ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΑΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΣΙΑΜΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ Α.Ε.Μ. : 3816

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΕΥΚΟΧΩΡΙ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΒΑΡΓΕΜΕΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ

1.

TTEPIEXOMENA

- 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- 2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ
 - 2.1. Ηλεκτρικές μέθοδοι
 - 2.1.1. Βυθοσκοπήσεις
 - 2.1.2. Τομογραφίες
 - 2.2. Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι
 - 2.2.1. V.L.F
 - 2.2.2. Slingram-Turam
 - 2.2.2.1.Slingram
 - 2.2.2.2.Turam
 - 2.2.3. Μαγνητικές μέθοδοι
- 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ V.L.F
 - 3.1. Πομποί V.L.F και το μακρινό πεδίο του αέρα
 - 3.2. Φυσικές αρχές της μεθόδου V.L.F
 - 3.3. Τυπικές ανωμαλίες
 - 3.4. Το κύμα V.L.F στο έδαφος
 - 3.5. Μετρήσεις με σταθμό V.L.F στην διεύθυνση του αζιμουθίου της γεωλογικής δομής
 - 3.6. Μετρήσεις με σταθμό V.L.F με διεύθυνση κάθετη στο αζιμούθιου γεωλογικής δομής
 - 3.7. Η επίδραση της τομογραφίας στις παρατηρήσεις V.L.F
 - 3.8. Περιορισμοί και πηγές λαθών
 - 3.9. Παράδειγμα μέτρησης
- 4. **ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑ**
 - 4.1. Γεωλογικά-υδρογεωλογικά στοιχεία
- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ
 5.1. Προγραμματισμός μέτρησης
 5.2. Ερμηνεία-Αξιολόγηση
- 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

<u>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>

Σκοπός της έρευνας αυτής είναι ο καθορισμός της γεωλογικής δομής της περιοχής που παρουσιάζει υδρογεωλογικό ενδιαφέρον με βάση τα γεωλογικά στοιχεία. Η γεωφυσική έρευνα οδηγεί στον ακριβέστερο και λεπτομερέστερο καθορισμό της τεκτονικής και της γεωλογικής δομής στο συγκεκριμένο χώρο.

Η γεωφυσική δομή μελετήθηκε κάνοντας χρήση της ηλεκτρομαγνητικής διασκόπησης V.L.F που επιτρέπει τον εντοπισμό ρηγμάτων και ζωνών καταπόνησης των σχηματισμών για τις οποίες δεν υπάρχει επιφανειακή ένδειξη και μέσα στις οποίες πραγματοποιείται κυκλοφορία νερού.

<u>2.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΟΝ</u> ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

2.1 Ηλεκτρικές μέθοδοι

Μία από τις γεωφυσικές τεχνικές που χρησιμοποιείται ευρύτατα στην διασκόπηση και στον εντοπισμό "ρηχών δομών" είναι η ηλεκτρική μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης, η οποία είναι επίσης γνωστή και ως "μέθοδος συνεχούς ρεύματος". Σκοπός της μεθόδου αυτής αποτελεί ο καθορισμός της κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης υπεδάφους, δηλαδή της γεωηλεκτρικής του δομής αυτού. πραγματοποιώντας μετρήσεις στην επιφάνεια Γης. της Για τον σκοπό αυτό εισάγεται στο υπέδαφος ηλεκτρικό ρεύμα μέσω δύο ηλεκτροδίων και μετριέται η διαφορά δυναμικού που προκαλείται από το εισερχόμενο στο υπέδαφος ρεύμα, σε δύο άλλα ηλεκτρόδια. Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού αντικατοπτρίζει την δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει στο υπέδαφος, δίνοντας έτσι μία ένδειξη για την ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους. Στο σχήμα 2.1 φαίνεται μία τυπική διάταξη των τεσσάρων ηλεκτροδίων Α, Β (ηλεκτρόδια ρεύματος) και Μ, Ν (ηλεκτρόδια δυναμικού).



Σχήμα 2.1

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιείται ευρύτατα στην Υδρογεωλογία, για τον εντοπισμό υδροφόρων στρωμάτων, στην Τεχνική Γεωλογία για την εύρεση του μητρικού πετρώματος και εγκοίλων και τον καθορισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους κ.λ.π., για περιβαλλοντικούς σκοπούς στον προσδιορισμό της ζώνης μόλυνσης σε υδροφόρα στρώματα, στην αναζήτηση γεωθερμικών πεδίων και μεταλλευμάτων και στην αρχαιομετρία. Η αντίσταση του εδάφους εξαρτάται από μία σειρά παραγόντων όπως είναι οι υδρολογικές - υδρογεωλογικές συνθήκες, η χημική σύσταση του νερού, τα ιόντα που

είναι διαλυμένα σε αυτό, το πορώδες των σχηματισμών, οι πιθανές διαρρήξεις και διακλάσεις, η θερμοκρασία και η πίεση, καθώς και οι τοπογραφικές μεταβολές. Η ειδική αντίσταση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι μεταβάλλονται

πι ειδική αντιστασή εξαρταταί από πολλούς παραγοντες οι οποίοι μεταραλλονται εύκολα. Δεν αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα συγκεκριμένων λιθολογικών τύπων, καθώς η διακύμανση αυτής μπορεί να παρουσιάζει μεγάλο εύρος στον ίδιο λιθολογικό τύπο. Επίσης δύο τελείως διαφορετικοί σχηματισμοί μπορεί να έχουν παρόμοιες ειδικές αντιστάσεις. Για τους λόγους αυτούς η ερμηνεία των μετρήσεων της ειδικής αντίστασης πρέπει να γίνεται με προσοχή και σε συνδυασμό πάντα με τις γεωλογικές πληροφορίες της περιοχής μελέτης (γεωλογικοί χάρτες, γεωτρήσεις).

Η διαδικασία λήψης των μετρήσεων στηρίζεται στην χρησιμοποίηση τεσσάρων ηλεκτροδίων, δύο για την εισαγωγή ρεύματος και δύο για την μέτρηση της διαφοράς δυναμικού, τα οποία εισέρχονται στο έδαφος σε βάθος μερικών εκατοστών (~ 10 cm) και σε αποστάσεις που ποικίλουν από μερικά έως μερικές εκατοντάδες μέτρα.

Επειδή η Γη είναι ανομοιογενής και ανισότροπη η μετρούμενη ηλεκτρική αντίσταση είναι συνάρτηση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους και της γεωμετρικής διάταξης των ηλεκτροδίων. Για τον λόγο αυτό εισάγεται ο όρος της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Υπάρχουν πολλοί τρόποι διάταξης των τεσσάρων ηλεκτροδίων στην επιφάνεια του εδάφους, οι οποίοι φαίνονται στο σχήμα 2.2. Για κάθε προτεινόμενη διάταξη έχουν βρεθεί σχετικά θεωρητικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.



Σχήμα 2.2

<u>2.1.1 Βυθοσκοπήσεις</u>

Με την εφαρμογή των βυθοσκοπήσεων γίνεται προσπάθεια να ερευνηθεί η κατανομή της ειδικής αντίστασης με το βάθος. Η όλη διαδικασία στηρίζεται στο γεγονός ότι το υπέδαφος θεωρείται ότι έχει οριζόντια στρωματογραφία, δηλαδή αποτελείται από διακριτά, οριζόντια, ομογενή και ισότροπα στρώματα. Στην περίπτωση των βυθοσκοπήσεων χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η μέθοδος Schlumberger. Κλασσικό πεδίο εφαρμογής της μεθόδου αυτής αποτελεί η έρευνα για τον εντοπισμό υδροφόρων στρωμάτων. Λαμβάνονται μία σειρά μετρήσεων με συνεχώς αυξανόμενες τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος (τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά). Με την συνεχή αύξηση των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνεται και το βάθος διείσδυσης του ρεύματος. Με τον τρόπο αυτό μετριέται η κατακόρυφη κατανομή της ειδικής αντίστασης σε μία στήλη κάτω από το κέντρο της διάταξης.

2.1.2 Τομογραφίες (δισδιάστατη διασκόπηση)

Η δισδιάστατη διάταξη μέτρησης επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων τα οποία εμπεριέχουν πληροφορίες τόσο για την οριζόντια όσο και για την κατακόρυφη μεταβολή της αντίστασης. Αυτού του τύπου οι μετρήσεις είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την ποσοτική ερμηνεία θαμμένων δομών (προσδιορισμός

βάθους, μεγέθους, σχήματος της δομής) και έχουν χρησιμοποιηθεί στην αρχαιολογική έρευνα.

http://www.ims.forth.gr/lab_research_groups/Electrical_Methods/images/image7b.gif http://www.ims.forth.gr/lab_research_groups/Electrical_Methods/images/image6b.gif Oι δισδιάστατες γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις έχουν εξελιχθεί για τις απαιτήσεις ερευνών μεγάλης κλίμακας: μια σειρά από ηλεκτρόδια τοποθετούνται στην επιφάνεια του εδάφους και μέσο ενός πολύκλωνου καλωδίου και ενός συστήματος πολυπλεξίας λαμβάνονται αυτόματα μετρήσεις οδεύσεως πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος με συνεχώς αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Αυτού του τύπου τα δεδομένα είναι δύσκολο να ερμηνευτούν απ' ευθείας. Απαιτείται επεξεργασία των δεδομένων με τους λεγόμενους αλγόριθμους μη-γραμμικής δισδιάστατης αντιστροφής. Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα από εικόνα δισδιάστατης αντιστροφής πάνω από τοίχο.



