

2009



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Προπτυχιακοί φοιτητές:
Βαγγελινός Ηρακλής
Νταβαρίνος Γεώργιος

Επιβλέπων καθηγητής:
Βαργεμέζης Γεώργιος

[ΈΡΕΥΝΑ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΣΤΟ ΠΑΛΑΙΟΚΑΣΤΡΟ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ]

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
2.ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	4
2.1 Τοποθεσία – Γεωγραφική θέση.....	4
2.2 Γεωλογικά στοιχεία.....	5
2.3 Υδρογεωλογικά στοιχεία.....	7
3. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	8
3.1 Αντικείμενο και σημασία της γεωφυσικής διασκόπησης.....	8
3.2 Μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης.....	9
3.3 Μέθοδοι έρευνας νερού – Κριτήρια.....	9
3.3.1 Μέθοδοι έρευνας σε μαλακά στρώματα.....	9
3.3.2 Μέθοδοι έρευνας σε σκληρά πετρώματα.....	10
3.4 Περιγραφή μεθόδων.....	11
3.4.1 Μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.....	11
3.4.2 Μέθοδος VLF.....	15
3.5 Εφαρμογές μεθόδων.....	18
3.5.1 Εφαρμογή Γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης.....	18
3.5.2 Δείκτης ανισοτροπίας.....	21
3.5.3 Εφαρμογή VLF.....	22
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	29
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	30

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά

Οι γεωλογικές μέθοδοι έρευνας, που περιλαμβάνουν την ερμηνεία των γεωλογικών δεδομένων και έρευνα στο πεδίο, αποτελούν ένα σημαντικό πρώτο βήμα σε οποιαδήποτε υδρογεωλογική έρευνα. Η χρησιμοποίηση των τηλεμετρικών τεχνικών από αεροπλάνο και δορυφόρους αποκτούν συνεχώς μεγαλύτερη σημασία για την κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών. Από την άλλη μεριά, οι γεωφυσικές τεχνικές, ιδιαίτερα η γεωηλεκτρική και σεισμική διάθλαση, δίνουν έμμεσες μόνο υδρογεωλογικές πληροφορίες, οι οποίες πρέπει να συνδυαστούν με τα στοιχεία της επιφανειακής υδρογεωλογικής έρευνας και με εκείνα των γεωτρητικών εργασιών. Είναι φανερό λοιπόν, ότι μόνη η υδρογεωλογική έρευνα επιφάνειας ή μόνη η υπόγεια υδρογεωλογική έρευνα δεν αρκούν για να αποδώσουν με ακρίβεια τις φυσικές υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στο υπέδαφος μιας περιοχής. Χρειάζεται συνδυασμένη χρήση της επιφανειακής, υπόγειας, ακόμη και εναέριας έρευνας προκειμένου να καταλήξουμε σε παραδεκτές λύσεις των υδρογεωλογικών προβλημάτων. Από την άλλη μεριά, η μεθοδολογία της έρευνας προσαρμόζεται στον τύπο των γεωλογικών σχηματισμών και των πιθανών υδροφόρων που ερευνώνται.

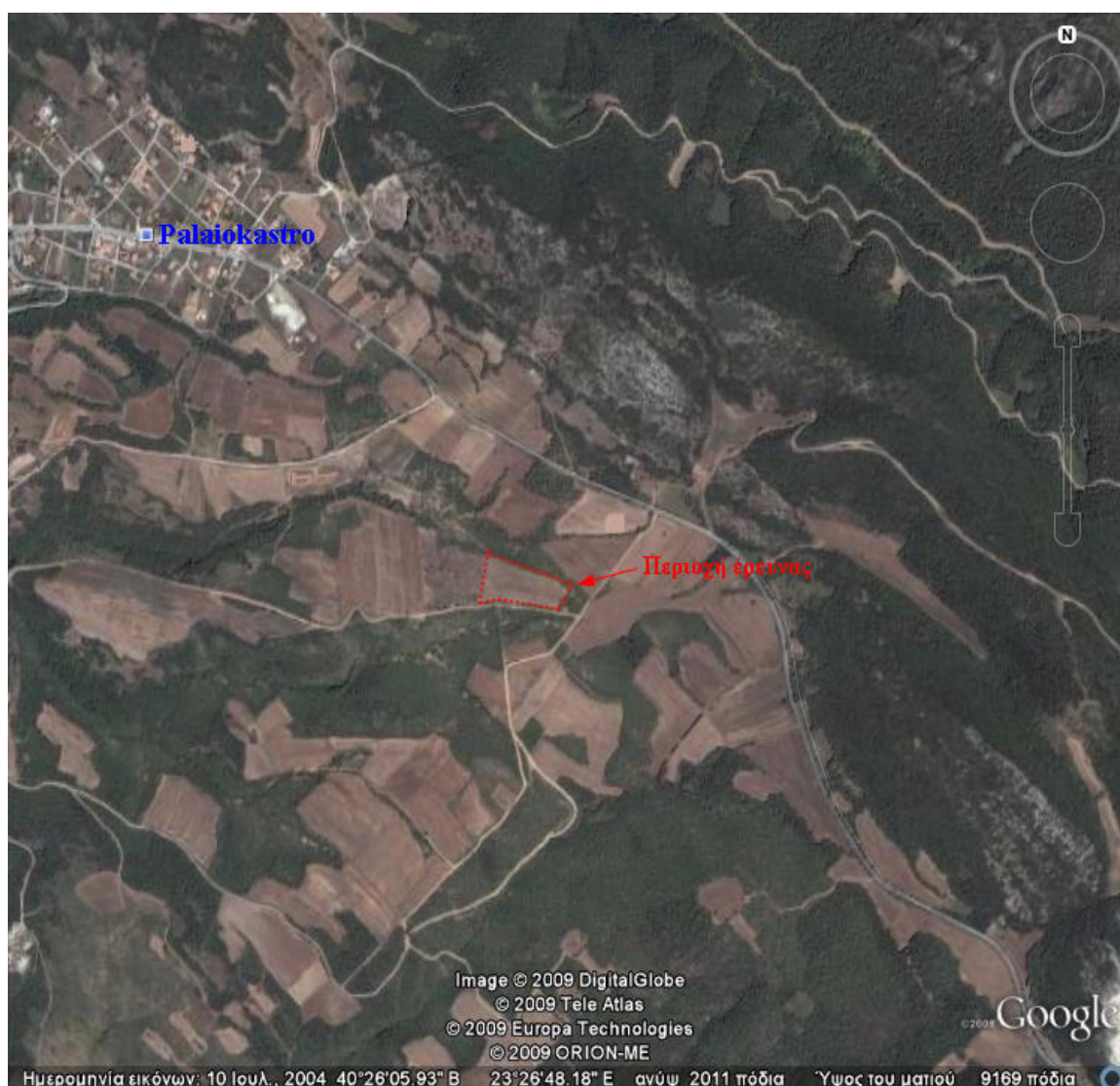
Ανεξάρτητα από τον τύπο των γεωλογικών σχηματισμών που επικρατούν σε μια περιοχή, η υδρογεωλογική έρευνα επιφάνειας περιλαμβάνει: τη γεωλογική έρευνα, την απογραφή των υδάτινων πόρων, την τηλεμετρική έρευνα, την εφαρμοσμένη γεωμορφολογική έρευνα, την χαρτογράφηση των υπογείων νερών και την γεωφυσική έρευνα.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η υδρογεωλογική έρευνα που έλαβε χώρα σε ιδιόκτητο οικόπεδο σε ορεινή περιοχή της Χαλκιδικής, κοντά στο χωριό Παλαιόκαστρο. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε επιφανειακά με την χρήση μόνο γεωφυσικών μεθόδων, όπως είναι η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η μέθοδος VLF. Σκοπός της έρευνας είναι ο εντοπισμός πιθανής υδροφορίας που να είναι εκμεταλλεύσιμη και επαρκής για την κάλυψη των αναγκών ενός σπιτιού που πρόκειται να χτιστεί στο οικόπεδο αν τα αποτελέσματα είναι θετικά. Η διαδικασία και τα συμπεράσματα μας περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1 Τοποθεσία – Γεωγραφική θέση

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο όρος Χολομώντα, που γεωγραφικά τοποθετείται στο νομό Χαλκιδικής. Το εν λόγω οικόπεδο, όπου έγιναν και οι μετρήσεις, βρίσκεται ΝΑ του Παλαιοκάστρου, δυτικά του Ταξιάρχη και βόρεια του Πολυγύρου που είναι και η πρωτεύουσα του νομού. Η τοποθεσία Βίλαρος όπως ονομάζεται βρίσκεται σε υψόμετρο 600-800m.



Εικ.2.1 Αποψη της περιοχής όπως φαίνεται από δορυφόρο.

2.2 Γεωλογικά στοιχεία

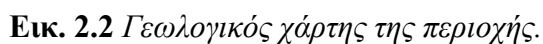
Η ευρύτερη περιοχή βρίσκεται στο όριο της Περιοδοπικής ζώνης με την Σερβομακεδονική μάζα και περιλαμβάνει σχηματισμούς και από τις δυο γεωτεκτονικές ζώνες.

Η Περιοδοπική ζώνη συμμετέχει με δυο ενότητες που έχουν διάταξη ΒΔ-ΝΑ. Έτσι λοιπόν από τα ανατολικά προς τα δυτικά έχουμε την ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα και την ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη. Στην ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα ο κατώτερος σχηματισμός είναι μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι ηλικίας Μέσο-Άνω Τριαδικού με συχνές παρεμβολές γραφιτικών φυλλιτών και σερικιτικών σχιστολίθων. Προς τα πάνω ο σχηματισμός γίνεται καθαρά φυλλιτικός με φυλλίτες κοινούς μαύρους γραφιτικούς ψαμμιτικούς και έχει πάχος 400m. Ο ανώτερος σχηματισμός της ενότητας, ηλικίας Κάτω-Μέσου Ιουρασικού, είναι ένας σχηματισμός φλύσχη με τουρβιδικές εναλλαγές μετά-ιζημάτων (ψαμμίτες, μάργες, ασβεστολιθικές ενστρώσεις κτλ).

Η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη αποτελείται από έναν κατώτερο ορίζοντα μαρμάρων με παχιές στρώσεις ή φακούς, ηλικίας Άνω Τριαδικού και έναν ανώτερο ορίζοντα από ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως αργιλικοί σχιστόλιθοι, φυλλίτες και μαύροι κερατόλιθοι. Η ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα της Περιοδοπικής ζώνης συνορεύει από τα ανατολικά με τη σειρά Βερτίσκου της κρυσταλλοσχιστώδους μάζας της Σερβομακεδονικής. Η σειρά αυτή συνίσταται από μια ακολουθία γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους κυρίως ορίζοντες της επικρατούν οι μεταγάρββροι-μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών. Οι ηλικίες των μεταμορφωμένων πετρωμάτων διακυμαίνονται από Παλαιοζωικές μέχρι Τριτογενείς.

Τέλος οι σχηματισμοί περιοχικά καλύπτονται από Νεογενείς αποθέσεις, ηλικίας Ανωτ.Μειοκαίνου–Κατωτ.Πλειοκαίνου, αποτελούμενες από μια βασική σειρά κροκαλοπαγών που εναλλάσσονται με ψαμμίτες και μια σειρά ερυθρών αργίλων με ενστρώσεις ασβεστιτικών ψαμμιτών.

