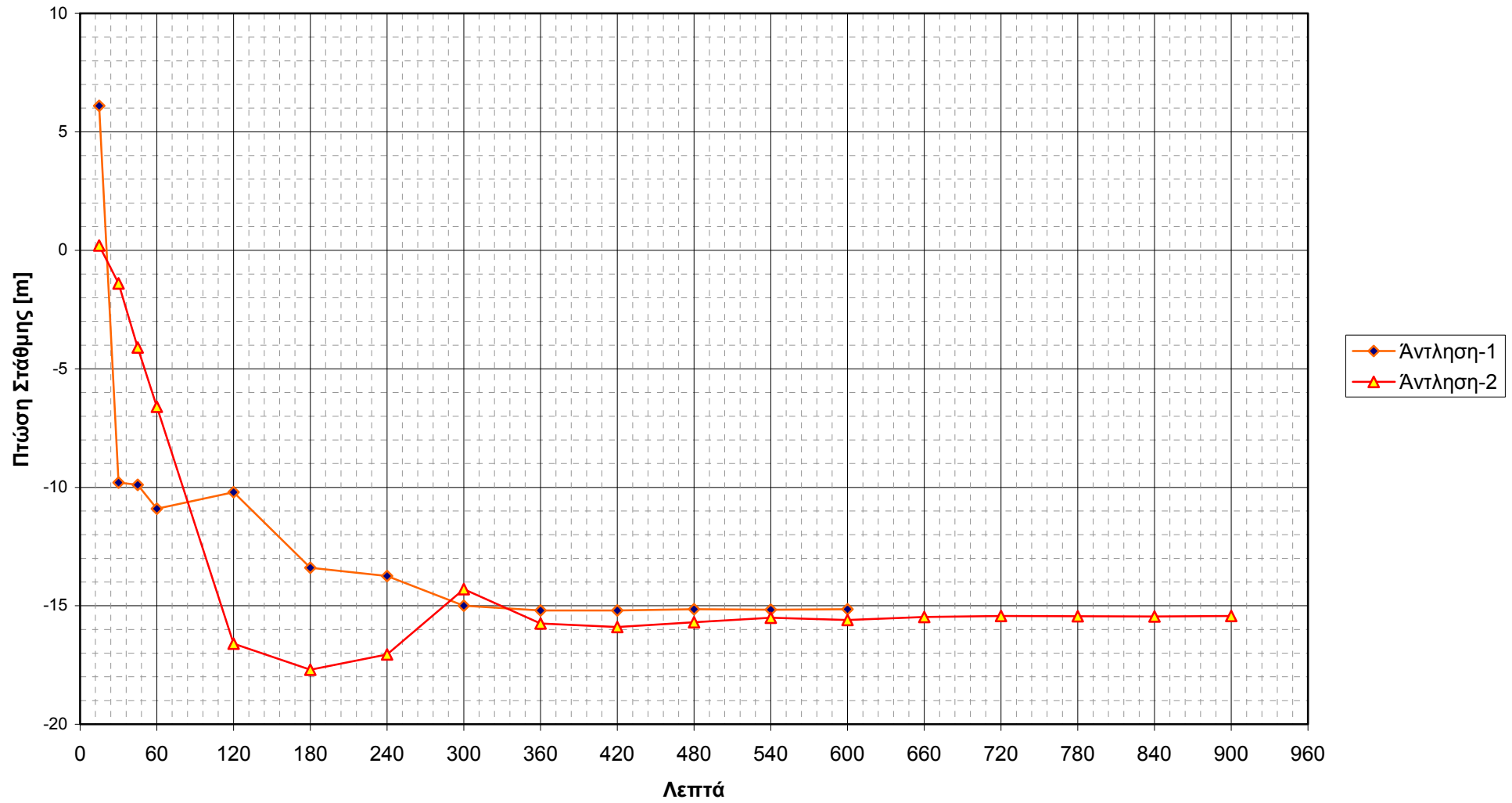
Ας σημειωθεί ότι σε μετρήσεις που έγιναν σε ερευνητικές γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν σαν γεωτρήσεις παρατήρησης, δε σημειώθηκε επίπτωση στη στάθμη.

Τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής της γεώτρησης, τα διατρητικά δεδομένα και τα αποτελέσματα των διαγραφιών, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα ταμιευτήρα που αποτελείται από ρωγματωμένους ασβεστολίθους που αποτελούν και το κυρίως γεωθερμικό ρεζερβουάρ.

Η μέτρια τιμή υδροπερατότητας που προκύπτει από την αξιολόγηση των αντλητικών δοκιμών, δείχνει σχετικά περιορισμένη δυνατότητα κυκλοφορίας του γεωθερμικού ρευστού μέσα στις διακλάσεις, που οφείλεται είτε στη δευτερογενή απόθεση αλάτων (κυρίως ασβεστίτη) είτε κυρίως στην παραμονή και στερεοποίηση λόγω θερμοκρασίας μέρους της μπεντονιτικής λάσπης που είχε χρησιμοποιηθεί και απολεσθεί κατά τη διάτρηση.



## Δοκιμαστικές Αντλήσεις ΣΠ-2









## 7.2. Διαγραφίες στις γεωτρήσεις (Logging)

Για την εκτέλεση των διαγραφιών (logging), χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός που διαθέτει το I.G.M.E. και έχει προμηθευτεί από την εταιρία Robertson (Robertson Geologging Log Analysis System 3.0).

Με τις κατάλληλες διαγραφίες, οι οποίες διενεργήθηκαν κατά περίπτωση στις γεωτρήσεις, είτε πριν είτε μετά την τοποθέτηση των σωληνώσεων, οριοθετήθηκε με ακρίβεια η επαφή των ασβεστολίθων με τα υπερκείμενα ιζήματα, καθώς και οι υδροπερατοί σχηματισμοί άμμου ή αμμοχάλικων οι οποίοι υδροφορούν και παρεμβάλλονται στους αργιλικούς σχηματισμούς. Έτσι, επιβεβαιώθηκαν οι ενδιαφέρουσες υδροφορίες οι οποίες συναντήθηκαν στα ιζήματα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των ερευνητικών γεωτρήσεων και καταγράφηκαν οι θερμοκρασίες των νερών και των πετρωμάτων κατά μήκος των γεωτρήσεων. Καταγράφηκε επίσης η θερμοκρασία κατά μήκος των ρωγματωμένων ασβεστολίθων που διατρήθηκαν.

Στις σωληνωμένες γεωτρήσεις εκτελέστηκαν οι διαγραφίες:

Temperature log (Θερμοκρασία)

Conductivity log (Αγωγιμότητα)

Ngamma log (Ακτινοβολία γ)

Στις ασωλήνωτες (πριν από την τοποθέτηση των σωληνώσεων) γεωτρήσεις εκτελεστήκαν επί πλέον αυτών, οι διαγραφίες:

Resistivity SH N, LO N, SPR (Ηλεκτρικές αντιστάσεις)

SP(Ηλεκτρικό δυναμικό)

## 8. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ –ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι δυνατότητες χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας ανάλογα με τη θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι ευρύτατες.

Οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής ενός γεωθερμικού πεδίου, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών, οι υπάρχουσες τοπικές συνθήκες, οι τεχνικές υποδομές, οι ενεργειακές ανάγκες υφισταμένων ή υπό ίδρυση γεωργικών, βιομηχανικών κ.λ.π. μονάδων είναι καθοριστικοί παράγοντες που προδιαγράφουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης – αξιοποίησής του και την βιωσιμότητα των μονάδων αυτών.

Στα πλαίσια της μελλοντικής τεχνικοοικονομικής μελέτης αξιοποίησης του πεδίου οι παράγοντες αυτοί είναι απαραίτητο να αξιολογηθούν αναλυτικά.

### 8.1. Τεχνικό Πλαίσιο Εκμετάλλευσης Γεωθερμικού Πεδίου

Έτσι λοιπόν το πρωταρχικό στοιχείο που είναι απαραίτητο για να ξεκινήσει οποιαδήποτε επένδυση στη γεωθερμία για την αξιοποίησή της σε γεωργικές, ιχθυοκαλλιεργητικές βιομηχανικές, τουριστικές κ.ά. χρήσεις είναι η αξιολόγηση του γεωθερμικού δυναμικού του πεδίου με την κατά το δυνατό πληρέστερη γνώση των αποθεμάτων θερμικής ενέργειας που διαθέτει, με αντλήσεις μακράς διάρκειας σε παραγωγικές γεωτρήσεις, η επιλογή θέσης εκτέλεσης των οποίων προϋποθέτει την άριστη γνώση της γεωλογικής δομής και του μοντέλου του πεδίου όπως έχει προσδιοριστεί από τις ερευνητικές εργασίες που έχουν γίνει.

Επισημαίνεται επίσης ότι η διάνοιξη των παραγωγικών γεωτρήσεων απαιτεί υψηλή τεχνογνωσία ώστε να γίνει η εκτέλεση τους τεχνικά άρτια, η δε κατασκευή των σωλήνων επένδυσης της γεώτρησης να είναι προσαρμοσμένη στις φυσικοχημικές ιδιότητες και την πιθανή διαβρωτική δράση των ρευστών.

Ακόμη η παρουσία CO<sub>2</sub>, μπορεί να παρουσιάσει οικονομικό ενδιαφέρον, αφού με την τοποθέτηση ειδικού εξοπλισμού στη γεώτρηση είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του στα θερμοκήπια. Είναι δε γνωστό ότι η ελεγχόμενη αύξηση της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στο χώρο του θερμοκηπίου προκαλεί ταχύτερη ανάπτυξη των φυτών.

Η γεωχημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών ασκεί μεγάλη επίδραση στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την άντληση και μεταφορά του ζεστού



νερού στην τελική χρήση. Η αυξημένη περιεκτικότητα του γεωθερμικού ρευστού σε διαλυμένα άλατα προκαλεί συνήθως, λόγω πτώσης της πίεσης κατά την εκμετάλλευση, την εναπόθεση αλάτων στις σωλήνες των γεωτρήσεων καθώς και στις σωληνώσεις μεταφοράς. Η απόφραξη των σωληνώσεων μπορεί να γίνει σχετικά σύντομα και να προκαλέσει προβλήματα ομαλής τροφοδοσίας της εγκατάστασης με ζεστό νερό, ανάγκη συχνών επισκευών και αντικαταστάσεων υλικών και αυξημένο κόστος παραγωγής λόγω της χρήσης επί πλέον εξοπλισμού κατά την εκμετάλλευση.

#### 8.1.1. Χημισμός ρευστών

Από τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων ρευστών που έχουν συλλεγεί κατά τη διάρκεια των ερευνητικών εργασιών, διαπιστώθηκε ότι τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν διαλυμένα άλατα και υδροθείο.

Η επιβάρυνση των ρευστών που κυκλοφορούν στους ασβεστολίθους είναι μεγαλύτερη από εκείνη των ρευστών που κυκλοφορούν στους υπερκείμενους περατούς ιζηματογενείς σχηματισμούς. Τα προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν κατά την άντληση και χρήση των γεωθερμικών ρευστών είναι:

- επικαθήσεις αλάτων στις σωληνώσεις
- διαβρώσεις σωληνώσεων και εξοπλισμού
- επίδραση στο περιβάλλον (οσμές υδροθείου, επιβάρυνση εδαφών)

#### 8.1.2. Αντιμετώπιση Προβλημάτων

Πριν από την αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου, πρέπει να γίνουν κατάλληλες μελέτες με προτάσεις για τις προσφορότερες λύσεις για την αποφυγή – αντιμετώπιση των προβλημάτων που αναφέρθηκαν:

- Προσθήκη χημικών που εμποδίζουν τις επικαθήσεις αλάτων
- Χρήση εναλλακτών θερμότητας
- Χρήση συστήματος υπόγειου εναλλάκτη θερμότητας
- Επανεισαγωγή των χρησιμοποιούμενων γεωθερμικών ρευστών σε υπόγειους υδροφορείς
- Δέσμευση  $H_2S$

Η έγκαιρη προετοιμασία από τεχνικής απόψεως και η ορθή εκτίμηση κόστους άντλησης και ανάκτησης της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών θα οδηγήσει σε βιώσιμες μονάδες.

## 9. Προσομοίωση του γεωθερμικού πεδίου

Προσομοίωση γεωλογικών διεργασιών ονομάζεται η κατασκευή αναπαραστάσεων (α) της γεωμετρίας και της (β) χωρικής κατανομής των ιδιοτήτων του γεωλογικού χώρου στον οποίο εξελίσσεται η διεργασία, και (γ) η αναπαράσταση των δυναμικών φαινομένων της ίδιας διεργασίας.

Το αποτέλεσμα του συνόλου αυτών των εργασιών αποτελεί το μοντέλο της διεργασίας. Το κεφάλαιο αυτό βασίστηκε στις εκθέσεις: «Μοντελοποίηση του γεωθερμικού πεδίου Συκιών Άρτας», Ε. Σπυριδωνος, Δεκέμβριος 2005 και «Οριστικό Μοντέλο του γεωθερμικού πεδίου Συκιών Άρτας», Ε. Σπυριδωνος, Δεκέμβριος 2006,.

### 9.1. Στάδια εργασιών προσομοίωσης

Οι εργασίες προσομοίωσης μπορούν να ταξινομηθούν με την παρακάτω σειρά:

- i) συλλογή και αξιολόγηση στοιχείων
- ii) επιλογή συστήματος επεξεργασίας (λογισμικού και υλικού) και ένταξη των στοιχείων σε αυτό
- iii) κατασκευή γεωλογικού μοντέλου (conceptual model)
- iv) κατασκευή γεωμετρικού μοντέλου
- v) εκτίμηση ιδιοτήτων του εξεταζόμενου γεωλογικού χώρου
- vi) προσομοίωση των δυναμικών φαινομένων (ροή γεωθερμικών ρευστών σε μία ή περισσότερες φάσεις, θερμική διάχυση, μεταφορά και διάχυση διαλυμένων ουσιών) στο χώρο που ορίζει το γεωμετρικό μοντέλο και με τις ιδιότητες που έχουν εκτιμηθεί.

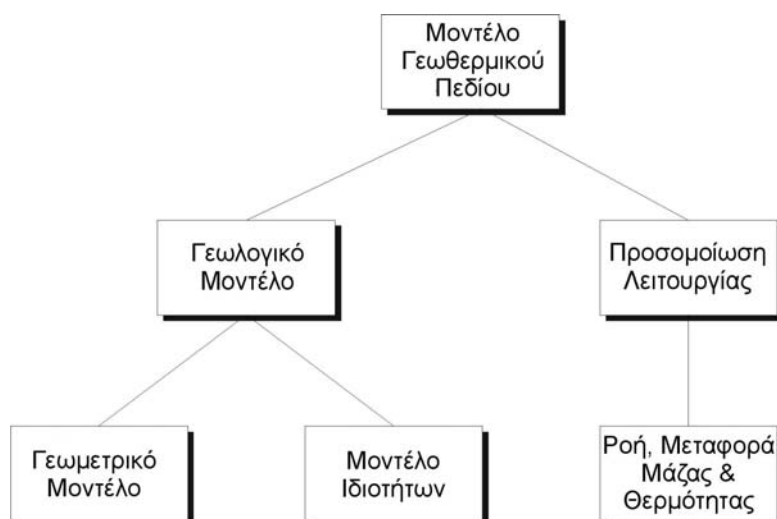
Τα σημεία i) – v) αποτελούν αντικείμενο του προκαταρκτικού γεωλογικού μοντέλου, ενώ στο σημείο vi) όλα τα προηγούμενα συντίθενται σε ένα οριστικό μοντέλο.

Πρέπει να τονιστεί ότι η διαδικασία της γεωλογικής προσομοίωσης είναι επαναληπτική, δηλαδή ανάλογα με τα αποτελέσματα του κάθε σταδίου εργασιών απαιτείται επιστροφή σε προηγούμενα στάδια και αναθεώρησή τους, μέχρι που να επιτευχθούν τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα.

## 9.2. Θεωρία Προσομοίωση Γεωθερμικών πεδίων

Με βάση όσα αναφέρθηκαν στην εισαγωγή, η προσομοίωση ενός γεωθερμικού πεδίου μπορεί να επιτευχθεί με τρία επί μέρους υπομοντέλα (Εικόνα 1):

*το γεωμετρικό μοντέλο, το μοντέλο ιδιοτήτων και το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας*



**Εικόνα 32:** Δομή ενός μοντέλου προσομοίωσης γεωθερμικού πεδίου

Το γεωμετρικό και το μοντέλο ιδιοτήτων αποτελούν το γεωλογικό μοντέλο του πεδίου και είναι το στατικό τμήμα του συνολικού μοντέλου, το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας, που είναι και το αντικείμενο της παρούσας έκθεσης, αποτελεί το δυναμικό τμήμα του μοντέλου. Πιο λεπτομερής παρουσίαση των παραπάνω μπορεί να βρεθεί στο: K. PRUESS, Mathematical modeling of fluid flow and heat transfer in geothermal systems – an introduction in five lessons, October 2002.

## 9.3. Μαθηματικό Μοντέλο λειτουργίας – Γενικές αρχές

Το λογισμικό για την προσομοίωση της λειτουργίας ενός υδροθερμικού πεδίου περιγράφει τη μεταφορά θερμότητας και μάζας (διαλυμάτων) σε ένα σύστημα ροής υπόγειου νερού. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να περιγραφούν με διαφορικές εξισώσεις τα φαινόμενα της ροής του υπόγειου νερού, της μεταφοράς θερμότητας και της μεταφοράς διαλυμάτων. Οι τρεις αυτές εξισώσεις συνδέονται με (α) το πεδίο ταχυτήτων ροής του ρευστού, (β) την εξάρτηση του ιξώδους του ρευστού από την θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του διαλύματος και (γ) την

εξάρτηση της πυκνότητας του υγρού από την πίεση θερμοκρασία και συγκέντρωση του διαλύματος. Οι εξαρτημένες μεταβλητές για τις οποίες λύνεται ένα τέτοιο σύστημα εξισώσεων είναι:

πίεση  $p$ , θερμοκρασία  $T$  και συγκέντρωση διαλύματος  $c$ .

Ο λόγος που επιλέγεται η πίεση σαν εξαρτημένη μεταβλητή της ροής αντί της πιεζομετρίας είναι ότι για πεδία ροής που βασίζονται σε δυναμικό θερμοκρασίας ή/και συγκέντρωσης δεν υπάρχει συνάρτηση πιεζομετρίας. Η λύση ενός τέτοιου συστήματος διαφορικών εξισώσεων επιτυγχάνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών ή των πεπερασμένων στοιχείων. Εκτός από την επαναδιατύπωση των εξισώσεων, απαιτείται ο ορισμός αρχικών και οριακών συνθηκών για το σύστημα που μοντελοποιείται. Όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, το γεωλογικό μοντέλο (γεωμετρικό και ιδιοτήτων) εξυπηρετεί ακριβώς αυτόν τον σκοπό παρέχοντας αυτά τα στοιχεία για εισαγωγή στο σύστημα προσομοίωσης.

Η ροή του υπόγειου νερού περιγράφεται από το νόμο του DARCY, σε συνδυασμό με το νόμο της συνέχειας.

Η εξίσωση μεταφοράς ενέργειας (θερμότητας) βασίζεται στη διατήρηση της ενθαλπίας στο ρευστό και στον ταμιευτήρα. Η ενθαλπία περιέχει τόσο τη θερμική όσο και την κινητική ενέργεια, η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η θερμοκρασία.

Η εξίσωση μεταφοράς διαλυμάτων βασίζεται στην αρχή της διατήρησης της μάζας.

#### **9.4. Παράμετροι του μοντέλου**

Για να γίνει δυνατή η λύση του συστήματος των διαφορικών εξισώσεων της ροής ρευστού, μεταφοράς θερμότητας και μεταφοράς μάζας (διαλυμάτων), είναι απαραίτητη η γνώση ορισμένων παραμέτρων που περιγράφουν τις ιδιότητες του γεωθερμικού ρευστού, του μέσου που διαρρέεται (ταμιευτήρα) και τα φαινόμενα μεταφοράς. Ορισμένες παράμετροι είναι συνάρτηση της πίεσης, της θερμοκρασίας ή της συγκέντρωσης.