Σχήμα 2.3

Πρέπει να τονιστεί ότι οι τομές αυτού του τύπου, λόγω του μεγάλου φόρτου εργασιών υπαίθρου που παρουσιάζουν, μετρούνται συνήθως επιλεκτικά σε περιοχές που παρουσιάζουν αυξημένο ενδιαφέρον.

2.2 Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι

2.2.1 V.L.F

Οι διάφοροι οργανισμοί επικοινωνιών και ναυσιπλοΐας χρησιμοποιούν ισχυρούς πομπούς οι οποίοι εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην περιοχή 15 KHz-25 KHz, δηλαδή, στην περιοχή πολύ χαμηλών συχνοτήτων με το σύμβολο V.L.F (Very low frequency). Υπάρχουν πολλοί τέτοιοι σταθμοί και εκπέμπουν συνεχώς τέτοια κύματα τα οποία συλλαμβάνονται από δέκτες σε αποστάσεις αρκετών χιλιάδων χιλιομέτρων και χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση.

Σε μεγάλες αποστάσεις από το δέκτη το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι οριζόντιο και η ένταση του μαγνητικού πεδίου βρίσκεται στο επίπεδο αυτό και είναι κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, ενώ η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι κατακόρυφη. Ο δέκτης V.L.F είναι ένα μικρών διαστάσεων εύχρηστο όργανο που αποτελείται από δύο πηνία κάθετα μεταξύ τους τα οποία συντονίζονται στις συχνότητες των πομπών. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται ως εξής : Το ένα πηνίο τοποθετείται αρχικά με τον άξονα του σε οριζόντια και περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα μέχρις ότου ελαχιστοποιηθεί το σήμα του, οπότε στη θέση αυτή καθορίζει τη διεύθυνση του πομπού. Χαράσσονται κατόπιν τομές στην υπό μελέτη περιοχή κάθετες προς τη διεύθυνση διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και πραγματοποιούνται μετρήσεις της γωνίας κλίσης σε διάφορα σημεία κάθε τομής. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται με τον εξής τρόπο. Το ίδιο πηνίο περιστρέφεται κατά 90° μέχρις ότου ο άξονάς του γίνει κατακόρυφος και στη συνέχεια περιστρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα ο οποίος έχει τη διεύθυνση του πομπού μέχρις ότου μηδενιστεί το σήμα του. Η τελευταία αυτή περιστροφή δίνει τη γωνία κλίσης.

2.2.2 Slingram-Turam

2.2.2.1 Slingram

Κατά την λήψη των μετρήσεων για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, η οποία είναι γνωστή και ως μέθοδος κινούμενου πομπού-δέκτη, μετακινείται η όλη μονάδα η οποία περιλαμβάνει τον πομπό και το δέκτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τόσο ο πομπός όσο και ο δέκτης αποτελούνται από πηνία διαμέτρου 1 m περίπου, τα οποία είναι συνήθως οριζόντια και συνδέονται με καλώδιο μήκους μεταξύ 30 m και 100 m (Σχήμα 2.4). Κατά τη μετακίνηση της μονάδας η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη παραμένει σταθερή. Ο πομπός τροφοδοτείται με γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης, ενώ ο δέκτης συνδέεται με αντισταθμιστή. Για να γίνει αντιστάθμιση, το όλο σύστημα τοποθετείται σε μονωμένο ηλεκτρικά έδαφος όπου γίνεται ρύθμιση του αντισταθμιστή ώστε να μηδενιστεί η τάση εξόδου του δέκτη. Το όργανο μετράει τόσο την πραγματική όσο και τη φανταστική συνιστώσα της έντασης το δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται κατά μήκος τομών κάθετων προς την κύρια διεύθυνση της γεωλογικής δομής και χαρτογραφούνται η τιμή της πραγματικής και η τιμή της φανταστικής συνιστώσας του δευτερογενούς πεδίου στη μέση θέση μεταξύ πομπού και δέκτη. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος της πραγματικής συνιστώσας προς τη φανταστική τόσο περισσότερο αγώγιμο είναι το σώμα που δημιουργεί το δευτερογενές πεδίο.



Σχήμα 2.4. Σύστημα κινούμενου πομπού-δέκτη (Parasnis 1979).



Σχήμα 2.5. Χαρτογράφηση της πραγματικής και της φανταστικής συνιστώσας του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου, όπως αυτές προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο του κινούμενου πομπού—δέκτη, κατά μήκος τομής η οποία περνάει πάνω από ορυκτό το οποίο είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού (Parasnis1973).

Στο σχήμα 2.5 φαίνεται χαρτογράφηση της πραγματικής και της φανταστικής συνιστώσας του πεδίου κατά μήκος τομής η οποία περνάει πάνω από το ορυκτό το οποίο είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Παρατηρούμε ότι και οι δύο συνιστώσες μεταβάλλονται πάνω από τα αγώγιμα σώματα, αλλά η πραγματική συνιστώσα έχει σαφώς μεγαλύτερη τιμή.

2.2.2.2 Turam

Αυτή αποτελεί βελτιωμένη μέθοδο της παλιάς σουηδικής μεθόδου η οποία είναι γνωστή ως μέθοδο των δυο πλαισίων.

Όπως και στην περίπτωση της μεθόδου αντιστάθμισης, ο πομπός αποτελείται από μακρύ μονωμένο καλώδιο και οι μετρήσεις των πλατών και των φάσεων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων γίνονται σε τομές κάθετες στη διεύθυνση του καλωδίου του πομπού.

Ο δέκτης αποτελείται από δύο πηνία τα οποία είναι συνήθως οριζόντια και τοποθετούνται σε απόσταση από 10 m μέχρι 50 m μεταξύ τους κατά μήκος της τομής των μετρήσεων.

Σε όλες τις θέσεις μέτρησης (1,2..) μιας τομής βρίσκονται οι λόγοι των πλατών, $V_1/V'_{1,} V_2/V'_{2,...}$ και οι διαφορές των φάσεων φ₁-φ'₁, φ₂-φ'₂,... που μετριούνται στο κοντινότερο, Π, και στο μακρυνότερο, Π', πηνίο από τον πομπό. Οι λόγοι των πλατών πρέπει να διορθωθούν για τη μεταβολή του πλάτους, του αρχικού πεδίου με την απόσταση από τον πομπό, γιατί τα δύο πηνία δε βρίσκονται κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης στην ίδια απόσταση από τον πομπό. Για να γίνει αυτό, αρκεί οι λόγοι των πλατών να πολλαπλασιαστούν με τους αντίστοιχους λόγους d'₁/d₁, d'₂/d₂,..., των αποστάσεων από τον πομπό, οπότε έχουμε τους ανηγμένους (διορθωμένους) λόγους $V_1d'_1/V'_1d_1, V_2d'_2/V'_2d_2,...$ Τόσο οι διορθωμένοι λόγοι όσο και οι διαφορές φάσης χαρτογραφούνται στο μέσο της θέσης των δύο πηνίων κατά μήκος της τομής σε κάθε μέτρηση.

Όταν δεν υπάρχει αγώγιμο σώμα μέσα στη Γη οι διαφορές φάσης θα είναι ίσες με μηδέν και οι διορθωμένοι λόγοι των πλατών ίσοι με τη μονάδα. Όταν, όμως, υπάρχει αγώγιμο σώμα, οι διαφορές φάσης είναι μη μηδενικές και οι διορθωμένοι λόγοι των πλατών διαφορετικοί από τη μονάδα.



Σχήμα 2.6. Μεταβολή του ανηγμένου λόγου των πλατών (συνεχής καμπύλη) και της διαφοράς φάσης (στικτή καμπύλη) κατά μήκος μιας γραμμής που περνάει πάνω από αγώγιμο ορυκτό κατά την εφαρμογή της μεθόδου Turam

Στο σχήμα 2.6 δίνεται η γραφική παράσταση της μεταβολής της διαφοράς φάσης και του ανηγμένου λόγου των πλατών κατά μήκος τομής που περνάει πάνω από το αγώγιμο ορυκτό (φλέβα πυρίτη). Φαίνεται η έντονη μεταβολή τόσο της διαφοράς φάσης όσο και του λόγου των πλατών πάνω από το αγώγιμο ορυκτό.

