



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

“Γεωφυσικές μετρήσεις με τη μέθοδο Φυσικού
Δυναμικού (SP) και VLF στην περιοχή της
Περιστεράς, Ν. Θεσσαλονίκης.”

Διπλωματική Εργασία

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2018

ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, Α.Ε.Μ. 5136

Γεωφυσικές μετρήσεις με τη μέθοδο Φυσικού
Δυναμικού (SP) και VLF στην περιοχή της
Περιστεράς, Ν. Θεσσαλονίκης.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέα Γεωφυσικής.

Επιβλέποντες καθηγητές:

Φίκος Ηλίας, ΕΔΙΠ Τομέα Γεωφυσικής Α.Π.Θ.

Βαργεμέζης Γεώργιος, αναπληρωτής καθηγητής Α.Π.Θ.

© Λιακοπούλου Κωνσταντίνα, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2018.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Γεωφυσικές μετρήσεις με τη μέθοδο Φυσικού Δυναμικού (SP) και VLF στην περιοχή της Περιστεράς, Ν. Θεσσαλονίκης.- *Διπλωματική Εργασία*.

© Liakopoulou Konstantina, School of Geology AUTH, Dept. of Geophysics, 2018.

All rights reserved.

Geophysical measurements with the Self Potential (SP) and VLF method in the Peristera area at Thessaloniki.- Bachelor Thesis.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

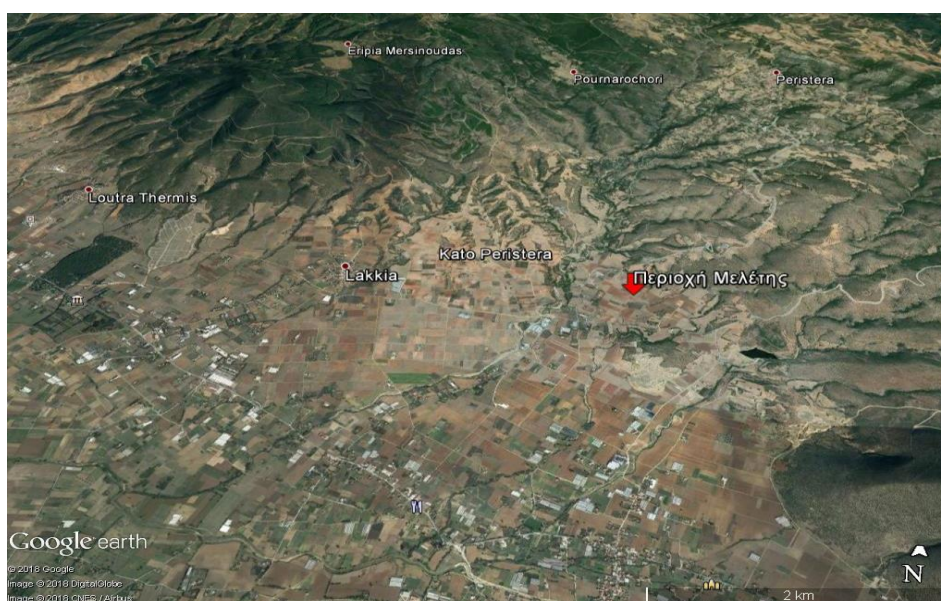
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	6
2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (SP).....	6
2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ VLF.....	10
2.2.1 Θεμελιώδεις αρχές των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων	10
2.2.2 Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικού κύματος.....	13
2.2.3 Ανάλυση μεθόδου VLF	13
2.2.4 Χαρακτηρισμός ανωμαλίας VLF	16
2.2.5 Κέντρο-Βάθος στόχου	17
2.2.6 Κλίση στόχου	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	21
4.1 ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	21
4.1.1 Λήψη μετρήσεων με τη μέθοδο Φυσικού Δυναμικού (SP).....	21
4.1.2 Λήψη μετρήσεων με τη μέθοδο VLF	22
4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	24
4.2.1 Επεξεργασία μετρήσεων μεθόδου VLF.....	24
4.2.2 Επεξεργασία μετρήσεων SP	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	31
5.1 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ VLF	31
5.2. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ(SP).....	35
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΛΛΗΝΙΚΗ, ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ. ..	38
6.1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	38
6.2 ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ	39
6.3 ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια εκπόνησης διπλωματικής διατριβής του τμήματος Γεωλογίας, του τομέα Γεωφυσικής από τη φοιτήτρια Λιακοπούλου Κωνσταντίνα, υπό την εποπτεία του Δρ. Φίκου Ηλία, μέλους ΕΔΙΠ του τομέα Γεωφυσικής ΑΠΘ και του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Βαργεμέζη Γεωργίου.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, στην περιοχή Περιστεράς του Νομού Θεσσαλονίκης, με τη χρήση γεωφυσικών ηλεκτρικών και ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων. Συγκεκριμένα από τις ηλεκτρικές μεθόδους χρησιμοποιήθηκε, η μέθοδος του Φυσικού Δυναμικού (SP) και από τις ηλεκτρομαγνητικές, η μέθοδος VLF. Σκοπός των μετρήσεων που έγιναν ήταν η μελέτη της γεωλογικής-γεωφυσικής δομής της περιοχής.

Όσον αφορά την επιστήμη της Γεωφυσικής, αυτή μελετά το εσωτερικό της Γής βάσει των φυσικών ιδιοτήτων των σωμάτων, με τη χρήση των διάφορων γεωφυσικών μεθόδων που έχουν ανακαλυφθεί και χρησιμοποιούνται παγκοσμίως. Έτσι λοιπόν, πραγματοποιούνται γεωφυσικές διασκοπήσεις, δηλαδή μελέτες της δομής των στρωμάτων του γήινου φλοιού, με τη βοήθεια των γεωφυσικών μεθόδων και των νόμων της Φυσικής, με σκοπό τον εντοπισμό γεωλογικών συνθηκών οικονομικής σημασίας και τη γενικότερη μελέτη μίας περιοχής, για τον προσδιορισμό άλλων σημαντικών δομών (π.χ. ρήγματα, αρχαία).



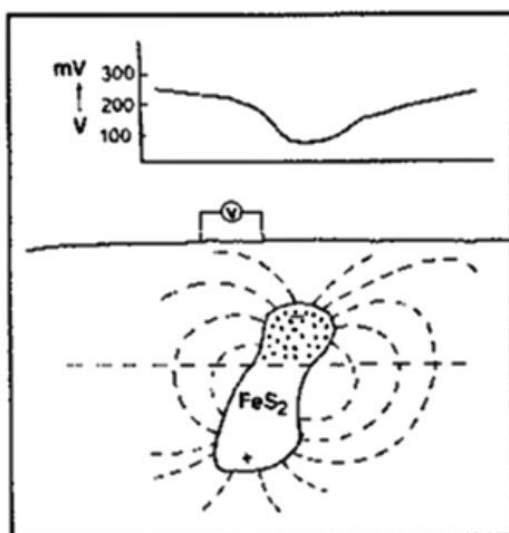
Σχήμα 1 Δορυφορική εικόνα περιοχής μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (SP)

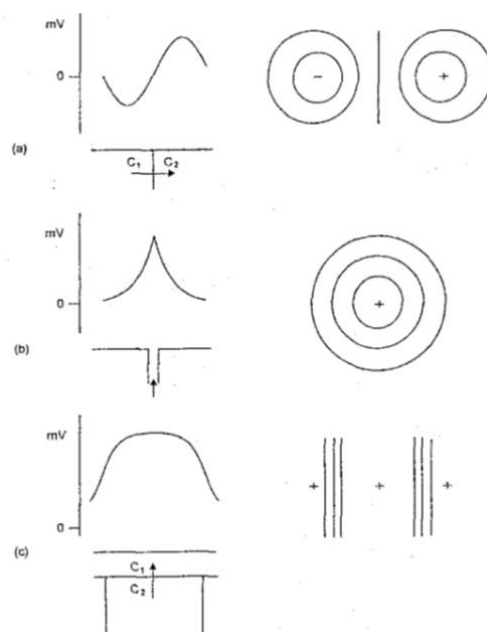
Η μέθοδος του Φυσικού Δυναμικού (SP) ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης. Στηρίζεται σε μετρήσεις δυναμικού, λόγω φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων τοπικού χαρακτήρα, τα οποία παράγονται με ηλεκτροκινητική (κίνηση νερού-διαλυμάτων) ή με ηλεκτροχημική (μεταξύ μεταλλευμάτων και διαλυμάτων που βρίσκονται σε επαφή) δράση.

Σε περίπτωση ύπαρξης μεταλλεύματος σε μικρό βάθος, όπως είναι ο πυρίτης, αυτό οξειδώνεται λόγω του μεταφερόμενου οξυγόνου από το νερό. Συνηθέστερα σε ένα τέτοιο μέταλλευμα η πάνω επιφάνεια οξειδώνεται περισσότερο από την κάτω, επειδή βρίσκεται κοντύτερα στην επιφάνεια. Κατά την οξείδωση παράγεται θειικό οξύ και άλατα, που αποτελούν ηλεκτρολύτη, ο οποίος βρίσκεται σε επαφή με το μέταλλευμα. Καθώς λοιπόν τα δύο άκρα του μεταλλεύματος έχουν διαφορετικό βαθμό οξείδωσης, δημιουργείται διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων του μεταλλεύματος και αυτό δρα πλέον ως ηλεκτρικό στοιχείο με αρνητικό πόλο το περισσότερο οξειδωμένο άκρο, που βρίσκεται πλησιέστερα στην επιφάνεια και θετικό πόλο το λιγότερο οξειδωμένο άκρο. Με τον τρόπο αυτό γεννιούνται τα ηλεκτρικά ρεύματα, που διαρρέουν το χώρο γύρω από το μέταλλευμα (Βασίλης Κ. Παπαζάχος, 1996).



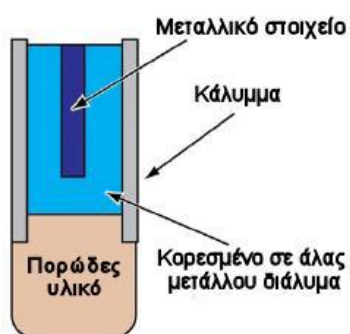
Σχήμα 2 Μεταβολή της τάσης πάνω από ένα πυριτικό σώμα με οξείδωση (M. Dobrin 1976).

Διαφορά δυναμικού δημιουργείται και λόγω ροής νερού κατά μήκος ενός ορίου μεταξύ σχηματισμών με διαφορετικές ιδιότητες, άρα και διαφορετικό C .



Σχήμα 3 Σχήματα ανωμαλιών φυσικού δυναμικού σε συγκεκριμένες ροές: α) Οριζόντια ροή, β) Ροή σε πηγάδι και γ) Ροή κάθετη σε κατακόρυφο όριο. (D.S. Parasnis 1995).

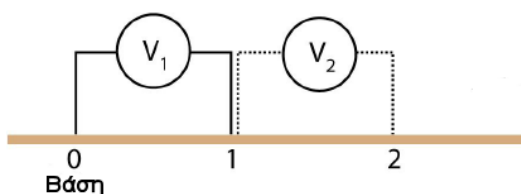
Κατά τις μετρήσεις η μετρούμενη τάση V είναι της τάξης των 5-1000mV και υπολογίζεται με τη χρήση βολτομέτρου ή γαλβανομέτρου και ειδικών πορωδών ηλεκτροδίων, με σκοπό την αποφυγή της πόλωσης.



Σχήμα 4 Μη πολούμενο ηλεκτρόδιο. (L. Marescot 2001).

Η μετρούμενη τάση μπορεί να υπολογιστεί με δύο τρόπους, με τη διάταξη βαθμίδας ή σταθερής βάσης.

Στη **διάταξη βαθμίδας** ή σταθερών ηλεκτροδίων χρησιμοποιούνται δύο ηλεκτρόδια συνδεδεμένα με καλώδιο σταθερού μήκους και ένα βολτόμετρο, που βρίσκεται ανάμεσά τους. Αφού πραγματοποιηθεί η μέτρηση η διάταξη μετακινείται έτσι ώστε το πρώτο ηλεκτρόδιο της σειράς να πάρει τη θέση του δεύτερου και το δεύτερο ηλεκτρόδιο να πάρει τη νέα θέση, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.

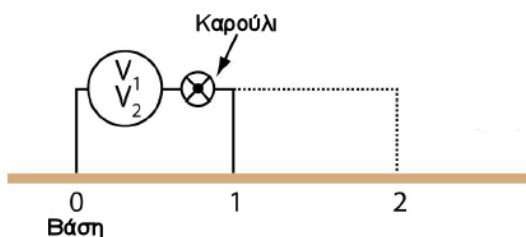


Σχήμα 5 Διάταξη βαθμίδας. (L. Marescot 2001).

Πλεονεκτήματα της διάταξης αυτής είναι η χρήση μικρού μήκους καλωδίου με αποτέλεσμα την αύξηση της μηχανικής αντοχής του, ο ευκολότερος έλεγχος τυχών βλαβών του και η επιδιόρθωσή του. Ακόμα, λόγω του μικρού μήκους του εξοικονομείται χρόνος τόσο για την προετοιμασία της διάταξης, όσο και για το μάζεμα αυτής.

Από την άλλη πλευρά μειονέκτημα της διάταξης αποτελεί η ανάγκη μετακίνησης και των δυο ηλεκτροδίων, γεγονός που συνεπάγεται την απαίτηση για παρουσία δυο τουλάχιστον ατόμων. Επίσης, η διάταξη αυτή παρουσιάζει μεγάλη επιδεκτικότητα σε σφάλματα, όπως στις επαφές και στα χρονικά μεταβαλλόμενα δυναμικά προκαλώντας δυσκολίες στην αναγνώριση και διόρθωση των σφαλμάτων.

Στη **διάταξη σταθερής βάσης** ή διάταξη ολικού πεδίου χρησιμοποιείται ένα σταθερό ηλεκτρόδιο βάσης, ένα κινούμενο ηλεκτρόδιο, ένα βολτόμετρο και το καλώδιο που τα συνδέει, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 6 Διάταξη σταθερής βάσης. (L. Marescot 2001).

