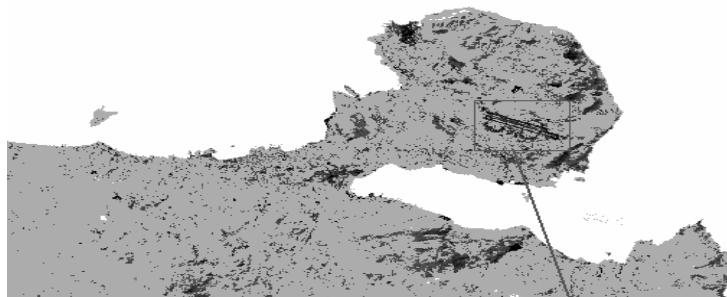




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΛΑΣΤΑΡΑΣ Π. ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Εξεταστική Επιτροπή

Αντώνιος Βαφείδης	Καθηγητής (Επιβλέπων)
Θεόδωρος Μαρκόπουλος	Καθηγητής
Εμμανουήλ Μανούτσογλου	Επίκουρος Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	3
Περίληψη.....	4
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	5
1.1 Γενικά	7
1.2.Επιφανειακή εκδήλωση – γεωθερμική βαθμίδα – θερμική ροή.....	7
1.3 Σημερινό καθεστώς χρήσης της γεωθερμίας.....	9
Κεφάλαιο 2 : Γεωλογικό υπόβαθρο	10
2.1 Η Γεωλογική δομή της Κρήτης	10
2.2 Στρωματογραφία.....	14
Κεφάλαιο 3: Γεωθερμικά συστήματα-πεδία	19
3.1 Γενικά	19
3.2 Γεωθερμικά συστήματα.....	19
3.3 Ορισμοί και ταξινόμηση γεωθερμικών πόρων.....	22
3.4 Γεωθερμικά πεδία.....	25
Κεφάλαιο 4: Γεωθερμική έρευνα.....	27
4.1 Αντικείμενα έρευνας.....	27
4.2 Μέθοδοι έρευνας	28
4.3 Ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διακόπησης	31
4.3.1 Γενικά.....	31
4.3.2 Μέθοδος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	32
4.3.3 Τρόποι διάταξης ηλεκτροδίων.....	36
4.4 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση.....	40
4.4.1 Εισαγωγή	40
4.4.2 Διεξαγωγή ηλεκτρικής βυθοσκόπησης	41
4.4.3 Επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής βυθοσκόπησης	42
4.5 Ηλεκτρική τομογραφία	43
4.5.1 Εισαγωγή.....	43
4.5.2 Τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων.....	43
4.5.3 Εξοπλισμός ηλεκτρικής τομογραφίας	45
4.5.4 Διεξαγωγή ηλεκτρικής τομογραφίας	47
4.5.5 Επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας	47
Κεφάλαιο 5: Μεθοδολογία έρευνας – Μετρήσεις	48
5.1 Στάδια έρευνας	48
5.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης	50
5.3 Μετρήσεις θερμοκρασίας	51
5.4 Αποτελέσματα βυθοσκοπήσεων.....	60
5.5 Αποτελέσματα τομογραφιών.....	70
5.6 Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	73
5.7 Συνδιασμός όλων των σταδίων έρευνας	76
5.8 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	81
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα-Προτάσεις	83
6.1 Εκτίμηση-ερμηνεία αποτελεσμάτων.....	83
6.2 Προτάσεις	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	87
Βιβλιογραφία	90

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη του γεωθερμικού δυναμικού της περιοχής του Ακρωτηρίου Χανίων Κρήτης. Έναυσμα της έρευνας αυτής αποτέλεσαν αναφορές κατοίκων του Παζινού, χωριό που συνορεύει με το αεροδρόμιο Σούδας, αλλά και από αναφορές υπαλλήλων του αεροδρομίου, για εμφάνιση θερμού αέρα κυρίως τους χειμερινούς μήνες (λόγω φαινομένων συμπύκνωσης). Η διπλωματική αυτή αποσκοπεί στο να ερευνηθεί και να αποφανθεί κατά πόσο σχετίζεται η εμφάνιση του θερμού αέρα, βάσει των παραπάνω αναφορών, με την παρουσία γεωθερμικού πεδίου.

Η διπλωματική αυτή περιλαμβάνει τα εξής κεφάλαια :

- ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ
- ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-ΠΕΔΙΑ
- ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ-ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ
- ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ
- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλο το δυναμικό του εργαστηρίου γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την πολύτιμη βοήθειά τους στην πραγματοποίηση των μετρήσεων. Επίσης τον κύριο Βαφείδη Α. (επιβλέπων) καθηγητή μου, για την καθοδήγηση και τις παρατηρήσεις του καθώς και τους κυρίους Μανούτσογλου Ε. και Μαρκόπουλο Θ. που δέχτηκαν να συμμετέχουν στην εξεταστική επιτροπή. Τέλος τον κύριο Φυτίκα Μ. καθηγητή Α.Π.Θ για τις υποδείξεις του, που αποτέλεσαν το έναυσμα για την παρούσα διπλωματική εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αντικείμενο της έρευνας είναι η περιχαράκωση γεωθερμικού πεδίου στο Ακρωτήρι Χανίων. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμοκρασίας εδάφους στη ευρύτερη περιοχή με έμφαση σε θέσεις όπου υπήρχαν αναφορές για εμφάνιση θερμού αέρα στην επιφάνεια. Ακολούθησε η γεωφυσική έρευνα με τις μεθόδους της ηλεκτρικής τομογραφίας και βυθοσκόπησης με σκοπό τον εντοπισμό γεωλογικού σχηματισμού χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης.

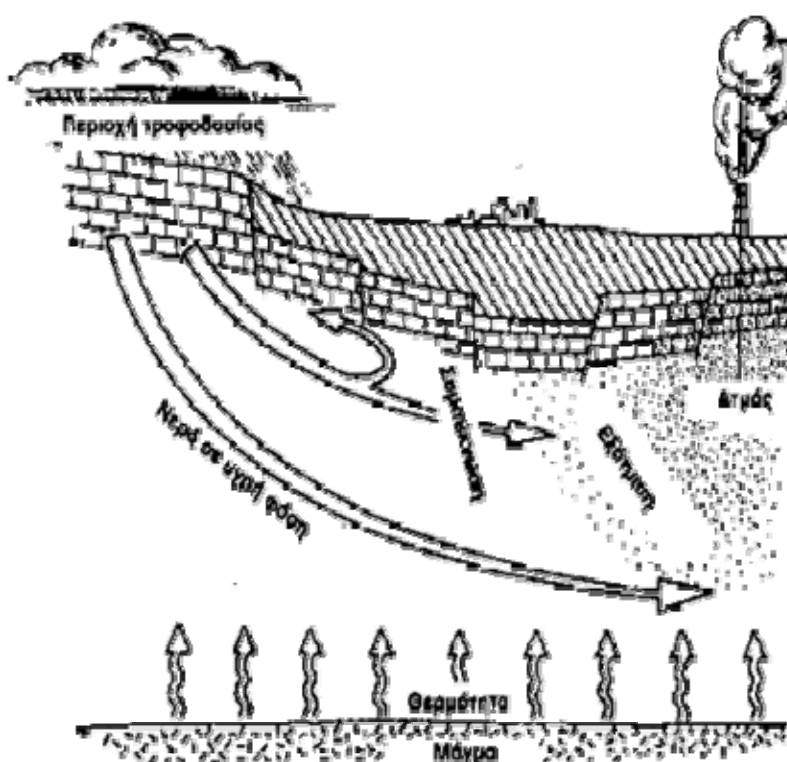
Από τις βυθοσκοπήσεις και τις τομογραφίες εντοπίστηκε μια ζώνη πολύ χαμηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων ($<10\Omega\text{m}$) πάχους 50m περίπου σε βάθος έως 95m. Σε αυτό το βάθος φαίνεται πως δεν υπάρχει παρουσία υφάλμυρου νερού, αφού το υψόμετρο στην περιοχή μελέτης είναι 150-155m. Οι γεωλογικές συνθήκες στην περιοχή μελέτης, η γεωφυσική έρευνα και η εμφάνιση θερμού αέρα στην επιφάνεια, συνηγορούν στην ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου, το οποίο πρέπει να επιβεβαιωθεί με περαιτέρω έρευνα που να περιλαμβάνει και ερευνητικές γεωτρήσεις .

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Είναι μια ήπια και σχετικά ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες.

Οι γεωθερμικές περιοχές συχνά εντοπίζονται από τον ατμό που βγαίνει από σχισμές του φλοιού της γης ή από την παρουσία θερμών πηγών. Για να υφίσταται διαθέσιμο θερμό νερό ή ατμός σε μια περιοχή, (αν η θερμοκρασία τους είναι πάνω από 25°C, τότε σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία ονομάζονται γεωθερμικά ρευστά) πρέπει να υπάρχει κάποιος υπόγειος ταμιευτήρας αποθήκευσης του κοντά σε ένα θερμικό κέντρο. Στην περίπτωση αυτή, το νερό του ταμιευτήρα, που συνήθως είναι βρόχινο νερό που έχει διεισδύσει στους βαθύτερους ορίζοντες της γης, θερμαίνεται και ανεβαίνει προς την επιφάνεια (γεωθερμικό κοίτασμα).-ΣΧΗΜΑ 1-



ΣΧΗΜΑ 1.1.1 Σχηματική αναπαράσταση γεωθερμικού κοιτάσματος (ΦΥΤΙΚΑΣ, 2004)

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

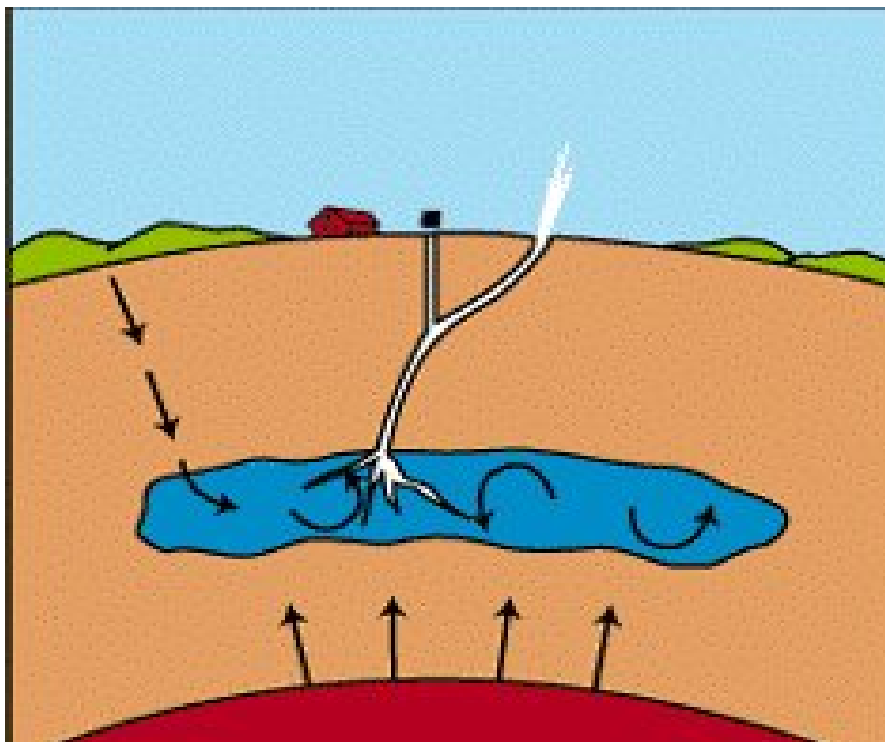
Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία:

- 1.) την *εστία θερμότητας*,
- 2.) τον *ταμιευτήρα*
- 3.) *ρευστό*, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας.

Η *πηγή θερμότητας* μπορεί να είναι είτε μια *μαγματική διείσδυση* (600–1200°C) σε βάθη 3–10 Km, είτε η *κανονική θερμική ροή της γης* που δημιουργεί θερμότερους σχηματισμούς όσο *πηγαίνουμε στο βάθος*.

Ο *ταμιευτήρας* (reservoir) αποτελείται από ένα σύστημα θερμών πετρώματων που επιτρέπουν την *κυκλοφορία / εγκλωβισμό των κυκλοφορούντων ρευστών*, τα οποία *απάγουν θερμότητα*.

Τα *γεωθερμικά ρευστά* είναι συνήθως *νερά μετεωρικής προέλευσης σε υγρή ή αέρια φάση* ενώ *δύναται να περιέχουν ποσότητες διαλυμένων στερεών ουσιών*.



ΣΧΗΜΑ 1.1.2 Σχηματική απεικόνιση γεωθερμικού συστήματος (ΦΥΤΙΚΑΣ, 2004)

1.2 Επιφανειακή εκδήλωση – γεωθερμική βαθμίδα – θερμική ροή

Τα γεωθερμικά αυτά ρευστά εμφανίζονται στην επιφάνεια είτε με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού όπως προαναφέρθηκε είτε αντλούνται με γεώτρηση και αφού χρησιμοποιηθεί η θερμική τους ενέργεια, γίνεται επανέγχυση του ρευστού στο έδαφος με δεύτερη γεώτρηση.



Έτσι ενισχύεται η μακροβιότητα του ταμειυτήρα και αποφεύγεται η θερμική ρύπανση του περιβάλλοντος

Η γεωθερμική βαθμίδα ορίζεται ως ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της γης σε συνάρτηση με το βάθος, μέσα στο γήινο φλοιό. Σε βάθη που είναι προσβάσιμα με τις σύγχρονες γεωτρητικές μεθόδους, δηλαδή μέχρι τα 10.000m, η μέση γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται περίπου στους 2,5-3°C/100 m. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία στα πρώτα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανταποκρίνεται κατά μέσο όρο στη μέση ετήσια θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, δηλ. τους 15°C, τότε μπορεί να υποθεθεί ότι η θερμοκρασία στο βάθος των 2000 m θα είναι περίπου 65-75°C, στα 3000 m 90-105°C, κ.ο.κ. για μερικά ακόμα χιλιάδες μέτρα. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλές περιοχές στις οποίες η γεωθερμική βαθμίδα αποκλίνει πολύ από τη μέση τιμή. Εκεί όπου το γεωλογικό υπόβαθρο έχει υποστεί πολύ γρήγορη βύθιση και η λεκάνη έχει πληρωθεί με γεωλογικά «πολύ νέα» ιζήματα, η γεωθερμική βαθμίδα μπορεί να είναι μικρότερη και από 1°C/100 m. Αντίθετα, σε μερικές «γεωθερμικές» καλούμενες περιοχές, η τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας μπορεί να είναι και δεκαπλάσια της μέσης γήινης. Λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στα διάφορα στρώματα, προκαλείται ροή θερμότητας από τις βαθιές και θερμές ζώνες του υπεδάφους προς τις ρηχές και ψυχρότερες, τείνοντας έτσι στη δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών. Στην πραγματικότητα όμως, όπως πολύ συχνά συμβαίνει στη φύση, κάτι τέτοιο ουδέποτε επιτυγχάνεται πλήρως. Η μέση γήινη ροή θερμότητας στις ηπείρους και τους ωκεανούς είναι 65 και 101 MW/m²

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

αντίστοιχα, οι οποίες, υπολογίζοντας την έκταση των περιοχών, δίνουν ένα παγκόσμιο μέσο όρο της τάξης των 87 MW/m^2 (Pollack et al., 1993). Οι τιμές αυτές προέκυψαν μετά από 24.774 μετρήσεις σε 20.201 θέσεις, που καλύπτουν το 62% περίπου της γήινης επιφάνειας. Υπάρχουν βέβαια και κάποιοι εμπειρικοί υπολογισμοί που επιτρέπουν την εκτίμηση της θερμικής ροής χωρίς να προηγηθούν μετρήσεις. Η ανάλυση της θερμικής ροής από τους Pollack et al. (1993) είναι η πιο πρόσφατη και η μόνη σε έντυπη μορφή.

Η θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος, και τα ηφαίστεια, οι θερμοπίδακες (geysers), οι θερμές πηγές κλπ, αποτελούν κατά μία έννοια την ορατή εκδήλωση της θερμότητας του εσωτερικού της γης.



ΣΧΗΜΑ 1.2.1 *ΙΣΛΑΝΔΙΑ - Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των περισσότερων σπιτιών στην Ισλανδία. Υπάρχουν περίπου 30 δημοτικά συστήματα θέρμανσης και 200 ιδιωτικά σε αγροτικές περιοχές που καλύπτουν το 86% της θέρμανσης στη χώρα (ΦΥΤΙΚΑΣ, 2004).*

1.3 Σημερινό καθεστώς χρήσης της γεωθερμίας

Μετά το 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε ελκυστική σε πολλές χώρες, επειδή ήταν ανταγωνιστική ως προς άλλες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η ενέργεια αυτή δε χρειαζόταν να εισαχθεί από άλλες χώρες, όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα ενώ σε πολλές περιπτώσεις αποτελούσε τον μοναδικό διαθέσιμο εγχώριο ενεργειακό πόρο.

Η χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες παρουσιάζει ενδιαφέρουσες τάσεις με το χρόνο. Μεταξύ των ετών 1975 και 1979 η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς σ' αυτές τις χώρες αυξήθηκε από 75 σε 462 MWe. Στο τέλος της επόμενης πενταετίας (1984) έφτασε στα 1.495 MWe, παρουσιάζοντας ένα ρυθμό αύξησης κατά τη διάρκεια των δύο αυτών περιόδων 500% και 223% αντίστοιχα (Dickson and Fanelli, 1988). Στα επόμενα 16 χρόνια, από το 1984 έως το 2000, υπήρξε μια περαιτέρω αύξηση της τάξης του 150%.

Η γεωθερμική ενέργεια συμμετέχει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο αρκετών περιοχών. Για παράδειγμα, το 2001 η ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε από γεωθερμικούς πόρους αντιπροσώπευε το 27% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στις Φιλιππίνες, το 12,4 % στην Κένυα, το 11,4% στην Κόστα Ρίκα και το 4,3% στο Ελ Σαλβαδόρ. Σε όλη την Ευρώπη υπάρχουν συνολικά 28 γεωθερμικά ενεργές χώρες και πέντε χώρες με γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή (Ιταλία, Ισλανδία, Γαλλία, Αυστρία, Πορτογαλία) με εγκατεστημένη ισχύς 971MWe και παραγωγή 5635GWh το χρόνο ηλεκτρικής ενέργειας (Huttner,2001).

Η πιο συνηθισμένη μη-ηλεκτρική χρήση της γεωθερμίας παγκόσμια είναι οι αντλίες θερμότητας (heat-pumps) (34,80%) και ακολουθούν η λουτροθεραπεία (26,2%), η θέρμανση χώρων (21,62%), η θέρμανση θερμοκηπίων (8,22%), οι υδατοκαλλιέργειες (3,93%) και οι βιομηχανικές χρήσεις (3,13%) (Lund and Freeston, 2001).

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

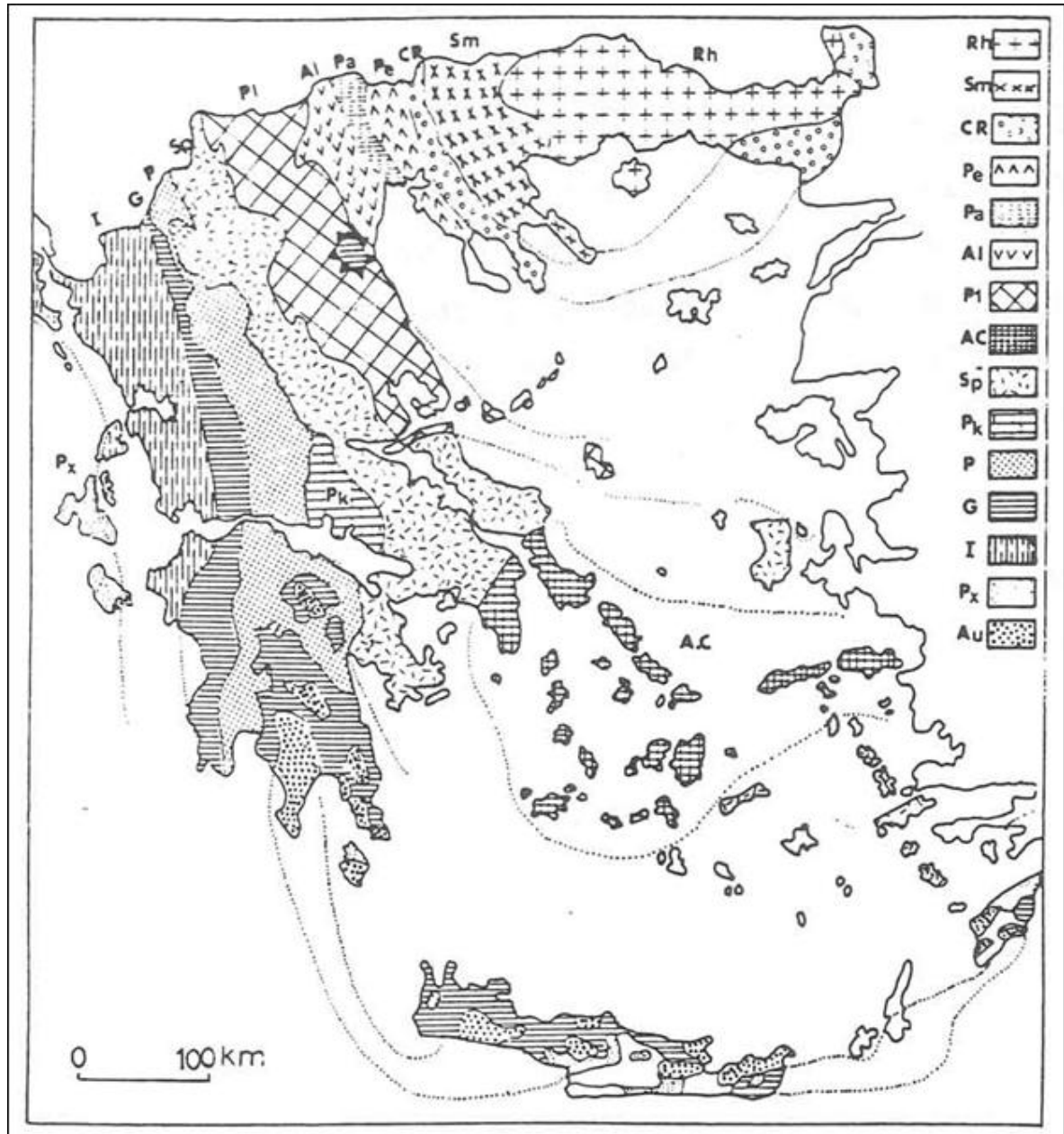
2.1 Γεωλογική δομή της Κρήτης

Η γεωλογική δομή της Κρήτης συνδέεται άμεσα με την συνολική γεωλογική δομή της Ελλάδας, η οποία χωρίζεται σε διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες με γενική διεύθυνση στον ηπειρωτικό χώρο της ΒΔ-ΝΑ. Κάθε ζώνη, χαρακτηρίζεται από ορισμένη και χαρτογραφίσιμη στρωματογραφική/λιθολογική διαδοχή των πετρωμάτων της όπως αυτά προέκυψαν από την επαλληλία των τεκτονικών γεγονότων που οδήγησαν στην δημιουργία του ορογενούς. Στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο, οι κύριες γεωτεκτονικές ζώνες των οροσειρών με διεύθυνση από ΒΔ προς ΝΑ είναι (σχήμα 2.1.1):

1. Η **μάζα της Ροδόπης** εμφανίζεται στην Ανατολική Μακεδονία, Θράκη και Θάσο. Αποτελείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πυριγενή πετρώματα.
2. Η **Σερβομακεδονική μάζα** εμφανίζεται δυτικά του Στρυμόνα από τα σύνορα μέχρι και την Χαλκιδική. Αποτελείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα.
3. Η **Περιοδοπική ζώνη** εκτείνεται στη δυτική πλευρά της Σερβομακεδονικής μάζας με διεύθυνση ΒΔ -ΝΑ.
4. Η **ζώνη του Αξιού** εμφανίζεται στην Κεντρική Μακεδονία, χαρακτηρίζεται από τις μεγάλες οφειολιθικές μάζες που απαντώνται σε αυτήν.
5. Η **Πελαγονική ζώνη** εμφανίζεται σε όλη την Ελλάδα και αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, γνευσιωμένους γρανίτες και ανθρακικά καλύμματα.
6. Η **Αττικο-Κυκλαδική ζώνη** εμφανίζεται κυρίως στα νησιά των Κυκλάδων και σε ένα τμήμα της Αττικής και της Νότιας Εύβοιας.
7. Η **Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη «Ανατολικής Ελλάδας»** εμφανίζεται στη Δυτική πλευρά της Πελαγονικής ζώνης. Χαρακτηρίζεται από μεγάλες οφειολιθικές μάζες που απαντώνται σε αυτήν.
8. Η **ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας** εμφανίζεται στην κεντρική Στερεά Ελλάδα και αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες.
9. Η **ζώνη Ωλονού-Πίνδου ή ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης** εμφανίζεται στην Ήπειρο, στην κεντρική Ελλάδα, στη δυτική και βορειανατολική

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

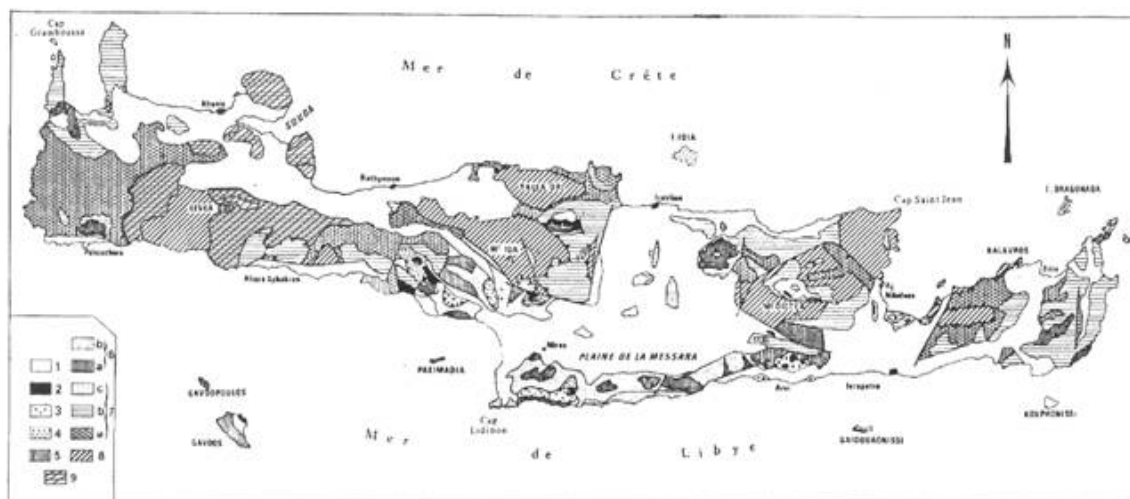
10. Η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης
11. Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη
12. Η ζώνη Παξών



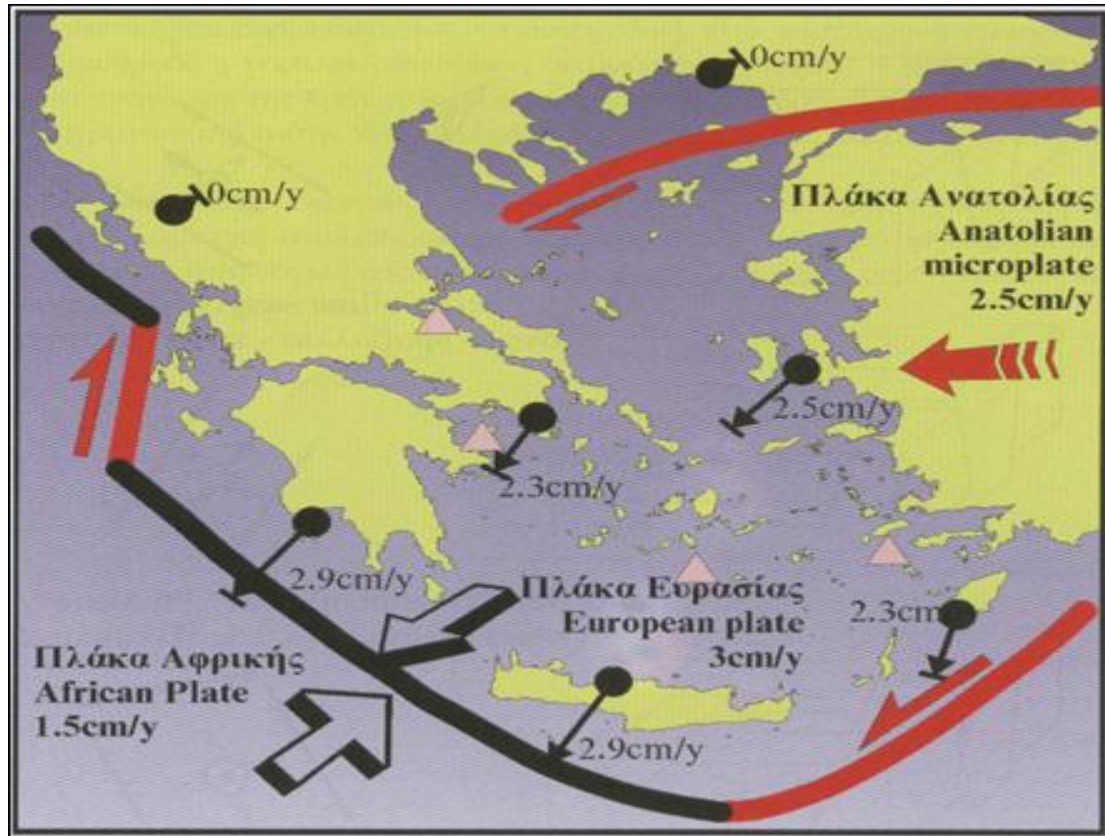
ΣΧΗΜΑ 2.1.1 Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα Ροδόπης, SM: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιτροδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Παϊκού, Al: Ζώνη Αλωπίας) = Ζώνη Αζίου, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Μουντράκης, 1985)

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

Η Κρήτη έχει μια πολύπλοκη γεωλογική δομή (σχήμα 2.1.2) και έχουν διατυπωθεί διάφορες απόψεις σχετικά με τη δομή της. Αυτό οφείλεται στην γεωτεκτονική θέση που κατέχει σε σχέση με τις δύο συγκλίνουσες λιθосφαιρικές πλάκες, της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής (σχήμα 2.1.3).