Η μέθοδος Turam πλεονεκτεί της μεθόδου αντιστάθμισης, γιατί δεν απαιτεί ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ δέκτη και πομπού και γιατί με τη χρησιμοποίηση δύο πηνίων παίρνουμε περισσότερες πληροφορίες για το πεδίο. Με τη μέθοδο Turam γίνεται ουσιαστικά μέτρηση της οριζόντιας βαθμίδας των ποσοτήτων του πεδίου που μετριούνται με τη μέθοδο της αντιστάθμισης.

2.2.3 Μαγνητικές μέθοδοι

Οι μαγνητικές διασκοπήσεις έχουν στόχο την ανίχνευση της αλλαγής των μαγνητικών ιδιοτήτων του υπεδάφους λόγω της παρουσίας δομών που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Κατά την διεξαγωγή μιας μαγνητικής διασκόπησης μετριέται το τοπικό μαγνητικό πεδίο της γης σε κάποια απόσταση από την επιφάνεια αυτής. Το ύψος που μπορεί να πραγματοποιηθεί μία μαγνητική διασκόπηση κυμαίνεται από 0.5 μέτρο. Για την μέτρηση του μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιούνται συνήθως μαγνητόμετρα μέτρησης της ολικής έντασης του μαγνητικού πεδίου (πρωτονιακά μαγνητόμετρα) ή διαφορικά μαγνητόμετρα (πρωτονιακά ή ροής), τα οποία μετρούν την κατακόρυφη βαθμίδα του μαγνητικού πεδίου. Η ακρίβεια που παρουσιάζουν αυτά τα όργανα είναι της τάξης του 0.1 - 1 nT. Στην περίπτωση εντοπισμού αρχαιολογικών λειψάνων οι

μετρήσεις λαμβάνονται με ένα σταθερό βήμα δειγματοληψίας σε ορθογώνιους καννάβους, μικρών σχετικά διαστάσεων (10x10 ή 20x20), τοποθετώντας τον αισθητήρα (ή μετρητή) σε μία σταθερή και μικρή απόσταση από την επιφάνεια της γης.

http://www.ims.forth.gr/lab research groups/Magnetic Gravity Methods/images/ima ge3b.gifYπεδάφειοι στόχοι με μαγνητικές ιδιότητες διαφορετικές από αυτές του περιβάλλοντος αλλάζουν κατά μικρό ή μεγάλο βαθμό το τοπικό μαγνητικό πεδίο. Η παραμόρφωση αυτή του μαγνητικού πεδίου παρατηρείται σαν "ανωμαλία" στις μετρήσεις. Οι ανωμαλίες αυτές μπορεί να οφείλονται σε διαφορετικά αίτια και διαφοροποιούνται βάση της έντασης του μαγνητικού πεδίου και του γεωμετρικού σχήματος αυτών. Οι μαγνητικές ανωμαλίες εξαρτώνται τόσο από την διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου της γης όσο και από την διεύθυνση της μαγνήτισης. Για τον λόγο αυτό 01 μαγνητικές ανωμαλίες είναι κυρίως διπολικού γαρακτήρα.

Οι μαγνητικές ανωμαλίες σχετίζονται άμεσα με την μαγνητική επιδεκτικότητα του εδάφους. Περιοχές με αυξημένη μαγνητική επιδεκτικότητα (πάντα σε σχέση με το περιβάλλον) εμφανίζονται ως θετικές μαγνητικές ανωμαλίες ενώ αντίθετα περιοχές με μειωμένη μαγνητική επιδεκτικότητα παρουσιάζονται ως αρνητικές ανωμαλίες. Και τα δύο αυτά είδη μαγνητικών ανωμαλιών παρουσιάζουν ενδιαφέρον στην διαδικασία ερμηνείας των μαγνητικών δεδομένων. Πρέπει να σημειωθεί ότι το μαγνητικό πεδίο της γης δεν είναι στάσιμο αλλά

μεταβάλλεται με τον χρόνο. Από όλες τις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου αυτή που παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η ημερήσια μεταβολή. Οι παροδικές αυτές μεταβολές επηρεάζουν τις μαγνητικές μετρήσεις υπαίθρου και δεν είναι προβλέψιμες.

Υπό κανονικές συνθήκες, η ένταση του μαγνητικού πεδίου παρουσιάζει διακυμάνσεις της τάξεως των 50 - 100 nT. Στις περιπτώσεις των μαγνητικών καταιγίδων το μαγνητικό πεδίο παρουσιάζεται πιο ενεργητικό και οι αλλαγές που εντοπίζονται είναι της τάξεως των 100 - 500 nT. Για τον λόγο αυτό είναι επιτακτική η ανάγκη της παρακολούθησης της αλλαγής του μαγνητικού πεδίου καθ' όλο το διάστημα των μαγνητικών διασκοπήσεων, χρησιμοποιώντας ένα δεύτερο μαγνητόμετρο ολικής έντασης. Η χρήση διαφορικών μαγνητομέτρων έχει το πλεονέκτημα της εξαλείψεις των δραστικών αλλαγών του μαγνητικού πεδίου, καθώς και της άμβλυνσης των γεωλογικών επιδράσεων.

<u>3.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ V.L.F</u>

<u>3.1 Πομποί V.L.F και το μακρινό πεδίο του αέρα</u>

Δυνατοί ραδιοφωνικοί σταθμοί έχουν τοποθετηθεί σε διάφορες χώρες και εκπέμπουν είτε συνεχώς, είτε με κώδικα Μορς, είτε με άλλο κώδικα για σκοπούς στρατιωτικής επικοινωνίας σε συχνότητες 15-30KHz. Στην τεχνολογία του ραδιοφώνου οι συχνότητες αυτές είναι γνωστές σαν πολύ χαμηλές συχνότητες (V.L.F). Πρέπει όμως να σημειώσουμε, ότι αυτές δεν είναι χαμηλές με την έννοια των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων της εφαρμοσμένης γεωφυσικής. Τέτοιου είδους πομποί (V.L.F) λειτουργούν σε αρκετές χώρες. Μερικοί από τους πιο χρήσιμους σταθμούς δίνονται παρακάτω στον πίνακα 1.

Τοποθεσία	Κωδική	Συχνότητα	Ισχύς (KW)
	ονομασία	(KHz)	
Bordeaux, France	FUO	15,1	500
Rugby, Great Britain	GBR	16	750
Helgeland, Norway	JNX	16,4	350
Gorki, USSR	ROR	17	315
Moscow, USSR	UMS	17,1	1000
Yosamai, Japan	NDT	17,4	500
Oxford, Great Britain	GBZ	19,6	550
Annapolis, U.S.A.	NSS	21,4	400
Northwest Cape,	NWC	22,3	1000
Australia	DMB	23,4	
Hauderfehn, Germany	NPM	23,4	600
Laulualei, Hawaii, U.S.A.	LPZ	23,6	
Buenos Aires, Argentina	NAA	24	1000
Culter, Maine, U.S.A.	NLK	24,8	125
Seattle, U.S.A.	NAU	28,5	100
Aguada, Puerto Rico			

T	,					-1
	11	1	ĸ	~	\sim	
	LV	' UL	n	L.	L	
					-	

Σε μερικά μέρη στην γη μπορούμε να βρούμε "τοπικούς" πομπούς, οι οποίοι είναι πιο βολικοί στη χρήση.

Η κεραία ενός πομπού V.L.F αποτελείται από ένα ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο, που εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Η διάδοση των κυμάτων V.L.F από ένα ηλεκτρικό δίπολο στην επιφάνεια της γης, είναι ένα αρκετά πολύπλοκο φαινόμενο. Διακρίνεται σε κύμα εδάφους, σε κύμα χώρου και σε κύμα που διαδίδεται στην ιονόσφαιρα και την επιφάνεια της γης.

Σε μεγάλες όμως αποστάσεις από τον πομπό, το πεδίο ενός δίπολου, μπορεί, για πρακτικούς σκοπούς, να θεωρηθεί ότι είναι ομοιόμορφο μέσα σε μια μικρή περιοχή. Η δομή του πεδίου σε ένα τέτοιο σημείο απεικονίζεται στο σχήμα 3.1, όπου ο φερόμενος πομπός (δηλαδή η διεύθυνση διάδοσης του κύματος εδάφους) ορίζεται ως η διεύθυνση Χ. Όπως φαίνεται από το σχήμα, η ένταση του προσπίπτοντος μαγνητικού πεδίου έχει μόνο την οριζόντια συνιστώσα H_{iy}, κάθετη στη διεύθυνση του

πομπού και δεν υπάρχει κατακόρυφο μαγνητικό πεδίο. Το προσπίπτον ηλεκτρικό πεδίο έχει μια οριζόντια συνιστώσα E_{ix}, στην διεύθυνση του πομπού, και μια κατακόρυφη συνιστώσα E_{iz} αλλά καμία συνιστώσα στη διεύθυνση Y (Parasnis 1979).



