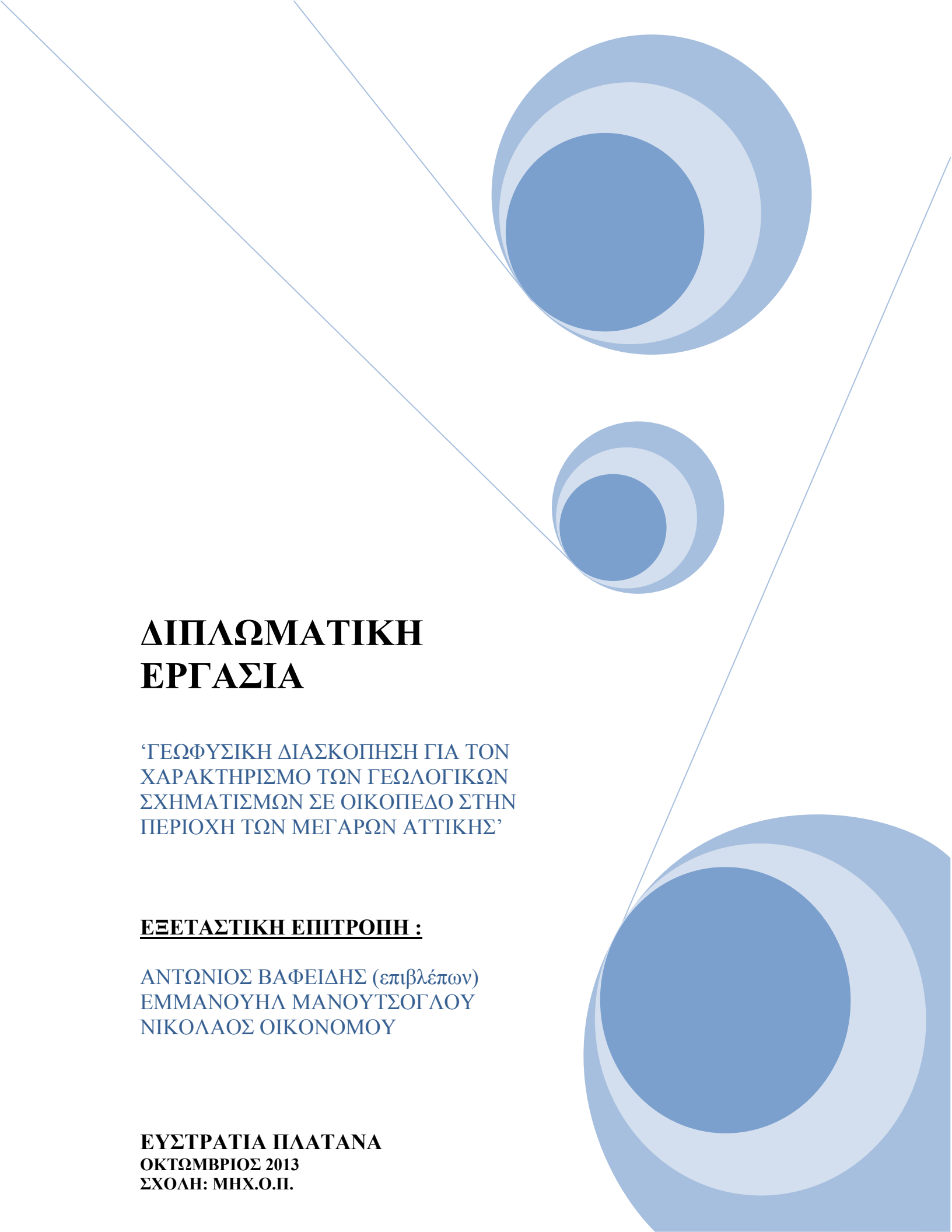




ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

‘ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΕ ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΜΕΓΑΡΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ’

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΒΑΦΕΙΔΗΣ (επιβλέπων)
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ

ΕΥΣΤΡΑΤΙΑ ΠΛΑΤΑΝΑ
ΟΚΤΩΜΒΡΙΟΣ 2013
ΣΧΟΛΗ: ΜΗΧ.Ο.Π.

<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>	ΣΕΛ
• ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
• ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
• ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	6
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ.....	6
1.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	6
1.2.1 ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	6
1.2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	8
1.2.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ.....	10
1.3 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΡΣΤ.....	12
1.4 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ.....	14
• ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	16
2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	16
2.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ.....	16
2.1.2 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ.....	18
2.2 ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ.....	20
2.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	20
2.2.2 ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ.....	21
2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	24
2.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	24
2.3.2 ΡΟΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΜΟΙΟΓΕΝΗ ΚΑΙ ΙΣΟΤΡΟΠΗ ΓΗ.....	25
2.3.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.....	27
2.3.4 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....	27
2.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	30
2.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	30
2.4.2 ΤΡΟΠΟΣ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	30
• ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	32
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΑΧΗ ΜΕΓΑΡΩΝ.....	32

3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ	38
3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ	38
3.2 ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ	40
3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	40
3.2.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ	41
3.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ	44
3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	45
3.3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	45
3.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΜΩΝ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΜΕΣΩ T3D	48
• ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	52
ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	52
4.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	52
4.2.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	53
4.2.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΜΗΣ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	55
4.2.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΟΜΩΝ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ T3D	58
• ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	59
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	59
• ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	61
• ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	62

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένα άτομα, τα οποία με στήριξαν και με βοήθησαν στην πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής .