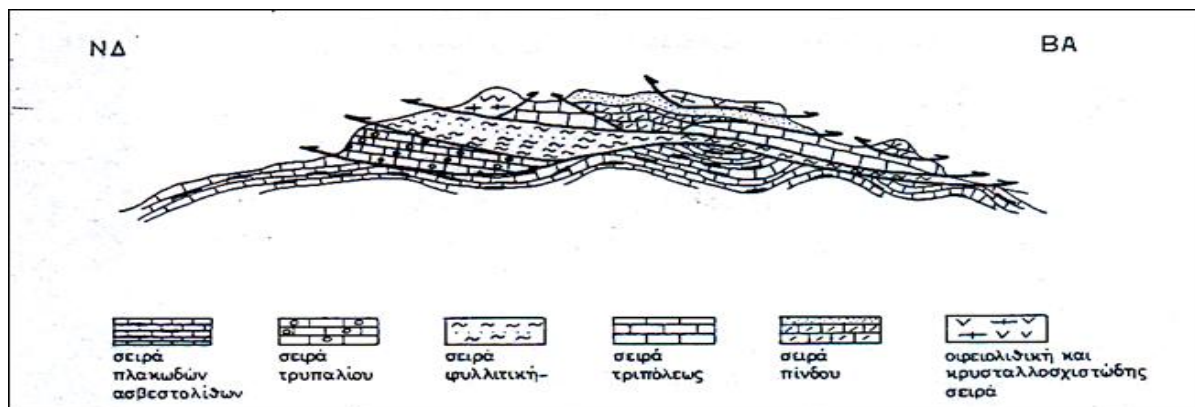


Σχήμα 2.1.2. Γεωλογικός χάρτης της Κρήτης (τροποποιημένος από Boneau, 1973). Στο υπόμνημα: 1. Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, 2. Οφιόλιθοι, 3. κάλυμμα Αστερουσιών, 4. καλ. Βάτου, 5. καλ. Σπηλίου και Πρέβελη, 6. καλ. Πίνδου (ασβεστόλιθοι, ραδιολαρίτες και φλύσχης), 7. καλ. Τρίπολης (ασβεστόλιθοι, φλύσχης), 7α. Καλ. Φυλλιτών-Χαλαζιτών, 8. καλ. Πλακωδών ασβεστόλιθων και 9. καλ. Τρυπαλίου.



Σχήμα 2.1.3. Η σημερινή κινηματική κατάσταση του Αιγαίου (τροποποιημένη από τον Gilbert et al. 1994, Noomen et al. 1996 και Reilinger et al. 1997). Τα βέλη αντιστοιχούν σε οριζόντιες μετατοπίσεις σε σχέση με τη σταθερή Ευρώπη. Η παχιά μαύρη γραμμή δείχνει τη ζώνη υποβύθισης και οι κόκκινες γραμμές οριζόντιες κινήσεις.

Χαρακτηριστικό στοιχείο της δομής της είναι τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα των διαφόρων ζωνών (σχήμα 2.1.4), τα οποία αναπτύσσονται πάνω στην ενότητα Ταλέα όρη- των πλακωδών ασβεστόλιθων.



Σχήμα 2.1.4. Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της Κρήτης με τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα.

2.2 Στρωματογραφία

Η Κρήτη αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την ημιμεταμορφωμένη ενότητα των πλακωδών ασβεστολίθων και τους υποκείμενους ασβεστολίθους, δολομίτες, με παρεμβολές σχιστολίθων, ένα αλλόχθονο σύστημα αποτελούμενο από διάφορα επιμέρους καλύμματα επωθημένο πάνω στο αυτόχθονο και από τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.

ΑΥΤΟΧΘΟΝΗ ΣΕΙΡΑ - ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ

Περιλαμβάνει την ενότητα των πλακωδών ασβεστολίθων που χαρακτηρίζεται από την λεπτοστρωματώδη ανάπτυξη ισχυρά ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων - μαρμάρων στους οποίους παρεμβάλλονται πυριτόλιθοι με μορφή λεπτών στρώσεων, κονδύλων ή φακών, σχιστολίθους κυρίως πυριτικούς που βρίσκονται με μορφή ένστροφης στη βάση των πλακωδών κρυσταλλικών ασβεστολίθων και παχυστρωματώδεις ασβεστολίθους έως μάρμαρα και δολομίτες. Τα ανθρακικά της Ιονίου ζώνης αναπτύσσονται κυρίως στα κεντρικά τμήματα των ορεινών όγκων (Λευκά ορη, Ψηλορείτης, Ταλαία Ορη, Δίκητη, Σελένα και Θριπτή) και σποραδικά σε άλλα τμήματα ιδιαίτερα στο Ν.Ρεθύμνου.

ΑΛΛΟΧΘΟΝΕΣ ΣΕΙΡΕΣ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΟΜΑΛΟΥ - ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ

Αποτελεί το κατώτερο τεκτονικό κάλυμμα της νήσου Κρήτης και βρίσκεται επωθημένο επάνω στην αυτόχθονη σειρά των λεπτοπλακωδών κρυσταλλικών ασβεστολίθων. Εμφανίζει μεγάλη εξάπλωση στη Δυτική Κρήτη και αναπτύσσεται σε μεγάλο τμήμα των Λευκών Ορέων.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΦΥΛΛΙΤΩΝ - ΧΑΛΑΖΙΤΩΝ

Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από φυλλίτες, μεταψαμμίτες, χαλαζίτες και σχιστόλιθους, κροκαλοπαγή, ποικίλης σύστασης. Συχνά παρεμβάλλονται μαύροι λεπτοστρωματώδεις και κατακερματισμένοι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, χαλαζιτικές φλέβες, δολομίτες

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΤΡΙΠΟΛΗΣ

Το τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Τρίπολης συναντάται επωθημένο είτε απευθείας πάνω στους Πλακώδεις ασβεστολίθους της Ιονίου ζώνης, είτε και κυρίως πάνω σε υπολείμματα της φυλλιτικής - χαλαζιτικής σειράς με αποτέλεσμα να παρουσιάζει έντονο κερματισμό στη βάση του. Περιλαμβάνει τους σχηματισμούς του φλύσχη και τους μεσο-παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους και δολομίτες που είναι έντονα τεκτονισμένοι. Τα ανθρακικά πετρώματα της Τρίπολης παρουσιάζουν μεν μεγάλο πάχος, έχουν όμως εξαιτίας των επωθήσεων και των ρηγμάτων κατατμηθεί και συναντώνται πολλές φορές ως τεκτονικά ράκη πάνω στους υποκείμενους τεκτονικά σχηματισμούς. Εξαιτίας της θέσης τους ως υπερκείμενοι των φυλλιτών και λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων διαδραματίζουν ιδιαίτερο ρόλο στη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών λεκανών της Κρήτης.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΠΙΝΔΟΥ

Το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου συναντάται με μικρές γενικά ανθρακικές εμφανίσεις λεπτοπλωδών ασβεστολίθων με ενστρώσεις πυριτιολίθων, στρώματα κερατολίθων και μεγαλύτερα αναπτύγματα του φλύσχη. Η ενότητα της Πίνδου συναντάται κυρίως επωθημένη πάνω στην αντίστοιχη της Τρίπολης και τοπικά πάνω στους φυλλίτες.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ

Η ενότητα των οφιολίθων-κρυσταλλοσχιστωδων είναι ένα σύνθετο πολύμεικτο τεκτονικό κάλυμμα με μεγάλη ποικιλία λιθολογικών σχηματισμών διαφόρου ηλικίας. Στην ενότητα αυτή συμμετέχουν οφιόλιθοι (σερπεντινίτες, βασάλτες, περιδοτίτες, γάβροι κ.α.), μεταμορφωμένα πετρώματα (γνεύσιοι, αμφιβολίτες), ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Α.Τριαδικού έως Α.Κρητιδικού,

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

φλυσχοειδή ιζήματα, γρανίτες κ.α. Στο σύνολο της ενότητας αυτής καταγράφονται διάφορες υποενότητες με χαρακτηριστικές ονομασίες όπως καλύμματα Αρβης, Μιαμού, Βάτου, Αστερουσίων, Οφιολιθικό κάλυμμα.

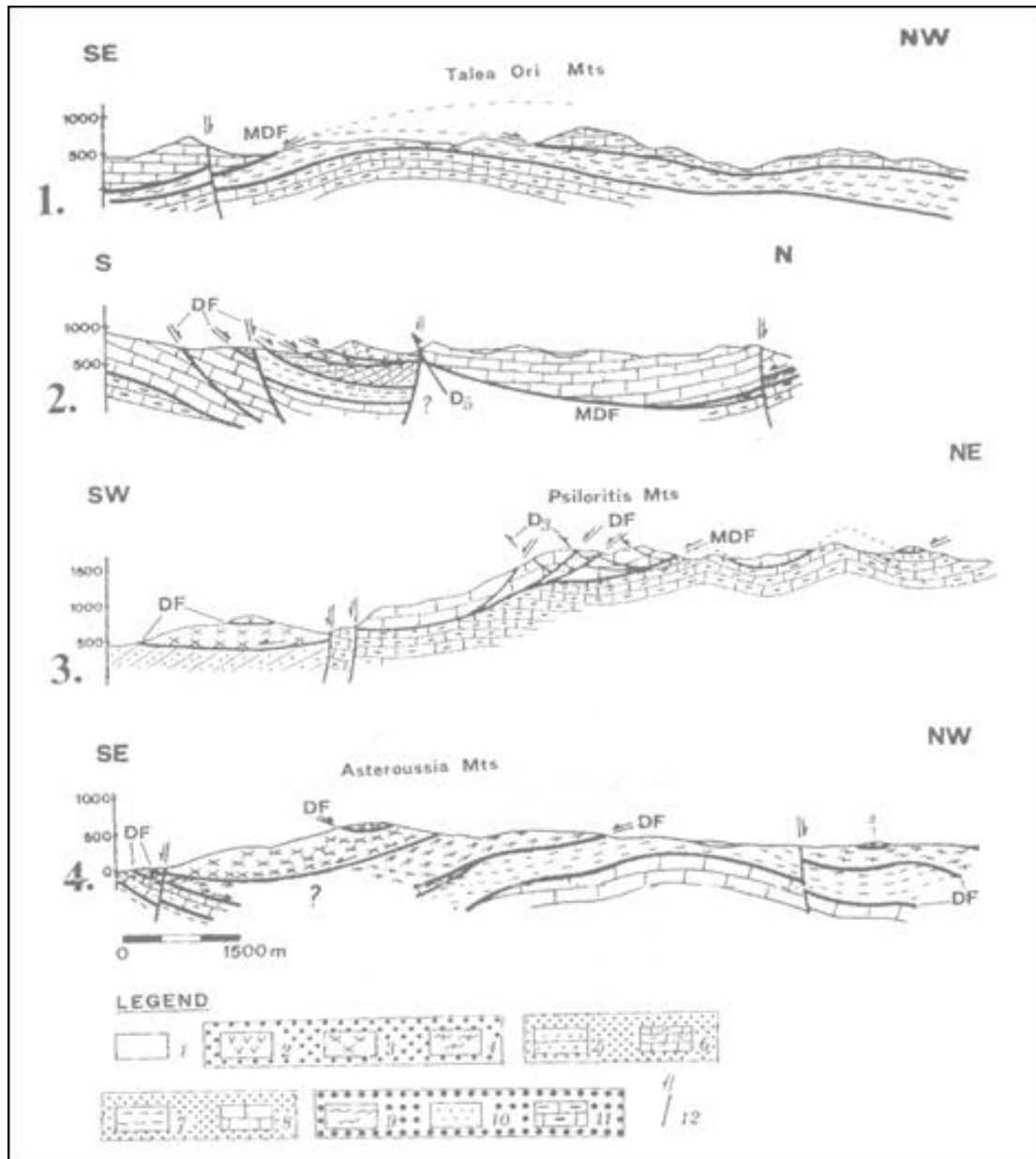
ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Τα νεογενή και πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα αναπτύσσονται σε μεγάλες εκτάσεις στο σύνολο της Κρήτης. Επικάθονται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς. Αποτελούνται από ιζήματα χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας φάσης. Παρουσιάζουν ανομοιομορφία τόσο ως προς την ηλικία τους όσο και ως προς τη λιθολογία τους. Αποτελούνται από εκτεταμένες αποθέσεις μαργών, κροκαλών και μαργαϊκών ασβεστολίθων.

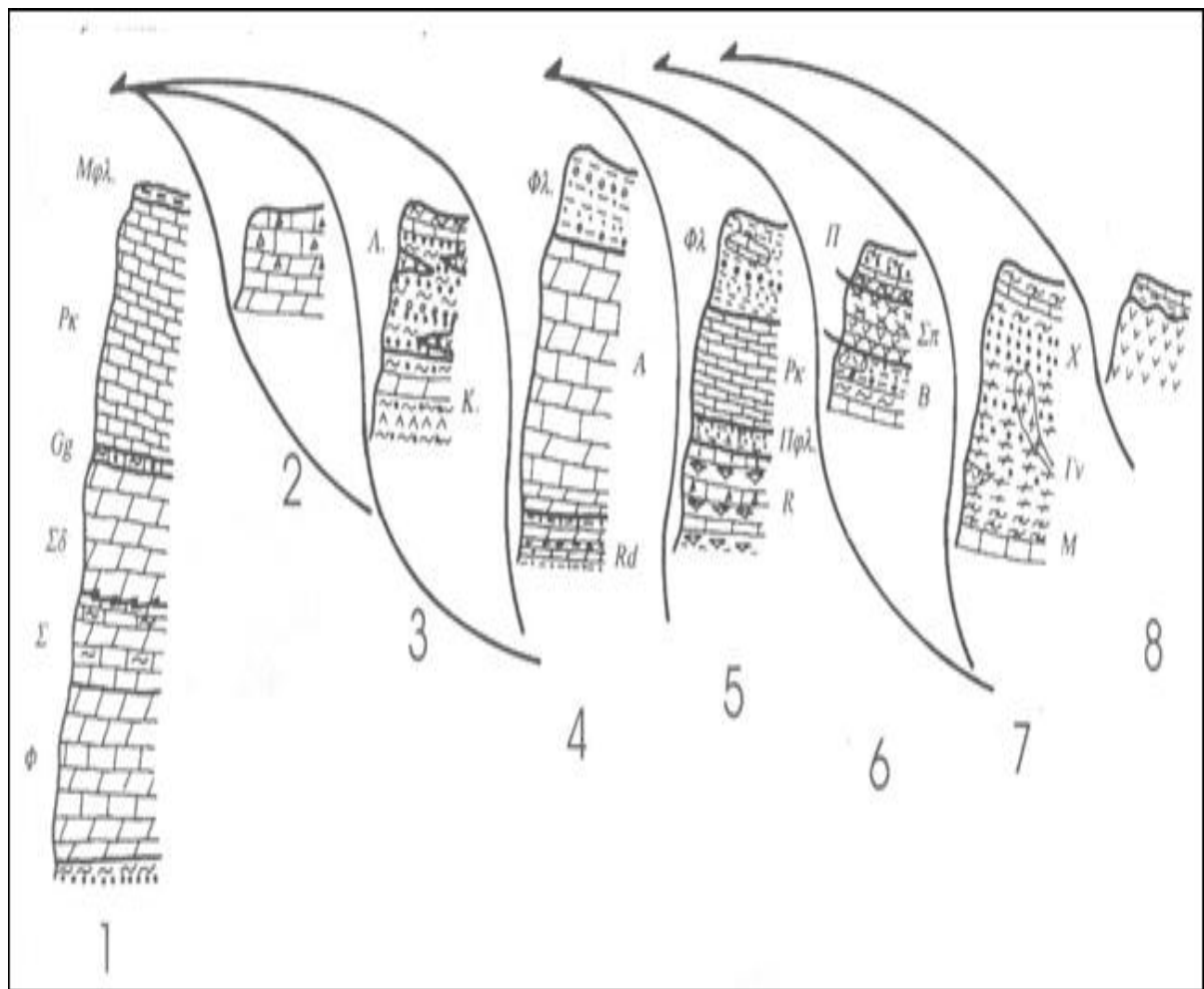
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Τα τεταρτογενή ιζήματα είναι τοποθετημένα πάνω σε όλους τους σχηματισμούς τόσο του αλπικού υποβάθρου όσο και των νεογενών αποθέσεων και αποτελούνται από χερσαίες, θαλάσσιες έως λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις, άμμων, κροκαλών, αργίλων και χαλίκων ασύνδετων έως ελαφρά συγκολλημένων.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



Σχήμα 2.2.1. Γεωλογικές τομές στην περιοχή της κεντρικής Κρήτης (Φασσουλάς 1995). Τα νούμερα υποδηλώνουν: 1. Νεογενή ιζήματα, 2. Οφιολίθους, 3. καλ. Αστερουσίων, 4. καλ. Τεκτονικού melange, 5 και 6. καλ. Πίνδου (φλύσχης και ανθρακικά), 7 και 8. καλ. Τρίπολης (φλύσχης και ανθρακικά), 9. καλ. Φυλλιτών - χαλαζιτών, 10 και 11. καλ. Πλακωδών ασβεστολίθων (μεταφλύσχης και ανθρακικά), DF ρήγμα απόσπασης, MDF κύριο ρήγμα απόσπασης.



Σχήμα 2.2.2. Στρωματογραφικές στήλες των καλυμμάτων της Κρήτης. Τα νούμερα υποδηλώνουν: 1. καλ. Πλακώδων ασβεστολίθων, 2. καλ. Τρυπαλίου, 3. καλ. Φυλλιτών-Χαλαζιτών, 4. καλ. Τρίπολης, 5. καλ. Πίνδου, 6. καλ. Τεκτονικού melange, 7. καλ. Αστερουσίων, 8. Οφιόλιθοι.

3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-ΠΕΔΙΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας και η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης, η οποία προκαλεί τη δημιουργία διαφόρων γεωλογικών φαινομένων σε παγκόσμια κλίμακα. Συνήθως όμως, ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» χρησιμοποιείται σήμερα για να δηλώσει εκείνο το τμήμα της γήινης θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο .

3.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα γεωθερμικά συστήματα εντοπίζονται στις περιοχές με κανονική ή λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα, και κυρίως στις περιοχές γύρω από τα περιθώρια των τεκτονικών πλακών, όπου η βαθμίδα μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη της μέσης τιμής. Στην πρώτη περίπτωση, τα γεωθερμικά συστήματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες, που συνήθως δεν ξεπερνούν τους 100°C σε οικονομικά και προσβάσιμα βάθη. Στη δεύτερη περίπτωση, οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, από σχετικά χαμηλές τιμές μέχρι και μεγαλύτερες από 400°C.

Σχηματικά μπορεί να περιγραφεί ως «ένα σύστημα» που βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης και αποτελείται από «κινούμενο νερό» το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μια «πηγή» σε μια «δεξαμενή» θερμότητας, που συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια (Hochstein, 1990). Έτσι λοιπόν, ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία:

- την εστία θερμότητας,
- τον ταμιευτήρα
- ρευστό, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας.

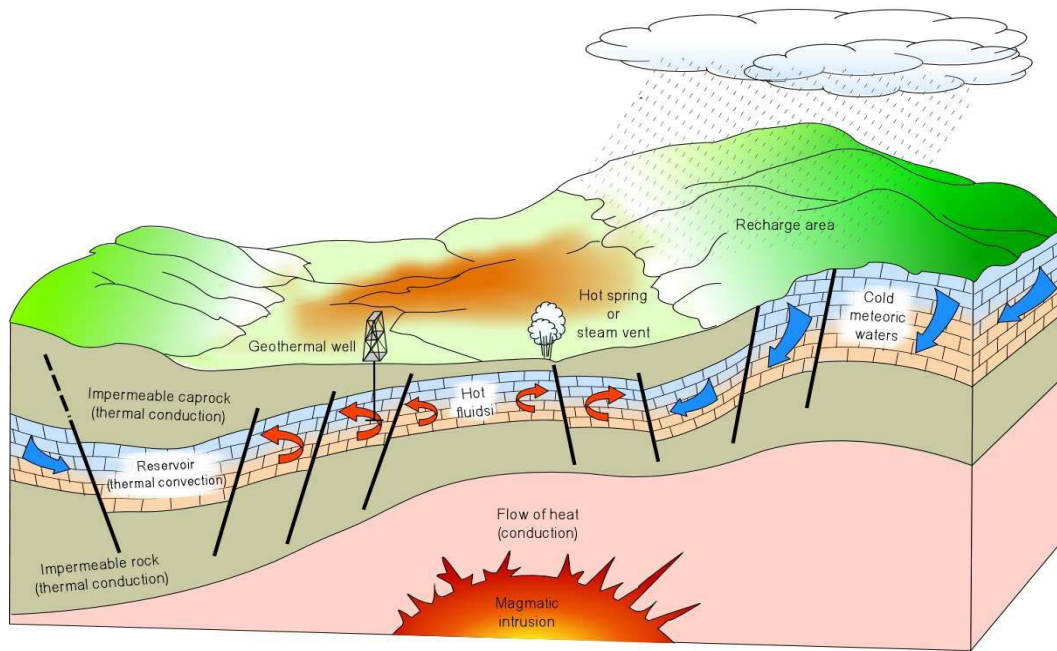
Η εστία θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια πολύ υψηλής (>600C) θερμοκρασίας μαγματική διείδυση που έχει φτάσει σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km) ή, στα χαμηλής θερμοκρασίας συστήματα, η κανονική θερμοκρασία των πετρωμάτων του εσωτερικού της γης, η οποία όπως αναφέρθηκε αυξάνεται με το βάθος. Ο ταμιευτήρας είναι ένας σχηματισμός από θερμά υδατοπερατά πετρώματα, που επιτρέπει την κυκλοφορία των ρευστών μέσα σε αυτόν και από τον οποίο τα ρευστά

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

αντλούν θερμότητα. Πάνω από τον ταμιευτήρα βρίσκεται συνήθως ένα κάλυμμα αδιαπέρατων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται με μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, δια μέσου της οποίας μετεωρικό ή επιφανειακό γενικά νερό κατεβαίνει και αντικαθιστά μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται από γεωτρήσεις. Το γεωθερμικό ρευστό συνήθως είναι νερό, στις περισσότερες περιπτώσεις μετεωρικής προέλευσης, το οποίο, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον ταμιευτήρα, βρίσκεται σε υγρή ή αέρια κατάσταση. Συχνά το ρευστό είναι εμπλουτισμένο σε χημικά στοιχεία και αέρια, όπως CO₂, H₂S, κλπ. Στο Σχήμα 3.2.1 αποτυπώνεται σε πολύ απλουστευμένη μορφή ένα πρότυπο γεωθερμικό σύστημα.

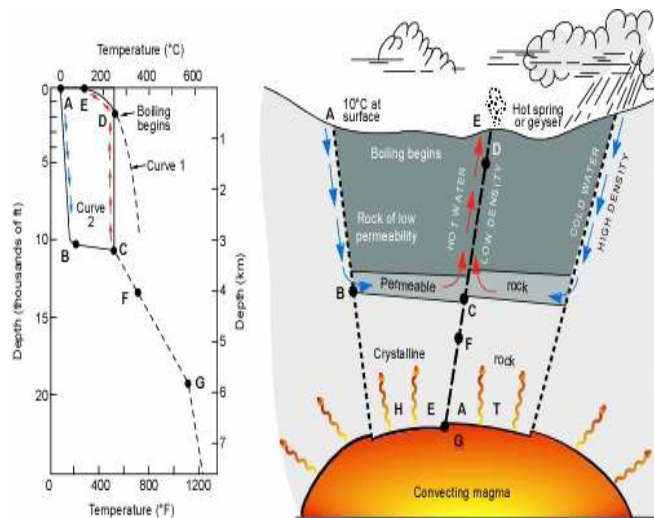
Ο μηχανισμός που διέπει τη λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων εν γένει ελέγχεται από τη μεταφορά θερμότητας μέσω της (συναγωγής/κυκλοφορίας) των ρευστών (fluid convection). Στο Σχήμα 3.2.2 παριστάνεται σχηματικά ο μηχανισμός στην περίπτωση ενός υδροθερμικού συστήματος ενδιάμεσης θερμοκρασίας. Η θερμική συναγωγή λαμβάνει χώρα λόγω της θέρμανσης και, κατ' επέκταση, της θερμικής διαστολής των ρευστών σε ένα πεδίο βαρύτητας. Η ενέργεια που προκαλεί το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι ουσιαστικά η θερμότητα που προσφέρεται από την εστία στη βάση του συστήματος κυκλοφορίας. Η πυκνότητα των ρευστών που θερμαίνονται μειώνεται, οπότε αυτά παρουσιάζουν τάσεις ανόδου προς μικρότερα βάθη, ενώ αντικαθίστανται στη συνέχεια από ρευστά μικρότερης θερμοκρασίας και μεγαλύτερης πυκνότητας, που προέρχονται από τα περιθώρια του γεωθερμικού συστήματος. Λόγω της θερμικής συναγωγής προκαλείται λοιπόν θερμοκρασιακή αύξηση στο ανώτερο τμήμα του γεωθερμικού συστήματος, καθώς οι θερμοκρασίες στα κατώτερα τμήματα μειώνονται (White, 1973).

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



Σχήμα 3.2.1

Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος



Σχήμα 3.2.2

Πρότυπο (μοντέλο) ενός γεωθερμικού συστήματος.

Η γραμμή (1) είναι η καμπύλη αναφοράς του σημείου ζέσεως του καθαρού νερού. Η καμπύλη (2) δείχνει τη θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος μια τυπικής διαδρομής κυκλοφορίας του ρευστού από το σημείο A (τροφοδοσία) προς το σημείο E (αποφόρτιση) (Από White, 1973)

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

Οι διεργασίες που μόλις περιγράφηκαν πιθανώς να φαίνονται πολύ απλές, όμως η κατασκευή ενός καλού προτύπου (μοντέλου), το οποίο να αντιστοιχεί σε ένα πραγματικό γεωθερμικό σύστημα, είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Μια τέτοια εργασία απαιτεί πολύπλευρες ικανότητες, ειδικές γνώσεις και μεγάλη εμπειρία, ιδιαίτερα όταν αφορά συστήματα υψηλής θερμοκρασίας. Εξάλλου, τα γεωθερμικά συστήματα εμφανίζονται στη φύση με πάρα πολλές ιδιαιτερότητες και ιδιομορφίες, οι οποίες σχετίζονται με διάφορους συνδυασμούς γεωλογικών, φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών που μπορεί να οδηγήσουν σε διάφορους τύπους συστημάτων.

Από τα τρία στοιχεία ενός γεωθερμικού συστήματος, η εστία θερμότητας είναι το μόνο που απαραίτητως πρέπει να έχει φυσική προέλευση. Εάν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές, τα άλλα δύο στοιχεία μπορεί να είναι και «τεχνητά». Για παράδειγμα, τα γεωθερμικά ρευστά που αντλούνται από τον ταμιευτήρα και χρησιμοποιούνται ως η κινητήρια δύναμη ενός γεωθερμικού ατμοστρόβιλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν μετά την ενεργειακή εκμετάλλευσή τους να επανεισαχθούν στον ταμιευτήρα μέσω συγκεκριμένων *γεωτρήσεων επανεισαγωγής (injection wells)*. Έτσι λοιπόν, η φυσική τροφοδοσία ενός ταμιευτήρα μπορεί να συνοδευθεί και να συμπληρωθεί από μια τεχνητή επανατροφοδοσία.

3.3 ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Σύμφωνα με τους Muffler & Cataldi (1978), ο γενικός όρος «*γεωθερμικός πόρος*» αναφέρεται στην προσβάσιμη βασική πηγή (*accessible resource base*). Η προσβάσιμη βασική πηγή είναι ουσιαστικά όλη η θερμική ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από συγκεκριμένη περιοχή μεταξύ της επιφάνειας της γης και ενός συγκεκριμένου βάθους στο φλοιό. Αυτή η ενέργεια ξεκινά από την τοπική μέση ετήσια θερμοκρασία. Η προσβάσιμη πηγή περιλαμβάνει τον *ωφέλιμο προσβάσιμο πόρο (useful accessible resource base)*, εκείνο δηλαδή το τμήμα της γεωθερμικής ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί με οικονομικά συμφέροντα και νόμιμο τρόπο, κάποια στιγμή στο σχετικά άμεσο μέλλον (μέσα σε λιγότερο από 100 χρόνια). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τους *ταυτοποιημένους οικονομικά συμφέροντες πόρους (identified economic resources)*, οι οποίοι είναι γνωστοί και ως *αποθέματα (reserves)* και αναφέρονται στις ποσότητες της γεωθερμικής ενέργειας μιας συγκεκριμένης περιοχής που μπορούν να αξιοποιηθούν με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

άλλες πηγές ενέργειας, και οι οποίοι πόροι είναι γνωστό ότι υπάρχουν και έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα γεωτρητικών, γεωχημικών, γεωφυσικών και άλλων γεωλογικών ερευνών-μελετών.