Οι ιδιότητες του ρευστού είναι η πυκνότητα ( $f[p,T,c]$ ), το ιξώδες ( $f[T,c]$ ), η θερμοχωρητικότητα, η θερμική αγωγιμότητα και η ενθαλπία της ρευστής φάσης ( $f[p,T,c]$ ).

Οι ιδιότητες του ταμιευτήρα είναι το πορώδες, η συμπιεστικότητα, η περατότητα, η θερμοχωρητικότητα, η θερμική αγωγιμότητα και η ενθαλπία του ταμιευτήρα ( $f[T]$ ).

Οι παράμετροι της μεταφοράς είναι τα ανύσματα της διάχυσης θερμότητας και διαλυμάτων, οι συντελεστές εξασθένησης και απορρόφησης των διαλυμάτων.

### **9.5. Ρύθμιση του μοντέλου - Προγνώσεις**

Το μοντέλο λειτουργίας πριν χρησιμοποιηθεί για προβλέψεις πρέπει να ρυθμιστεί. Το στάδιο της ρύθμισης περιλαμβάνει τρία στάδια:

*(α) την αρχική ρύθμιση, (β) την ανάλυση ευαισθησίας και (γ) την επαλήθευση.*

Στην αρχική ρύθμιση (calibration) το μοντέλο υπολογίζεται για μια καταληκτική περίοδο που τα στοιχεία είναι γνωστά, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να συγκριθούν με τα πραγματικά. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται αρκετές φορές με τις απαραίτητες τροποποιήσεις στο σύνολο των παραμέτρων του μοντέλου μέχρι τα αποτελέσματα να συμφωνούν με τις μετρημένες τιμές.

Στο στάδιο της ανάλυσης ευαισθησίας (sensitivity analysis) το μοντέλο ελέγχεται για τη σταθερότητά του στην μεταβολή των παραμέτρων. Εάν για μικρές μεταβολές παραμέτρων παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές αποτελεσμάτων, πρέπει να επανεξεταστεί η διατύπωση του μοντέλου.

Τέλος στο στάδιο της επαλήθευσης (verification) τα αποτελέσματα των υπολογισμών ελέγχονται με άλλα στοιχεία (αρχικές συνθήκες και καταληκτική περίοδος) από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην αρχική ρύθμιση, ώστε να επιβεβαιωθεί η προβλεπτική ικανότητα του μοντέλου και να αποκλειστεί η πιθανότητα της εξάρτησης των παραμέτρων από τα στοιχεία της αρχικής ρύθμισης.

Εφ' όσον το μοντέλο περάσει αυτά τα τρία στάδια επιτυχώς θεωρείται ρυθμισμένο και μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για προγνώσεις και για έλεγχο σεναρίων λειτουργίας του εξεταζόμενου γεωθερμικού πεδίου.

## **9.6. Το λογισμικό SHEMAT & PROCESSING SHEMAT (PS)**

Για την προσομοίωση των γεωθερμικών ταμειυτήρων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SHEMAT (Simulator for HEat and MAAss Transport) και Processing SHEMAT (PS) (CLAUSER, 2003).

Πρόκειται για λογισμικό πεπερασμένων διαφορών, προσομοίωσης χημικών αντιδράσεων και μεταφοράς, με δυνατότητα εφαρμογής σε μια σειρά από υδρογεωλογικά και γεωθερμικά προβλήματα, σε 2 και 3 διαστάσεις. Ειδικότερα, το SHEMAT επιλύει συζευγμένα προβλήματα ροής ρευστών, μεταφοράς θερμότητας, διαλυμένων ουσιών και χημικής αντίδρασης νερού με πετρώματα, σε συνθήκες κορεσμένου πορώδους μέσου.

Το λογισμικό Processing SHEMAT (PS) είναι μια γραφική διαδραστική επιφάνεια (graphical user interface, GUI) για το SHEMAT. Βασίζεται στο λογισμικό Processing MODFLOW version 5.0 των Chiang and Kinzelbach (2001).

Αναλυτική παρουσίαση των δυνατοτήτων και η τεκμηρίωση του λογισμικού παρουσιάζεται στο βιβλίο: “Numerical Simulation of Reactive Flow in Hot Aquifers”, Christoph Clauser (Ed.), Springer, 2003, που υπάρχει στη βιβλιοθήκη της ΔΙ.ΓΕ.ΘΜ.Υ.

## **9.7. Μεθοδολογία προσομοίωσης**

Στις εφαρμογές που παρουσιάζονται εδώ, τα στοιχεία δεν επαρκούν για μία πλήρη ρύθμιση των μοντέλων. Η ρύθμισή τους βασίζεται στα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αντλήσεων στις παραγωγικές γεωτρήσεις. Η διάρκεια των αντλήσεων (συνήθως 48 ώρες) και η έλλειψη μετρήσεων σε άλλα σημεία στον υδροφορέα, εκτός από την αντλούμενη γεώτρηση, δεν εξασφαλίζει μία αξιόπιστη ρύθμιση ώστε το μοντέλο να χρησιμοποιηθεί για προβλέψεις μακράς διάρκειας (π.χ. για μία 10-ετία).



Η ακολουθούμενη μέθοδος, με τους παραπάνω περιορισμούς, είναι η ακόλουθη:

- i. Μεταφορά της γεωμετρίας και των αρχικών τιμών θερμοκρασίας, όπως είχαν υπολογιστεί στο προκαταρκτικό μοντέλο, στο μοντέλο πεπερασμένων διαφορών του SHEMAT
- ii. Προσομοίωση της κύριας δοκιμαστικής άντλησης με το λογισμικό SHEMAT και ρύθμιση των παραμέτρων, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή αναπαράσταση της εξέλιξης της άντλησης
- iii. Εάν έχουν γίνει περισσότερες αντλήσεις, αναπαρίστανται και αυτές,. Τα βήματα ii. & iii. Επαναλαμβάνονται μέχρι να επιτευχθεί ένα σετ αρχικών συνθηκών και παραμέτρων που αναπαριστά όσο το δυνατόν πιστότερα όλες τις αντλήσεις
- iv. Εφαρμογή ενός μακροχρόνιου σεναρίου εκμετάλλευσης του ταμιευτήρα από την παραγωγική γεώτρηση ώστε να προβλεφθεί η συμπεριφορά του πεδίου σε βάθος χρόνου σε συνθήκες αξιοποίησης.

Λόγω των περιορισμών που αναφέρθηκαν στην αρχή, τα αποτελέσματα της πρόγνωσης πρέπει να αντιμετωπίζονται με σκεπτικισμό και να ερμηνευτούν περισσότερο ποιοτικά και όχι αυστηρά ποσοτικά.

## 9.8. Ψηφιοποίηση - Εισαγωγή και Επεξεργασία στοιχείων

### 9.8.1. Τοπογραφικός και γεωλογικός χάρτης, γεωλογικές τομές

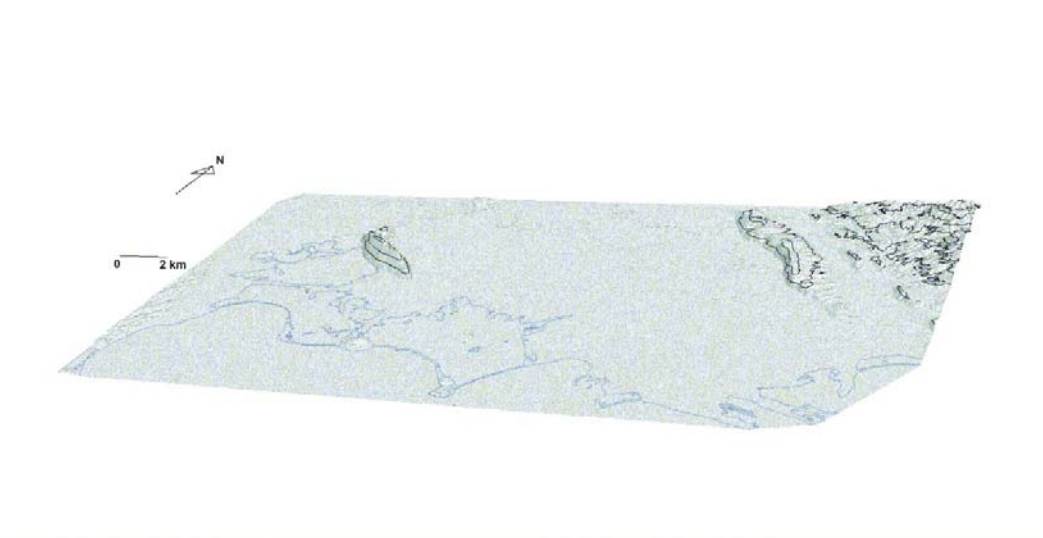
Για την επεξεργασία των δεδομένων σε υπολογιστή αρχικά απαιτείται η ψηφιοποίησή τους. Στην συγκεκριμένη περιοχή, τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- τοπογραφικοί χάρτης 1:50000
- γεωλογικός χάρτης 1:50000 (Εικόνα 15)

Για την τοπογραφία χρησιμοποιήθηκαν οι ψηφιοποιημένοι χάρτες 1:50000 της ΓΥΣ, φύλλα Άρτα και Πέτας, που έχει στη διάθεσή της η ΔΙΓΕΘΜΥ. Ο γεωλογικός χάρτης ψηφιοποιήθηκε πάνω στο τοπογραφικό υπόβαθρο. Συγκεκριμένα ψηφιοποιήθηκαν τα όρια των γεωλογικών σχηματισμών και τα ρήγματα. Επιπλέον ψηφιοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία:

- Τα στοιχεία των γεωτρήσεων (θέση, βάθος, περιγραφές, μετρήσεις θερμοκρασιών)
- Η γεωλογική τομή ΑΒΓ (Εικόνα 16)

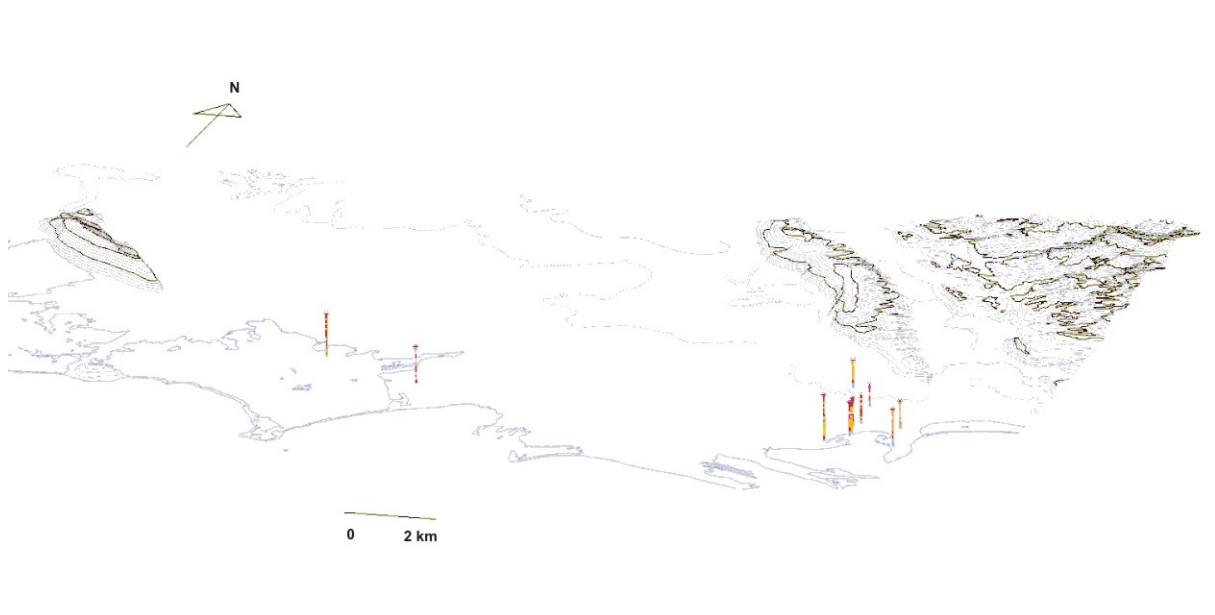
Οι τομή ψηφιοποιήθηκε με σάρωση και ακολούθως επεξεργασία στον υπολογιστή για τη μετατροπή των στοιχείων από τη ψηφιδωτή μορφή (raster) σε ανυσματική μορφή (vector) η οποία επιτρέπει την παραπέρα επεξεργασία με χαρτογραφικό και σχεδιαστικό λογισμικό. Στην Εικόνα 33 παρουσιάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) που προέκυψε από τις ψηφιοποιημένες ισοϋψείς.



**Εικόνα 33:** Ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (DTM) της τοπογραφίας της περιοχής μελέτης με τις ψηφιοποιημένες ισοϋψείς

### 9.8.2. Γεωτρήσεις – Θερμομετρήσεις σε εμφανίσεις ύδατος

Τα στοιχεία των συνολικά 13 γεωτρήσεων (ερευνητικών και της παραγωγικής) καταχωρήθηκαν με τη μορφή της τρισδιάστατης βάσης δεδομένων (Εικόνα 34) που περιγράφηκε στην 1η έκθεση προόδου του έργου (ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, 2004). Το γεωλογικό μοντέλο που προέκυψε από το συνδυασμό όλων αυτών των στοιχείων παρουσιάζεται και αναλύεται στα επόμενα κεφάλαια. Όλες οι μετρήσεις θερμοκρασιών σε γεωτρήσεις και σε πηγές της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθεί η κατανομή των θερμοκρασιών στο υπέδαφος.

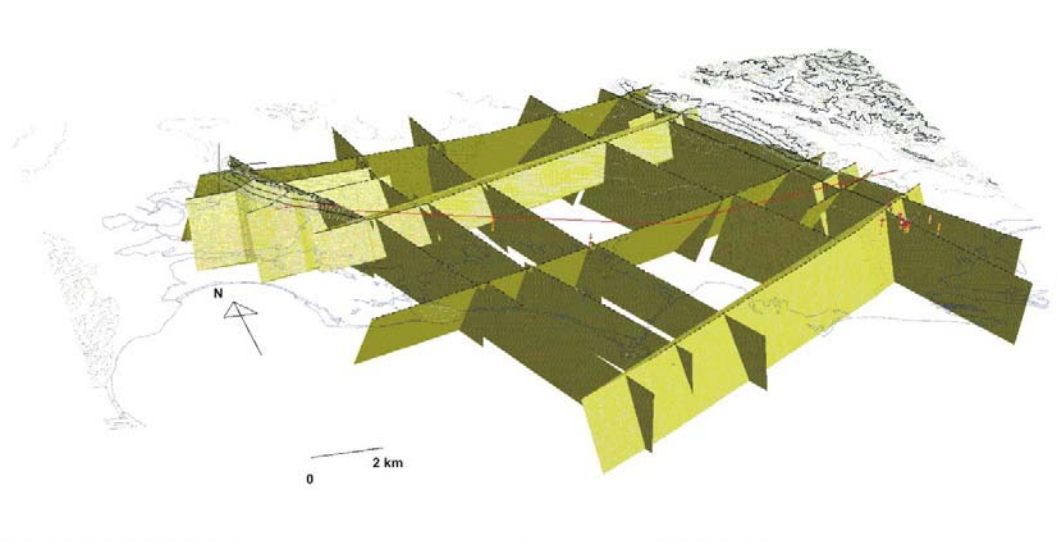


**Εικόνα 34:** Τρισδιάστατη παρουσίαση της ψηφιακής βάσης γεωτρήσεων

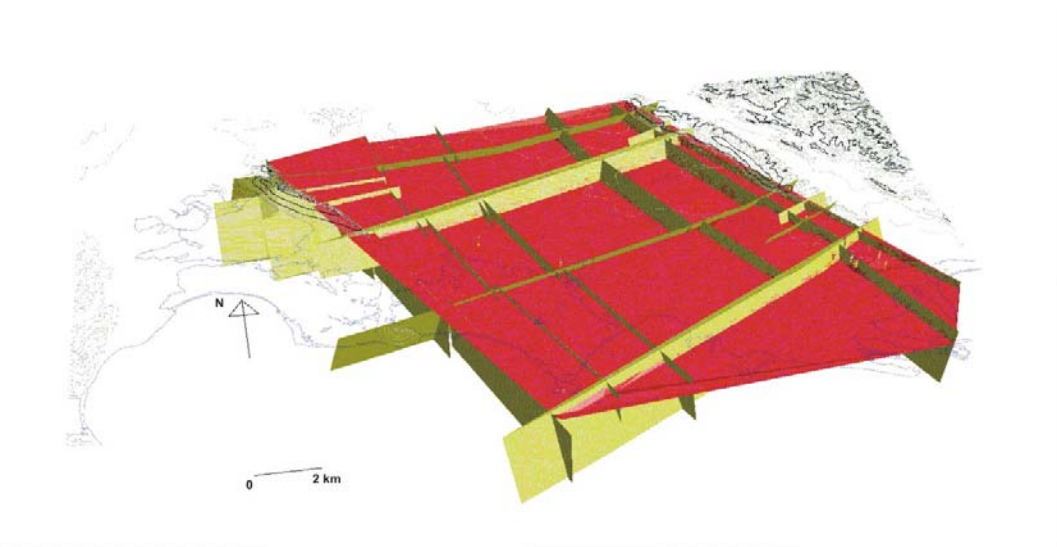
## 9.9. Γεωμετρικό μοντέλο

Για την κατασκευή του γεωμετρικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η ψηφιοποιημένη τοπογραφία, τα όρια των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής, τα ίχνη των ρηγμάτων και τα στοιχεία των γεωτρήσεων.

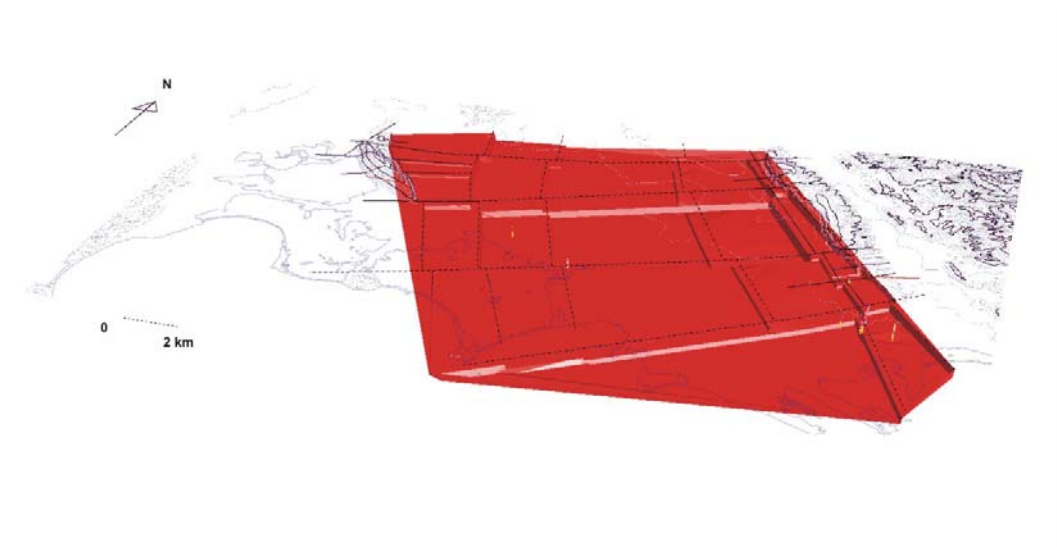
Από την τοπογραφία της περιοχής κατασκευάστηκε αρχικά το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο επιφανείας (DTM). Πάνω σε αυτό το μοντέλο τοποθετήθηκαν τα ίχνη των ρηγμάτων και μετά η γεωλογική τομή. Ακολούθως μοντελοποιήθηκαν τα ρήγματα (Εικόνα 35). Τέλος, τα στοιχεία από τις γεωτρήσεις συνδυάστηκαν με τα παραπάνω και κατασκευάστηκε το ψηφιακό μοντέλο της οροφής του ανθρακικού υποβάθρου (Εικόνα 37).