Μετά την περάτωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον κ. Αντώνιο Βαφείδη, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, τόσο για την ανάθεση του θέματος, όσο και για την άψογη συνεργασία και πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τους κ. Αντώνιο Βαφείδη, κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου και κ. Νικόλαο Οικονόμου για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή καθώς και τον τελικό έλεγχο και τις σημαντικές παρατηρήσεις που έκαναν επί της εργασίας.

Τον Δρ. Οικονόμου Νικόλαο για το χρόνο, την υπομονή και την πολύτιμη βοήθεια και συνεχή βοήθεια που προσέφερε για την εκπόνηση της εργασίας.

Τον Δρ. Hamdan H. για την βοήθεια του στη επεξεργασία των μετρήσεων στα ηλεκτρομαγνητικά.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθειά της καθ όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο εντοπισμός πιθανών εγκοίλων, καθώς και ο περαιτέρω χαρακτηρισμός του υπεδάφους στην περιοχή μελέτης εν όψει μελλοντικής έδρασης οικίας. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόστηκαν η μέθοδος του γεωραντάρ, η ηλεκτρική τομογραφία και η ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση. Στην περιοχή κυριαρχούν ανθρακικοί σχηματισμοί με εμφανείς ρηγματώσεις.

Η περιοχή ενδιαφέροντος σαρώθηκε με το γεωραντάρ σε 15 παράλληλες γραμμές μελέτης. Διασκοπήθηκε μία γραμμή μελέτης με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας μήκους 26 m. Χρησιμοποιήθηκαν οι διατάξεις ηλεκτροδίων Wenner-Schlumberger και Διπόλου-Διπόλου με ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 m. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση σε όλη την περιοχή ενδιαφέροντος με βήμα σταθμών 0.5 m.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε συνδυαστική ερμηνεία του ηλεκτρομαγνητικού χάρτη και των γεωηλεκτρικών τομών και επιλεγμένα δεδομένα γεωραντάρ υπερτέθηκαν επί των γεωηλεκτρικών τομών.

Από την αξιολόγηση των γεωλογικών δεδομένων της περιοχής μελέτης και των αποτελεσμάτων της γεωφυσικής διασκόπησης, προέκυψε ότι δεν υπάρχουν έγκοιλα με διαστάσεις μεγαλύτερες των 2 μέτρων σε βάθος μέχρι 5 μέτρα. Εντοπίστηκαν μικρο-ρηγματώσεις σε όλη την περιοχή μελέτης. Στο βόρειο και ανατολικό άκρο εμφανίζεται ρήγμα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και προτείνεται να αποφευχθεί η έδραση κτιρίου ή τμήματός του στην θέση αυτή. Συγκεκριμένα σημεία της υπόλοιπης περιοχής μελέτης χρήζουν ενίσχυσης ή εξυγίανσης του υπεδάφους για την ασφαλή οικοδόμηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ

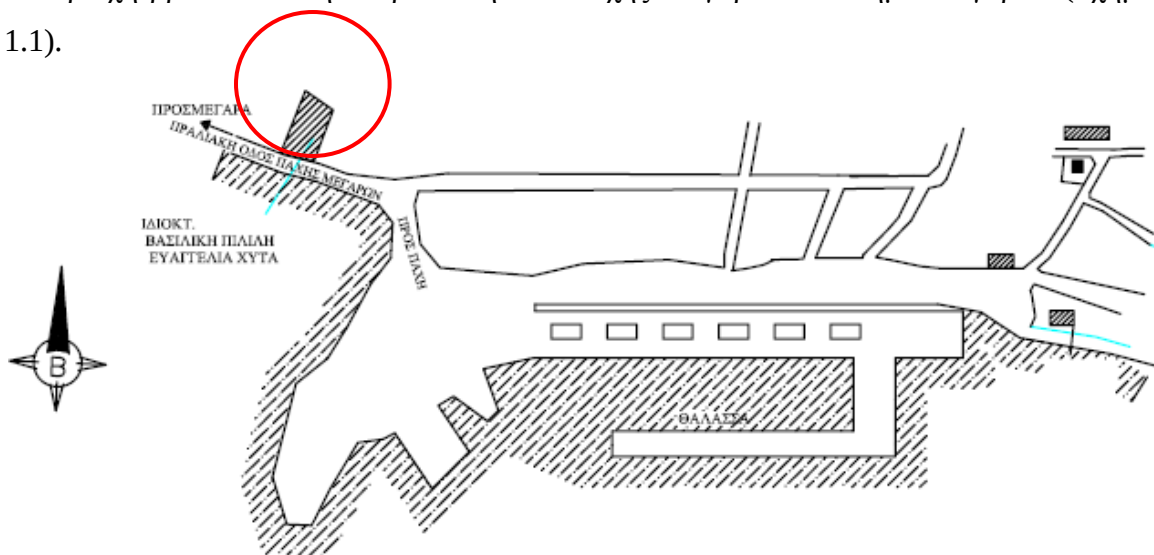
Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη συλλογή και αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων και απαραίτητων στοιχείων σχετικά με τη στρωματογραφία και την τεκτονική, που ενδιαφέρουν από τεχνικογεωλογική άποψη την περιοχή μελέτης, η οποία βρίσκεται επί της παραλιακής οδού Πάχης - Μεγάρων, δήμου Μεγάρων (Σχήμα 1.1), όπου πρόκειται να ανεγερθεί τριώροφη οικοδομή με ισόγειο κατάστημα, δύο κατοικίες (μεζονέτες Α & Β ορόφου) και υπόγειο.