Ενώνουμε το ένα άκρο του καλωδίου με το σταθερό ηλεκτρόδιο. Ο θετικός πόλος του βολτομέτρου συνδέεται με το κινούμενο ηλεκτρόδιο και ο αρνητικός με το καλώδιο. Οι ακόλουθοι σταθμοί μετρήσεων έχουν συγκεκριμένο βήμα (απόσταση) κάθε φορά, για να ληφθεί η μέτρηση.

Πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το καλώδιο δε σέρνεται κατά τη μεταφορά του, οπότε αποφεύγονται τυχόν φθορές του. Επίσης, είναι μικρότερα τα σφάλματα λόγω κακών επαφών, πόλωσης ηλεκτροδίων και χρονικά μεταβαλλόμενων δυναμικών και ευκολότερη η αναγνώριση αυτών και η διόρθωσή τους. Οι μετρήσεις μπορούν να επιτευχθούν γρηγορότερα και από ένα μόνο άτομο και η διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε δυσπρόσιτες περιοχές.

Ωστόσο, μειονέκτημα της διάταξης αποτελεί η ανάγκη επιστροφής στο βασικό ηλεκτρόδιο, ώστε να μαζευτεί το καλώδιο και το σταθερό ηλεκτρόδιο βάσης. Παρόλο που το καλώδιο δε σέρνεται μπορεί να υπάρξουν φθορές από άλλους δευτερογενείς παράγοντες όπως οχήματα, ζώα κ.α. και για αυτό υπάρχει σπατάλη χρόνου για έλεγχο όλου του καλωδίου.

Παραπάνω έγινε λόγος για σφάλματα στις μετρούμενες τιμές με τη χρήση της μεθόδου του Φυσικού Δυναμικού. Χρονικά μεταβαλλόμενες επιδράσεις στις τιμές του φυσικού δυναμικού, που οφείλονται σε τελλουρικά ρεύματα, τοπικά αίτια και ανθρώπινες παρεμβάσεις, οι βροχές, οι μεταβολές θερμοκρασίας, τα βιομηχανικά μέσα, τα μέσα εξόρυξης μεταλλευμάτων, οι διαφορές υψομέτρου, η αλλαγή βλάστησης κ .α. είναι μερικά από τα αίτια που προκαλούν τη γένεση σημαντικών τάσεων και άρα σφαλμάτων, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη μετέπειτα μελέτη των δεδομένων.

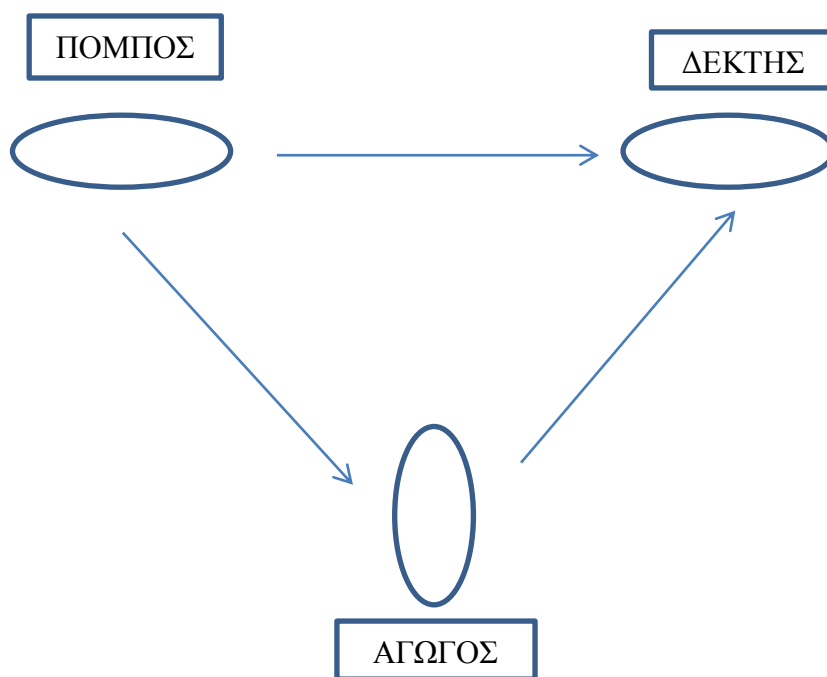
Η μέθοδος του Φυσικού Δυναμικού παρόλο που αποτελεί την παλαιότερη μέθοδο γεωφυσικής διασκόπησης, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση πετρελαίου, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί σε μεταλλευτικές έρευνες, με σκοπό τον εντοπισμό μεταλλοφόρων κοιτασμάτων, τα οποία βρίσκονται σε βάθη έως 30m μέσα στη Γή. Επίσης, χρησιμεύει στην περιγραφή ροής του υπόγειου νερού και των γεωθερμικών υγρών καθώς και στον εντοπισμό διαρροών νερού σε φράγματα, στην ανίχνευση εγκοίλων ή σπηλαίων, ρηξιγενών δομών και σπανιότερα εφαρμόζεται στην αρχαιομετρία.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ VLF

Η μέθοδος VLF ανήκει στις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και πιο συγκεκριμένα στις μεθόδους της γωνίας κλίσης, μαζί με τη μέθοδο AFMAG και τη μέθοδο τοπικού πομπού.

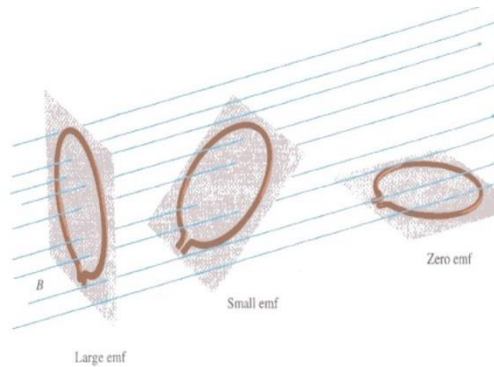
2.2.1 Θεμελιώδεις αρχές των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων

Στις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης παράγονται με τεχνητό ή φυσικό τρόπο στην επιφάνεια της Γης ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Έστω λοιπόν ότι έχουμε ένα πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα, τότε αυτό μπορεί είτε να φτάσει απευθείας και σχεδόν αμετάβλητο σε ένα δέκτη στην επιφάνεια της Γης είτε μπορεί να συναντήσει ένα αγώγιμο σώμα, καθώς αυτό ταξιδεύει μέσα στη Γη με αποτέλεσμα να επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο αγώγιμο αυτό σώμα. Σε αυτή την περίπτωση γεννιέται ένα δευτερεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το οποίο επίσης φτάνει στο δέκτη και συμβάλει με το πρωτεύον κύμα. Μεταξύ των δύο κυμάτων και της άφιξής τους στον δέκτη υπάρχει μία διαφορά φάσης, καθώς το πρωτεύον κύμα φτάνει νωρίτερα από το δευτερεύον. Επίσης, το δευτερεύον κύμα έχει ίδια συχνότητα με το πρωτεύον και μικρότερο πλάτος από αυτό, ενώ φτάνει στο δέκτη από διαφορετική διεύθυνση.

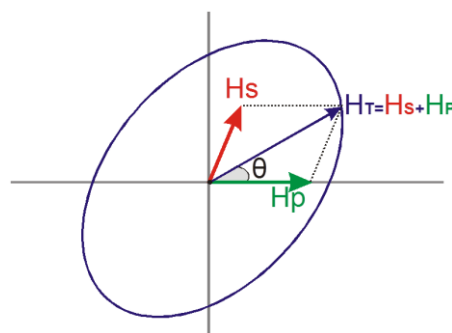


Σχήμα 7 Ο πομπός των αρχικών (πρωτογενών) ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα μέσα στη Γη, το οποίο δημιουργεί το δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό κύμα και ο δέκτης των δύο αυτών κυμάτων μπορούν να θεωρηθούν πηγία (Grant and West 1965).

Αν υποθέσουμε ότι πομπός, αγωγός και δέκτης είναι πηνία, τότε το πηνίο του πομπού διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα και παράγει το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο έντασης H_p , ενώ στο πηνίο του αγωγού επάγεται εναλλασσόμενο ρεύμα και παράγεται δευτερεύον μαγνητικό πεδίο έντασης H_s . Στο πηνίο του δέκτη εμφανίζεται ρεύμα, λόγω της συμβολής του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου. Το συνισταμένο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στη θέση του δέκτη συμβολίζεται με H_t . Όταν το επίπεδο του πηνίου είναι κάθετο στη διεύθυνση της συνισταμένης, H_t , των δύο διανυσμάτων H_p και H_s , τότε το ρεύμα είναι μέγιστο, ενώ όταν το επίπεδο του πηνίου είναι παράλληλο προς τη συνισταμένη H , το ρεύμα μηδενίζεται (Σχήμα 8). Τα διανύσματα H_p και H_s μεταβάλλονται αρμονικά με το χρόνο και το άκρο της συνισταμένης τους H διαγράφει έλλειψη, της οποίας ο μέγιστος άξονας σχηματίζει γωνία, θ , με τη συνιστώσα του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου H_p (Σχήμα 9). Η γωνία, θ , λοιπόν ονομάζεται γωνία κλίσης της συνισταμένης έντασης, H_t , του μαγνητικού πεδίου.

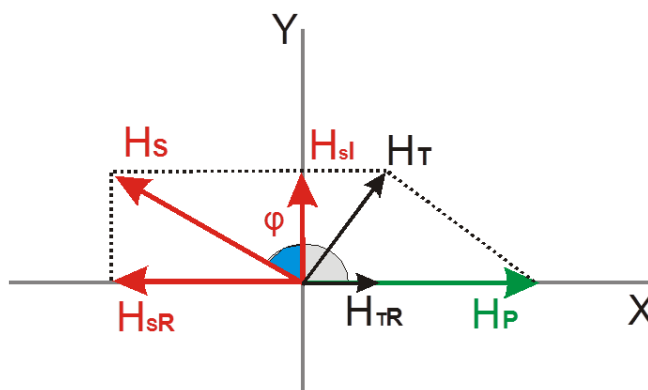


Σχήμα 8 Ροή ρεύματος από πηνίο.

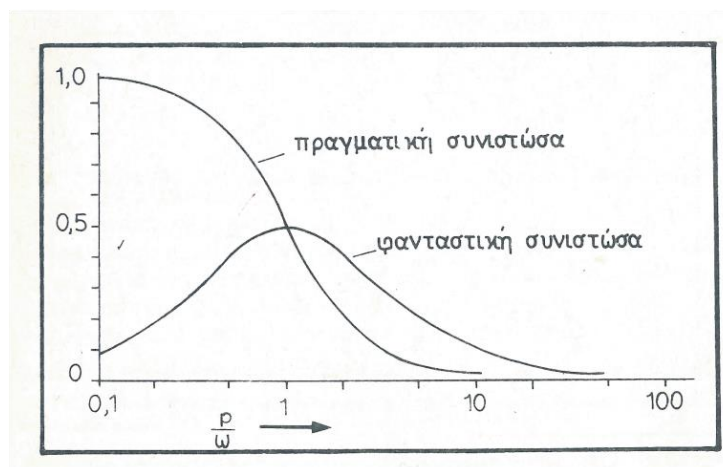


Σχήμα 9 H_p = πρωτογενές πεδίο, H_s = δευτερογενές πεδίο, H_t = συνισταμένο πεδίο και θ = γωνία κλίσης.

Η προβολή του H_s στη διεύθυνση του H_p (Σχήμα 10) έχει μέτρο $H_{sR}=H_s \sin \varphi$ ($\varphi = \arctan(2\pi f L/R)$) και διαφορά φάσης π με την H_p και καλείται **πραγματική συνιστώσα** του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου, ενώ η προβολή του H_s πάνω στην κάθετη στο H_p ευθεία έχει μέτρο $H_{sI}=H_s \cos \varphi$ και διαφορά φάσης $\pi/2$ με την H_p και λέγεται **φανταστική συνιστώσα** του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου. Η H_{TR} είναι η πραγματική συνιστώσα του συνισταμένου πεδίου.



Σχήμα 10 Σχέση μεταξύ των φάσεων της έντασης, H_s , του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου και της έντασης, H_p , του αρχικού μαγνητικού πεδίου.



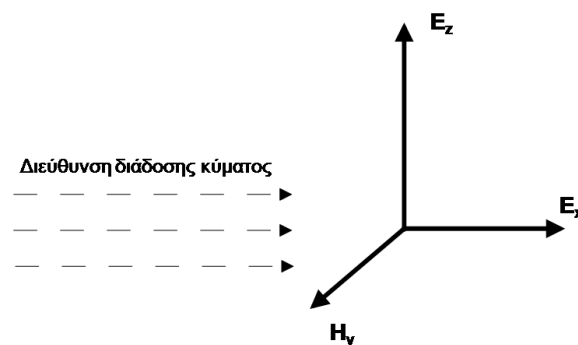
Σχήμα 11 Εξάρτηση συχνοτήτων από το λόγο της ειδικής αντίστασης προς την κυκλική συχνότητα.

Στο Σχήμα 11 απεικονίζεται η μεταβολή τόσο της πραγματικής όσο και της φανταστικής συνιστώσας συναρτήσει του λόγου ρ/ω . Παρατηρείται ότι για χαμηλές τιμές ρ/ω και υψηλές τιμές συχνότητας η πραγματική συνιστώσα είναι μεγαλύτερη της φανταστικής του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου, ενώ για μικρότερες τιμές συχνοτήτων και μεγάλο λόγο ρ/ω συμβαίνει το αντίστροφο. Επίσης, ένας καλός αγωγός εμφανίζει ανωμαλία με μεγαλύτερη πραγματική συνιστώσα απ' ότι φανταστική, ενώ ένας κακός αγωγός εμφανίζει ανωμαλία με μεγαλύτερη φανταστική συνιστώσα απ' ότι πραγματική, ενώ αν οι δυο συνιστώσες εμφανίζουν γενικά μεγάλες τιμές, τότε πρόκειται για μία ενδιάμεση κατάσταση καλού και κακού αγωγού. Τέλος, αν ο λόγος της

πραγματικής προς τη φανταστική συνιστώσα, είναι μεγαλύτερος της μονάδας έχουμε καλό αγωγό, ενώ αν είναι μικρότερος της μονάδας κακό αγωγό.