Το σημείο που έγινε μελέτη, όπως φαίνεται και στον γεωλογικό χάρτη (Εικ. 2.2), βρίσκεται στην επαφή φυλλιτών και χαλαζιτών της ενότητας Μελισσοχωρίου – Χολομώντα της Περιοδοπικής ζώνης.



2.3 Υδρογεωλογικά στοιχεία

Έχει οριστεί ότι, ένας γεωλογικός σχηματισμός που μπορεί να δώσει σημαντικές ποσότητες νερού, αποτελεί έναν υδροφόρο. Τέτοιοι σχηματισμοί είναι πολλοί. Η βασική απαίτηση, για να λειτουργήσει ένας σχηματισμός σαν υδροφόρος είναι η ικανότητα του να αποθηκεύει νερό στα διάκενα του, πρωτογενή ή δευτερογενή, και να το μεταβιβάζει προς τα υδρομαστευτικά έργα. Η αποθήκευση του νερού γίνεται στο συνολικό, πρωτογενές ή δευτερογενές πορώδες, αλλά μεταβιβάζεται το νερό που έχει αποθηκευτεί στο ενεργό μόνο πορώδες (βαρυτικό νερό). Τα πετρώματα εκτός από μια ενδεικτική τιμή πορώδους, χαρακτηρίζονται και από έναν αριθμό, k , που ονομάζεται συντελεστής υδροπερατότητας και εκφράζει την σχετική περατότητα του νερού ως προς το υπόψη πέτρωμα. Ο συντελεστής περατότητας έχει διαστάσεις ταχύτητας. Μετράται συνήθως σε m/sec και έχει μεγαλύτερη τιμή στα αδρομερή υλικά απ' ότι στα λεπτομερέστατα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ο κατώτερος σχηματισμός της ενότητας Μελισσοχωρίου Χολομώντα είναι μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι. Το πορώδες των παραπάνω σχηματισμών κυμαίνεται μεταξύ 0,5-17%. Είναι γενικά διαπερατά πετρώματα και έχουν τιμή $k, 10^{-2} - 10^{-5}$ m/sec. Τα υπερκείμενα πετρώματα που αποτελούνται από φυλλίτες και φλύσχη με εναλλαγές μετα-ιζημάτων έχουν αντιπροσωπευτική τιμή πορώδους 8-30% ενώ είναι λιγότερο διαπερατοί σχηματισμοί με τιμή $k, 10^{-6} - 10^{-8}$ m/sec. Οι γνεύσιοι και οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι της σειράς Βερτίσκου, ως συμπαγή μεταμορφωμένα πετρώματα, παρουσιάζουν πρωτογενές πορώδες μικρότερο του 2% και k ίσο με $10^{-6} - 10^{-9}$ m/sec ενώ οι μεταγάββροι, μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες των ανώτερων στρωμάτων έχουν και αυτοί παρόμοιες τιμές.

Τέλος, όσον αφορά τις υπερκείμενες αποθέσεις ιζημάτων του Νεογενούς, κροκαλοπαγή και ψαμμίτες είναι διαπερατοί σχηματισμοί με πορώδες 5-25% και συντελεστή υδροπερατότητας $10^{-3} - 10^{-5}$ m/sec. Αντίθετα η ερυθρή άργιλος αν και έχει μεγάλη τιμή πορώδους (44-50%) είναι σχεδόν αδιαπέρατος σχηματισμός με τιμή $k, 10^{-8} - 10^{-10}$ m/sec.

3. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

3.1 Αντικείμενο και σημασία της γεωφυσικής διασκόπησης

Γεωφυσική διασκόπηση είναι η μελέτη της δομής των απρόσιτων στην άμεση παρατήρηση επιφανειακών στρωμάτων του γήινου φλοιού, με βάση τις μετρήσεις γεωφυσικών μεγεθών και με την εφαρμογή θεμελιωδών νόμων της φυσικής. Σκοπός της γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο εντοπισμός γεωλογικών συνθηκών οικονομικής σημασίας.

Γεωλογικές συνθήκες οικονομικής σημασίας είναι, βασικά, εκείνες οι συνθήκες, που ευνοούν το σχηματισμό υγρών, αερίων ή στερεών κοιτασμάτων, όπως είναι τα κοιτάσματα πετρελαίου, φυσικών αερίων, μεταλλευμάτων, ορυκτών ανθράκων κλπ.

Μετρούμενες φυσικές ποσότητες είναι οι χρόνοι διαδρομής των τεχνητά παραγόμενων ελαστικών κυμάτων, η ένταση του πεδίου βαρύτητας, η ένταση του μαγνητικού πεδίου, το δυναμικό του ηλεκτρικού πεδίου, κλπ. Οι μετρήσεις των μεγεθών αυτών γίνονται σε ορισμένη απόσταση από τη δομή που θέλουμε να καθορίσουμε, με διάφορα όργανα όπως είναι τα σεισμόμετρα, τα βαρυτόμετρα, τα μαγνητόμετρα, τα βολτόμετρα, κλπ.

Οι μετρήσεις των μεγεθών που αναφέραμε παραπάνω, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό άλλων μεγεθών που αμέσως περιγράφουν τις φυσικές ιδιότητες των γήινων πετρωμάτων. Τα μεγέθη αυτά είναι η ταχύτητα διάδοσης των ελαστικών κυμάτων, η πυκνότητα των πετρωμάτων, η μαγνητική επιδεκτικότητα ή ηλεκτρική αγωγιμότητα κλπ.

Οι υπολογισμοί αυτοί βασίζονται σε θεμελιώδεις αρχές, όπως είναι οι νόμοι της διάθλασης και της ανάκλασης των κυμάτων, ο νόμος της παγκόσμιας έλξης, οι βασικοί νόμοι του μαγνητισμού και ηλεκτρισμού.

Πρέπει να τονισθεί ότι, κατά την πραγματοποίηση της γεωφυσικής διασκόπησης, δεν ενδιαφερόμαστε γι' αυτές τις ίδιες τιμές των διαφόρων φυσικών μεγεθών, αλλά για τις μεταβολές τους, οι οποίες οφείλονται σε εκείνες από τις ανωμαλίες της δομής του φλοιού που συνυπάρχουν με πετρελαιοφόρα ή μεταλλοφόρα κοιτάσματα.

Η βασική σημασία της γεωφυσικής διασκόπησης, οφείλεται στο ότι, με προσδιορισμό πιθανών δομών που σχετίζονται με κοιτάσματα πετρελαίου, αυξάνεται η πιθανότητα επιτυχών γεωτρήσεων. Σημαντικό είναι επίσης το οικονομικό όφελος από την εφαρμογή των μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης στην ανεύρεση μεταλλευμάτων. Πέρα απ' αυτά, γεωφυσικές μέθοδοι σε συνδυασμό με γεωλογικές μεθόδους, εφαρμόζονται για τον καθορισμό μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους,

θεμελίωσης τεχνικών έργων(φραγμάτων κλπ), για τον εντοπισμό υδροφόρων οριζόντων, γεωθερμικών πεδίων κλπ.

3.2 Οι μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης

Οι βασικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες. Αυτές είναι οι **σεισμικές**, που διακρίνονται στις μεθόδους ανάκλασης και διάθλασης, οι **βαρυτομετρικές**, οι **μαγνητικές**, οι **ηλεκτρικές** και οι **ηλεκτρομαγνητικές** μέθοδοι. Εκτός από τις βασικές αυτές μεθόδους εφαρμόζονται, σε ειδικές περιπτώσεις, και ορισμένες άλλες μέθοδοι όπως είναι η **ραδιομετρική** μέθοδος και η **θερμική**.

Παρακάτω θα αναλυθούν οι σεισμικές και ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην έρευνα για νερό.

3.3 Μέθοδοι έρευνας νερού – Κριτήρια

Το νερό μέσα στο έδαφος εντοπίζεται σε δύο είδη στρωμάτων:

- Σε μαλακά στρώματα
- Σε σκληρά πετρώματα

Οι μέθοδοι έρευνας που χρησιμοποιούνται σήμερα, εξαρτώνται από το είδος του στρώματος.

3.3.1 Μέθοδοι έρευνας σε μαλακά στρώματα

Τα ονομαζόμενα "μαλακά" στρώματα είναι εκείνα που απαντώνται στις πεδινές περιοχές. Πρόκειται για παράλληλες προς το έδαφος στρώσεις άμμων ή χαλικιών που υπάρχουν κάτω από το έδαφος σε διάφορα βάθη και μέσα σε αυτά κυκλοφορεί νερό.

Η γεωφυσική μέθοδος που μπορεί να εντοπίσει τα στρώματα αυτά από την επιφάνεια του εδάφους είναι η μέθοδος της **ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης**.

Μέσω ενός ειδικού οργάνου, στέλνουμε ηλεκτρικό ρεύμα στο έδαφος, μεγάλης έντασης. Παράλληλα μετρούμε την τάση που προκαλείται από το ρεύμα αυτό σε δύο ηλεκτρόδια. Με τον τρόπο αυτό μετρούμε τις αντιστάσεις όλων των στρωμάτων από την επιφάνεια μέχρι όποιο βάθος θέλουμε. Γνωρίζοντας πλέον τα υπόγεια γεωλογικά στρώματα, τι είναι το καθένα και σε τι βάθος και συνδυάζοντας και άλλες πληροφορίες για την περιοχή που ερευνούμε μπορούμε να καταλάβουμε εάν κάποιο από αυτά έχει νερό και σε ποιο βάθος.

3.3.2 Μέθοδοι έρευνας σε σκληρά πετρώματα

Το νερό στις ημιορεινές και ορεινές περιοχές δεν εντοπίζεται πλέον μέσα σε μαλακά στρώματα. Στις περιοχές αυτές τα πετρώματα είναι όπως λέμε "σκληρά" ή αλλιώς βραχώδη. Το νερό μέσα σε αυτά κυκλοφορεί μέσα σε ρήγματα ή ρωγμές και έχει ακανόνιστη πορεία.

Στην περίπτωση αυτή, η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι εντελώς διαφορετική. Πρόκειται για την λεγόμενη ηλεκτρομαγνητική μέθοδο "πολύ χαμηλής συχνότητας", ή αλλιώς την μέθοδο VLF.

Πως όμως μπορούν να γίνουν αντιληπτά αυτά τα ρήγματα και οι ρωγμές μέσα στο έδαφος;

Η πιο απλή εξήγηση είναι αυτή που ακολουθεί: Εδώ η εξήγηση είναι πιο δύσκολη και θα χρειασθούμε λίγο περισσότερες γνώσεις Φυσικής. Σε όλο τον κόσμο, υπάρχουν ραδιοφωνικοί σταθμοί εκπομπής που εκπέμπουν με πολύ μεγάλη ισχύ ηλεκτρομαγνητικά κύματα που διαχέονται σε όλη την υφήλιο. Τα κύματα αυτά, ιδιαίτερα εκείνα που έχουν πολύ χαμηλή συχνότητα (από 15 έως 30 KHZ) μπορούν και εισχωρούν βαθιά μέσα στο έδαφος.