Η γεωφυσική διασκόπηση είχε ως στόχο την χαρτογράφηση και τον χαρακτηρισμό των επιφανειακών σχηματισμών του υπεδάφους στην περιοχή μελέτης. Δεδομένης της ύπαρξης ανθρακικών πετρωμάτων στην εν λόγω περιοχή με ορατές εμφανίσεις ρηγμάτων και διακλάσεων (κάρστ), η γεωφυσική διασκόπηση εστιάζεται στον προσδιορισμό της κατανομής των ασυνεχειών στο υπέδαφος όπου θα εδραστεί η οικοδομή.

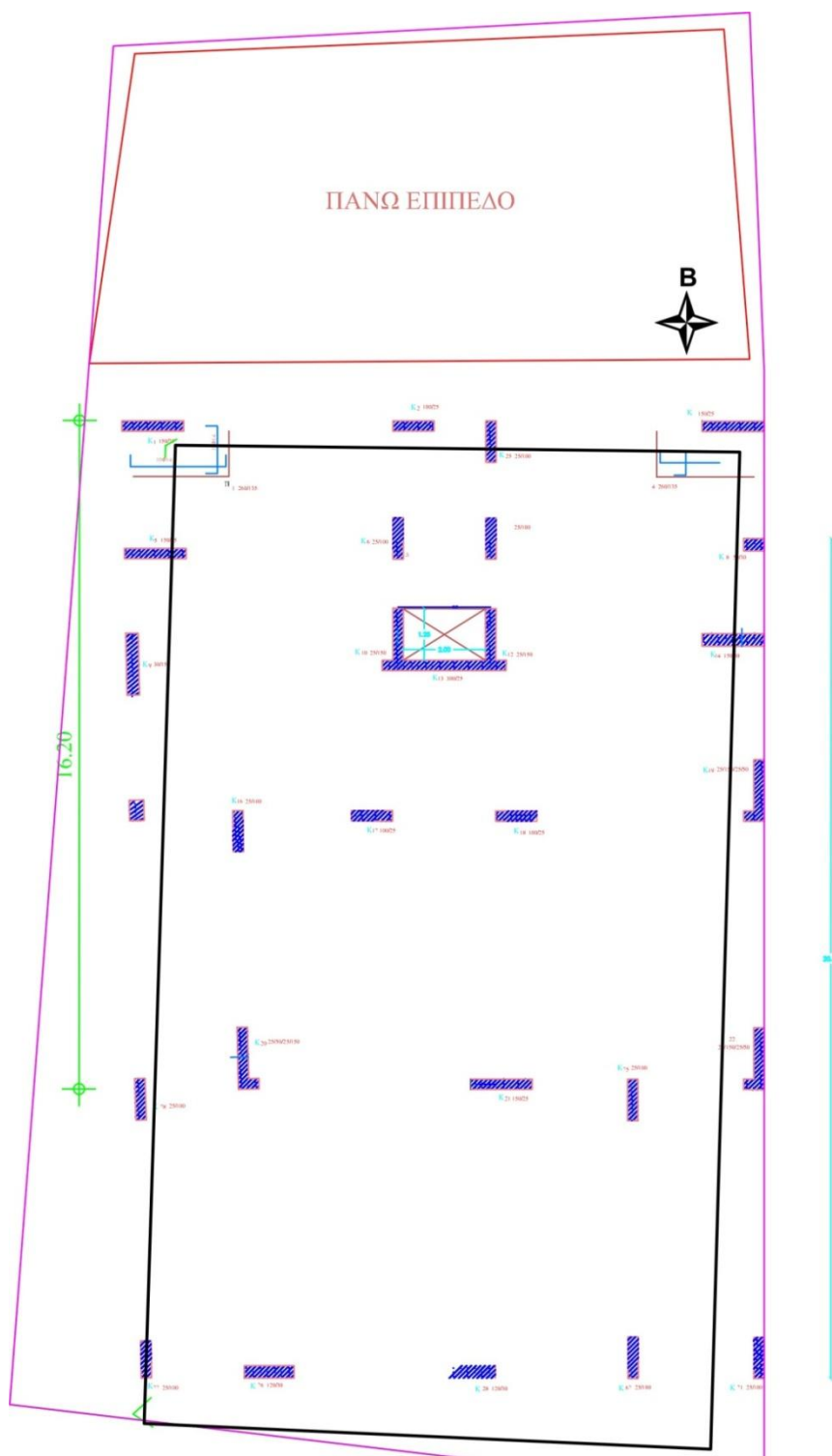
1.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.2.1 ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή βρίσκεται στην παραλιακή οδό Πάχης-Μεγάρων στο δήμο Μεγάρων (σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Οδοιπορικό σκαρίφημα της ευρύτερης περιοχής, όπου απεικονίζεται (σε κύκλο) η θέση του οικοπέδου που πραγματοποιήθηκε η γεωφυσική μελέτη.