Το πλέον συνηθισμένο κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών πόρων είναι αυτό που βασίζεται στην ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία λειτουργούν ως ο φορέας «μεταφοράς» της θερμότητας από τα βαθιά και θερμά πετρώματα προς την επιφάνεια. Η ενθαλπία, η οποία σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι είναι ανάλογη της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για να εκφράσει την περιεχόμενη θερμική ενέργεια των ρευστών και δίνει μια γενική εικόνα της ενεργειακής «αξίας» τους. Οι γεωθερμικοί πόροι διακρίνονται σε χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας (ή θερμοκρασίας), σύμφωνα με το ενεργειακό τους περιεχόμενο και τις πιθανές μορφές αξιοποίησής τους (ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1).

	A	B	C	D	E
ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	< 90	<125	<100	≤150	≤190
ΜΕΣΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	90-150	125-225	100-200	-	-
ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	>150	>225	>200	>150	>190

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1 Διάκριση γεωθερμικών πόρων σε χαμηλής , μέσης και υψηλής ενθαλπίας.

Source: (a) Muffler and Cataldi (1978).
(b) Hochstein (1990).
(c) Benderitter and Cormy (1990).
(d) Nicholson (1993).
(e) Axelsson and Gunnlaugsson (2000)

Συχνά γίνεται διάκριση ανάμεσα στα γεωθερμικά συστήματα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι το νερό στην υγρή φάση (liquid dominated systems) και σε εκείνα όπου

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός (vapour dominated systems ή dry steam systems) (White, 1973). Στα συστήματα όπου επικρατεί το νερό, η υγρή φάση είναι αυτή που ελέγχει συνεχώς την πίεση. Μέσα στη φάση αυτή μπορεί να περιέχονται και κάποια αέρια με τη μορφή μικρών φυσαλίδων. Αυτά τα γεωθερμικά συστήματα, των οποίων οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 125°C μέχρι 225°C, είναι τα πλέον συνηθισμένα παγκοσμίως. Ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, μπορούν να παράγουν θερμό νερό, μίγμα νερού και ατμού, υγρό ατμό, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις ξηρό ατμό. Στα συστήματα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός, το υγρό νερό και ο ατμός συνήθως συνυπάρχουν στον ταμιευτήρα, με τον ατμό να λειτουργεί ως η φάση που ελέγχει συνεχώς την πίεση. Τέτοιου τύπου γεωθερμικά συστήματα, τα πιο γνωστά εκ των οποίων είναι το Larderello στην Ιταλία και το The Geysers στην Καλιφόρνια (ΗΠΑ), είναι κατά βάση σπάνια και συνιστούν συστήματα υψηλής θερμοκρασίας. Κατά κύριο λόγο παράγουν ξηρό έως υπέρθερμο ατμό.

Ένας άλλος διαχωρισμός των γεωθερμικών συστημάτων είναι αυτός που βασίζεται στην κατάσταση ισορροπίας στον ταμιευτήρα (Nicholson, 1993), σύμφωνα με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη η κυκλοφορία των ρευστών του ταμιευτήρα και ο μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας.

Στα δυναμικά συστήματα ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με νερό, το οποίο θερμαίνεται και στη συνέχεια ο ταμιευτήρας «αποφορτίζεται», είτε γιατί το θερμό ρευστό ανέβηκε μέχρι την επιφάνεια είτε γιατί άρχισε να γεμίζει τους υδατοπερατούς υπόγειους σχηματισμούς. Η θερμότητα μεταφέρεται στο σύστημα μέσω του μηχανισμού της συναγωγής (convection) και της κυκλοφορίας του ρευστού. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει συστήματα τόσο υψηλής (>150°C) όσο και χαμηλής (<100°C) θερμοκρασίας.

Στα στατικά συστήματα, γνωστά και ως στάσιμα ή συστήματα αποθήκευσης, παρατηρείται ελάχιστη ή καμμία τροφοδοσία του ταμιευτήρα και η μεταφορά θερμότητας γίνεται μόνο με τη βοήθεια του μηχανισμού αγωγής (conduction). Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει τα χαμηλής θερμοκρασίας και τα «γεωπεπιεσμένα» (geopressured) συστήματα.

Γεωπεπιεσμένα συστήματα έχουν προσδιοριστεί σε μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες (π.χ. στον Κόλπο του Μεξικού, ΗΠΑ) σε βάθη 3-7 km. Οι γεωπεπιεσμένοι ταμιευτήρες αποτελούνται από περατά ιζηματογενή πετρώματα που βρίσκονται ανάμεσα σε αδιαπέρατα, χαμηλής αγωγιμότητας, στρώματα, και περιέχουν πεπιεσμένο θερμό νερό που εγκλωβίστηκε εκεί κατά την περίοδο δημιουργίας των

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

λεκανών και απόθεσης των ιζημάτων. Η πίεση του θερμού νερού υπερβαίνει κατά πολύ την υδροστατική και προσεγγίζει τη λιθοστατική.

Οι γεωπεπισμένοι ταμιευτήρες μπορεί επίσης να περιέχουν σημαντικές ποσότητες μεθανίου ή άλλων υδρογονανθράκων, οπότε μπορούν να παράγουν θερμική και υδραυλική ενέργεια (πεπισμένο θερμό νερό) καθώς και αέριο μεθάνιο. Τέτοιοι ενεργειακοί πόροι έχουν υποστεί εκτεταμένη έρευνα, αλλά μέχρι στιγμής δεν υπήρξε κάποια βιομηχανική αξιοποίησή τους.

3.4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Ο όρος γεωθερμικό πεδίο αποτελεί ένα γεωγραφικό προσδιορισμό, που συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια περιοχή στην οποία παρουσιάζεται κάποια επιφανειακή γεωθερμική δραστηριότητα. Στις περιπτώσεις όπου δεν παρατηρείται δραστηριότητα στην επιφάνεια, ο όρος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιορίσει μια περιοχή που αντιστοιχεί στο γεωθερμικό ταμιευτήρα, ο οποίος βρίσκεται στο υπέδαφος ακριβώς κάτω από αυτήν (Axelsson & Gunnlaugsson, 2000). Επειδή η γεωθερμική ενέργεια περιγράφεται ως ανανεώσιμη (renewable) και αειφορική (sustainable), είναι σημαντικό να διαχωριστούν και να περιγραφούν οι δύο αυτές έννοιες:

Ο όρος «ανανεώσιμη» περιγράφει μια ιδιότητα του ενεργειακού πόρου, ενώ η «αειφορία» τον τρόπο με τον οποίο αυτός αξιοποιείται.

Το πιο σημαντικό κριτήριο για την ταξινόμηση της γεωθερμικής ενέργειας στις ανανεώσιμες πηγές είναι ο ρυθμός επαναφόρτισης του ενεργειακού συστήματος. Κατά την εκμετάλλευση ενός φυσικού γεωθερμικού συστήματος, η επανατροφοδοσία επιτυγχάνεται με την αναπλήρωση του θερμού νερού στον ταμιευτήρα στο ίδιο χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η παραγωγή των θερμών ρευστών. Αυτή ακριβώς η διαδικασία δικαιολογεί την ταξινόμηση της γεωθερμικής στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στην περίπτωση των θερμών ξηρών πετρωμάτων και κάποιων θερμών εγκλωβισμένων υδροφόρων σε ιζηματογενείς λεκάνες, η ενεργειακή φόρτιση ελέγχεται αποκλειστικά από την αγωγή θερμότητας, η οποία είναι μια ιδιαίτερος αργή διαδικασία. Για το λόγο αυτό, ίσως θα έπρεπε τα συστήματα αυτά να κατατάσσονται στις πεπερασμένες πηγές ενέργειας (Stefansson, 2000).

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

Η αειφορία που αφορά την κατανάλωση ενός πόρου εξαρτάται από το αρχικό του μέγεθος, το ρυθμό εκμετάλλευσης (παραγωγής ρευστών) και το ρυθμό κατανάλωσης. Η κατανάλωση μπορεί προφανώς να διατηρηθεί σταθερή για τη χρονική περίοδο κατά την οποία η επαναφόρτιση της πηγής είναι ταχύτερη ή ίση με την αποφόρτιση.

4. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

4.1 Αντικείμενα έρευνας

Τα αντικείμενα μιας γεωθερμικής έρευνας είναι (Lumb, 1981):

1. Ο προσδιορισμός των γεωθερμικών φαινομένων
2. Επιβεβαίωση της ύπαρξης ενός ωφέλιμου παραγωγικού γεωθερμικού πεδίου
3. Η εκτίμηση του μεγέθους του ενεργειακού πόρου
4. Ο καθορισμός του τύπου του γεωθερμικού πεδίου
5. Ο εντοπισμός των παραγωγικών ζωνών
6. Καθορισμός του θερμικού περιεχομένου των γεωθερμικών ρευστών που θα παραχθούν από το γεωθερμικό πεδίο μέσω των παραγωγικών γεωτρήσεων
7. Η συλλογή των βασικών δεδομένων, πάνω στα οποία θα βασιστούν τα αποτελέσματα της μελλοντικής παρακολούθησης του πεδίου
8. Ο καθορισμός της τιμής των ευαίσθητων περιβαλλοντικών παραμέτρων πριν από την εκμετάλλευση
9. Η συλλογή πάσης φύσεως πληροφορίας και γνώσης για κάθε χαρακτηριστικό στοιχείο που θα μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα κατά την ανάπτυξη του πεδίου.

Η σχετική σπουδαιότητα καθενός από τα παραπάνω εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι περισσότεροι από τους οποίους συνδέονται με αυτό καθαυτό τον ενεργειακό πόρο και περιλαμβάνουν το είδος της αναμενόμενης εκμετάλλευσης, τη διαθέσιμη τεχνολογία, τα οικονομικά μεγέθη, ως επίσης την κατάσταση, τη γεωγραφική θέση και τη χρονική περίοδο. Όλα τα παραπάνω επηρεάζουν άμεσα τον προγραμματισμό και την έκβαση μιας γεωθερμικής έρευνας.

Για παράδειγμα, οι προκαταρκτικές αναγνωριστικές έρευνες των γεωθερμικών εκδηλώσεων επιφανείας αποκτούν ιδιαίτερη σημασία και χρησιμότητα όταν αφορούν μια απομακρυσμένη και μη μελετημένη περιοχή, σε σχέση με μια γνωστή και εκτενώς μελετημένη. Εξάλλου, η εκτίμηση του ακριβούς μεγέθους του γεωθερμικού πόρου αποκτά ίσως μικρότερη σημασία εφόσον πρόκειται για μια μικρής κλίμακας εφαρμογή, αφού η τελευταία προφανώς απαιτεί πολύ λιγότερη θερμική ενέργεια απ' ό,τι ήδη παράγεται με φυσικό τρόπο. Επίσης, εάν η γεωθερμική ενέργεια πρόκειται να

χρησιμοποιηθεί για τηλεθέρμανση μιας περιοχής ή σε εφαρμογές που απαιτούν χαμηλού βαθμού θερμότητα, τότε η εύρεση ρευστών υψηλής θερμοκρασίας δεν αποτελεί απαραίτητα τον αντικειμενικό σκοπό της γεωθερμικής έρευνας (Lumb, 1981).

Για την πραγματοποίηση των στόχων μιας γεωθερμικής έρευνας υπάρχουν και εφαρμόζονται πολλές μέθοδοι και τεχνικές. Πολλές από αυτές χρησιμοποιούνται επίσης και σε άλλους τομείς έρευνας. Όμως, παρόλο που μπορεί να έχουν εξαιρετική συμβολή και η εφαρμογή τους να είναι πετυχημένη στην έρευνα π.χ. ορυκτών, πετρελαίου ή φυσικού αερίου, δεν αποτελούν αναγκαστικά την πλέον ενδεδειγμένη λύση στη γεωθερμική έρευνα. Αντίθετα, τεχνικές περιορισμένης χρήσης στην έρευνα πετρελαίου μπορεί να αποδειχθούν ιδανικά εργαλεία στον τομέα της αναζήτησης φυσικής γήινης θερμότητας (Combs & Muffler, 1973).

4.2 Μέθοδοι έρευνας

Οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες αποτελούν την αφετηρία κάθε ερευνητικού προγράμματος. Η βασική τους συνεισφορά αφορά στον προσδιορισμό της θέσης και της έκτασης των περιοχών που θα πρέπει να ερευνηθούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, καθώς και στην υπόδειξη των καταλληλότερων μεθόδων έρευνας για τις συγκεκριμένες περιοχές. Οι γεωλογικές-υδρογεωλογικές μελέτες παίζουν σημαντικό ρόλο σε όλες τις επόμενες φάσεις της γεωθερμικής έρευνας, ακόμη και στον καθορισμό της θέσης των ερευνητικών και παραγωγικών γεωτρήσεων. Επίσης, παρέχουν τις βασικές πληροφορίες για την ερμηνεία των δεδομένων που συγκεντρώνονται από τις άλλες μεθόδους, την εκτίμηση του δυναμικού του γεωθερμικού πόρου και, τελικά, την κατασκευή ενός ρεαλιστικού προτύπου (μοντέλου) του γεωθερμικού συστήματος. Τα στοιχεία των μελετών αυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη και στη φάση παραγωγής, αναφορικά με την ορθολογική διαχείριση του γεωθερμικού ταμιευτήρα και γενικότερα του πεδίου. Φαίνεται λοιπόν, ότι η διάρκεια και το συνολικό κόστος μιας ολοκληρωμένης γεωθερμικής έρευνας μπορεί να μειωθούν σημαντικά αν ο προγραμματισμός της γίνει με σωστό σχεδιασμό και αποδοτικό συντονισμό.

Οι γεωχημικές έρευνες (συμπεριλαμβανομένης της γεωχημείας ισοτόπων), αποτελούν αξιολογικά εργαλεία για τον καθορισμό της φύσης του γεωθερμικού συστήματος (υγρό ή ατμός), την εκτίμηση της ελάχιστης αναμενόμενης θερμοκρασίας στο βάθος και της

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

ομοιογένειας στην παροχή των ρευστών, την έμμεση εκτίμηση των χημικών χαρακτηριστικών των ρευστών που βρίσκονται στο βάθος καθώς και για τον προσδιορισμό της πηγής τροφοδοσίας του ταμιευτήρα. Επιπλέον, μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για το είδος των προβλημάτων που ενδέχεται να προκύψουν κατά την επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμιευτήρα και κατά την παραγωγική διαδικασία (π.χ. αλλαγές στη σύσταση των ρευστών, διάβρωση ή επικαθήσεις στις σωληνώσεις και τις εγκαταστάσεις, περιβαλλοντικές επιπτώσεις), καθώς και για τον τρόπο αντιμετώπισης ή αποφυγής τους.

Η γεωχημική έρευνα συνίσταται σε δειγματοληψίες χημικές και/ή ισοτοπικές αναλύσεις του νερού και των αερίων των γεωθερμικών επιφανειακών εκδηλώσεων (θερμές πηγές, ατμίδες, κλπ.) ή των γεωτρήσεων στην υπό μελέτη περιοχή. Επειδή η γεωχημική έρευνα αφενός παρέχει πολύ χρήσιμα στοιχεία για τον περαιτέρω σχεδιασμό του γεωθερμικού προγράμματος, αφετέρου το κόστος της είναι σχετικά χαμηλό θα πρέπει να χρησιμοποιείται όσο τον δυνατόν περισσότερο πριν την εφαρμογή άλλων περισσότερο δαπανηρών μεθοδολογιών.

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις σκοπεύουν στην έμμεση απόκτηση γνώσης, από την επιφάνεια ή κοντά σε αυτήν, για τις φυσικές παραμέτρους των γεωλογικών σχηματισμών που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη. Οι παράμετροι αυτές περιλαμβάνουν τα εξής:

- Θερμοκρασία (θερμική έρευνα)
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα (γεωηλεκτρική και ηλεκτρομαγνητική μέθοδος)
- Ταχύτητα διάδοσης των ελαστικών κυμάτων (σεισμική μέθοδος)
- Πυκνότητα (βαρυτομετρική μέθοδος)
- Μαγνητική επιδεκτικότητα (μαγνητική μέθοδος)

Μερικές από τις παραπάνω μεθόδους, όπως η σεισμική, η βαρυτομετρική και η μαγνητική, οι οποίες κατά παράδοση εφαρμόζονται στην έρευνα πετρελαίου, έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες για το σχήμα, το μέγεθος, το βάθος και άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά βαθιών γεωλογικών δομών, οι οποίες θα μπορούσαν να αποτελούν ένα γεωθερμικό ταμιευτήρα. Όμως, οι μέθοδοι αυτές παρέχουν λίγα έως καθόλου στοιχεία για την ύπαρξη ή όχι ρευστών, κάτι που αποτελεί τον πρωταρχικό στόχο της γεωθερμικής έρευνας. Για το λόγο αυτό, θεωρείται σκοπιμότερη η εφαρμογή των συγκεκριμένων μεθόδων για την αποσαφήνιση λεπτομερειών κατά τα τελευταία στάδια του γεωθερμικού ερευνητικού προγράμματος, πριν ακριβώς τον καθορισμό της θέσης των ερευνητικών

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

γεωτρήσεων. Πληροφορίες για την παρουσία γεωθερμικών ρευστών στις βαθιές γεωλογικές δομές μπορούν να αποκτηθούν με τη βοήθεια των γεωηλεκτρικών και των ηλεκτρομαγνητικών διασκοπήσεων, οι οποίες είναι πιο ευαίσθητες από τις άλλες γεωφυσικές μεθόδους στην ύπαρξη τέτοιων ρευστών καθώς και στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Πράγματι, οι δύο αυτές τεχνικές έχουν ευρεία εφαρμογή στη γεωθερμική έρευνα και δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα (στην παρούσα γεωθερμική έρευνα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης).

Οι θερμικές τεχνικές (μετρήσεις θερμοκρασίας, προσδιορισμός της γεωθερμικής βαθμίδας και της γήινης θερμικής ροής) συχνά παρέχουν τη δυνατότητα υπολογισμού, με καλή προσέγγιση, της θερμοκρασίας στην οροφή του ταμιευτήρα. Επίσης η διακύμανση των τιμών κατά τις μετρήσεις της θερμοκρασίας, μπορεί να συνδεθεί με τον εντοπισμό θετικής γεωθερμικής ανωμαλίας σχετιζόμενης με την ύπαρξη ρηγμάτων.

Έτσι αυτή η τεχνική, όπως θα αναλυθεί και στο κεφάλαιο των μετρήσεων, μπορεί να υποδείξει τις γραμμές πραγματοποίησης των γεωφυσικών διασκοπήσεων.

Όλες γενικά οι μέθοδοι γεωφυσικών διασκοπήσεων δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αδιακρίτως και υπό οποιεσδήποτε καταστάσεις και συνθήκες, διότι μια μέθοδος που πιθανώς παρέχει θαυμάσια αποτελέσματα σε ένα συγκεκριμένο γεωλογικό περιβάλλον μπορεί να μην έχει καθόλου ικανοποιητική απόδοση σε κάποιο άλλο. Άρα, η εκ των προτέρων προσεκτική επιλογή της(ων) γεωφυσικής(ών) μεθόδου (ων) είναι πολύ σημαντική όσον αφορά τον περιστολή του κόστους, και θα πρέπει να γίνεται από κατάλληλους και ειδικούς γεωφυσικούς επιστήμονες που με τη σειρά τους θα βρίσκονται σε συνεχή και στενή συνεργασία με τους γεωλόγους (Meidav, 1998).

Η διάνοιξη ερευνητικών γεωτρήσεων σηματοδοτεί το τελικό στάδιο ενός ερευνητικού γεωθερμικού προγράμματος και αποτελεί το μόνο μέσο για τον προσδιορισμό των πραγματικών χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα και την εκτίμηση του δυναμικού του (Combs & Muffler, 1973). Τα στοιχεία που προκύπτουν από τις ερευνητικές γεωτρήσεις θα πρέπει λογικά να είναι τέτοια, ώστε να επαληθεύουν όλες τις αρχικές υποθέσεις και τα μοντέλα που είχαν αναπτυχθεί κατά τα προηγούμενα στάδια της έρευνας, καθώς και να επιβεβαιώνουν ότι ο ταμιευτήρας είναι πράγματι παραγωγικός και περιέχει αρκετή ποσότητα ρευστών, με χαρακτηριστικά κατάλληλα για τη χρήση που προορίζονται. Καθίσταται λοιπόν φανερό πως η επιλογή της σωστής θέσης των

ερευνητικών γεωτρήσεων είναι ένα κρίσιμο και δύσκολο εγχείρημα, το οποίο προϋποθέτει μεγάλη εμπειρία, γνώσεις και λεπτούς χειρισμούς.

4.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

4.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία - για την γεωθερμική έρευνα - χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ως η πλέον κατάλληλη για τον σκοπό αυτό. Η καταλληλότητα της μεθόδου οφείλεται στο γεγονός ότι παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στην μεταβολή των ηλεκτρικών αντιστάσεων των πετρωμάτων λόγω της υψηλής θερμοκρασίας (αλλά και αλατότητας), που αυξάνουν την αγωγιμότητα μειώνοντας παράλληλα τις αντιστάσεις των σχηματισμών (γεωθερμικό φαινόμενο). Οι όποιες μεταβολές των αντιστάσεων των σχηματισμών ανιχνεύονται εύκολα με την εν λόγω μέθοδο, γι'αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται ευρέως γενικότερα στην γεωθερμική έρευνα σε όλο τον κόσμο.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γενικά αποσκοπούν στον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης. Η μετρούμενη ποσότητα είναι η ηλεκτρική τάση, από την οποία επιδιώκεται ο καθορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Η πρώτη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων και περιλαμβάνει:

- Μέθοδο του φυσικού δυναμικού
- Μέθοδο των τελλουρικών ρευμάτων

Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών, τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία και περιλαμβάνει:

- Μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης
- Μέθοδο της επαγόμενης πολικότητας
- Μέθοδο των ισοδύναμων γραμμών

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων (Γεωθερμία), στην Υδρογεωλογία, στην Κοιτασματολογία, στην Τεχνική Γεωλογία αλλά και στην εύρεση αρχαιοτήτων.

4.3.2 Μέθοδος Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η πιο διαδεδομένη από τις ηλεκτρικές μεθόδους και στοχεύει στον καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, δηλαδή την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (γεωηλεκτρική δομή). Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία τεχνητών ηλεκτρικών πεδίων. Το ηλεκτρικό πεδίο επηρεάζεται από τη δομή του υπεδάφους. Επομένως, από τις μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου καθορίζεται η γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους.

Άμεσος στόχος της μεθόδου είναι ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής και απώτερος σκοπός είναι γεωλογική δομή.

➤ Ειδική ηλεκτρική Αντίσταση

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , είναι η βασικότερη ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων για την ηλεκτρική διασκόπηση.

Ο υπολογισμός της στηρίζεται στο νόμο του Ohm:

Αν μια ορθογώνια ράβδος με διατομή A και μήκος L διαρρέεται από ρεύμα έντασης I , η τάση V ανάμεσα στα άκρα της ράβδου θα είναι:

$$V = I R \quad (4.3.2.1)$$

Όπου R , η ηλεκτρική αντίσταση (Ohm).

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho = R a / L \quad (4.3.2.2)$$

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων SI είναι το 1 Ohm.m.

Το αντίστροφο $\sigma = 1/\rho$ της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του πετρώματος, με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα SI το siemens/m.

➤ **Ειδική ηλεκτρική αντίσταση ορυκτών και πετρωμάτων**

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών. Οι τιμές της κυμαίνονται από 10^{-6} Ohm.m σε ορισμένα ορυκτά όπως είναι ο γραφίτης, μέχρι 10^{15} Ohm.m σε ορισμένα ξηρά χαλαζιακά πετρώματα (Πίνακας 1). Τα πετρώματα και τα ορυκτά που έχουν ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ 10^{-6} Ohm.m και 10^{-1} Ohm.m χαρακτηρίζονται ως καλοί αγωγοί, ενώ κακοί αγωγοί θεωρούνται αυτά που έχουν ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ 10^8 και 10^{15} Ohm.m.

Τα περισσότερα ορυκτά και πετρώματα δεν είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, εκτός από τα μεταλλικά ορυκτά όπου παρουσιάζουν αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα συνήθως παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης έναντι των ιζηματογενών πετρωμάτων και αυτό λόγω του πορώδους και των διαλυμένων αλάτων που επηρεάζουν την αντίσταση των ιζηματογενών πετρωμάτων.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι:

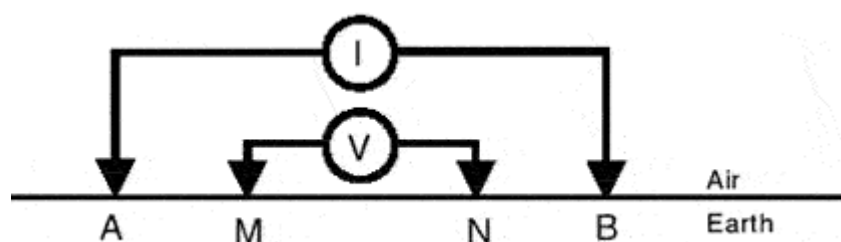
- α) η λιθολογία
- β) το πορώδες
- γ) η γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων
- δ) η θερμοκρασία

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm.m)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	80-250
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Άργιλοι	2-20
Μάργες	20-60
Άμμοι και Χαλίκια (κορεσμένα)	50-500
Εβαπορίτες (Γύψοι)	200
Μαργαικοί Ασβεστόλιθοι	150-500
Κροκαλοπαγή βάσεως	200-300
Ψαμίτες	50-70
ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Φλύσχης	70-80
Σχιστόλιθοι-Οφιόλιθοι	100-300
Ασβεστόλιθοι	>500

Πίνακας 4.3.2.3 : Τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων (Βαφείδης et al, 1991, Βαφείδης και Αμολοχίτης 1992).

Για την εφαρμογή της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης συνδέονται δύο ηλεκτρόδια A, B με τους πόλους πηγής συνεχούς ρεύματος και εισάγονται στο έδαφος. Τα ηλεκτρόδια A, B λέγονται ηλεκτρόδια ρεύματος και τα ηλεκτρόδια M, N λέγονται ηλεκτρόδια δυναμικού. Συνήθως, αλλά όχι πάντα, και τα τέσσερα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε ευθεία γραμμή.-ΣΧΗΜΑ 4.3.2.4-



ΣΧΗΜΑ 4.3.2.4 Διάταξη ηλεκτροδίων ρεύματος (I) – δυναμικού (V)

➤ Φαινόμενη ειδική αντίσταση

Η αντίσταση που εκφράζει τη μέση τιμή των ηλεκτρικών αντιστάσεων των διαφόρων υλικών όπως κατανέμονται στα επιφανειακά στρώματα, ονομάζεται *φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση* (ρ_a).

Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται:

- από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος
- και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων.

Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί στον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Η *ειδική ηλεκτρική αντίσταση* ρ , (σε αντίθεση με τη φαινόμενη), είναι ιδιότητα των πετρωμάτων και των ορυκτών.

Επειδή δεν είναι εύκολος ο άμεσος υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος από μετρήσεις στην επιφάνεια της γης, υπολογίζεται αρχικά η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a , η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος.

Η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από τις ιδιότητες του πετρώματος όπως:

- την ορυκτολογική σύσταση
- το πορώδες
- τη φύση και τη θερμοκρασία των περιεχόμενων ρευστών
- τη κατάσταση ρηγμάτωσης και
- το πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων

Οι πιο σημαντικές διατάξεις είναι:

➤ Διάταξη Wenner.

Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM = MN = NB = a$, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3.3.4α. Έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 2\pi a \frac{V_{MN}}{I},$$

με γεωμετρικό συντελεστή $K = 2\pi \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 2\pi a$. Κατά την εφαρμογή

της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, δηλαδή κατακόρυφη ηλεκτρική διασκόπηση που δίνει τη δομή του υπεδάφους, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται το κέντρο της βυθοσκόπησης.

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης, το a παραμένει σταθερό και τα τέσσερα ηλεκτρόδια μεταφέρονται κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χαρτογραφείται στο κέντρο κάθε διάταξης.

Η διάταξη Wenner δίνει την πιο έντονη μεταβολή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, αλλά παρουσιάζει το φαινόμενο της διπλής κορυφής, δηλαδή μεγάλη τιμή πριν και μετά τη δομή, η οποία έχει μεγαλύτερη αντίσταση από τα περιβάλλοντα πετρώματα, ενώ δίνει μικρή τιμή ακριβώς πάνω από τη δομή. Το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση που η δομή έχει μικρότερη αντίσταση. Παρά τη γεωμετρική της απλότητα, παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, αφού κατά την πραγματοποίηση κάθε νέας μέτρησης πρέπει να μετακινούνται όλα τα ηλεκτρόδια.

➤ Διάταξη Schlumberger.