Σχήμα 3.1. Πεδίο V.L.F σε μακρινό σημείο

Το 1937 αποδείχθηκε από τον NORTON (από Parasnis 1979) ότι σε ένα ομογενές και αγώγιμο έδαφος η συνιστώσα E_{ix} οδηγεί την συνιστώσα E_{iz} σε φάση 45°, έτσι ώστε το διάνυσμα E (η συνισταμένη), να πολώνεται ελλειπτικά. Επιπλέον, αποδείχθηκε ότι κατά μήκος ενός τέτοιου εδάφους, σε αποστάσεις μεγαλύτερες από ένα μήκος κύματος από την κεραία, η γωνία λ που σχηματίζουν ο κύριος άξονας της έλλειψης με την κατακόρυφο και ο λόγος των αξόνων έλλειψης, παραμένουν πρακτικά σταθερά σε όλα τα σημεία. Επιπλέον $E_z >> E_x$. Η ακριβής έκφραση του λ είναι πολύπλοκη. Επειδή όμως ρ*ε*f << 1, στις γεωφυσικές εφαρμογές μπορεί να απλοποιηθεί και να δώσει για το πεδίο του αέρα στην επιφάνεια της Γης τον τύπο:

$$\tan \lambda = \left(\pi \cdot \rho \cdot \varepsilon_0 \cdot f\right)^{1/2} = 0,527 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\rho \cdot f\right)^{1/2} \quad (3.1)$$

όπου ρ: είναι η ειδική αντίσταση

- f: είναι η συχνότητα
- ε: είναι η διηλεκτρική σταθερά του υλικού μέσου
- ε₀: είναι η διηλεκτρική σταθερά του κενού (Parasnis 1979)

Αποδεικνύεται ότι, ακόμη κι αν p=10KOhm-m και f = 20KHz, το λ είναι μόλις 4,5°, δηλαδή ο κύριος άξονας της έλλειψης είναι πρακτικά κατακόρυφος. Πρέπει να τονίσουμε ότι η γωνία λ δεν πρέπει να συγχέεται με την γωνία λ ', που δημιουργείται από την συνισταμένη των πλατών του E_x και του E_2 με την κάθετο. Η γωνία λ ', υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tan \lambda' = \left(2\pi \cdot \rho \cdot \varepsilon_0 \cdot f\right)^{1/2}$$

και είναι μια καθαρά γεωμετρική γωνία, χωρίς φυσική ύπαρξη (Σχ. 3.2).



Σχήμα 3.2. Διάκριση μεταξύ λ και λ'

3.2 Φυσικές αρχές της μεθόδου V.L.F

Όταν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο από έναν πομπό V.L.F περνάει μέσα από ένα αγώγιμο σώμα τότε, με βάση την αρχή της επαγωγής, αναπτύσσονται στο σώμα αυτό δευτερεύοντα ρεύματα. Τα δευτερεύοντα ρεύματα θα παράγουν με τη σειρά τους ένα δευτερογενές πεδίο το οποίο θα προσπαθήσει να απωθήσει το αρχικό πεδίο.

Μόνο ένα σώμα χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να παράγει δευτερογενή πεδία. Στον πίνακα 2 που ακολουθεί δίνονται μερικές χαρακτηριστικές τιμές της ειδικής αντίστασης ρ για μερικά υλικά.

ΥΛΙΚΟ	ρ	z (βάθος διείσδυσης)			
Σκληρό πέτρωμα (γρανίτης)	> 5000 Ohm-m	> 300 m			
Άργιλος	10-100 Ohm-m	15-40 m			
Ξηρή άμμος	200-5000 Ohm-m	50-300 m			
Υγρή άμμος	50-200 Ohm-m	30-60 m			
Νερό	50-200 Ohm-m	30-60 m			
Αλμυρό νερό	1-10 Ohm-m	4-15 m			

Πίνακας 2

Εκτός από την ειδική αντίσταση ρ δίνεται και το βάθος διείσδυσης z, το οποίο ορίζεται από την σχέση:

$$z = 500 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (m)$$

όπου ρ: είναι η ειδική αντίσταση σε Ohm-m

 \mathbf{f} : είναι η συχνότητα σε Hz

Εισάγοντας μια τυπική συχνότητα V.L.F των f = 15.6KHz στην παραπάνω εξίσωση, λαμβάνοντας για το βάθος διείσδυσης ότι:

$$z = 4\sqrt{\rho}$$
 (m)

Όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα έχει φτάσει το βάθος z, έχει χάσει πολύ ενέργεια για να δημιουργήσει οποιαδήποτε επαγωγή. Επομένως, z είναι το μέγιστο βάθος μέχρι το οποίο μπορούμε να "δούμε" με τη μέθοδο VLF.

Ένα σώμα για να δημιουργήσει δευτερογενές πεδίο θα πρέπει να έχει ένα ελάχιστο μέγεθος και αρκετά χαμηλή αντίσταση.

Φυσιολογικά, το μήκος του σώματος κατά την διεύθυνση του αζιμουθίου του πρέπει να υπερβαίνει τα 50m περίπου και το βάθος του τα 10m για να πραγματοποιηθεί επαγωγή. Το πάχος του σώματος, ωστόσο, μπορεί να είναι μόλις 0.5-1m. Επιπλέον, η μαγνητική συνιστώσα του πεδίου από τον πομπό V.L.F πρέπει να περνάει κάθετα μέσα από το σώμα, δηλαδή η διεύθυνση διάδοσης του κύματος πρέπει να είναι ίδια με την παράταξη του σώματος.

Συνοψίζοντας, η μέθοδος V.L.F είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό επιμηκών και ισχυρώς κεκλιμένων σωμάτων με χαμηλή αντίσταση.

Το WADI εντοπίζει (σε %) την αναλογία μεταξύ της κατακόρυφης και της οριζόντιας συνιστώσας. Επειδή το πρωτεύον πεδίο, από τον πομπό, είναι οριζόντιο η "φυσιολογική" ένδειξη στο WADI θα είναι μηδέν. Ακόμη και στην περίπτωση οριζόντια κειμένων στρωμάτων από π.χ. άργιλο ή αλμυρό νερό, η ένδειξη πάλι θα είναι μηδέν. Μόνο στην περίπτωση απότομων (δηλ. μεγάλης κλίσης) αγωγών, θα εμφανιστεί ανωμαλία.

Η απόκλιση από τις φυσιολογικές ενδείξεις ονομάζεται ανωμαλία, Για έναν αγωγό με μεγάλη κλίση, η τυπική ανωμαλία θα μοιάζει με αυτήν στο παρακάτω σχήμα, (Σχήμα. 3.3).



Σχήμα 3.3. Παράδειγμα γεωλογικών μοντέλων και ανωμαλιών V.L.F

Το σχήμα 3.3 δείχνει την αντιπροσωπευτική συμπεριφορά μιας ανωμαλίας V.L.F στα πρωτογενή δεδομένα. Ένα μέγιστο εμφανίζεται προς τα αριστερά και ένα ελάχιστο προς τα δεξιά του αγωγού.

Η παραπάνω σχεδιασμένη ανωμαλία (σχήμα.3.3, πάνω σκαρίφημα), είναι το πραγματικό μέρος, δηλαδή αυτό το μέρος του πεδίου αποτελεσμάτων, που βρίσκεται σε φάση με το πρωτεύον πεδίο του πομπού V.L.F Το όργανο μετράει, επίσης, και την φανταστική συνιστώσα που έχει διαφορά φάσης 90° με το πρωτεύον πεδίο.

Αυτός ο τρόπος γραφικής παράστασης της ανωμαλίας V.L.F δεν είναι κατάλληλος για όλες τις περιπτώσεις: αν π.χ. η γεωλογία μιας περιοχής είναι περίπλοκη, δηλαδή με αρκετούς αγωγούς, είναι σχεδόν αδύνατο να διαχωρίσουμε τις χωριστές ανωμαλίες. Η μέθοδος φιλτραρίσματος αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για να μετατρέψουμε αυτό το σύνθετο είδος ανωμαλίας σε μια πολύ περισσότερο απλή μορφή με μία μόνο κορυφή πάνω από τον αγωγό. Αυτό φαίνεται στο σχήμα (Σχήμα, 3.3 κάτω σκαρίφημα).

Σ' αυτό το απλό παράδειγμα που αναφέραμε παραπάνω, θα μπορούσαμε εύκολα να εντοπίσουμε το αγώγιμο σώμα από τα πραγματικά δεδομένα, αλλά συνήθως είναι συχνά πολύ πιο εύκολο να εντοπίσουμε τις ενδιαφέρουσες ζώνες από τα φιλτραρισμένα δεδομένα.

3.3 Τυπικές ανωμαλίες

Το όργανο WADI πάντα δείχνει το φιλτραρισμένο πραγματικό μέρος. Επομένως, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την συμπεριφορά των τυπικών ανωμαλιών, προκειμένου να είμαστε ικανοί να αναγνωρίζουμε ένα ενδιαφέρον σώμα. Πρώτα απ' όλα είναι πολύ σημαντικό το μήκος του προφίλ να είναι αρκετό. Είναι αδύνατο να κάνουμε αξιόπιστη ερμηνεία, αν η ανωμαλία δεν καλύπτεται εντελώς. Τι εννοείται με τον όρο πλήρης ανωμαλία, παρουσιάζεται στο σχήμα 3.4 (πάνω μέρος).