2.2.2 Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα αναλύεται σε τρεις συνιστώσες κάθετες μεταξύ τους, δύο ηλεκτρικές και μία μαγνητική. Η πρώτη συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου, E_x , έχει σαν κατεύθυνση την διεύθυνση διάδοσης του κύματος και η δεύτερη συνιστώσα E_z είναι κατακόρυφη στη διεύθυνση διάδοσης. Η συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου, H_y , είναι οριζόντια και κάθετη στο επίπεδο του κύματος.



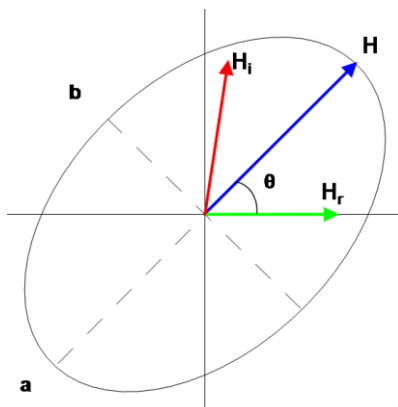
Σχήμα 12 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

2.2.3 Ανάλυση μεθόδου VLF

Οι διάφοροι οργανισμοί επικοινωνιών και ναυσιπλοΐας χρησιμοποιούν πομπούς, οι οποίοι παράγουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα πολύ μικρών συχνοτήτων της τάξης των 15-30kHz. Αυτές οι συχνότητες είναι πολύ χαμηλότερες από τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται σε άλλες ηλεκτρομαγνητικές γεωφυσικές μεθόδους και για αυτό το λόγο στη γεωφυσική τα κύματα αυτά αναφέρονται ως πολύ χαμηλών συχνοτήτων και VLF (very low frequency).

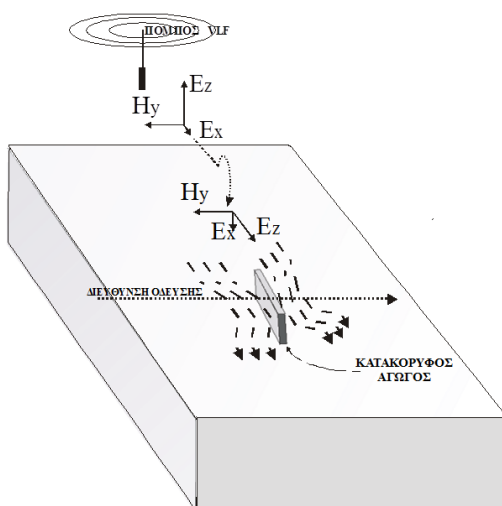
Ο δέκτης VLF είναι ένα όργανο μικρών διαστάσεων αποτελούμενο από δύο πηνία κάθετα μεταξύ τους, τα οποία συντονίζονται στις συχνότητες των πομπών. Το ένα πηνίο είναι οριζόντιο προσανατολισμένο στη διεύθυνση της οριζόντιας συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου (E_x) άρα και στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος και το άλλο πηνίο είναι κάθετο στο πρώτο, προσανατολισμένο στη συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου (H_y). Αυτό το οποίο μετριέται είναι η γωνία κλίσης, θ , που είναι ανάλογη της πραγματικής

συνιστώσας (H_r) του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου και η ελλειπτικότητα a/b , που είναι ανάλογη της φανταστικής συνιστώσας (H_i) του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου.



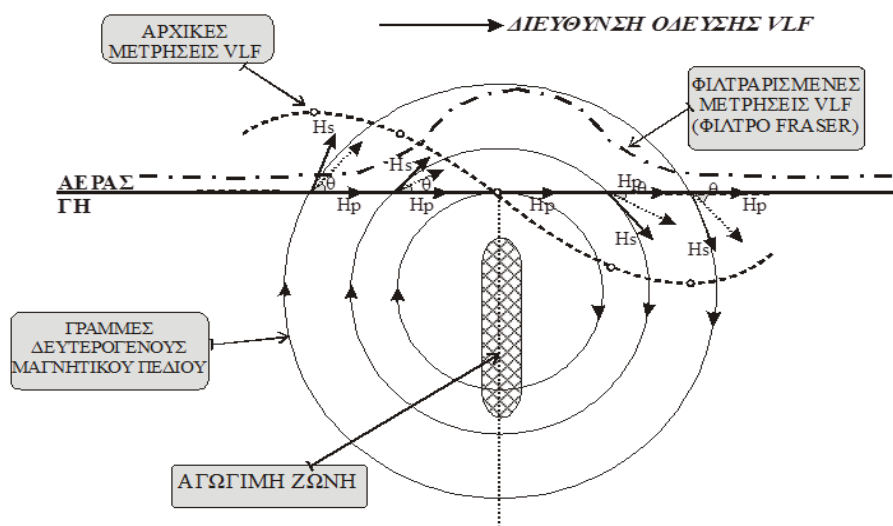
Σχήμα 13 Έλλειψη πόλωσης του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου.

Ύστερα από μελέτη χαρτών γίνεται επιλογή της περιοχής όπου θα γίνουν οι μετρήσεις κι έπειτα προσδιορίζονται οι ευνοϊκότερες διαδρομές, για να πραγματοποιηθούν οι οδεύσεις. Μία όδευση θα πρέπει να είναι όσο πιο ευθεία γίνεται, η περιοχή επιλογής της να είναι όσο το δυνατόν ευκολότερη στην πρόσβαση, πρέπει να αποφεύγονται οι οδεύσεις κοντά σε περιοχές θορύβου (π.χ. καλώδια Δ.Ε.Η.). Επιπροσθέτως, θα πρέπει η όδευση να τέμνει κάθετα στο στόχο και τέλος θα πρέπει ο πομπός VLF, που θα συντονιστούμε, να βρίσκεται σε διεύθυνση όσο γίνεται παράλληλη με το στόχο μας, ώστε να ληφθεί όσο το δυνατόν πιο ισχυρό σήμα.



Σχήμα 14 Ορθός τρόπος όδευσης VLF.

Οι ανωμαλίες που μετριοούνται με τη μέθοδο VLF παρουσιάζουν διπολική μορφή (Σχήμα 15), καθώς κατά την όδευση πάνω από μια αγώγιμη ζώνη η γωνία κλίσης πριν περάσει πάνω από τον αγωγό παίρνει θετικές τιμές, μηδενίζεται ακριβώς πάνω από τον αγωγό και παίρνει αρνητικές τιμές αφού περάσει το αγώγιμο σώμα. Για την ευκολότερη μελέτη της ανωμαλίας εφαρμόζονται ψηφιακά φίλτρα (φίλτρα Fraser).



Σχήμα 15 Καμπύλη της γωνίας κλίσης σε όδευση VLF πριν και μετά την εφαρμογή φίλτρων Fraser.

Το όργανο WADI που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις εφαρμόζει ένα φίλτρο, που αναπτύχθηκε από τους Karous- Hjelt (M. Karous, S.E. Hjelt, 1983) για την επεξεργασία των δεδομένων μας. Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιεί και τον παράγοντα του βάθους στις μετρήσεις δίνοντας σαν αποτέλεσμα την πυκνότητα του ρεύματος. Η πυκνότητα ρεύματος υπολογίζεται ως εξής:

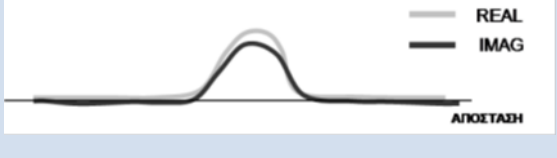
$$I(0) = K \begin{pmatrix} -0.102 H_{-3} + 0.059 H_{-2} - 0.561 H_{-1} \\ + 0.561 H_1 - 0.059 H_2 + 0.102 H_3 \end{pmatrix}$$

Το K είναι σταθερά και εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των σημείων (dx). Το H_i είναι το μετρούμενο σημείο (i) πίσω (-) και μπροστά (+) από το σημείο όπου εκτελείται ο υπολογισμός.

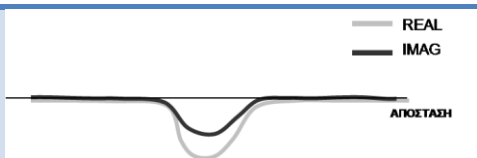
2.2.4 Χαρακτηρισμός ανωμαλίας VLF

Προϋπόθεση για τον εντοπισμό στόχου (αγωγού) με τη μέθοδο VLF είναι η πραγματική συνιστώσα να παρουσιάζει θετική κορυφή και όσο πιο μεγάλο το πλάτος της κορυφής τόσο πιο αγωγίμο είναι το σώμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ VLF			
(Η πραγματική συνιστώσα να παρουσιάζει θετική κορυφή μεγάλου πλάτους)			
ΦΑΝΤΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ (Φιλτραρισμένα δεδομένα)	ΑΓΩΓΟΣ (Αντίθεση στόχου με το περιβάλλον)	ΠΙΘΑΝΟΣ ΣΤΟΧΟΣ	
Αρνητική σχετικά μεγάλου πλάτους	Πολύ καλός	Ρηξιγενής ζώνη με αργλική πλήρωση ή μεταλλοφορία ή υφαλμύρωση	
Αρνητική ή θετική με πολύ μικρό πλάτος (κοντά στο μηδέν)	Καλός-Μέτριος	Ρηξιγενής ζώνη με μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας	
Θετική σχετικά μεγάλου πλάτους	Μέτριος-Κακός	Ρηξιγενής ζώνη με μικρή πιθανότητα υδροφορίας ή πιθανή διείσδυση	

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

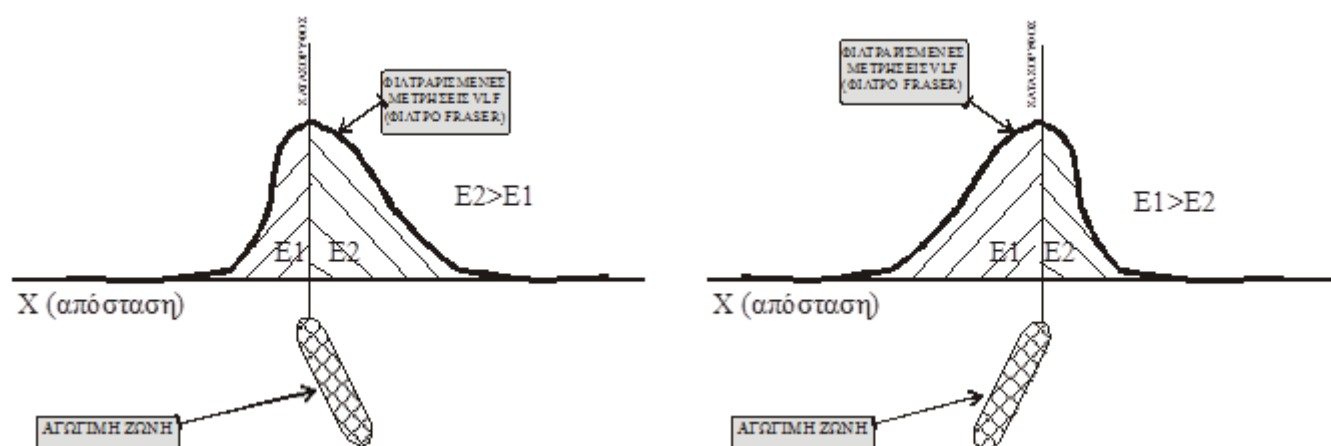
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ VLF			
(ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΚΟΡΥΦΗ)			
ΦΑΝΤΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ	ΑΓΩΓΟΣ	ΠΙΘΑΝΟΣ ΣΤΟΧΟΣ	
Αρνητική	Κακός	Έγκοιλο- κενό	

2.2.5 Κέντρο-Βάθος στόχου

Το κέντρο του στόχου βρίσκεται στο σημείο όπου η πραγματική συνιστώσα εμφανίζει το μέγιστο πλάτος της, όπως αυτή παριστάνεται μετά την εφαρμογή των φίλτρων Frazer. Το βάθος του στόχου είναι περίπου το μισό του μήκους της ανωμαλίας, χωρίς αυτό να αποτελεί ακριβή κανόνα, καθώς η αρχή αυτή εφαρμόζεται μόνο για να γίνει σύγκριση μεταξύ του βάθους των στόχων, που εμφανίζονται στο ίδιο προφίλ μέτρησης.

2.2.6 Κλίση στόχου

Για να βρούμε την κλίση φέρνουμε την κατακόρυφο που περνά από την κορυφή της ανωμαλίας χωρίζοντάς τη σε δύο τμήματα. Ο στόχος έχει κλίση προς το τμήμα με το μεγαλύτερο εμβαδόν.