Τι συμβαίνει όμως όταν αυτά τα κύματα συναντήσουν μέσα στο έδαφος μια περιοχή με ρωγμές που είναι γεμάτη με νερό; Με βάση την πρωταρχική αρχή της Φυσικής που λέει το γνωστό Δράση - Αντίδραση, θα δημιουργηθούν γύρω από τις ζώνες ρωγμών κάποια "δευτερεύοντα" όπως λέμε κύματα, πολύ ασθενέστερα βέβαια.

Η γεωφυσική, χρησιμοποιώντας ένα πολύ ευαίσθητο όργανο, μπορεί να ανιχνεύει αυτά τα ασθενέστατα κύματα και να εντοπίζει με πολύ μεγάλη ακρίβεια τις περιοχές που έχει νερό.

3.4 Περιγραφή μεθόδων

3.4.1 Μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Resistivity Soundings)

Βασική αρχή λειτουργίας: Η μέθοδος της ειδικής αντίστασης εφαρμόζεται πλατύτερα από τις άλλες μεθόδους γεωηλεκτρικής διασκόπησης και ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων κατά τις οποίες παράγεται στο έδαφος με τεχνητό τρόπο ηλεκτρικό πεδίο. Οι ιδιότητες του πεδίου αυτού διαμορφώνονται από τη δομή του υπεδάφους και για το λόγο αυτό ο καθορισμός των ιδιοτήτων αυτών με μετρήσεις του δυναμικού οδηγεί στον καθορισμό της δομής του υπεδάφους.

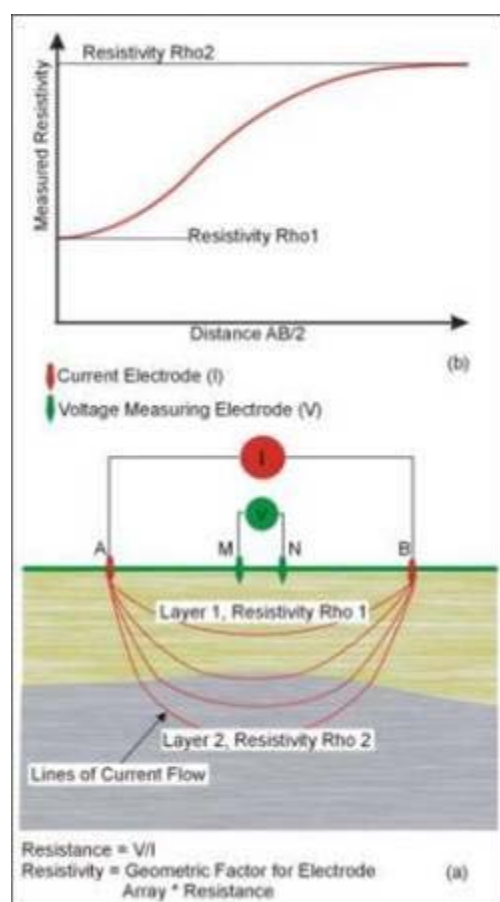
Συλλογή δεδομένων: Στην εικόνα 3.1 φαίνεται η διάταξη που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους. Ηλεκτρικό ρεύμα διοχετεύεται με την χρήση δύο ηλεκτροδίων στα σημεία Α και Β. Η τάση που προκαλείται λόγω αυτού του ρεύματος μετράται στα ηλεκτρόδια Μ και Ν. Πραγματοποιούνται μετρήσεις τόσο της έντασης ρεύματος, i , όσο και του δυναμικού (διαφοράς τάσης), ΔV , που παράγεται, με στόχο τον καθορισμό της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ρ , στο υπέδαφος. Η κατανομή της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος ονομάζεται **γεωηλεκτρική δομή**. Δεν είναι εύκολος ο άμεσος υπολογισμός της ειδικής αντίστασης, ρ , στο υπέδαφος από τις ηλεκτρικές μετρήσεις στην επιφάνεια της Γης. Για τον λόγο αυτό, υπολογίζεται αρχικά μια φυσικώς ανύπαρκτη ποσότητα η οποία ονομάζεται **φαινόμενη ειδική αντίσταση, ρ_a** , η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πραγματικής ειδικής αντίστασης στους διάφορους σχηματισμούς του υπεδάφους.

Για την πραγματοποίηση των γεωηλεκτρικών μετρήσεων έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι διάταξης, στην επιφάνεια της Γης, των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού, ανάλογα με τον σκοπό της γεωηλεκτρικής διασκόπησης. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση εξαρτάται και από τον τρόπο διάταξης των ηλεκτροδίων και για το λόγο αυτό πρέπει να γνωρίζουμε την διάταξη αυτή για τον υπολογισμό της ρ_a .

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατά τους οποίους διατάσσονται τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού. Οι πιο γνωστές από τις διατάξεις αυτές είναι η διάταξη «Wenner», η διάταξη «Schlumberger» και η διάταξη «διπόλου - διπόλου».

Στην μελέτη μας χρησιμοποιήσαμε την διάταξη «Schlumberger» (Εικ.3.1a) κατά την οποία, τα ηλεκτρόδια δυναμικού Μ και Ν παραμένουν σταθερά, ενώ η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος Α και Β αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά σχετικά με το κέντρο της

διάταξης. Στη διάταξη αυτή η απόσταση MN είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση AB. Οι τιμές απόστασης - αντίστασης παρίστανται σε ένα διάγραμμα όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1(b).

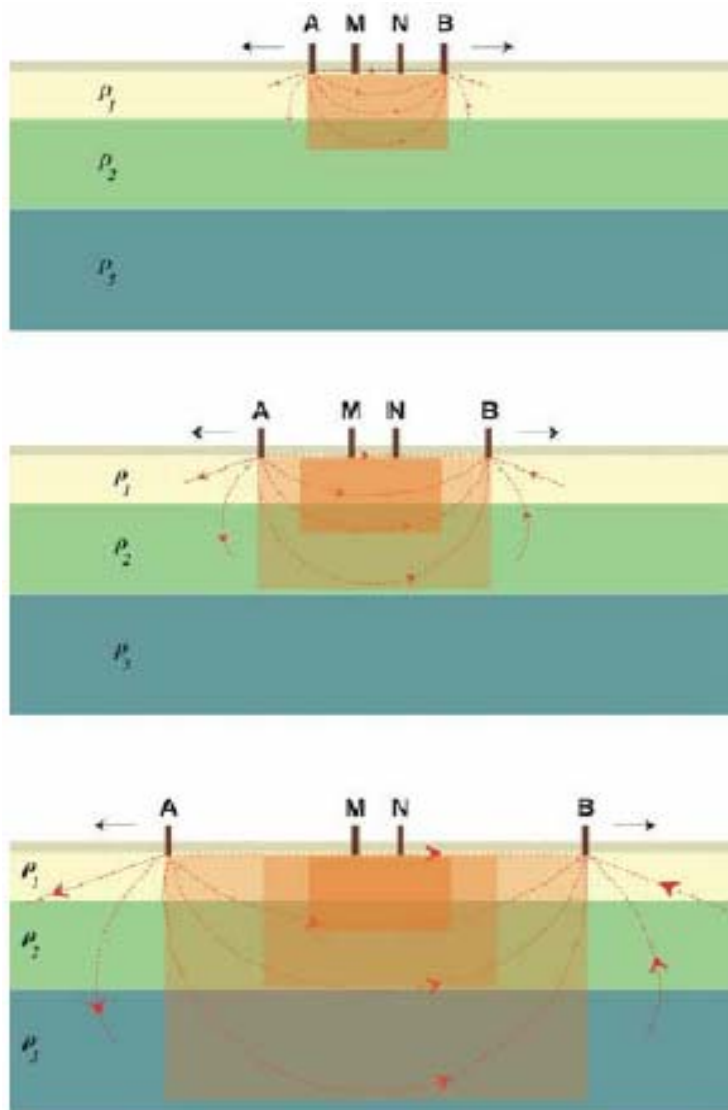


Εικ. 3.1 Διάταξη «Schlumberger»

Καθώς η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνεται, ο συνολικός όγκος της γης που ελέγχεται από την μέτρηση αυξάνει επίσης, τόσο σε βάθος όσο και πλευρικά. Δεδομένου ότι το κέντρο της διάταξης παραμένει σταθερό και εκείνο που αλλάζει είναι οι διαδοχικά διευρυνόμενες αποστάσεις AB είναι φανερό ότι οι διαδοχικά διευρυνόμενοι γήινοι όγκοι που ελέγχονται από τις μετρήσεις αλληλεπικαλύπτονται (Εικ.3.2).

Η ειδική αντίσταση μεταβάλλεται τόσο με το βάθος όσο και οριζόντια, όμως για την ερμηνεία των ηλεκτρικών βυθομετρήσεων η γη θεωρείται οριζόντια στρωμένη όπου μέσα στο κάθε στρώμα η ειδική αντίσταση παραμένει σταθερή (ομοιογενή στρώματα) και μεταβάλλεται μόνο με το βάθος όπου αλλάζει τιμή από στρώμα σε στρώμα. Γίνεται συνεπώς αντιληπτό ότι οι μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης με την διαδοχική αύξηση της απόστασης AB θα σχετίζονται αυστηρά μόνον με την σε βάθος αύξηση των αλληλεπικαλυπτόμενων γήινων όγκων. Έτσι, οι μετρούμενες τιμές της ειδικής αντίστασης είναι στη πραγματικότητα μέσες τιμές μεγάλων γήινων όγκων οι οποίοι συνεχώς

εκτείνονται πλευρικά και σε βάθος λόγω της διαδοχικής αύξησης της απόστασης AB.



Εικ.3.2 Αλληλοεπικάλυψη των γήινων όγκων καθώς αυξάνεται το εύρος των ηλεκτροδίων.

Η διάταξη Schlumberger εφαρμόζεται περισσότερο από όλες τις άλλες διατάξεις, επειδή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως είναι το ότι απαιτείται η μεταβολή της απόστασης μόνο των δύο ηλεκτροδίων κατά την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση, το ότι η χρησιμοποίηση σταθερού διπόλου τάσης περιορίζει ανεπιθύμητες επιδράσεις στις μετρήσεις που προκαλούνται από γεωλογικές πλευρικές ασυνέχειες και ότι το μεγαλύτερο μέρος του διαθέσιμου σήμερα βοηθητικού υλικού(καμπύλες, προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών) για την ερμηνεία των παρατηρήσεων έγινε για την εφαρμογή σε διάταξη «Schlumberger».

Πλεονεκτήματα: Η μέθοδος ηλεκτρικής αντίστασης δεν απαιτεί τα διαδοχικά στρώματα να έχουν και αντίστοιχα αυξανόμενες ηλεκτρικές αντιστάσεις όπως η σεισμική μέθοδος διάθλασης. Η διαδικασία μέτρησης στο ύπαιθρο είναι πολύ εύκολη και πολύ γρήγορη.