Σχήμα 1.2: Τοπογραφική αποτύπωση του οικοπέδου όπου απεικονίζεται η θέση του καννάβου των γεωφυσικών μετρήσεων (μαύρο πλαίσιο).

1.2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη «Φύλλο ΜΕΓΑΡΑ» του Ι.Γ.Μ.Ε. σε κλίμακα 1:50.000 (Σχήμα 3.1), εμφανίζονται οι ακόλουθοι σχηματισμοί:

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

ΟΛΟΚΑΙΝΟ

- **Αλλουβιακές αποθέσεις (al):** ασύνδετα υλικά από αργίλους, άμμους και κροκαλολατύπες. Προσχώσεις από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά και ερυθρογή.
- **Παράκτιες αποθέσεις (cd):** άμμοι και ιλύς τεναγών.
- **Σύγχρονα πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (sc,cs):** σχηματισμοί που προέρχονται από την αποσάθρωση των γύρω πετρωμάτων.

ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

- **Παλαιά πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (Pl - sc,cs):** συνεκτικά κροκαλολατυποπαγή, διατεταγμένα σε λεπτές στρώσεις ή πάγκους. Το συνδετικό υλικό είναι ασβεστιτικό ή αργιλικό.

ΝΕΟΓΕΝΕΣ

ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

- **Μάργες, άργιλοι και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Pl - m):** σε εναλλαγές με λιμναίους, λιμνοθαλάσσιους και θαλάσσιους σχηματισμούς.

ΥΠΟΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ

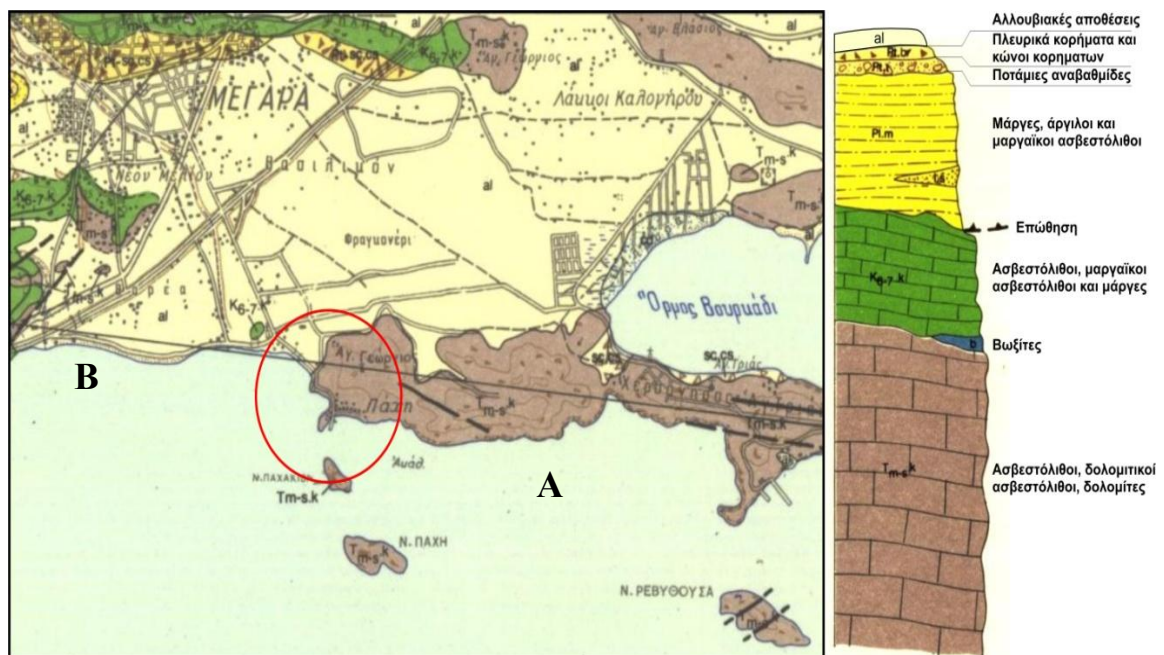
ΜΕΣΟ – ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ

