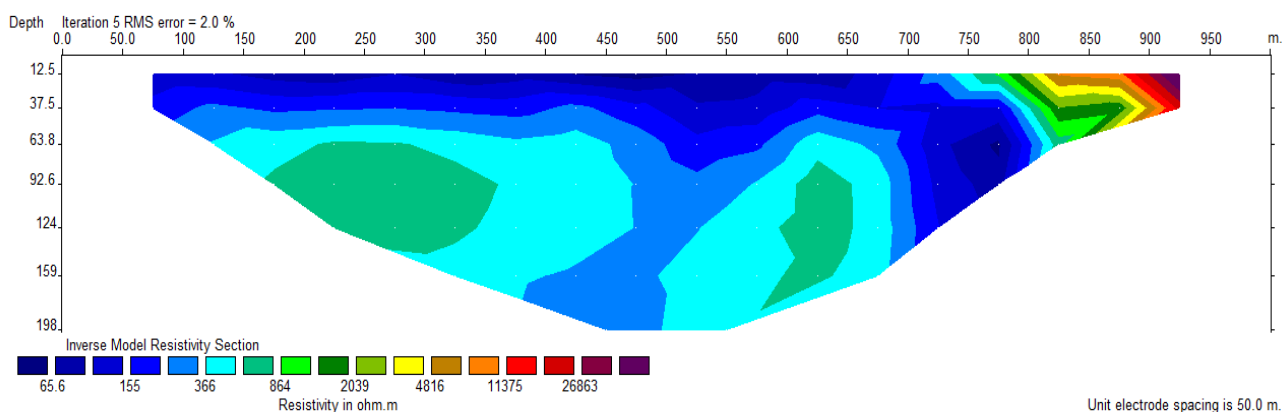


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

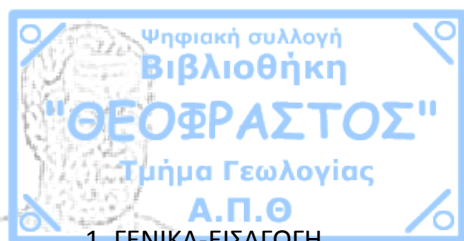
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ Δ.Δ. ΧΑΛΚΕΡΟΥ ΚΑΒΑΛΑΣ ΜΕ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ VLF ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ



ΑΝΑΓΝΩΣΤΑΚΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ (3675)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: Κ. ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Γ. ΒΑΡΓΕΜΕΖΗΣ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΓΕΝΙΚΑ-ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	4
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	6
4. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	8
4.1 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	10
4.1.1. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΕ ΨΕΥΔΟΤΟΜΗ	10
4.1.2. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ	11
4.1.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	12
4.1.4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	12
4.2. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ VLF	17
4.2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF	17
4.2.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF	18
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	21

Στη συγκεκριμένη έκθεση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στην περιοχή Χαλκερό της Καβάλας με σκοπό τη γεωλογική – υδρογεωλογική μελέτη στην περιοχή για την κατασκευή αρδευτικής υδρογεώτρησης.

Η γεωφυσική μελέτη πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της σύμβασης μεταξύ του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. με τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Καβάλας.

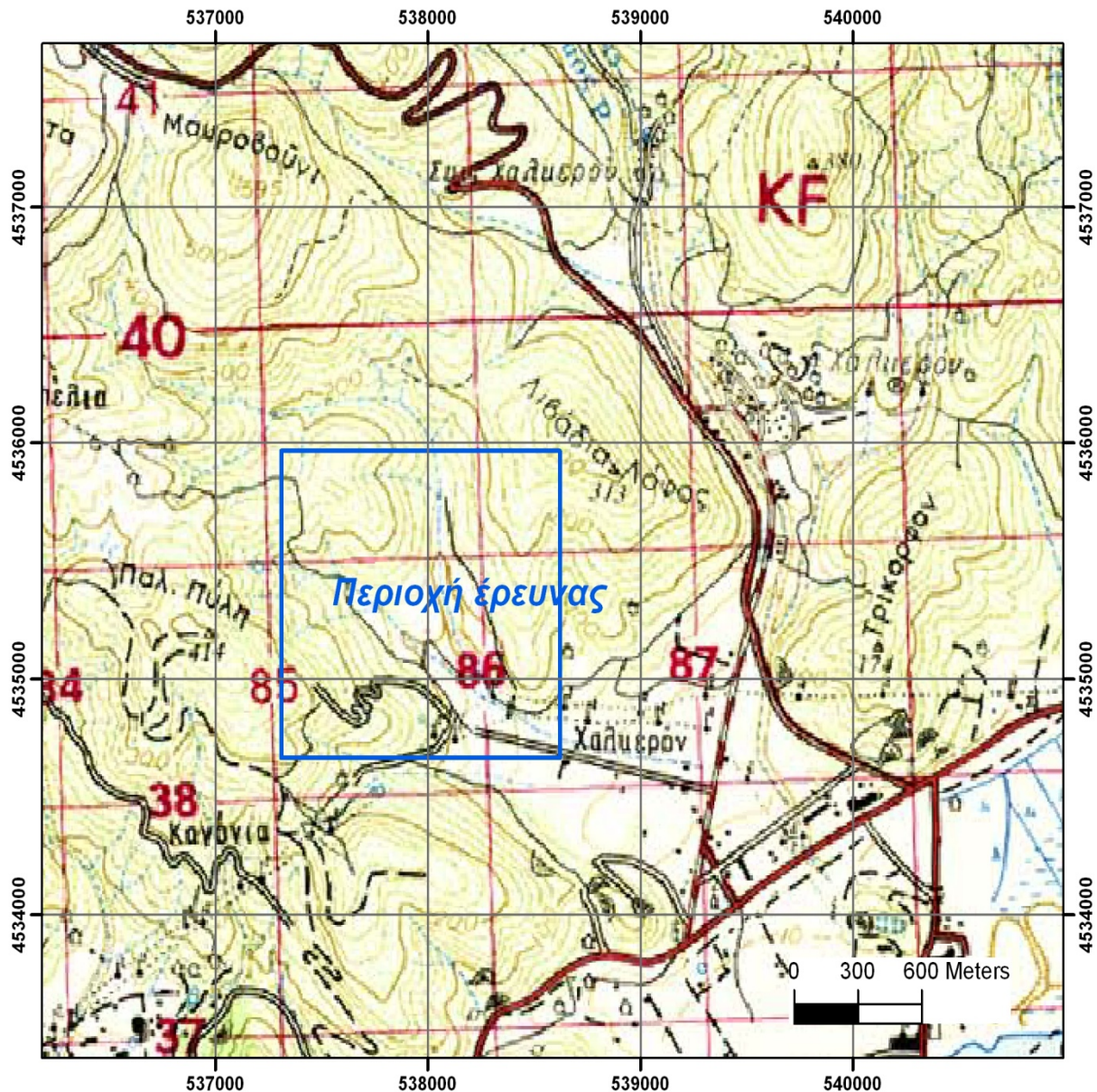
Υπεύθυνοι της επίβλεψης της μελέτης είναι οι Βουδούρης Κωνσταντίνος, Λέκτορας του ΑΠΘ και Βαργεμέζης Γεώργιος, Λέκτορας Φυσικής του ΑΠΘ.

Για τέτοιας φύσης υδρογεωλογική έρευνα συνήθως πραγματοποιούνται γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις σύμφωνα με τη διάταξη ηλεκτροδίων Schlumberger αλλά επειδή δίνει μονοδιάστατες πληροφορίες σε σχέση με τη στρωματογραφία της περιοχής, επιλέχθηκε η μέθοδος της γεωηλεκτρικής τομογραφίας η οποία χρησιμοποιείται και αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια και δίνει τη δυνατότητα λήψης μετρήσεων σε δύο διαστάσεις και κατασκευής δισδιάστατων γεωηλεκτρικών μοντέλων σε μια περιοχή.

Ο σκοπός που επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος είναι για να μελετηθεί πλήρως σε δύο διαστάσεις η επαφή του σχηματισμού μαρμάρων στη λοφοσειρά ΝΔ του Χαλκερού και οι πλευρικές ασυνέχειες των ιζηματογενών αποθέσεων.