**Εικόνα 35:** Οι κυριότερες ρηξιγενείς επιφάνειες στο γεωμετρικό μοντέλο υπεδάφους



**Εικόνα 36:** Γεωλογικό μοντέλο υπεδάφους, με τις ρηξιγενείς επιφάνειες και την οροφή του ανθρακικού υποβάθρου



**Εικόνα 37:** Γεωλογικό μοντέλο υπεδάφους, η οροφή του αλπικού υποβάθρου

### 9.9.1. Μοντέλο ιδιοτήτων

Ένα γεωλογικό ψηφιακό μοντέλο εκτός από τη γεωμετρία πρέπει να αναπαριστά και την κατανομή στο χώρο των ιδιοτήτων (διακριτών ή συνεχών) του γεωλογικού σχηματισμού που προσομοιώνει. Οι διακυμάνσεις των συνεχών χαρακτηριστικών στο χώρο μοντελοποιούνται με το διαχωρισμό σε διακριτούς όγκους (κυψέλες) ομοιόμορφες ή και μεταβλητού μεγέθους. Για μεγέθη μεταβλητά στο χρόνο (στάθμη υδροφορέα, θερμοκρασία και χημισμός υδροθερμικών ρευστών) απαιτείται και η διακριτοποίηση του χρόνου, με την επιλογή ομοιόμορφου ή μεταβλητού χρονικού βήματος. Στον όγκο κάθε κυψελίδας του χώρου οι κατανομή των παραμέτρων θεωρείται ομογενής, ενώ στη διάρκεια κάθε χρονικού βήματος τα αντίστοιχα μεγέθη θεωρούνται σταθερά. Οι διάφοροι τύποι μοντέλων ιδιοτήτων περιγράφηκαν στην 1η έκθεση προόδου του έργου (ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, 2004).

### 9.9.2. Χαρακτηριστικά του μοντέλου

Στη λεκάνη της Άρτας το γενικό μοντέλο ιδιοτήτων χωρίστηκε σε δύο υπομοντέλα, ένα για τα υδροφόρα κροκαλοπαγή που παρεμβάλλονται στα ιζήματα που πληρούν τη λεκάνη και ένα για τον ανθρακικό γεωθερμικό ταμειυτήρα. Τα μοντέλα αυτό κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο του κανονικού μοντέλου 3D μεταβλητού μπλοκ (Εικόνα 38). Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει διαστάσεις 8000 X 8000 X 1600 m, το επίπεδο βάσης του μοντέλου βρίσκεται σε βάθος –800 m από το επίπεδο της θάλασσας και οι διαστάσεις των μπλοκ είναι 250 X 250 X 25 m. Για την καλύτερη προσαρμογή στην γεωμετρία των σχηματισμών υπάρχει η δυνατότητα τα μπλοκ να χωριστούν έως και σε 64 μικρότερα “υπομπλόκ” (sub-block) διαστάσεων 125 X 125 X 12.5 m.

Για την τελική μορφή του, συνδυάστηκε με την τοπογραφία και το γεωμετρικό μοντέλο υπεδάφους (εικ. 34 - 36). Η ιδιότητα που αποδόθηκε αρχικά σε αυτό το μοντέλο είναι η θερμοκρασία.



**Εικόνα 38:** Το μοντέλο ιδιοτήτων για τα ανθρακικά πετρώματα, στην περιοχή των Συκών. Παρουσιάζεται μόνο το τμήμα κάτω από την τοπογραφία. Διακρίνονται οι μεταβλητές διαστάσεις των μπλοκ.

## 9.10. Γεωστατιστική εκτίμηση της κατανομής θερμοκρασιών στο υπέδαφος

Ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία και το στάδιο της μελέτης επιλέγονται διάφοροι τρόποι εκτίμησης των ιδιοτήτων ώστε να δοθούν τιμές στα μπλοκ του μοντέλου. Οι διάφορες μέθοδοι εκτίμησης περιγράφηκαν στην 1η έκθεση προόδου του έργου (ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, 2004).

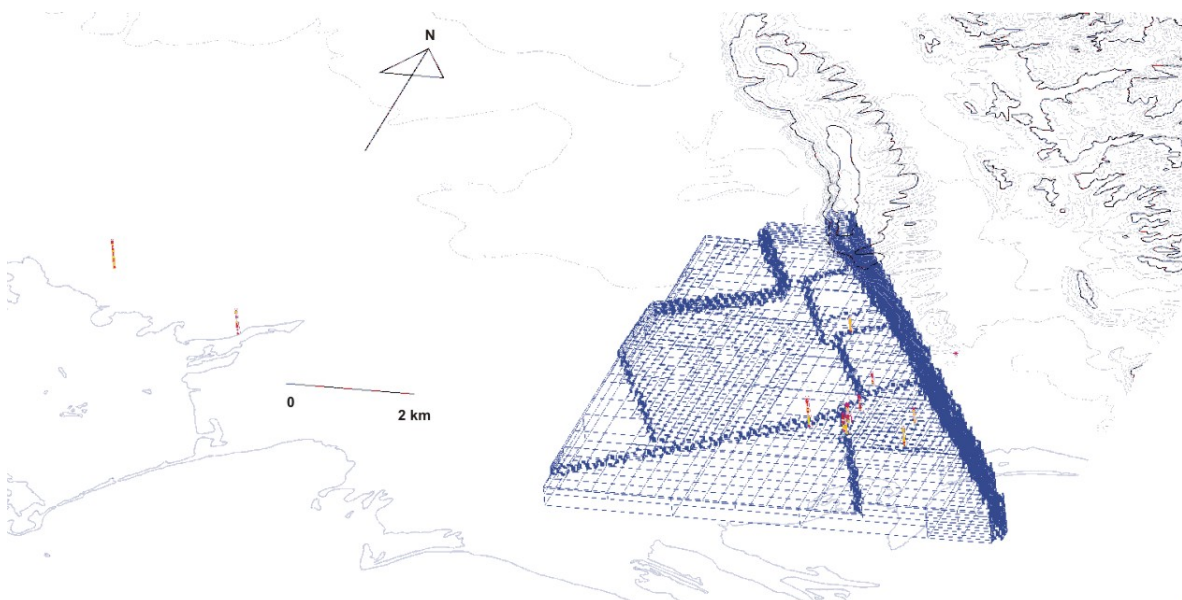
Στο πρώτο στάδιο, πριν από την εκτίμηση των τιμών των μπλοκ, γίνεται στατιστική επεξεργασία των στοιχείων (μορφή κατανομής, μέσος όρος, διασπορά), έλεγχος για πιθανές τιμές εκτός των ορίων. Αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο για την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας, επειδή ορισμένες μέθοδοι απαιτούν συγκεκριμένες κατανομές των δεδομένων. Ακόμη τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων που θα προκύψουν από την εκτίμηση πρέπει να είναι συγκρίσιμα με αυτά του αρχικού δείγματος.

Για την εκτίμηση της θερμοκρασίας σε όλο το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος γραμμικής παρεμβολής της επιβάρυνση αντίστροφης απόστασης (Inverse Distance Weighting – IDW), που μειώνει την επίδραση των δειγμάτων στην



εκτιμώμενη τιμή ανάλογα με την απόστασή τους από το μπλοκ. Με τη μέθοδο αυτή, ορίζεται γύρω από το κάθε μπλοκ του μοντέλου για περιοχή έρευνας, το ερευνητικό ελλειψοειδές (search ellipsoid). Σε περίπτωση που το γεωλογικό σώμα που μελετάμε μπορεί να θεωρηθεί ομογενές και ισότροπο ως προς την εκτιμώμενη ιδιότητα, το ελλειψοειδές μετατρέπεται σε σφαίρα και για τον ορισμό του αρκεί το μήκος της ακτίνας της (ακτίνα επίδρασης). Εάν έχουμε στοιχεία για πιθανή ανισοτροπία (π.χ. διευθύνσεις ρηγμάτων που επηρεάζουν τη ροή των υπογείων υδάτων) τότε πρέπει να ορίσουμε τις τρεις ακτίνες του ελλειψοειδούς και τη διεύθυνση της κύριας (μεγαλύτερης) στο χώρο.

Στη λεκάνη της Άρτας για την εκτίμηση των θερμοκρασιών ελήφθησαν υπόψη και οι κύριες τεκτονικές διευθύνσεις της περιοχής. Έτσι το ελλειψοειδές επιλογής στοιχείων για την εκτίμηση των κόμβων του μοντέλου ορίστηκε με διεύθυνση του κύριου άξονα  $B110^{\circ}A$ , με ακτίνες επίδρασης κατά αυτήν τη διεύθυνση 2000 m, κάθετα σε αυτήν 2000 m και στην κατακόρυφη διεύθυνση (κάθετα στο επίπεδο των δύο προηγούμενων) 500 m.



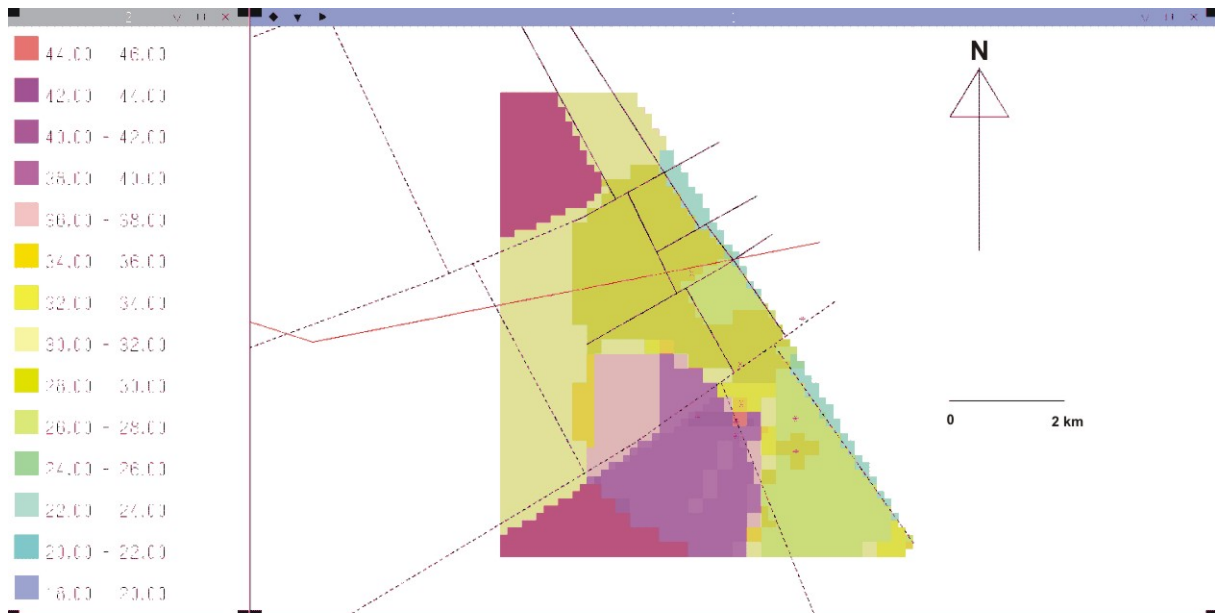
**Εικόνα 39:** Το τμήμα του Block Model που αντιστοιχεί στους Ασβεστολίθους Σενωνίου. Διακρίνονται οι γεωτρήσεις μέσα στο μοντέλο

Τα στοιχεία στα οποία βασίστηκε η εκτίμηση είναι οι τιμές της θερμοκρασίας που μετρήθηκαν στις γεωτρήσεις και στις πηγές της περιοχής. Η συγκεκριμένη ομάδα μετρήσεων παρουσιάζει μια χωρική ανισοκατανομή, συνηθισμένη σε γεωλογικές μετρήσεις: οι τιμές είναι συγκεντρωμένες στην κύρια περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος, όπου έχουν εκτελεστεί οι περισσότερες γεωτρήσεις, ενώ υπάρχουν και δύο γεωτρήσεις σε μεγάλη απόσταση. Αυτό το σετ μετρήσεων θα οδηγήσει σε μια παραμόρφωση της κατανομής των θερμοκρασιών στο υπέδαφος, αφήνοντας κενές μεγάλες περιοχές, απλά επειδή δεν θα βρισκόταν δείγμα μέσα στο ελλειψοειδές έρευνας των αντίστοιχων μπλοκ. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα δόθηκε στο μοντέλο μια ενιαία αρχική κατανομή θερμοκρασιών, υπολογισμένη από τις επιφανειακές τιμές και τη γεωθερμική βαθμίδα, όπως έχει υπολογιστεί από τις ερευνητικές γεωτρήσεις. Η μέση γεωθερμική βαθμίδα για την περιοχή των Συκεών υπολογίστηκε σε 0.048 0C/m. Για την εκτίμηση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν 341 μετρήσεις από τις γεωτρήσεις. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων και του αποτελέσματος της εκτίμησης για τον ανθρακικό γεωθερμικό υδροφορέα.. Στις εικόνες 40 - 44 παρουσιάζεται η κατανομή των θερμοκρασιών, όπως υπολογίστηκε για τους ταμιευτήρες της λεκάνης.

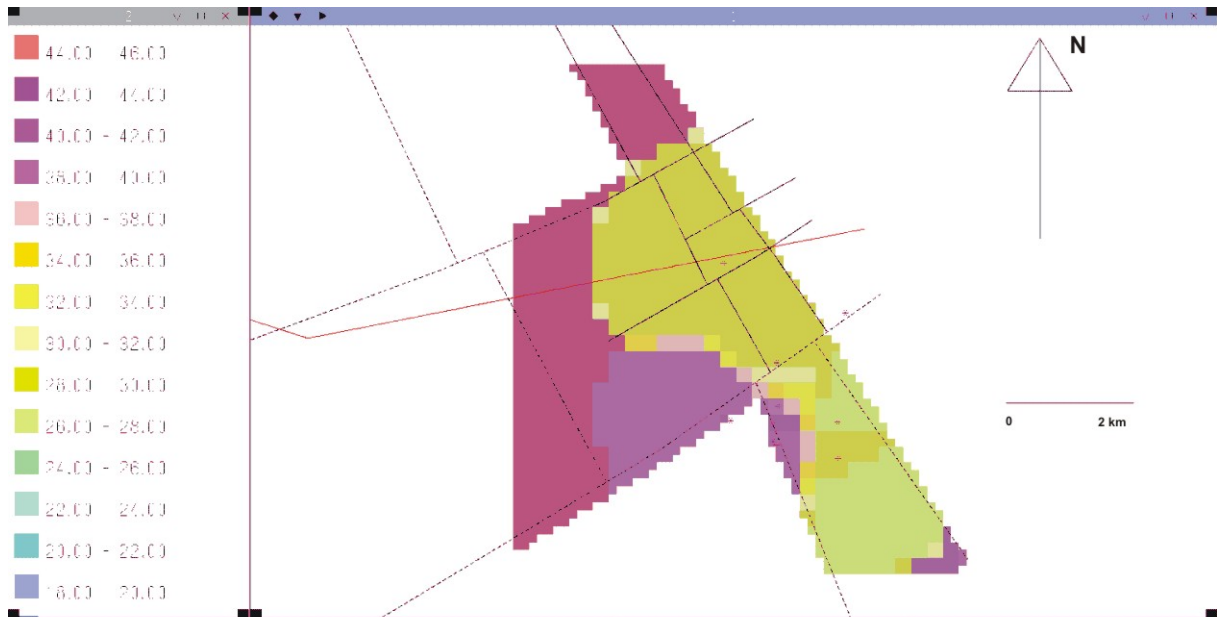
**Πίνακας 4:** Στατιστική των μετρήσεων θερμοκρασίας και των αποτελεσμάτων εκτίμησης

	Δεδομένα (μετρήσεις)	Εκτίμηση (Block Model)
Ασβεστόλιθοι Σενωνίου		
Μέση τιμή T	30.03 <sup>0</sup> C	36.34 <sup>0</sup> C
Τυπική Απόκλιση	7.06	9.34
Διασπορά	49.97	87.16
Μέγιστη τιμή	51.00 <sup>0</sup> C	58.30 <sup>0</sup> C
Ελάχιστη τιμή	18.00 <sup>0</sup> C	22.49 <sup>0</sup> C
Αριθμός δειγμάτων	341	16410

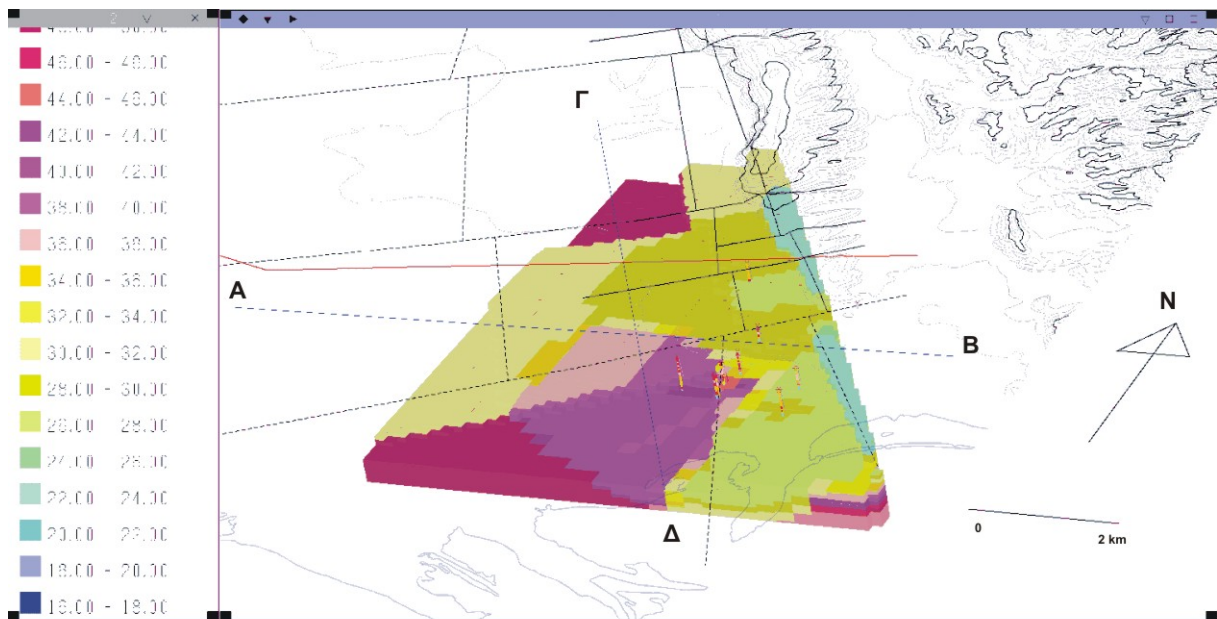
Η διαφορά που παρουσιάζει το μοντέλο από το δείγμα των γεωτρήσεων (μεγαλύτερη μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή), οφείλεται στο γεγονός ότι εκτιμάται βαθύτερη περιοχή από αυτήν που βρίσκονται τα δείγματα. Είναι αναμενόμενο λοιπόν να έχουμε μεγαλύτερο μέσο όρο στο εκτιμώμενο μοντέλο, αφού αυτό φτάνει μέχρι τα -800 m, ενώ το δείγμα σταματάει στα -499 m. Η χρήση της γεωθερμικής βαθμίδας για την εκτίμηση των βαθύτερων περιοχών του μοντέλου προκαλεί αυτή τη διαφορά στα στατιστικά χαρακτηριστικά.