- **Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες (T_{m-s-k}):** λευκοί, λευκοκίτρινοι, τεφροί, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, βιομικρίτες. Κατά θέσεις συναντάμε λεπτές ενστρώσεις (1 – 2 cm) δολομιτωμένες (δολοσπαρίτες). Είναι έντονα κατακερματισμένοι και παρουσιάζουν ένα αρκετά ανεπτυγμένο καρστικό σύστημα.

Ειδικότερα, στην θέση όπου πραγματοποιήθηκε η γεωφυσική διασκόπηση εμφανίζονται ασβεστόλιθοι – δολομιτικοί ασβεστόλιθοι του Μέσου – Ανώτερου Τριαδικού. Όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία (υπόμνημα γεωλογικού χάρτη 1:50.000 Φύλλο ΜΕΓΑΡΑ του Ι.Γ.Μ.Ε. σχήμα 1.3), αλλά και όπως παρατηρήθηκε σε εδαφικές τομές κατά την εκσκαφή του οικοπέδου (Σχήμα 1.4), οι ασβεστόλιθοι αυτοί είναι έντονα κατακερματισμένοι και παρουσιάζουν ένα αρκετά ανεπτυγμένο καρστικό σύστημα.

Από τις επί τόπου παρατηρήσεις στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν δύο κατηγορίες διακλάσεων του ασβεστολιθικού σχηματισμού:

1. Ανοιχτά ρήγματα χωρίς πληρωτικό υλικό (Περιοχή Α, Σχήμα 1.4).
2. Ρηγματογόνες ζώνες με αργιλικό πληρωτικό υλικό (Περιοχή Β, Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.3: Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη «Φύλλο Μέγαρο» όπου σε κύκλο απεικονίζεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης (πηγή Ι.Γ.Μ.Ε.) Στο σχήμα 1.3 παρατηρούνται 2 κύριες διευθύνσεις ρηγμάτων ΝΑ-ΒΔ (Α) και ΔΝΔ-ΑΒΑ (Β).

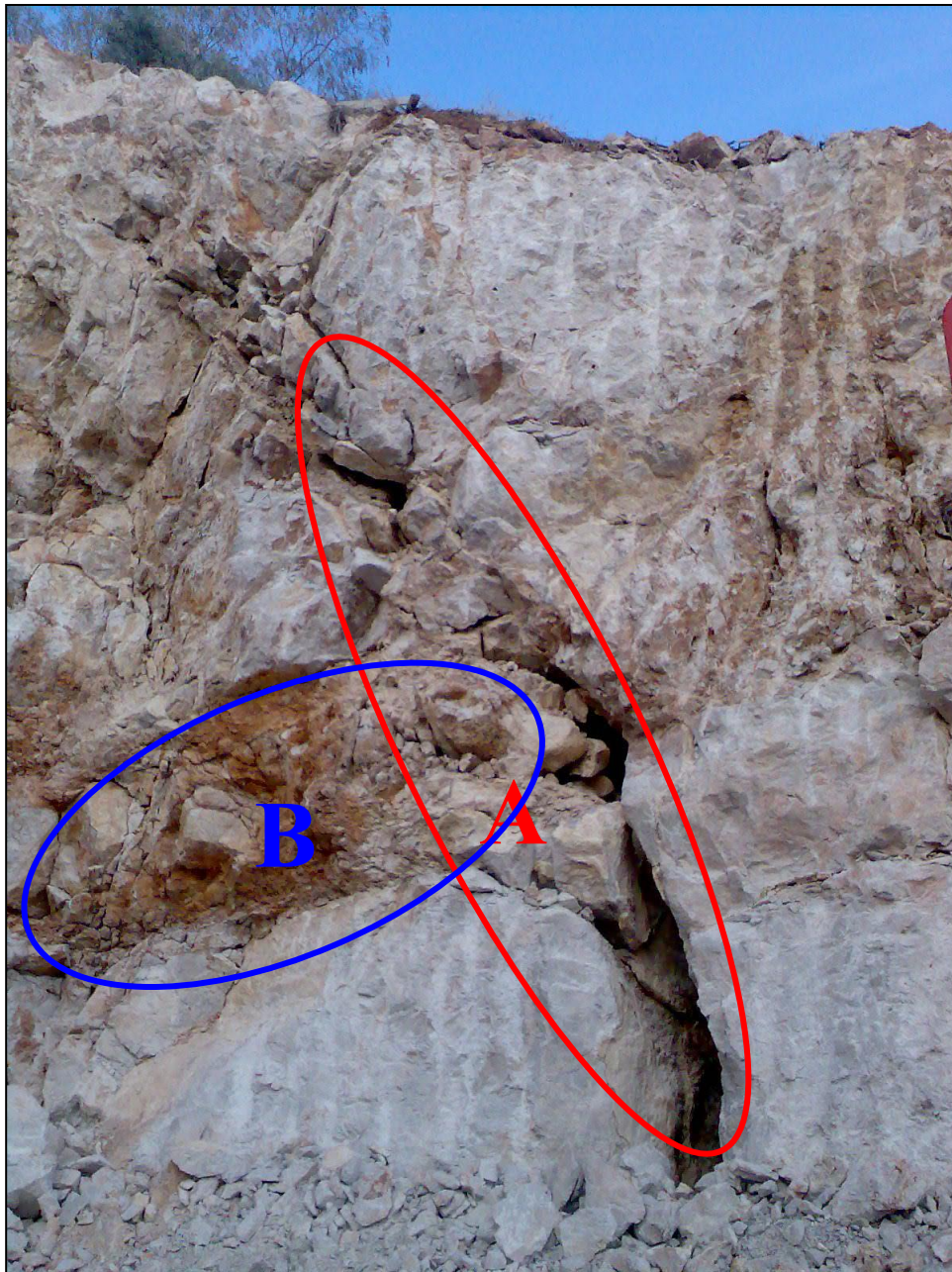
1.2.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ