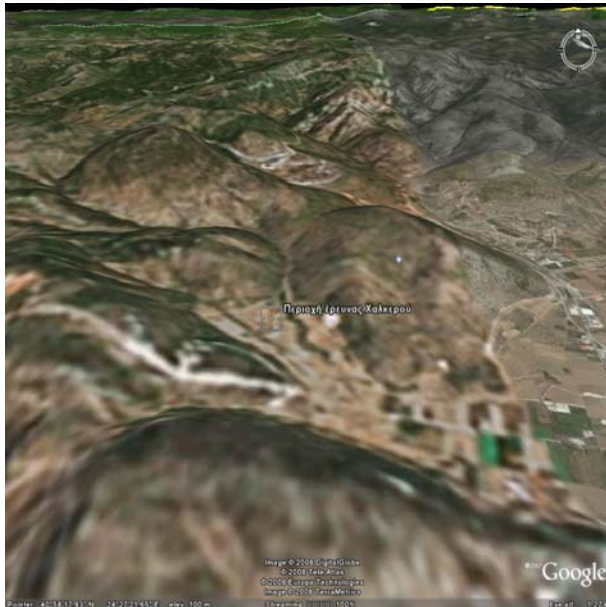
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται ΝΔ του Χαλκερού σε απόσταση περίπου 1300 μέτρων (χάρτης σχ.1).

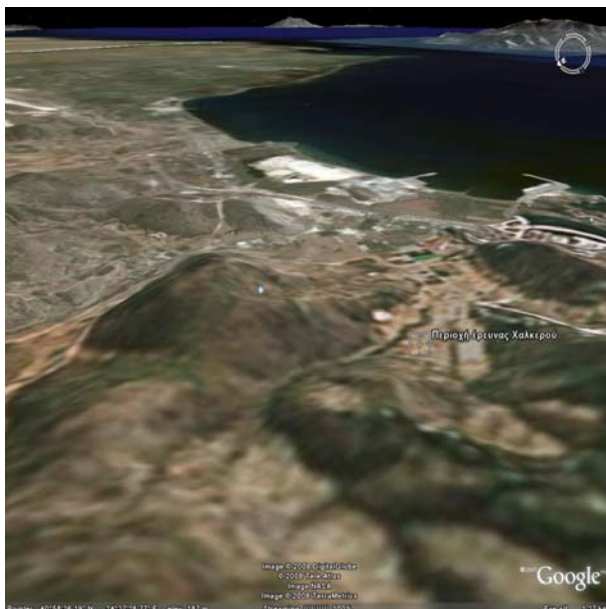


Σχήμα 1. Περιοχή έρευνας(γαλάζιο πλαίσιο)

Η περιοχή είναι μια λεκάνη μικρής σχετικά έκτασης, η οποία οριοθετείται από δύο ρέματα με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ με υψόμετρο 70-250 μέτρα περίπου.



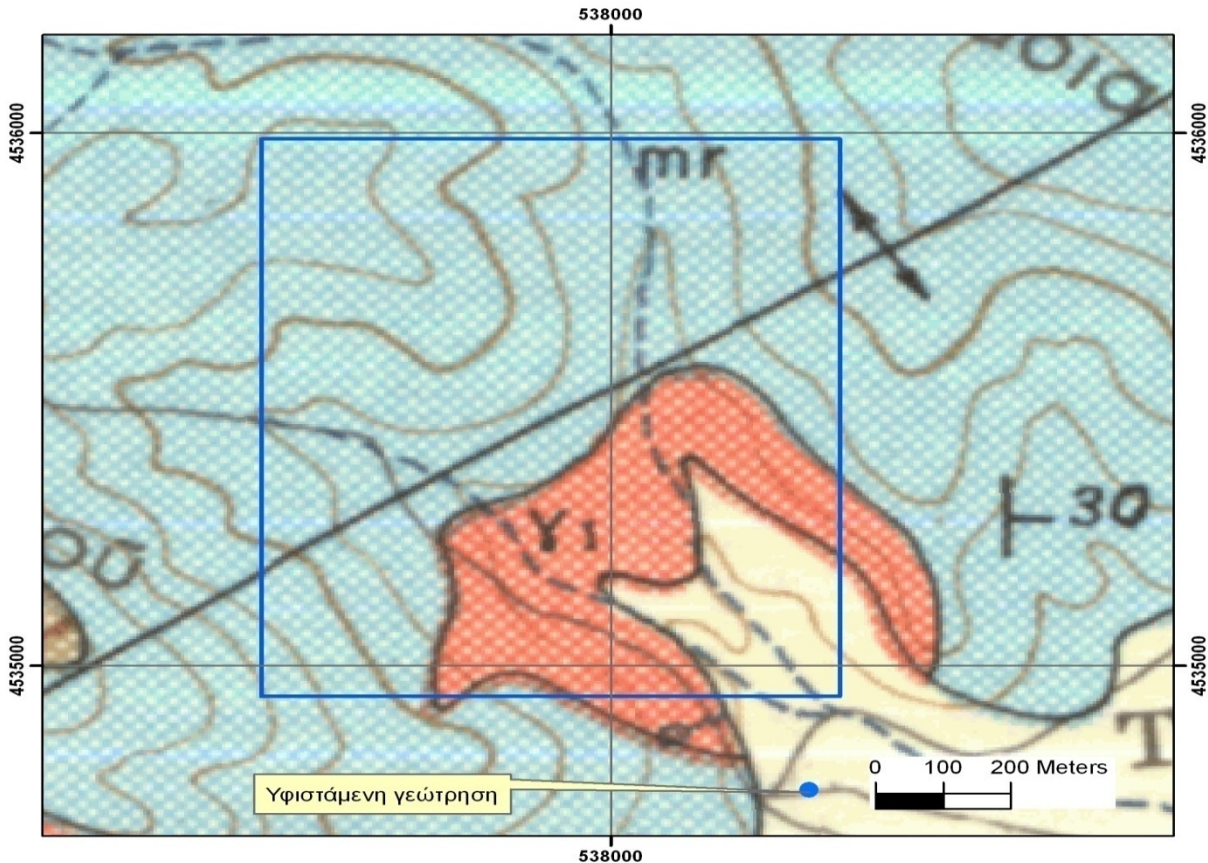
Σχήμα 2. Δορυφορική εικόνα περιοχής έρευνας (από Google Earth). Οπτική γωνία προς Βορρά.



Σχήμα 3. Δορυφορική εικόνα περιοχής έρευνας (από Google Earth). Οπτική γωνία προς ΝΑ.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στην περιοχή συναντώνται κύρια οι σχηματισμοί των μαρμάρων που επικάθονται στο γρανίτη Καβάλας.



Χερσαίται αποθέσεις: όγκόλιθοι, χαλαρά κροκαλοπαγή, κροκάλοι, λεπτοκοκκώδες ύλικόν και έρυθροί πηλοί. Είς τὰ τοπογραφικώς χαμηλότερα μέρη, κατά τόπους σχηματίζονται αναβαθμίδες.

Μάρμαρα: α) έπικρατούν τὰ άνοικτοιέρου και σκοτεινότερου φαιού χρώματος μάρμαρα καλώς ή έν μέρει λεπτοστρωματώδη, είς στρώματα ή φακούς. Κατά θέσεις έναλλάσσονται μετά μαρμαρυγιακών σχιστολίθων ή παρατηρείται πλευρική μετάβασις των μέν πρός τὰ δέ. Τά τεφρά μάρμαρα δεικνύουν, τοπικώς, ποικιλίαν μερών χαλαζίου και μοσχοβίτου, ως επίσης και βιοτίτου και άλβίτου. Τό μέγεθος των κόκκων είναι, γενικώς, μεταξύ 0.3 και 1 χιλιοστού του μέτρου, β) πτωχής στρώσεως ή συμπαγή λευκά μάρμαρα.

Γρανίτης (Συμβόλου ή Γρανίτης Καβάλας): ό γρανίτης Συμβόλου είναι γρανодиόριτης. Έπικρατούντα κύρια όρυκτά, καλιοόχοι άστριοι (μήκους μέχρι 5 έκατοστών του μέτρου), πλαγιόκλαστον, χαλαζίας, βιοτίτης, κεροσίλβη. Τά έξωτερικά μέρη του γρανίτου Συμβόλου δεικνύουν ισχυράν σχιστότητα ή άκόμη μυλονιτοποίησην. Παρατηρείται άσθενής μόνον όρυκτογένεσις επαφής, τοπικώς με γρανάτην, έπίδοτον και διοψείδιον. Πολυάριθμοι άπλιτικοί φλέβαι έχουν εισδύσει είς τούς παραγενυσίους του γρανίτου Συμβόλου. Ό γρανίτης Συμβόλου σχηματίζει τόν πυρήνα άντικλίνου, τό όποιον συνεχίζεται επί 50 περίπου χιλιόμετρα με γενικήν διεύθυνσιν 40-60° Β. Α. Ό άξων του άντικλίνου βυθίζεται έλαφρώς πρός τὰ Β.Α.