Περιορισμοί: Η μέθοδος παρουσιάζει δυσκολία στις περιοχές όπου είναι δύσκολο να καρφωθούν τα ηλεκτρόδια στο έδαφος (κατοικημένες περιοχές, ασφάλτος, σκυρόδεμα). Επίσης σε στεγνά εδάφη, η επαφή των ηλεκτροδίων με το έδαφος πρέπει να ενισχύεται με νερό για να διοχετεύεται όσο το δυνατόν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια μέσα σε αυτό. Γενικά, για ένα βάθος X , η απόσταση των ηλεκτροδίων πρέπει να φθάσει τουλάχιστον στο $3X$. Οριζόντιες μεταβολές της ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να επηρεάσουν αυτό τον τύπο των κατακόρυφων μετρήσεων, φαίνονται όμως κατά την επεξεργασία.



Εικ.3.3 Όργανο που χρησιμοποιείται στην μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την καταγραφή των λαμβανόμενων μετρήσεων.



Εικ.3.4 Διάταξη ηλεκτροδίων.

3.4.2 Μέθοδος VLF (Very Low Frequency)

Βασική αρχή λειτουργίας: Κατ' αρχήν το νερό στην φύση δεν εντοπίζεται μόνο μέσα σε υδροφόρα στρώματα. Σε ορεινές και βραχώδεις περιοχές, τα νερά από τις βροχές ή από την τήξη του χιονιού αναγκάζονται να διεισδύσουν μέσα σε σκληρά και συνεκτικά πετρώματα και να ακολουθήσουν την δαιδαλώδη πορεία τους προς το επίπεδο της θάλασσας.

Τα πετρώματα αυτά πολλές φορές παρουσιάζουν ρήγματα μέσα στα οποία η κυκλοφορία του νερού είναι πολύ πιο εύκολη λόγω των κενών που έχουν δημιουργηθεί. Τα ρήγματα αυτά εν τούτοις δεν είναι πάντοτε ορατά στην επιφάνεια του εδάφους για διάφορους λόγους, είναι όμως εύκολο να βρεθούν με την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο VLF.

Διαδικασία μετρήσεων: Η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα όργανο (π.χ. WADI) που είναι πολύ ευαίσθητο στις μεταβολές του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Ουσιαστικά το όργανο αυτό μπορεί να μετρήσει απειροελάχιστες μεταβολές στην τιμή και την διεύθυνση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, σε κάποιο σημείο της Γής. Εδώ πριν συνεχίσουμε θα πρέπει να ορίσουμε την διαφορά μεταξύ γήινου μαγνητικού πεδίου και ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

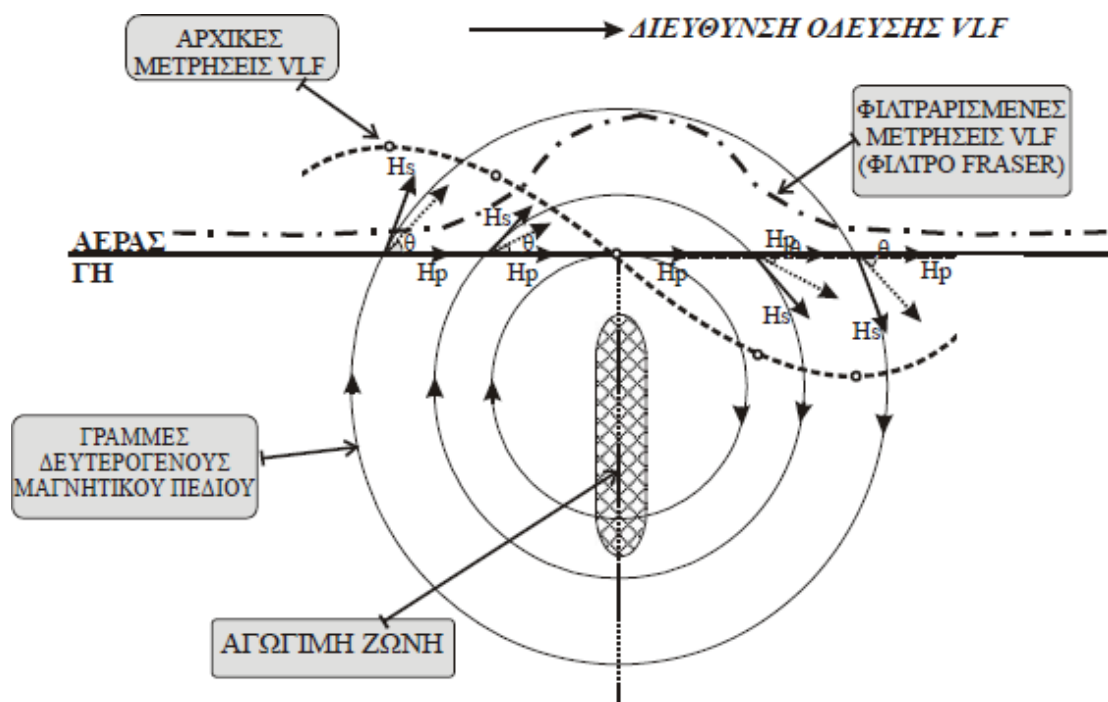
Το γήινο μαγνητικό πεδίο είναι ένα μέγεθος που είναι αμετάβλητο στο χρόνο (εκτός βέβαια από τις πολύ αργές γήινες μαγνητικές μεταβολές) και που δεν οφείλεται σε κάποια ανθρώπινη ενέργεια. Εν τούτοις, η Γη κατακλύζεται από μια πληθώρα ηλεκτρομαγνητικών πεδίων τα οποία έχει δημιουργήσει ο άνθρωπος για διάφορους σκοπούς (ραδιοεπικοινωνίες, τηλεοπτικές μεταδόσεις, δορυφόροι κλπ).

Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος VLF χρησιμοποιεί ένα είδος ηλεκτρομαγνητικών πεδίων για να εντοπίσει το νερό και μάλιστα εκείνα που βρίσκονται σε πολύ χαμηλές περιοχές συχνοτήτων (από όπου και το όνομα Very Low Frequency).

Το ηλεκτρομαγνητικό αυτό πεδίο, το οποίο σημειωτέον εκπέμπεται από κάποιο πολύ ισχυρό σταθμό ανά την υφήλιο και χρησιμεύει κυρίως στις ραδιοεπικοινωνίες, δημιουργεί μέσα στα ρήγματα που κυκλοφορεί νερό ένα πολύ μικρό και ασθενές δευτερεύον ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σύμφωνα με την αρχή της «επαγωγής» ή καλύτερα της «δράσης - αντίδρασης» όπως μάθαμε στη Φυσική. Το πολύ ασθενές αυτό πεδίο είναι σε θέση να ανιχνεύσει μια συσκευή VLF. Μια γεώτρηση πάνω σε ένα υδροφόρο ρήγμα θα δώσει με βεβαιότητα σημαντική παροχή.

•Οι ανωμαλίες που μετρούνται με τη μέθοδο VLF παρουσιάζουν διπολική μορφή.

• Κατά την όδευση πάνω από ένα αγωγίμο σώμα αρχικά η γωνία κλίσης (ανάλογη με την ένταση της πραγματικής συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου) παίρνει θετικές τιμές πριν περάσει πάνω από τον αγωγό, μηδενίζεται ακριβώς πάνω από τον αγωγό και τέλος παίρνει αρνητικές μετά από τον αγωγό.



Σχήμα 1. Μετρήσεις VLF σε όδευση.

• Η βασική επεξεργασία που εφαρμόζεται στις μετρήσεις VLF έτσι ώστε η ανωμαλία να αποκτήσει μορφή που καθιστά ευκολότερη την ερμηνεία είναι η χρήση ψηφιακών φίλτρων (φίλτρα Fraser).

• Προϋπόθεση για τον εντοπισμό καλού αγωγού με τη μέθοδο VLF είναι η πραγματική συνιστώσα να παρουσιάζει θετική κορυφή. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος της κορυφής τόσο πιο αγωγίμο είναι το σώμα.

• Η διάκριση του πόσο καλός αγωγός είναι το αγωγίμο σώμα γίνεται από την παρατήρηση της φανταστικής συνιστώσας. Οι βασικές αρχές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

• Το κέντρο του στόχου βρίσκεται στο σημείο του μέγιστου πλάτους (κορυφή) της πραγματικής συνιστώσας (φιλτραρισμένα δεδομένα).

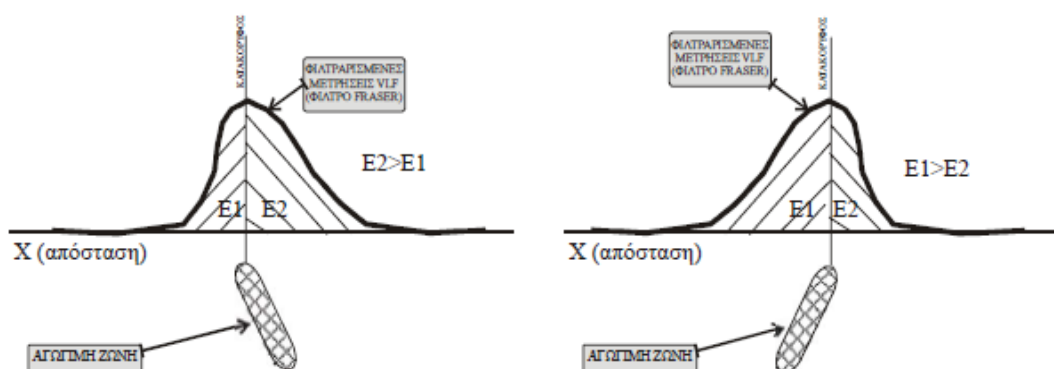
• Το βάθος του στόχου είναι περίπου το μισό το μήκος της ανωμαλίας. **(Προσοχή :** ο πρακτικός αυτός κανόνας είναι τελείως προσεγγιστικός και συχνά δε δίνει το πραγματικό βάθος του στόχου. Είναι όμως χρήσιμος

για να γίνει σύγκριση μεταξύ του βάθους των στόχων που εμφανίζονται στο ίδιο profile μέτρησης)

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

•

Για να βρούμε την κλίση του στόχου φέρνουμε την κατακόρυφο που περνά από το κέντρο της ανωμαλίας και η οποία χωρίζει την ανωμαλία σε δυο σκέλη E1, E2. Ο στόχος έχει κλίση προς το σκέλος που έχει το μεγαλύτερο εμβαδόν.



Εικ. 3.6 Υπολογισμός κλίσης του στόχου

3.5 Εφαρμογές μεθόδων

3.5.1 Εφαρμογή Γεωηλεκτρικής βυθοσκοπησης

Στην περιοχή που μελετήσαμε επιλέχθηκαν να γίνουν δύο βυθοσκοπήσεις, με διατάξεις όπως φαίνονται στο τοπογραφικό σχέδιο που ακολουθεί (Εικ.3.7). Στο σχήμα εικονίζεται το οικόπεδο ΑΒΓΔΕ όπου εκτελέστηκαν οι μετρήσεις και οι διευθύνσεις των βυθοσκοπήσεων VES1 και VES2 οι οποίες είναι κάθετες μεταξύ τους.