Παρατηρούμε ότι, η καμπύλη πηγαίνει από το περίπου μηδέν προς ένα μέγιστο, και πίσω πάλι στο μηδέν, Μια ανωμαλία χαρακτηρίζεται από το μέγεθος της, δηλαδή το ύψος και το πλάτος της. Στο σχήμα 3.4 (κάτω μέρος) παρουσιάζεται η διαφορά ανάμεσα σ' έναν αγωγό που βρίσκεται σε μικρότερο βάθος, και έναν αγωγό που βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος μέσα στην γη.



Σχήμα 3.4

Παρατηρούμε ότι για έναν αγωγό σε μεγαλύτερο βάθος, το πλάτος της ανωμαλίας αυξάνεται ενώ το ύψος της μειώνεται. Ωστόσο, ένα μικρό εύρος μπορεί, επίσης, να προκληθεί από έναν αγωγό που όμως, δεν είναι πολύ καλός αγωγός.

Το όργανο WADI καταγράφει όχι μόνο το φιλτραρισμένο αληθινό μέρος, αλλά και το φανταστικό, Στην περίπτωση ενός πολύ καλού αγωγού (σώμα κοιτάσματος ή ζώνη διαρρήξεως που περιέχει νερό με άλατα), το φανταστικό φιλτραρισμένο μέρος της ανωμαλίας έχει το ίδιο μέγεθος με το πραγματικό μέρος της, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 3.5.





Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζεται η συμπεριφορά πάνω σε μια δομή με μια συγκριτικά υψηλή αντίσταση π.χ. μια ζώνη διάρρηξης γεμάτη με νερό. Σ' αυτήν την περίπτωση το εύρος του φανταστικού μέρους είναι τυπικά πολύ μικρότερο απ' ότι αυτό του αληθινού μέρους.



Σχήμα 3.6. Δομή με υψηλή αντίσταση (φιλτραρισμένα δεδομένα)

Γενικά, είναι πολύ πιο δύσκολο να ερμηνευθεί μια ανωμαλία στο φανταστικό της μέρος, από ότι στο πραγματικό μέρος. Επομένως, όλες οι ερμηνείες πρέπει να βασίζονται στο φιλτραρισμένο αληθινό μέρος, Το φιλτραρισμένο αληθινό μέρος, πάντοτε θα δείχνει μια θετική κορυφή πάνω από έναν αγωγό, ενώ το φανταστικό μέρος μπορεί να δείξει μια θετική, καθώς και μια αρνητική κορυφή, αναλόγως με τις συνθήκες του επικείμενου στρώματος.

Το φανταστικό μέρος έχει κάποια αξία, μόνο κατά την λήψη των τελικών αποφάσεων, όσον αφορά την ποιότητα του αγωγού.

3.4 Το κύμα V.L.F στο έδαφος

Χάρη στη σχεδόν άπειρη αγωγιμότητα του εδάφους, συγκρινόμενου με τον αέρα, τον κύμα V.L.F φτάνοντας σε κάθε σημείο διαθλάται κατακόρυφα προς τα κάτω στο έδαφος, ανεξάρτητα από την γωνία πρόσπτωσης του. Στο κύμα που διαδίδεται στο έδαφος, το οριζόντιο πεδίο E_{tx} καθυστερεί κατά 45° σε φάση πίσω από το κατακόρυφο πεδίο E_{tz} και, επιπλέον, $E_{tx} >> E_{tz}$ όπου, η διεύθυνση ζ στην διάδοση στον αέρα, είναι η διεύθυνση x στην διάδοση στο έδαφος και το αντίστοιχο για το x του αέρα που γίνεται z. Επομένως, το ηλεκτρικό διάνυσμα E_t του εκπεμπόμενου πεδίου είναι επίσης ελλειπτικά πολωμένο, αλλά ο κύριος άξονας της έλλειψης είναι τώρα σχεδόν οριζόντιος, Αν η κλίση του με το οριζόντιο δηλώνεται με το λ', ισχύει η σχέση 3.1. Το εκπεμπόμενο μαγνητικό πεδίο έχει μόνο μία συνιστώσα, την H_{ty} , στην διεύθυνση Υ.

Η ένταση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου στο κύμα που διαδίδεται μπορούν να γραφούν ως:

$$E_{tx} = \left(\mu\rho\omega\right)^{1/2} \cdot H_{ty}(O) \cdot \exp(-bz) \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{\Lambda}\right)$$
(3.2)
$$H_{ty} = H_{ty} \cdot \exp(-bz) \cdot \cos(\omega t)$$
(3.3)

όπου z: είναι το βάθος

$$b = \left(\frac{\mu\omega}{2\rho}\right)^{1/2}$$

 H_{ty} : είναι το πλάτος της έντασης του μαγνητικού πεδίου της επιφάνειας (Parasnis 1979).

Αυτές οι εξισώσεις δείχνουν ότι τα πλάτη του E_{tx} και του H_{ty} μειώνονται εκθετικά και ότι το E_{tx} , βρίσκεται μπροστά σε φάση από το H_{ty} κατά π/4.

Επίσης, καθένα από τα δύο πεδία υστερούν σε φάση από το πρωτογενές πεδίο κατά b_{z} . Τέλος, ο λόγος των πλατών του E_{tx} και του H_{ty} , όπως προκύπτει από τις σχέσεις (3.2) και (3.3), είναι:

$$\frac{|\underline{E}_{tx}|}{|\underline{E}_{ty}|} = (\mu\rho\omega)^{1/2}$$

3.5 Μετρήσεις με σταθμό V.L.F στην διεύθυνση του αζιμούθιου γεωλογικής δομής

Αυτή η περίπτωση, στην οποία ένας σταθμός επιλέγεται έτσι ώστε το κύμα εδάφους V.L.F να φτάνει μια γεωλογική δομή κατά τη διεύθυνση του αζιμουθίου της, στην περιοχή των μετρήσεων φαίνεται στο σχήμα 3.7.

Συχνά αναφέρεται ως "πόλωση Ε" καθώς το διάνυσμα Ε βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο, που ορίζεται από την παράταξη της γεωλογικής δομής και το πεδίο Η, είναι εγκάρσιο στο αζιμούθιο (παράταξη) της γεωλογικής δομής και, επομένως, επάγει ρεύματα σε αγωγούς, οι οποίοι κείτονται σύμφωνα με την γεωλογική κλίση. Το εκπεμπόμενο πεδίο Η_{ty} επάγει ρεύματα στον αγωγό, που φαίνονται στο σχήμα 3.7, αλλά το δευτερογενές μαγνητικό πεδίο H^s που δημιουργούν δεν είναι, γενικά, οριζόντιο. Επιπλέον, καθώς τα πεδία H_{iy} και H^s δεν βρίσκονται σε φάση η συνισταμένη τους πολώνεται και περιγράφει μια έλλειψη, αλλάζοντας σε μέγεθος κυκλικά, καθώς περιστρέφεται.

Σε απομακρυσμένα σημεία ενός προφίλ, όπως αυτό που είναι σχεδιασμένο στο σχήμα 3.7, ένα κατακόρυφο σωληνοειδές πηνίο του δέκτη δεν θα δείξει κανένα σήμα. Στην περιοχή του αγωγού ένα σήμα επάγεται στο πηνίο εξαιτίας του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου. Στις περισσότερες μετρήσεις V.L.F, στην πράξη, το πηνίο στρέφεται στο κατακόρυφο επίπεδο, κάθετα, του προφίλ (επίπεδο ψ-z), για να γίνει το σήμα ελάχιστο. Σ' αυτή τη θέση το πηνίο είναι κάθετο με τον κύριο άξονα της έλλειψης και το υπολειπόμενο σήμα σε αυτό οφείλεται, στο πεδίο κατά μήκος του δευτερεύοντος άξονα. Η κλίση του άξονα του σωληνοειδούς από την κατακόρυφο, είναι ίση με την κλίση του κύριου άξονα της έλλειψη, είναι στο κατακόρυφο επίπεδο του προφίλ το οποίο, αν και δεν ισχύει πάντοτε, είναι σχεδόν η περίπτωση για επιμήκεις α-γωγούς. Η κλίση είναι πάνω από την οριζόντια (θέση) στην μια πλευρά του αγωγού και κάτω από αυτήν στην άλλη, και ακριβώς πάνω από τον αγωγό η κλίση είναι μηδέν.



Σχήμα 3.7. Αγωγός παράλληλος με την διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Parasnis 1979)

Ένα δεύτερο σωληνοειδές πηνίο σε κατάλληλη γωνία με το πρώτο και με τον άξονα του στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο, θα καταγράψει το πεδίο που αντιστοιχεί στον κύριο άξονα. Μια σύγκριση των σημάτων στα δύο πηνία δίνει τον λόγο b/a, του δευτερεύοντος άξονα του πεδίου (b) προς τον κύριο άξονα του (a).