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N είναι ανάμεσα στα A και B και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης. Έτσι, είναι $AB = 2L$ και $MN = 2b = I$, η απόσταση 2b μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση 2L

μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3.3.4β. Έτσι, ο γεωμετρικός συντελεστής K θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{L-b} - \frac{1}{L+b} - \frac{1}{L+b} + \frac{1}{L-b} \right)^{-1} = (L^2 - b^2) \frac{\pi}{2b}$$

Επειδή, όμως, ($L \gg b$) τότε $(L^2 - b^2) \sim L^2$, η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{i}$$

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Schlumberger για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά. Αντίθετα, η απόσταση για τα ηλεκτρόδια ρεύματος αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης.

Στην ηλεκτρική χαρτογράφηση τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται, ενώ η απόστασή τους παραμένει σταθερή όπως και στη διάταξη Wenner.

Η διάταξη Schlumberger είναι η πιο διαδεδομένη διάταξη. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό χρόνο πραγματοποίησης των μετρήσεων, επειδή, αντίθετα με τις άλλες διατάξεις, απαιτεί μετακίνηση μόνο των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος κατά την ηλεκτρική βυθοσκόπηση. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού παραμένουν σταθερά, γεγονός που βοηθάει στον περιορισμό των ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε τοπικές γεωλογικές ασυνέχειες. Το μειονέκτημά της είναι ότι έχει μικρό σήμα, δηλαδή δε δίνει έντονα τη μεταβολή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Επίσης και σε αυτή τη μέθοδο παρατηρείται το φαινόμενο της διπλής κορυφής.

➤ Διάταξη Διπόλου – Διπόλου

Σε αυτή τη διάταξη η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Ομοίως, a είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και ίση με na ($n \gg a$), όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3.3.4γ.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

Πλεονεκτήματα της διάταξης αποτελούν:

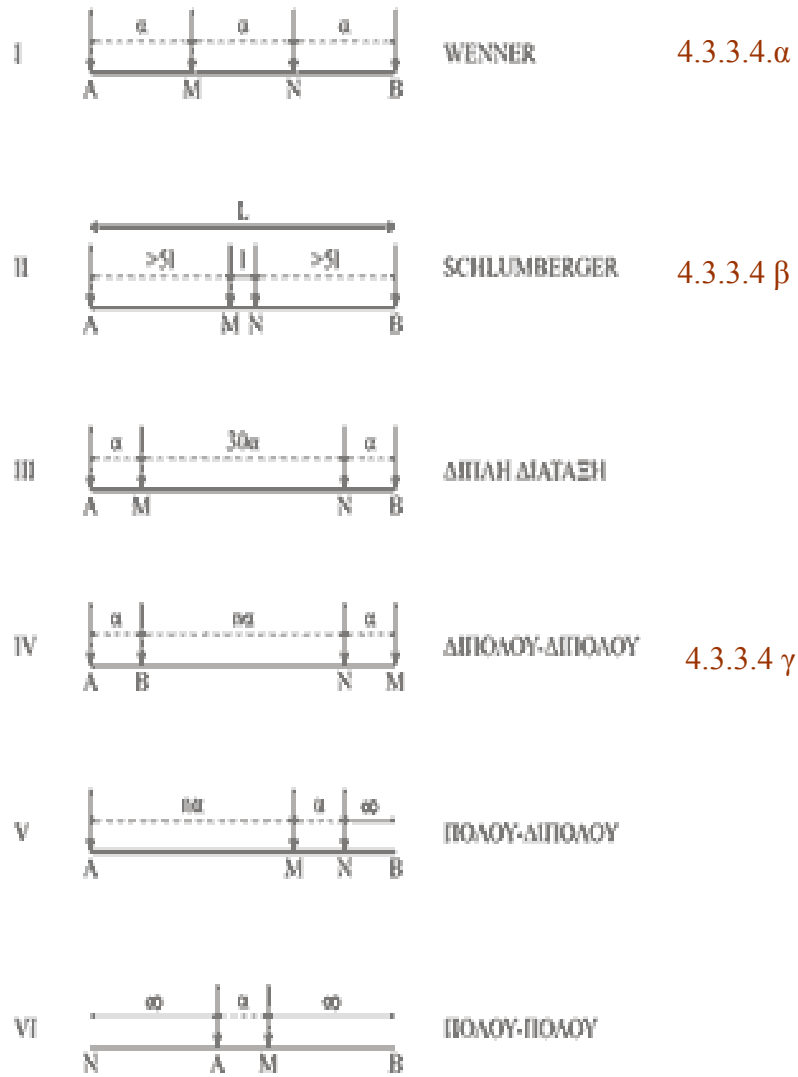
α) η απόσταση $2na$, ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού μπορεί να αυξηθεί αρκετά χωρίς να χρειάζονται μεγάλα μήκη καλωδίων και

β) το πρόβλημα της διπλής κορυφής δεν εμφανίζεται στη διάταξη διπόλου – διπόλου. Το μειονέκτημά της είναι ότι επειδή η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος είναι μικρή, περιορίζεται το βάθος διείσδυσης του ηλεκτρικού ρεύματος και επομένως και η ευαισθησία της μεθόδου με την αύξηση του βάθους.

Άλλες διατάξεις είναι οι εξής :

- Τετραγωνική διάταξη. Στη διάταξη αυτή τα τέσσερα ηλεκτρόδια βρίσκονται στις κορυφές τετραγώνου και αποτελούν τη βάση, πάνω στην οποία βρίσκεται το όργανο μέτρησης.
- Διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου. Μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχεται από τη Wenner, αν τα ηλεκτρόδια N και B τοποθετηθούν σε απόσταση από τα άλλα δύο. Το ένα ζευγάρι ηλεκτροδίων, τα A και M, παραμένει σταθερό και το άλλο, τα N και B, μετακινείται στην περιοχή μελέτης. Θεωρώντας σταθερό το ηλεκτρικό πεδίο, μεγάλες μεταβολές στη μετρούμενη τάση οφείλονται σε δομές που παρουσιάζουν αντίθεση ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με τα περιβάλλοντα πετρώματα, βρίσκονται κοντά στο κινούμενο ζευγάρι και ο εντοπισμός τους αποτελεί το στόχο της μεθόδου.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



ΣΧΗΜΑ 4.3.3 Τρόποι διάταξης ηλεκτροδίων

4.4 Ηλεκτρική Βυθοσκόπηση

4.4.1 Εισαγωγή

Με την ηλεκτρική βυθοσκόπηση προσδιορίζεται η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a σε σταθερό σημείο της επιφάνειας για διαδοχικά αυξανόμενες τιμές του γεωμετρικού συντελεστή K , με αποτέλεσμα την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην κατακόρυφη διεύθυνση. Αυτό συμβαίνει αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος σταδιακά. Καθώς η διάταξη των ηλεκτροδίων απλώνεται, η ίδια ποσότητα ρεύματος κατανέμεται σε παχύτερη ζώνη. Άρα, η ηλεκτρική αντίσταση των βαθύτερων γεωλογικών στρωμάτων επηρεάζει τη φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Εναλλασσόμενα στρώματα υψηλής και χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης, μπορούν να εμφανισθούν σε γράφημα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της απόστασης των ηλεκτροδίων του ρεύματος.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Schlumberger για τη διεξαγωγή των ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων. Ανάμεσα στις διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων, η διάταξη Wenner είναι η λιγότερο κατάλληλη για τη γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση, λόγω της μετακίνησης των τεσσάρων ηλεκτροδίων σε κάθε πρόσθετη μέτρηση. Αντίθετα, στη διάταξη Schlumberger τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν στην ίδια θέση, και μόνο τα ηλεκτρόδια του ρεύματος μετακινούνται για κάθε επιπλέον μέτρηση. Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο Iri2Win η λειτουργία του οποίου βασίζεται στη μονοδιάστατη αντιστροφή των δεδομένων. Ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων των ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων έχει ως εξής:

Αρχικά, εισάγονται τα δεδομένα της βυθοσκόπησης (η ημιαπόσταση $AB/2$, η απόσταση MN και η φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση), ακολουθεί η επιλογή της διάταξης και τέλος, εμφανίζεται μια γεωηλεκτρική καμπύλη με την ημιαπόσταση $AB/2$ στον άξονα x και τις τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης στον άξονα y . Μετά από τη διαδικασία της αντιστροφής, τις απαραίτητες διορθώσεις και τη μείωση του σφάλματος σε όσο το δυνατό μικρότερη τιμή, προκύπτει το τελικό μοντέλο.

4.4.2 Διεξαγωγή της Ηλεκτρικής Βυθοσκόπησης

Κατά την εκτέλεση της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Λαμβάνεται μέριμνα ώστε η ανάπτυξη των γραμμών ρεύματος να γίνεται σε ευθεία και όσο το δυνατόν παράλληλα στην παράταξη. Έτσι, ελέγχεται η περιοχή μελέτης πριν να ξεκινήσει η βυθοσκόπηση για την αποφυγή προβλημάτων όπως η ύπαρξη χειμάρρων, φαραγγιών, λόφων, οικημάτων, φρακτών κ.α.

Συνδέεται το όργανο με τα καλώδια, και τοποθετείται στο σημείο που θα αποτελεί το κέντρο της βυθοσκόπησης, το οποίο επιλέγεται ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής.

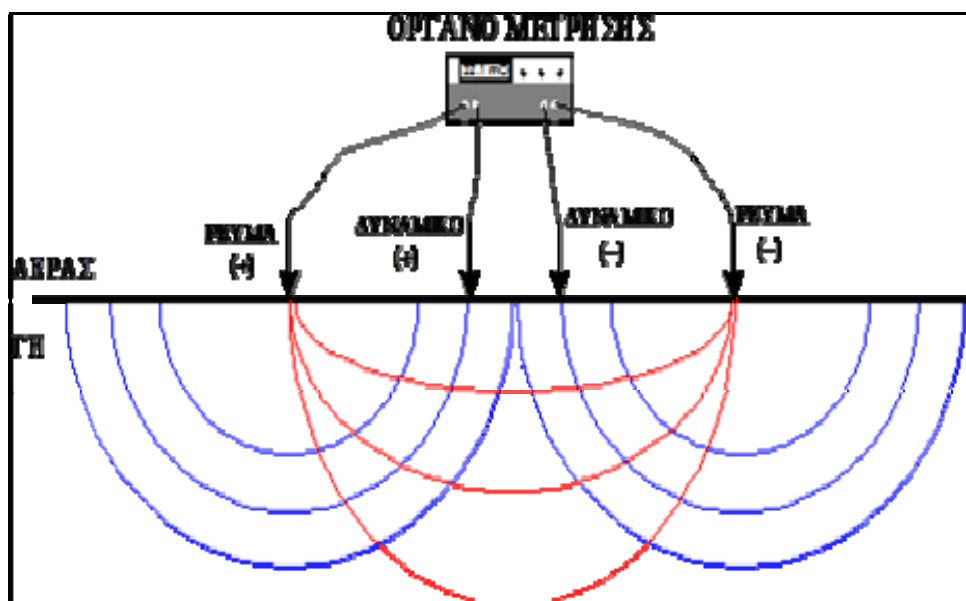
Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του κέντρου σε απόσταση $MN/2$ και $AB/2$ αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων Α και Β με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματοποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος I και δυναμικού V . Στη συνέχεια τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος σε μεγαλύτερη απόσταση $AB/2$ και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

Η συνάρτηση μεταβολής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ_a , με το ημιανάπτυγμα $AB/2$ σχεδιάζεται σε διπλό λογαριθμικό χαρτί κατά τη λήψη των μετρήσεων έτσι ώστε να ελέγχεται με ένα ακόμη τρόπο η αξιοπιστία των μετρήσεων.

Η διαφορά δυναμικού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης $AB/2$, ενώ όταν η τιμή προσεγγίζει το $0,1 \text{ mV}$, η μέτρηση θεωρείται μη αξιόπιστη. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται το $MN/2$ και για το ίδιο $AB/2$ λαμβάνεται νέα μέτρηση.

Το μέγιστο μήκος της ανάπτυξης των ηλεκτροδίων ρεύματος εξαρτάται από το βάθος διασκόπησης .

- Συνήθως ισχύει ότι: (μήκος ανάπτυξης ηλεκτροδίων ρεύματος)=
(3-5)X Βάθος διείσδυσης



ΣΧΗΜΑ 4.4.2.1 Διεξαγωγή ηλεκτρικής βυθοσκόπησης

4.4.3 Επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής βυθοσκόπησης

Για την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο Iri2win, το οποίο είναι λογισμικό πακέτο επεξεργασίας και μοντελοποίησης των μετρήσεων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Γίνεται εισαγωγή της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης που μετρήθηκε συναρτήσει της απόστασης των ηλεκτροδίων και εξάγεται γεωηλεκτρικό μοντέλο της υπό μελέτη περιοχής.

4.5 Ηλεκτρική Τομογραφία

4.5.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Ο όρος τομογραφία παράγεται από τη λέξη «τομή» και σημαίνει απεικόνιση τομής π.χ. του υπεδάφους. Στην ηλεκτρική τομογραφία απεικονίζεται η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος στην κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση. Για τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η εύρεση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι δυνατή με τους αλγόριθμους αντιστροφής. Αν και η αντιστροφή είναι ένα δύσκολο μη γραμμικό πρόβλημα, η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων του Gauss – Newton με εξομάλυνση αποφεύγει τις ασταθείς λύσεις και συγκλίνει γρήγορα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο.

Με την ηλεκτρική τομογραφία επιδιώκεται ο καθορισμός της ηλεκτρικής δομής του υπεδάφους, δηλαδή η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

4.5.2 Τρόπος πραγματοποίησης των μετρήσεων

Διάφοροι τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού στην επιφάνεια της γης έχουν προταθεί για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Στις ηλεκτρικές τομογραφίες της διπλωματικής αυτής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν:

- η διάταξη διπόλου – διπόλου (αυτόματη)
- η διάταξη Wenner – Schlumberger (χειροκίνητη-αυτόματη)

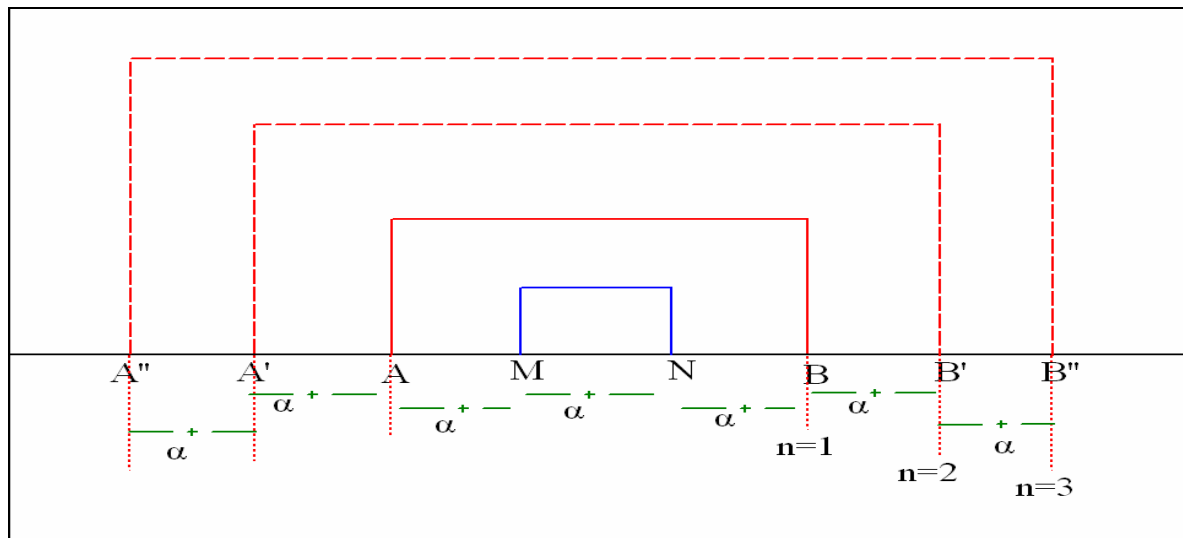
Στην διάταξη Wenner – Schlumberger στην πρώτη μέτρηση τα δύο ηλεκτρόδια δυναμικού (M, N) απέχουν μεταξύ τους απόσταση a , καθώς και τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος (A, B), όπως στη διάταξη Wenner.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση, για αυτή τη μέτρηση, λαμβάνεται από τη σχέση:

$$\rho_a = 2\pi a(V_{MN}/I)$$

Από την επόμενη μέτρηση μετακινούνται τα ηλεκτρόδια ρεύματος, ενώ τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά με μεταξύ τους απόσταση a . Συνεχίζοντας με την ίδια διαδικασία η διάταξη εξελίσσεται σε Schlumberger και η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση λαμβάνεται από τη σχέση: $\rho_a = (\pi L^2/2a)(\Delta V/I)$, όπου ΔV είναι η διαφορά δυναμικού στα δύο ηλεκτρόδια, I είναι η ένταση του ρεύματος, L ($L = na$) είναι η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος και a είναι η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού.

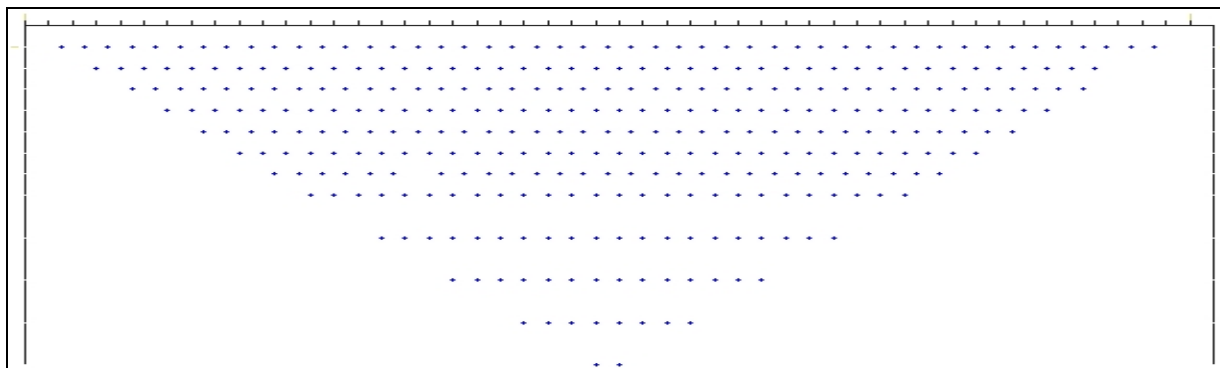


Σχήμα 4.5.2.1: Διάταξη Wenner – Schlumberger.

Για τη συλλογή των δεδομένων, κάθε ηλεκτρόδιο έχει έναν αριθμό για να είναι δυνατή η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων με αριθμητική σειρά.

Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν την ψευδοτομή του υπεδάφους (σχ.4.5.2.2).

Το επόμενο βήμα είναι η αντιστροφή των δεδομένων που δίνει τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.



Σχήμα 4.5.2.2: Διάταξη των δεδομένων στη ψευδοτομή του υπεδάφους (Σούρλας 2000).

4.5.3 Εξοπλισμός ηλεκτρικής τομογραφίας

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται συνήθως κατά την εφαρμογή της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελείται από:

- πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- όργανα μέτρησης του δυναμικού και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος
- ηλεκτρόδια και μονωμένα καλώδια μεγάλου μήκους.

Κατά την πραγματοποίηση των γεωηλεκτρικών τομογραφιών ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι:

- Δύο καρούλια το καθένα με καλώδιο των 500 m για την ανάπτυξη της γραμμής ηλεκτροδίων ρεύματος AB.
- Δύο καλώδια για τη σύνδεση των ηλεκτροδίων δυναμικού. Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού είναι απλές ανοξείδωτοι ράβδοι από χάλυβα.
- Ακόντια και σημαίες για τη σήμανση της γραμμής ανάπτυξης των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού.
- Πολύμετρο για τη μέτρηση της αντίστασης επαφής του ηλεκτροδίου με τη Γη.
- Πυξίδα για το προσανατολισμό της γραμμής μελέτης.
- GPS για την καταγραφή των θέσεων των μετρήσεων.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

- Δοχεία μεταφοράς ύδατος με δ/μα NaCl για τη βελτίωση επαφής του ηλεκτροδίου με το έδαφος .

Όργανο Μέτρησης: Κατά την εκτέλεση της ηλεκτρικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε όργανο μέτρησης ειδικών αντιστάσεων, *STING-R1*, το οποίο:

- α) εισάγει στην γη ρεύμα AC, που η ένταση του κυμαίνεται μεταξύ 0,1-200 mA
- β) μετράει τάση τάξης μεγέθους 0,05 Volt.



ΕΙΚΟΝΑ 4.5.3.1 Όργανο πραγματοποίησης μετρήσεων (*STING-R1*).

4.5.4 Διεξαγωγή της ηλεκτρικής τομογραφίας

Κατά την εκτέλεση των εργασιών υπαίθρου ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Λαμβάνεται μέριμνα ώστε η ανάπτυξη των γραμμών μελέτης να γίνεται σε ευθεία και όσο το δυνατόν παράλληλα στην παράταξη.
- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια κατά μήκος της γραμμής μελέτης, όπου το κάθε ηλεκτρόδιο απέχει απόσταση a από το άλλο. Ταυτόχρονα τοποθετούνται αριθμημένες σημαίες δίπλα στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια.
- Συνδέεται το όργανο με τα καλώδια, και τοποθετείται δίπλα στη γραμμή μελέτης.
- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του επιλεγμένου κέντρου σε απόσταση $MN/2$ και $AB/2$ αντίστοιχα και στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων A και B με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματοποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος i και δυναμικού V .
- Τα ηλεκτρόδια ρεύματος τοποθετούνται σε μεγαλύτερη απόσταση $AB/2$ και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.
- Το κέντρο μετακινείται κατά απόσταση a και επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις όπως στο προηγούμενο βήμα.

4.5.5 Επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα Res2dinv, το οποίο υπολογίζει τη πραγματική ηλεκτρική αντίσταση ρ και στηρίζεται στην αντιστροφή των δεδομένων.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

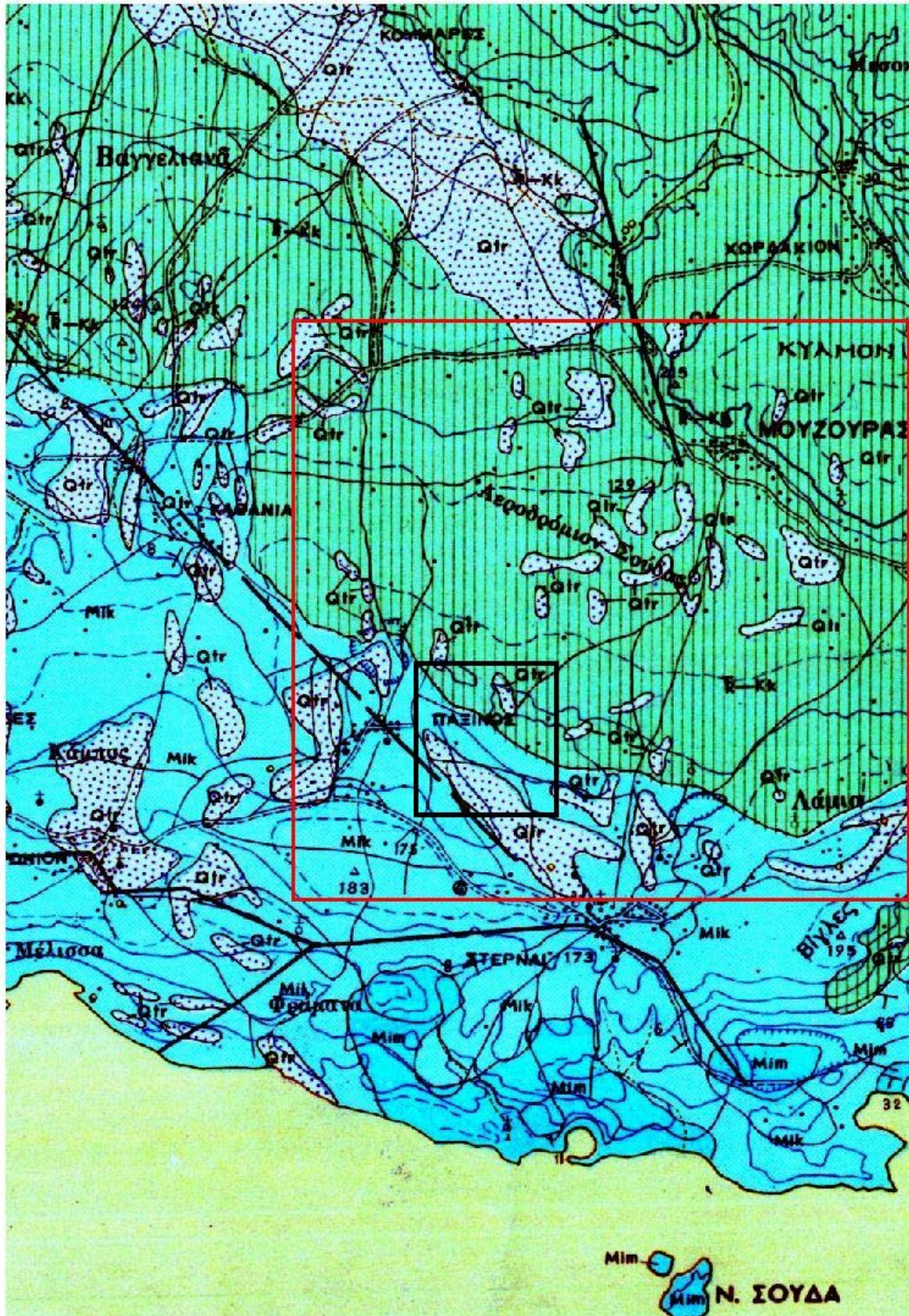
5.1 ΣΤΑΔΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η γεωθερμική έρευνα στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων πραγματοποιήθηκε σε πέντε στάδια. Αυτά είναι τα εξής:

- ΣΤΑΔΙΟ 1- Μετρήσεις θερμοκρασίας στην ευρύτερη περιοχή.
- ΣΤΑΔΙΟ 2- Μετρήσεις θερμοκρασίας στην περιοχή του αεροδρομίου.
- ΣΤΑΔΙΟ 3- Βυθοσκοπήσεις σε επιλεγμένες θέσεις βάσει των προηγούμενων σταδίων
- ΣΤΑΔΙΟ 4 - Τομογραφίες
- ΣΤΑΔΙΟ 5 - Συνδιασμός όλων των ανωτέρω μετρήσεων και χρήση του λογισμικού ArcView GIS 3.2 με υπερθέσεις τοπογραφικού και γεωλογικού χάρτη της περιοχής μελέτης, καθώς επίσης και συνδιασμός όλων των παραπάνω για την καλύτερη και ακριβέστερη απεικόνιση, με απώτερο στόχο την αξιολόγηση για την πιθανή εμφάνιση γεωθερμικού πεδίου στην υπό μελέτη περιοχή.

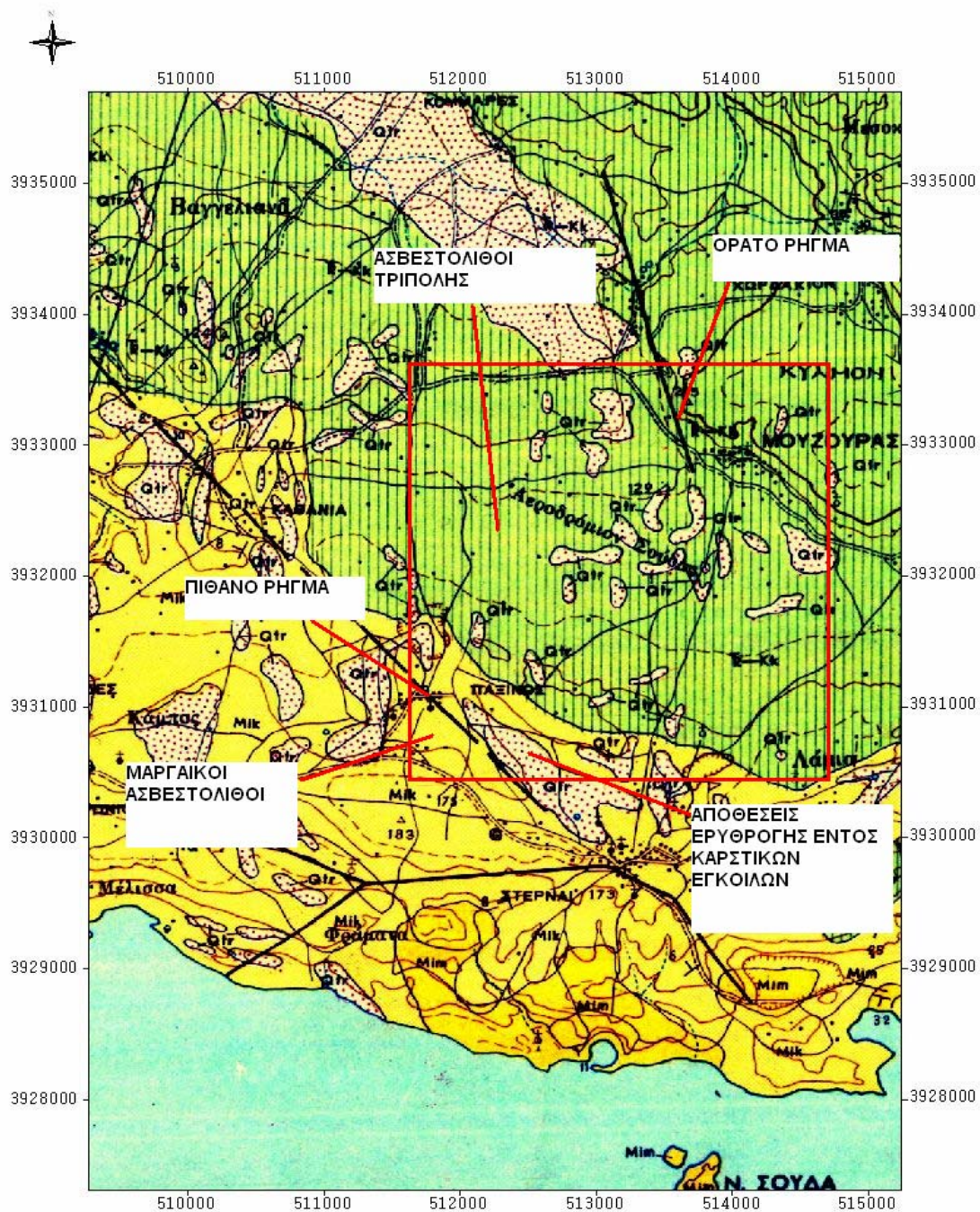
ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Ένα σύντομο ιστορικό περιλαμβάνει αναφορές παλαιών κατοίκων κυρίως της περιοχής του Παζινού - που αφορούσαν την εμφάνιση θερμού αέρα στην επιφάνεια του εδάφους κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα εμφανές κατά τις χειμερινές περιόδους με υψηλά επίπεδα υγρασίας , λόγω φαινομένων συμπύκνωσης. Με αφορμή αυτές τις αναφορές αλλά και από παρόμοιες παρατηρήσεις μέσα στο αεροδρόμιο της Σούδας , δόθηκε το έναυσμα για την γεωθερμική μελέτη της περιοχής που αποτελεί αντικείμενο της διπλωματικής αυτής .