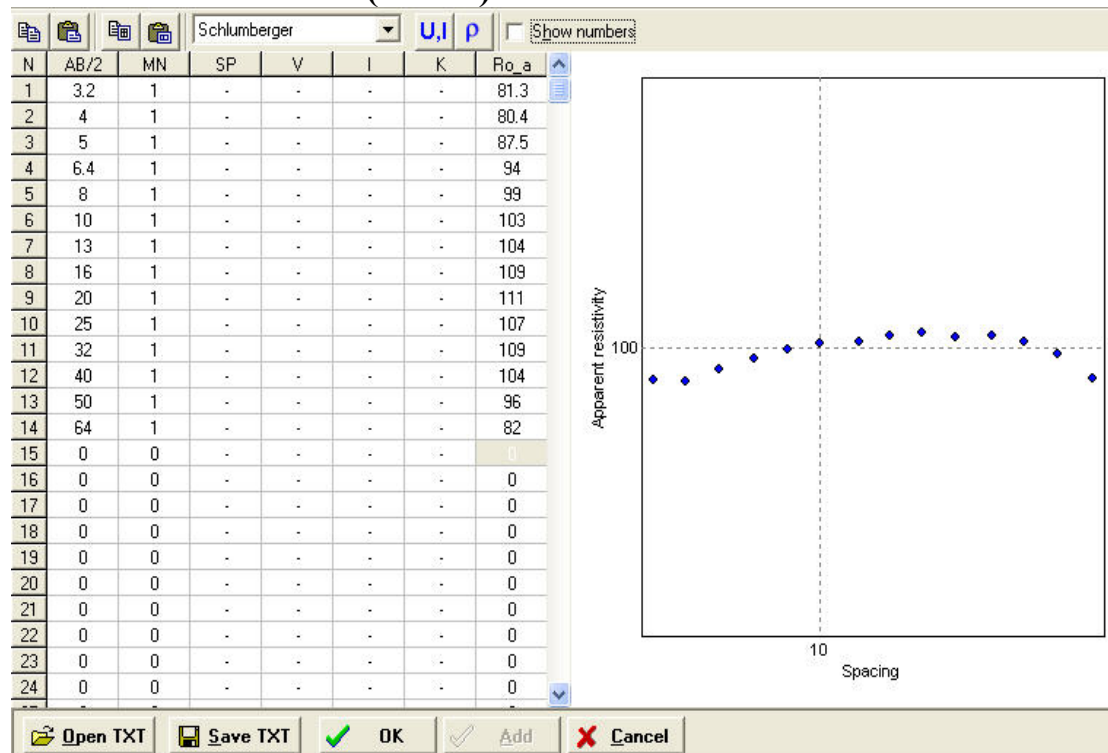


Εικ. 3.7 Σχηματική απεικόνιση των βυθοσκοπήσεων

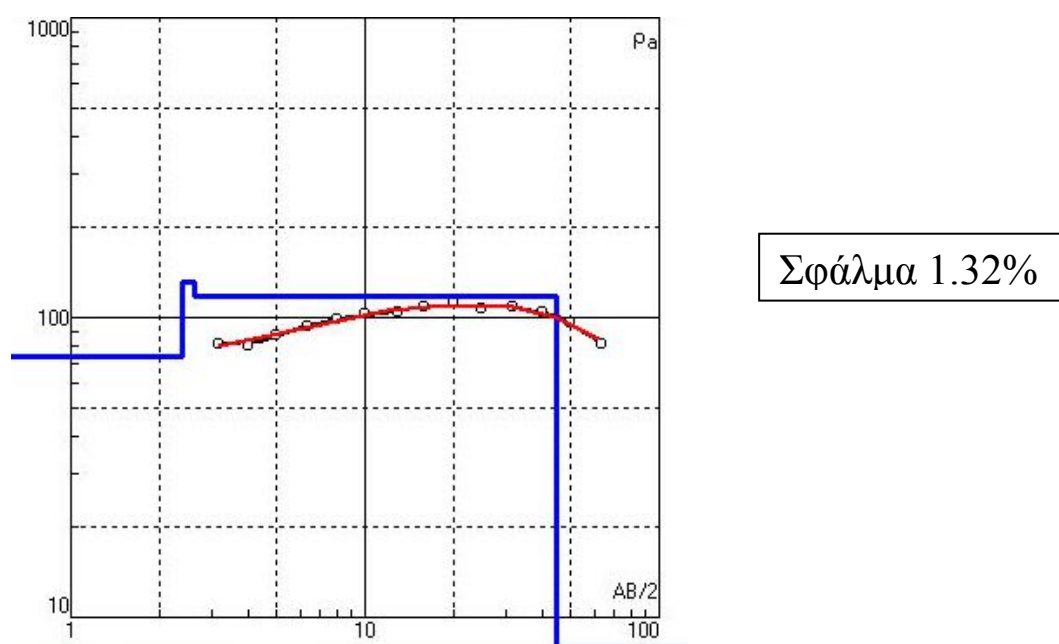
Στον πίνακα της εικόνας 3.8 φαίνονται οι μετρήσεις που πήραμε για την πρώτη βυθοσκοπήση (VES1), καθώς και τα σημεία που σχηματίζουν την χαρακτηριστική καμπύλη αυτής.

Στο διάγραμμα της εικόνας 3.9 που ακολουθεί βλέπουμε μαύρο χρώμα την καμπύλη της φαινόμενης ειδικής αντίστασης των πετρωμάτων έτσι όπως την πήραμε από τις μετρήσεις μας και με κόκκινο χρώμα την καμπύλη της πραγματικής ειδικής αντίστασης έτσι όπως την διαμορφώσαμε με το συγκεκριμένο μοντέλο μας. Το σφάλμα μεταξύ των καμπυλών φαινόμενης και πραγματικής αντίστασης είναι 1.32 % που σημαίνει ότι έχουμε μια πολύ καλή εικόνα για το υπόβαθρο. Από την μορφή και την κλίση της καμπύλης στην εικόνα 3.8 φαίνεται ότι έχουμε 4 διαφορετικά στρώματα, πράγμα το οποίο επαληθεύεται από τα αποτελέσματα της βυθοσκοπήσης (Πιν. 1).

1^η ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ (VES 1)



Εικ. 3.8 Πίνακας δεδομένων και καμπύλη διαστήματος - φαινόμενης αντίστασης, ρ_a



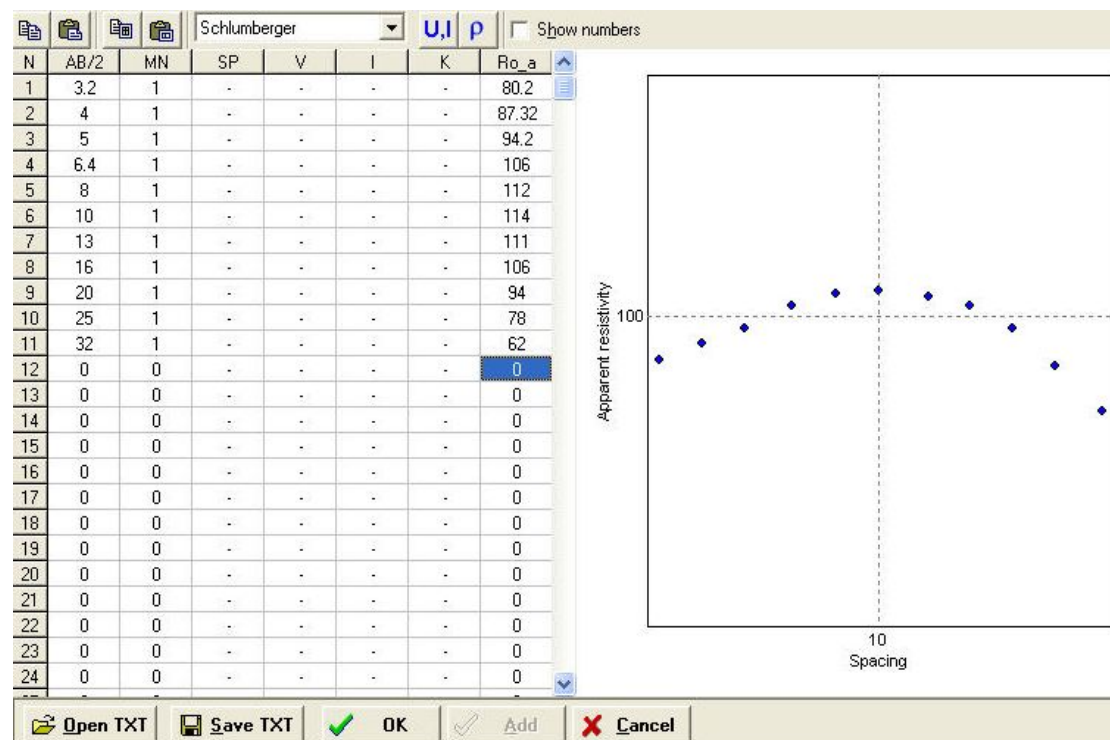
Εικ. 3.9 Καμπύλες φαινόμενης και πραγματικής αντίστασης

N	ρ	h	d	Alt
1	74.14	2.406	2.406	-2.406
2	131.4	0.2338	2.64	-2.6398
3	117.5	41.85	44.49	-44.49
4	5.638			

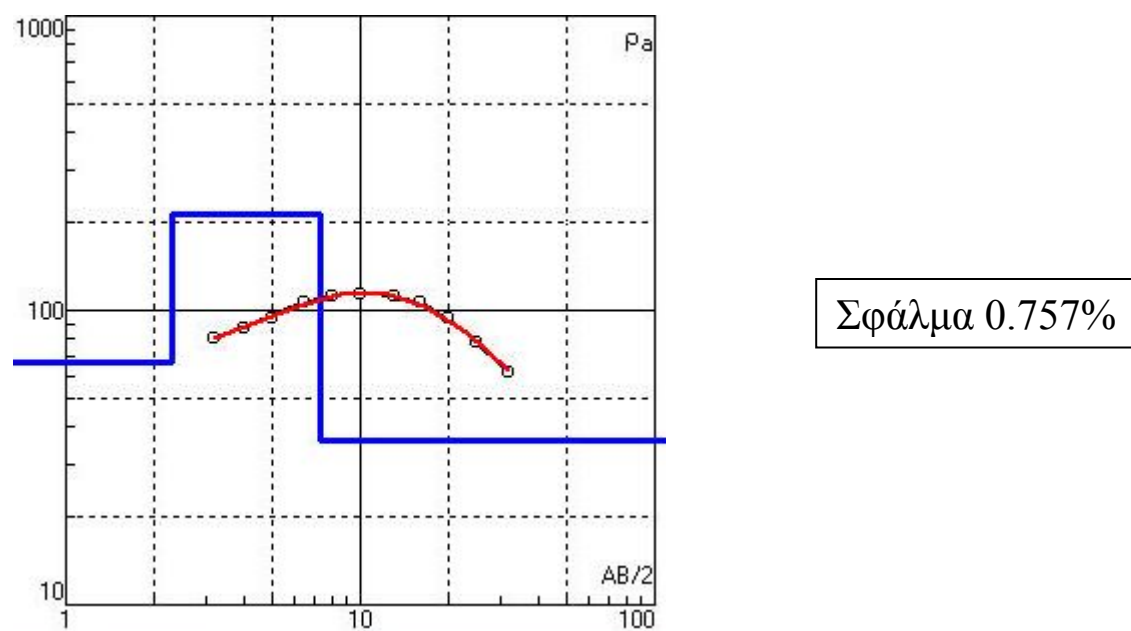
Πιν. 1 Πίνακας αποτελεσμάτων της βυθοσκόπησης.