Η νεογενής λεκάνη των Μεγάρων είναι ένα ασύμμετρο τεκτονικό βύθισμα μεταξύ του τεκτονικού κέρατος του όρου Πατέρα στα Β-ΒΑ και του κέρατος των Γερανείων προς Ν-ΝΔ. Οριοθετείται από μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ (Παρασκούδης, 2002).

Η τεκτονική παραμόρφωση, που παρουσιάζεται στην λεκάνη των Μεγάρων και στην ευρύτερη περιοχή του Ανατολικού Κορινθιακού Κόλπου είναι πολυσύνθετη από κινηματικής και δυναμικής άποψης. Πιστοποιείται έντονη νεοτεκτονική δράση από διαρρήξεις και μετατοπίσεις των ιζημάτων της λεκάνης – μια από τις πιο γνωστές δραστηριότητες είναι εκείνης των σεισμών 1981 (Παρασκούδης, 2002).

Τα ρήγματα της ευρύτερης περιοχής ταξινομούνται σε τρία συστήματα:

- Τα ρήγματα του πρώτου συστήματος έχουν γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Αυτά ευθύνονται για την δημιουργία της λεκάνης των Μεγάρων. Πλέον το σύστημα αυτό θεωρείται ανενεργό έως ελάχιστα ενεργό.
- Το δεύτερο σύστημα με διεύθυνση Α.ΒΑ-Δ.ΝΔ, είναι υπεύθυνο για την απότομη ανύψωση των ΒΔ τμημάτων των Γερανείων και τους όρους Πατέρα σε αντίθεση με τις ΝΑ απολήξεις τους που παρουσιάζουν ένα σχετικά ομαλό ανάγλυφο. Αυτό το σύστημα σχετίζεται με αρκετές σεισμικές εκδηλώσεις.
- Το τρίτο σύστημα είναι το ασθενέστερο και έχει διεύθυνση Β-Ν.

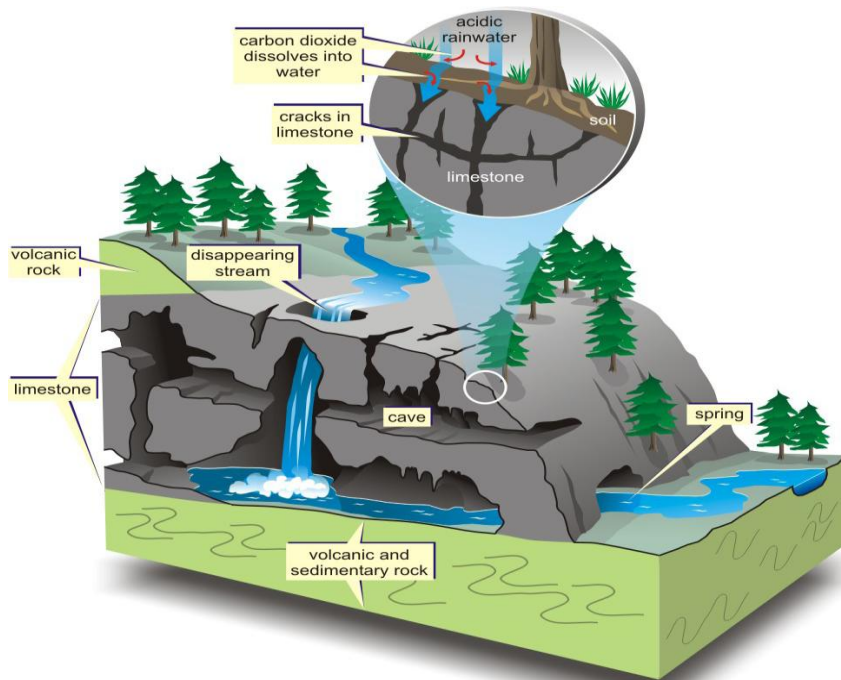


Σχήμα 1.4: Φωτογραφία του βόρειου τμήματος της εκσκαφής του οικοπέδου, όπου παρατηρείται ρήγμα (A) ανοιχτό χωρίς πληρωτικό υλικό και (B) με αργιλικό πληρωτικό υλικό.