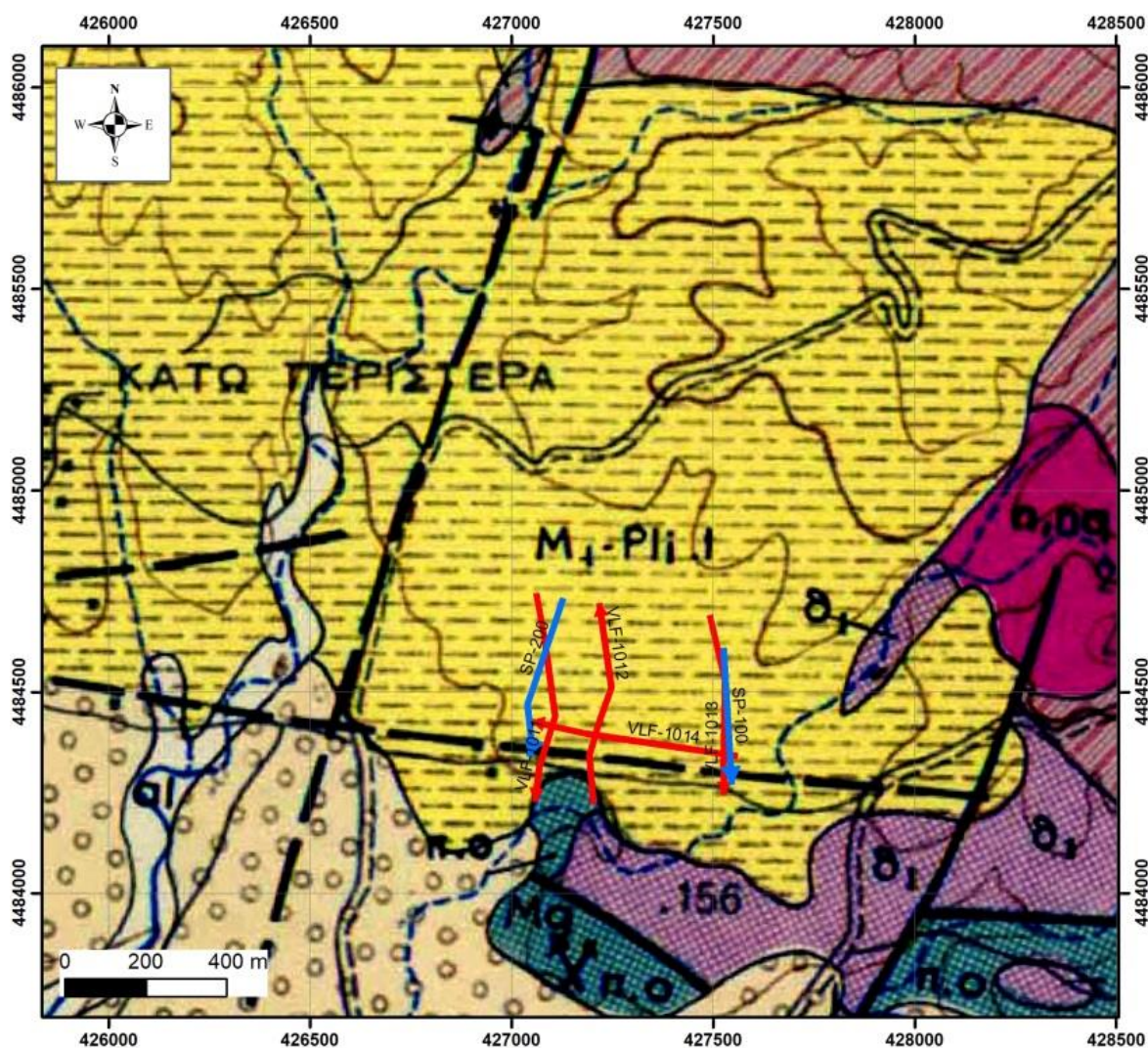


Σχήμα 16 Κλίση στόχου.

Η μέθοδος VLF αποτελεί απλή και εύχρηστη μέθοδο, καθώς δεν απαιτεί βαρύ και ογκώδη εξοπλισμό, χρειάζεται η παρουσία το πολύ δύο ατόμων για την εφαρμογή της και η επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι σχετικά απλή. Ωστόσο, μειονέκτημα αποτελεί το σχετικά μικρό βάθος διασκόπησης (<100m), καθώς και ο επηρεασμός της από πηγές ηλεκτρομαγνητικού θορύβου (π.χ. καλώδια Δ.Ε.Η.). Η μέθοδος εφαρμόζεται στη γεωλογική χαρτογράφηση, στη χαρτογράφηση ρηγμάτων, στην αναζήτηση υπόγειου νερού και στη μεταλλευτική έρευνα.

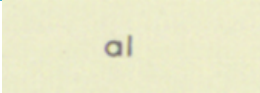
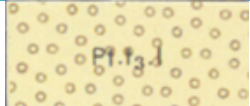
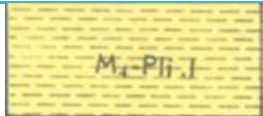
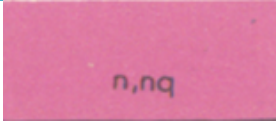
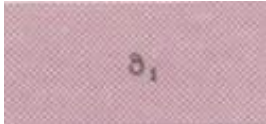
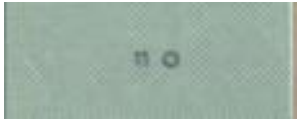
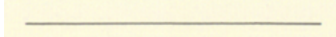
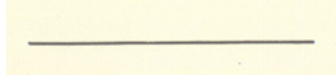
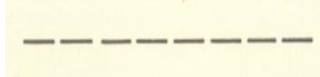
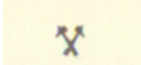
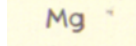
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

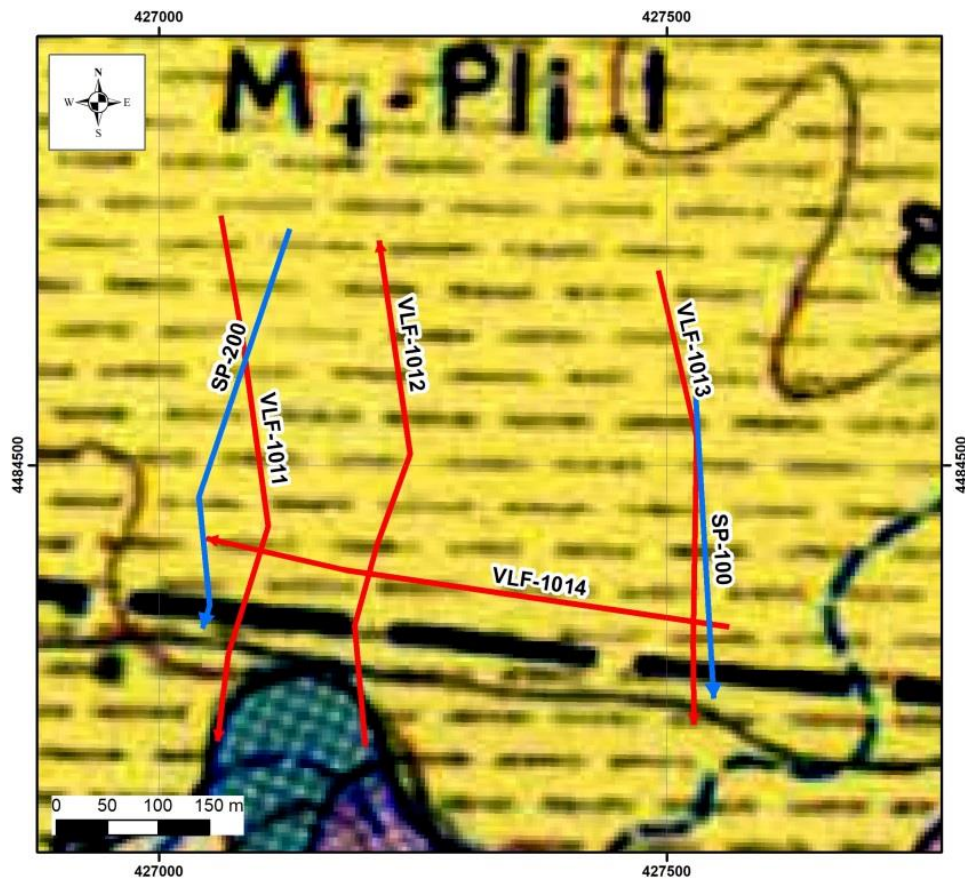
Η περιοχή της Περιστεράς, που βρίσκεται λίγα χιλιόμετρα ανατολικά της Θεσσαλονίκης ανήκει στο όριο μεταξύ της Περιοδοπικής Ζώνης (Ενότητα Άσπρης Βρύσης- Χορτιάτη) και της Ζώνης Αξιού (Υποζώνη Παιωνίας) των Εσωτερικών Ελληνίδων. Ως προς το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης, σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε (Φύλλο Βασιλικά 1:50000), στην περιοχή εμφανίζεται μία σειρά ερυθρών αργίλων, χαλίκια και άμμοι, δουνίτες και περιδοτίτες, γάββροι, διορίτες και χαλαζιακοί διορίτες (συμπλέγματος Γερακινής), λευκοκρατικοί αλβιτικοί-σερικιτικοί-μικροκλινικοί γνεύσιοι. Όλα τα παραπάνω μπορούν να παρατηρηθούν και στο απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη (Σχήμα 17) όπου φαίνονται και η θέσεις των οδεύσεων που πραγματοποιήθηκαν.



Σχήμα 17 Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ	
ΟΛΟΚΑΙΝΟ	
Αλλουβιακές αποθέσεις.	
ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ	
Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων: χαλίκια και άμμοι κάτω από αργιώδες κάλυμμα.	
ΑΝΩΤ. ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ- ΚΑΤ. ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ	
Σειρά ερυθρών αργίλων: ερυθρές έως κεραμόχρωμες ιλυώδεις άργιλοι, με μαρμαρυγία και ασβεστιτικά συγκρίματα	
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΧΙΣΤΩΔΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	
ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ	
Μαγματική σειρά Χορτιάτη	
Λευκοκρατικός αλβιτικός- σερικιτικός- μικροκλινικός γνεύσιος: (αλβίτης, μικροκλινής, μοσχοβίτης και επουσιώδη ορυκτά), με γνευσιακό ή οφθαλμοειδή ιστό, παράλληλα προς το επίπεδο s, στρωμένος μέσα στα μεταζήματα.	
Διορίτης και χαλαζιακός διορίτης (σύμπλεγμα Γερακινής): μεσόκοκκοι, ελάχιστα σχιστώδεις (ζωνώδη πλαγιόκλαστα με ανορθίτη 30-35%, +/- χαλαζίας, υπολείμματα κλινοπυροξένων, χλωριτωμένη κεροστίλβη, επίδοτο και επουσιώδη ορυκτά).	
Γαββρική σειρά Λαναριού	
Γάββρος: (διαλλαγής, βρονζίτης, υπερσθενής, πλαγιόκλαστα με ανορθίτη 55-80%, αδιαφανή ορυκτά, ολιβίνης, δευτερογενής κεροστίλβη, ζωισίτης, επίδοτο και ακτινόλιθος), επίσης ολιβινικός γάββρος, υπερσθενικός γάββρος, αυγιτικός νορίτης και κεροστιλβικός γάββρος.	
Υπερβασική σειρά	
Δουνίτες και περιδοτίτες: κυρίως βερλίτης, μερικώς λερζόλιθος (ολιβίνης, διαλλαγής, βρονζίτης), επουσιώδης μεταπεριδοτίτης. Φακοί και ταινίες χρωμίτη κυρίως μέσα σε δουνίτες, πολύ εξαπλωμένη εξαλλοίωση σε περιοχές μεταλλοφορίας λευκολίθου. Μέσα στα σχιστώδη σώματα, σχηματισμός αντιγοριτικού σχιστολίθου, τάκη και αμιάντου. Ηλικία: παλαιότερη από τους γάββρους Λαναριού και από τη μαγματική σειρά Χορτιάτη και νεώτερη από το Ανώτερο Τριαδικό.	
Γεωλογικό όριο.	
Ρήγμα.	
Ρήγμα πιθανό ή καλυμμένο.	
Μεταλλείο ενεργό.	
Λευκόλιθος.	



Σχήμα 18 Γεωλογικός χάρτης με εστίαση στις οδεύσεις (με κόκκινο χρώμα φαίνονται οι οδεύσεις VLF ενώ με μπλε χρώμα οι οδεύσεις SP).

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 18 του γεωλογικού χάρτη, στην περιοχή έχει χαρτογραφηθεί πιθανό ρήγμα Α-Δ διεύθυνσης. Με αφορμή αυτή την πιθανή ζώνη ρήγματος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στη συγκεκριμένη θέση, προκειμένου να εξετάσουμε αν τα δεδομένα μας επιβεβαιώνουν τις εκτιμήσεις των γεωλόγων, με αποτέλεσμα να είναι εφικτή η ακριβής χαρτογράφηση του ρήγματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

4.1 ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για τη λήψη των μετρήσεων μας επισκεφτήκαμε την περιοχή Περιστεράς του Ν. Θεσσαλονίκης, όπου και πραγματοποιήσαμε οδεύσεις, τόσο με τη μέθοδο του Φυσικού Δυναμικού (SP), όσο και με τη μέθοδο VLF. Πρώτα χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο VLF και μετά του Φυσικού Δυναμικού.

4.1.1 Λήψη μετρήσεων με τη μέθοδο Φυσικού Δυναμικού (SP)

Για τη μέθοδο SP έγιναν δύο οδεύσεις παράλληλες μεταξύ τους, διεύθυνσης Β-Ν. Εφαρμόσαμε τη διάταξη σταθερής βάσης, με τη χρήση ενός σταθερού και ενός κινούμενου ηλεκτροδίου, του οργάνου μέτρησης και ενός καλωδίου. Αφού τοποθετήσαμε το σταθερό ηλεκτρόδιο, μακριά από πηγές θορύβου, το συνδέσαμε με τον αρνητικό πόλο του οργάνου μέτρησης, ενώ το κινούμενο ηλεκτρόδιο με το θετικό πόλο. Αρχικά, πήραμε τις συντεταγμένες και την τιμή δυναμικού για το σταθερό ηλεκτρόδιο, που αντιπροσωπεύει την αφετηρία της όδευσης, σε μία θέση δίπλα του. Στην πρώτη όδευση, που την ονομάσαμε SP100, λαμβάναμε μετρήσεις δυναμικού ανά 20m (βήμα) και διανύσαμε συνολική απόσταση 340m. Συνολικά, δηλαδή, πήραμε 18 τιμές δυναμικού από την πρώτη όδευση, ενώ στη δεύτερη, που την ονομάσαμε SP200, με το ίδιο βήμα, διανύσαμε απόσταση 400m συλλέγοντας συνολικά 21 τιμές δυναμικού. Και στα δύο προφίλ μέτρησης λαμβάναμε τις συντεταγμένες, με τη χρήση GPS, για κάθε σταθμό μέτρησης. Μετά το πέρας των μετρήσεων και για τις δύο οδεύσεις επιστρέψαμε στο αρχικό σημείο, για να μαζέψουμε το καλώδιο και να επαναλάβουμε τη μέτρηση για την εύρεση του δυναμικού, για το σημείο της αφετηρίας (0m). Και στις δύο οδεύσεις οι αποκλίσεις των επαναλήψεων, από τις αρχικές τιμές ήταν σχεδόν μηδέν. Κατά τη λήψη των μετρήσεων, στα τελευταία μέτρα και των δύο οδεύσεων (νότιο άκρο) οι τιμές του δυναμικού ήταν αυξημένες λόγω ύπαρξης καλωδίων της ΔΕΗ σε κοντινή απόσταση. Βέβαια κατά την επεξεργασία των μετρήσεων μας δεν λάβαμε υπόψη αυτές τις τιμές και για αυτό αφαιρέθηκαν με αποτέλεσμα να αναπαραστήσουμε τη μεταβολή του δυναμικού δίχως αυτές.