Αν ΔV είναι το εύρος της κατακόρυφης συνιστώσας H^s , θ είναι η κλίση και ψ η διαφορά φάσης ανάμεσα στο H_{iy} και στο H^s , μπορεί να αποδειχθεί ότι:

$$\tan \approx 2\Delta V \cdot \cos(\psi / H_{iv}(O))$$

Καθώς συνήθως ΔV<< H_{iy} (O) μπορούμε να θέσουμε tan (2θ) \approx 2θ και επομένως

$$\theta \approx \Delta V \cdot \cos(\psi / H_{iv}(O))$$

Το ΔV*cos(ψ) είναι η πραγματική συνιστώσα του ΔV. Οπότε, 100*θ (μετρημένο σε ακτίνια), που είναι η ποσότητα που διαβάζεται στα V.L.F όργανα σε μονάδες τοις εκατό, μετράει την πραγματική συνιστώσα του κατακόρυφου δευτερεύοντος πεδίου, επί τοις εκατό της έντασης του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου V.L.F.

Ο λόγος των αξόνων b/a, αποδεικνύεται ότι είναι κατά προσέγγιση ίσος με $(\Delta V^* \sin(\psi)/H_{iy}(O))$ και αντιστοιχεί στη φανταστική (ή τετραγωνισμένη) συνιστώσα του δευτερεύοντος κατακόρυφου πεδίου σαν κλάσμα της έντασης του πρωτεύοντος πεδίου.

Έχουμε υποθέσει ότι το προσπίπτον πεδίο H_{iy} είναι ακριβώς στη σωστή γωνία ως προς την παράταξη. Γενικά, αυτό δεν ισχύει στην πράξη. Αν α είναι η γωνία ανάμεσα στο αζιμούθιο (παράταξη) και την H_{ty}, το επαγωγικό πεδίο που εκπέμπεται στο έδαφος θα είναι: H'_{ty} =H_{ty}*sin(a) και H'_{ty}<H_{ty}, Ωστόσο, η ένταση των επαγόμενων ρευμάτων και του δευτερεύοντος πεδίου τους μειώνεται με την ίδια σχέση, κατά sin(a), και με μια καλή πρώτη προσέγγιση ούτε το μέγεθος του θ, ούτε ο λόγος b/a κατά μήκος ενός προφίλ, που είναι κάθετο στην παράταξη, επηρεάζονται στην πράξη.



Σχήμα 3.8. Παράδειγμα ανωμαλίας V.L.F (Parasnis 1979)

Το πάνω τμήμα του σχήματος 3.8 δείχνει ένα προφίλ V.L.F (την πραγματική συνιστώσα) σταυρωτά προς δύο παράλληλους σουλφιδικούς αγωγούς, μήκους - μερικών χιλιομέτρων ο καθένας, στην βόρεια Σουηδία. Μια πρώτη ματιά στο κατώτερο μέρος της εικόνας θα πείσει κάποιον ότι η κλίση είναι τέτοια, που σε κάθε σημείο μέτρησης ο άξονας του πηνίου στη θέση με το ελάχιστο σήμα θα δείχνει προς τον αγωγό.

Σε κατακόρυφους αγωγούς οι καμπύλες των μετρήσεων της κλίσης, θα πρέπει να είναι τέλεια αντισυμμετρικά ως προς την θέση του αγωγού (Σχήμα. 3.8), Αν υπάρχει μια σημαντική κλίση, τότε τα πειραματικά μοντέλα δείχνουν ότι η ακραία τιμή (κορυφή ή κοίλωμα) στο κάτω άκρο του βυθίσματος είναι αριθμητικά η μεγαλύτερη. Επίσης, στο Σχήμα. 3.8 παρουσιάζονται και οι ανωμαλίες με τη μέθοδο του κινούμενου λήπτη πηγής (20m απόσταση σπείρας, 1600Hz).



Σχήμα 3.9. Εντοπισμός ζωνών ρηγμάτων, που φέρουν νερό, μέσω των ανωμαλιών V.L.F (Parasnis 1979)

Οι μετρήσεις V.L.F της κλίσης του πεδίου Η, πάνω στο πεδίο πόλωσης της ηλεκτρικής συνιστώσας όπως απεικονίζεται στο Σχήμα, 3.7, είναι απλές και γρήγορες στην εκτέλεση τους και χρησιμοποιούνται εκτεταμένα για τον εντοπισμό θραύσεων (ρηγμάτων) που φέρουν νερό, ειδικά σε περιοχές σκληρού πετρώματος. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 3.9.

Τα δύο προφίλ έχουν διανυθεί σε αντίθετες κατευθύνσεις. Οι ανωμαλίες δεν είναι τέλεια αντισυμμετρικές και σε σχέση με ότι έχει ειπωθεί παραπάνω, οι ζώνες ρηγμάτων και στα δύο προφίλ θα παρουσιαστούν να κλίνουν προς τον Βορρά. Ακόμη, θα παρατηρηθεί ότι από τις δύο κάθετες οπές γεωτρήσεως σε καθεμιά από τις ρωγμές που δηλώθηκαν, η νούμερο Ι βρίσκεται στη σωστή πλευρά (είναι η θέση BI) και έχει μια απόδοση 6.000 λίτρων νερού την ώρα; ενώ η νούμερο ΙΙ, που έγινε χωρίς την ωφέλεια των μετρήσεων V.L.F, βρίσκεται στην λάθος πλευρά και η απόδοση της των 90 λίτρων την ώρα δεν είναι από τη βόρεια ρωγμή στο προφίλ 2. (Parasnis 1979).

3.6 Μετρήσεις με σταθμό V.L.F με διεύθυνση κάθετη στο αζιμούθιο γεωλογικής δομής

Αυτή η περίπτωση απεικονίζεται στο σχήμα 3.10. Μερικές φορές αναφέρεται ως πόλωση Η καθώς, το διάνυσμα του προσπίπτοντος μαγνητικού πεδίου βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο που ορίζεται από το αζιμούθιο (παράταξη) της γεωλογικής δομής.

Είναι προφανές ότι το εκπεμπόμενο μαγνητικό πεδίο δεν θα επάγει ρεύματα, στο επίπεδο του αγωγού και δεν θα υπάρχει δευτερεύον μαγνητικό πεδίο κατά μήκος του προφίλ μέτρησης. Το εκπεμπόμενο ηλεκτρικό πεδίο Ε_{tx} (στην υποτιθέμενη στιγμή) επάγει μια πυκνότητα θετικού φορτίου στην επιφάνεια του αγωγού abcd και μια αρνητική στην επιφάνεια efgh. Το δευτερεύον ηλεκτρικό πεδίο, εξαιτίας αυτών των φορτίων, είναι αντίθετο με το Ei_x πάνω από τον αγωγό, ώστε ο αγωγός θα δηλώνεται με ένα ελάχιστο στη φαινόμενη αντίσταση που υπολογίζεται από την εξίσωση 3.5. Σε αντίθεση με την υπόθεση της πόλωσης Ε, η ηλεκτρική κεραία στην παρούσα περίπτωση βρίσκεται κατά μήκος του προφίλ της μέτρησης, ενώ το πηνίο για τη λήψη του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετο προς το προφίλ και, φυσικά, οριζόντιο (Parasnis 1979).

Βλέπουμε ότι, όταν ένα κύμα V.L.F προσπίπτει με τη σωστή γωνία στη γεωλογική παράταξη υπάρχει μια ηλεκτρική αλλά καμία μαγνητική ανωμαλία πάνω από έναν ελασματοειδή αγωγό.



Σχήμα 3.10. Αγωγός με παράταξη κάθετη ως προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος εδάφους V.L.F (πόλωση H) (Parasnis 1979)

Το σχήμα 3.11 παρουσιάζει ένα προφίλ $ρ_{\alpha}$ που εξάγεται από τις μετρήσεις V.L.F διαμέσου ενός αγωγού μεταλλεύματος. Επίσης, στο σχήμα αυτό δείχνεται και η διακύμανση της διαφοράς φάσης, ανάμεσα στο E_x και στο H_y .



Σχήμα 3.11. Φαινόμενη αντίσταση ρ_α της λαμβάνεται από μετρήσεις της εμπέδησης των κυμάτων V.L.F. Η διαφορά φάσης των 45° μεταξύ των Ε και Η πεδίων, θα φανεί να επιταχύνεται στην νοτιότερη πλευρά, πολύ μακριά από τον αγωγό. (Parasnis 1979)

<u>3.7 Η επίδραση της τοπογραφίας στις παρατηρήσεις V.L.F</u>

Στην επιφάνεια του εδάφους το ηλεκτρικό ρεύμα ακολουθεί αναγκαστικά την τοπογραφία. Μια καλωδιακή κεραία που κείται πάνω στην επιφάνεια, θα μετρήσει το πραγματικό εφαπτομενικό ηλεκτρικό πεδίο στην δική του κατεύθυνση, καθώς η άλλη ηλεκτρική συνιστώσα στην επιφάνεια είναι ακριβώς κάθετη, στην επιφάνεια, και δεν επηρεάζει το μετρούμενο πεδίο. Επομένως, η επίδραση της τοπογραφίας στις ανωμαλίες E_x με την μέθοδο V.L.F είναι αμελητέα.