1.3 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΡΣΤ

Είναι γεγονός ότι η λέξη κάρστ είναι ένας όρος που ενσωματώνει πλήθος γεωλογικών, μορφολογικών, υδρολογικών, υδροχημικών, παλαιογεωγραφικών και άλλων εννοιών. Έκάρστ είναι πρωτίστως ένα τοπίο, με ιδιότυπες γεωμορφές και χαρακτήρες διάλυσης, που αναπτύσσονται κυρίως σε ανθρακικά πετρώματα. Οι καρστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από τη γενική απουσία μόνιμης επιφανειακής ροής και την παρουσία ρηχών οπών και κλειστών ταπεινώσεων, την κοινή εμφάνιση σπηλαίων και γενικότερα μεγάλων υπογείων περασμάτων και την ύπαρξη μεγάλων πηγών, συχνά ευρισκόμενων στη βάση της ανθρακικής ακολουθίας. Έτσι, το κάρστ είναι ένα επιφανειακό, αλλά επίσης και υπόγειο, τοπίο και υδροφόρος ορίζοντας (Αποστολίδου, 2009).

Καρστικό υδροφόρο σύστημα (Σούλιος, 1996) είναι το σύστημα εκείνο που συνίσταται εξολοκλήρου ή κατά κύριο λόγο από καρστικούς (ανθρακικούς) σχηματισμούς. Κατά ένα άλλο ορισμό το καρστικό υδροφόρο σύστημα είναι ένα σύνολο καρστικής περιοχής στο επίπεδο του οποίου οι υπόγειες ροές είναι έτσι οργανωμένες ώστε να συνιστούν μια ενότητα αποστράγγισης. Είναι δηλαδή το αντίστοιχο της υδρολογικής λεκάνης.



Σχημα 1.5 : Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας κάρστ.

Από τα παραπάνω γίνεται προφανές ότι ο όρος καρστ είναι τόσο περίπλοκος και περιεκτικός, που δημιουργεί μεν στους ερευνητές μια πολύ συγκεκριμένη εικόνα του τι περιγράφει, αλλά πολύ δύσκολα περικλείεται σε έναν ολιγόλογο ορισμό. Αυτό βέβαια δεν είναι τυχαίο, αν αναλογιστεί κανείς την εμπλοκή των τριών κύκλων (του νερού, του άνθρακα και των πετρωμάτων) στη διαδρομή των ανθρακικών πετρωμάτων. Πρέπει να τονιστεί, ότι τα ανθρακικά πετρώματα, περισσότερο από όλους τους άλλους πετρολογικούς τύπους, αποτυπώνουν στη μάζα τους τη γεωλογική τους ιστορία. Σε αντίθεση με τα άλλα μικροπερατά ή αδιαπέρατα πετρώματα, τα ανθρακικά πετρώματα, λόγω της διαλυτότητάς τους, αποτυπώνουν μέσα στη μάζα τους, εκτός από τις γεωλογικές διεργασίες που έχουν επιδράσει πάνω τους στο παρελθόν, και τις κλιματικές, υδρολογικές και υδρογεωλογικές μεταβολές του παρελθόντος τους (Αποστολίδου, 2009).

Αξίζει να σημειωθεί πως η διαδικασία της καρστικοποίησης είναι μια δυναμική διεργασία, χαρακτηριστικά εγγενής των ανθρακικών πετρωμάτων, εξελισσόμενη στο χρόνο μόνο υπό τις κατάλληλες συνθήκες. Αυτή η διαδικασία εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, από την ιστορία του ιζήματος από το οποίο προέρχεται το πέτρωμα και την τεκτονική εξέλιξη του περιβάλλοντος χώρου και του ίδιου του πετρώματος αργότερα, μέχρι τις κλιματικές μεταβολές και τις σύγχρονες ανθρωπογενείς επιδράσεις. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ανθρακικό πέτρωμα είναι «δυνάμει» καρστικό, και ακριβώς η καρστικοποίησή του δείχνει ποιες συνθήκες και με ποιο τρόπο επέδρασαν πάνω του πριν κατά την έκθεσή του στον υδρολογικό κύκλο, αλλά και μετά από αυτήν (Ανδρεαδάκης, 2003).