Παρακάτω παραθέτουμε τις μετρούμενες τιμές δυναμικού όπως προέκυψαν από τις δύο οδεύσεις (SP100 και SP200) συναρτήσει της απόστασης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

SP100		SP200	
ΑΠΟΣΤΑΣΗ(m)	ΔΥΝΑΜΙΚΟ(mV)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ(m)	ΔΥΝΑΜΙΚΟ(mV)
0	-1	0	-3
20	-0,5	20	-6
40	-2,3	40	-5
60	-6	60	-8
80	-1	80	-15
100	-4	100	3
120	-1	120	4
140	-4	140	7
160	-3	160	5
180	1	180	10
200	2	200	-10
220	-3	220	-7
240	1	240	10
260	-1	260	11
280	-5	280	10
300	3	300	6
320	11	320	5
340	10	340	7
360		360	5
380		380	6
400		400	5

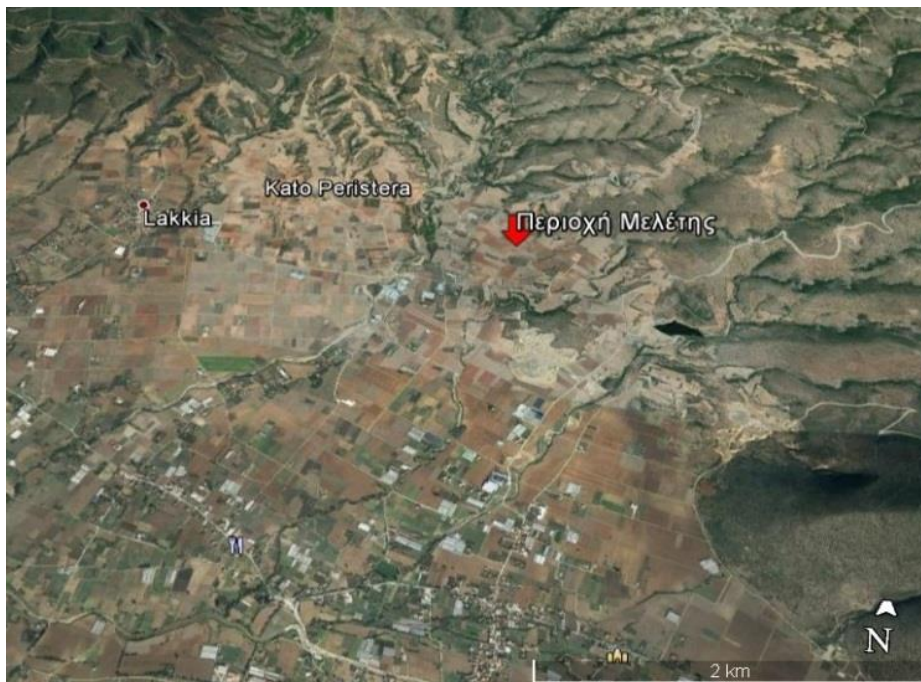
4.1.2 Λήψη μετρήσεων με τη μέθοδο VLF

Για τη μέθοδο VLF πραγματοποιήθηκαν τέσσερις οδεύσεις, τρεις παράλληλες μεταξύ τους, με γενική διεύθυνση B-N και μία κάθετη σε αυτές διεύθυνσης Α-Δ. Με βήμα 10m για κάθε μία, έτσι μετρήσαμε απόσταση 370m για την πρώτη, 500m για τη δεύτερη, 390m για την τρίτη και 520m για την τελευταία όδευση. Και για τις τέσσερις οδεύσεις λαμβάναμε, με τη χρήση GPS, τις συντεταγμένες των σταθμών μέτρησης. Για τη λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήσαμε το WADI της εταιρείας ABEM, το οποίο είναι ένα πολύ εύχρηστο όργανο εντοπισμού φυσικών γεωλογικών δομών του υποβάθρου. Αφού έχουμε επιλέξει την κατεύθυνση, που θέλουμε να ακολουθήσουμε για τις μετρήσεις μας, με τη βοήθεια του οργάνου γίνεται αυτόματη ανίχνευση σταθμών σε όλο το φάσμα συχνοτήτων. Στην οθόνη εμφανίζεται με γραφικό τρόπο, η ένταση του

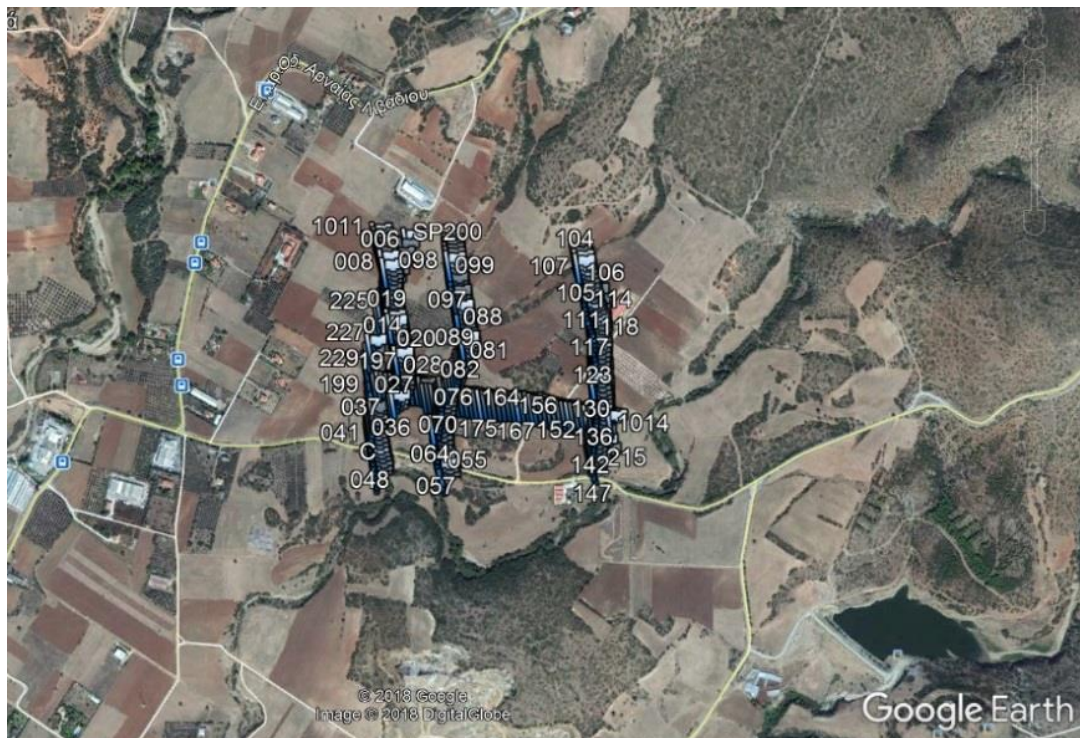
σήματος, με τη μορφή κατακόρυφης μπάρας, η οποία όσο πιο μεγάλο κατακόρυφο μήκος έχει τόσο πιο ισχυρό είναι το σήμα. Κατά την ανίχνευση του σήματος και εκτέλεσης των μετρήσεων απαιτείται αποφυγή οποιασδήποτε πηγής θορύβου.



Σχήμα 19 Όργανο μέτρησης WADI.



Σχήμα 20 Περιοχή μελέτης.



Σχήμα 21 Οδεύσεις SP και VLF.

4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.2.1 Επεξεργασία μετρήσεων μεθόδου VLF

Αρχικά, για την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέξαμε με το όργανο WADI, για την ολοκλήρωση της μεθόδου VLF, χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα SECTOR.

Σαν πρώτο βήμα καλούμαστε να επιλέξουμε το αρχείο με τα δεδομένα VLF, που μας ενδιαφέρει και έχουμε αποθηκεύσει στον τοπικό δίσκο C του υπολογιστή μας. Εμείς επιλέξαμε το αρχείο PERI1411 (3).

```
Choose among these files in C:\VLF\DATA
ALEX2221 ( 1 )      AVAS2221 ( 2 )      PERI1411 ( 3 )
PERIST ( 4 )        POL2449 ( 5 )        POL2449A ( 6 )
POL2449B ( 7 )

Type the file number or press 'D' to change disk drive or 'Esc' to return:
```

Σχήμα 22 Επιλογή αρχείου δεδομένων VLF.

Μετά την επιλογή του αρχείου το πρόγραμμα μας μεταφέρει σε ένα άλλο παράθυρο εντολών, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο Σχήμα 23, όπου καλούμαστε να επιλέξουμε ποιες από τις εντολές του προγράμματος θέλουμε να εκτελέσουμε.

Present drive is C: Present file is PERI1411

SECTOR - an ABEM product

Select a data file	(1)
Plot original data	(2)
Plot filtered data	(3)
Multi profile plot	(4)
Vertical cross section	(5)
Read data from WADI	(6)
Exit from program	(Esc)

Select your choice ...

Σχήμα 23 Παράθυρο επιλογής εντολών.

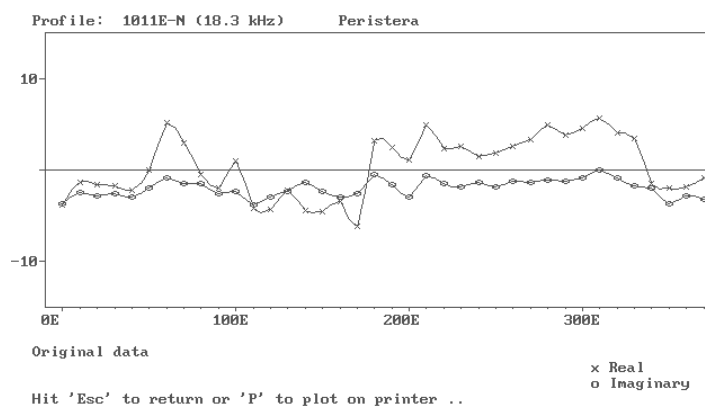
Σε πρώτο στάδιο επιλέγουμε την εντολή (2), προκειμένου να εμφανιστεί γραφικά, η πραγματική και φανταστική συνιστώσα, δίχως να έχουμε επεξεργαστεί τα δεδομένα μας με κάποιο φίλτρο (plot original data). Έπειτα, επιλέγουμε πιο προφίλ μέτρησης θέλουμε να αναπαραστήσουμε γραφικά. Επιλέγουμε να δούμε τη γραφική αναπαράσταση και για τις τέσσερις οδεύσεις ξεχωριστά, προκειμένου να μελετήσουμε τα αποτελέσματα.

Choose among the following profiles:

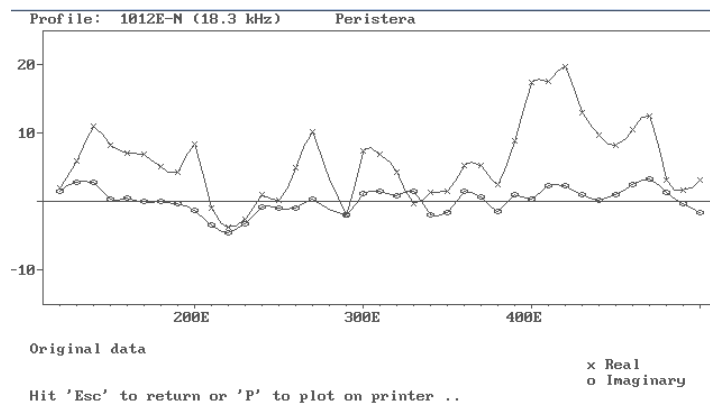
1011E-n (1)	1012E-n (2)	1013E-n (3)
1014E-n (4)		

Choose a profile number [default is (1)]: ? █

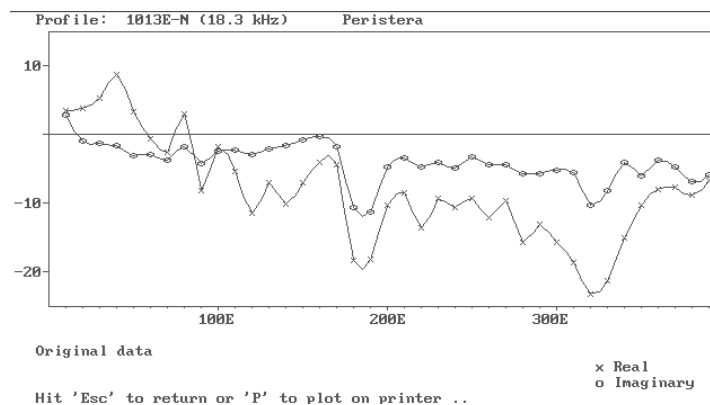
Σχήμα 24 Επιλογή όδευσης.