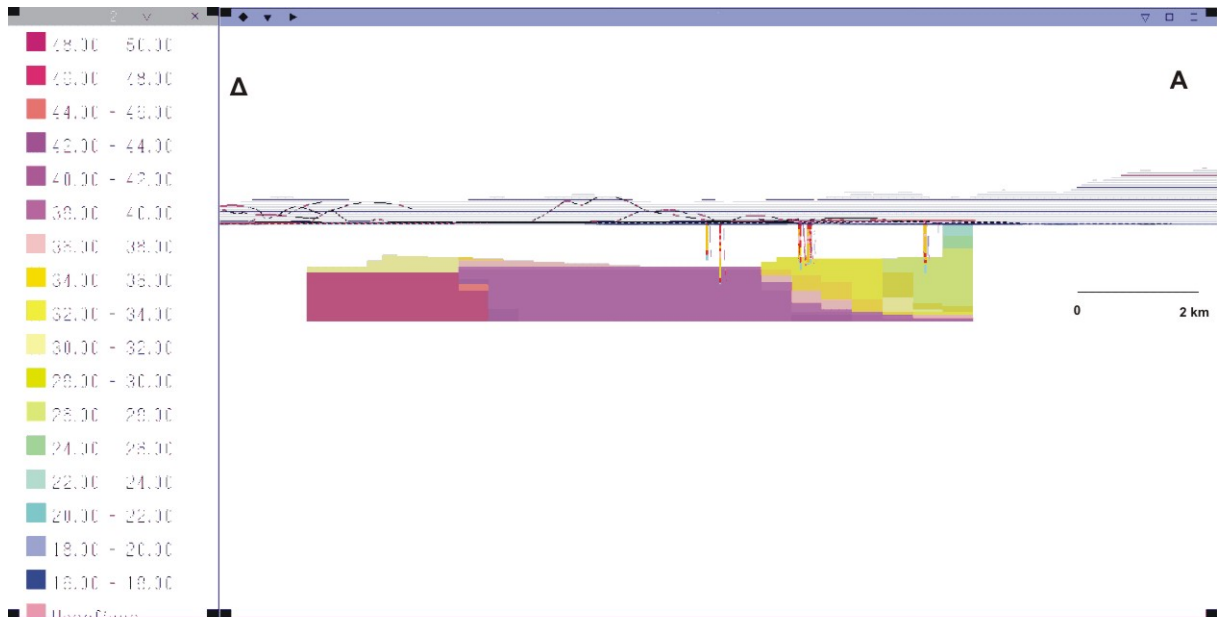
**Εικόνα 40:** Η κατανομή των θερμοκρασιών στην οροφή του αλπικού υποβάθρου



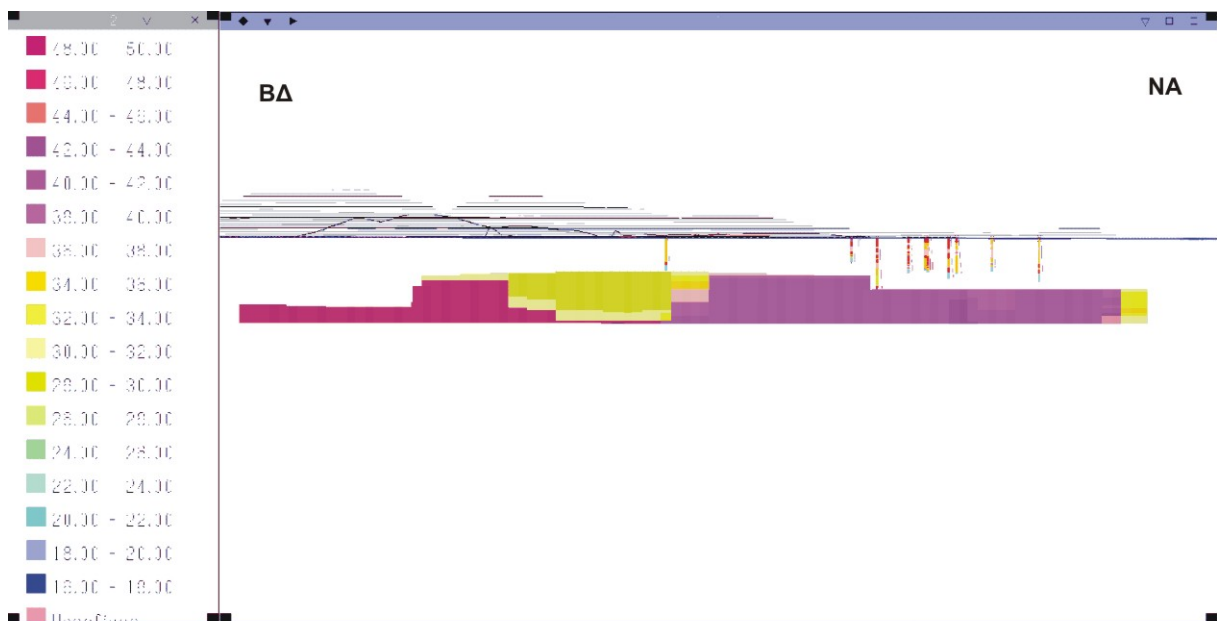
**Εικόνα 41:** Οριζόντια τομή του μοντέλου σε βάθος -450 m.



**Εικόνα 42:** Άποψη του μοντέλου από ΝΔ. Σημειώνονται οι κατακόρυφες τομές που παρουσιάζονται στις εικ. 15 (Α-Β) και 16 (Γ-Δ)



**Εικόνα 43:** Κατανομή των θερμοκρασιών στον ανθρακικό ταμιευτήρα (Τομή Δ–Α).



**Εικόνα 44:** Κατανομή των θερμοκρασιών στον ανθρακικό ταμιευτήρα (Τομή ΒΔ–ΝΑ).

Το γεωμετρικό μοντέλο και το μοντέλο ιδιοτήτων που κατασκευάστηκαν αποτελούν τη βάση για την κατασκευή του οριστικού μοντέλου λειτουργίας του γεωθερμικού πεδίου της περιοχής Συκεών-Άρτας. Ιδιαίτερη σημασία για την κατασκευή του μοντέλου αυτού έχουν τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αντλήσεων στην παραγωγική γεώτρηση. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα

ρυθμίστηκε το μοντέλο, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση σεναρίων εκμετάλλευσης του γεωθερμικού υδροφορέα. Επίσης το οριστικό μοντέλο είναι σημαντικό για την αξιολόγηση της αλληλεπίδρασης του καρστικού γεωθερμικού υδροφορέα με τους υδροφορείς που αναπτύσσονται στα κροκαλοπαγή που πληρώνουν τη νεοτεκτονική λεκάνη της Άρτας.

## **9.11. Οριστικό μοντέλο Συκιών Άρτας**

Για την κατασκευή του οριστικού μοντέλου του γεωθερμικού πεδίου της Περιοχής Συκιών - Άρτας χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τις δοκιμαστικές αντλήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην γεώτρηση ΣΠ2 (Κεφάλαιο 7).

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα του γεωλογικού μοντέλου της λεκάνης, όπως παρουσιάστηκαν στα κεφάλαια 9.8 – 9.10.

### **9.11.1. Μεθοδολογία**

Η προσομοίωση του γεωθερμικού ταμιευτήρα της περιοχής Συκιών - Άρτας προσεγγίστηκε με τα παρακάτω βήματα:

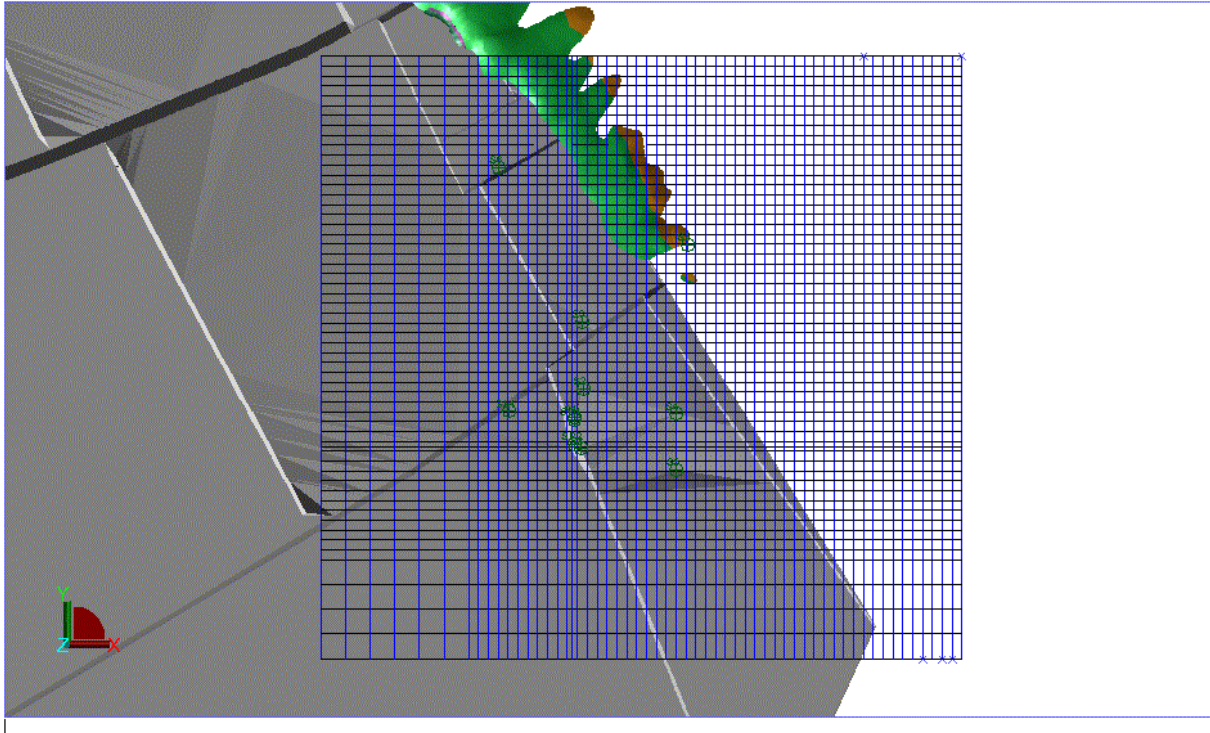
- Επιλογή των διαστάσεων και της θέσης του μοντέλου
- Επιλογή της ανάλυσης του κανάβου πεπερασμένων διαφορών
- Περιγραφή της γεωμετρίας των γεωλογικών σχηματισμών στο χώρο του μοντέλου
- Προσδιορισμών αρχικών τιμών για τις υδραυλικές και θερμικές παραμέτρους (αρχική στάθμη, θερμοκρασία, πορώδες, περατότητα)
- Προσομοίωση των δοκιμαστικών αντλήσεων και επαναπροσδιορισμός των υδραυλικών παραμέτρων
- Εφαρμογή μακροχρόνιου σεναρίου εκμετάλλευσης

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται αναλυτικά τα επί μέρους βήματα και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ενώ στα συμπεράσματα σχολιάζονται τα αποτελέσματα και δίνονται δυνατότητες χρήσης του μοντέλου για παραπέρα έρευνα.



### 9.11.2. Επιλογή των διαστάσεων και της θέσης του μοντέλου

Το μοντέλο αναπτύχθηκε στο ΝΑ άκρο του κάμπου της Άρτας, στην περιοχή που έχουν πραγματοποιηθεί οι ερευνητικές και παραγωγικές γεωτρήσεις στα πλαίσια του έργου.

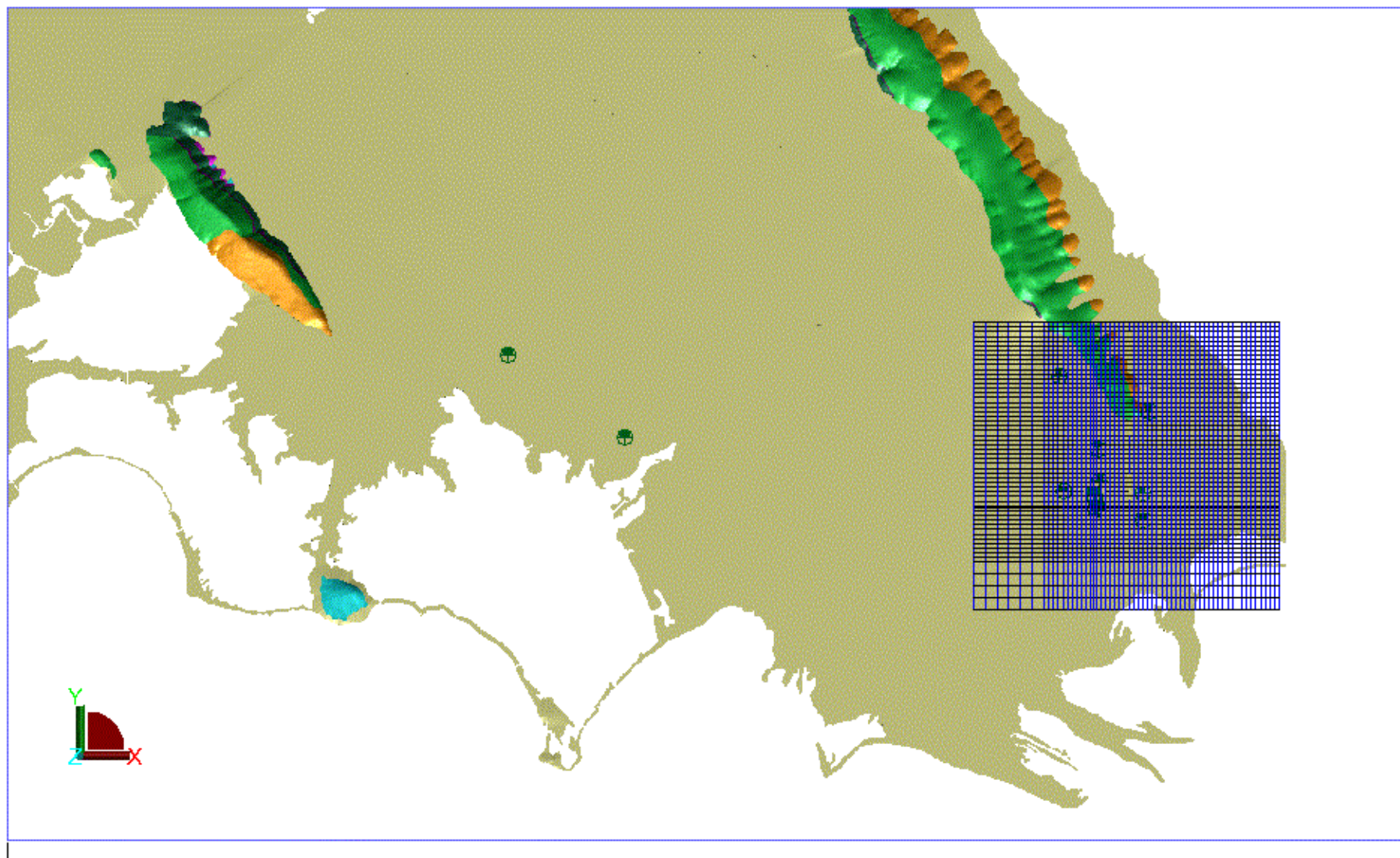


**Εικόνα 45:** Το δίκτυο του μοντέλου πάνω από την οροφή των ασβεστολίθων Σενωνίου που αποτελούν το αλπικό υπόβαθρο της περιοχής. Σε αυτούς αναπτύσσεται ο γεωθερμικός υδροφορέας.

Το τελικό μοντέλο έχει τη μορφή ενός τραπεζίου με διαστάσεις βάσεις νότια 5700 και βόρεια 2000 m, πλευρές δυτικά 6100 και ανατολικά 7190 m και πάχος 60 m.

Στην Εικόνα 45 παρουσιάζεται η θέση του μοντέλου σε σχέση με τη μορφολογία της οροφής του αλπικού υποβάθρου, όπως αυτή υπολογίστηκε στην προηγούμενη φάση των εργασιών (ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, 2005).





**Εικόνα 46:** Η έκταση εφαρμογής του μαθηματικού μοντέλου γύρω από τις θέσεις των ερευνητικών και παραγωγικών γεωτρήσεων

### 9.11.3. Επιλογή της ανάλυσης του κανάβου πεπερασμένων διαφορών

Η προσέγγιση της μοντελοποίησης με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών απαιτεί την διακριτοποίηση του χώρου (spatial discretization) από ένα ορθογώνιο πλέγμα. Οι διαστάσεις των κυψελίδων του πλέγματος μπορούν να είναι διαφορετικές, πρέπει όμως όλα τα κελιά μιας γραμμής ή μιας στήλης να έχουν το ίδιο πλάτος. Οι διαστάσεις των κυψελίδων του μοντέλου επελέγησαν με βάση την πυκνότητα των διαθέσιμων στοιχείων, αλλά και τις διαστάσεις του μοντέλου κατανομής θερμοκρασιών που έχει υπολογιστεί στο αρχικό στάδιο εργασιών (ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, 2005). Με βάση αυτά τα στοιχεία, το πλέγμα ορίστηκε αρχικά με διάσταση κυψελίδας 100 X 100 m, ενώ στη συνέχεια έγινε πύκνωση των κυψελίδων στο σημείο της αντλούμενης γεώτρησης, έτσι ώστε η γεώτρηση να βρίσκεται σε μια κυψελίδα διαστάσεων 50 X 50 m. (Εικόνα 46). Στην ΝΔ πλευρά του μοντέλου, επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, οι κυψελίδες έχουν διαστάσεις 250 X 250 m. Στην κατακόρυφη διεύθυνση το μοντέλο αποτελείται από ένα στρώμα, πάχους 60 m, παρότι υπάρχει η δυνατότητα να οριστούν περισσότερα στρώματα. Η προσέγγιση αυτή επιλέχθηκε λόγω της έλλειψης στοιχείων διαφοροποιημένων κατά βάθος κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων.

### 9.11.4. Γεωμετρίας γεωλογικών σχηματισμών στο χώρο του μοντέλου

Ο κύριος παράγοντας που ελέγχει την κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών στην περιοχή είναι τα ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και ΝΔ-ΒΑ. Εκτός από τα μεγάλα ρήγματα, η έντονη καρστικοποίηση των ασβεστολίθων επιτρέπει την κυκλοφορία ρευστών και μέσα στην μάζα του πετρώματος. Για να μεταφερθεί αυτή η πληροφορία στο μοντέλο πρέπει να οριστούν περιοχές που αντιστοιχούν στους ασβεστολίθους και στα ρήγματα. Ο ορισμός των περιοχών πρέπει να γίνεται με προσοχή, ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση της μορφής τους, όταν μεταφέρονται από το αρχικό σχέδιο στις κυψελίδες. Εάν κριθεί απαραίτητο, πρέπει να γίνεται πύκνωση του δικτύου, ώστε να αναπαριστά καλύτερα τη γεωμετρία των ρηγμάτων και των γεωλογικών σχηματισμών. Στην Εικόνα 47 παρουσιάζεται η μεταφορά της γεωμετρίας στον κানাβο του μοντέλου.

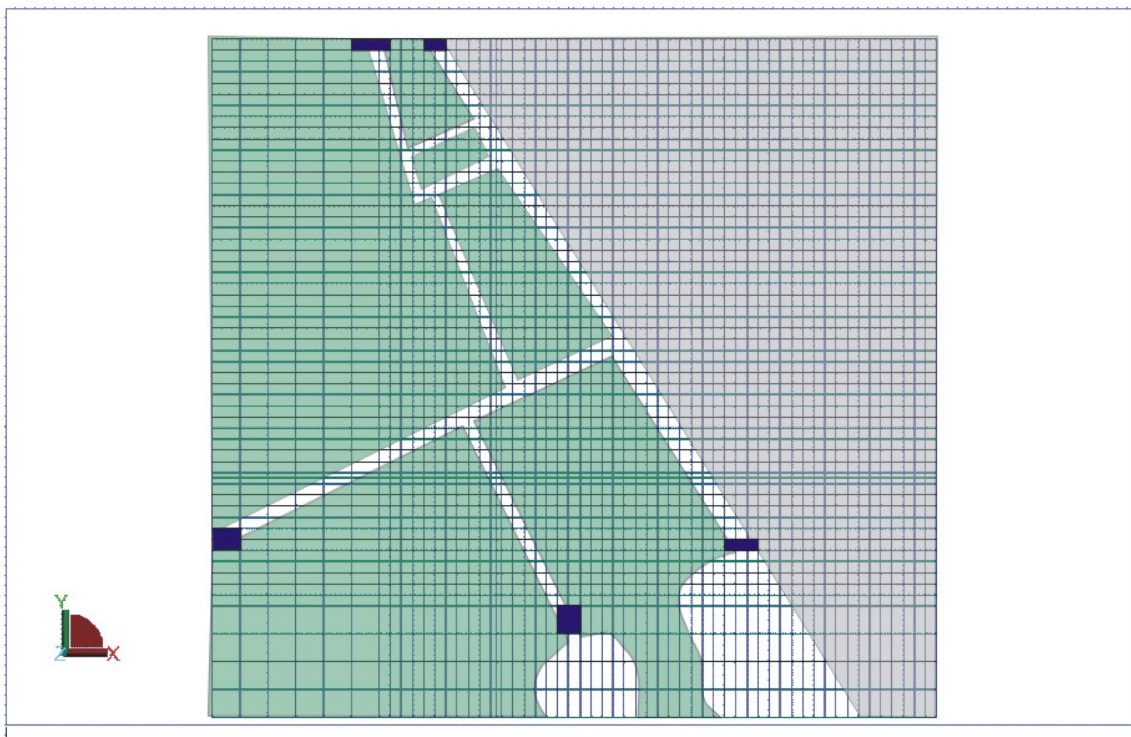
9.11.5. Αρχικές τιμές υδραυλικών και θερμικών παραμέτρων  
(οριακές συνθήκες, αρχική στάθμη, θερμοκρασία, πορώδες, περατότητα)

Τα πρώτο βήμα στον ορισμό του μοντέλου είναι ο γενικός καθορισμός των υδραυλικών συνθηκών της προσομοίωσης, συγκεκριμένα αν πρόκειται για υδροφορέα υπό πίεση ή ελεύθερο και αν οι συνθήκες ροής είναι σε σταθερή ή ασταθή υδραυλική ισορροπία. Μετά πρέπει να προσδιοριστούν οι υδραυλικές παράμετροι των πετρωμάτων (πορώδες και περατότητα). Το λογισμικό υπολογίζει το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας από την περατότητα σε συνάρτηση και με την πυκνότητα του ρευστού, αφού αυτή μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Τέλος, η προσέγγιση λύσης των εξισώσεων ροής και θερμικής διάχυσης με αριθμητικές μεθόδους, όπως είναι οι πεπερασμένες διαφορές, απαιτεί τον προσδιορισμό οριακών συνθηκών και αρχικών συνθηκών στο πεδίο ροής και θερμοκρασίας.