Q.al₁

mr

γ₁

Σχήμα 4. Γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας (ΙΓΜΕ, φύλλο Καβάλα)

Συναντώνται επίσης χερσαίες αποθέσεις μικρού πάχους, δεδομένου ότι βρισκόμαστε στις παρυφές της κοιλάδας που οριοθετείται από την εμφάνιση των σχηματισμών του υποβάθρου (μάρμαρα και γρανίτες).

Στην περιοχή συναντάται γεώτρηση, με βάθος περίπου 120 m και μέγιστη παροχή 20 m³/h. Με βάση τη θέση της θεωρείται ότι διάτρησε τον γρανίτη και η υδροφορία της οφείλεται στο δευτερογενές πορώδες του γρανίτη. Πιθανό να συνάντησε και το μάρμαρο στην επαφή του με τον γρανίτη.

Γενικά οι πλουτωνίτες χαρακτηρίζονται από την παρουσία δύο συστημάτων ρωγμών. Το ένα σύστημα αποτελείται από ρωγμές μεγάλης κλίσης (εγκάρσιες Q και επιμήκειες S), οι οποίες είναι συγγενετικές του πλουτωνίτη. Το δεύτερο σύστημα αποτελείται από επιφανειακές ρωγμές, παράλληλες προς την απόθεση του πλουτωνίτη (ρωγμές L). Πέρα από αυτά οι πλουτωνίτες υπόκεινται και σε ρωγμάτωση τεκτονικής προέλευσης. Έτσι ο πλουτωνίτης μετατρέπεται σε τεμάχια, που το ένα επικάθεται πάνω στο άλλο. Η πυκνότητα των ρωγμών μικραίνει με το βάθος. Οι ποσότητες νερού στο δίκτυο των ρωγμών ελαττώνονται καθώς αυξάνεται το βάθος, με αποτέλεσμα οι πλουτωνίτες σε μεγάλα βάθη να είναι στεγανοί.

Το πορώδες του υγιούς πετρώματος είναι μικρότερο του 1-3%. Η πρωτογενής λοιπόν υδροπερατότητα του πετρώματος είναι ασήμαντη. Η ωφέλιμη υδροπερατότητα προέρχεται από τις ρωγμές μόνο και την αποσάθρωση. Το πορώδες του κατακερματισμένου πλουτωνίτη μπορεί επιφανειακά να φθάνει το 50% και ελαττώνεται με το βάθος μέχρι 2-10%.

Η υδροπερατότητα του υγιούς γρανίτη είναι $0,5 \times 10^{-12}$ m/s (Καλλέργης, 2001) και αυξάνεται καθώς ο γρανίτης αποσαθρώνεται, οπότε μπορούν να σημειωθούν τιμές της τάξης 3×10^{-6} - 5×10^{-5} m/s.

Η υδροπερατότητα μικραίνει γρήγορα με το βάθος, παραμένει όμως σημαντική μέχρι τα 45-75 m. Έτσι, το μέγιστο βάθος των υδρογεωτρήσεων σε πλουτωνίτη δεν πρέπει να ξεπερνά τα 120 m. Οι αποδόσεις των υδρογεωτρήσεων κυμαίνονται από 0,001-0,1 μέχρι 0,5-2,4 l/s. Τα ποσοστά αποτυχίας σε γρανιτικές περιοχές κυμαίνονται από 10-15%. Το ποσοστό αυτό μικραίνει, όταν η τοποθέτηση των υδρογεωτρήσεων γίνεται με βάση λεπτομερείς τεκτονικές αναλύσεις.

Το γενικό χαρακτηριστικό είναι, ότι οι υδρογεωτρήσεις μέσα σε μεταμορφωμένα ή πλουτωνία πετρώματα, δίνουν αρχικά ψηλή ή μέτρια παροχή, που ελαττώνεται γρήγορα με το χρόνο. Το γεγονός αυτό, καθώς και οι μεγάλες εποχικές διακυμάνσεις της στάθμης νερού, οφείλονται στη μέτρια μέχρι μεγάλη μεταβιβαστικότητα και την πολύ μικρή αποθηκευτικότητα των υδροφόρων ζωνών.

4. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στη Γεωφυσική έρευνα στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν γεωηλεκτρικές τομογραφίες και παράλληλα εφαρμόσθηκε ηλεκτρομαγνητική μέθοδος VLF. Με την εφαρμογή των ηλεκτρικών αυτών μεθόδων επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Η γενική αρχή των μεθόδων είναι η διαβίβαση τεχνητά παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος διαμέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων. Σε ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων μετράται η πτώση τάσης που προκαλείται. Η ωμική αντίσταση είναι το πηλίκο αυτών των μεγεθών. Σκοπός είναι ο υπολογισμός της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης η οποία υπολογίζεται μέσω της ωμικής αντίστασης. Μέσω της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης υπολογίζεται ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Στη συγκεκριμένη έρευνα αξιοποιείται η τομογραφία που μας επιτρέπει τη μελέτη της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε δύο διαστάσεις (οριζόντια και κατακόρυφη).

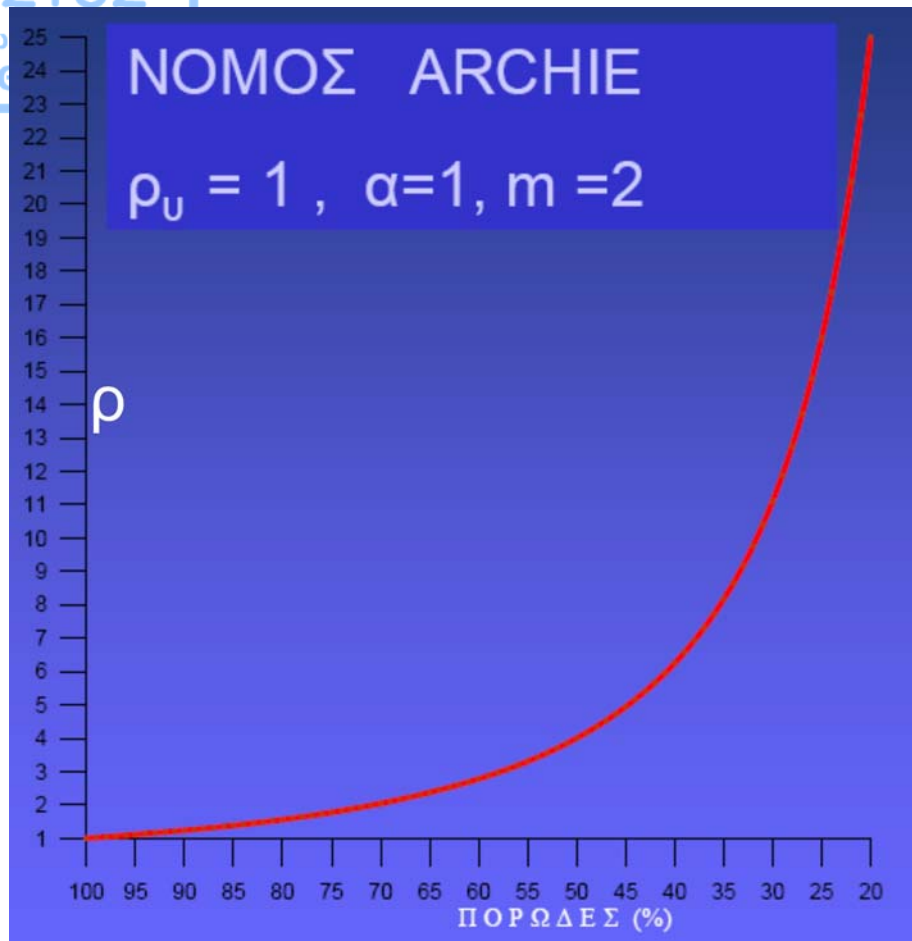
Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ενός πετρώματος εξαρτάται από την σύστασή του και από την περιεκτικότητά σε νερό. Στη δεύτερη περίπτωση, ο νόμος του Archie είναι αυτός που συνδέει την ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ) με το πορώδες (ϕ) και κατ' επέκταση με την πιθανότητα υδροφορίας.

$$\rho = \alpha \rho_v \phi^{-m}$$

όπου ρ_v = η ειδική αντίσταση του νερού των πόρων

ϕ = πορώδες (όγκος πόρων/ολικό όγκο)

α, m = σταθερές (τυπικές τιμές $\alpha=1$ και $m=2$)



Σχήμα 5. Μεταβολή τιμής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το πορώδες.