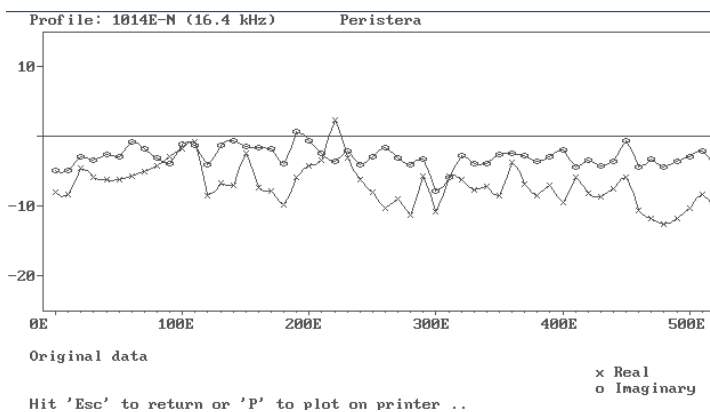
(α) Όδευση 1011



(β) Όδευση 1012



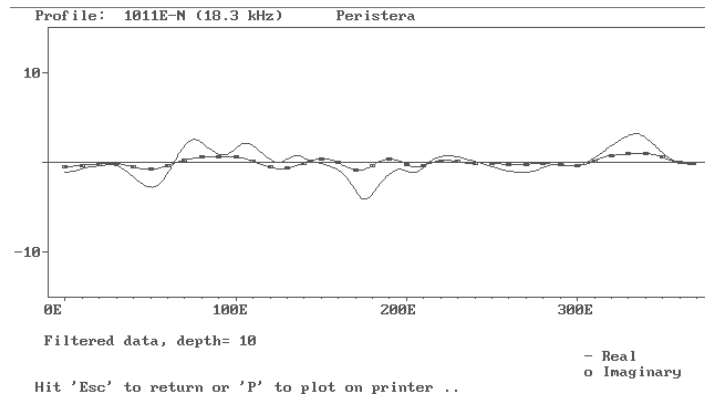
(γ) Όδευση 1013



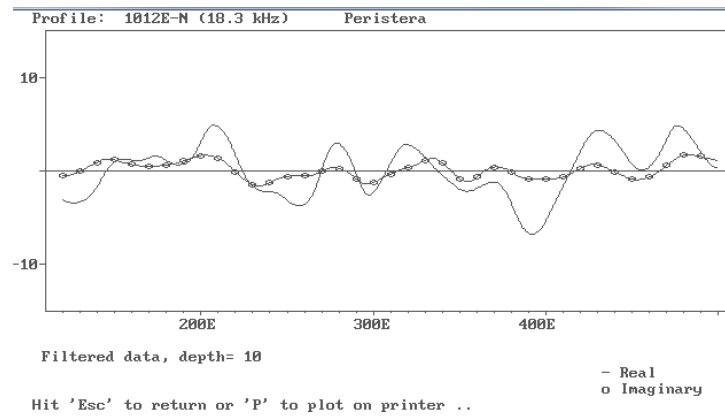
(δ) Όδευση 1014

Σχήμα 25(α,β,γ,δ) Γραφική παράσταση πρωτογενών δεδομένων VLF.

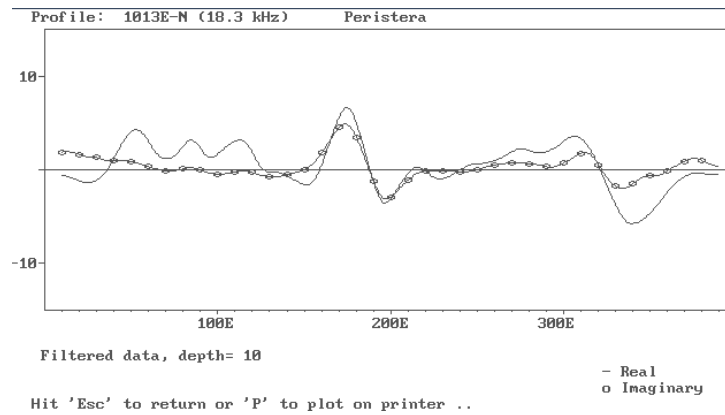
Σε δεύτερο στάδιο, αφού επιστρέφουμε στο παράθυρο των εντολών του Σχήματος 23, επιλέγουμε να εμφανιστεί η πραγματική και φανταστική συνιστώσα, με τα δεδομένα μας φιλτραρισμένα αυτή τη φορά (plot filtered data). Όπως και πριν επιλέγουμε κάθε όδευση χωριστά, ώστε να δούμε την γραφική αναπαράστασή της, με σκοπό να μελετήσουμε τα φιλτραρισμένα δεδομένα, όπως αυτά προκύπτουν με την εισαγωγή φίλτρων Fraser.



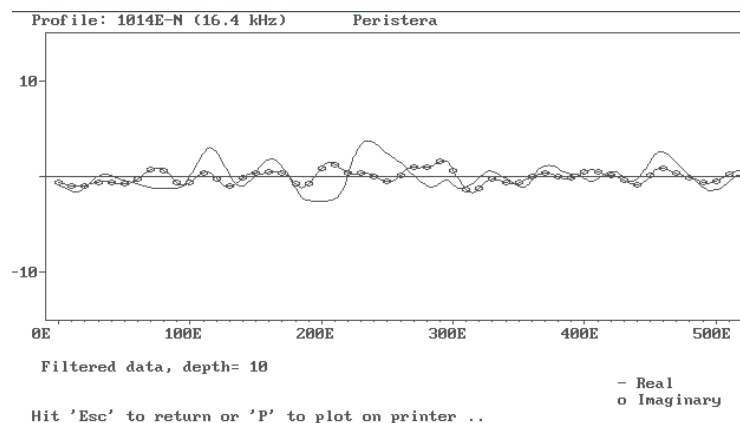
(α) Όδευση 1011



(β) Όδευση 1012



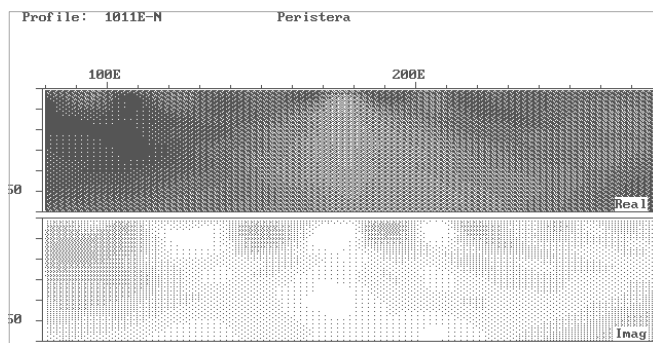
(γ) Όδευση 1013



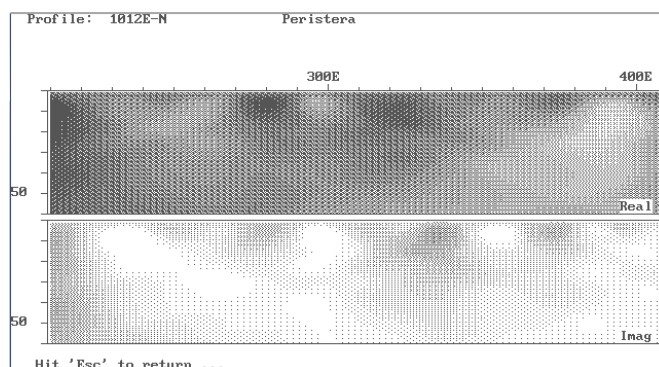
(δ) Οδευση 1014

Σχήμα 26 (α,β,γ,δ) Γραφική παράσταση φιλτραρισμένων δεδομένων VLF.

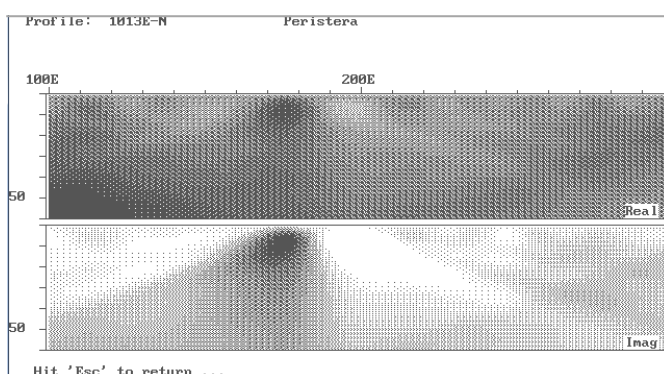
Εν συνεχεία επιστρέφοντας στο παράθυρο εντολών του Σχήματος 23, επιλέγουμε την εντολή (5) κι έπειτα μία από τις οδεύσεις, προκειμένου να εμφανιστεί σε 2D η πυκνότητα ρεύματος, για την φανταστική και πραγματική συνιστώσα. Στην πραγματικότητα το σχήμα που προκύπτει όπως φαίνεται και παρακάτω, είναι ένα σύνολο κουκίδων στις αποχρώσεις του γκρι, οι οποίες όσο πιο πυκνές είναι τόσο πιο σκούρο είναι το αποτέλεσμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η σκούρα περιοχή αντιπροσωπεύει μία αγωγίμη περιοχή, η οποία όσο πιο πυκνές (σκούρες) εμφανίζονται οι κουκίδες, τόσο πιο αγωγίμη καθίσταται. Στα σημεία, δηλαδή, όπου οι κουκίδες δείχνουν αγωγίμη περιοχή σημαίνει ότι είναι ικανή η ροή ρεύματος, οπότε στις περιοχές αυτές υπάρχει κάποιο αγωγίμο σώμα ή δομή (π.χ. ρήγμα), που κεντρίζει το ενδιαφέρον μας. Εφαρμόζουμε τη διαδικασία αυτή για κάθε μία από τις οδεύσεις χωριστά. Επιλέξαμε να αναπαραστήσουμε την πυκνότητα ρεύματος, για τη σημαντικότερη ανωμαλία, που θεωρήσαμε εμείς ότι εμφανίζεται στα διαγράμματα των φιλτραρισμένων δεδομένων, για κάθε μία από τις οδεύσεις.



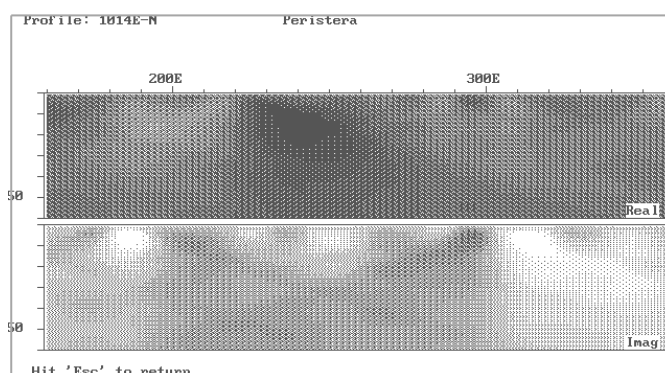
(α) Οδευση 1011



(β) Όδευση 1012



(γ) Όδευση 1013



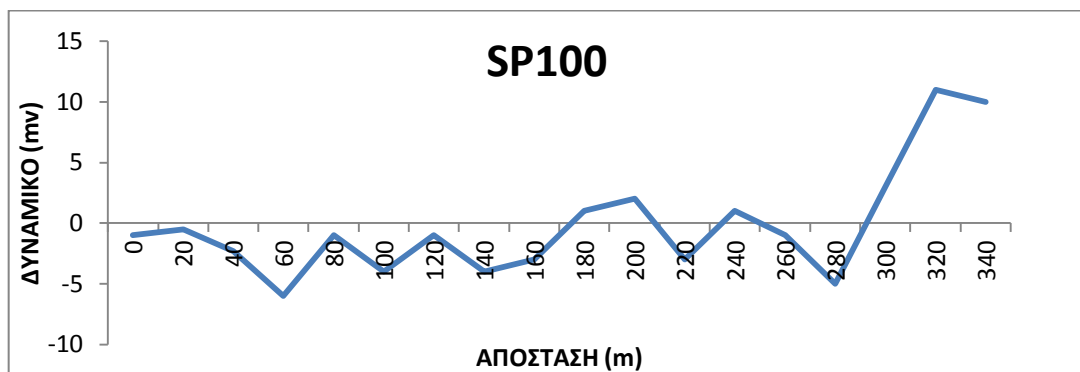
(δ) Όδευση 1014

Σχήμα 27 (α,β,γ,δ) Παράσταση 2D πυκνότητας ρεύματος.

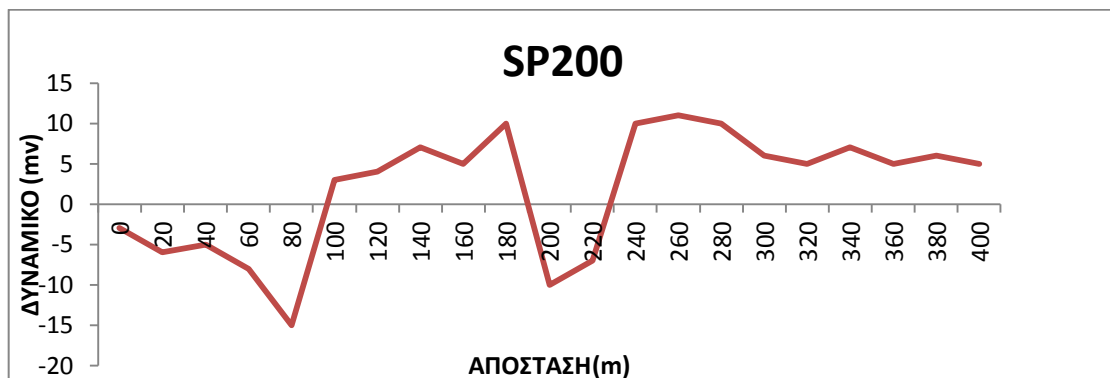
4.2.2 Επεξεργασία μετρήσεων SP

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου του Φυσικού Δυναμικού, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, πραγματοποιήσαμε δύο οδεύσεις διεύθυνσης B-N και συλλέξαμε μία σειρά μετρήσεων δυναμικού. Προκειμένου, όμως, οι τιμές μας να αποκτήσουν μορφή, η οποία θα μας βοηθήσει να τις μελετήσουμε και σχολιάσουμε, δημιουργήσαμε δύο διαγράμματα, ένα για κάθε οδευση, με άξονα x την απόσταση και y τις τιμές δυναμικού. Η επεξεργασία

λοιπόν, των μετρήσεων Φυσικού Δυναμικού ήταν απλούστερη, καθώς χρησιμοποιήθηκε μόνο το πρόγραμμα Excel, στο οποίο αφού περάσαμε τα δεδομένα μας δημιουργήσαμε δύο γραφήματα, για κάθε μία όδευση ξεχωριστά, προκειμένου να παρατηρήσουμε τις διακυμάνσεις του μετρούμενου δυναμικού συναρτήσει της απόστασης. Έτσι, προέκυψαν τα ακόλουθα γραφήματα. Και στις δύο οδεύσεις δεν χρειάστηκε η διόρθωση για μεταβολή της στάθμης, γιατί όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, η επανάληψη της μέτρησης στην αρχή κάθε όδευσης, μετά το πέρας των αντίστοιχων μετρήσεων έδειξε αμελητέα μεταβολή στάθμης.