Όσον αφορά το μαγνητικό πεδίο η κατάσταση δεν είναι τόσο απλή, γιατί, όταν το κύμα V.L.F φτάσει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια εδάφους, η συνιστώσα του διανύσματος του μαγνητικού πεδίου, που είναι κάθετη προς την επιφάνεια, επάγει ρεύματα στο έδαφος και αυτά δημιουργούν ένα δευτερεύον μαγνητικό πεδίο, που δεν βρίσκεται σε φάση με το προσπίπτον μαγνητικό πεδίο. Επομένως, το μαγνητικό πεδίο γίνεται ελλειπτικά πολωμένο και μια ανωμαλία κλίσης προκύπτει ακόμα και αν το έδαφος υποτίθεται ότι είναι ομογενές. Το σχήμα 3.12, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμήσουμε την κλίση θ και τον λόγο των αξόνων που προκλήθηκε από την τοπογραφία. Προς αυτόν τον σκοπό είναι απαραίτητο πρώτα να υπολογίσουμε το τ, δηλαδή τη γωνία της πρόσπτωσης του κύματος με την επιφάνεια του εδάφους. Αυτή υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\tan \tau = \cot \beta' \frac{\sin \xi_1}{\sin \xi_2}$$
(Parasnis 1979)

όπου β' : είναι η κλίση της επιφάνειας εδάφους, κατά μήκος της γραμμής έρευνας, στο σημείο μέτρησης

ξι : είναι η οριζόντια γωνία ανάμεσα, στην διεύθυνση του εισερχόμενου μαγνητικού πεδίου και του αζιμουθίου (παράταξη) της μορφολογίας του εδάφους

 ξ_2 : είναι η οριζόντια γωνία ανάμεσα στην γραμμή έρευνας και του αζιμουθίου (παράταξη) της μορφολογίας.



Σχήμα 3.12. Τοπογραφικό αποτέλεσμα στις μετρήσεις V.L.F του Η-πεδίου (Parasnis 1979)

Σε γενικές γραμμές, αν η διεισδυτικότητα σε βάθος του κύματος V.L.F στο έδαφος είναι μικρή, το αποτέλεσμα του τοπογραφικού ανάγλυφου είναι ότι, οι ενδείξεις του οργάνου V.L.F είναι θετικές όταν ανεβαίνουμε μια πλαγιά και αρνητικές, όταν κατεβαίνουμε, με μια συνδετική παρακαμπτήριο στην κορυφή μιας οροσειράς ή στον πυθμένα μιας κοιλάδας. Επομένως, στο σχήμα του προφίλ κλίσης μιμείται αυτό της τοπογραφίας και είναι παρόμοιο με τις καμπύλες στο σχήμα 3.8 και 3.9. Η πιθανή επίδραση της τοπογραφίας πρέπει να εκτιμάται πριν η ανωμαλία κλίσης - γωνίας V.L.F, αποδοθεί σε έναν βαθύτερο αγωγό.

<u>3.8 Περιορισμοί και πηγές λαθών</u>

Υπάρχουν συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπου δεν μπορούμε να περιμένουμε, η μέθοδος V.L.F να δουλέψει καλά. Τέτοιες περιπτώσεις περιλαμβάνουν περιοχές, οι οποίες έχουν οριζόντια στρώματα εδάφους κα» πετρωμάτων και πολύ λίγα συστήματα θραύσεων (που συχνά συναντώνται σε νεαρά ιζηματογενή πετρώματα). Επιπλέον, αν το ανώτερο έδαφος είναι ηλεκτρικά αγώγιμο (π.χ. αλατώδη εδάφη και στρώματα αργίλου), θα είναι δύσκολο να αποκτήσουμε πληροφορίες για επίσης δομές στο υποκείμενο πέτρωμα.

Θα πρέπει να σημειωθεί, επίσης, ότι συγκεκριμένες δομές που δεν περιέχουν νερό μπορούν να είναι καλοί αγωγοί ηλεκτρισμού και, επομένως, να είναι εντοπίσιμες από το WADI. Παραδείγματα, τέτοιων δομών αποτελούν τα σώματα μεταλλευμάτων και επίσης υπόγεια και υπέργεια ηλεκτρικά καλώδια. Τέτοιες δομές έχουν ως αποτέλεσμα, να είναι συχνά αδύνατο να εξαχθούν καλά αποτελέσματα σε αστικοποιημένες περιοχές.

3.9 Παράδειγμα μέτρησης

Σε περιοχή της Στοκχόλμης πραγματοποιήθηκαν οκτώ παράλληλα προφίλ σε μια γνωστή ζώνη διάρρηξης. Όλα τα προφίλ μαζί παρουσιάζονται στο διάγραμμα που εικονίζεται στο σχήμα παρακάτω (Σχ.3.13).



Σχήμα 3.13. Παράλληλα προφίλ τα οποία πραγματοποιήθηκαν κάθετα στην ζώνη διάρρηξης

Πάνω σε όλα τα προφίλ, μια καθαρή ένδειξη (κορυφή) του αγώγιμου σώματος, φαίνεται γύρω από την συντεταγμένη 80N-100N. Επιπλέον, μια πολύ μικρή ανωμαλία φαίνεται γύρω από τη συντεταγμένη 200 N.

Σαν παράδειγμα θα εξετάσουμε το προφίλ 150W. Στα τέσσερα σχέδια που εικονίζονται παρακάτω (Σχήμα 3.14), τα πραγματικά δεδομένα παρουσιάζονται στο πρώτο σχέδιο (σχέδιο α), τα φιλτραρισμένα στο δεύτερο, (σχέδιο β), και η κάθετη (εγκάρσια) τομή στα δύο τελευταία. Η ζώνη διάρρηξης αναγνωρίζεται εύκολα στην καμπύλη του φιλτραρισμένου αληθινού μέρους, Στο φανταστικό μέρος σχεδόν καμία ανωμαλία δεν είναι ορατή. Μια πολύ πιθανή εξήγηση είναι ότι, η αντίσταση στη ζώνη διάρρηξης είναι αρκετά μεγάλη. Αν η ζώνη είχε γεμίσει με νερό εμπλουτισμένο με άλατα, η ανωμαλία στο φανταστικό μέρος θα ήταν πολύ μεγαλύτερη.

Όπως αναφέραμε προηγουμένως τα δύο τελευταία σχέδια του σχήματος 3.14 απεικονίζουν την κάθετη (εγκάρσια) τομή. Η τομή αυτή υπολογίζεται με το να εκτελέσουμε την διαδικασία φιλτραρίσματος σε διαδοχικά αυξανόμενο βάθος, και να αντιπροσωπεύσουμε την υπολογισμένη τιμή με μια γκρι σκιά.

Από το σχήμα αυτό βγάζουμε το συμπέρασμα ότι η ζώνη είναι αρκετά ρηχή (δηλαδή βρίσκεται σε αρκετά μικρό βάθος), και αποκλίνει ελαφρώς προς τον Νότο. Επομένως, είναι πολύ εύκολο όπως φαίνεται, να κάνουμε μια γεώτρηση βασιζόμενοι σ' αυτήν την αναπαράσταση.





γ) Εγκάρσια δεδομένα

Σχήμα 3.14. Αρχικά και φιλτραρισμένα δεδομένα, εγκάρσια τομή από την έρευνα σε περιοχή της Στοκχόλμης.

<u>4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ</u>

4.1 Γεωλογικα-Υδρογεωλογικά στοιγεία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συγκροτούν την γεωλογική δομή της περιοχής είναι οι:

Διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι (gn₂): Εμφανίζονται σκοτεινότεφροι ή καστανοί και λεπτόκοκκοι έως μεσόκοκκοι. Περιέχουν επίσης και διμαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, βιοτιτικούς γνεύσιους και σε μικρή εξάπλωση αμφιβολιτικά στρώματα. Παρατηρούνται άφθονες παρείσακτες κοίτες και φλέβες ή μάζες πηγματοειδών και σχιστιδών απλιτικών γρανιτών

Αμφιβολίτες (ab): σκοτεινοπράσινοι έως μαύροι με καλή στρώση, πολύ σκληροί.

<u>Διμαρμαρυγιακός γνεύσιος και βιοτιτικός γνεύσιος με ενστρώσεις αμφιβολιτών και</u> κεροστιλβικό γνεύσιο (ab-gn₂). Στην περιοχή έρευνας εμφανίζεται υπό μορφή επιμήκους ζώνης με διεύθυνση BA-NΔ που καταλήγει στην τεκτονική επαφή των σχηματισμών αμφιβολίτη και διμαρμαρυγιακών γνευσίων.

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη της περιοχής (IΓΜΕ, φύλλο Λαχανάς).



Σχήμα 1. Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ.