Από τη σχέση καταλαβαίνουμε ότι η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αυξάνεται εκθετικά με τη μείωση του πορώδους του πετρώματος. Για τη συγκεκριμένη έρευνα το δευτερογενές πορώδες που πιθανά αναπτύσσεται στους σχηματισμούς του γρανίτη και των μαρμάρων είναι αυτό με τη μεγαλύτερη πιθανότητα υδροφορίας.

4.1 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Ο όρος της ηλεκτρικής τομογραφίας (ΗΤ) περιγράφει γενικά ένα τύπο μετρήσεων της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός δύο παραδοσιακών τεχνικών μέτρησης, της όδευσης και της βυθοσκοπήσης. Ειδικότερα, η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να περιγραφεί ως μια σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής έρευνας ή ως μία σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λήψη πληροφορίας τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή μελέτης και έτσι λαμβάνεται μία πληρέστερη εικόνα του υπεδάφους.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της ΗΤ είναι ότι σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Παράλληλα όμως, λόγω του μεγάλου αριθμού τους, οι μετρήσεις είναι δύσκολο να ληφθούν με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων, και γι'αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών. Πολλά τέτοια εμπορικά συστήματα έχουν αναπτυχθεί και κυκλοφορούν στην αγορά, γεγονός ενδεικτικό της ανάπτυξης της ΗΤ. Βέβαια το κόστος αυξάνει με την εφαρμογή της μεθόδου.

Πρόδρομος της ΗΤ είναι η μέθοδος της «ψευδοτομής» που έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην χαρτογράφηση μεταλλευμάτων (Edwards 1977) αλλά και σε διάφορες άλλες εφαρμογές (π.χ. υδρογεωλογικές, Griffiths et al.1990). Στην διαδικασία της «ψευδοτομής» μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων (διπόλου-διπόλου, Wenner, πόλου-διπόλου). Η ΗΤ όμως είναι πιο γενικευμένος όρος που περιλαμβάνει και μετρήσεις με μη συμβατικές διατάξεις καθώς επίσης και μετρήσεις που λαμβάνονται με ηλεκτρόδια σε γεωτρήσεις.

4.1.1. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΕ ΨΕΥΔΟΤΟΜΗ

Η ερμηνεία των μετρήσεων σε πρώτο στάδιο γίνεται με τη μέθοδο της ψευδοτομής. Αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ των δίπολων ρεύματος και δυναμικού, η τιμή της διαφοράς δυναμικού που μετράται επηρεάζεται από βαθύτερα

στρώματα. Έτσι, στην περίπτωση της διάταξης δίπολου-δίπολου κάθε μέτρηση της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδεται, κατά προσέγγιση, στο σημείο τομής των δύο ευθειών που ξεκινάνε με γωνία 45 μοιρών από το μέσο της απόστασης AB από το μέσο της απόστασης MN. Η ερμηνεία όμως με τη μέθοδο της ψευδοτομής είναι ιδιαίτερα δύσκολη και επισφαλής γιατί η εικόνα της κατανομής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μια παραμορφωμένη εικόνα της πραγματικής κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή έρευνας.

4.1.2. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ

Για το λόγο που περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο, νέες τεχνικές ερμηνείας και επεξεργασίας έχουν προταθεί. Οι τεχνικές αυτές επιδιώκουν την επίλυση του αντιστροφικού γεωηλεκτρικού προβλήματος είτε με χρήση προσεγγιστικών μεθόδων, π.χ. μέθοδος Zhody-Barker (Barker 1992), μέθοδος οπισθοπροβολής (Tsourlos et al. 1993), είτε με τη χρήση υπαρχόντων μη γραμμικών τεχνικών αντιστροφής (π.χ. Tripp et al. 1992) που προσαρμόζονται στο πρόβλημα της HT (Shima 1990, Tsourlos et al. 1995).

Η πλέον δημοφιλής τεχνική για την αποκατάσταση της πραγματικής εικόνας της γεωηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους είναι αυτή της αντιστροφής. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο αντίστασης που να δίνει μετρήσεις που είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στις πραγματικές. Προϋπόθεση είναι η ύπαρξη μεθόδου επίλυσης του ευθέως προβλήματος, δηλαδή, να βρεθούν οι μετρήσεις δοθείσης της κατανομής της αντίστασης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό είναι ένας αλγόριθμος πεπερασμένων στοιχείων ο οποίος λύνει τις διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ανομοιογενή γη. Η αντιστροφή μπορεί να γίνει σε δύο (δισδιάστατη) ή τρεις (τρισδιάστατη) διαστάσεις.

Στην γεωηλεκτρική μέθοδο λόγω της μη-γραμμικής φύσης του αντιστροφικού προβλήματος, οι αλγόριθμοι αντιστροφής είναι μια αυτοματοποιημένη επαναληπτική διαδικασία. Αρχικά, η περιοχή ενδιαφέροντος διακριτοποιείται σε ένα δίκτυο από παραμέτρους στις οποίες και αποδίδεται μια αρχική τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Βάσει αυτού του μοντέλου υπολογίζονται τα αντίστοιχα συνθετικά δεδομένα, τα οποία και συγκρίνονται με τα πραγματικά δεδομένα. Λαμβάνεται έτσι μια εκτίμηση του λάθους $dy = (\text{πραγματικά δεδομένα} - \text{συνθετικά δεδομένα})$. Στη συνέχεια με μια διαδικασία αντιστρο-

φής πινάκων γίνεται διόρθωση του αρχικού μοντέλου αντίστασης και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το λάθος Δy μεταξύ των πραγματικών και συνθετικών δεδομένων ελαχιστοποιηθεί. Το τελικό μοντέλο αντίστασης θεωρείται ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική κατανομή των γεωηλεκτρικών αντιστάσεων.

4.1.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ο σχεδιασμός των παραμέτρων των γεωηλεκτρικών τομογραφιών καθορίστηκε από τις διαστάσεις του στόχου και από το επιθυμητό βάθος έρευνας. Συγκεκριμένα η διακριτική ικανότητα μπορεί να είναι τουλάχιστον των 50 μ. με δεδομένο ότι το βάθος διασκόπησης πρέπει να φθάνει τα 200 μέτρα. Βάσει των απαιτήσεων αυτών οι παράμετροι αποφασίστηκαν να είναι:

Πλήθος ηλεκτροδίων=21

Απόσταση ηλεκτροδίων(α)=50 μέτρα

Αποστάσεις ηλεκτροδίων ρεύματος-διπόλων μέτρησης δυναμικού ποίκιλαν σε ($n \cdot \alpha$) ($2n \cdot \alpha$) και ($3n \cdot \alpha$) με τη μέγιστη τιμή του n ίση με 8.