**Πίνακας 5. Παράμετροι του μοντέλου**

Είδος υδροφορέα		Υπό πίεση	
Υδραυλική ισορροπία		Ασταθής	
Περιοχή	Λιθολογία	Πορώδες	Περατότητα k [m <sup>2</sup> ]
1	Ασβεστόλιθοι Σενωνίου	10%	1.8X10 <sup>-9</sup>
2	Ρηξιγενείς ζώνες	15%	2.0X10 <sup>-9</sup>

Στον παραπάνω Πίνακας 5 Πίνακας 1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του μοντέλου. Οι τιμές για πορώδες και περατότητα είναι οι τελικές τιμές που προέκυψαν μετά τη ρύθμιση του μοντέλου με βάση τα στοιχεία των δοκιμαστικών αντλήσεων. Οι αρχικές τιμές για το πορώδες δεν αναφέρονται στην έκθεση του έργου και έτσι χρησιμοποιήθηκαν τιμές από τη γενική βιβλιογραφία (FREEZE & CHERRY, 1979). Για την περατότητα δόθηκε αρχικά στη ρηξιγενή ζώνη τιμή που έχει υπολογιστεί από τη δοκιμαστική άντληση, δηλ. 9.3X10<sup>-11</sup> m<sup>2</sup>. Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι το λογισμικό SHEMAT εφαρμόζεται σε πορώδη μέσα, ενώ δεν μπορεί να χειριστεί ροή σε ρήγματα, παρά μόνο με την προσέγγιση ισοδύναμης περατότητας.



**Εικόνα 47:** Οι περιοχές που οριοθετούν τους γεωλογικούς σχηματισμούς και τις ρηξιγενείς ζώνες. Με σκούρο μπλε σημειώνονται οι κόμβοι σταθερής στάθμης

Τα όρια του μοντέλου καθορίστηκαν ως όρια μη ροής (no flow boundaries), επειδή δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία για την εισροή και εκροή από το μοντέλο προς τα περιβάλλοντα πετρώματα. Ειδικά τα σημεία τομής των ρηγμάτων με τα όρια του μοντέλου (Εικόνα 47) ορίστηκαν σαν όρια σταθερής στάθμης (constant head). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η προσομοίωση των εισροών από τα ρήγματα, που αποτελούν και τις κύριες οδούς κυκλοφορίας των γεωθερμικών ρευστών.

Όσον αφορά τις αρχικές συνθήκες, ορίστηκε σαν αρχική στάθμη η στάθμη της γεώτρησης πριν από την άντληση, δηλ 7.0 m από τη επιφάνεια για όλες τις κυψελίδες, ενώ ως αρχική θερμοκρασία στην οροφή του μοντέλου δόθηκαν 41 °C, όπως μετρήθηκαν στην δοκιμαστική άντληση.

## **9.12. Προσομοίωση των δοκιμαστικών αντλήσεων και επαναπροσδιορισμός των υδραυλικών παραμέτρων**

Στη γεώτρηση ΣΠ2 εκτελέστηκαν δύο δοκιμαστικές αντλήσεις σταθερής παροχής 40 m<sup>3</sup>/h, διάρκειας 10 και 15 h. Οι δύο αυτές αντλήσεις εκτελέστηκαν σαν

σενάρια στο μοντέλο με σκοπό να αναπαράγουν όσο πιο πιστά την καμπύλη πτώσης στάθμης και επαναφοράς. Για να επιτευχθεί καλύτερη ρύθμιση των παραμέτρων (συγκεκριμένα της περατότητας), το μοντέλο ρυθμίστηκε με βάση την πρώτη, πιο σύντομη άντληση και ακολούθως εφαρμόστηκε στην 2η σταθερής παροχής. Η διαδικασία επαναλήφθηκε αρκετές φορές, μέχρι να επιτευχθεί ένα σετ παραμέτρων (περατότητα και πορώδες) που να αναπαριστά ικανοποιητικά και τις δύο αντλήσεις. Οι τιμές αυτές είναι που παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Στην Εικόνα 48 παρουσιάζεται η καμπύλη πτώσης στάθμης των δύο αντλήσεων σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του υπολογισμού του μοντέλου.

Η παρατηρούμενη διαφορά στο αρχικό στάδιο της καμπύλης οφείλεται κυρίως στην αδυναμία του λογισμικού να προσομοιώσει ροή σε ρήγματα. Στην δεύτερη άντληση υπήρξε προβληματική λειτουργία της αντλίας στα πρώτα 70', κάτι που εξηγεί τις αποκλίσεις του μοντέλου από τις μετρημένες τιμές για αυτό το διάστημα.

### **9.13. Εφαρμογή μακροχρόνιου σεναρίου εκμετάλλευσης**

Μετά τη ρύθμιση του μοντέλου υπολογίστηκε ένα σενάριο λειτουργίας για διάρκεια 10 ετών, με λειτουργία της γεώτρησης για 7 μήνες το χρόνο (Οκτώβριο – Απρίλιο) με σταθερή παροχή  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 49.

Το αποτέλεσμα του υπολογισμού δίνει μια σταθερή εικόνα, όπου κάθε φορά η στάθμη πέφτει αρκετά γρήγορα και σταθεροποιείται στα  $-56.5 \text{ m}$ , ενώ με το σταμάτημα της άντλησης επανέρχεται επίσης γρήγορα στην αρχική της τιμή. Η εικόνα αυτή επαναλαμβάνεται ίδια για τα 10 χρόνια που διαρκεί η προσομοίωση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 49, κάθε χρόνο της περιόδου προσομοίωσης. Και εδώ είναι χαρακτηριστική η επίδραση των ρηξιγενών ζωνών.

## 9.14. Συμπεράσματα – Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που έδωσε η προσομοίωση του γεωθερμικού ταμειυτήρα της λεκάνης Άρτας κρίνονται ικανοποιητικά, αν συνυπολογίσουμε τους περιορισμούς που συνεπάγεται η πολύ μικρή ποσότητα – χρονικά και χωρικά – δεδομένων που ήταν διαθέσιμα.

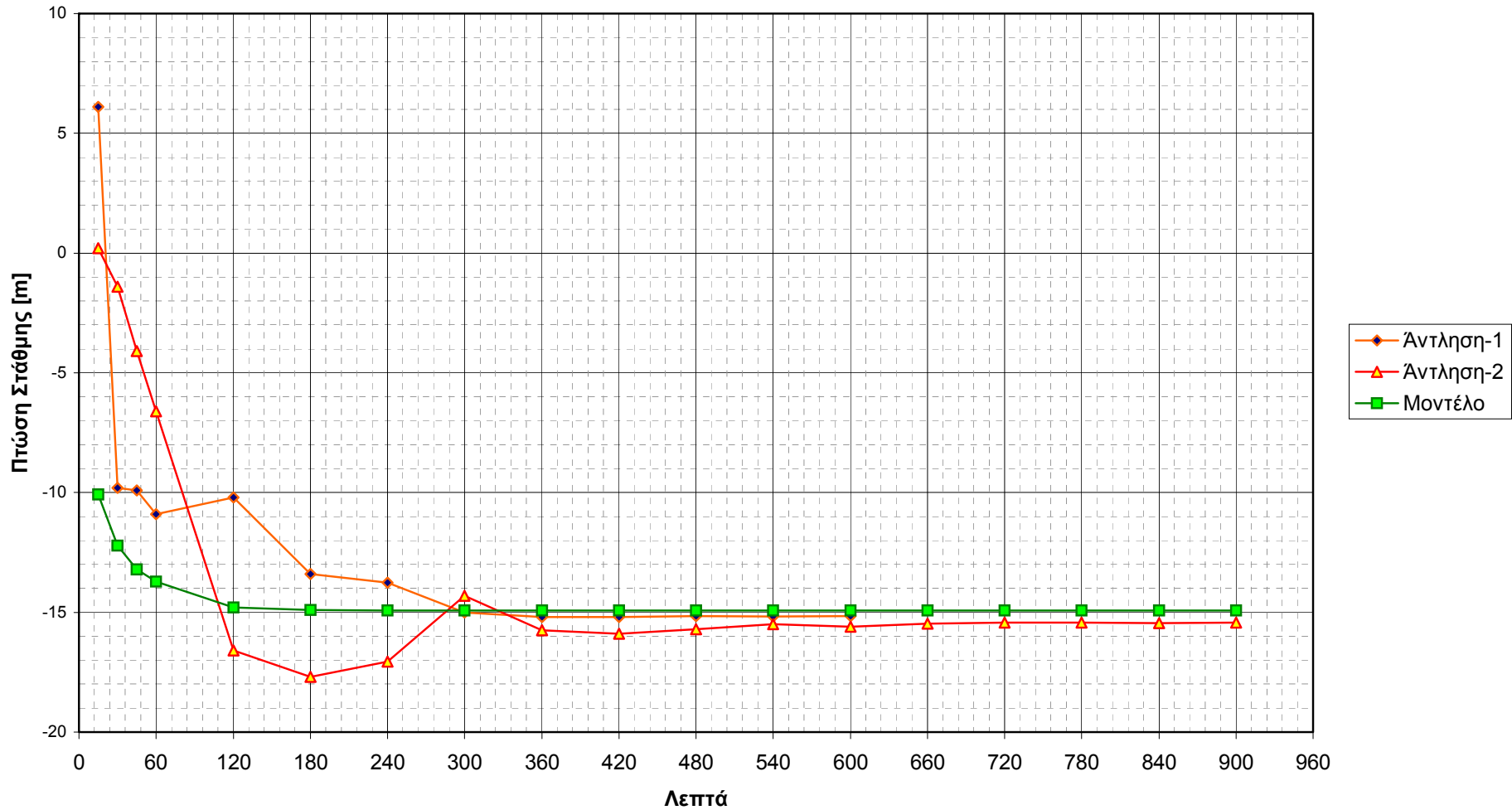
Ο πρώτος περιορισμός προκύπτει από το γεγονός ότι υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις μόνο σε μια γεώτρηση. Επίσης η χημική σύσταση του νερού δεν έδειξε να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής άντλησης, κάτι που δεν επέτρεψε την ταυτόχρονη μοντελοποίηση και της υδροχημικής συμπεριφοράς των γεωθερμικών ρευστών.

Με όλους αυτούς τους περιορισμούς, η δυνατότητα αξιόπιστης πρόγνωσης με το μοντέλο είναι περιορισμένη. Κυρίως πρέπει να αντιμετωπιστεί με σκεπτικισμό το αποτέλεσμα της 10-ετούς προσομοίωσης, αφού ουσιαστικά στηρίζεται σε μετρήσεις διάρκειας 25 ωρών. Οι αποκλίσεις μεταξύ της προσομοίωσης και των δύο δοκιμαστικών αντλήσεων έδειξαν ότι το μοντέλο έχει μεγάλα περιθώρια σφάλματος και γι' αυτό το λόγο, τα αποτελέσματα της 10-ετούς προσομοίωσης πρέπει να ερμηνευτούν περισσότερο ποιοτικά και όχι αυστηρά ποσοτικά.

Παρ' όλα αυτά, το μοντέλο κατέδειξε τη σημασία των ρηξιγενών ζωνών για την κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών και επίσης αποτελεί μια καλή βάση για παραπέρα προσομοιώσεις, εάν υπάρξουν και άλλα διαθέσιμα στοιχεία.

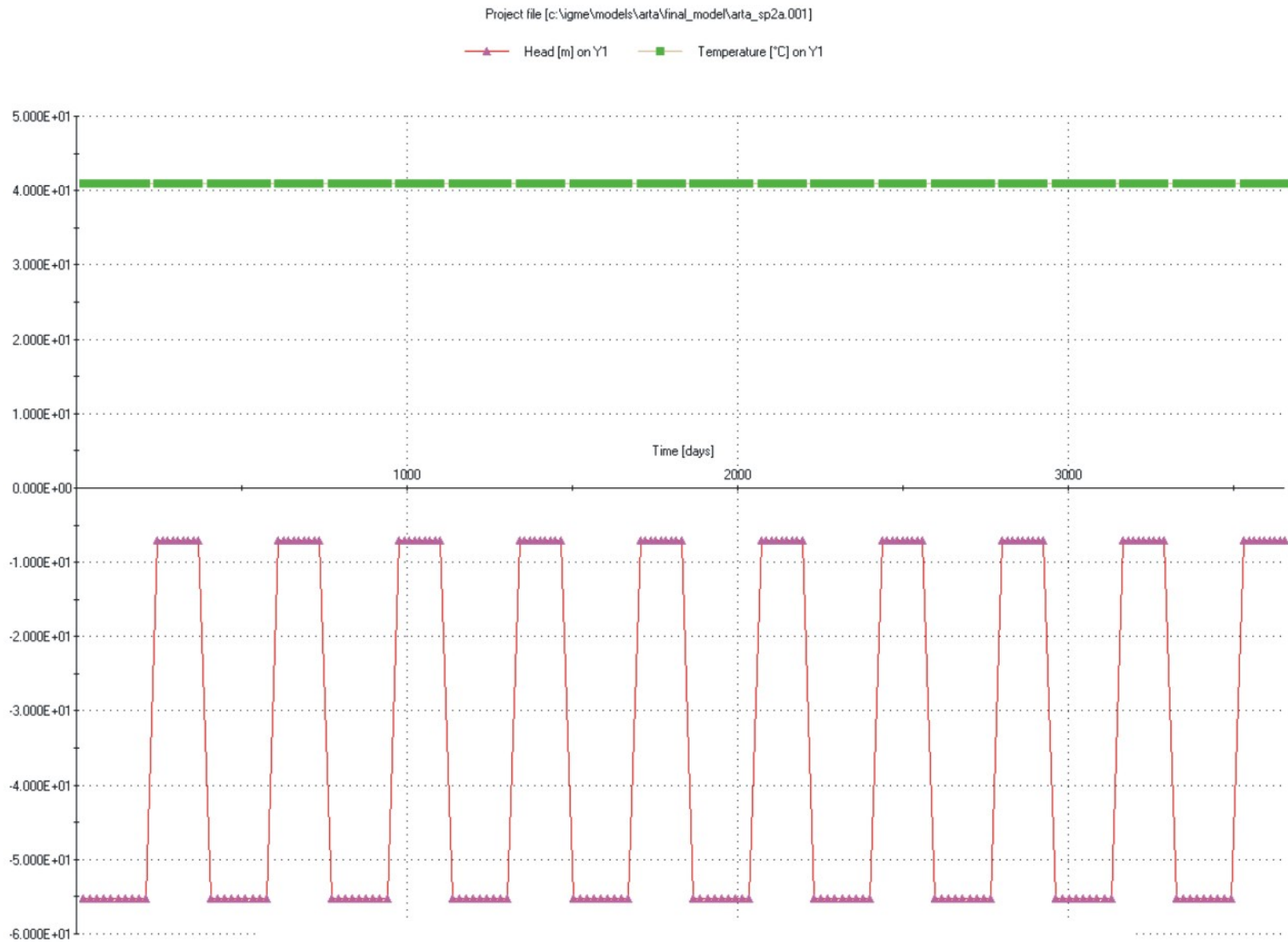


### Σύγκριση Μοντέλου με Δοκιμαστικές Αντλήσεις ΣΠ-2



Εικόνα 48: Σύγκριση αποτελεσμάτων δοκιμαστικών αντλήσεων και υπολογισμών προσομοίωσης (παροχή 40 m<sup>3</sup>/h)





**Εικόνα 49:** Πτώση και επαναφορά στάθμης σε 10 χρόνια λειτουργίας με άντληση 100 m<sup>3</sup>/h για 7 μήνες και παύση 5 μήνες

## 10. ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Στην περίπτωση του γεωθερμικού πεδίου Συκιών Άρτας, όπου υπάρχουν ρευστά θερμοκρασίας μέχρι 500C, καθώς και συγκεκριμένες ανάγκες, λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών, η χρήση των γεωθερμικών ρευστών θα μπορούσε να γίνει για:

- Θέρμανση θερμοκηπίων
- Ιχθυοκαλλιέργεια
- Αντιπαγετική προστασία
- Κάλυψη θερμικών αναγκών πτηνοτροφικών μονάδων
- Θέρμανση οικισμών
- Ιαματικό τουρισμό



**Εικόνα 50:** Πάγωμα του κοινού νερού αντιπαγετικής προστασίας





Πίνακας 6. Πιθανές Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας

## 10.1. Προοπτικές εντοπισμού και άλλων γεωθερμικών πεδίων στην ευρύτερη περιοχή

Με την έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. εντοπίστηκε το αξιόλογο γεωθερμικό πεδίο Συκιών έκτασης ~10 km<sup>2</sup> το οποίο φαίνεται να επεκτείνεται προς τα δυτικά

Παράλληλα η έρευνα έχει εντοπίσει στην ευρύτερη περιοχή των νομών Άρτας και Πρέβεζας αξιόλογες ενδείξεις που ενισχύουν την πιθανότητα ύπαρξης και άλλων γεωθερμικών πεδίων Στο χάρτη της Εικόνα 51 παρουσιάζονται τόσο το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο και η πιθανή επέκτασή του, όσο και οι περιοχές με γεωθερμικό ενδιαφέρον για παρά πέρα έρευνα.

Επίσης, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο της γεωχημείας, έχει διαπιστωθεί ότι η χημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών έχει επηρεαστεί από εβαπορίτες (γύψος, ανυδρίτης, ορυκτό αλάτι) κάτι που συνεπάγεται τον εμπλουτισμό τους σε υδρόθειο και αυτό δημιουργεί τις προϋποθέσεις να χρησιμοποιηθούν σε ευρεία κλίμακα για τη σύσταση ιαματικών μονάδων (SPA) στην ευρύτερη περιοχή του κάμπου, πράγμα που καθιστά ενδιαφέρουσα την διερεύνηση της εκμετάλλευσής τους.



Εικόνα 51: Περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος

## 11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αξιολόγηση των βιβλιογραφικών δεδομένων και των στοιχείων από προηγούμενες έρευνες ώθησε το Ι.Γ.Μ.Ε. να εντάξει και την Ήπειρο στα ερευνητικά προγράμματα γεωθερμίας του Β'ΚΠΣ. (1995-2000), με αποτέλεσμα τον εντοπισμό των γνωστών πεδίων στα Καβασίλων και στις Συκιές Άρτας. Το πεδίο των Συκιών εντάχθηκε και στο ερευνητικό πρόγραμμα του Γ'Κ.Π.Σ (2002 - 2007) που αποσκοπούσε στη περιχάραξη του γνωστού γεωθερμικού πεδίου και στη διερεύνηση ανάπτυξής του, ώστε να αυξηθούν τα βεβαιωμένα αποθέματα γεωθερμικής ενέργειας στην περιοχή.

Από τη γεωλογική μελέτη της περιοχής διαπιστώθηκε ότι στον κάμπο της Άρτας οι Ιουρασικοί και Κρητιδικό ασβεστόλιθοι του Μαυροβουνίου οριοθετούν το Δυτικό όριο, ενώ στην Ανατολική πλευρά, ανορθώνεται η ίδιας ηλικίας ασβεστολιθική οροσειρά της Βαλαώρας. Στη Βόρεια πλευρά επικρατούν τα Τριαδικά λατυποπαγή της Φιλιππιάδας και Νότια ο κόλπος του Αμβρακικού. Στον εσωτερικό χώρο της λεκάνης επικρατούν οι τεταρτογενείς αποθέσεις.