Η τεκτονική δομή της περιοχής χαρακτηρίζεται από την τεκτονική επαφή αμφιβολιτών-γνευσίων που στο βόρειο τμήμα της συναντάται με υποθετικό ρήγμα BA-NΔ διεύθυνσης.

<u>5.ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ</u>

5.1 Προγραμματισμός έρευνας

Η γεωφυσική έρευνα πραγματοποιήθηκε σε τρεις περιοχές που επιλέχθηκαν με βάση τα γεωλογικά-τεκτονικά στοιχεία που προέκυψαν από την μακροσκοπική παρατήρηση σε συνδυασμό με τα στοιχεία από υπάρχουσες γεωτρήσεις και με την χωρική κατανομή δικτύων και παροχών για την εκμετάλλευση της υπόγειας υδροφορίας.

Στον χάρτη του σχήματος 5.1, παρουσιάζονται οι τρεις περιοχές που ονομάζονται Α, Β και Γ και οι υπάρχουσες γεωτρήσεις. Η ακρίβεια των θέσεων τόσο των γεωτρήσεων όσο και των οδεύσεων V.L.F εξασφαλίστηκε με τη χρήση συσκευής GPS (Garmin 12XL).



Σχήμα 5.1. Περιοχές έρευνας Α, Β και Γ. Φαίνονται και οι θέσεις των υπαρχουσών γεωτρήσεων.

Από τις γεωτρήσεις παλαιότερη είναι η 1 ενώ η 2 πραγματοποιήθηκε το 1995. Η αρχική παροχή των γεωτρήσεων ήταν σημαντική, μειώθηκε όμως αισθητά στην συνέχεια. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε και η γεώτρηση 3 με στόχο να συναντήσει βαθύτερη υδροφορία αλλά και αυτή δεν απέδωσε τα αναμενόμενα.

 Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στοιχεία της έρευν
ας για την περιοχή $\Gamma.$

<u>Περιοχή Γ.</u>

Βρίσκεται βόρεια του οικισμού, δυτικά της ασφάλτου και πριν από την διασταύρωση του δρόμου με το ρέμα στο οποίο βρίσκεται και η διπλή γεώτρηση. Προτάθηκε με γνώμονα την θετική εισήγηση που υπήρχε από προηγούμενη έρευνα. Όπως φαίνεται και στον χάρτη στην περιοχή χαρτογραφείται αποκλειστικά ο σχηματισμός των αμφιβολιτών.



Σχήμα 5.2. Περιοχή έρευνας Γ. Με κόκκινες γραμμές παρουσιάζονται οι δύο οδεύσεις VLF που πραγματοποιήθηκαν. Με κύκλους παρουσιάζονται τα σημεία ανά 50 μέτρα όπως μετρήθηκαν από το GPS.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετρήσεις που έγιναν στις οδεύσεις που παρουσιάζονται στον χάρτη, καθώς και οι τιμές που προκύπτουν από την σχετική επεξεργασία.



Σχήμα 5.3. Αποτελέσματα της όδευσης VLF κατά μήκος της που σημειώνεται ως 6306 στο γενικό χάρτη. Το πάνω τμήμα του σχήματος δείχνει τη μεταβολή της πραγματικής και της φανταστικής συνιστώσας του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου ενώ στο κεντρικό τμήμα φαίνεται η φιλτραρισμένη έκδοση των μεταβολών αυτών. Η κατανομή της πυκνότητας ρεύματος που προκύπτει τόσο από την πραγματική όσο και από τη φανταστική συνιστώσα φαίνεται στο κάτω τμήμα του σχήματος.







Σχήμα 5.5. Αποτελέσματα της όδευσης VLF κατά μήκος της που σημειώνεται ως 6308 στο γενικό χάρτη. Το πάνω τμήμα του σχήματος δείχνει τη μεταβολή της πραγματικής και της φανταστικής συνιστώσας του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου ενώ στο κεντρικό τμήμα φαίνεται η φιλτραρισμένη έκδοση των μεταβολών αυτών. Η κατανομή της πυκνότητας ρεύματος που προκύπτει τόσο από την πραγματική όσο και από τη φανταστική συνιστώσα φαίνεται στο κάτω τμήμα του σχήματος.



Σχήμα 5.6. Αποτελέσματα της όδευσης VLF κατά μήκος της που σημειώνεται ως 6309 στο γενικό χάρτη. Το πάνω τμήμα του σχήματος δείχνει τη μεταβολή της πραγματικής και της φανταστικής συνιστώσας του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου ενώ στο κεντρικό τμήμα φαίνεται η φιλτραρισμένη έκδοση των μεταβολών αυτών. Η κατανομή της πυκνότητας ρεύματος που προκύπτει τόσο από την πραγματική όσο και από τη φανταστική συνιστώσα φαίνεται στο κάτω τμήμα του σχήματος.



Σχήμα 5.7. Αποτελέσματα της όδευσης VLF κατά μήκος της που σημειώνεται ως 6310 στο γενικό χάρτη. Το πάνω τμήμα του σχήματος δείχνει τη μεταβολή της πραγματικής και της φανταστικής συνιστώσας του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου ενώ στο κεντρικό τμήμα φαίνεται η φιλτραρισμένη έκδοση των μεταβολών αυτών. Η κατανομή της πυκνότητας ρεύματος που προκύπτει τόσο από την πραγματική όσο και από τη φανταστική συνιστώσα φαίνεται στο κάτω τμήμα του σχήματος.



Σχήμα 5.8. Αποτελέσματα της όδευσης VLF κατά μήκος της που σημειώνεται ως 6311 στο γενικό χάρτη. Το πάνω τμήμα του σχήματος δείχνει τη μεταβολή της πραγματικής και της φανταστικής συνιστώσας του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου ενώ στο κεντρικό τμήμα φαίνεται η φιλτραρισμένη έκδοση των μεταβολών αυτών. Η κατανομή της πυκνότητας ρεύματος που προκύπτει τόσο από την πραγματική όσο και από τη φανταστική συνιστώσα φαίνεται στο κάτω τμήμα του σχήματος.

5.2 Ερμηνεία-Αξιολόγηση

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2 στην περιοχή Γ πραγματοποιήθηκαν έξι (6) οδεύσεις από τις οποίες οι τρεις έγιναν με διεύθυνση 40° ΒΔ και οι υπόλοιπες 3 κάθετα στις προηγούμενες.

Από την αξιολόγηση των μετρήσεων στην περιοχή Γ προκύπτει η ύπαρξη 2 αγώγιμων ζωνών που αντιστοιχούν σε ρηξιγενής ζώνες. Η διεύθυνση των 2 αγώγιμων ζωνών είναι ΒΔ και ΒΑ αντίστοιχα.

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πρώτη ομάδα όπου εντοπίστηκαν αγώγιμες ζώνες με ποσοτικά χαρακτηριστικά θετικά για ύπαρξη υπόγειας υδροφορίας. Η ζώνη με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον αντιστοιχεί στην περιοχή ΒΔ των 100 μέτρων της τομής. Χαρακτηριστικό σημείο που οριοθετεί την περιοχή αποτελεί το δέντρο στην κορυφή του υψώματος, που βρίσκεται στο ΝΑ άκρο της αγώγιμης ζώνης.

Στις οδεύσεις BA διεύθυνσης (6309-10 και 11) εντοπίζεται αγώγιμη ζώνη με μικρότερου πλάτους ανωμαλία που συναντάται με την προηγούμενη στο BΔ τμήμα της υπό έρευνα περιοχής.

Τα χαρακτηριστικά τους αποτελούν ενδείξεις για ύπαρξη υπόγειας υδροφορίας. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά ερευνητική προσπάθεια στην περιοχή αυτή θα πρέπει να κατευθυνθεί στην διασταύρωση των δύο ρηξιγενών δομών και κυρίως στην ρηξιγενή ζώνη BA-NΔ διεύθυνσης. Η καλύτερη από πλευράς αξιολόγησης μετρήσεων θέση ορίζεται στο 150° μέτρο περίπου της όδευσης 6308 και 30° περίπου της όδευσης 6309. Στο σχήμα 2 σημειώνεται με τους δύο ομόκεντρους μπλε κύκλους.

<u>6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</u>

Στις προηγούμενες ενότητες παρουσιάστηκαν τα στοιχεία της έρευνας για την περιοχή αναλυτικά. Συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν για την περιοχή Γ παρουσιάζονται παρακάτω :

<u>Περιοχή Γ</u>

Εντοπίστηκε ρηξιγενείς αγώγιμη ζώνη διεύθυνσης BA-NΔ με θετικές ενδείξεις για την ύπαρξη υπόγειας υδροφορίας. **Προτείνεται ερευνητική υδρογεώτρηση** στο σημείο που σημειώνεται στο σχήμα 2 με δύο μπλε ομόκεντρους κύκλους.

<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>

Παπαζάχος, Β., 1986, Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Εκδ. ZHTH, pp.237-307 Parasnis, D.S., 1979, Principles of Applied Geophysics, A Halsted Press Book 3d Edition, pp.275