Όπου, ρ η ειδική αντίσταση των στρωμάτων,
 h το πάχος του στρώματος και d το συνολικό

2^η ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ (VES 2)



Εικ. 3.10 Πίνακας δεδομένων και καμπύλη διαστήματος - φαινόμενης αντίστασης, ρ_a



Εικ. 3.11 Καμπύλες φαινόμενης και πραγματικής αντίστασης

N	ρ	h	d	Alt
1	66.58	2.292	2.292	-2.2919
2	211.9	5.047	7.339	-7.3388
3	36.11			

Πιν. 2 Πίνακας αποτελεσμάτων της βυθοσκόπησης.

Όπου, ρ η ειδική αντίσταση των στρωμάτων,
 h το πάχος του στρώματος και d το συνολικό

Στον πίνακα της εικόνας 3.10 φαίνονται οι μετρήσεις που πήραμε για την δεύτερη βυθοσκόπηση (VES2), καθώς και τα σημεία που σχηματίζουν την χαρακτηριστική καμπύλη αυτής. Από την κλίση της καμπύλης διακρίνουμε 3 στρώματα για την βυθοσκόπηση αυτή, και αυτό επαληθεύεται από τα αποτελέσματα(Πιν. 2) της πολύ καλής συσχέτισης που έγινε ($\sigma = 0.757\%$), μεταξύ των καμπυλών φαινόμενης και πραγματικής αντίστασης (Εικ. 3.11).

3.5.2 Δείκτης ανισοτροπίας

Τέλος, πρέπει να υπολογίσουμε τον δείκτη ανισοτροπίας μεταξύ των δύο κάθετων βυθοσκοπήσεων VES1 και VES2. Αυτός υπολογίζεται από τον λόγο των φαινόμενων αντιστάσεων (ρ_{a1}/ρ_{a2}) όπως φαίνεται στον πίνακα 3.

ρ_{a1}	ρ_{a2}	$\delta.a.(\rho_{a1}/\rho_{a2})$
81,3	80,2	1,01
80,4	87,32	0,92
87,5	94,2	0,92
94	106	0,88
99	112	0,88
103	114	0,9
104	111	0.93
109	106	1,02
111	94	1,18
107	78	1,37
109	62	1,75

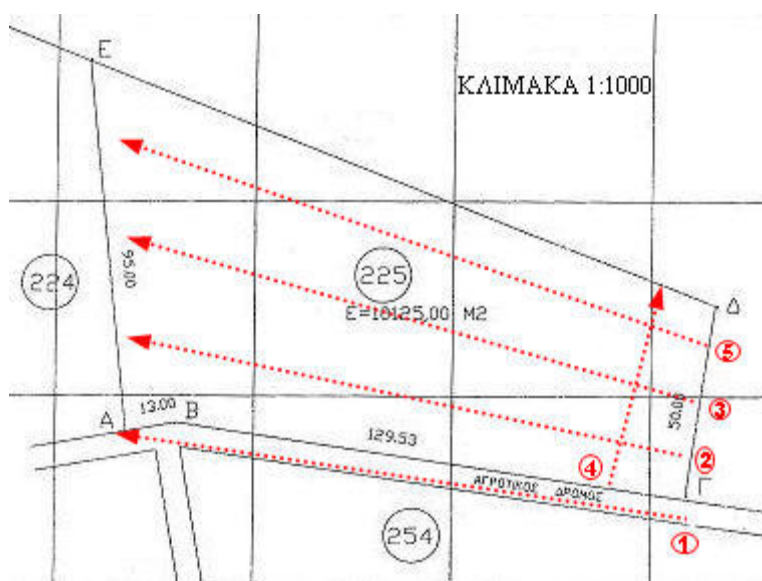
Πιν. 3 Δείκτες ανισοτροπίας

Για δείκτη ανισοτροπίας ίσο με 1, έχουμε ίδια αντίσταση και στις δύο διευθύνσεις, δηλ. έχουμε γενικώς μια οριζόντια στρωματογραφία με ομοιόμορφη κατανομή του υλικού.

Στην περίπτωση μας ο δ.α. παρουσιάζει μικρή απόκλιση από την μονάδα για μικρά και μέσα βάθη, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη η απόκλιση μεγαλώνει αισθητά. Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι έχουμε ανισότροπο ανομοιογενές υλικό σε μη οριζόντια στρωματογραφία και σε συνδυασμό ότι ψάχνουμε για τεκτονικές γραμμές και υδροφορία, αυτό παίζει σημαντικό ρόλο.

3.5.3 Εφαρμογή VLF

Για την ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση της περιοχής που μελετήσαμε, εφαρμόστηκε η μέθοδος VLF, κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν πέντε οδεύσεις με διευθύνσεις που φαίνονται στην εικόνα 3.12. Η πρώτη έγινε κατά μήκος του αγροτικού δρόμου που συνορεύει με το οικοπέδο και οι τρεις επόμενες εντός του οικοπέδου και παράλληλες με την πρώτη, ενώ είχαν και ίση σχεδόν απόσταση μεταξύ τους. Η πέμπτη όδευση έγινε κάθετα στις υπόλοιπες, στο ΝΑ μέρος του οικοπέδου. Για την λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή WADI (Εικ.3.13).



Εικ. 3.12 Σχηματική απεικόνιση των οδεύσεων VLF



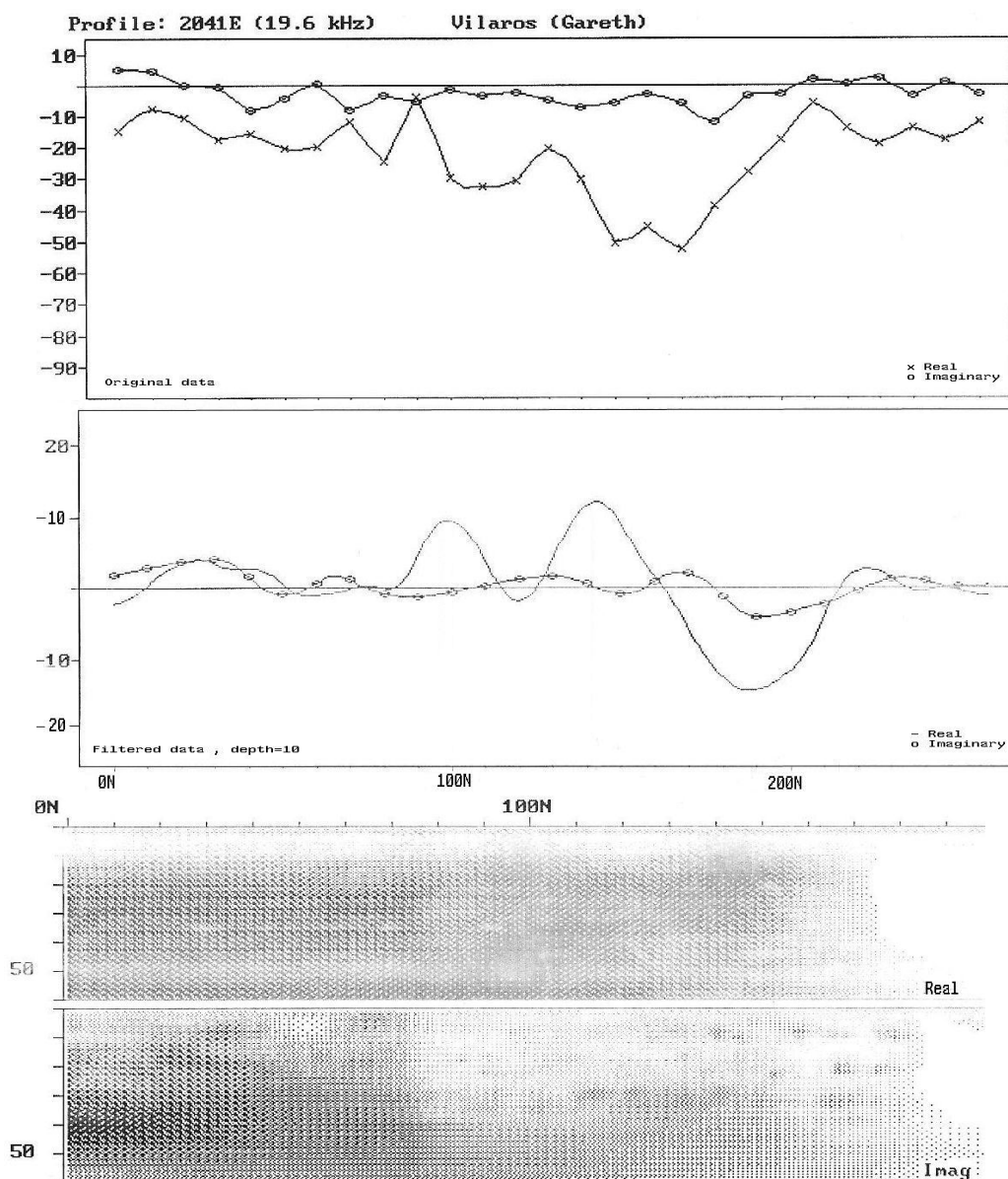
Εικ. 3.13 Η συσκευή WADI



Εικ. 3.14 Λήψη μετρήσεων στο ύπαιθρο

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι πρωτογενείς μετρήσεις ανά όδευση, οι φιλτραρισμένες τιμές μετά την εφαρμογή του φίλτρου Fraser καθώς και το ψευδομοντέλο όπως αυτό προκύπτει από την εφαρμογή του φίλτρου Karous-Hjelt.