Η τεκτονική διατάραξη εκφράζεται με δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων. Το παλαιότερο σύστημα με ΒΔ - ΝΑ και ένα μεταγενέστερο σύστημα ρηγμάτων Α - Δ μέχρι ΒΑ - ΝΔ διεύθυνσης τέμνει σχεδόν κάθετα το προηγούμενο σύστημα.

**Οι τριαδικοί εβαπορίτες, οι οποίοι υπάρχουν στο υπόβαθρο της περιοχής έρευνας, με τις διαπειρικές κινήσεις τους συνέβαλαν ουσιαστικά, τόσο στην τεκτονική εξέλιξη, όσο και στη σημερινή μορφολογική διαμόρφωση των λεκανών της Ηπείρου, μεταξύ των οποίων και ο κάμπος της Άρτας, και όπως πιστεύεται η κίνησή τους αλλά και γενικά η δομή τους έχουν συντελέσει σε σημαντικό βαθμό στη γένεση του γεωθερμικού πεδίου της περιοχής.**

Από τη γεωφυσική και τη γεωτρητική έρευνα διαπιστώθηκε ότι η επαφή των ασβεστόλιθων με τα υπερκείμενα κλαστικά ιζήματα ακολουθεί κατά κάποιον τρόπο το παλαιοανάγλυφο των ασβεστόλιθων που είχε σχηματισθεί κατά την ανώτερη Κρητιδική περίοδο, το οποίο όμως στη συνέχεια επηρεάστηκε και διαμορφώθηκε από τις ακόλουθες τεκτονικές φάσεις μέχρι το τεταρτογενές. Το βάθος αυτής της επαφής είναι μικρότερο στα περιθώρια και κατά πολύ μεγαλύτερο στο κέντρο της

λεκάνης, και γι' αυτό το λόγο ο θερμός υδροφόρος ορίζοντας εντοπίζεται σε διάφορα βάθη από τις ερευνητικές γεωτρήσεις.

Οι θερμομετρήσεις επιφάνειας που πραγματοποιήθηκαν σε νερά πηγών και αρτεσιανών γεωτρήσεων, βοήθησαν στη χάραξη των ισόθερμων καμπυλών επιφανείας, η μελέτη των οποίων έδειξε ότι το γεωθερμικό πεδίο των Συκιών επεκτείνεται και Δυτικά, προς την περιοχή του χωριού Βίγλα.

Η γεωχημική επεξεργασία των δειγμάτων έδειξε ότι η κατανομή των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων σε κάθε δείγμα νερού σχετίζεται με τον υδροφόρο ορίζοντα και το βάθος του. Διακρίθηκαν δύο συστήματα. Το ένα που χαρακτηρίζεται από νερά οξυανθρακικής σύστασης, εμπλουτισμένα σε  $\text{SO}_4^{2-}$  ανταποκρίνεται στα «επιφανειακά νερά» των αβαθών γεωτρήσεων και το δεύτερο που ανήκει στην κατηγορία των χλωρο-νατριούχων νερών ανταποκρίνεται στα γεωθερμικά νερά και το θαλασσινό νερό.

Η μελέτη των διαγραμμάτων για τις συγκεντρώσεις των χλωροϊόντων έδειξε ότι το γεωθερμικό νερό όπως και το θαλασσινό, είναι χλωρονατριούχα νερά ανεξάρτητα από την αλατότητά τους. Οι μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε χλωροϊόντα και θειικά ιόντα στο γεωθερμικό νερό απ' ότι στο θαλασσινό, υποδηλώνουν ότι το νερό αυτό κατά την κυκλοφορία του εντός του ταμιευτήρα και κατά την άνοδό του προς την επιφάνεια ήρθε σε επαφή με εβαποριτικού τύπου πετρώματα, όπως είναι η γύψος και το ορυκτό αλάτι, τα οποία ως γνωστόν υπάρχουν στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης

Από την έρευνα στο πλαίσιο του Β' Κ.Π.Σ., το αρχικό γεωθερμικό πεδίο των Συκιών είχε ερευνηθεί με (8) ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου και μία μεγάλης διαμέτρου. Στο πλαίσιο του παρόντος έργου εκτελέσθηκαν ακόμη δύο γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου και μία μεγάλης διαμέτρου. Ένα σοβαρό πρόβλημα παρουσιάστηκε στην ερευνητική γεώτρηση μεγάλης διαμέτρου. Λόγω εντολής διακοπής των εργασιών, το Νοέμβριο 2004, για έλεγχο όλων των τεχνικών δελτίων των έργων του Γ' ΚΠΣ, η οποία συνέπεσε χρονικά με το τέλος των γεωτρητικών εργασιών, δεν υπήρξε χρόνος για ικανοποιητικό καθαρισμό της γεώτρησης. Έτσι, σαν αποτέλεσμα προέκυψε το μπάζωμα της παραγωγικής ζώνης με θρύμματα πετρωμάτων προερχομένων από τη διάτρηση και μπεντονίτη της λάσπης

γεώτρησης και αποκαταστάθηκε εν μέρει με επαναδιάτρηση-καθαρισμό τμήματος της γεώτρησης.

Η περιγραφή και μελέτη του συνόλου των ερευνητικών γεωτρήσεων έδειξε ότι:

Η οροφή του γεωθερμικού ταμειυτήρα, που πρόκειται για τον ασβεστόλιθο του Αν. Σενωνίου, βρίσκεται σε βάθος κυμαινόμενο από τα 280 m στις Ανατολικές παρυφές και φθάνει βαθύτερα από τα 480 m στις Δυτικές παρυφές και στα ανώτερα 70 m εμφανίζεται σε σημαντικό βαθμό καρστικοποιημένος και διαβρωμένος. Υπολογίζεται, ότι το γεωθερμικό ρευστό φιλοξενείται κατά κύριο λόγο εντός αυτού του τμήματος του ασβεστολίθου

Η στρωματογραφική διάρθρωση των υπερκείμενων κλαστικών ιζημάτων από τα βαθύτερα στρώματα προς την επιφάνεια, περιγράφεται ως εξής:

Στο κατώτερο τμήμα σε πάχος 150-200 m αποτελείται από οριζόντες κροκαλοπαγών και οριζόντες αργιλομαργαϊκού υλικού με χαρακτηριστική πανίδα μακροαπολιθωμάτων στους αργιλικούς οριζόντες. Το ανώτερο τμήμα πάχους 200-300 m αποτελείται από αργιλομαργαϊκούς, ψαμμιτικούς και αργιλικούς οριζόντες εντός των οποίων εντοπίζονται λεπτά στρώματα λιγνίτη. Εντός των οριζόντων αυτών και σε διάφορα βάθη εντοπίστηκαν υδροφόροι οριζόντες γλυκού νερού.

Η ερμηνεία των διαγραφιών βάθους καθώς και οι θερμομετρήσεις σε όλες τις γεωτρήσεις, έδειξαν ότι η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού κυμαίνεται μεταξύ των 32 °C και 50 °C. Η δε **γεωθερμική βαθμίδα** υπολογίστηκε στους 5 °C ως 11 °C ανά 100 m, **δηλαδή 2 – 3 φορές υπέρτερη της κανονικής**. Επισημαίνεται επίσης ότι το γεωθερμικό ρευστό ανέρχεται στην επιφάνεια με αρτεσιανισμό.

Από την αντλητική δοκιμή προέκυψε ότι τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα είναι ικανοποιητικά. Η παροχή κατά την άντληση ήταν 40 m<sup>3</sup>/h με θερμοκρασία 44 °C. Οι τιμές αυτές απέχουν κάπως από τις πραγματικές, λόγω των προβλημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Εκτιμάται ότι η παροχή θα μπορούσε να φτάσει τα 100 m<sup>3</sup>/h και η θερμοκρασία 47 °C με 50 °C. Η μέτρια τιμή υδροπερατότητας που προκύπτει από την αξιολόγηση των αντλητικών δοκιμών, δείχνει σχετικά περιορισμένη δυνατότητα κυκλοφορίας του γεωθερμικού ρευστού μέσα στις διακλάσεις, που οφείλεται είτε στη δευτερογενή απόθεση αλάτων (κυρίως



ασβεστίτη) είτε κυρίως στην παραμονή και στερεοποίηση λόγω θερμοκρασίας μέρους της μπεντονικής λάσπης που είχε χρησιμοποιηθεί και απολεσθεί κατά τη διάτρηση.

Τα αποτελέσματα που έδωσε η προσομοίωση του γεωθερμικού ταμιευτήρα της λεκάνης Άρτας κρίνονται ικανοποιητικά, αν συνυπολογίσουμε τους περιορισμούς που συνεπάγεται η πολύ μικρή ποσότητα – χρονικά και χωρικά – δεδομένων που ήταν διαθέσιμα. Επομένως πρέπει να αντιμετωπιστεί με σκεπτικισμό το αποτέλεσμα της 10-ετούς προσομοίωσης, αφού ουσιαστικά στηρίζεται σε μετρήσεις διάρκειας 25 ωρών. Οι αποκλίσεις μεταξύ της προσομοίωσης και των δύο δοκιμαστικών αντλήσεων έδειξαν ότι οι προγνώσεις του μοντέλου έχουν προσεγγιστικό χαρακτήρα. Γι' αυτό το λόγο, τα αποτελέσματα της 10-ετούς προσομοίωσης πρέπει να ερμηνευτούν περισσότερο ποιοτικά και όχι αυστηρά ποσοτικά.

Παρ' όλα αυτά, το μοντέλο κατέδειξε τη σημασία των ρηξιγενών ζωνών για την κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών και επίσης αποτελεί μια καλή βάση για παραπέρα προσομοιώσεις, εάν υπάρξουν και άλλα διαθέσιμα στοιχεία.

**Η βεβαιωμένη έκταση του πεδίου υπολογίστηκε σε 11,2 km<sup>2</sup>. Για μέση θερμοκρασία 35 °C τα in situ αποθέματα του γεωθερμικού ρευστού ανέρχονται σε 79X10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> που αντιστοιχούν σε ενεργειακό δυναμικό 120000 T.I.Π. Η πιθανή έκταση του πεδίου υπολογίστηκε σε 64.5 km<sup>2</sup>. Για μέση θερμοκρασία 38 °C τα in situ αποθέματα του γεωθερμικού ρευστού ανέρχονται σε 42 X10<sup>7</sup> m<sup>2</sup> που αντιστοιχούν σε ενεργειακό δυναμικό 760000 T.I.Π.**

Οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής ενός γεωθερμικού πεδίου, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών, οι υπάρχουσες τοπικές συνθήκες, οι τεχνικές υποδομές, οι ενεργειακές ανάγκες υφισταμένων ή υπό ίδρυση γεωργικών, βιομηχανικών κ.λ.π. μονάδων είναι καθοριστικοί παράγοντες που προδιαγράφουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης – αξιοποίησής του και την βιωσιμότητα των μονάδων αυτών.

**Οι προοπτικές για την χρησιμοποίηση των γεωθερμικών ρευστών που εντοπίστηκαν είναι εκτεταμένες. Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένες από αυτές: Θέρμανση θερμοκηπίων, Ιχθυοκαλλιέργεια, Αντιπαγετική προστασία, Κάλυψη θερμικών αναγκών πτηνοτροφικών μονάδων, Θέρμανση οικισμών, Ιαματικός τουρισμός.**

Παράλληλα η έρευνα έχει εντοπίσει στην ευρύτερη περιοχή των νομών Άρτας και Πρέβεζας αξιόλογες ενδείξεις που ενισχύουν την πιθανότητα ύπαρξης και άλλων γεωθερμικών πεδίων. Διαπιστώθηκε επίσης ότι ο χημισμός των ρευστών που εντοπίστηκαν, καθιστά τα νερά κατάλληλα ώστε να χρησιμοποιηθούν σε ευρεία κλίμακα για τη σύσταση ιαματικών μονάδων (SPA). Οι μονάδες αυτές μπορούν να εγκατασταθούν στην ευρύτερη περιοχή του κάμπου, πολύ δε περισσότερο στις παράκτιες περιοχές, πράγμα που κάνει ακόμη πιο ενδιαφέρουσα την διερεύνηση της εκμετάλλευσής τους.

## 12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

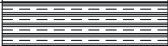
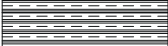
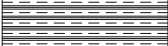


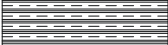


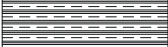
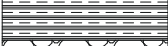


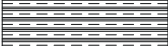






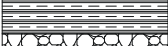


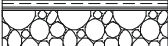



- AUBOIN, J., (1959): Contribution a l'etude geologique de la Grece septentrionale: le confine de l' Epire et de la Thessalie. Ann. Geol. Pays Hellen., t. 10 Athenes
- BATURIN, G.N. and BEZRUKOV, P.L.,(1979): Phosphorites on the sea floor and their orig. Mar. Geol., v. 31, pp. 317-322
- CHIANG, W.H. & KINZELBACH, W. (2001): 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer Verlag, Berlin.
- CLAUSER C. (Ed.), (2003): Numerical Simulation of Reactive Flow in Hot Aquifers, SHEMAT and Processing SHEMAT, 331 p., 1 CD, Springer, Berlin Heidelberg.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. (1979): Groundwater. Prentice Hall, Engelwood Cliffs NJ
- IGRS- IFP., (1966): Etude geologique de l' Epire (Grece nord - occidentale): Technip.Paris, pp 306
- KARAKITSIOS, V.,(1990): Chronologie et geometrie de l' ouverture d' un dasin et de son inversion tectonique: le basin Ionien ( Epire, Grece):These Dipl.Docteur, Univer.P. et M. Curie, Paris pp.305
- MONOPOLIS, D., and BRUNETON, A., (1982): Ionian sea (western Greece) its structural outline deduced from drilling and geophysical data. Tectonophysics, v. 83, pp. 227-242
- NIKOLAΟΥ,Κ., (1986): Συμβολή στη γνώση του Νεογενούς και της γεωλογίας και οριοθέτηση των ζωνών Ιόνιας και προαπούλιας σε σχέση με τις πετρελαιογεωλογικές παρατηρήσεις κυρίως στα νησιά Στροφάδες, Ζάκυνθο, Κεφαλληνία. ( Διδακτορική διατριβή)
- PRUESS, K. (2002): Mathematical modeling of fluid flow and heat transfer in geothermal systems – an introduction in five lessons, United Nations University, Geothermal Training Programme, 84 p., Reykjavik, Iceland.
- RENZ, C., (1957): Die vorneogene Stratigraphie der normal sedimentaren formationen- Griechenlands. I.G.R.S. pp.637
- ΒΕΚΙΟΣ, Π., (1979): Το ορυκτό αλάτι Μονολιθίου. Βιβλ. Ι.Γ.Μ.Ε
- ΒΡΕΛΛΗΣ, Γρ., ΒΕΚΙΟΣ, Π., ΕΥΘΥΜΙΟΠΟΥΛΟΣ, Θ., ΠΑΠΑΝΙΚΟΣ Δ. (2003): Έκθεση προγραμματισμού συνέχισης σε επόμενη φάση της έρευνας για γεωθερμικά πεδία στη λεκάνη Άρας», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα, 16 σελ.
- LATREILLE, M., SAVOYAT, E. & ΜΟΝΟΠΩΛΗΣ, Δ. (1969): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, 1:50000, ΦΥΛΛΟ ΑΡΤΑ, Ι.Γ.Ε.Υ., Αθήνα
- SAVOYAT, E., ΜΟΝΟΠΩΛΗΣ, Δ. & BIZON, G. (1966): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, 1:50000, ΦΥΛΛΟ ΠΕΤΑΣ, Ι.Γ.Ε.Υ., Αθήνα
- ΚΑΡΑΚΙΤΣΙΟΣ, Β., (1989): Νέα στοιχεία επί της στρωματογραφίας των Ιουρασικών σχηματισμών της Ιονίου σειράς στην Ήπειρο. Τεκτονικές και παλαιογεωγραφικές συνέπειες. Δελτ. Γεωλ. Εταιρ. Τομ. XXIII,2,σ. 59-74.
- ΛΑΧΑΝΑΣ, Γ., (2003): Γεωφυσική έρευνα στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Άρας. Αρχείο έργου.
- ΠΟΜΟΝΗ-ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ, Φ.,(1994): Λιθοστρωματογραφία-Ιζηματολογία των Άνω Κρητιδικών φωσφορούχων σχηματισμών της Ιονίου ζώνης: Μηχανισμός φωσφορογένεσης –παλαιοτεκτονικό πλαίσιο. ΒΙΒΛ. ΙΓΜΕ 80 σελ.

- ΣΚΟΥΡΤΣΗ-ΚΟΡΩΝΑΙΟΥ, Β., (1988): Έκθεση σχετικά με τα αποτελέσματα της στρωματογραφικής-μικροπαλαιοντολογικής έρευνας για τους φωσφορούχους σχηματισμούς της Ηπείρου Βιβλ. ΙΓΜΕ.
- ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε. (2004): «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ, ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ, ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ». 1η Έκθεση Προόδου του Υποέργου 5: Εκτέλεση Εργασιών Προσομοίωσης Γεωθερμικών Ταμιευτήρων. 1.Μεθοδολογία, 2.Προϋποθέσεις και απαιτούμενα στοιχεία για την προσομοίωση γεωθερμικών ταμιευτήρων, 3.Γεωλογικό μοντέλο του γεωθερμικού πεδίου Χίου (περιοχή Νενήτων): 25 σελ., Αθήνα
- ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε. (2005): «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ, ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ, ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ». 4η Έκθεση Προόδου του Υποέργου 5: Εκτέλεση Εργασιών Προσομοίωσης Γεωθερμικών Ταμιευτήρων. Μοντελοποίηση του γεωθερμικού πεδίου Συκιών Άρτας. 25 σελ., Αθήνα
- ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε. (2006): «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ, ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ, ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ». 5η Έκθεση Προόδου του Υποέργου 5: Εκτέλεση Εργασιών Προσομοίωσης Γεωθερμικών Ταμιευτήρων. 1. Μοντελοποίηση του γεωθερμικού πεδίου Λιχάδων (Βόρειας Εύβοιας) 2. Οριστικό Μοντέλο του γεωθερμικού πεδίου της Λεκάνης Αλμωπίας. 40 σελ., Αθήνα
- ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε. (2006): «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ, ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ, ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ». 7η Έκθεση Προόδου του Υποέργου 5: Εκτέλεση Εργασιών Προσομοίωσης Γεωθερμικών Ταμιευτήρων. 1. Οριστικό Μοντέλο του γεωθερμικού πεδίου Συκιών Άρτας, 2. Οριστικό Μοντέλο του γεωθερμικού πεδίου Χίου (περιοχή Νενήτων), 2. Οριστικό Μοντέλο του γεωθερμικού πεδίου Χίου (περιοχή Θυμιανών), 40 σελ., Αθήνα
- ΤΡΑΓΑΝΟΣ, Γ., ΒΡΕΛΛΗΣ, ΓΡ., ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΥ, Α., ΣΗΜΑΙΑΚΗΣ, Κ., ΜΠΙΜΠΟΥ, ΑΙΚ., ΕΥΘΥΜΙΟΠΟΥΛΟΣ, Θ., ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΛΑΧΑΝΑΣ, Γ., (2001) : Έρευνα και εντοπισμός γεωθερμικών πηγών ενέργειας Ηπείρου. Βιβλιοθ. Ι.Γ.Μ.Ε.
- ΧΑΤΖΗΓΙΑΝΝΗΣ, Γ, ΒΕΚΙΟΣ, Π., (2001): Μελέτη και αποτίμηση δυναμικού ορυκτών και ενεργειακών πρώτων υλών ( Ουρανιούχοι φωσφορίτες) Βιβλιοθ. Ι.Γ.Μ.Ε.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:** Γενική περιγραφή Γεωτρήσεων

Παρατήρηση: Οι γεωτρήσεις Σ1 – Σ8, ΓΜ-1 και ΣΠ1 πραγματοποιήθηκαν και περιγράφηκαν στο έργο του Β΄ Κ.Π.Σ (ΤΡΑΓΑΝΟΣ κ.ά., 2001). Η παρούσα περιγραφή των γεωτρήσεων είναι συνοπτική μετά από επεξεργασία που έγινε κατά τη σύνταξη της μελέτης. Οι ΓΛ-1, ΓΑ-1 και ΣΠ2 πραγματοποιήθηκαν και περιγράφηκαν στο παρόν έργο.