4.1.4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Με βάση τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής έρευνας, στόχος της γεωφυσικής έρευνας ήταν:

Α. ο εντοπισμός δευτερογενούς πορώδους στον σχηματισμό των μαρμάρων

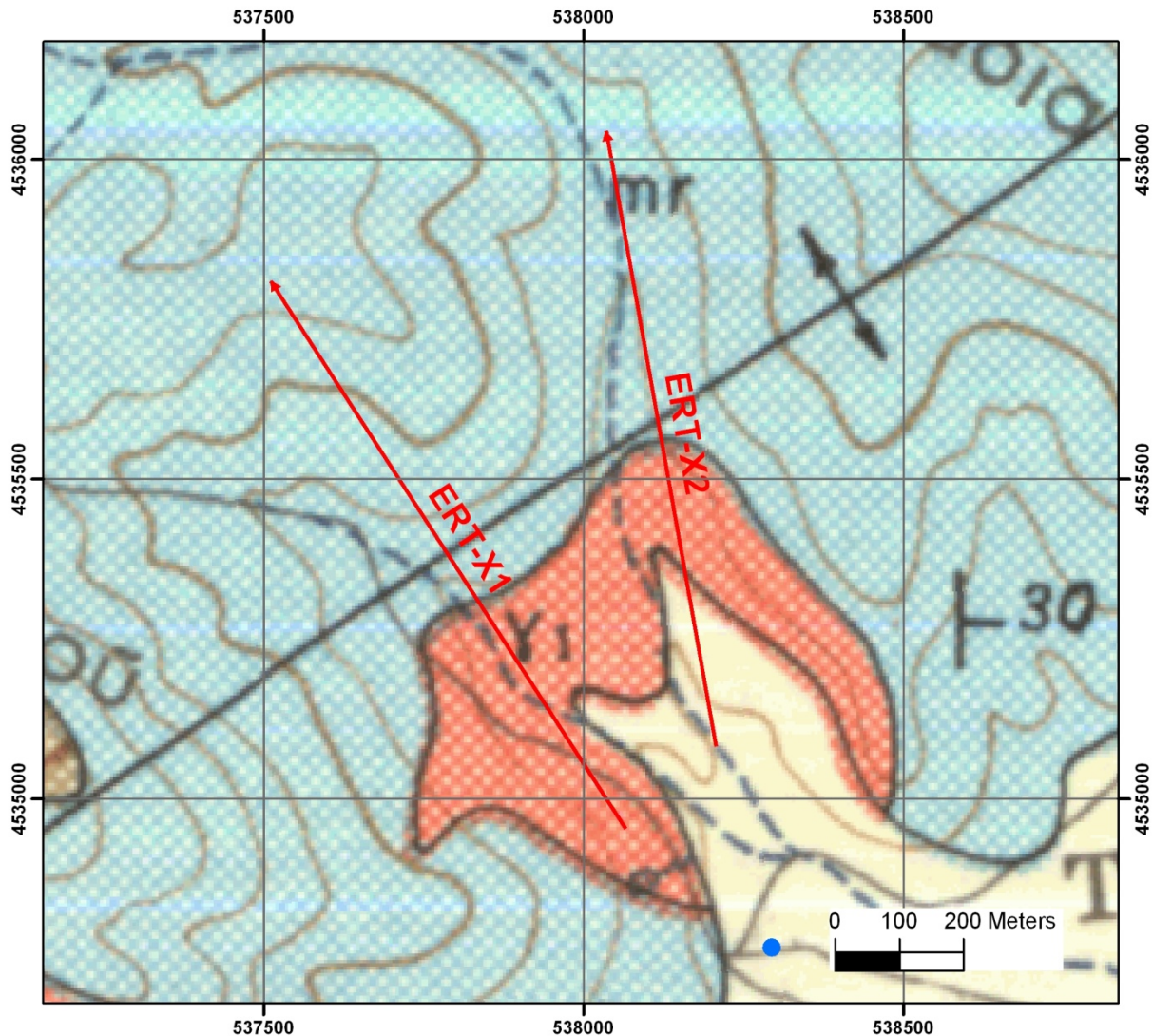
Β. η χαρτογράφηση της επαφής μαρμάρων και γρανίτη

Γ. η μελέτη της αντικλινικής δομής που βορειοανατολικής-νοτιοδυτικής διεύθυνσης που χαρτογραφείται στην επαφή μαρμάρων-γρανίτη.

Στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκαν δύο (2) γεωηλεκτρικές τομογραφίες.

Οι τομογραφίες σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να δώσουν ικανά στοιχεία για την γεωλογική δομή της περιοχής κυρίως σε ότι αφορά την επαφή μαρμάρων-γρανίτη.

Η πρώτη τομογραφία είχε διεύθυνση 327 μοίρες ενώ η δεύτερη 350 μοίρες. Οι θέσεις των τομογραφιών παρουσιάζονται στο χάρτη του παρακάτω σχήματος.



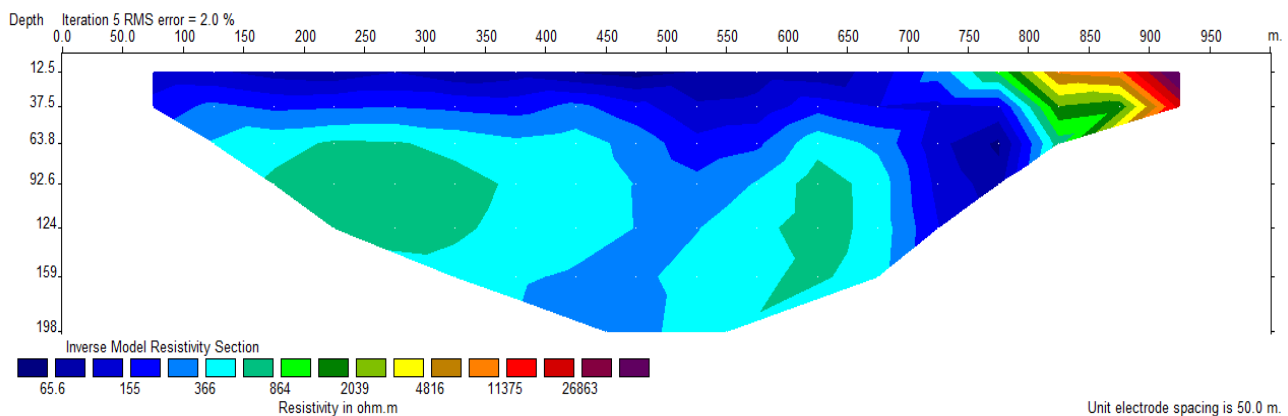
Σχήμα 6. Οι θέσεις των τομογραφιών.

Οι θέσεις των τομογραφιών παρουσιάζονται σαν δύο κόκκινα βέλη που δείχνουν την διεύθυνση ανάπτυξης των ηλεκτροδίων από 0 έως 1000 m.

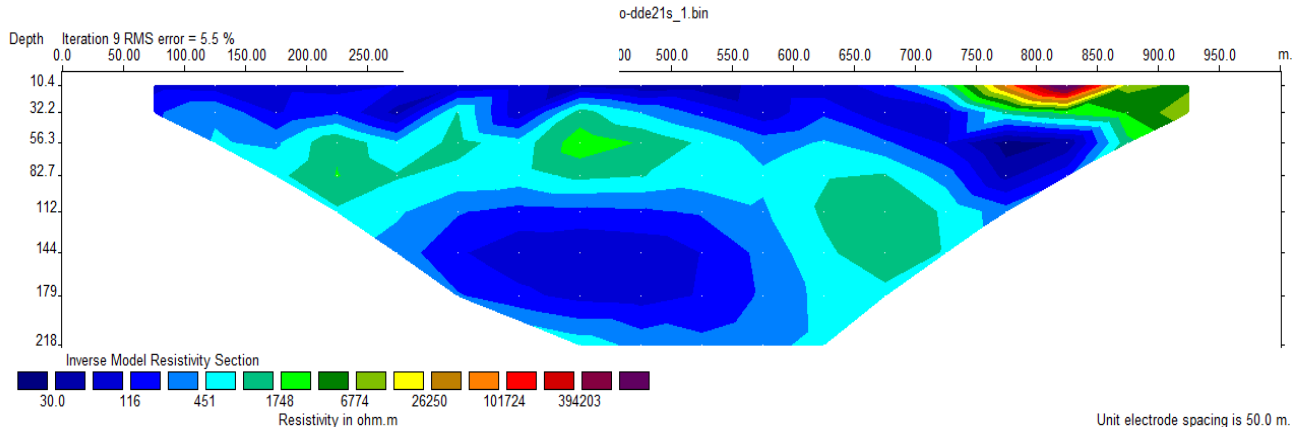
Στην τομογραφία χρησιμοποιήθηκαν 21 ηλεκτρόδια τα οποία απείχαν μεταξύ τους 50 m. Έτσι η έρευνα έγινε στο βάθος των 200 m περίπου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τα συμπεράσματα από τις ηλεκτρικές τομογραφίες παρουσιάζονται παρακάτω.

Οι τομογραφίες μετρήθηκαν με δύο δυνατές διατάξεις ηλεκτροδίων, τη διάταξη Wenner-Schlumberger και τη διάταξη Dipole-Dipole. Είναι η επιλογή του πιο αντιπροσωπευτικού μοντέλου για τη στρωματογραφία της περιοχής έρευνας. Μετά την ερμηνεία των τομογραφιών και τη συσχέτισή τους με τα δεδομένα της περιοχής επιλέχθηκε η διάταξη Wenner-Schlumberger ως η πλέον αντιπροσωπευτική της περιοχής.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.