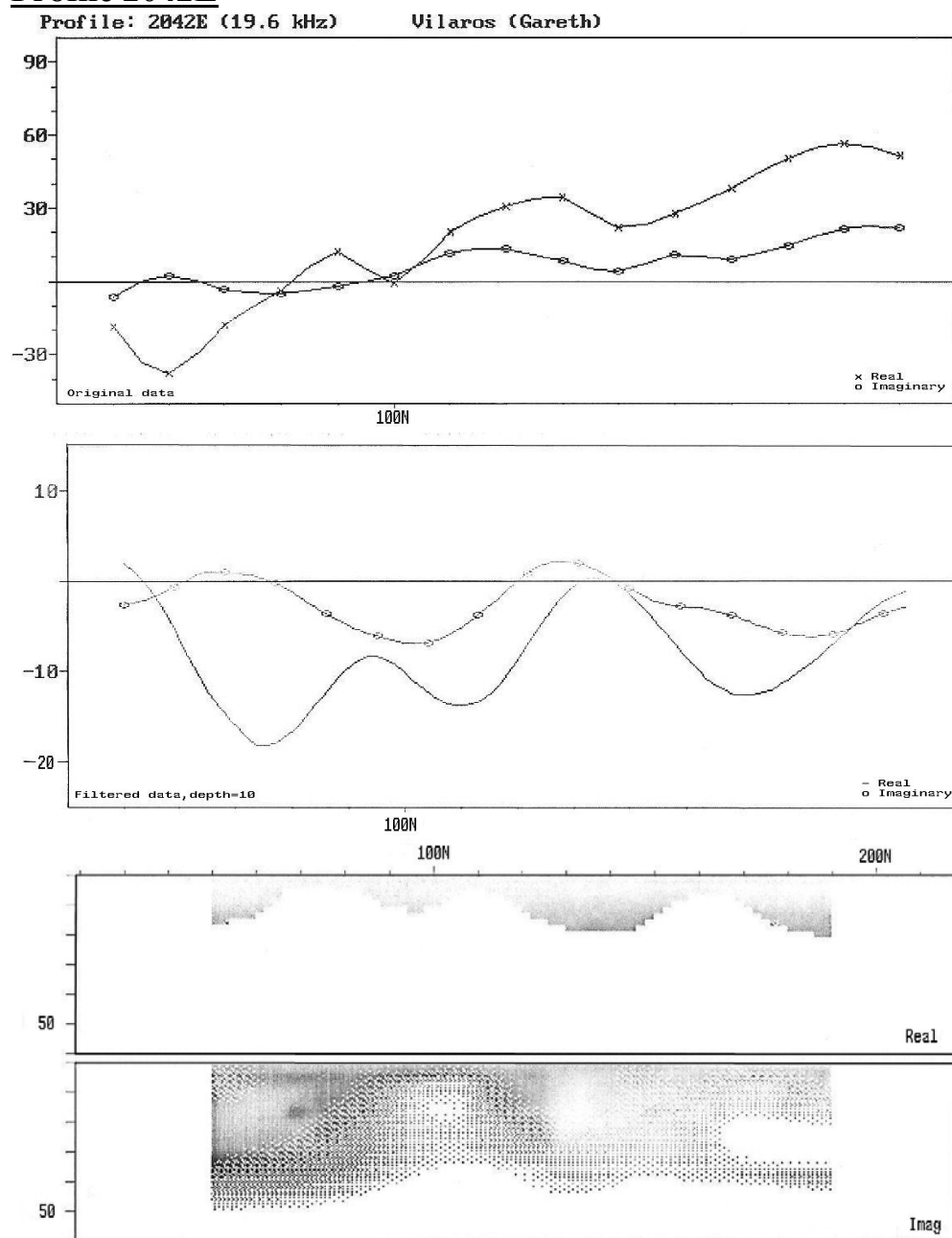
Profile 2041E



Εικ. 3.15 Profile 2041E (Οδευση 1)

Στο profile 2041E αναγνωρίζονται εύκολα δύο ζώνες διάρρηξης με την πραγματική καμπύλη του φίλτρου Fraser, σε αποστάσεις 100m η πρώτη και 143m η δεύτερη από την αρχή της όδευσης και σε βάθος περίπου 15m η κάθε μια. Το πόσο καλοί αγωγοί είναι οι ζώνες αυτές μας το δίνει η φανταστική συνιστώσα. Επειδή αυτή είναι αρνητική με πολύ μικρό πλάτος, συμπεραίνουμε ότι οι ζώνες διάρρηξης είναι μέτριοι ως καλοί αγωγοί με μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας.

Profile 2042E



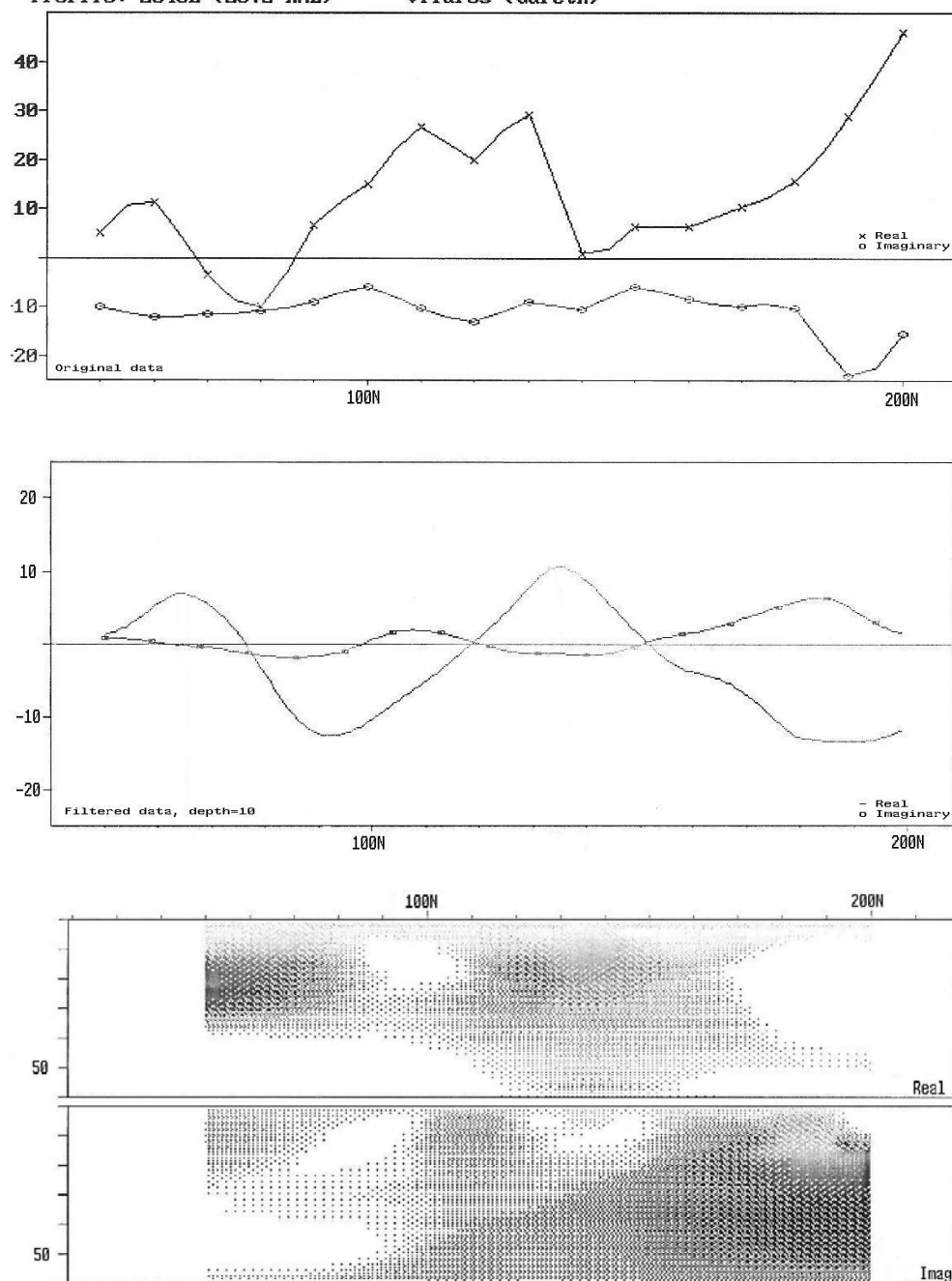
Εικ. 3.16 Profile 2042E (Οδευση 2)

Στο profile 2042E δεν παρατηρείται κάποια αγωγήμη ζώνη. Αυτό το συμπεραίνουμε από τις φιλτραρισμένες τιμές των καμπυλών, καθώς η πραγματική συνιστώσα δεν παρουσιάζει κάποια θετική κορυφή.

Profile 2043E

Profile: Z043E (20.2 kHz)

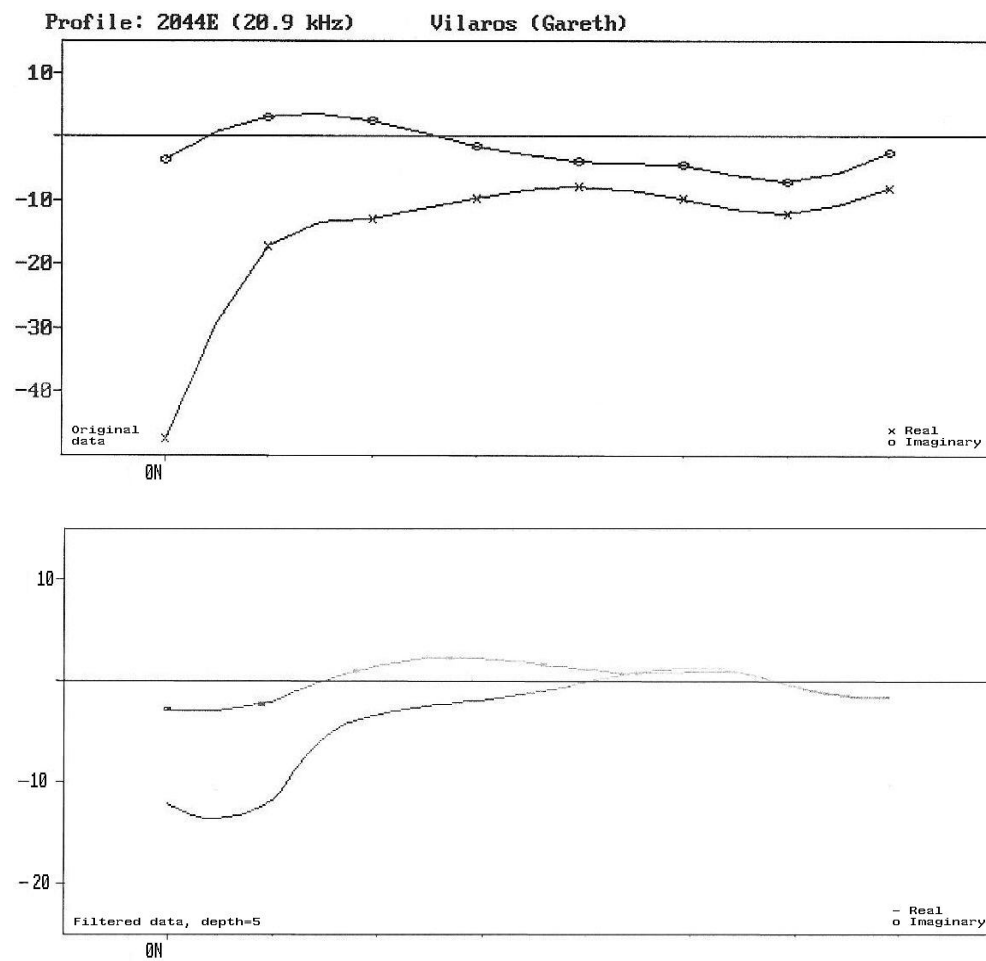
Vilaros (Gareth)



Εικ. 3.17 Profile 2043E (Οδευση 3)

Στο profile 2043E παρατηρούνται 2 ζώνες διάρρηξης. Η πρώτη στα 65m από την αρχή της όδευσης και σε βάθος περίπου 15m, ενώ η δεύτερη στα 137m και στο ίδιο βάθος με την πρώτη. Οι δύο ρηξιγενείς ζώνες παρουσιάζουν μέτρια ως καλή αγωγιμότητα και έχουν μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας.