Hole Id : GA1  
 X=232105.00 Y=4330313.00 Z=2.00

Depth [m]	Lithology		
0.0		clay	
20.0		clay	
40.0			
60.0		sand	
80.0		clay	
100.0		sandstone	
120.0		clay	
140.0			
160.0		conglomerate	
180.0		clay	
200.0			
220.0		conglomerate	
240.0		clay	
260.0		conglomerate	
280.0		clay	
300.0		conglomerate	
320.0		clay	
340.0		conglomerate	
360.0		clay	
380.0		conglomerate	
400.0		clay	
420.0		conglomerate	
440.0		clay	
460.0		conglomerate	
		clay	
		conglomerate	

Hole Id : GL1  
 X=243913.00 Y=4327404.00 Z=3.00

Depth [m]	Lithology	Temperature [°C]	
		10.000	50.000
0.0	clay		24.70
20.0			24.80
40.0			25.30
60.0			26.00
80.0			26.70
100.0	sandstone		27.70
120.0	clay		28.60
140.0			28.60
160.0	sandstone		29.50
180.0	clay		30.40
200.0	clay		31.30
220.0	sand		31.80
240.0	clay		32.20
260.0	clay		32.60
280.0	clay		33.10
300.0	sand		33.60
320.0	sand		34.00
340.0	sand		34.10
360.0	sand		34.70
380.0	clay		35.10
400.0	sand		35.50
420.0	sand		36.00
440.0	sand		36.40
460.0	sand		36.90
480.0	sand		37.20
500.0	sand		37.70
	conglomerate		38.20
			38.80
			39.20
			39.90
			40.60
	sandstone		41.00
			41.70
			42.00
			43.10
			43.30
	clay		44.30
			45.40
	limestone		45.80



Hole Id : SP2  
 X=244576.00 Y=4327072.00 Z=0.50

Depth [m]	Lithology		Temperature [°C]	
0.0	clay		10.000	19.10
20.0				19.50
	clay		50.000	19.60
40.0				19.80
	clay		10.000	20.10
60.0				20.30
	clay		50.000	21.00
80.0				21.20
	clay		10.000	21.40
100.0				21.60
	sandstone		50.000	21.80
120.0				22.20
	sandstone		10.000	22.40
140.0				22.70
	clay		50.000	23.20
160.0				23.60
	clay		10.000	23.90
180.0				24.30
	clay		50.000	24.80
200.0				25.40
	sand		10.000	26.00
220.0				26.60
	sand		50.000	27.10
240.0				28.00
	sand		10.000	28.70
260.0				31.00
	sandstone		50.000	31.80
280.0				32.70
	clay		10.000	34.20
300.0				35.00
	clay		50.000	35.00
320.0				36.00
	limestone		10.000	39.50
340.0				40.00
	limestone		50.000	41.00
360.0				43.00
				43.00

Hole Id : S1  
 X=244565.89 Y=4327347.28 Z=2.79

Depth [m]	Lithology	Temperature [°C]
0.0	clay	29.30
20.0		29.80
40.0	sand	30.50
		31.00
60.0	sandstone	31.50
		31.80
80.0	sand	32.20
		33.00
100.0	sandstone	33.20
		33.50
120.0	sandstone	34.10
		36.00
140.0	clay	37.20
		38.00
160.0	sandstone	38.20
		39.00
180.0	clay	39.80
		40.50
200.0	sand	40.50
		41.00
220.0	sand	41.50
		41.80
240.0	sand	42.50
		42.80
260.0	sand	43.00
		44.20
280.0	clay	44.50
		44.50
300.0	limestone	44.50

Hole Id : S2  
 X=244662.10 Y=4327631.99 Z=1.92

Depth [m]	Lithology	Temperature [°C]
0.0	clay	23.50
20.0		23.00
40.0	sandstone	24.50
		24.50
60.0	silt	24.60
80.0		24.80
100.0	clay	25.20
		29.00
120.0	sand	25.50
		30.00
140.0	sandstone	30.50
		31.50
160.0	clay	31.50
		32.00
180.0	clay	32.00
		32.50
200.0	sand	32.50
		25.50
220.0	silt	26.00
		26.00
240.0	clay	26.50
		27.30
260.0	clay	27.50
		28.50
280.0	silt	33.00
		34.00
300.0	conglomerate	35.00
		37.80
320.0	silt	37.80
		38.00
	sandstone	38.10
		38.30
	limestone	

Hole Id : S3  
 X=244644.89 Y=4328311.61 Z=2.70

Depth [m]	Lithology	Temperature [°C]
0.0	clay	26.50
20.0	silt	26.50
40.0	clay	26.80
60.0	clay	26.90
80.0	silt	26.90
100.0	sandstone	26.90
120.0	clay	27.00
140.0	clay	27.00
160.0	sand	27.10
180.0	silt	27.30
200.0	sand	27.60
220.0	limestone	27.60
		27.60
		27.70
		28.00
		28.00
		28.20
		28.30
		28.30
		28.60
		28.60
		28.70
		28.90

Hole Id : S4  
 X=245596.71 Y=4327377.49 Z=1.31

Depth [m]	Lithology	Temperature [°C]
0.0	sand	22.00
20.0		22.00
40.0	sand	22.50
60.0		22.50
80.0	sandstone	23.00
100.0		23.50
120.0	sandstone	24.50
140.0		24.50
160.0	sandstone	25.00
180.0		25.00
200.0	sand	26.00
220.0		26.00
240.0	sandstone	26.50
260.0		26.50
280.0	silt	27.50
300.0		27.50
	sand	28.50
		29.50
	limestone	

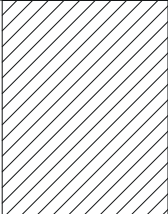
Hole Id : S5  
 X=245605.56 Y=4326812.65 Z=0.50

Depth [m]	Lithology	Temperature [°C]
0.0	sand	19.90
20.0	sand	20.20
40.0	sand	20.70
60.0	sand	21.40
80.0	sandstone	21.70
100.0	sand	22.20
120.0	sand	22.80
140.0	sand	23.40
160.0	sand	24.20
180.0	sand	25.10
200.0	sand	25.60
220.0	sand	26.70
240.0	clay	28.10
260.0	clay	28.60
280.0	sand	29.90
300.0	clay	31.20
320.0	clay	31.70
340.0	sand	32.20
360.0	limestone	
380.0	limestone	
400.0	limestone	

Hole Id : S6  
 X=243804.44 Y=4329876.77 Z=3.90

Depth [m]	Lithology	Temperature [°C]	
		10.000	50.000
0.0	sand		20.00
20.0			21.50
40.0	sand		21.70
			21.90
60.0	sand		22.00
			22.10
80.0	sand		22.20
			22.50
100.0	sand		22.90
			23.00
120.0	sand		23.10
			23.20
140.0	sand		23.50
			24.00
160.0	sand		24.20
			24.50
180.0	sand		25.00
			26.00
200.0	sand		26.20
			26.50
220.0	sand		27.00
			28.00
240.0	clay		29.00
			29.50
260.0	clay		30.00
			30.50
280.0	limestone		31.00
			31.20
300.0	limestone		31.50
			32.00

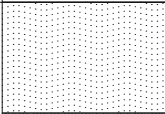

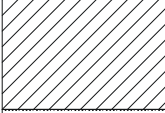
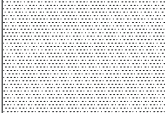
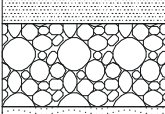
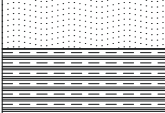
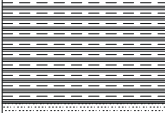

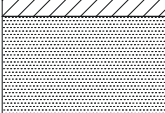
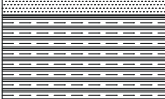










Hole Id : S7 X=245715.05 Y=4329093.10 Z=7.89					
Depth [m]		Lithology			
0.0			limestone		
20.0					
40.0					
60.0					

Hole Id : S8  
 X=244636.63 Y=4327026.28 Z=0.74

Depth [m]	Lithology	Temperature [°C]	
0.0	clay	18.00	
20.0		21.50	
		22.00	
		22.20	
40.0	sand	22.30	
		22.60	
60.0	sandstone	23.00	
80.0	sand	23.50	
		24.00	
100.0	sandstone	24.50	
		25.00	
120.0	sandstone	26.00	
		27.00	
140.0	clay	27.80	
		28.10	
160.0	sandstone	29.00	
		29.50	
180.0	sand	30.00	
		30.50	
200.0	sand	31.50	
		32.00	
220.0	sand	33.00	
		33.80	
240.0	sand	35.00	
		36.00	
260.0	sand	37.00	
		37.80	
280.0	sand	39.00	
		40.50	
300.0	sand	41.80	
		42.20	
320.0	limestone	43.20	
		44.00	

Hole Id : GM1  
 X=234598.36 Y=4328562.22 Z=0.85

Depth [m]	Lithology		Temperature [°C]	
			10.000	50.000
0.0	sand			19.50
20.0				19.90
40.0	sandstone			20.00
				20.10
60.0	sandstone			20.20
				20.30
80.0	silt			20.40
				20.50
100.0	silt			20.80
				21.00
120.0	sandstone			21.10
				21.50
140.0	sandstone			22.00
				22.50
160.0	sandstone			22.80
				23.40
180.0	Conglomerate			23.20
				23.50
200.0	sand			23.90
				24.00
220.0	clay			24.50
				25.00
240.0	clay			25.80
				26.00
260.0	clay			27.00
				27.50
280.0	clay			28.70
				28.90
300.0	sandstone			29.00
				29.50
320.0	silt			30.50
				31.00
340.0	sandstone			31.50
				32.00
360.0	sandstone			32.80
				33.00
380.0	clay			33.50
				33.80
400.0	clay			33.90
				34.00

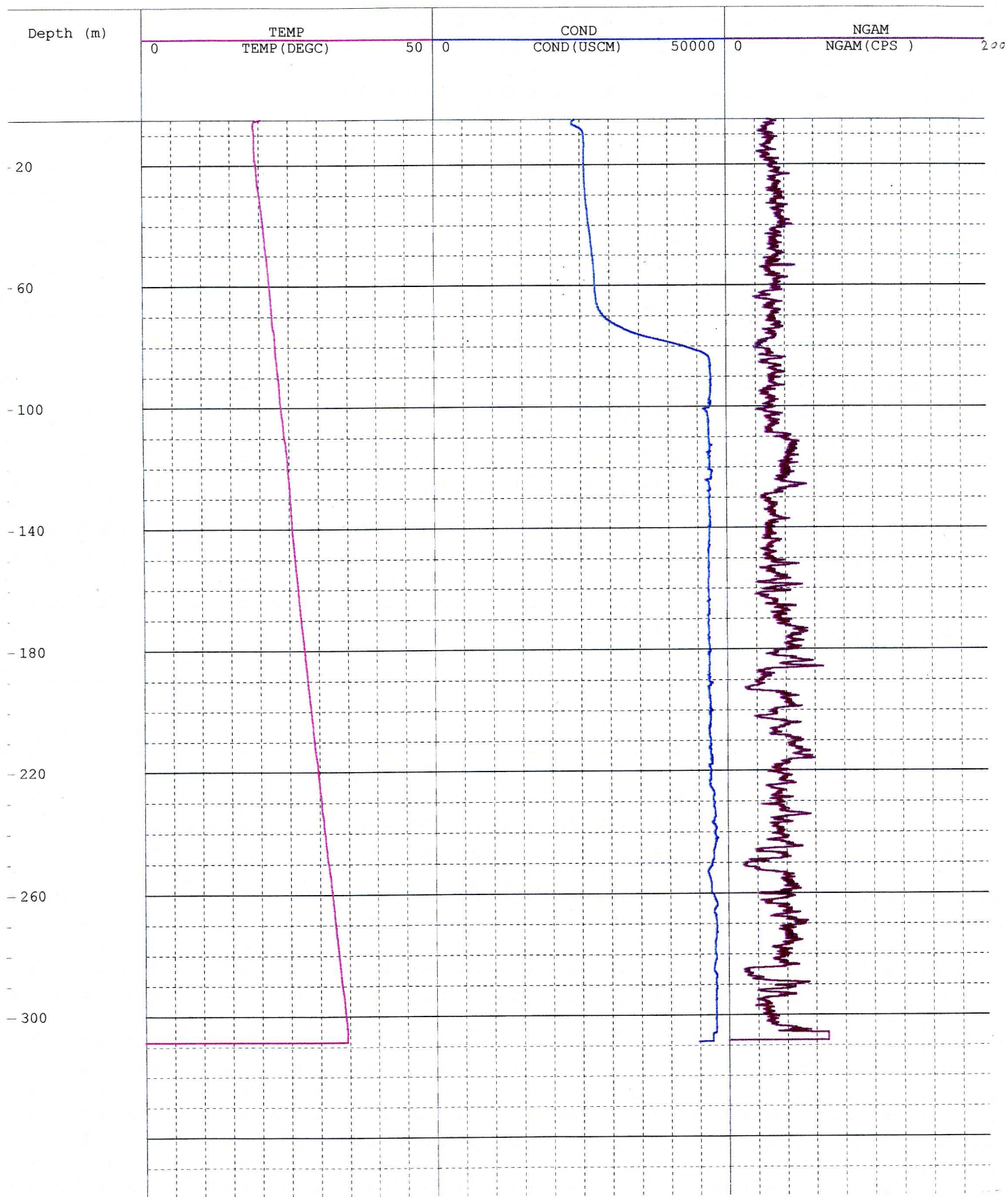
Hole Id : SP2  
 X=244576.00 Y=4327072.00 Z=0.50

Depth [m]	Lithology	Temperature [°C]
0.0	clay	19.10
20.0		19.50
40.0	clay	19.60
60.0		19.80
80.0	clay	20.10
100.0		20.30
120.0	sandstone	21.00
140.0		21.20
160.0	clay	21.40
180.0		21.60
200.0	sand	21.80
220.0		22.20
240.0	sandstone	22.40
260.0		22.70
280.0	clay	23.20
300.0		23.60
320.0	limestone	23.90
340.0		24.30
360.0		24.80
		25.40
		26.00
		26.60
		27.10
		28.00
		28.70
		31.00
		31.80
		32.70
		34.20
		35.00
		35.00
		36.00
		39.50
		40.00
		41.00
		43.00
		43.00

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2:**  
Διαγραφίες Γεωτρήσεων ΓΛ-1, ΓΑ-1 και ΣΠ2

File name : A:\GLT3.MRG  
Client name : IGME-REC.BY KORRES  
Borehole name : GL-1  
Date : 22/06/04

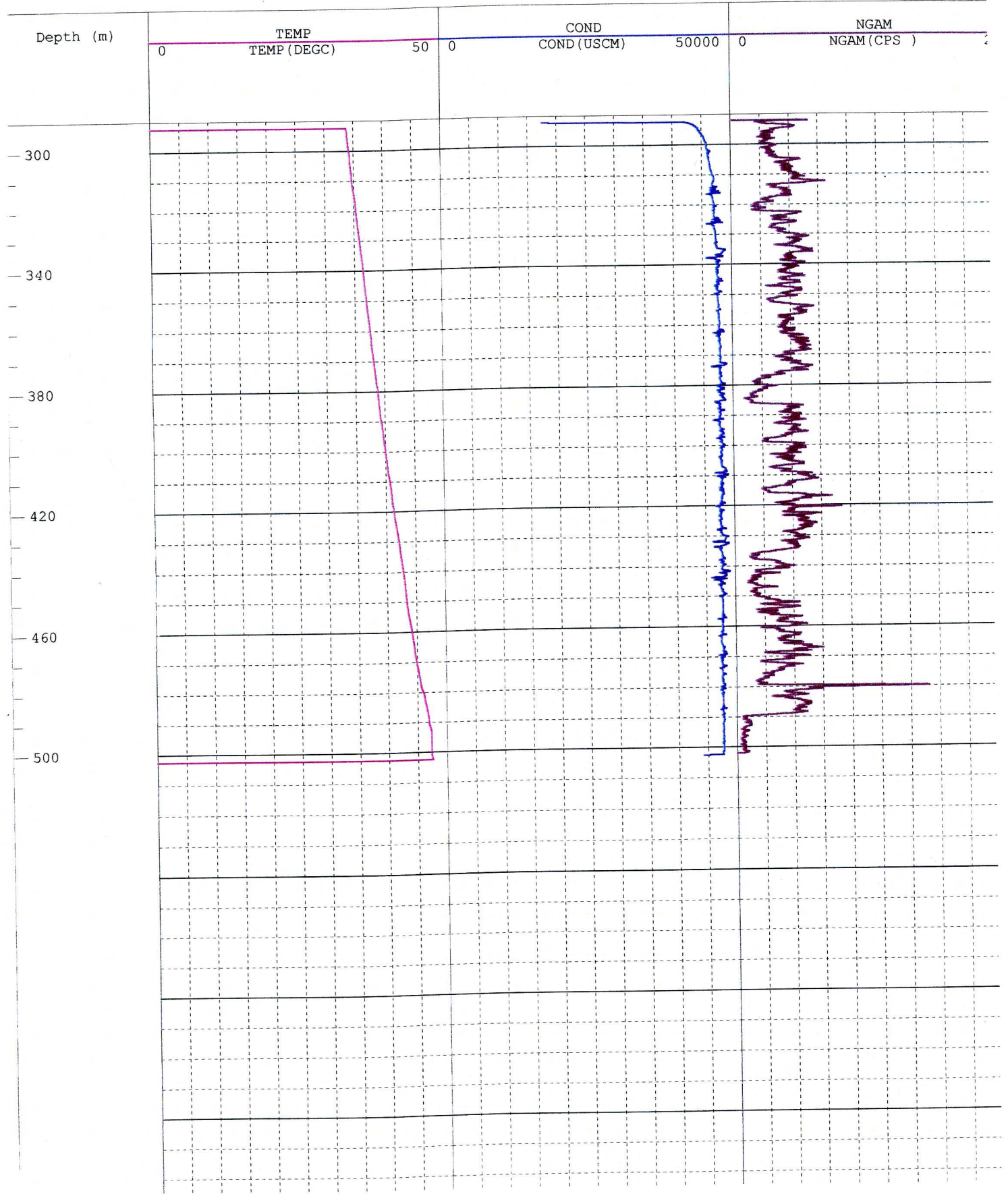
Site name : SYKIES-LOYTROTOPOS  
Main log title : TCGS  
Scale 1 : 1600





File name : A:\GLTR4.MRG  
Client name : IGME-REC.BY KORRES  
Borehole name : GL-1  
Date : 22/06/04