Xalkero 1. Wenner-Schlumberger



Xalkero 1. Dipole-Dipole

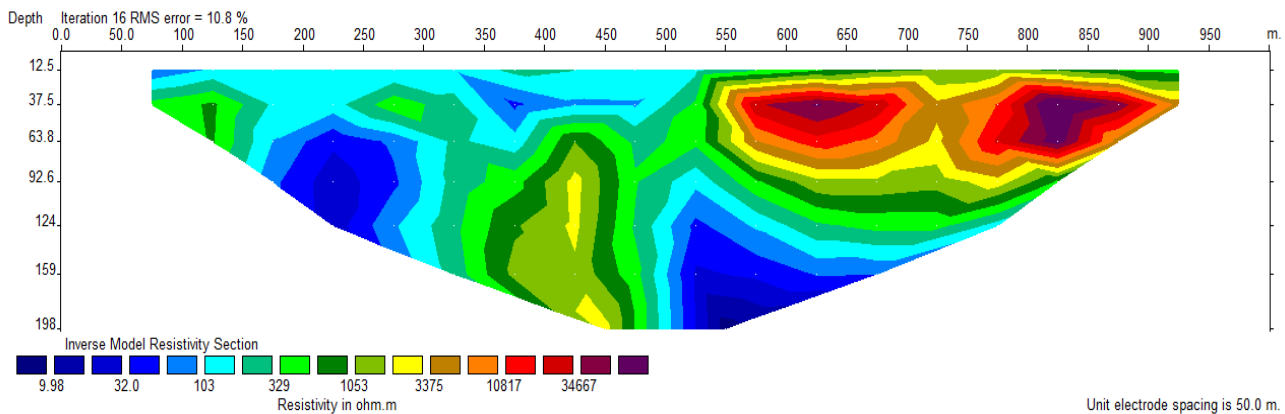
Σχήμα 7. Τομογραφία Χαλκερό 1 σύμφωνα με τις διατάξεις Wenner-Schlumberger (επάνω) και Dipole-Dipole (κάτω). Η χρωματική κλίμακα των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης παρουσιάζεται σε Ohm-m.

Στο σχήμα παρουσιάζεται το γεωηλεκτρικό μοντέλο που προκύπτει από την τομογραφία. Το βόρειο τμήμα της τομογραφίας είναι το 1000-στό m και το νότιο το 0 m. Η χρωματική

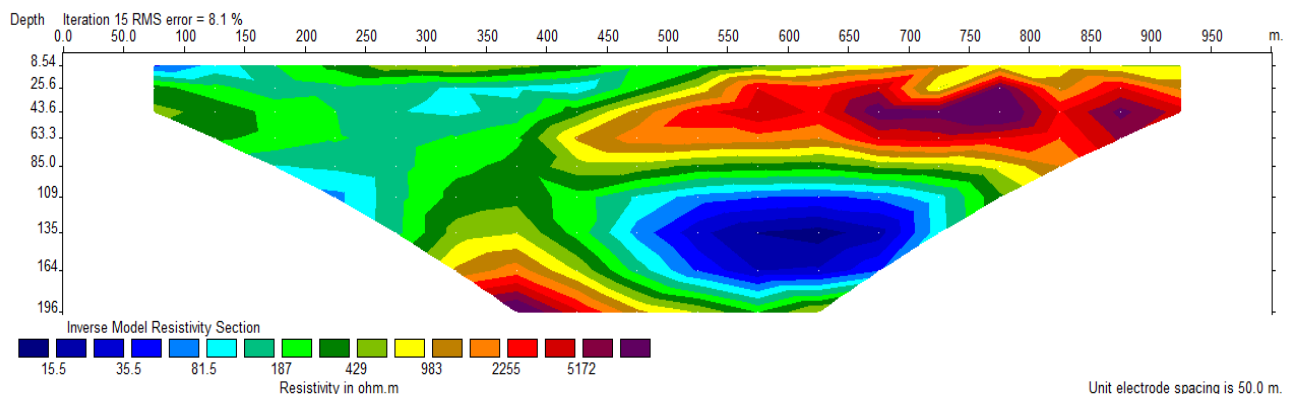
κλίμακα δίνει τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με τις μικρότερες τις μπλε(περίπου 100 Ohm-m) και μεγαλύτερες τις κόκκινες (περίπου 3000 Ohm-m).

Με βάση τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής από τα 0 μέχρι τα 500 m περίπου αναμένεται ο σχηματισμός του γρανίτη και στη συνέχεια ο σχηματισμός των μαρμάρων.

Η γεωλογική δομή της περιοχής εκφράζεται περισσότερο από τη διάταξη Wenner-Schlumberger, όπως φαίνεται από την τομογραφία, όπου η τεκτονική επαφή γρανίτη και μαρμάρων εμφανίζεται ως ζώνη στη θέση μεταξύ των 500 και 600 m. Στη ζώνη αυτή η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ανταποκρίνεται σε τεκτονική επαφή γρανίτη- μαρμάρων στην οποία το δευτερογενές πορώδες του γρανίτη επιτρέπει την κυκλοφορία του υπόγειου νερού.



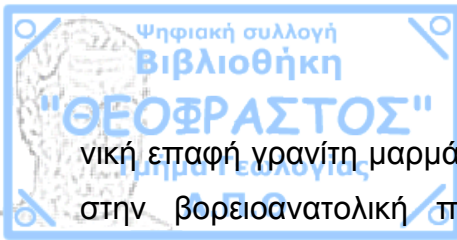
Xalkero 2.Wenner-Schlumberger



Xalkero 2.Dipole-Dipole

Σχήμα 8. Τομογραφία Χαλκερό 2

Η δεύτερη τομογραφία έγινε στο δυτικό ρέμα που καταλήγει στη λεκάνη της έρευνας. Η αρχή της βρίσκεται στο νότιο άκρο της περιοχής και το τέλος στα βόρεια. Και εδώ η τεκτο-



νική επαφή γρανίτη μαρμάρου χαρτογραφείται στο κέντρο της τομογραφίας με τα μάρμαρα στην βορειοανατολική πλευρά στο τέλος της τομογραφίας. Και πάλι η Wenner-Schlumberger ανταποκρίνεται περισσότερο στη γεωλογική δομή της περιοχής. Στα 500-600 m εντοπίζεται η τεκτονική επαφή των δύο σχηματισμών με τη μεγαλύτερη μέση ειδική αντίσταση να έχει ο σχηματισμός των μαρμάρων. Η διεύθυνση κλίσης είναι προς βορρά, κάτι που φαίνεται από την τομογραφία αφού ο γρανίτης αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής.

4.2. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ VLF

Στην περιοχή πραγματοποιήθηκε και γεωφυσική έρευνα με την εφαρμογή της ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου VLF. Δεδομένου ότι ο στόχος της ηλεκτρομαγνητικής έρευνας είναι ο εντοπισμός αγώγιμων κεκλιμένων επιφανειών που αποδίδουν με αρκετή ακρίβεια τη θέση υδροφόρων ρηγμάτων, η μέθοδος εφαρμόστηκε για τη μελέτη της τεκτονικής επαφής των μαρμάρων με το γρανίτη που ενδιέφερε εξ αρχής τη γεωφυσική έρευνα.

Η γεωφυσική δομή μελετήθηκε επιπλέον με τη χρήση της ηλεκτρομαγνητικής διασκόπησης VLF που επιτρέπει τον εντοπισμό ρηγμάτων και ζωνών καταπόνησης των σχηματισμών για τις οποίες δεν υπάρχει επιφανειακή ένδειξη και μέσα στις οποίες πραγματοποιείται κυκλοφορία υπόγειου νερού.

4.2.1.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF

Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου έγινε στη βάση της καταλληλότητάς της για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος. Συνεκτιμήθηκαν επίσης παράγοντες όπως ο διαθέσιμος χώρος για τη διεξαγωγή εργασιών πεδίου, η πρόσβαση στη συγκεκριμένη τοποθεσία έρευνας και η υπάρχουσα υποδομή στο χώρο αυτό (γραμμές ισχύος ηλεκτρικού ρεύματος, τοπογραφικό ανάγλυφο).