Σχήμα 28 Γράφημα δεδομένων για την πρώτη όδευση SP (SP100).



Σχήμα 29 Γράφημα δεδομένων για τη δεύτερη όδευση SP (SP200).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

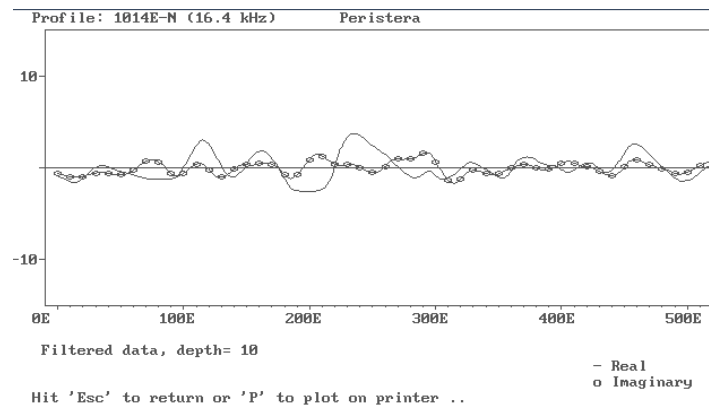
Ύστερα από την επεξεργασία των μετρήσεών μας και για τις δύο μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης, ακολουθεί η μελέτη και ο σχολιασμός όλων των γραφημάτων, διαγραμμάτων και εικόνων που προέκυψαν, με σκοπό την εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων, για τη γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης.

5.1 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ VLF

Αρχικά, θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα, για τις μετρήσεις VLF, όπως αυτά προέκυψαν από τη χρήση του προγράμματος SECTOR. Θα ασχοληθούμε μόνο με τα φιλτραρισμένα αποτελέσματα των μετρήσεων μας παρατηρώντας τα γραφήματα που προέκυψαν και συγκεκριμένα μόνο τα σημεία όπου η πραγματική συνιστώσα είναι θετική και μεγαλύτερη από τη φανταστική.

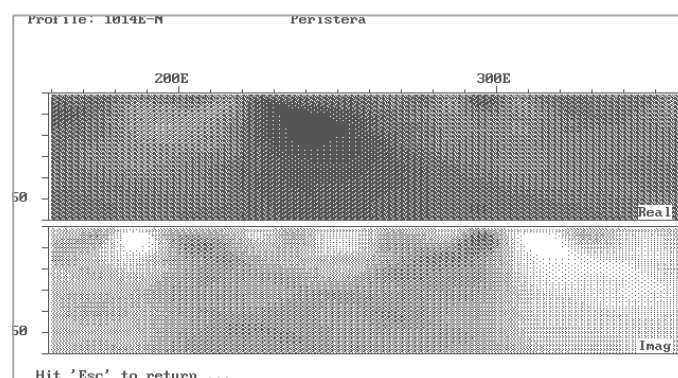
Επιλέγουμε να σχολιάσουμε αναλυτικά μία από τις τέσσερις οδεύσεις VLF χρησιμοποιώντας παράλληλα τα στοιχεία του Πίνακα 1, για το χαρακτηρισμό του αγωγού. Παίρνουμε την τέταρτη οδευση (διεύθυνσης Α-Δ), δηλαδή την 1014 και παρατηρούμε ότι υπάρχει θετική ανωμαλία στην πραγματική συνιστώσα στα 100-130m, 160-170m, 220-270m και 450-480m. Στην πρώτη περίπτωση στα 100-130m η θετική πραγματική συνιστώσα συνδυάζεται με τη φανταστική συνιστώσα με πολύ μικρό πλάτος κοντά στο μηδέν, οπότε πρόκειται για καλό ή μέτριο αγωγό, που ίσως να αποτελεί κάποια ρηξιγενή ζώνη με αυξημένη πιθανότητα υδροφορίας. Όσον αφορά την κλίση της αγωγίμης ζώνης ο στόχος φαίνεται να είναι σχεδόν κατακόρυφος, με μικρή γωνία κλίσης. Για τη δεύτερη μικρή περιοχή ανωμαλιών, στα 160-170m, εμφανίζεται θετική πραγματική συνιστώσα και φανταστική συνιστώσα μικρού πλάτους, κοντά στο μηδέν. Επομένως, και εδώ εμφανίζεται πιθανός καλός ή μέτριος αγωγός, που αποτελεί ίσως κάποια ρηξιγενή ζώνη με μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας. Η κλίση του στόχου είναι σχεδόν κατακόρυφη, με μικρή γωνία κλίσης προς τα δυτικά. Η τρίτη περιοχή ανωμαλίας, στα 220-270m συνδυάζει τη θετική πραγματική συνιστώσα μεγάλου πλάτους με φανταστική συνιστώσα κοντά στο μηδέν. Οπότε, πρόκειται για έναν μέτριο έως καλό αγωγό, που ίσως αποτελεί και εδώ κάποια ρηξιγενή ζώνη με αυξημένη πιθανότητα υδροφορίας. Η κλίση του στόχου φαίνεται να κλίνει ξεκάθαρα προς τα ανατολικά της ανωμαλίας. Για την τέταρτη και τελευταία περιοχή ανωμαλιών στα 450-480m, εμφανίζεται, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις θετική πραγματική συνιστώσα και

φανταστική συνιστώσα πολύ κοντά στο μηδέν. Ο αγωγός θεωρείται μέτριος έως καλός και ο στόχος πιθανολογείται να είναι κάποια ρηξιγενή ζώνη με μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας, με κλίση προς τα ανατολικά της ανωμαλίας.



Σχήμα 30 Όδευση VLF 1014. Παρατήρηση ανωμαλιών.

Αν θεωρήσουμε ως μεγαλύτερη και σημαντικότερη την ανωμαλία στα 220-270m, τότε θα επιλέξουμε να απεικονίσουμε την 2D πυκνότητα ρεύματος σε αυτή την περιοχή, οπότε αφού η ανωμαλία βρίσκεται στο φάσμα των 200-400m επιλέγουμε το κέντρο στόχου να είναι στα 300m. Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα, μεταξύ των 200-300m υπάρχει όντως μία αγώγιμη περιοχή, που απεικονίζεται με σκούρες γκρι κουκίδες, που φαίνεται μάλιστα να κλίνει προς τα ανατολικά, όπως υποθέσαμε και από τη μελέτη των φιλτραρισμένων δεδομένων, για τη συγκεκριμένη περιοχή.

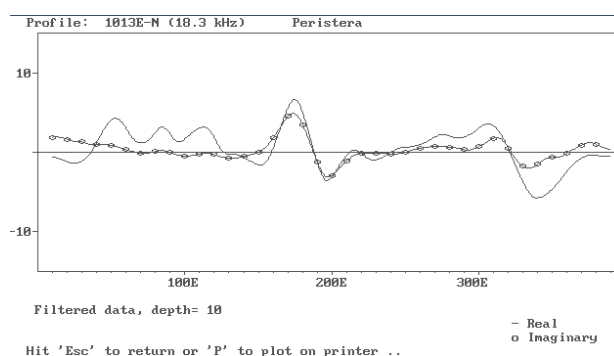


Σχήμα 31 Απεικόνιση 2D πυκνότητας ρεύματος για τμήμα της VLF1014.

Παρομοίως από τη μελέτη των υπόλοιπων οδεύσεων βρίσκουμε τις ανωμαλίες. Έτσι, για την πρώτη όδευση (1011) υπάρχει μία περιοχή ανωμαλιών στα 70-110m, που θα τη χαρακτηρίζαμε και τριπλής διακύμανσης ανωμαλία και μία στα 310-360m, για τη δεύτερη όδευση (1012) υπάρχει μία μεταβολή της συχνότητας στα 200-230m, 270-290m, 310-330m, 420-450m και στα 470-490m. Ακολουθώντας για την τρίτη όδευση (1013)

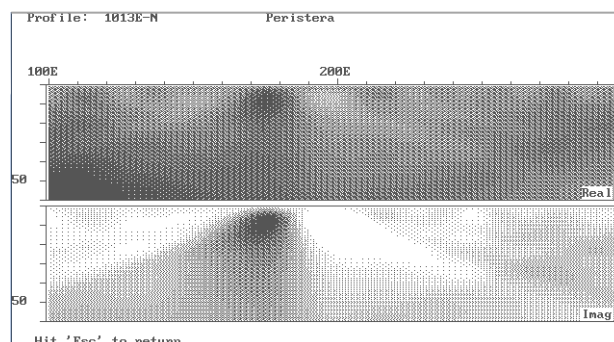
εμφανίζονται τρία σημεία μεταβολών, ένα στα 40-120m με τριπλή διακύμανση μάλιστα, ένα στα 160-190m με χαρακτηριστικό τη μεγάλη θετική πραγματική και φανταστική συνιστώσα και μία ακόμα στα 260-320m.

Αφού αναφέρθηκαν συνοπτικά τα σημεία των ανωμαλιών της κάθε όδευσης αναλύοντας εξολοκλήρου τα χαρακτηριστικά κάθε ανωμαλίας για την τέταρτη όδευση (1014) ενδιαφέρον είναι να σχολιαστεί και η ανωμαλία στα 160-190m, που εμφανίζεται στην τρίτη όδευση (1013). Πιο συγκεκριμένα, από τα φιλτραρισμένα δεδομένα φαίνεται ότι η ανωμαλία αυτή έχει θετική πραγματική συνιστώσα μεγάλου πλάτους, καθώς και θετική φανταστική συνιστώσα μεγάλου πλάτους. Σύμφωνα λοιπόν με τον Πίνακα 1 εμφανίζεται ένας μέτριος έως κακός αγωγός, που πιθανό να αποτελεί κάποια ρηξιγενή ζώνη με μικρή πιθανότητα υδροφορίας ή πιθανή διείδυση. Η κλίση του είναι σχεδόν κατακόρυφη.



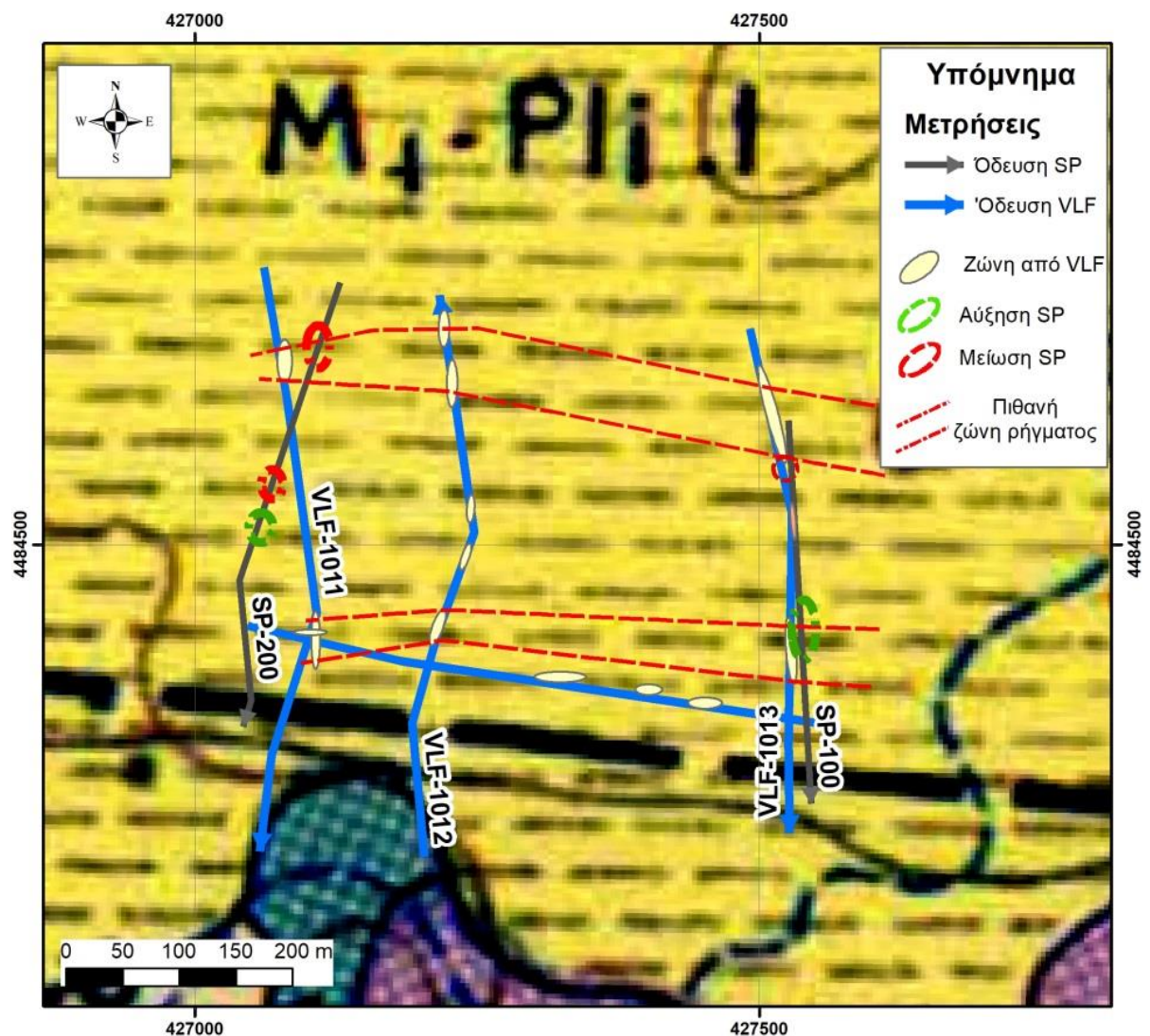
Σχήμα 32 Όδευση VLF 1013.