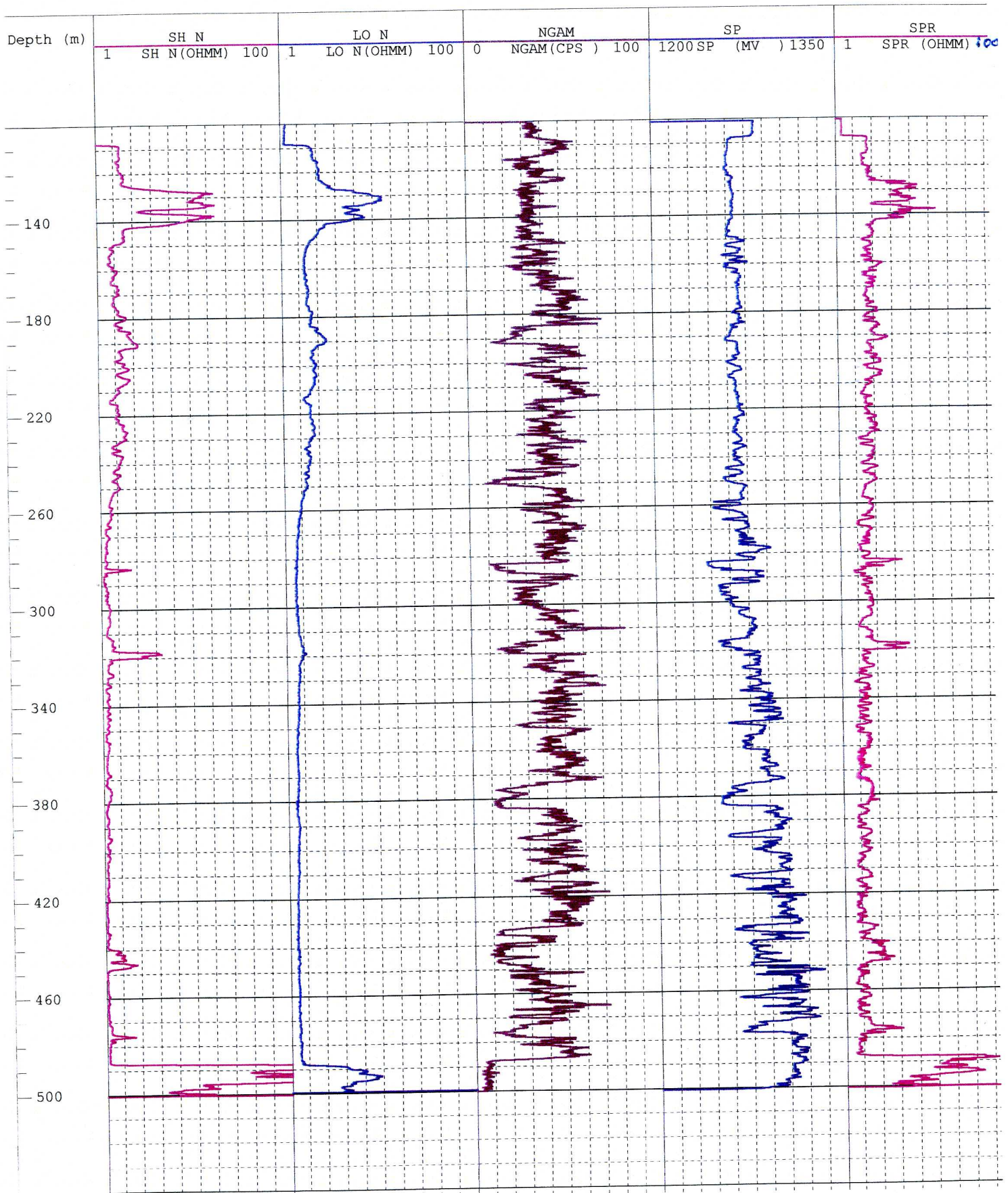
Site name : SYKIES-LOYTROPOPOS  
Main log title : TCGS  
Scale 1 : 1600





File name : A:\GL1.MRG  
 Client name : IGME-REC.BY KORRES  
 Borehole name : GL-1  
 Date : 02/12/03

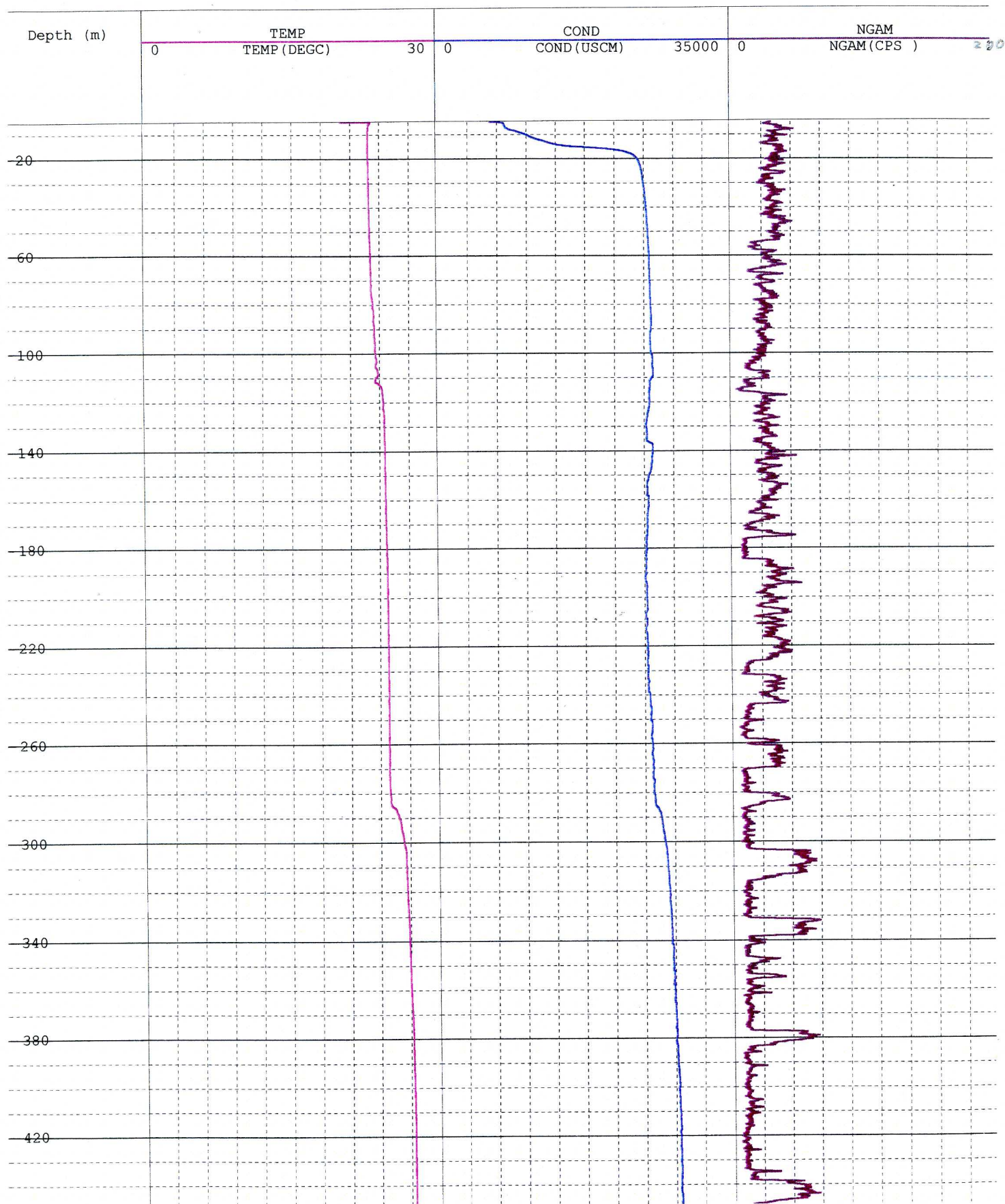
Site name : SYKIES-LOYTROPOPOS  
 Main log title : ELXG  
 Scale 1 : 2000





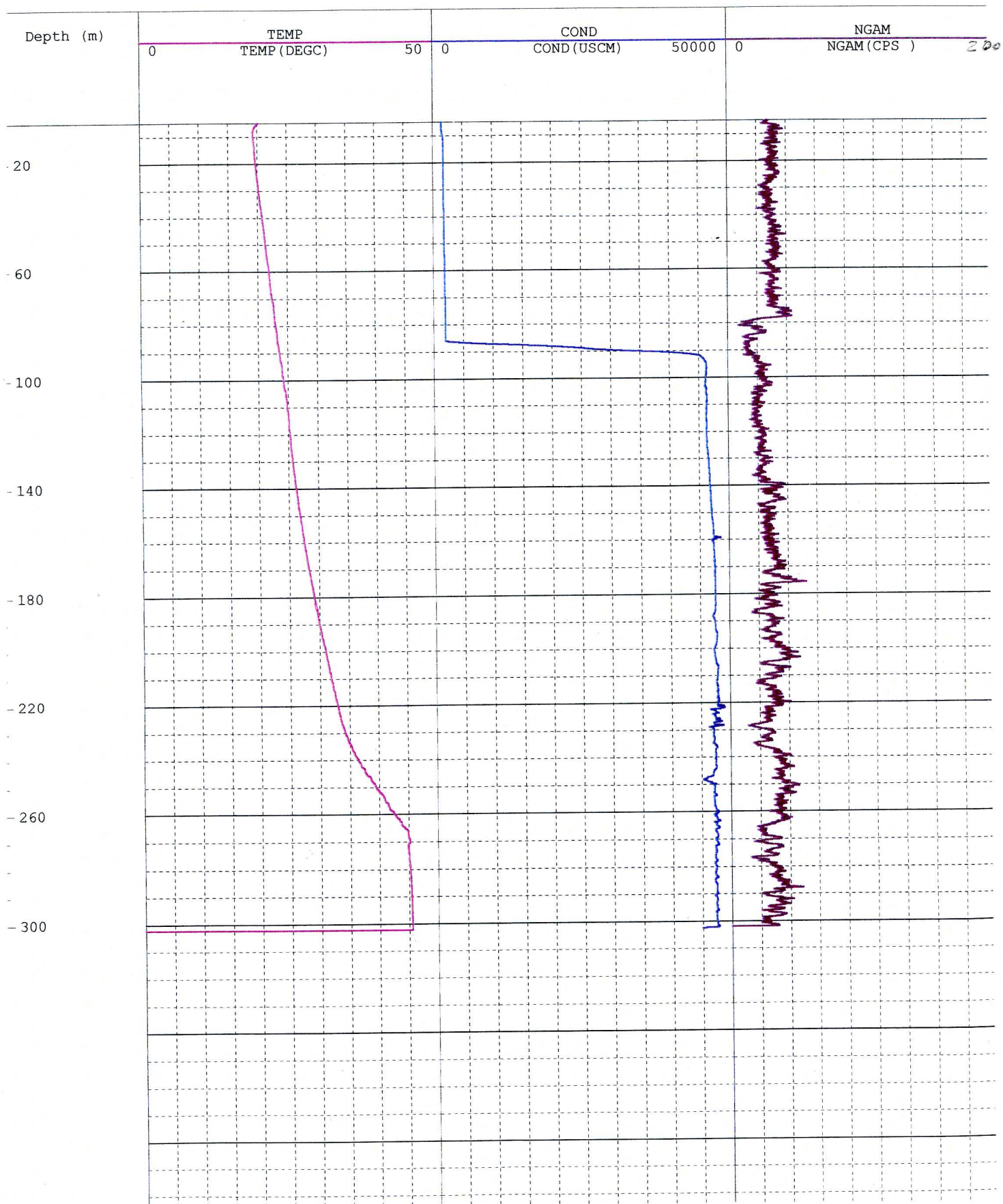
File name : A:\GA1.MRG  
Client name : IGME  
Borehole name : GA-1  
Date : 20/09/05

Site name : ANEZA  
Main log title : TEMP-COND-GAMMA  
Scale 1 : 2000



File name : A:\GA2.MRG  
Client name : IGME  
Borehole name : SPG-2  
Date : 21/09/05

Site name : SYKIES  
Main log title : TEMP-COND-GAMMA  
Scale 1 : 1800

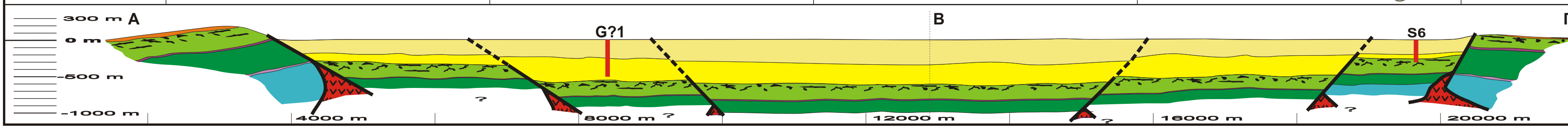
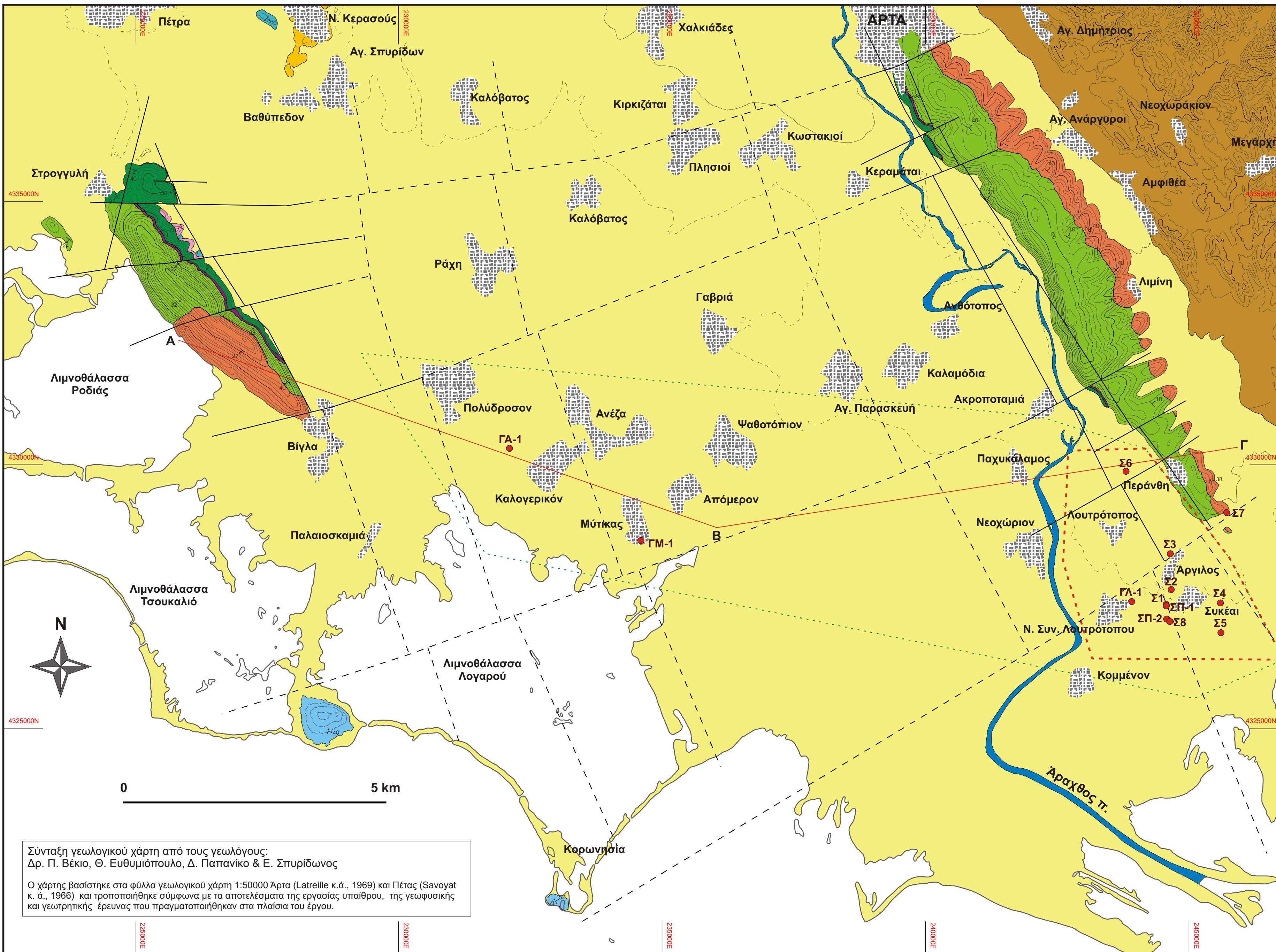




**ΤΕΛΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΥΚΙΩΝ - ΑΡΤΑΣ**

**ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ**  
 Κλίμακα 1:50000  
**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

- ΤΕΤΑΡΟΓΕΝΕΣ**
- Πρόσφατες αποθέσεις πεδιάδων (προσχωμαίσις και ελώδεις αποθέσεις), παλιές χημαρρώδεις αποθέσεις και κορήματα πυριτόλιθων. Αποτελούν ευνοϊκούς υδροφόρους ορίζοντες μικρού βάθους.
  - Πλευρικά κορήματα και κώνιοι κορημάτων
- ΝΕΟΓΕΝΕΣ**
- Ποταμιολιμνικές αποθέσεις, ερυθροή, παλιά συνδεδεμένα πλευρικά κορήματα, σύγχρονες ποταμοχειμαρικές αποθέσεις και κορήματα με κατά τόπους λιγνιτικούς ορίζοντες. Οι χαλαρές άμμοι, οι ψαμμίτικοι και κρκαλοπαγείς ορίζοντες αποτελούν ευνοϊκούς υδροφόρους ορίζοντες και διαχωρίζονται από τις παρεμβαλλόμενες αργιλικές ενστρώσεις.
- ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟ - ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ**
- Φλύσσης Ιονίου: Κυριαρχείται από αργιλομαργακικά υλικά και είναι υδατοστεγής.
- ΗΩΚΑΙΝΟ**
- Ασβεστόλιθοι Ηωκαίνου: λεπτοπλακώδεις, υπολιθογραφικοί και ενίοτε μικρολατυποπαγείς, μέσου πάχους 100-150 m. Στα κατώτερα τμήματα συχνή η παρουσία στρώσεων κερατολίθου πάχους 20-30 cm. Έντονη περατότητα και υδροφορία.
- ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ**
- Ασβεστόλιθοι Αν. Σενωνίου: υπολιθογραφικοί ασβεστόλιθοι, οι οποίοι σταδιακά προς τα ανώτερα τμήματα γίνονται μικρολατυποπαγείς με θραύσματα ρουδιτών. Πάχος 50-250 m. Παχυστρωματώδεις και έντονα διαρρηγμένοι, με πολύ καλή ανάπτυξη των φαινομένων καρστικοποίησης. Έντονη περατότητα και ανεπτυγμένη υδροφορία, περιορίζεται τοπικά από πυριτολιθικές στρώσεις και κονδύλους.
  - Φωσφορούχος ορίζοντας Αν. Κρητιδικού (Σαντόνιο - Κοριάσιο)
- Ασβεστόλιθοι Βίγλας (Τιβάνιο - Κ. Σενωνίο):** τελαγικοί, εναλλαγές λεπτοπλακωδών υπολιθογραφικών ασβεστόλιθων και κερατολιθικών στρώσεων σε κονδύλους ή φακούς. Μέσο πάχος 500 m, παρουσιάζει σημαντικές διαφορές και εξαρτάται από τον διαμορφωμένο κατά το Α. Ιουραϊκό βυθό της λεκάνης. Λιγότερο υδροπερατοί ανθρακικοί σχηματισμοί λόγω πυριτολιθικών ενστρώσεων και μαργακίων οριζόντων. Η περατότητα ποικίλει και η υδροφορία δεν είναι ενιαία.
- ΙΟΥΡΑΪΚΟ**
- Σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες (Α. Λιάσιο - Μάλμιο): εναλλαγές υπολιθογραφικών μαργακίων ασβεστόλιθων με στρώσεις αργιλομάργας και πυριτικού υλικού. Πάχος 10-50 m. Αδιαπέρατος σχηματισμός.
  - Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα (Κ. - Μ. Λιάσιο): Νηρητικοί, παχυστρωματώδεις με ενδολατυποπαγή υφή, στα κατώτερα τμήματα έχουν υποστεί δευτερογενή δολομιώωση, σπάνια αναγνωρίζονται επιφάνειες στρώσης. Έντονα κατακρηματισμένοι και καρστικοποιημένοι. Πολύ καλός υδροφορέας.
- ΤΡΙΑΔΙΚΟ**
- Εβαποριτική σειρά (Κ.-Μ. Τριαδικό): μικροκρυσταλλική γύψος, ορυκτό αλάτι, λατυποπαγή και καρστικοποιημένοι μαύροι ασβεστόλιθοι, τεμάχια υπολιθογραφικών ασβεστόλιθων και μαύρων αργιλικών οριζόντων.



Σύνταξη γεωλογικού χάρτη από τους γεωλόγους:  
 Δρ. Π. Βέκιο, Θ. Ευθυμιόπουλο, Δ. Παπανικό & Ε. Σπυριδωνος

Ο χάρτης βασίστηκε στα φύλλα γεωλογικού χάρτη 1:50000 Αρτα (Latreille κ.ά., 1969) και Πέτας (Savoyat κ.ά., 1966) και τροποποιήθηκε σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας υπαίθρου, της γεωφυσικής και γεωτρητικής έρευνας που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του έργου.

Ρήγμα βέβαιο - πιθανό

ΣΠ-2 ● Γεώτρηση

Διεύθυνση/κλίση στρωμάτων

Ισούψεις 10 m - 20 m - 100 m

Γεωθερμικό πεδίο βέβαιωμένο

Γεωθερμικό πεδίο πιθανό