ΣΧΗΜΑ 5.1.1 Στο μαύρο πλαίσιο φαίνεται η ευρύτερη περιοχή όπου αναφέρθηκε εμφάνιση θερμού αέρα στην επιφάνεια και με το κόκκινο πλαίσιο το σύνολο της περιοχής μελέτης

5.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



ΣΧΗΜΑ 5.2.1 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Στην περιοχή μελέτης βάσει του γεωλογικού χάρτη υπάρχουν:

- Ασβεστόλιθοι τρίπολης
- Μαργαικοί ασβεστόλιθοι
- Αποθέσεις ερυθρογής εντός καρστικών εγκοίλων (terra-rossa)

5.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

ΣΤΑΔΙΟ 1

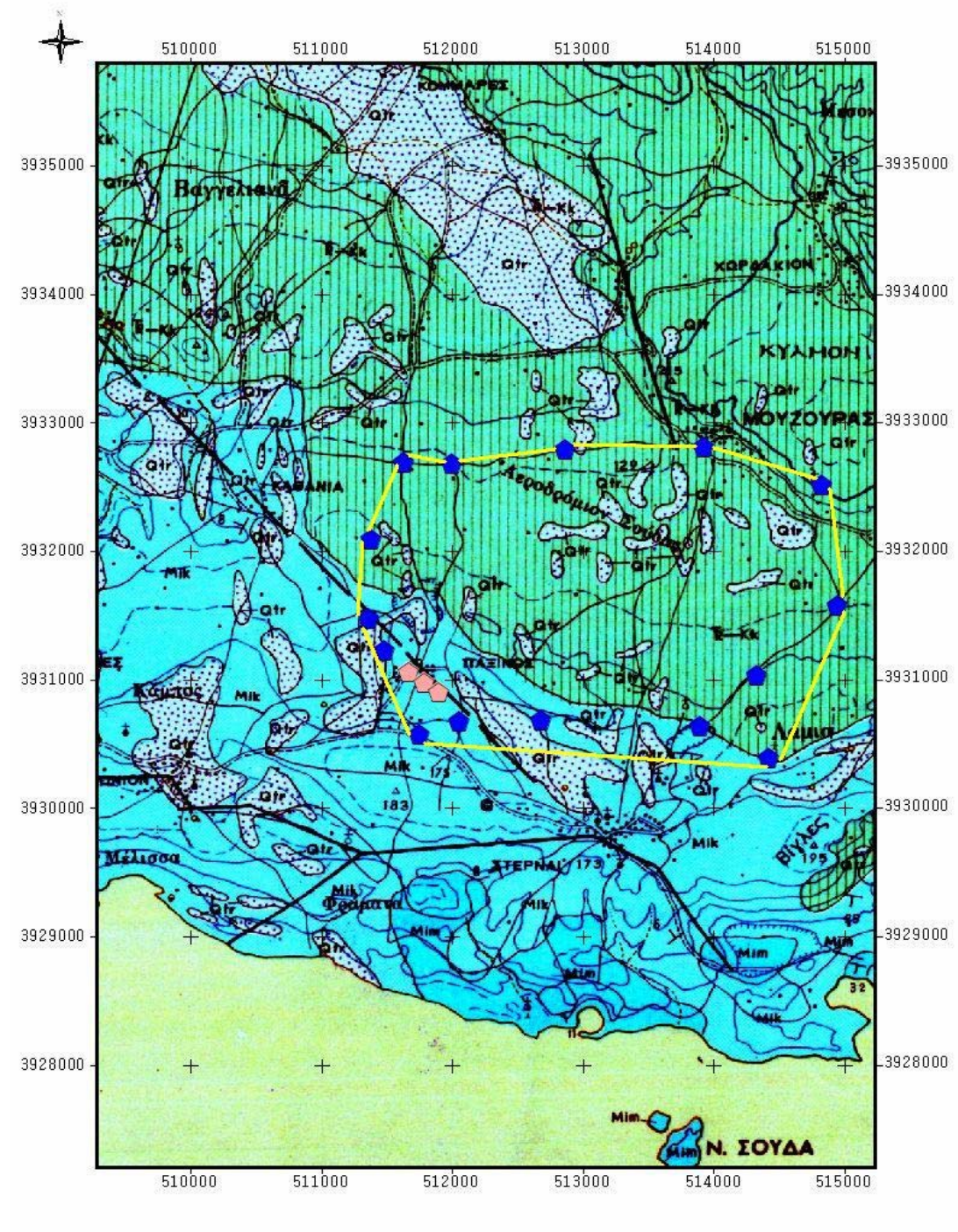
Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμοκρασίας περιμετρικά της περιοχής μελέτης. Το βάθος της οπής ήταν περίπου ένα με ένα και μισό μέτρα και η μέτρηση της θερμοκρασίας έγινε με συμβατικό θερμόμετρο – υγρόμετρο , εξοπλισμένο με καλώδιο αντίστοιχου μήκους με μεταλλική άκρη (αισθητήρας).- ΕΙΚΟΝΑ 5.1.2 -



ΕΙΚΟΝΑ 5.3.1 *Διαδικασία μέτρησης θερμοκρασίας*

Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πρωινές ώρες για να υπάρχει η ίδια επίδραση από τις κλιματολογικές συνθήκες (8.00-10.00 πμ) ώστε να είναι συγκρίσιμες οι τιμές μεταξύ τους για τη εξαγωγή συμπερασμάτων. Επιπροσθέτως οι μετρήσεις πάρθηκαν δύο ημέρες από την διάνυξη της οπής ώστε να έχει επέλθει ισορροπία από την τριβή λόγω του διατρητικού μηχανήματος.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ



ΕΙΚΟΝΑ 5.3.2 Συσχέτιση μετρήσεων με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής (υπέρθυση μετρήσεων στο χάρτη με χρήση του λογισμικού ArcView GIS 3.2). Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι μετρήσεις που έδωσαν φυσιολογικές τιμές θερμοκρασίας και με κόκκινο χρώμα οι τιμές που παρουσίασαν υψηλές θερμοκρασιακές διαφορές .

Αξίζει να τονιστεί, ότι δεν δίνεται αναφορά σε απόλυτες τιμές θερμοκρασίας, αλλά σε θερμοκρασιακές διαφορές που προκύπτουν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Απεικονίζονται βάσει χρωματικών διαφοροποιήσεων (μπλε έως κόκκινο) οι οποίες αποτελούν ενδείξεις και συνεκτιμώνται στην πορεία της έρευνας .

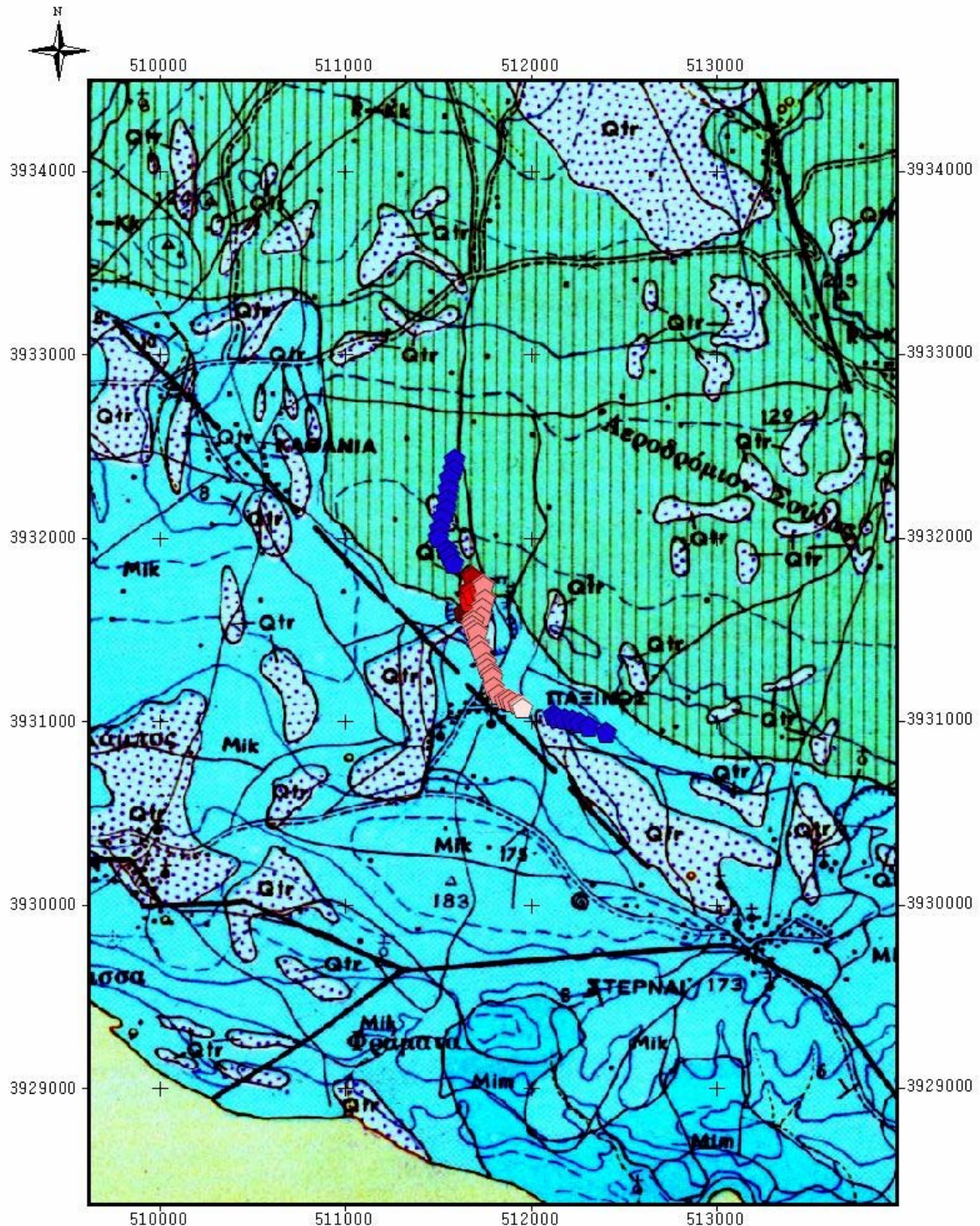
Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα 5.3.2, οι περισσότερες μετρήσεις δεν δίνουν πληροφορίες για πιθανή εμφάνιση γεωθερμίας. Εντούτοις όμως στην περιοχή του Παζινού και στα σύνορα με το αεροδρόμιο της Σούδας υπάρχει μια σειρά μετρήσεων με θερμοκρασίες υψηλότερες έναντι των υπολοίπων. Αυτό οδηγεί την πορεία των ερευνών εντός του στρατιωτικού αεροδρομίου, για να διαπιστωθεί κατά πόσο διατηρούνται οι υψηλότερες αυτές θερμοκρασίες και προς ποια πορεία κατευθύνονται και αν σχετίζονται με την ύπαρξη κάποιου ρήγματος.

- Έχει γίνει αντιστροφή της κλίμακας των χρωμάτων του βασικού γεωλογικού χάρτη, ώστε οι υπερθέσεις των μετρήσεων σε αυτόν να απεικονίζονται ευκρινώς - .

ΣΤΑΔΙΟ 2

Κρίθηκε σκόπιμο η συνέχεια των μετρήσεων να συνεχιστεί εντός του στρατιωτικού αεροδρομίου, από την νότια πλευρά του, λόγω του ότι οι ενδείξεις από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του εδάφους συνέτειναν προς αυτή την κατεύθυνση. Για να συνεχιστούν οι έρευνες χορηγήθηκε σχετική άδεια από το υπουργείο εθνικής άμυνας, αλλά και την ίδια την διοίκηση της 115 πτέρυγας μάχης.

Μετρήσεις εντός του αεροδρομίου Σούδας



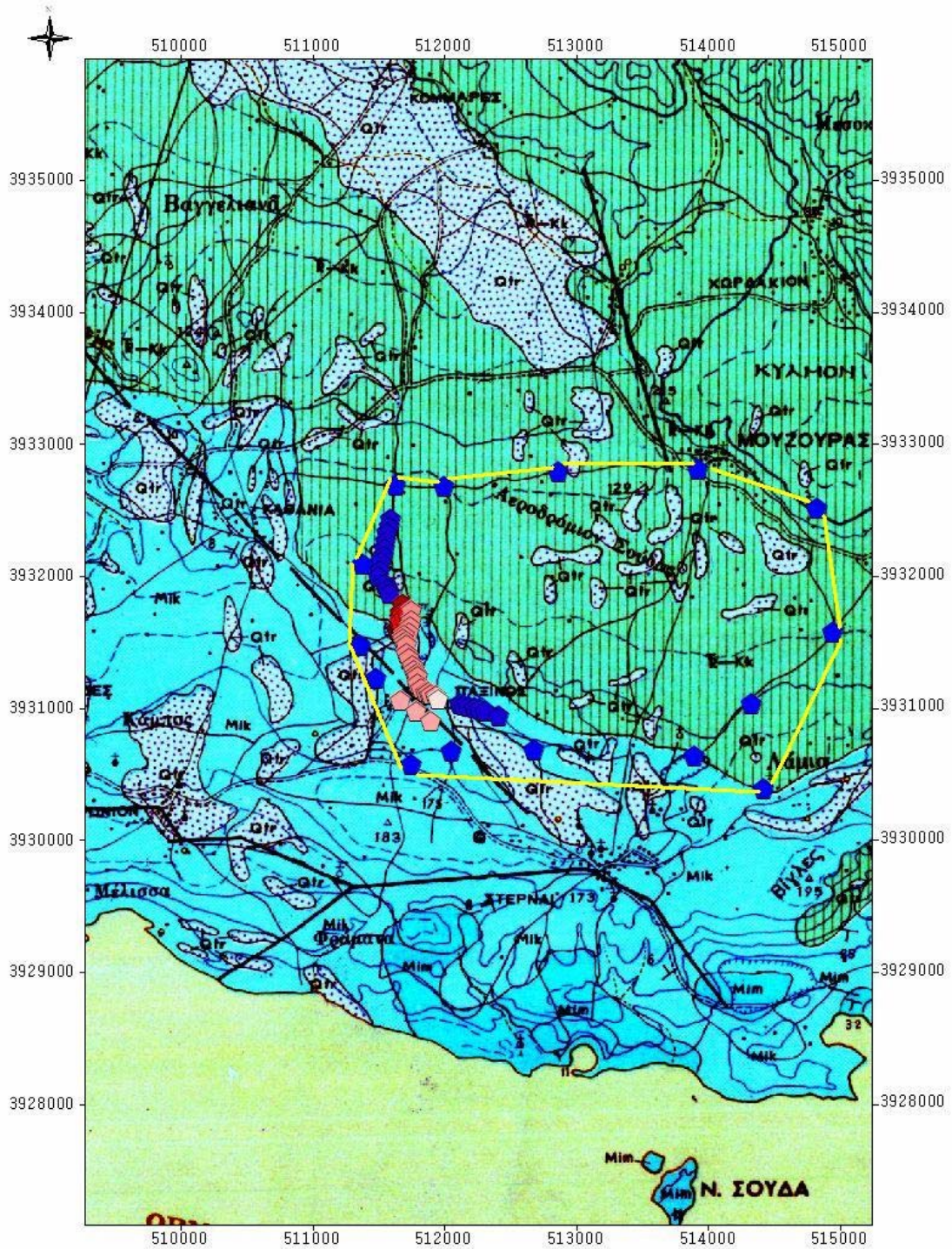
ΕΙΚΟΝΑ 5.3.3 Υπέρθεση θέσεων μετρήσεων θερμοκρασίας εντός του αεροδρομίου στο γεωλογικό χάρτη.

Δεν μετρήθηκαν απόλυτες τιμές θερμοκρασίας, αφού δεν υπήρχε η δυνατότητα να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των μετρήσεων αυτών. Οι απεικονίσεις αφορούν θερμοκρασιακές διαφορές οι οποίες είναι ενδεικτικές για την πορεία των ερευνών και παρουσιάζονται βάσει χρωματικών διαβαθμίσεων (διαβαθμίσεις μπλε για χαμηλές έως κόκκινο για υψηλές).

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω εικόνες, παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες, που σε κάποια σημεία φτάνουν έως τους 27°C (βαθύ κόκκινο) εκεί όπου έχει παρατηρηθεί κατά τους χειμερινούς μήνες εμφάνιση θερμού αέρα. Οι υψηλές θερμοκρασίες φαίνεται πως διατηρούνται καθώς συγκλίνουν προς το ρήγμα, ενώ προς τα ανατολικά, καθώς απομακρυνόμαστε από αυτό, οι υψηλές τιμές θερμοκρασίας παύουν να υφίστανται. Αυτό φαίνεται και από την εικόνα που ακολουθεί και απεικονίζει τις μετρήσεις στο σύνολό τους (εικ. 5.3.4).

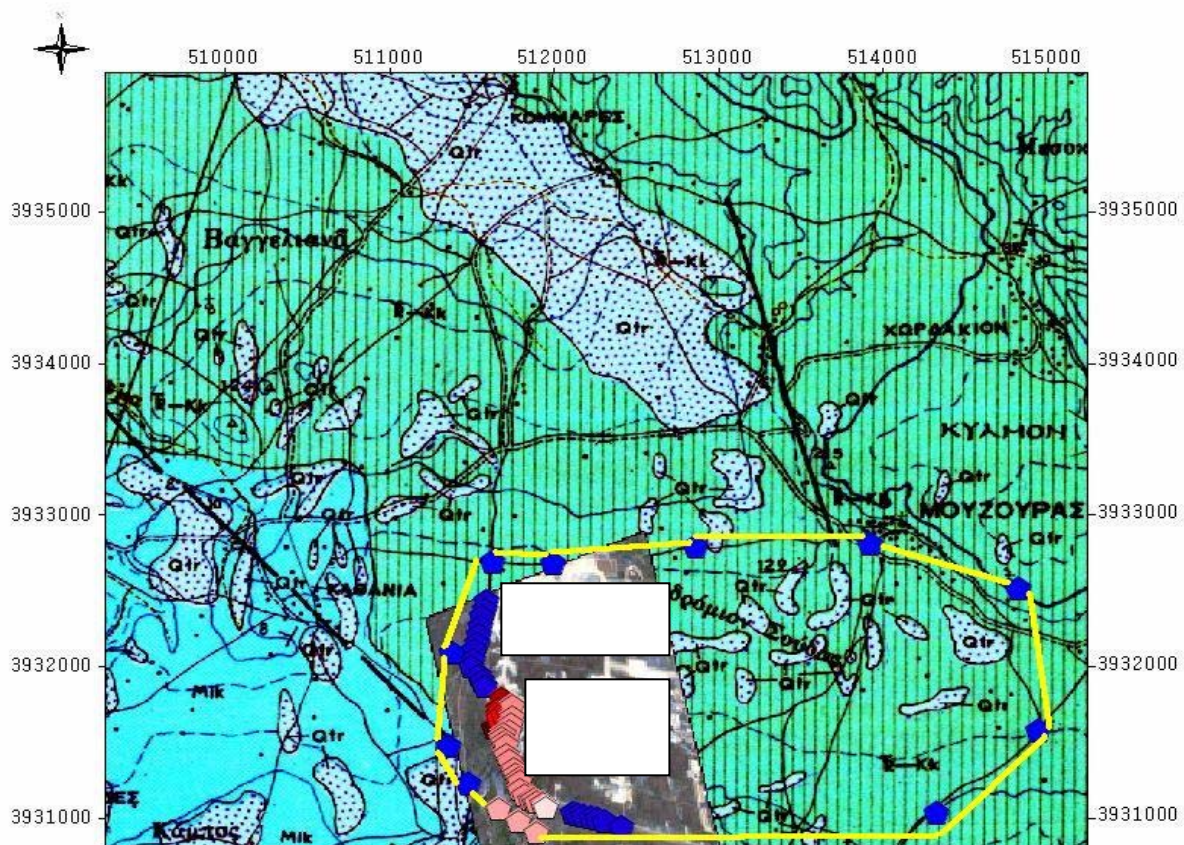
Να τονιστεί ότι οι υπερθέσεις των μετρήσεων στους συνδιασμένους χάρτες έχει γίνει με χρήση του προγράμματος ArcView GIS 3.2 . Γίνεται αρχικά εισαγωγή των χαρτών (γεωλογικού , τοπογραφικού , δορυφορική εικόνα κτλ) στο πρόγραμμα με τις συντεταγμένες των χαρτών ή των εικόνων σε συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς . (Στην παρούσα έρευνα έχει γίνει αναγωγή όλων των συντεταγμένων στο σύστημα ΕΓΣΑ 87) . Έπειτα γίνεται εισαγωγή των μετρήσεων (βυθοσκοπήσεις , τομογραφίες , μετρήσεις θερμοκρασίας) στο ίδιο σύστημα αναφοράς, ώστε να είναι δυνατή η υπέρθεσή τους στους χάρτες με ακρίβεια (εισαγωγή σε μορφή tiff για χάρτες).

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 5.3.4 Σύνολο των μετρήσεων – υπέρθεση σε γεωλογικό χάρτη

ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 5.3.5 Τελικός χάρτης μετρήσεων θερμοκρασίας , υπέρθεση σε γεωλογικό χάρτη και δορυφορική εικόνα της περιοχής (πηγή: www.google-earth.com).

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας του εδάφους, φαίνεται το ρήγμα να επηρεάζει και ίσως να είναι αυτός ο παράγοντας που προκαλεί τις υψηλές θερμοκρασίες στα πρώτα μέτρα της επιφάνειας της γης, αφού όπως φαίνεται και στο πλαίσιο εντός της εικόνας οι υψηλότερες τιμές συγκλίνουν προς το ρήγμα, ενώ οι χαμηλότερες απομακρύνονται από αυτό.

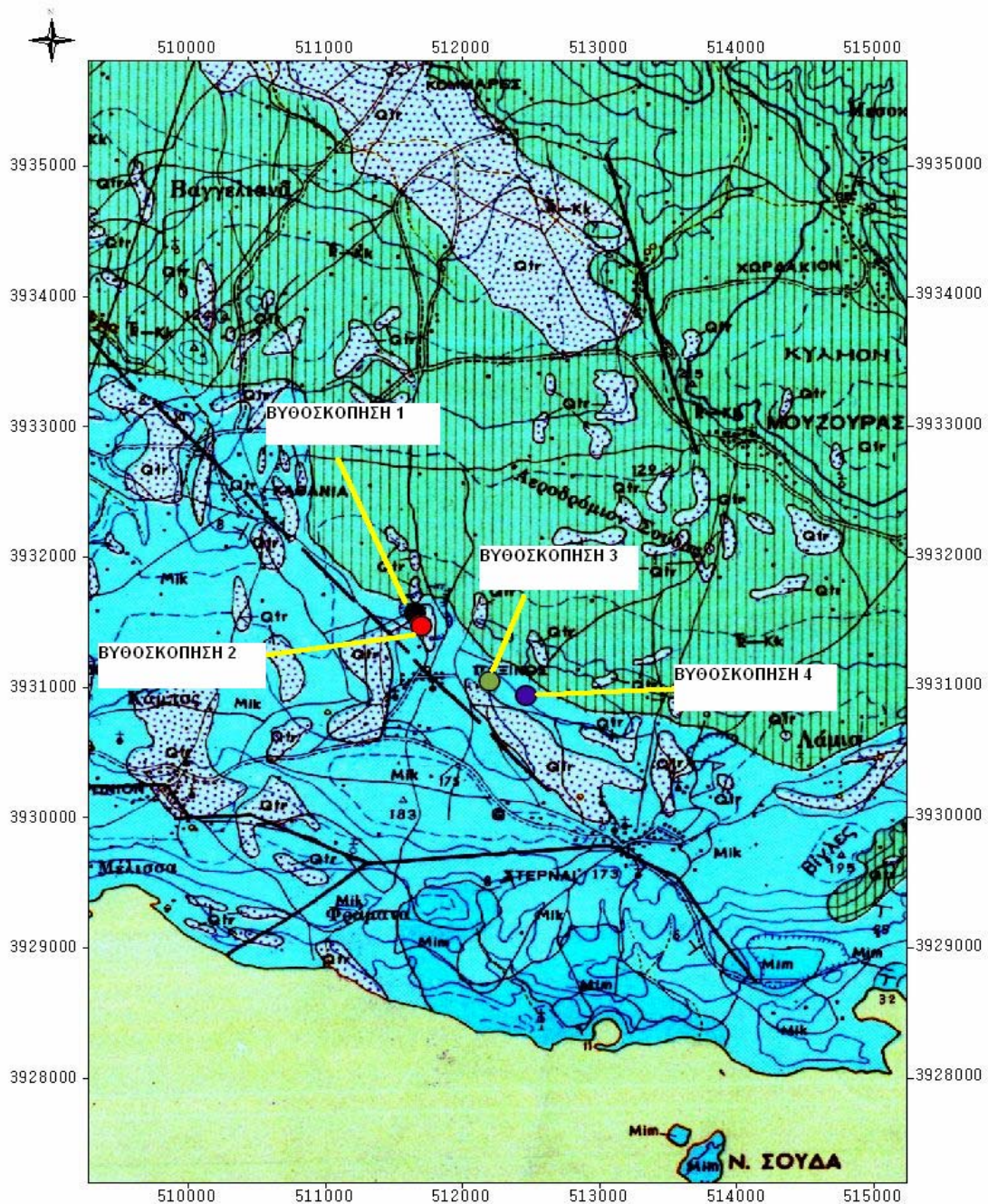
Με αυτά τα δεδομένα ακολουθεί το τρίτο στάδιο, όπου θα πραγματοποιηθούν βυθοσκοπήσεις ώστε να διαπιστωθεί η στρωματογραφία, σε βάθη περίπου στο υψόμετρο της περιοχής μελέτης (140 – 150 μέτρα).

Για την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο Iri2win, το οποίο είναι λογισμικό πακέτο επεξεργασίας και μοντελοποίησης των μετρήσεων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Γίνεται εισαγωγή της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης που μετρήθηκε συναρτήσει της απόστασης των ηλεκτροδίων και εξάγεται γεωηλεκτρικό μοντέλο της υπό μελέτη περιοχής.