Εν συνεχεία παρατηρώντας την 2D πυκνότητα ρεύματος, για τη συγκεκριμένη περιοχή ανωμαλίας φαίνεται πράγματι να υπάρχει μία μετρίως αγωγίμη περιοχή, με κλίση προς τα αριστερά της ανωμαλίας.



Σχήμα 33 Απεικόνιση 2D πυκνότητας ρεύματος όδευσης VLF 1013.

Έπειτα, με τη χρήση του GIS περάσαμε τις συντεταγμένες των σημείων και προέκυψαν οι οδεύσεις πάνω στο γεωλογικό χάρτη. Με τη βοήθεια του ίδιου προγράμματος επισημαίνουμε στις οδεύσεις τις θέσεις των ανωμαλιών των συχνοτήτων, που εντοπίσαμε. Έτσι, πάνω σε κάθε οδευση προκύπτουν κάποια σημεία ενδιαφέροντος, που αντιστοιχούν στα σημεία ανωμαλιών που βρήκαμε προηγουμένως, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 34 Γεωλογικός χάρτης με εστίαση στις οδεύσεις και εμφάνιση σημείων ενδιαφέροντος.

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, των μετρήσεων VLF, όπως υποδεικνύεται και στο υπόμνημα του σχήματος 34 προσέχουμε τις μπλε οδεύσεις, καθώς αυτές αντιστοιχούν στις οδεύσεις VLF. Αφού συσχέτισαμε τις τρεις οδεύσεις διεύθυνσης B-N μεταξύ τους εντοπίσαμε δύο ζώνες ενδιαφέροντος, όπως αυτές παριστάνονται με διακεκομμένες κόκκινες γραμμές, οι οποίες πιθανόν να είναι δύο ζώνες ρήγματος αντίστοιχα. Έτσι, υπάρχει μία πιθανή ζώνη ρήγματος στα βόρεια και μία δεύτερη

νοτιότερα. Μάλιστα, όσον αφορά τη δεύτερη και νοτιότερη ζώνη, πιθανό να αποτελεί τμήμα του ήδη υποθετικού ρήγματος (διακεκομμένη μαύρη γραμμή) που εμφανίζεται στο χάρτη, όπως φαίνεται και στο σχήμα 34, που η τελική του θέση ορίζεται από την αγωγήμη ζώνη που εντοπίστηκε με την έρευνα με τη μέθοδο VLF. Όσον αφορά την πρώτη και βορειότερη πιθανή ζώνη ρήγματος που εντοπίσαμε, αυτή δεν μπορεί να συσχετιστεί με κάποιο προϋπάρχον ρήγμα στο γεωλογικό χάρτη. Αυτό, όμως δε σημαίνει ότι δεν υπάρχει ρήγμα στην περιοχή, ειδικά αν λάβουμε υπόψη τον έντονο τεκτονισμό που παρατηρείται. Πολύ πιθανό να πρόκειται για κάποιο ρήγμα χωρίς επιφανειακή εκδήλωση, που δεν έχει χαρτογραφηθεί. Συμπερασματικά, σύμφωνα με τις τρεις από τις τέσσερις οδεύσεις που πραγματοποιήθηκαν, με τη μέθοδο VLF εντοπίστηκαν δύο πιθανές ζώνες ρήματος. Η τέταρτη όδευση (1014) με διεύθυνση Α-Δ, παρουσιάζει μικρές τοπικές ανωμαλίες που όμως δεν συνιστούν πιθανή ρηξιγενή ζώνη. Επιπλέον, δεν υπάρχει τουλάχιστον ακόμα μία όδευση ίδιας διεύθυνσης (Α-Δ), για να επιβεβαιωθεί πιθανή συνέχεια των ανωμαλιών αυτών και να καθοριστεί και πιθανή διεύθυνση διάρρηξης.

5.2. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (SP)

Αρχικά, θα σχολιαστεί η μεταβολή του δυναμικού για την πρώτη όδευση Φυσικού Δυναμικού (SP100). Όπως, φαίνεται και στο γράφημα του σχήματος 28 που κατασκευάστηκε υπάρχει μία σημαντική μείωση του δυναμικού στα 50-60m και μία σημαντική αύξηση στα 160-210m.

Ακολουθεί ο σχολιασμός της μεταβολής του δυναμικού για την όδευση SP200. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 29 οι πιο σημαντικές μεταβολές είναι μία μείωση που παρατηρείται στα 40-80m, μία ακόμα πτώση στα 180-200m και μία αύξηση στα 220-240m.

Αφού εντοπίσαμε τις περιοχές ανωμαλιών, τις απεικονίζουμε στις οδεύσεις SP, που αναπαραστήσαμε με τη χρήση του GIS, όπως ακριβώς έγινε και με τις ανωμαλίες VLF. Με πράσινο κύκλο εμφανίζεται αύξηση και με κόκκινο μείωση του δυναμικού (Σχήμα 34).

Παρατηρώντας ταυτόχρονα το σχήμα 34, θα μπορούσαμε να ταυτίσουμε τη μείωση του δυναμικού στα 50-60m, για την πρώτη όδευση (SP100) και τη μείωση 40-80m, για τη δεύτερη όδευση (SP200), με τη βορειότερη πιθανή ζώνη ρήματος, όπως αυτή προέκυψε από τη συσχέτιση των ανωμαλιών VLF. Οπότε στην περίπτωση αυτή

ενισχύεται η πιθανότητα ύπαρξης ρήγματος στο σημείο εκείνο με την εφαρμογή και δεύτερης γεωφυσικής μεθόδου. Όσον αφορά τη δεύτερη και νοτιότερη πιθανή ζώνη ρήγματος, με αυτή ταυτίζεται μόνο μία αύξηση δυναμικού στα 160-200m της SP100 όδευσης, οπότε δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί με σιγουριά πιθανή ρηξιγενή ζώνη σε αυτό το σημείο με τη μέθοδο του Φυσικού Δυναμικού. Τα παραπάνω αποτελούν ένα πρώτο πιθανό μοντέλο ερμηνείας των δεδομένων μας, ενώ θα μπορούσε να διατυπωθεί επιπλέον και ένα δεύτερο μοντέλο σύμφωνα με το οποίο η μείωση δυναμικού στα 180-200m, θα μπορούσε να συσχετιστεί με αυτή στα 50-60m της SP100 όδευσης και η αύξηση δυναμικού στα 220-240m της SP200, θα μπορούσε να συσχετιστεί με αυτή των 160-210m της SP100 όδευσης. Αυτό βέβαια θα έδινε μία εντελώς διαφορετική γεωτεκτονική εικόνα της περιοχής, ασυμβίβαστη τόσο με τα υπάρχοντα πιθανά ρήγματα του γεωλογικού χάρτη, όσο και με τις πιθανές ζώνες ρήγματος, που εντοπίστηκαν με τη μέθοδο VLF. Οπότε το δεύτερο πιθανό μοντέλο συσχέτισης των οδεύσεων φαίνεται να μην ευσταθεί, γι' αυτό και συγκλίνουμε προς την πρώτη θεωρία μας, όπως αυτή αναλύθηκε παραπάνω.

Συνεπώς, η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων της μεθόδου του Φυσικού Δυναμικού φαίνεται να συμφωνεί και να ενισχύει τόσο την πιθανότητα ύπαρξης ενός βόρειου ρήγματος, όσο και την ύπαρξη ρήγματος νοτιότερα του χάρτη (Σχήμα 34).

Τα παραπάνω συμπεράσματά φαίνεται να συμφωνούν εν μέρει με αυτά που εξάχθηκαν από την ανάλυση των μετρήσεων VLF, παρόλα αυτά όμως στην όδευση SP200 εμφανίζεται μία μείωση δυναμικού στα 180-200m και μία αύξηση στα 220-240m, που δεν μπορούν να συσχετιστούν με κάποια από τις πιθανές ρηξιγενείς ζώνες.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



Σχήμα 35. Περιοχή μελέτης.



Σχήμα 36. Χρήση οργάνου WADI.



Σχήμα 37. Εφαρμογή μεθόδου SP.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΛΛΗΝΙΚΗ, ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.

6.1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πολύ σημαντική και χρήσιμη είναι η γνώση των διαφόρων γεωλογικών δομών, του υπεδάφους της Γης. Για το λόγο αυτό γίνεται εκτενής μελέτη με ποικίλες μεθόδους, προκειμένου να χαρτογραφηθούν όλες οι δομές του εσωτερικού της Γης. Παραδείγματα δομών αποτελούν τα ρήγματα, τα έγκοιλα, αρχαία οικοδομικά λείψανα κ.α.. Στην περίπτωση μας, για την διευθέτηση της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν γεωφυσικές μέθοδοι διασκόπησης για την μελέτη του υπεδάφους της περιοχής Περιστεράς, του νομού Θεσσαλονίκης. Χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτρική μέθοδος του Φυσικού Δυναμικού και η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος VLF, με σκοπό τον εντοπισμό, τη μελέτη και καταγραφή ρηγμάτων της περιοχής.

Αρχικά, μετά την άφιξή μας στην περιοχή σχεδιάσαμε ένα πλάνο για την κατεύθυνση των αρχικών μας οδεύσεων. Χρησιμοποιώντας πρώτα τη μέθοδο VLF, με τη βοήθεια του οργάνου WADI πραγματοποιήσαμε τρεις οδεύσεις παράλληλες μεταξύ τους, διεύθυνσης B-N και μία κάθετη στις προηγούμενες, διεύθυνσης A-Δ. Έπειτα, με τη μέθοδο του Φυσικού Δυναμικού (SP) πραγματοποιήσαμε δύο οδεύσεις παράλληλες μεταξύ τους, διεύθυνσης B-N.

Ακολούθησε επεξεργασία των αποτελεσμάτων, των μετρήσεών μας στον H/Y. Για την παρουσίαση των δεδομένων VLF χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SECTOR, όπου προέκυψαν γραφήματα των πραγματικών και φιλτραρισμένων δεδομένων, καθώς και η 2D κατανομή της πυκνότητας ρεύματος, ενώ για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων SP χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel κατασκευάζοντας γραφήματα μεταβολής του δυναμικού συναρτήσει της απόστασης.

Τέλος, έγινε ο σχολιασμός βάσει της απεικόνισης των δεδομένων, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για την πιθανή γεωλογική κατάσταση της περιοχής μελέτης.

6.2 ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Knowledge of the geological structure of the Earth is very important and useful for any kind of exploitation activities. For this reason, various geophysical methods have been proposed, in order to extensively study the interior of the Earth and identify important structures such as faults, ancient objects, etc. In our case, geophysical methods of exploration were carried out for the study of the subsoil of the Peristeras area in the prefecture of Thessaloniki. The electrical method of Self Potential and the VLF electromagnetic method were used to identify faults in the area.

Initially, after arriving in the area we designed a plan for the direction of our routes. At first, we used the VLF method and we performed measurements in three parallel VLF lines at N-S direction and one at E-W direction (WADI instrument was used). Then, applying the SP method, we performed two parallel lines with N-S direction.

Then we processed our measurements. For the presentation of VLF data we used the SECTOR program and we created the graphs of raw and filtered data, as well as the 2D current density distribution. The Excel program was used to plot the SP measurements, drawing graphs of potential over length.

Finally, map was created for the data representation in order to draw conclusions about the possible geological structures of the study area.

Two fracture systems have been detected. The southern one is located more accurately the hypothetical fault that is drawn in the geological map of IGME (scale 1:50.000) while the northern one is not known and it is revealed only by the VLF method. In addition, the interpretation of the VLF filtered data points out that it is possible that this fault is aquiferous.

6.3 ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Γεωφυσικές μετρήσεις, Φυσικό Δυναμικό, VLF, Περιστέρα, WADI, SECTOR.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βασίλης Κ. Παπαζάχος, 1996. Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, σελ. 322.
- Δημήτρης Μπάλλας, 2009. *Διατριβή Ειδίκευσης*. Συμβολή στη μελέτη υπόγειας υδροφορίας με συνδυασμένη ερμηνεία μετρήσεων Ηλεκτρομαγνητικής Μεθόδου VLF και Φυσικού Δυναμικού SP. Θεσσαλονίκη, σελ. 147.
- Dorbin, M., 1976. Introduction to Geophysical Prospecting. McGraw Hill Book Comp. Inc., New York.
- Grant, F.S. and West, 1965. G.F. Interpretation Theory in Applied Geophysics. MacGraw Hill Book Comp. Inc., New York-London.
- Karous, M., and Hjelt, S.E., 1983. Linear- filtering of VLF dip-angle measurements. Geophysical Prospecting 31.
- Marescot L., 2001. Electrical Surveying Self Potential method. Swiss federal institute of technology, Zurich.
- Parasnis D.S., 1995. Principles of applied Geophysics fifth edition. Chapman & Hall.
- ‘The Garchy 1995-1996 electrode experiment technical report’. Edited by: G. Clerc, G. Petiau and F. Perrier, pg. 2-3.
- ABEM WADI VLF INSTRUMENT, Instruction Manual, pg.49.