Κατά την εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων (ΗΛΜ) γεωφυσικής διασκόπησης, παράγεται στην επιφάνεια της γης ένα πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο όχι μόνο φτάνει σε ένα δέκτη στην επιφάνεια, αλλά διαδίδεται και μέσα στη γη, όπου αν συναντήσει ένα ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο αγώγιμο αυτό σώμα με συνέπεια τη γένεση ενός δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος το οποίο επίσης φθάνει στο δέκτη και συμβάλλει με το πρωτεύον κύμα. Το δευτερογενές αυτό κύμα είναι της ίδιας συχνότητας με το πρωτεύον, φτάνει στο δέκτη από διαφορετική διεύθυνση και παρουσιάζει μια διαφορά φάσης σε σχέση με το πρωτεύον. Τον πομπό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το αγώγιμο ηλεκτρικά σώμα μέσα στη γη και το δέκτη μπορούμε να τα θεωρήσουμε ως πηγία.

Η μέθοδος VLF που εφαρμόστηκε, διακατέχεται από τις παρακάτω αρχές:

Οι διάφοροι οργανισμοί επικοινωνιών και ναυσιπλοΐας χρησιμοποιούν ισχυρούς πομπούς, οι οποίοι εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην περιοχή από 15 έως 25kHz, δηλαδή στην περιοχή πολύ χαμηλών συχνοτήτων, τα οποία παριστάνονται με το σύμβολο VLF(Very Low Frequency), που λαμβάνονται από δέκτες σε αποστάσεις αρκετών χιλιάδων χιλιομέτρων και χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση.

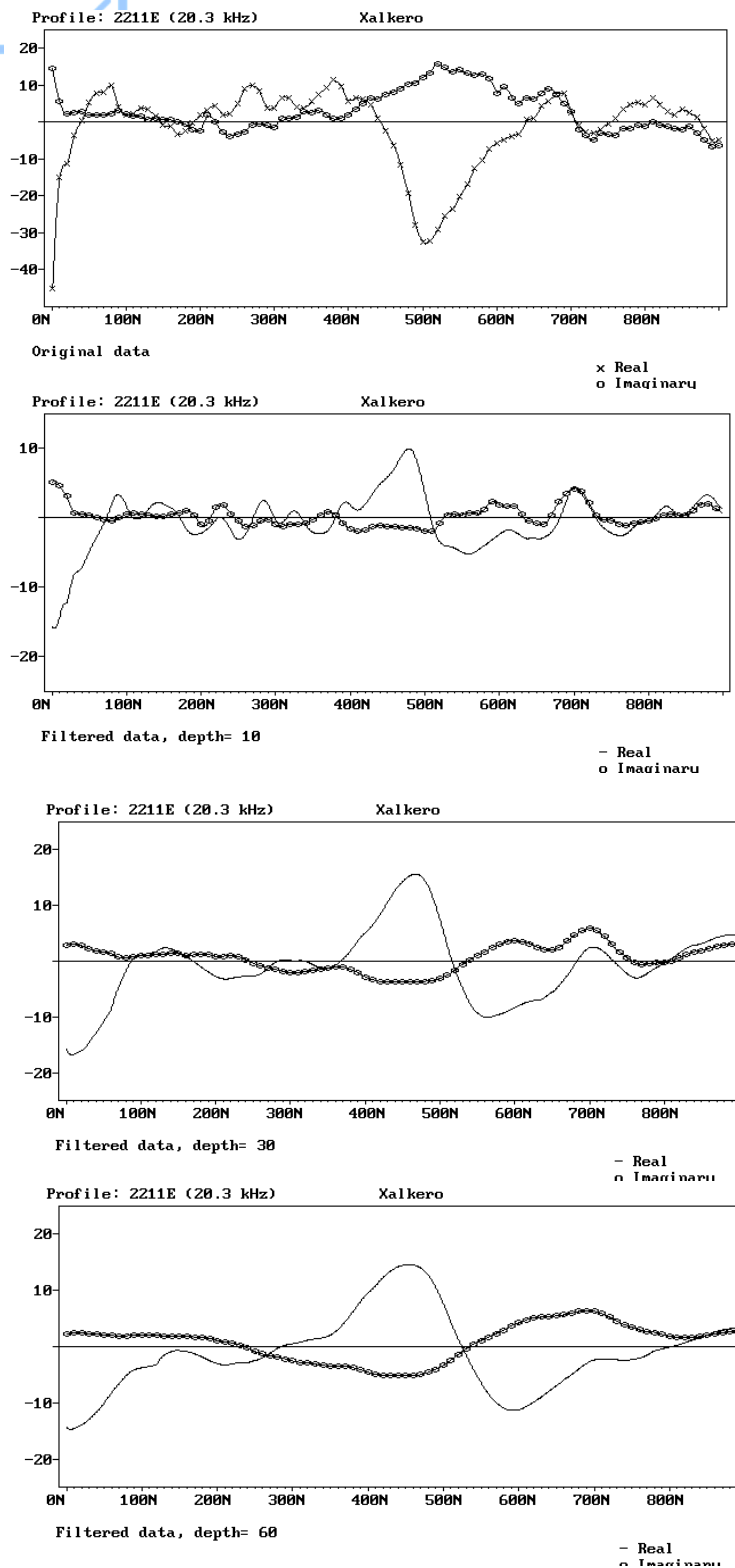
Ο δέκτης VLF είναι ένα όργανο που αποτελείται από δύο πηνία κάθετα μεταξύ τους τα οποία συντονίζονται στις συχνότητες των πομπών. Αφού καθοριστεί η διεύθυνση του πομπού λαμβάνονται οι μετρήσεις της γωνίας κλίσης σε διάφορα σημεία διατεταγμένα σε τομή που έχει χαραχθεί στην υπό μελέτη περιοχή, κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Το μέγεθος της γωνίας κλίσης αναφέρεται στη γωνία που σχηματίζει ο μέγιστος άξονας της έλλειψης πόλωσης με τη διεύθυνση της έντασης του πρωτογενούς πεδίου πάνω στο επίπεδο πόλωσης. Οι τιμές των γωνιών αυτών(που μετριοούνται σε τομές σχεδιασμένες κάθετα προς τη διεύθυνση της γεωλογικής δομής), χαρτογραφούνται κατά μήκος κάθε αντίστοιχης τομής. Ανώμαλες μεταβολές των τιμών των γωνιών κλίσης υποδηλώνουν δομές υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

4.2.2.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF

Μετρήσεις VLF πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος της δεύτερης τομογραφίας στην οποία η μορφολογική τομή εξασφάλιζε και μικρότερες πιθανότητες σφαλμάτων στις μετρήσεις στην γεωφυσική έρευνα. Η τομή VLF μετρήθηκε στην ίδια ακριβώς θέση με σταθμούς μέτρησης ανά 10 m και κάλυψε τα 900 m της τομογραφίας.

Οι μετρήσεις και τα δεδομένα υπέστησαν το φίλτρο Frazer και Karous-Hjelt και παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.

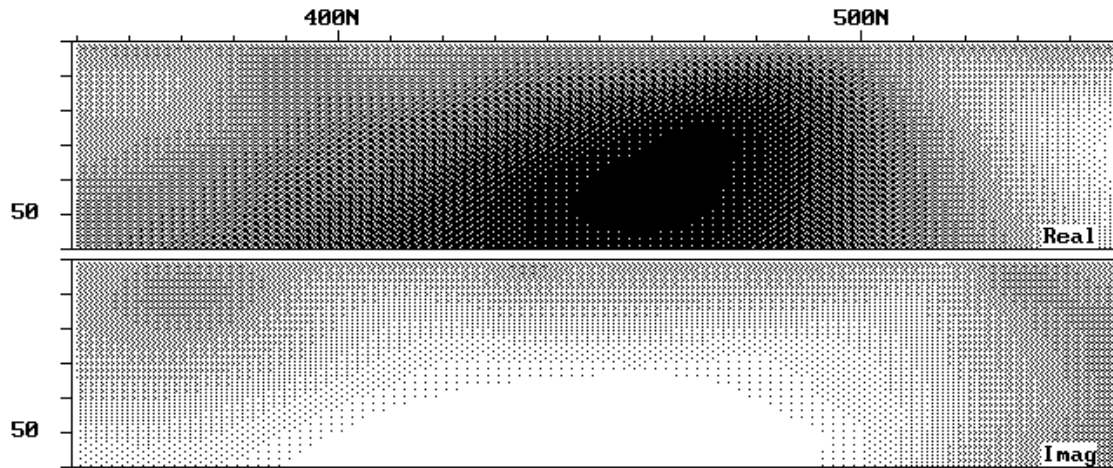


Σχήμα 9. Πρωτότυπες μετρήσεις (πάνω) και φιλτραρισμένες με φίλτρα διέλευσης 10, 30, 60 m (κάτω).