Η ερμηνεία των στρωμάτων που προέκυψαν από τις βυθοσκοπήσεις έγινε βάσει του γεωλογικού χάρτη και των ηλεκτρικών αντιστάσεων των πετρωμάτων που απαντώνται στην περιοχή μελέτης – μετρήσεων (εικόνα .5.2.1 και πίνακας .4.3.2.3)

ΣΤΑΔΙΟ 3

Κατά το στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκαν συνολικά τέσσερις βυθοσκοπήσεις σε θέσεις όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



ΕΙΚΟΝΑ 5.3.6 Θέσεις πραγματοποίησης βυθοσκοπήσεων

5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ

Με βάση τον γεωλογικό χάρτη στην περιοχή των μετρήσεων συναντούμε τους εξής σχηματισμούς (εικ.5.2.1) :

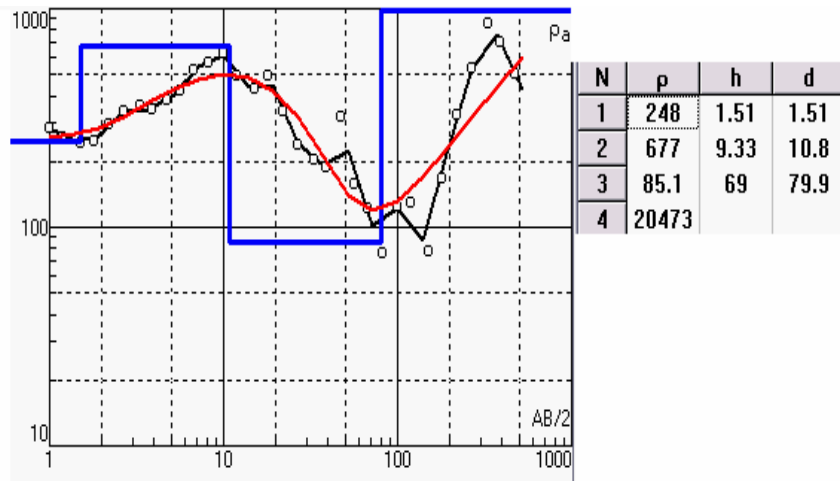
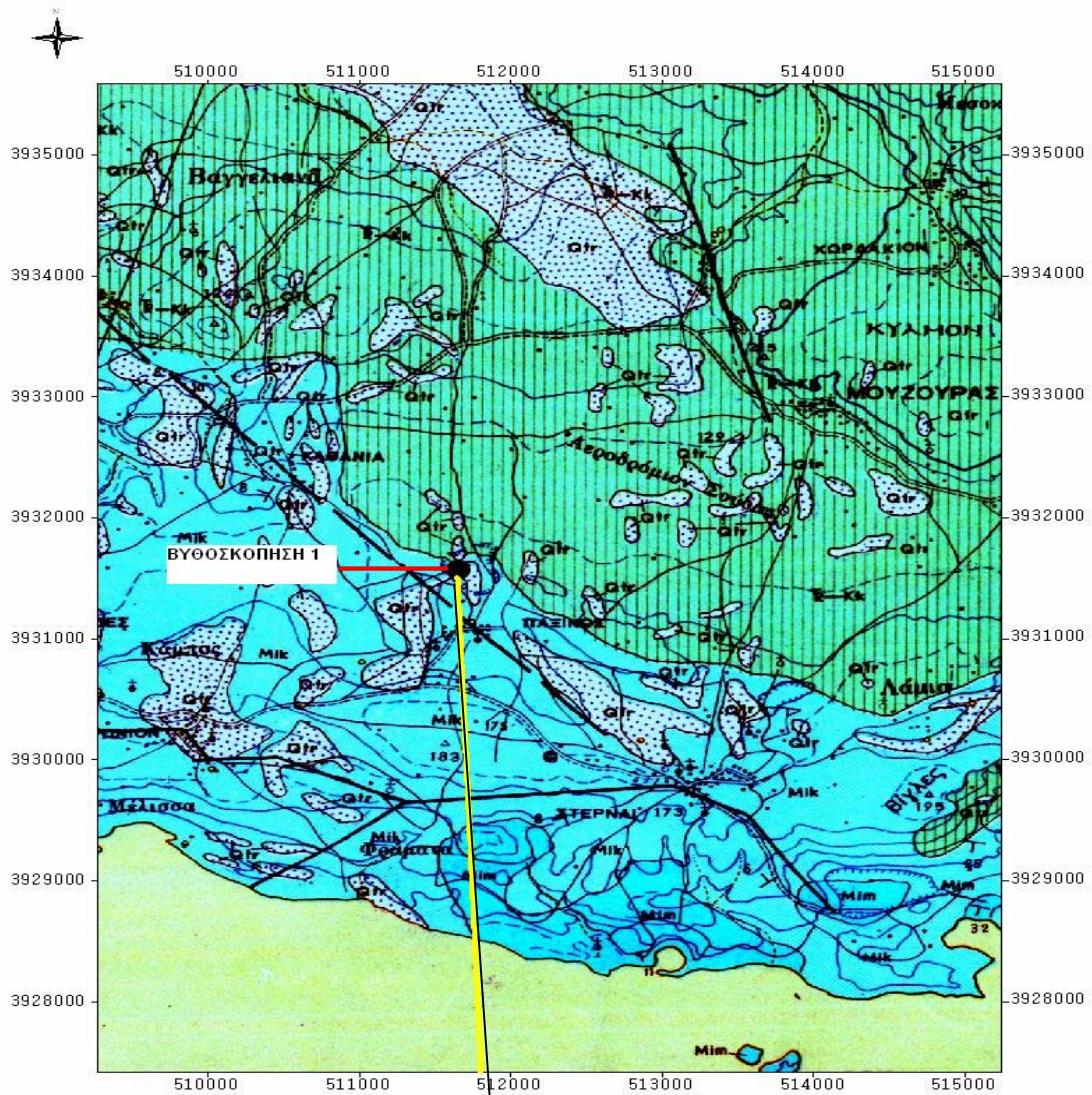
- Ασβεστόλιθοι τριπόλεως ($>500 \Omega\text{m}$)
- Μαργαϊκός ασβεστόλιθος ($150-500\Omega\text{m}$)
- Προσχωματικές αποθέσεις ερυθρογής (terra rossa) εντός καρστικών εγκοίλων

Βάσει των ανωτέρω στοιχείων θα πραγματοποιηθεί η ερμηνεία των αποτελεσμάτων των βυθοσκοπήσεων.

➤ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ 1

Η πρώτη βυθοσκόπηση έχει κέντρο 511655 E , 3931569 N ενώ το μήκος αναπτύγματος των καλωδίων ρεύματος είναι 940 m . Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη SCHLUMBERGER, ενώ το υψόμετρο της περιοχής της βυθοσκόπησης είναι περίπου 142m και η διεύθυνση είναι βόρειο-βορειοδυτική .

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



ΣΧΗΜΑ 5.4.1 Θέση-αποτέλεσμα βυθοσκόπησης 1

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ
ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

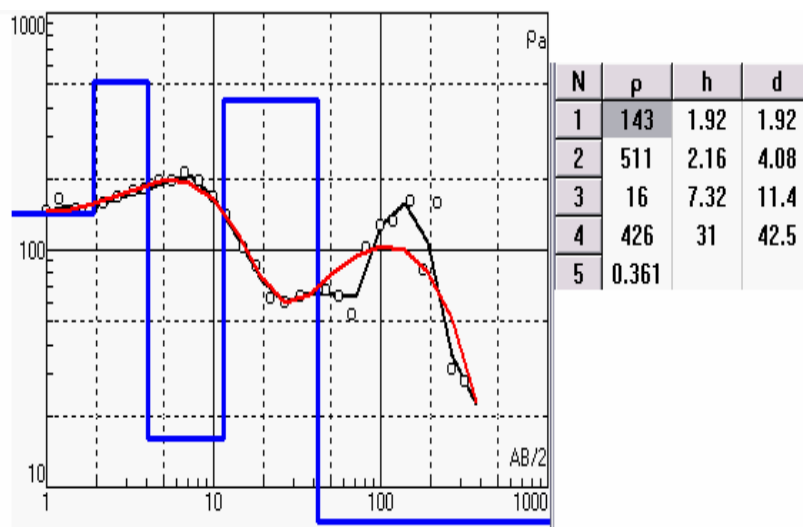
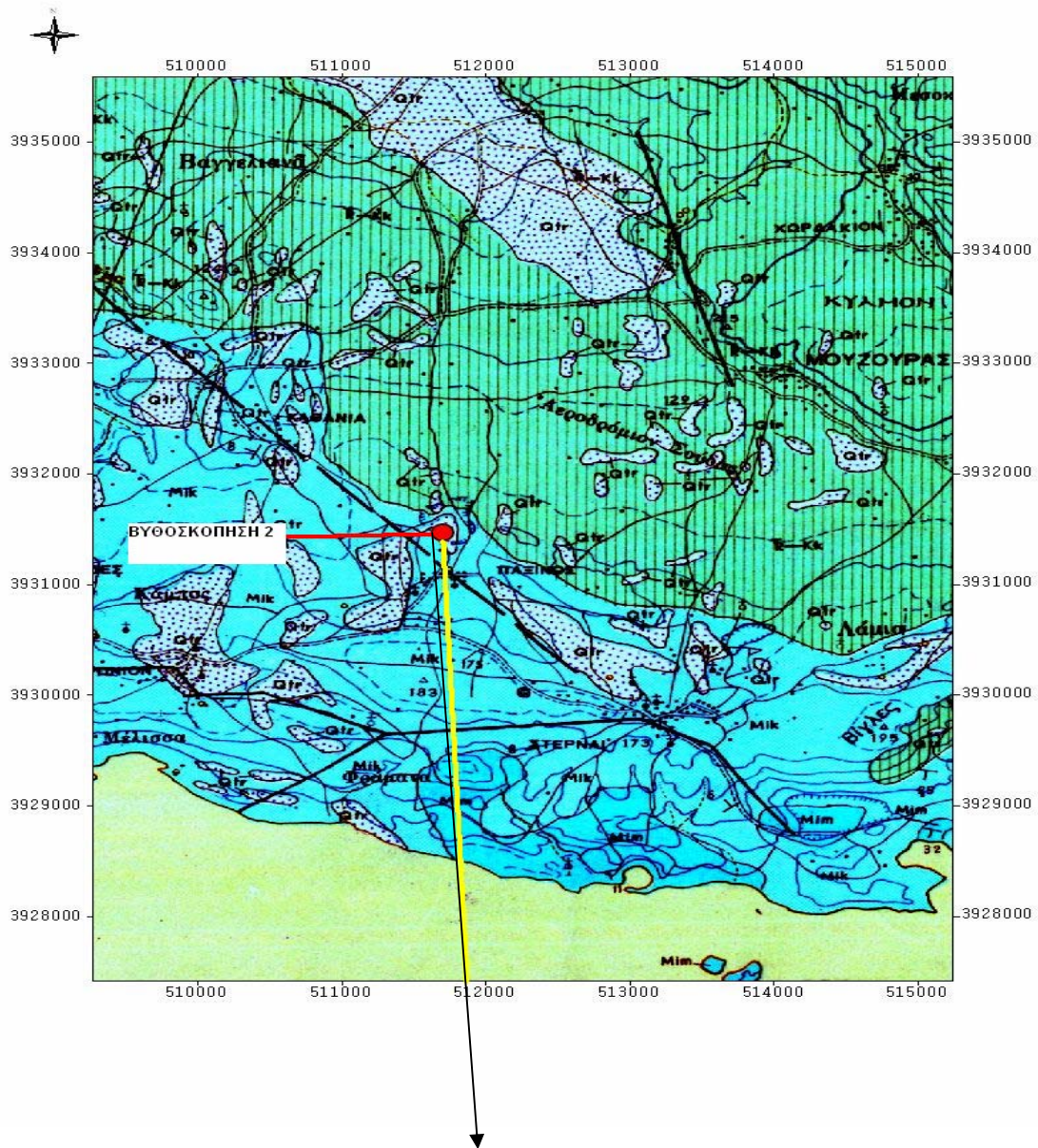
ΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ρ (Ωm)	ΠΑΧΟΣ h (m)
1ο	248	1,51
2ο	677	9,33
3ο	85,1	69
4ο	20473	

Παρατηρείται στα πρώτα τρία πρώτα στρώματα καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος με έγκοιλα πληρωμένα ή μη με ερυθρογή . Στο τρίτο στρώμα παρατηρείται μια πτώση των τιμών των ηλεκτρικών αντιστάσεων (στρώμα πάχους 69m).. Κάτω από τα 80m είναι εμφανής η ζώνη τριπόλεως (συμπαγής ασβεστόλιθος) με τις πολύ υψηλές τιμές ηλεκτρικών αντιστάσεων.

➤ **ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ 2**

Η δεύτερη βυθοσκόπηση έχει κέντρο 511708 E, 3931467 N ενώ το μήκος αναπτύγματος των καλωδίων ρεύματος είναι 640 m . Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη SCHLUMBERGER, ενώ το υψόμετρο της περιοχής της βυθοσκόπησης είναι περίπου 145m και η διεύθυνση είναι βόρειο-βορειοδυτική.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



ΣΧΗΜΑ 5.4.2 Θέση-αποτέλεσμα βυθοσκόπησης 2

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ
ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

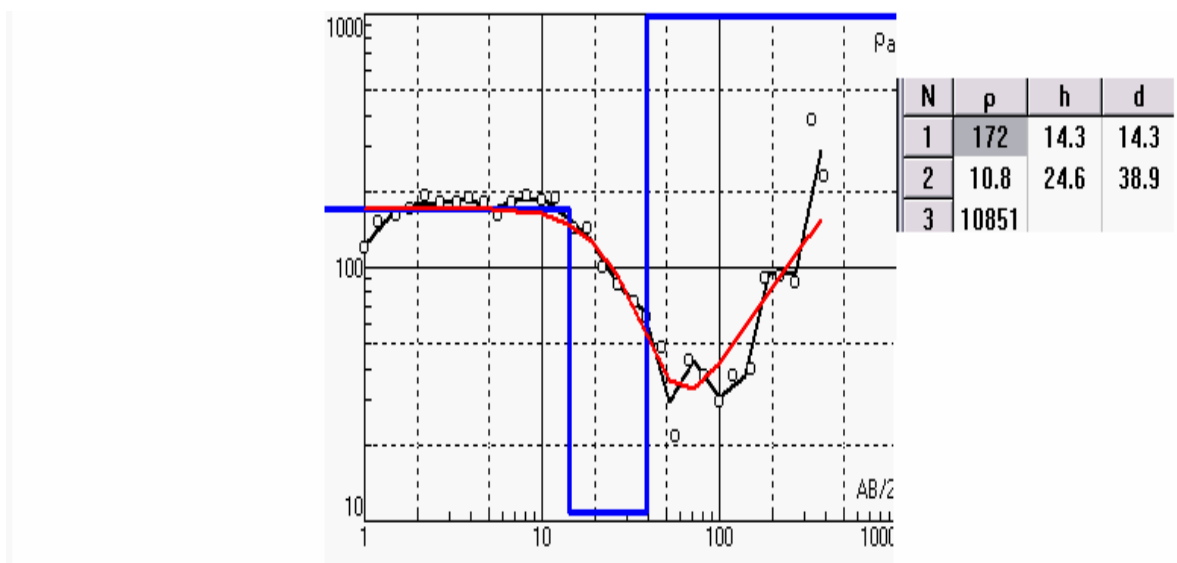
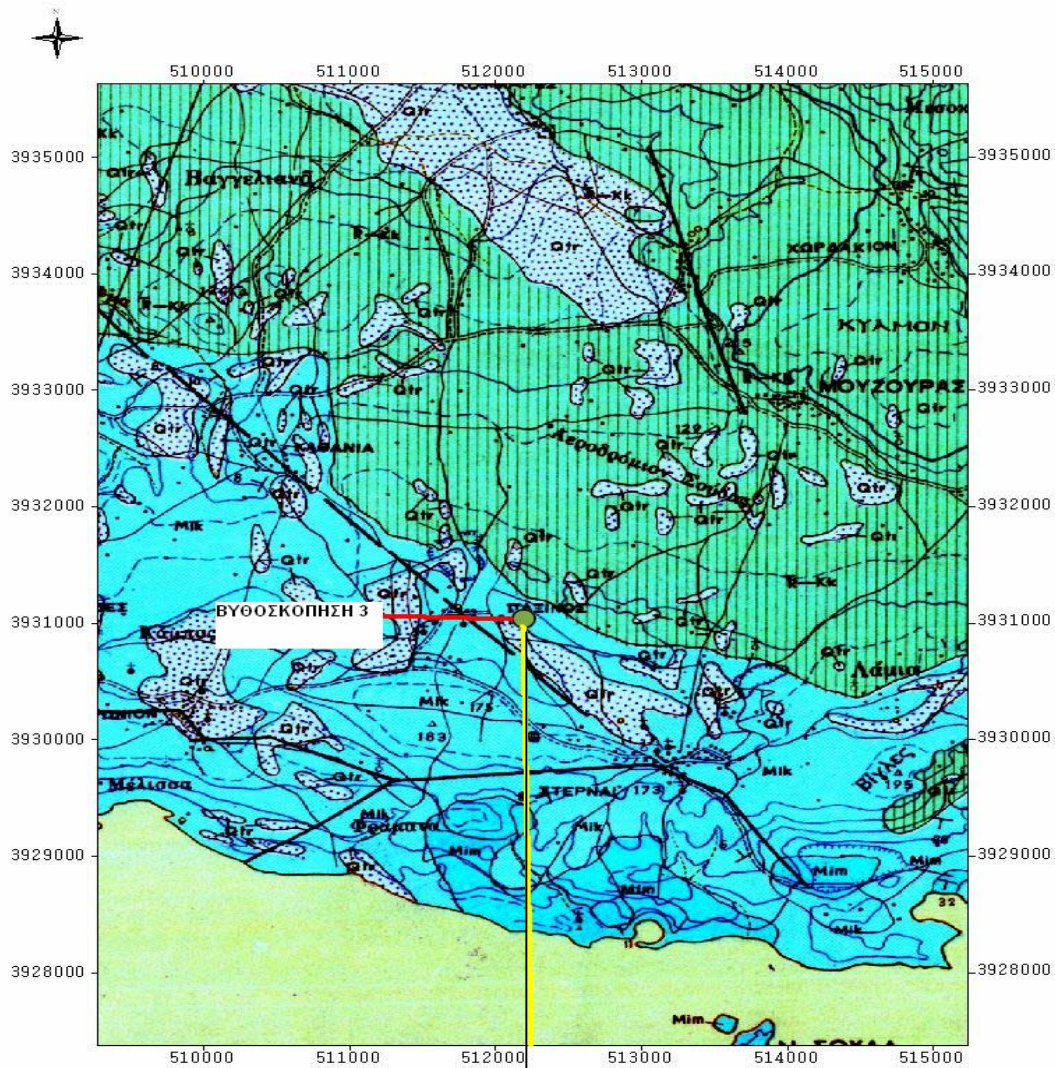
ΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ρ (Ωm)	ΠΑΧΟΣ h (m)
1ο	143	1,92
2ο	511	2,16
3ο	16	7,32
4ο	426	31
5ο	0,361	

Παρατηρείται στα πρώτα 40m έντονα καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος με έγκοιλα κενά, είτε πληρωμένα με ερυθρογή . Από τα 42,5m και κάτω έχουμε στρώμα πολύ χαμηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων κάτι που θα οδηγήσει στην πραγματοποίηση τομογραφίας κατά το επόμενο στάδιο έρευνας ώστε να διερευνηθεί η ένδειξη αυτή .

➤ **ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ 3**

Η τρίτη βυθοσκόπηση έχει κέντρο 512201 E, 3931039 N ενώ το μήκος αναπτύγματος των καλωδίων ρεύματος είναι 780m. Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη SCHLUMBERGER, ενώ το υψόμετρο της περιοχής της βυθοσκόπησης είναι περίπου 156m και η διεύθυνση είναι βορειοδυτική.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



ΣΧΗΜΑ 5.4.3 Θέση-αποτέλεσμα βυθοσκόπησης 3

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ
ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

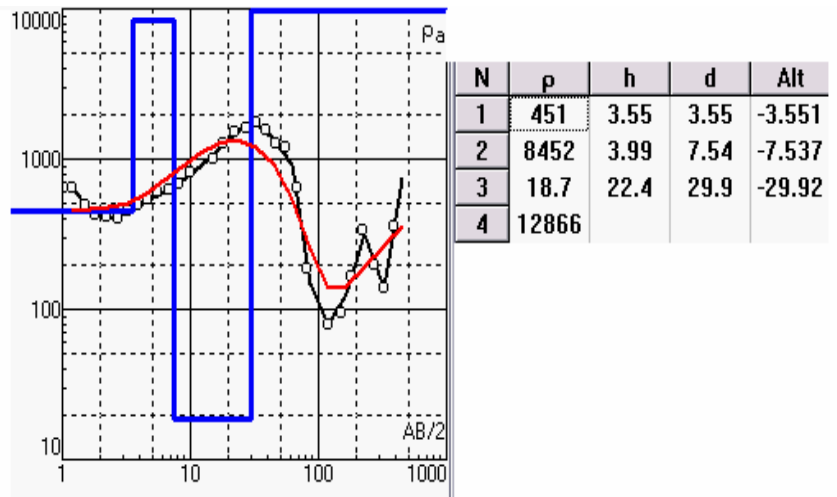
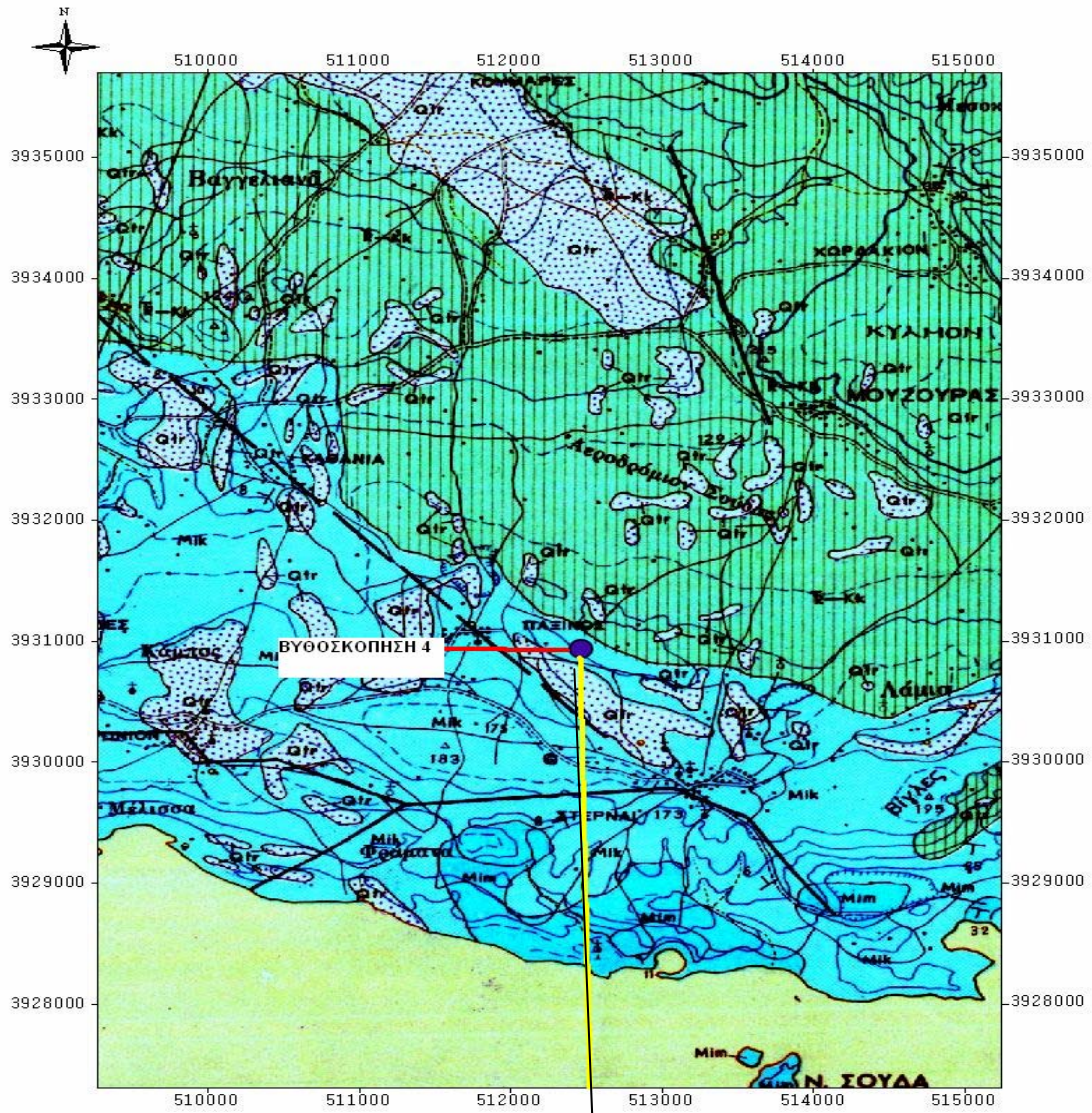
ΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ρ (Ωm)	ΠΑΧΟΣ h (m)
1ο	172	14,3
2ο	10,8	24,6
3ο	10851	

Παρατηρείται καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος στα πρώτα 39m με έγκοιλα πληρωμένα με ερυθρογή(terra-gossa). Τέλος ακολουθεί η ζώνη τριπόλεως με τις πολύ υψηλές αντιστάσεις (συμπαγής ασβεστόλιθος).

➤ **ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ 4**

Η τέταρτη βυθοσκόπηση έχει κέντρο 512465 E, 3930936 N ενώ το μήκος αναπτύγματος των καλωδίων ρεύματος είναι 780m. Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη SCHLUMBERGER, ενώ το υψόμετρο της περιοχής της βυθοσκόπησης είναι περίπου 154m και η διεύθυνση είναι βορειοδυτική.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



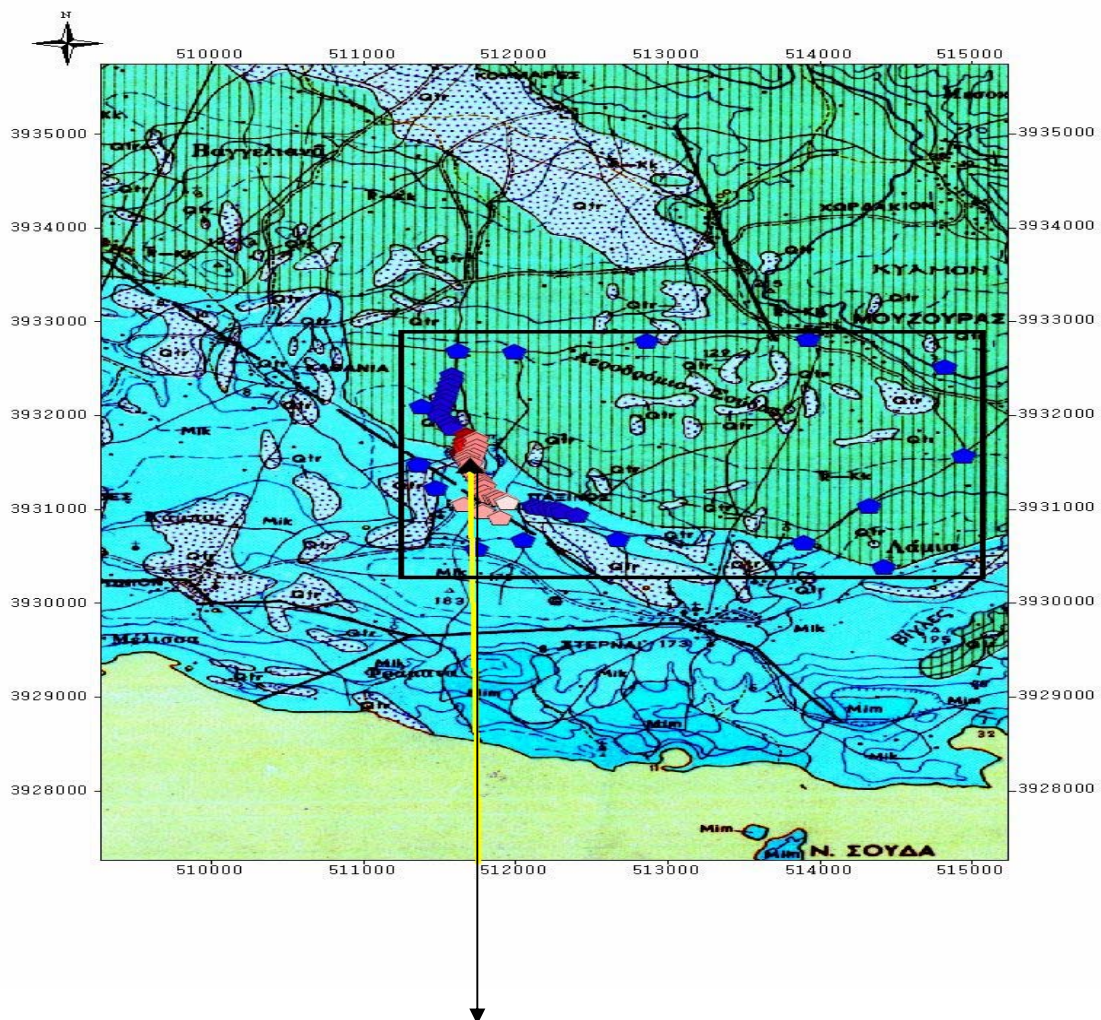
ΣΧΗΜΑ 5.4.4 Θέση-αποτέλεσμα βυθοσκόπησης 4

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

ΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ρ (Ωm)	ΠΑΧΟΣ h (m)
1ο	451	3,55
2ο	8452	7,54
3ο	18,7	22,4
4ο	12866	

Παρατηρείται καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος στα πρώτα 33m με έγκοιλα πληρωμένα ή μη με ερυθρογή, ενώ το τελευταίο στρώμα είναι συμπαγείς ασβεστόλιθοι τρίπολης (ζώνη τρίπολης).

➤ ΣΧΟΛΙΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



ΣΧΗΜΑ 5.4.5 Με το μαύρο τρίγωνο απεικονίζεται η θέση της βυθοσκόπησης που έδωσε ενδείξεις για χαμηλές αντιστάσεις, σε σχέση με τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του εδάφους ..