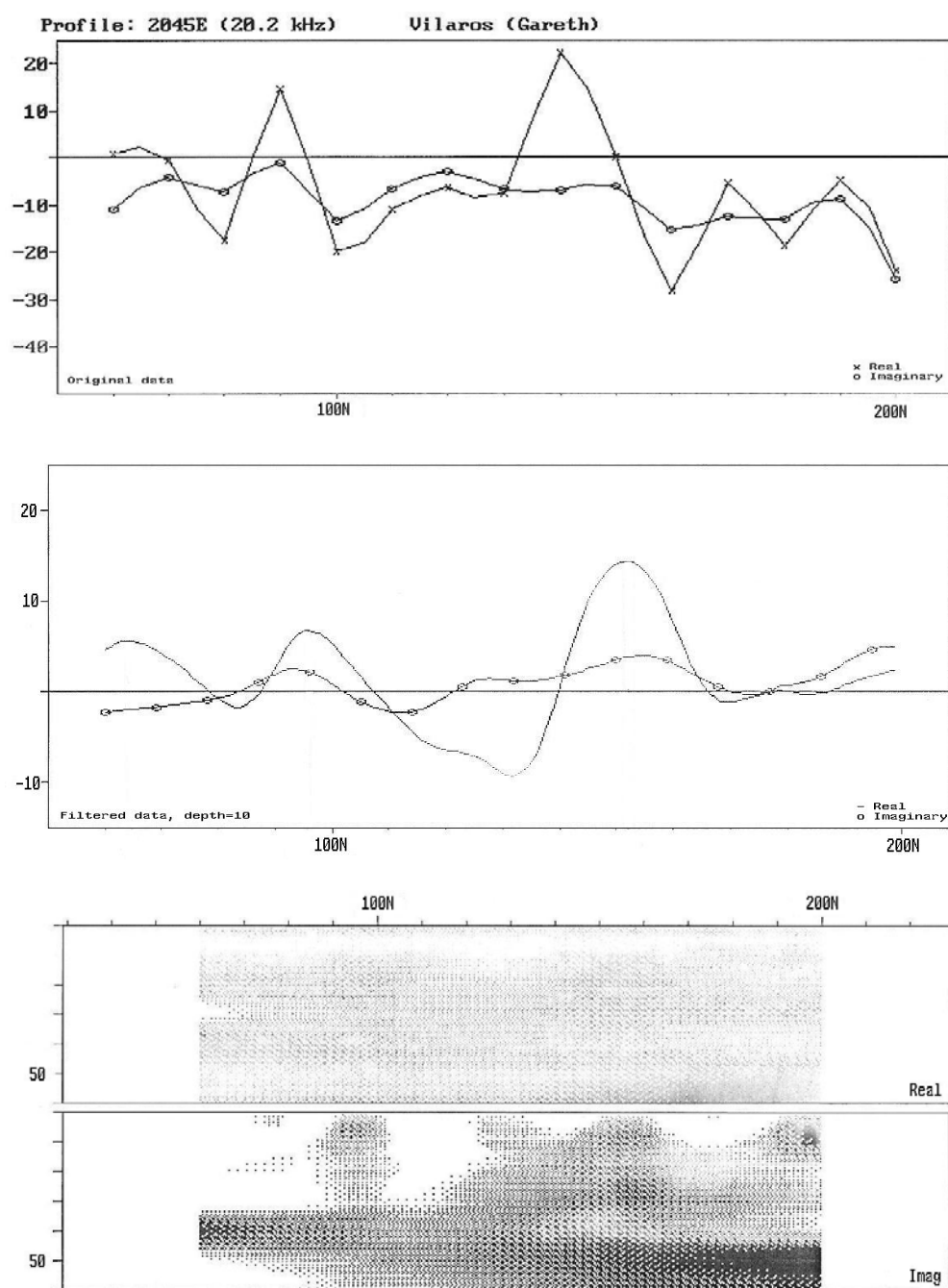
Profile 2044E



Εικ. 3.18 Profile 2044E (Οδευση 4)

Στο profile 2044E παρατηρείται μια αγωγίμη ζώνη στα 50m από την αρχή της όδευσης και σε βάθος 9m περίπου, όπου είναι δυνατόν να υπάρξει υδροφορία.

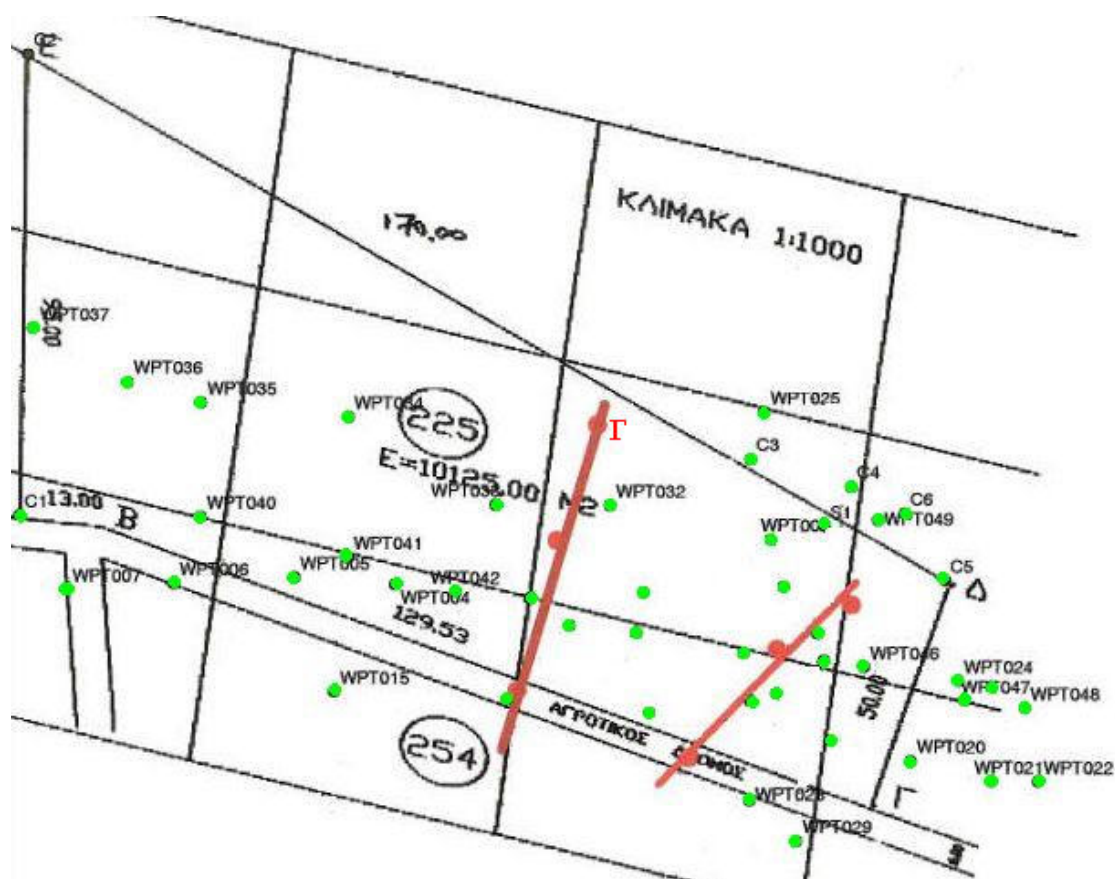
Profile 2045E



Εικ. 3.19 Profile 2045E (Οδευση 5)

Στο profile 2045E παρατηρούνται 3 ζώνες διάρρηξης. Η πρώτη στα 65m από την αρχή της οδευσης και σε βάθος περίπου 15m, η δεύτερη στα 96m και σε βάθος περίπου 10m, ενώ τέλος η τρίτη ζώνη εντοπίζεται στα 152m και σε βάθος περίπου 14m. Οι δύο πρώτες ζώνες διάρρηξης παρουσιάζουν μέτρια ως καλή αγωγιμότητα με μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας ενώ η τρίτη μέτρια ως κακή αγωγιμότητα με μικρή πιθανότητα υδροφορίας.

Στην εικόνα 3.20 με τις πράσινες βούλες φαίνονται όλες οι μετρήσεις που πήραμε ενώ με τις κόκκινες απεικονίζονται οι αγωγίμες ζώνες που εντοπίστηκαν. Η κόκκινη γραμμή συνδέει τις ζώνες αυτές δηλώνοντας την ρηξιγενή δομή η οποία τις προκαλεί. Έτσι λοιπόν στην περιοχή υπάρχουν δύο ρήγματα, τα οποία όμως δεν είναι εμφανή στην επιφάνεια αλλά βρίσκονται σε ένα βάθος γύρω στα 15m.



Εικ. 3.20 Απεικόνιση όλων των μετρήσεων καθώς και των δύο ρηγμάτων που εντοπίστηκαν

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συνοψίζοντας τα στοιχεία της γεωφυσικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της υδρογεωλογικής μελέτης στην τοποθεσία ‘Βίλαρος’ στο Παλαιόκαστρο Χαλκιδικής αναφέρονται τα εξής:

- Στόχος της έρευνας ήταν η μελέτη του υπεδάφους και ο εντοπισμός ρηξιγενών δομών όπου θα μπορούσαμε να έχουμε πιθανή υδροφορία.
- Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν δύο γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις και πέντε οδεύσεις VLF.
- Από τα αποτελέσματα των βυθοσκοπήσεων συμπεραίνουμε ότι η στρωματογραφία της περιοχής που μελετήσαμε αποτελείται από 3-4 στρώματα όπου, τα ανώτερα στρώματα είναι ιζήματα ενώ προς τα κάτω συναντάμε πιο σκληρά πετρώματα όπως είναι οι φυλλίτες και οι χαλαζίτες. Τα πετρώματα αυτά είναι ελάχιστα υδροπερατά και η υδροφορία αν υπάρχει θα περιορίζεται μόνο σε τυχόν ρηξιγενείς δομές.
- Με τις οδεύσεις VLF που εκτελέσαμε, εντοπίστηκαν δύο σχεδόν παράλληλα ρήγματα με μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας.

Λαμβάνοντας υπ’ όψιν τα παραπάνω, προτείνεται διάνοιξη ερευνητικής γεώτρησης στο σημείο Γ που βρίσκεται 152m από την αρχή της όδευσης 5, όπου παρατηρείται και η μεγαλύτερη ανωμαλία. Το βάθος της γεώτρησης θα καθοριστεί κατά την διάρκεια της διάνοιξης με βάση τα στοιχεία που θα προκύπτουν αλλά δεν θα ξεπεράσει το βάθος των 100m.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βαργεμέζης, Γ., Γεωφυσική έρευνα με ηλεκτρικές-ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους του ανατολικού τμήματος της λεκάνης του Ανθεμούντα. Ερευνητικό πρόγραμμα(81243). Εργαστήριο εφαρμ. Γεωφυσικής Αριστοτελείου πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (2006)

Καλλέργης, Γ., Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμος Β' ΤΕΕ. Αθήνα (2000)

Κούστας, Γ., Υδρογεωλογική - γεωφυσική μελέτη για την διαπίστωση των δυνατοτήτων ύδρευσης του οικισμού Μηλιάς – Πυλίνης. Πτυχιακή εργασία. Χανιά (2005)

Μουντράκης, Δ., Γεωλογία της Ελλάδος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη(1985)

Παπαζάχος, Β., Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη γεωφυσική. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη(1996)

Παπαζάχος, Β., Εισαγωγή στη γεωφυσική. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη(1999)

Σούλιος, Γ., Γενική υδρογεωλογία. Πρώτος τόμος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη(1986)

Πηγές διαδικτύου

www.geo.auth.gr

www.geoservice.gr