Στην όδευση εντοπίζεται εμφανώς η τεκτονική επαφή μαρμάρου-γρανίτη στη θέση των 470 m της όδευσης με κλίση προς τα νότια (κυρτή καμπύλη στις φιλτραρισμένες τιμές). Η ζώνη εμφανίζεται σημαντικά αγωγίμη γεγονός που δείχνει ότι παράλληλα με την αναμενόμενη υδροφορία είναι πολύ πιθανό να συνυπάρχουν επίσης κόκκινη άργιλος ή και αποσαθρωμένος καολινιτιωμένος γρανίτης.

Profile: 2211E

Xalkero



Σχήμα 10. Ψευδοτομή τμήματος όδευσης VLF όπου φαίνεται η αγωγίμη ζώνη που εντοπίστηκε

Στην ψευδοτομή του παραπάνω σχήματος, η αγωγίμη ζώνη παρουσιάζεται με μαύρο χρώμα (στο πάνω σχήμα, Real συνιστώσα).

Η κορυφή της ζώνης φαίνεται να βρίσκεται στα 500 m της όδευσης. Σε συμφωνία με την ηλεκτρική τομογραφία βρίσκεται η επαφή με τα μάρμαρα που παρατηρείται μετά τα 500 m και έχει κλίση προς νότο.

Δε φαίνεται να εντοπίζεται σημαντική υδροφόρα αγωγίμη ζώνη είτε στο σχηματισμό του γρανίτη είτε σ' αυτόν του μαρμάρου. Συνεπώς το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον περιορίζεται στην τεκτονική επαφή των δύο σχηματισμών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν δύο γεωηλεκτρικές τομογραφίες μήκους 1000 μέτρων η κάθε μια σύμφωνα με τις διατάξεις Dipole-Dipole και Wenner-Schlumberger, με στόχο τη μελέτη της στρωματογραφίας της περιοχής και με έμφαση στην τεκτονική επαφή των μαρμάρων με το γρανίτη. Οι τομογραφίες έγιναν με διεύθυνση Βορρά-Νότου. Το τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο που ανταποκρίθηκε καλύτερα στις συνθήκες της περιοχής έρευνας ήταν αυτό της Wenner-Schlumberger. Παράλληλα εφαρμόστηκε και η μέθοδος VLF, που ανήκει στην κατηγορία των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων με στόχο να μελετηθεί επιπλέον η τεκτονική επαφή.

Από τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας εντοπίζεται η ακριβής θέση και η γεωμετρία της τεκτονικής επαφής των δύο σχηματισμών. Χαρτογραφείται η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και αξιολογείται η πιθανότητα υδροφορίας στην περιοχή έρευνας.

Διαπιστώνεται ότι, ο σχηματισμός του γρανίτη είναι σε μεγάλο βαθμό αποσθρωμένος και αναμένεται να εμφανίζει υδροφορία όχι όμως με μεγάλη δυναμική αφού μέρος του δευτερογενούς πορώδους φαίνεται να έχουν καταλάβει αργιλικά συστατικά καολινιτικής κυρίως σύστασης.

Ο σχηματισμός του μαρμάρου εμφανίζεται συμπαγής σε μεγάλη απόσταση από την επαφή του με το γρανίτη.

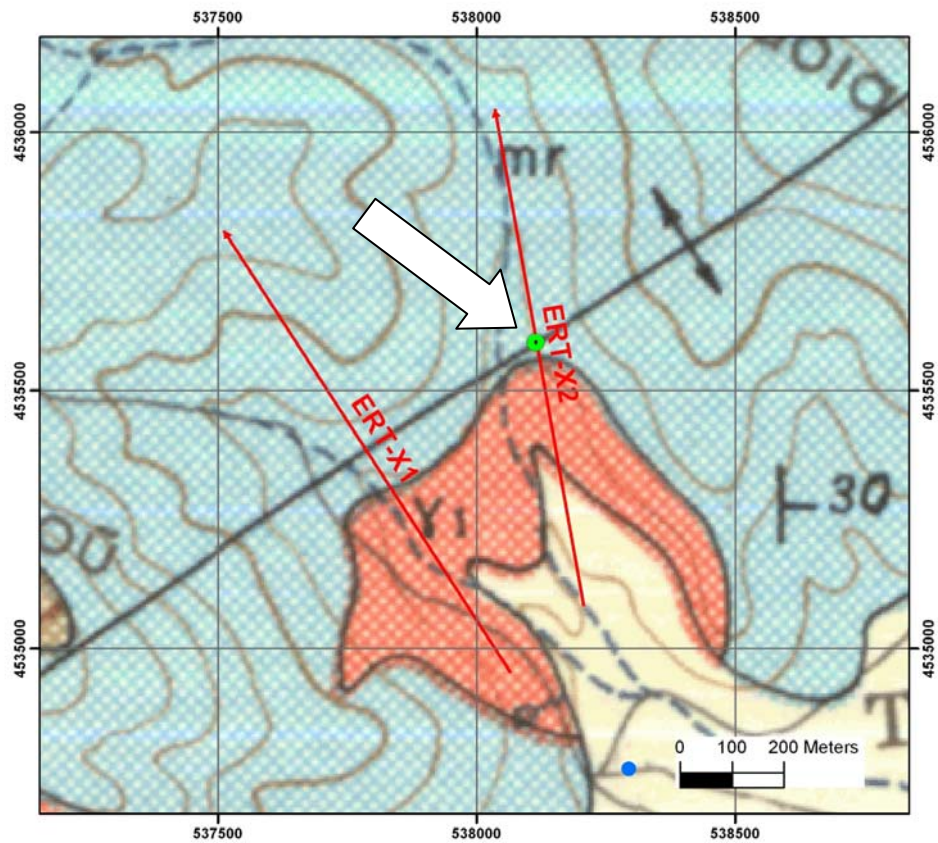
Με βάση τα παραπάνω, το υδρογεωλογικό ενδιαφέρον σε ότι αφορά την πιθανότητα υπόγειας υδροφορίας περιορίζεται στην περιοχή της τεκτονικής επαφής των δύο σχηματισμών.

Με βάση όλα αυτά, σαν καταλληλότερο σημείο κατασκευής υδρογέωτρησης προτείνεται το σημείο που βρίσκεται στο 520-στό μέτρο της τομογραφίας. Η γεώτρηση αναμένεται να διατρήσει την τεκτονισμένη ζώνη μετά το βάθος των 120 m και φαίνεται να συνεχίζει μέχρι το βάθος των 200 m.

Οι συντεταγμένες του προτεινόμενου σημείου σε σύστημα ΕΓΣΑ '87 είναι,

X 538110Y 4535593

και το αναμενόμενο βάθος της γεώτρησης είναι της τάξης των 200 m.



Σχήμα 11. Θέση προτεινόμενης γεώτρησης.

- Barker, R. (1992). A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. *First Break*, 10, (2), 53-63.
- Edwards, L.S. (1977). A Modified Pseudosection for Resistivity and IP. *Geophysics*, 42, 1020-1036.
- Καλλέργης Γ.Α (2001). Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Δεύτερη Έκδοση, Τόμος Γ', Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, σελ. 432.
- Griffiths D., Turnbull, J., and Olayinka, A. (1990). Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled Array. *First Break*, 8 (4), 121-129.
- Shima, H. (1990). Two-dimensional automatic resistivity inversion technique using alpha centres. *Geophysics*, 55, 682-694.
- Tripp, A., Hohmann, G., and Swift, C. (1984). Two-dimensional resistivity inversion. *Geophysics*, 49, 1708-1717.
- Tsourlos P., Szymanski J., Dittmer J., and Tsokas G. (1993). The use of back-projection for fast inversion of 2-D resistivity data. *Proceedings of the 2nd congress of the Greek Geophysical Union, Florina, Greece, 5-7 May, 1993, vol. 1, 71-81.*
- Tsourlos,P.,Dittmer,J.,and Szymanski,J.(1995). A study of non-linear techniques for the 2-D inversion of earth resistivity data. *Expanded abstracts of the 57th meeting and technical exhibition of the EAEG: Glasgow, Scotland, 29 May- 2 June, 1995, P031.*