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΟΛΕΣ ΟΙ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΙΣ

ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ 1

ΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ρ (Ωm)	ΠΑΧΟΣ h (m)
1ο	248	1,51
2ο	677	9,33
3ο	85,1	69
4ο	20473	

ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ 2

ΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ρ (Ωm)	ΠΑΧΟΣ h (m)
1ο	143	1,92
2ο	511	2,16
3ο	16	7,32
4ο	426	31
5ο	<u>0,361</u>	

ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ 3

ΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ρ (Ωm)	ΠΑΧΟΣ h (m)
1ο	172	14,3
2ο	10,8	24,6
3ο	10851	

ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ 4

ΣΤΡΩΜΑΤΑ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ρ (Ωm)	ΠΑΧΟΣ h (m)
1ο	451	3,55
2ο	8452	7,54
3ο	18,7	22,4
4ο	12866	

Παρατηρείται ότι όλες οι βυθοσκοπήσεις εντοπίζουν στα πρώτα στρώματα (κόκκινες τιμές ηλεκτρικών αντιστάσεων) καρστικοποιημένο ασβεστόλιθο με έγκοιλα

πληρωμένα ή μη με αποθέσεις ερυθρογής (καρστ με ή χωρίς ερυθρογή). Επίσης όλες δείχνουν την ζώνη της τρίπολης (μαύρες τιμές ηλεκτρικών αντιστάσεων) εκτός από την βυθοσκόπηση 2 που παρουσιάζει ένα στρώμα πολύ χαμηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων, κάτι που θα διερευνηθεί στο στάδιο που ακολουθεί. Το ότι η βυθοσκόπηση 2 δεν εντοπίζει την ζώνη της τρίπολης, όπως οι άλλες βυθοσκοπήσεις, οφείλεται είτε στο γεγονός ότι το ηλεκτρικό ρεύμα εντοπίζει αγώγιμο σώμα (στρώμα 5) και δεν διεισδύει βαθύτερα, είτε λόγω του μικρότερου αναπτύγματος ηλεκτροδίων του ρεύματος (640m) έναντι των άλλων βυθοσκοπήσεων.

Με "οδηγό" την βυθοσκόπηση 2 θα πραγματοποιηθούν τομογραφίες για την αναλυτικότερη απεικόνιση των στρωμάτων και των διαφοροποιήσεων των αντιστάσεων των πετρωμάτων

ΣΤΑΔΙΟ 4

Επόμενο στάδιο έρευνας αποτελούν οι ηλεκτρικές τομογραφίες που πραγματοποιήθηκαν όπου υπήρχαν ενδείξεις χαμηλών αντιστάσεων από τις βυθοσκοπήσεις (βυθοσκόπηση 2). Τα γεωθερμικά ρευστά λόγω υψηλής αγωγιμότητας παρουσιάζουν χαμηλές ηλεκτρικές αντιστάσεις, στοιχείο το οποίο αποτελεί ζητούμενο στην γεωθερμική έρευνα με ηλεκτρικές μεθόδους διασκόπησης.

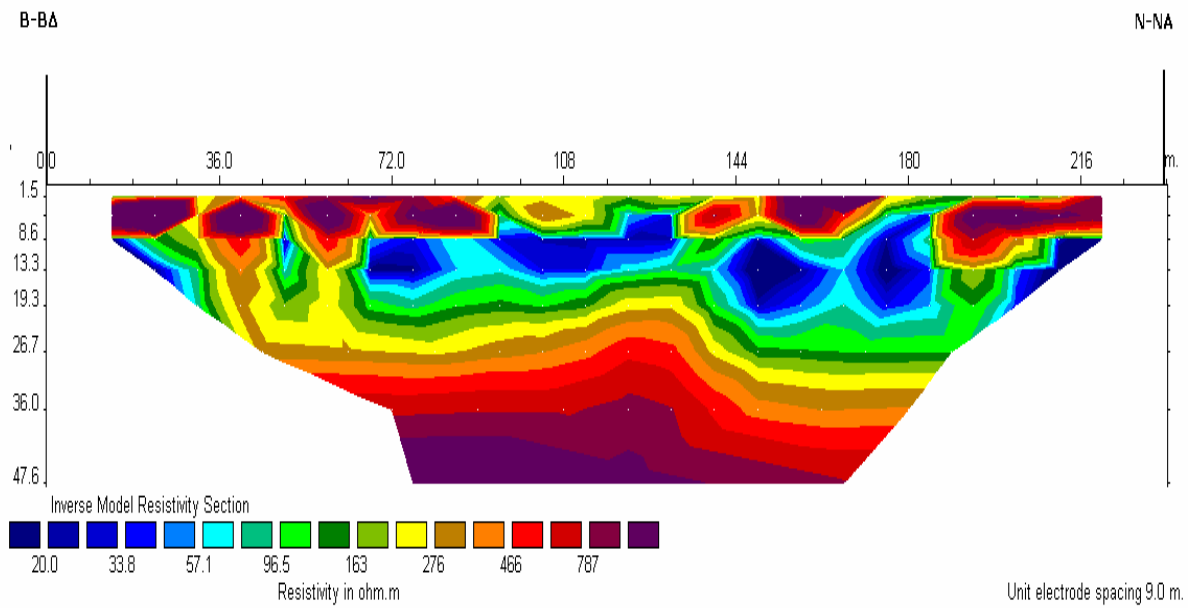
5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΔΙΠΛΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η τομογραφία αυτή έχει μήκος αναπτύγματος 234m και η αρχή της γραμμής μελέτης έχει συντεταγμένες 511713 E , 3931333 N ενώ το τέλος της γραμμής μελέτης 511662 E , 3931545 N.

Χρησιμοποιήθηκαν δυο διατάξεις :

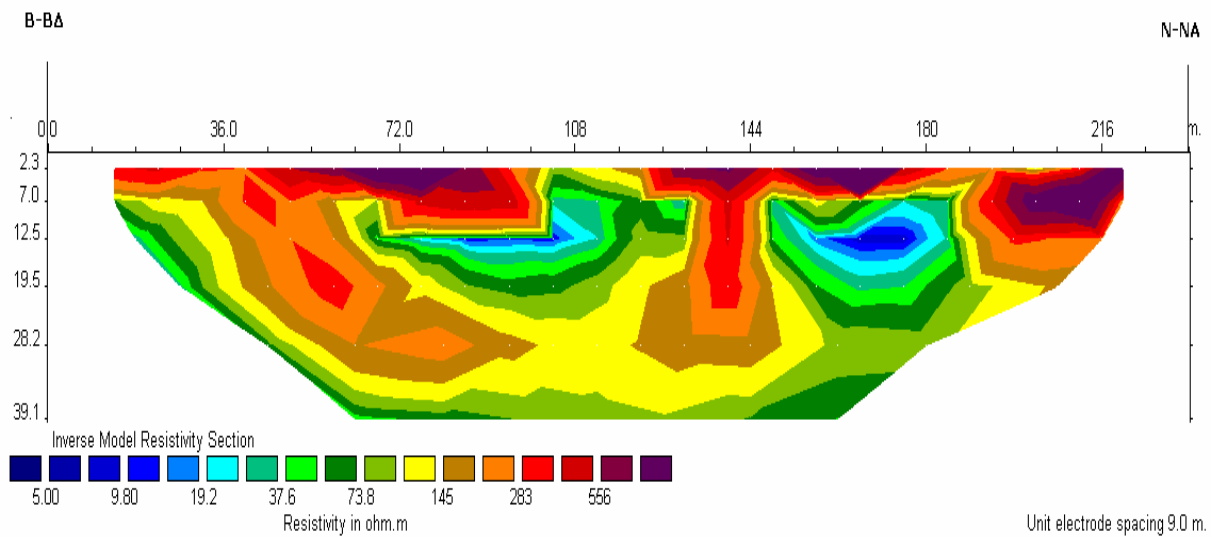
- ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ
- WENNER-SCHLUMBERGER

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 5.5.1

➤ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ



ΕΙΚΟΝΑ 5.5.2

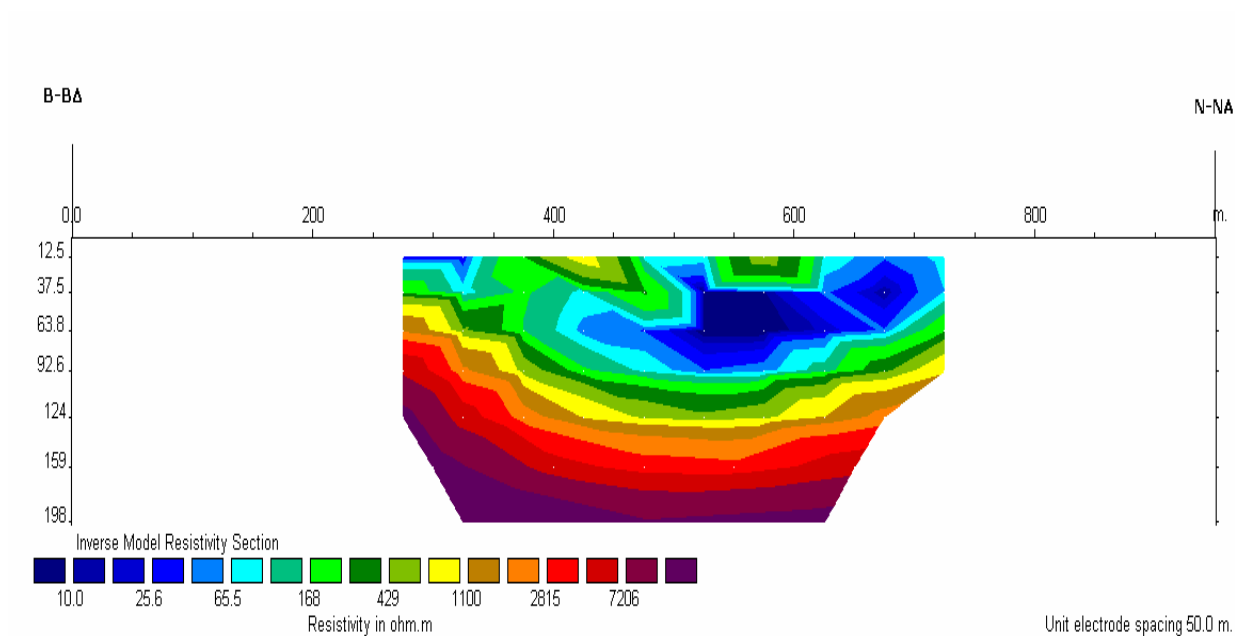
➤ ΔΙΑΤΑΞΗ WENNER-SCHLUMBERGER

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η τομογραφία αυτή έχει μήκος αναπτύγματος 725m και η αρχή της γραμμής μελέτης έχει συντεταγμένες 511822 E , 3931184 N ενώ το τέλος της γραμμής μελέτης 511472 E , 3932058 N.

Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη :

➤ WENNER-SCHLUMBERGER



ΕΙΚΟΝΑ 5.5.3

➤ **ΔΙΑΤΑΞΗ WENNER-SCHLUMBERGER**

Να σημειωθεί ότι έχει γίνει αλλαγή κλίμακας του βάθους διασκόπησης στην εικόνα 5.5.3 .

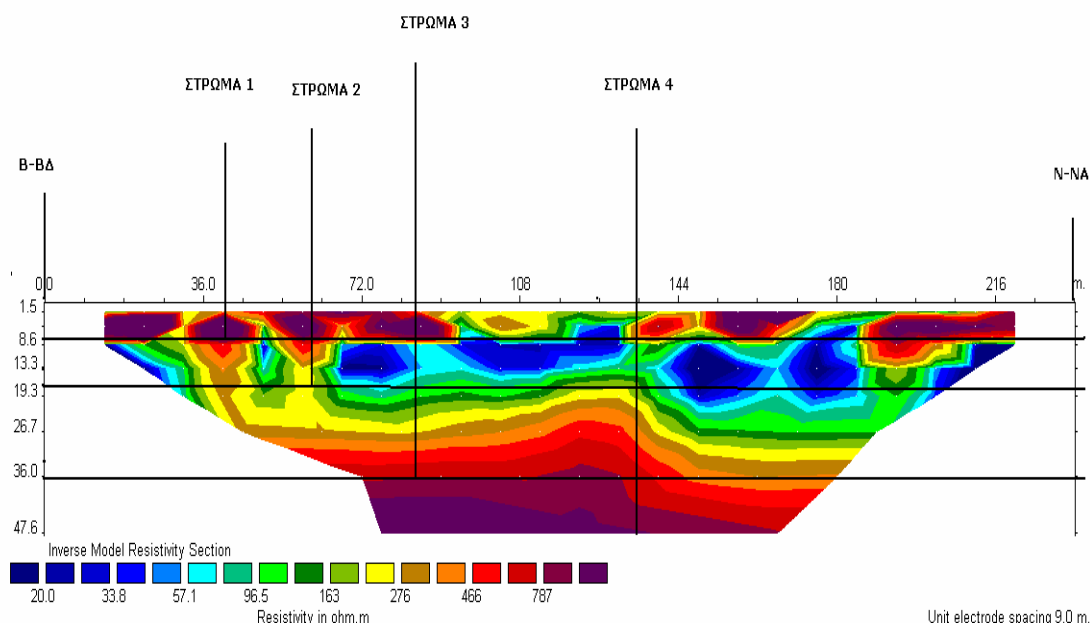
5.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η πρώτη διπλή τομογραφία είχε βάθος διεύθυνσης περίπου 40-45 m και γίνεται η διαπίστωση ότι η διάταξη διπόλου-διπόλου (εικόνα 5.5.1) έδωσε καλύτερη στρωματογραφική απεικόνιση έναντι της διάταξης WENNER-SCHLUMBERGER (εικόνα 5.5.2).

Κατά την εστίαση στην τομογραφία με την διάταξη διπόλου-διπόλου φαίνεται ότι ταυτίζεται με τις βυθοσκοπήσεις 1(ΕΙΚ. 5.4.1) και 2(ΕΙΚ. 5.4.2) για τα πρώτα 40-45 m.

ΣΤΡΩΜΑ 1,2,3 -> ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΚΑΡΣΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΜΕ ΕΓΚΟΙΛΑ ΕΙΤΕ ΚΕΝΑ, ΕΙΤΕ ΠΛΗΡΩΜΕΝΑ ΜΕ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΡΥΘΡΟΓΗΣ (TERRA-ROSSA).

ΣΤΡΩΜΑ 4 -> ΠΑΡΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΣΥΜΠΑΓΗΣ (ΖΩΝΗ ΤΡΙΠΟΛΗΣ).

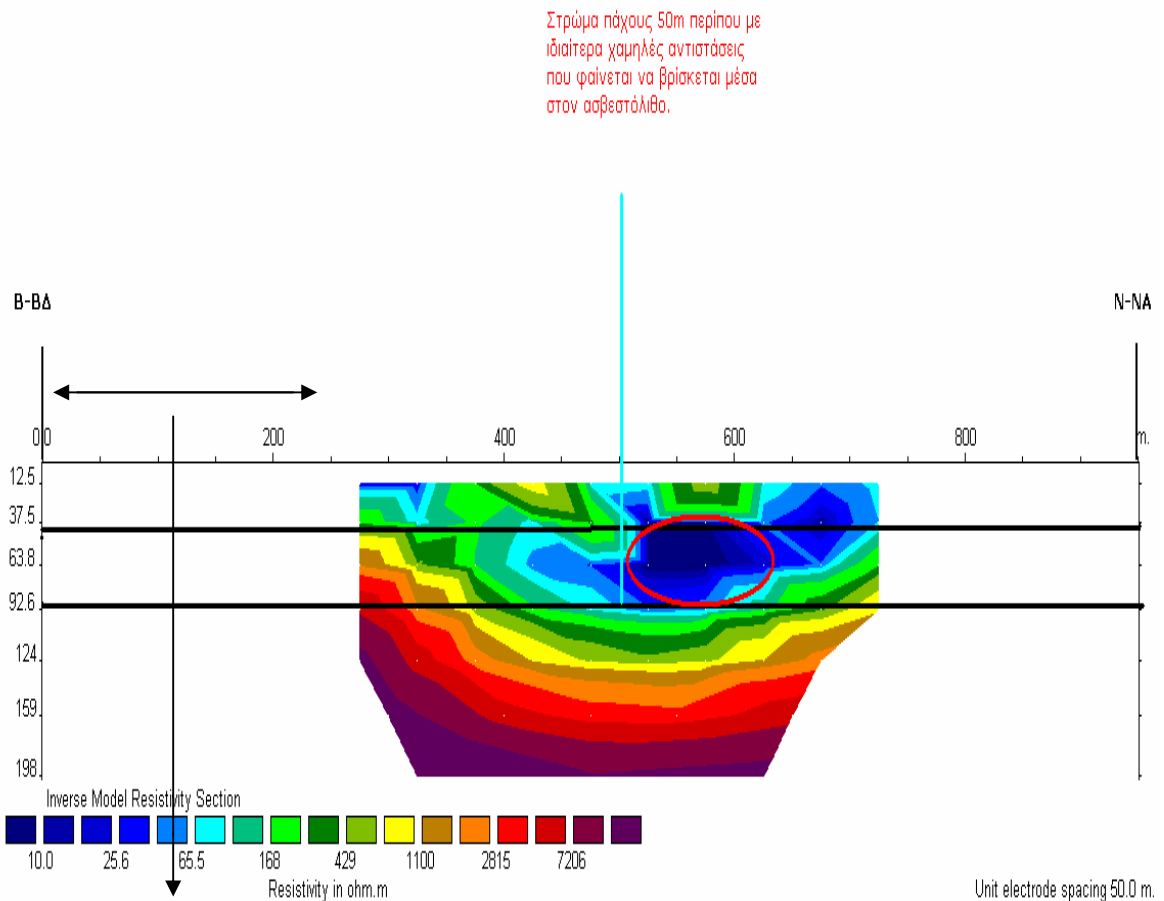


ΕΙΚΟΝΑ 5.6.1 **Αυτόματη τομογραφία – διάταξη διπόλου-διπόλου .**

Προκύπτουν αρχικά τρία στρώματα που αντιστοιχούν σε καρστικοποιημένο ασβεστόλιθο (ζώνη κάρστ) με κενά έγκοιλα και έγκοιλα πληρωμένα με αποθέσεις terra-rossa ενώ στο τέταρτο στρώμα διακρίνεται η ζώνη της τρίπολης όπου ο ασβεστόλιθος είναι συμπαγής έως τα 45m βάθος περίπου.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

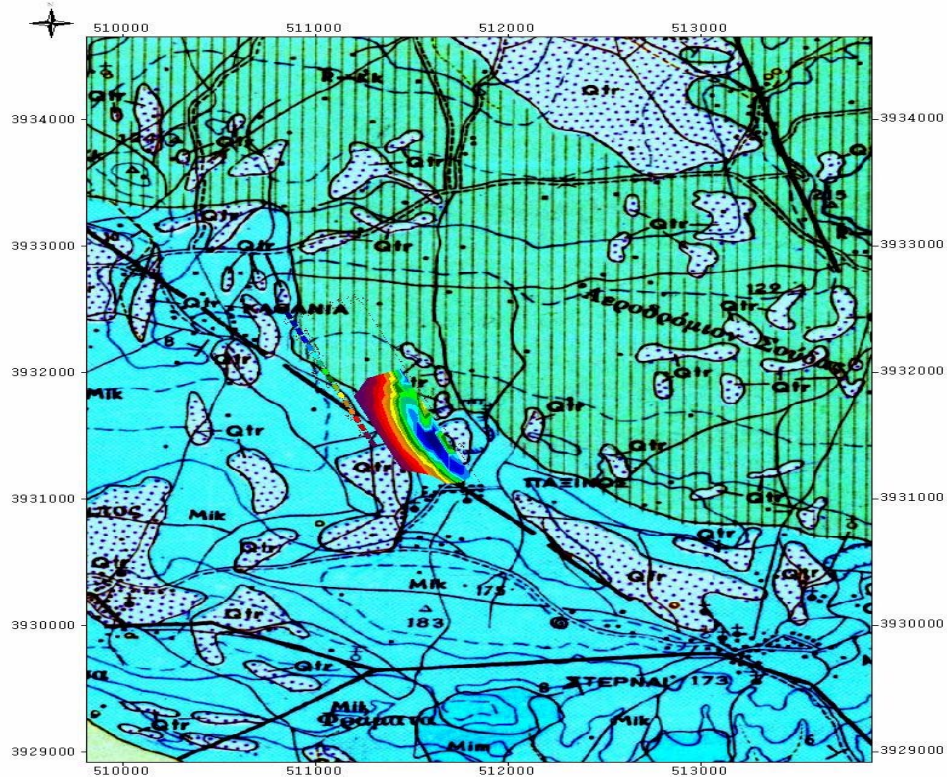
Η δεύτερη τομογραφία (εικ. 5.6.2) εκτείνεται σε βαθύτερα στρώματα (φθάνει έως 200m βάθος διείσδυσης) και φαίνεται πως επιβεβαιώνει την βυθοσκόπηση 2 (εικ. 5.4.2) ως προς την παρουσία ιδιαίτερα χαμηλών αντιστάσεων (<math><10\Omega m</math>) που είναι πιθανό να σχετίζονται με γεωθερμικό πεδίο.



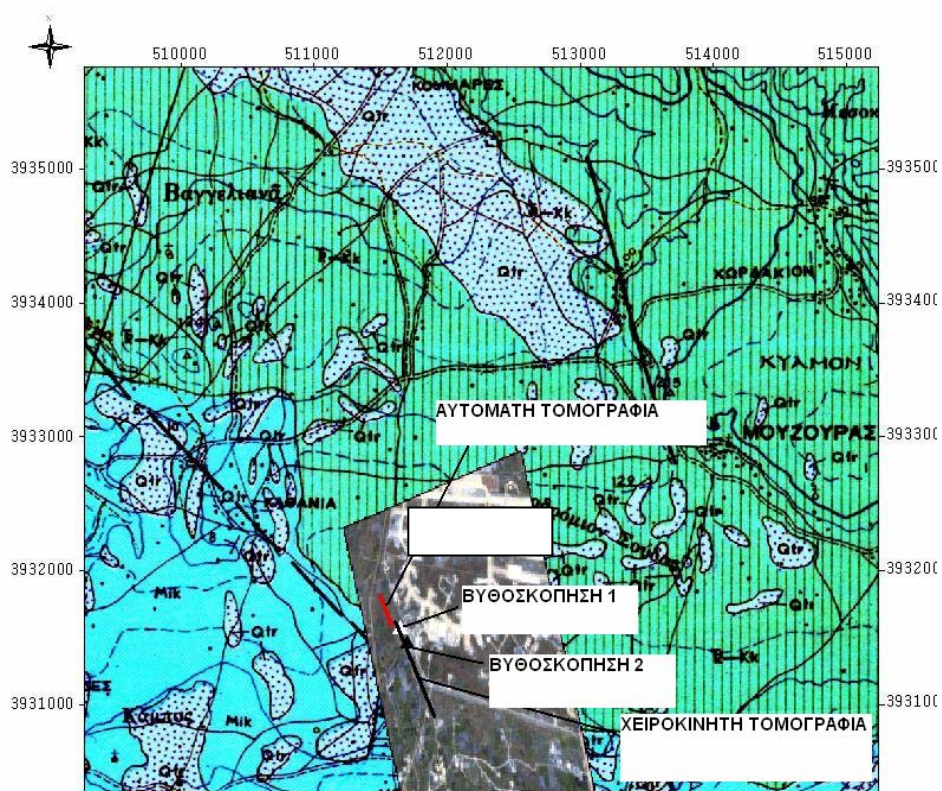
- ΘΕΣΗ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ -

ΕΙΚΟΝΑ 5.6.2 Χειροκίνητη τομογραφία-διάταξη WENNER-SCHLUMBERGER (Έχει γίνει αλλαγή της κλίμακας του βάθους διασκόπησης)

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 5.6.3 Υπέρθεση χειροκίνητης τομογραφίας στο γεωλογικό χάρτη (χρήση προγράμματος ArcView GIS 3.2)



ΕΙΚΟΝΑ 5.6.4 Θέσεις ηλεκτρικών τομογραφιών και βυθοσκοπήσεων

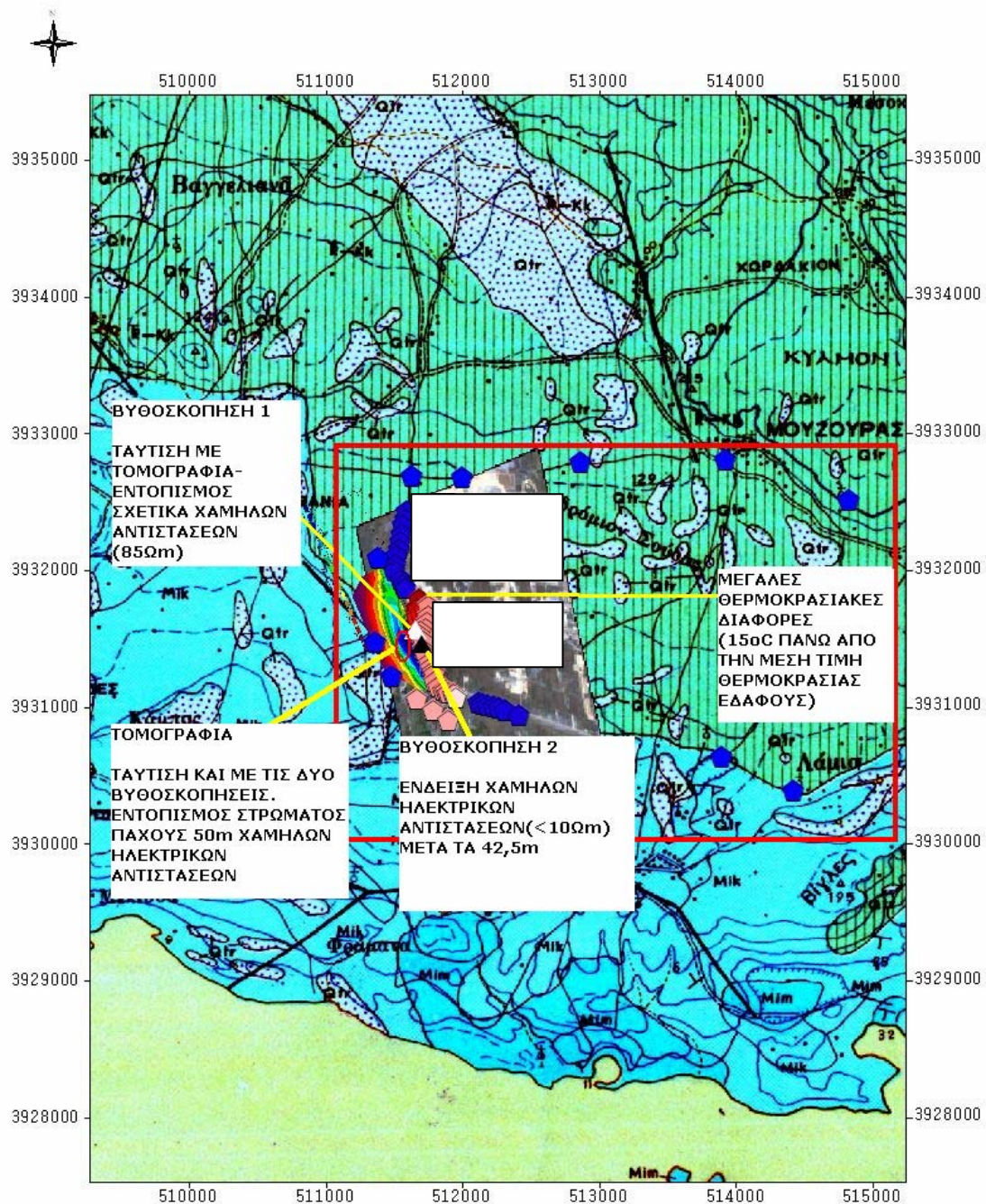
ΣΤΑΔΙΟ 5

5.7 ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ

Από τα στάδια έρευνας που προηγήθηκαν φαίνεται να υπάρχει μια ταύτιση της βυθοσκόπησης 2 (εικ. 5.4.2) με την τομογραφία της εικόνας 5.6.2, σε ότι αφορά την ένδειξη της βυθοσκόπησης για στρώμα χαμηλών αντιστάσεων σε βάθος μεγαλύτερο από τα 42,5m. Η ένδειξη αυτή επιβεβαιώνεται από την τομογραφία, στην οποία απεικονίζεται το στρώμα αυτό πάχους περίπου 50m (εκτείνεται έως τα 90-95m) το οποίο φαίνεται να "παγιδεύεται" μέσα στον ασβεστόλιθο που μοιάζει να περιβάλλει το τμήμα αυτό των χαμηλών αντιστάσεων, δημιουργώντας κατά μια έννοια ένα σύστημα παγίδευσης/εγκλωβισμού (ταμιευτήρα).

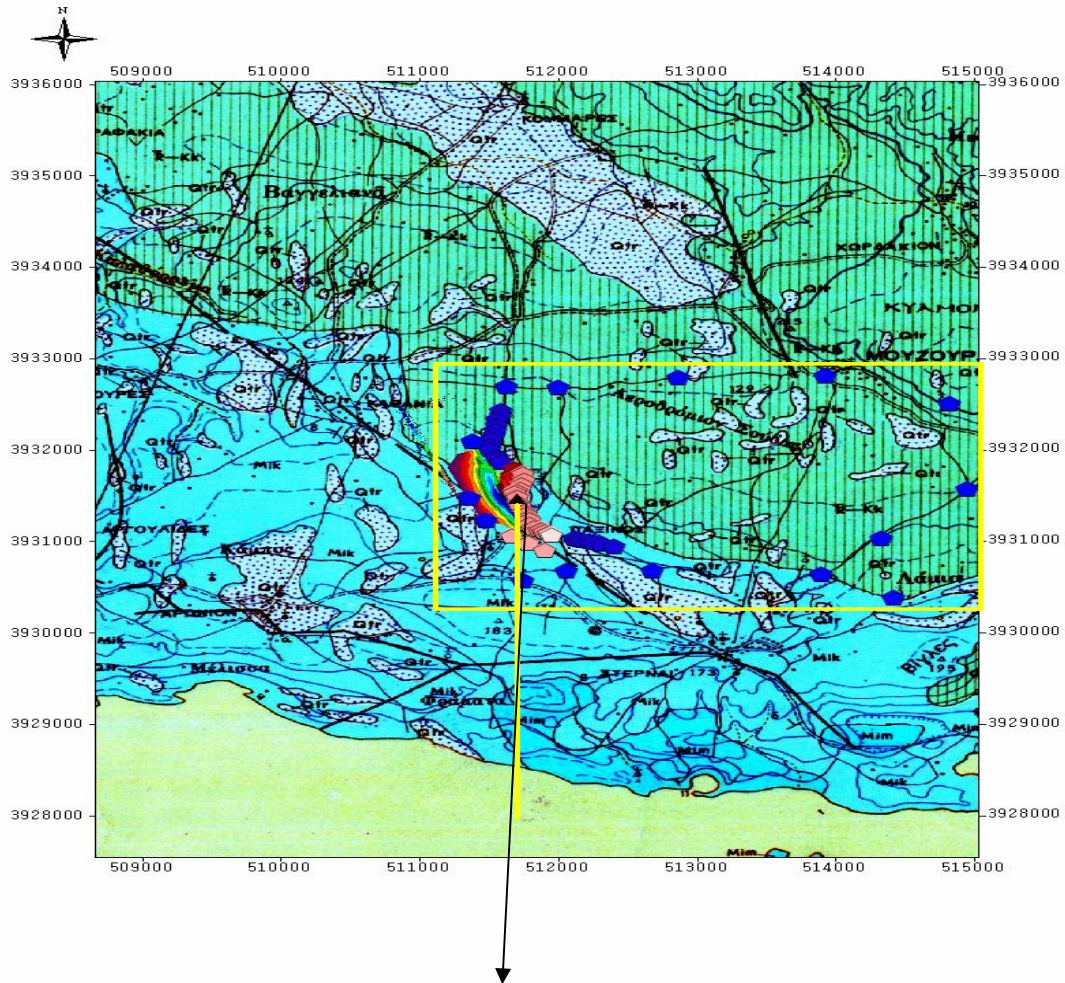
Ταύτιση με την τομογραφία παρουσιάζει και η βυθοσκόπηση 1 (εικ. 5.4.1) σε ότι αφορά την διακύμανση των ηλεκτρικών αντιστάσεων στην κατεύθυνση που εξασθενεί το φαινόμενο και παρόλο που οριακά δεν εντοπίζει το κύριο τμήμα των χαμηλών αντιστάσεων ($<10\Omega\text{m}$), εντούτοις η παραπάνω παρατήρηση που επιβεβαιώνεται από την τομογραφία είναι ιδιαίτερα κρίσιμη στην διεξαγωγή συμπερασμάτων για τη ύπαρξη και την κατεύθυνση του φαινομένου.

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

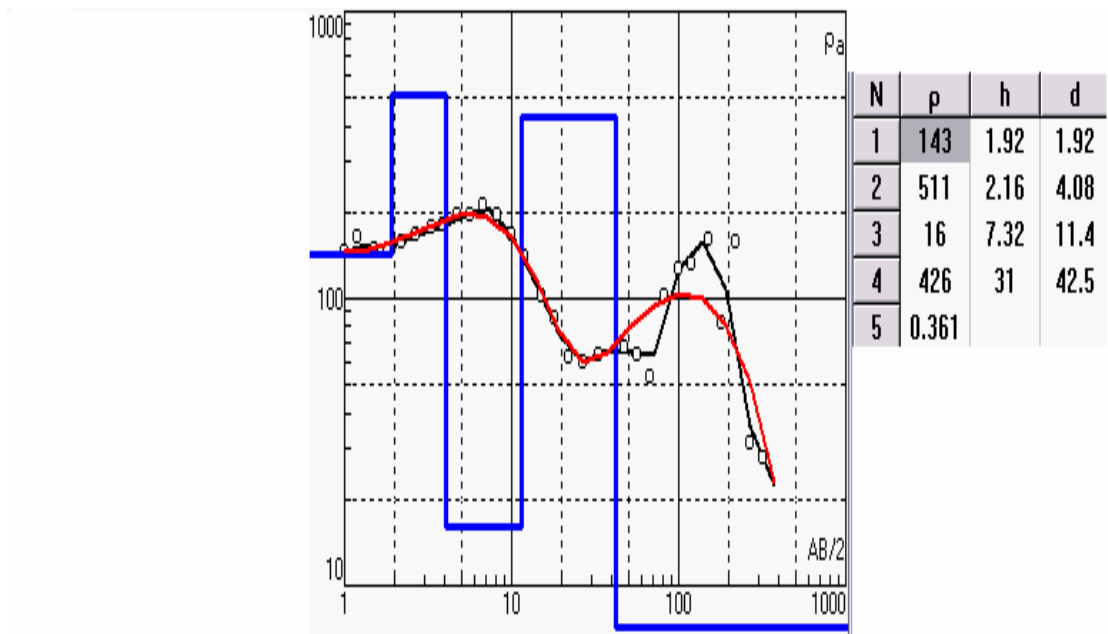


ΕΙΚΟΝΑ 5.7.1 Συνδιασμός τομογραφίας και βυθοσκοπήσεων με μετρήσεις θερμοκρασίας εδάφους στο σύνολο τους, στην υπό μελέτη περιοχή εντός του πλαισίου.

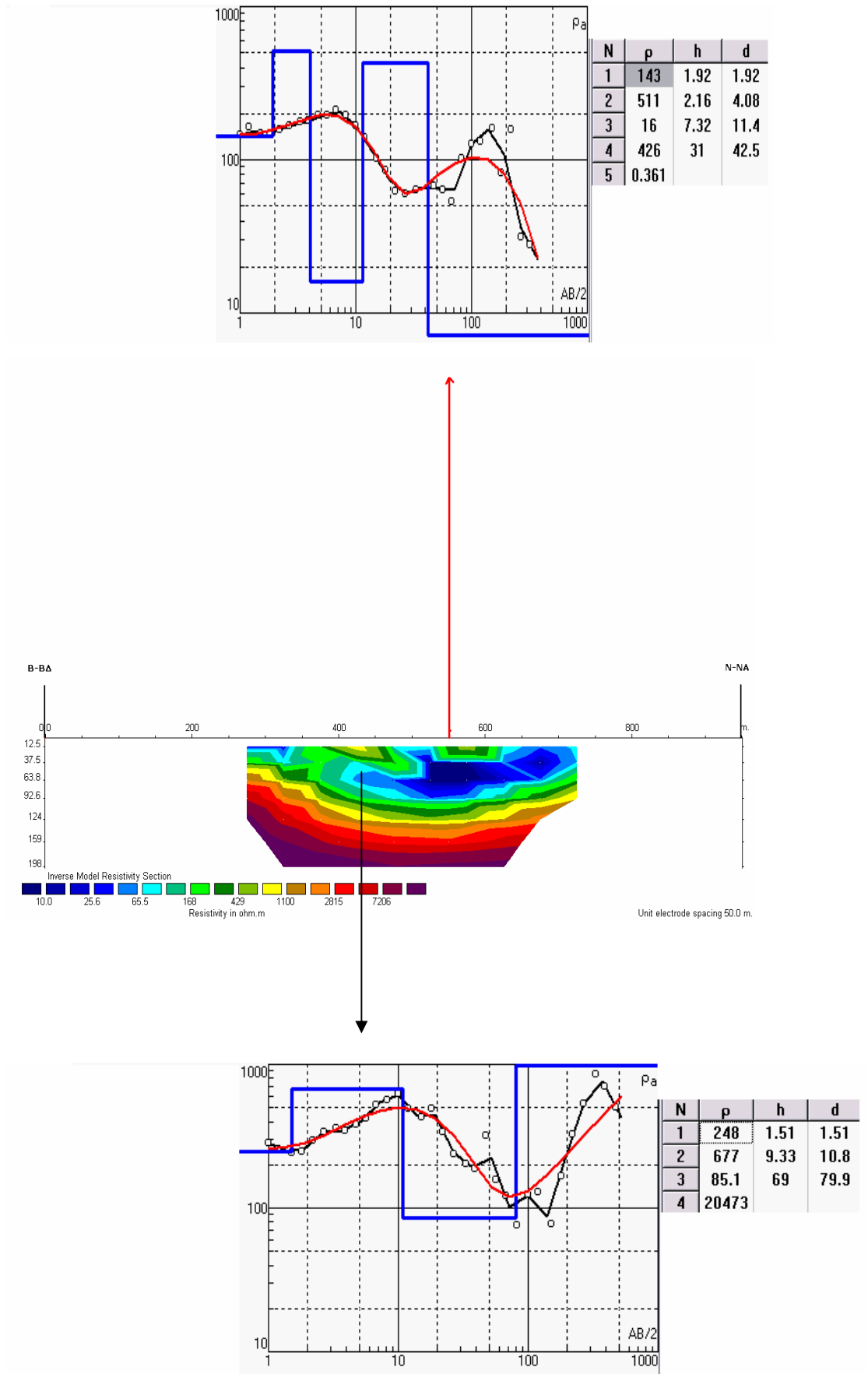
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 5.7.2 Θέση της βυθοσκόπησης 2 (μαύρο τρίγωνο) στην συνδιασμένη εικόνα και παρακάτω η ανάλυση αυτής.



ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

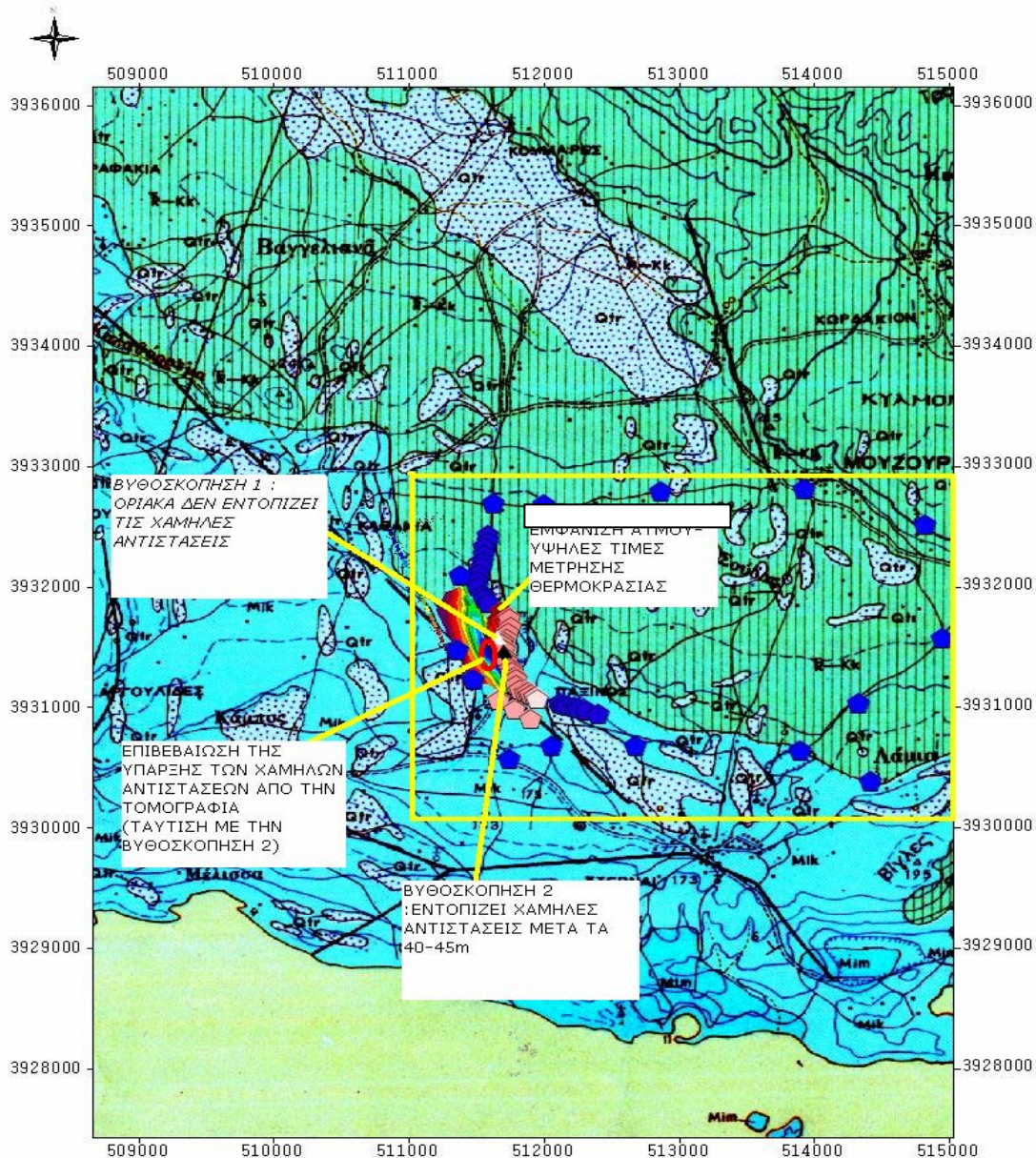


ΣΧΗΜΑ 5.7.3 Συσχέτιση τομογραφίας με τις βυθοσκοπήσεις 1 (πάνω) και 2 (κάτω)

Από το σχήμα 5.7.3 παρατηρείται ότι επιβεβαιώνεται η ύπαρξη χαμηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων που έδειξε η βυθοσκόπηση 2, από την τομογραφία σε βάθος μεγαλύτερο από τα 42,5 m. Λόγω της ύπαρξης του εν λόγω στρώματος η βυθοσκόπηση 2 δεν εντοπίζει το τελευταίο στρώμα που φαίνεται πως είναι η ζώνη της τρίπολης (ασβεστόλιθοι τρίπολης). Η ζώνη της τρίπολης φαίνεται από την βυθοσκόπηση 1 η οποία λόγω θέσης δεν εντοπίζει τις πολύ χαμηλές ηλεκτρικές αντιστάσεις ($<10\Omega\text{m}$) εντούτοις όμως παρουσιάζει ένα στρώμα σχετικά χαμηλών αντιστάσεων (περίπου $85\Omega\text{m}$) το οποίο επιβεβαιώνεται από την τομογραφία του σχήματος 5.7.3 και δείχνει την οριακή θέση της βυθοσκόπησης 1 ως προς το πιθανό γεωθερμικό πεδίο παρουσιάζοντας την μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης στην κατεύθυνση όπου φαίνεται να εξασθενούν οι ενδείξεις των χαμηλών αντιστάσεων.

5.8 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρακάτω εικόνα 5.8.1 φαίνονται συγκεντρωτικά όλες οι μετρήσεις που πάρθηκαν κατά τα στάδια έρευνας και γίνεται ένας συνδιασμός αυτών με υπερθέσεις στον ίδιο χάρτη με την βοήθεια του προγράμματος ArcView GIS 3.2 (σε γεωλογικό χάρτη της περιοχής) .



ΕΙΚΟΝΑ 5.8.1 Υπέρθεση των μετρήσεων όλων των σταδίων έρευνας στο γεωλογικό χάρτη

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

Φαίνεται πως λόγω θέσης η βυθοσκόπηση 1 παρουσιάζει ένα στρώμα σχετικά χαμηλών αντιστάσεων (85Ωm) που πιθανόν να σχετίζεται με το αντίστοιχο της βυθοσκόπησης 2. Η βυθοσκόπηση 2, η οποία όπως φαίνεται στην εικόνα 5.8.1 τυχαίνει να βρίσκεται ακριβώς πάνω από το στρώμα εκείνο των χαμηλών αντιστάσεων, δίνοντας τις ενδείξεις εκείνες που θα επιβεβαιωθούν από την τομογραφία που ακολούθησε. Βορειότερα των βυθοσκοπήσεων 1 και 2 φαίνονται στην παραπάνω εικόνα οι θέσεις που μετρήθηκαν αυξημένες θερμοκρασίες και παρατηρήθηκε θερμός αέρας, κυρίως τους χειμερινούς μήνες (μετρήθηκαν θερμοκρασίες έως και 27°C) .

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ – ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η παρουσία του στρώματος των χαμηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων, όπως εντοπίστηκε σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα μπορεί να οφείλεται σε :

➤ **Υπαρξη υφάλμυρων**

Από γεώτρηση μέσα στο αεροδρόμιο Σούδας διαπιστώθηκε παρουσία νερού σε βάθος 150-155m όσο περίπου είναι και το υψόμετρο της περιοχής . Άρα θεωρείται δύσκολο το στρώμα των χαμηλών αντιστάσεων (45 - 95m) να σχετίζεται με την ύπαρξη υφάλμυρων σε μεγαλύτερα βάθη.

➤ **Μάργες**

Με βάση τον γεωλογικό χάρτη, φαίνεται ότι στην ευρύτερη περιοχή της έρευνας και των μετρήσεων δεν υπάρχουν μάργες (20-60Ωm από πίνακα 4.3.2.3) , παρά μονάχα ασβεστόλιθοι της ζώνης της τρίπολης , μαργαικοί ασβεστόλιθοι και προσχωματικές αποθέσεις ερυθρογής (terra-rossa).

➤ **Προσχωματικές αποθέσεις ερυθρογής (terra-rossa)**

Τόσο το πάχος (50m) όσο και το βάθος εντοπισμού του στρώματος των χαμηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων μάλλον απομακρύνουν το σενάριο αυτό.

➤ **Γεωθερμικό φαινόμενο**

Είναι ίσως το πιθανότερο σενάριο για την ερμηνεία της ζώνης των χαμηλών αντιστάσεων (γεωθερμικό πεδίο).

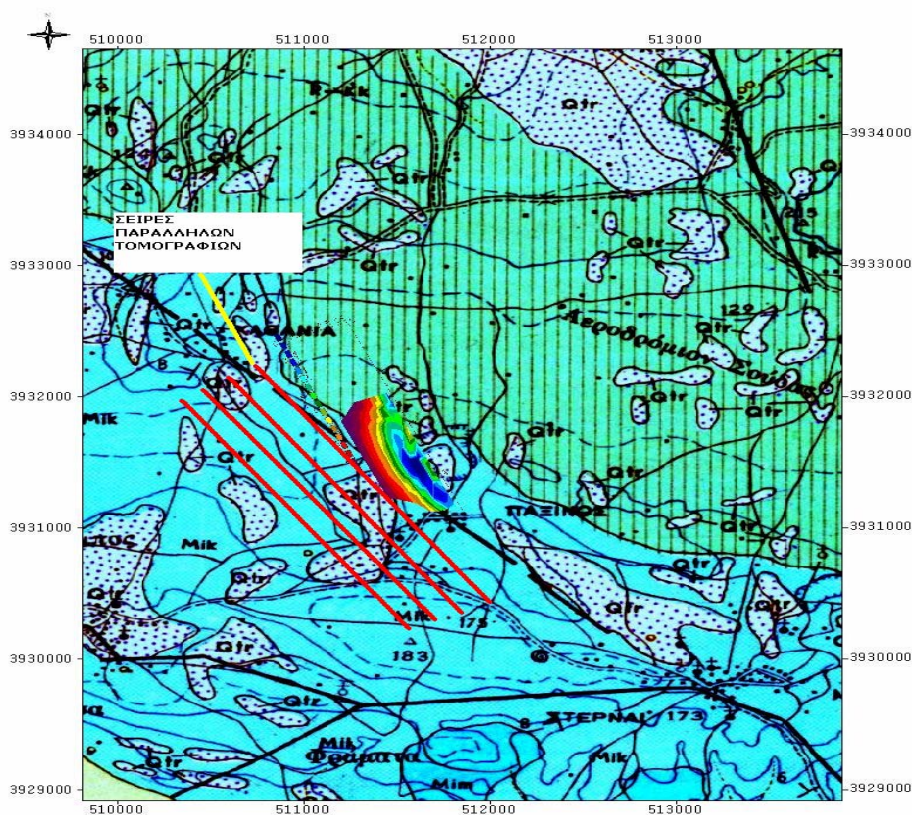
Τα γεωθερμικά ρευστά παρουσιάζουν υψηλή αγωγιμότητα, συνεπώς χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ενώ η προέλευσή τους είναι κυρίως μετεωρική.

Στην προκειμένη περίπτωση τα γεωθερμικά ρευστά φαίνεται να παγιδεύονται εντός των καρστικών εγκοίλων των ασβεστολίθων τα οποία αποτελούν ταμιευτήρα (εικ. 5.5.3) και θερμαίνονται από βαθύτερα στρώματα. Το σενάριο αυτό ενισχύει και η ύπαρξη ρηγμάτων στη περιοχή (βάσει του γεωλογικού χάρτη), τα οποία είναι πιθανό να αποτελούν μέσο τροφοδοσίας του ταμιευτήρα με βρόχινο νερό, αλλά και μέσο εκτόνωσης και διαφυγής θερμού αέρα από τον ταμιευτήρα προς την επιφάνεια, κάτι το οποίο έχει παρατηρηθεί και μέσα στο αεροδρόμιο και ήταν το έναυσμα για τη παρούσα έρευνα. Προυπόθεση για να συμβεί αυτό, είναι το σύμπλεγμα των ρηγμάτων να οδηγεί τα ρευστά αυτά σε βάθος περίπου 1-1,5 Km, λόγω γεωθερμικής βαθμίδας, χωρίς να έρθουν σε επαφή με θαλασσινό νερό και έπειτα κατά την άνοδό τους να παγιδεύονται εντός των καρστικών εγκοίλων.

6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση όλα τα παραπάνω στοιχεία και δεδομένα προτείνονται τα εξής :

- Πραγματοποίηση παράλληλων τομογραφιών (και έξω από τα όρια του στρατιωτικού αεροδρομίου) ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο συνεχίζεται η εμφάνιση των χαμηλών αυτών αντιστάσεων, προς ποια κατεύθυνση διατηρούνται κι αν σχετίζονται με πιθανό ρήγμα (γεωλογικός χάρτης) (εικ. 6.2.1).
- Δημιουργία χάρτη μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για οριοθέτηση του πιθανού γεωθερμικού πεδίου και επιλογή της βέλτιστης θέσης γεώτρησης.
- Επιβεβαίωση της γεωφυσικής διασκόπησης, με έρευνα που να περιλαμβάνει και ερευνητικές γεωτρήσεις .
- Διερεύνηση των ρηγμάτων της περιοχής μελέτης .



ΕΙΚΟΝΑ 6.2.1 Προτείνεται η πραγματοποίηση παράλληλων τομογραφιών, για την κατασκευή χάρτη μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης .

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Η γεωθερμία είναι σαν τον Ιανό*. Έχει συχνά δύο πρόσωπα, τόσο στο ενεργειακό, όσο και στο αναπτυξιακό της κομμάτι. Σε ότι αφορά στην ενεργειακή διάσταση, η γεωθερμία, ανάλογα με τη θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών και την τεχνολογία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την παραγωγή ηλεκτρισμού, όσο και για τη θέρμανση και κλιματισμό χώρων. Σε ότι αφορά στην ανάπτυξη των σχετικών αγορών, οι ρυθμοί ανάπτυξης στην ΕΕ δείχνουν πως θα ξεπεραστούν οι στόχοι που είχαν τεθεί στη Λευκή Βίβλο για τις ΑΠΕ για το 2010. Και να σκεφτεί κανείς πως η ΕΕ έρχεται μόλις τρίτη στην κούρσα μετά τις ΗΠΑ και τις ασιατικές χώρες. Η άλλη πλευρά του νομίσματος βέβαια είναι πως σ' αυτή την κούρσα δεν συμμετέχει δυστυχώς η Ελλάδα, τουλάχιστον ως προς το κομμάτι εκείνο που αφορά την γεωθερμική παραγωγή ηλεκτρισμού. Ένα άκαμπτο θεσμικό πλαίσιο, δεν επέτρεψε μέχρι τώρα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με εκμετάλλευση των πλούσιων γεωθερμικών πεδίων που διαθέτει η χώρα μας.

**Ο Ιανός είναι ένας από τους παλαιότερους θεούς των Ρωμαίων. Υπάρχουν διάφοροι μύθοι για την προέλευσή του και μερικοί που τον αναφέρουν ως θνητό βασιλιά του Latium, που κυβερνούσε μια πόλη σε έναν λόφο και είχε ως γιο τον Τίβερη. Ο Ιανός απεικονιζόταν συχνά με δύο πρόσωπα και αποκαλείτο Janus bifrons, δηλαδή διπρόσωπος Ιανός και του ήταν αφιερωμένοι αρκετοί ναοί στη Ρώμη. Ο διασημότερος όλων ήταν εκείνος που βρισκόταν Forum Romanum και οι πύλες του ήταν ανοικτές σε περίοδο πολέμου και κλειστές σε περίοδο ειρήνης. Στις πιο πρώιμες περιόδους ο Ιανός απεικονιζόταν με το ένα πρόσωπο γενειοφόρο και το άλλο ξυρισμένο, γεγονός που ώθησε ορισμένους ερευνητές να το αποδώσουν σε ζεύγη αντιθέτων, όπως είναι ο ήλιος και η σελήνη ή το γήρας και η νιότη.*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι Ι

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΘΕΣΕΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (ΣΕ ΕΓΣΑ 87)

ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ (19-22°C)ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

X	Y
511662.88	3931058.25
511783.56	3930979.54
511899.00	3930906.08

**ΧΑΜΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ (15-17.5°C)ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ
ΣΗΜΕΙΩΝ**

X	Y
514826.92	3932511.72
513924.41	3932810.81
512864.48	3932795.06
511384.78	3932091.94
511363.79	3931472.78
511479.23	3931226.16
514422.89	3930386.61
514947.61	3931572.47
511626.15	3932690.12
511998.70	3932679.63
513898.17	3930638.48
514328.44	3931037.26
512680.83	3930680.46
511746.83	3930575.51
512056.42	3930675.21

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ
ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ

ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ (22-28°C) ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

X	Y
511641.00	3931594.00
511685.00	3931624.00
511668.00	3931597.00
511683.87	3931787.67
511668.13	3931719.40
511668.13	3931682.66
511694.36	3931698.41
511683.87	3931666.92
511668.13	3931656.43
511694.36	3931687.91
511725.85	3931714.15
511746.83	3931740.38
511752.08	3931672.17
511736.34	3931624.95
511731.09	3931577.72
511694.36	3931556.73
511683.87	3931530.50
511694.36	3931499.01
511710.10	3931488.52
511715.35	3931420.31
511731.09	3931383.58
511757.33	3931325.86
511767.82	3931294.37
511783.56	3931262.89
511794.06	3931241.90
511799.31	3931189.43
511825.54	3931152.70
511862.27	3931126.47
511883.26	3931126.47
511899.00	3931110.72
511935.73	3931094.98
511951.47	3931073.99

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΟ
ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΧΑΝΙΩΝ

ΧΑΜΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

X	Y
511589.42	3932427.76
511584.17	3932375.29
511563.18	3932328.07
511557.94	3932270.35
511547.44	3932212.63
511542.19	3932160.16
511521.21	3932112.93
511510.71	3932049.97
511505.46	3932002.74
511547.44	3931939.78
511563.18	3931903.05
511584.17	3931866.32
512119.38	3931037.26
512145.62	3931021.52
512182.35	3931016.27
512224.33	3931005.78
512261.06	3930995.29
512313.53	3930974.30
512407.98	3930942.81

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) **Βαφείδης Α. (2001)**. Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος *Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ*, Χανιά.
- 2) **Βαφείδης Α., Μανούτσογλου Ε., Hamdan Η., Ανδρονικίδης Ν., Κουκαδάκη Μ., Κρητικιάκης Γ.1, Οικονόμου Ν. και Σπανουδάκης Ν. (2004)**. *Γεωφυσική διασκόπηση στο οροπέδιο του Ομαλού, Ν. Χανίων*, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2004, Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004.
- 3) **Γκανιάτσος Ι. (1995)**. *Γεωηλεκτρική τομογραφία με τη διάταξη Wenner*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- 4) **Γκανιάτσος Ι. (2000)**. *Γεωηλεκτρική τομογραφία σε τρεις διαστάσεις*, Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- 5) **Δούτσος Θ. (2000)**. *Γεωλογία: αρχές και εφαρμογές*, Πάτρα
- 6) **Hamdan, Η. (2002)**. *Γεωηλεκτρική διασκόπηση στη λεκάνη του ποταμού Κερίτη του Νομού Χανίων*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- 7) **Ρόκκα, Α.** *Γεωφυσική διασκόπηση της περιοχής Λουτρακίου-Σουσακίου*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη (1985)
- 8) **Φυτίκας Μ. – Ανδρίτσος Ν. (2004)**. *Γεωθερμία*, Θεσσαλονίκη

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Dobrin, M. B. (1976).** *Introduction to geophysical prospecting*, McGraw Hill Book Comp. Inc., New York, USA.
2. **Dobrin, M. B., and Savit, c. H. (1988).** *Introduction to Geophysical Prospecting*, 4th ed., McGraw Hill Book Comp. Inc., Singapore.
3. **Horeftaki G., Hamdan H., Vafidis A., Zervakis G. (2004).** *Integrated Geophysical Survey at Zoforoi Quarry, Iraklion, Crete.*
4. **Parasnis, D. S. (1986).** *Principles of Applied Geophysics*, 4th ed., Chapman and Hall, London.
5. **Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. and Keys, D. A. (1976).** *Applied Geophysics*, Cambridge University Press.

ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. <http://www.geotherm.org>
2. <http://www.eren.doe.gov/>
3. <http://www.iea.org/>