Καταβόθρες αποτελούν συχνά ένα σημαντικό κίνδυνο για την ανάπτυξη στις περιοχές που κρύβονται κάτω από ανθρακικά πετρώματα. Καθιζήσεις σε αυτοκινητόδρομο, καταρρεύσεις κτιρίων-ιδρυμάτων, και διαρροές φραγμάτων είναι μερικά από τα προβλήματα που συνδέονται με καταβόθρες. Η δομική αστάθεια που συνδέεται με καταβόθρες μπορεί να οδηγήσει σε αιφνίδια κατάρρευση της επιφάνειας του εδάφους. Οι γεωτρήσεις εντός καρστικών περιοχών δεν συναντούν πάντα την ασυνέχειες του υπεδάφους (Zhou et.al., 2002).

1.4 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 παρατηρήθηκε ανάπτυξη στις ήδη υπάρχουσες γεωφυσικές τεχνικές που εφαρμόζονταν για τη μελέτη και περιγραφή των γεωλογικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους. Αρχικά χρησιμοποιούνταν ένας περιορισμένος αριθμός συστημάτων απεικόνισης του εδάφους, χαμηλής ανάλυσης, τα οποία δεν προσέδιδαν επαρκείς πληροφορίες για κατανόηση και μελέτη του υπεδάφους. Μακροχρόνια ερευνητικά προγράμματα οδήγησαν στην ανάπτυξη πρωτοποριακών μεθόδων σχετικά με την συλλογή και επεξεργασία των γεωφυσικών δεδομένων. Η σημαντική τεχνολογική άνοδος των γεωφυσικών τεχνικών οδήγησε στο μειωμένο κόστος της γεωφυσικής έρευνας αλλά και στο ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον των εταιρειών για μελέτη των γεωλογικών δομών.

Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται περισσότερες από μια μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης, όπου τα αποτελέσματα της μιας μεθόδου επιβεβαιώνουν ή συμπληρώνουν τα αποτελέσματα της άλλης. Ανάλογα με το στόχο της έρευνας επιλέγεται η καταλληλότερη μέθοδος ή ο καλύτερος συνδυασμός μεθόδων.

Οι γεωφυσικές μέθοδους μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό ή στην χαρτογράφηση των καρστικών εγκοίλων. Η πυκνότητα και η ηλεκτρική αντίσταση είναι δύο φυσικά μεγέθη, τα οποία είναι δείκτες ικανοί να βοηθήσουν στον εντοπισμό ζωνών απορροής που σχετίζονται τα υποκείμενα καρστικής ζώνης. Οι μικροβαρυτικές, οι ηλεκτρικές μέθοδοι και οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι είναι αποδεδειγμένα αποτελεσματικές γεωφυσικές μέθοδοι στον εντοπισμό καρστικών εγκοίλων (Kanfmann 2001, Louis et.al. 2002, Van Schoor 2002). Καρστικοί ταμιευτήρες έχουν ετησίως διερευνηθεί με επιτυχία χρησιμοποιώντας την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας, παρόλο τον θόρυβο και την μικρή διείσδυση που χαρακτηρίζει τους έντονα ανομοιογενείς ασβεστόλιθους (Rossi et.al. 2002).

Το γεωραντάρ είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε περιοχές όπου ο ασβεστόλιθος είναι ο επιφανειακός σχηματισμός. Αυτό γιατί η ύπαρξη εδαφικού καλύμματος μεγάλου σχετικά πάχους θα οδηγούσε στην απόσβεση των Η/Μ κυμάτων. Στην περίπτωση όμως μικρού πάχους εδαφικού καλύμματος ή έλλειψη αυτού, η χρήση του γεωραντάρ μπορεί να οδηγήσει στον εντοπισμό και χαρτογράφηση καρστικών εγκοίλων, διαρρηγμένων ζωνών κ.τ.λ. μέχρι βάθος 20 m (Thierry et.al. 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ

Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος του κινούμενου πομπού-δέκτη χρησιμοποιείται, προκειμένου να επισημανθούν οποιεσδήποτε αξιοσημείωτες οριζόντιες μεταβολές που παρατηρούνται στην τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των υπεδάφειων σχηματισμών. Τα αποτελέσματα συσχετίζονται με τις υπόλοιπες γεωφυσικές τεχνικές ώστε να προκύψουν τελικά οι περιοχές ενδιαφέροντος.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου μετακινείται όλη η μονάδα, η οποία περιλαμβάνει το πομπό και το δέκτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Το όργανο που χρησιμοποιείται από το προσωπικό του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής για την ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση είναι το CM – 031. Η συχνότητα του οργάνου είναι 9,766 kHz, ενώ η απόσταση πομπού – δέκτη είναι 3,74m. Το βάθος διασκόπησης φτάνει με το συγκεκριμένο όργανο έως τα 6m.

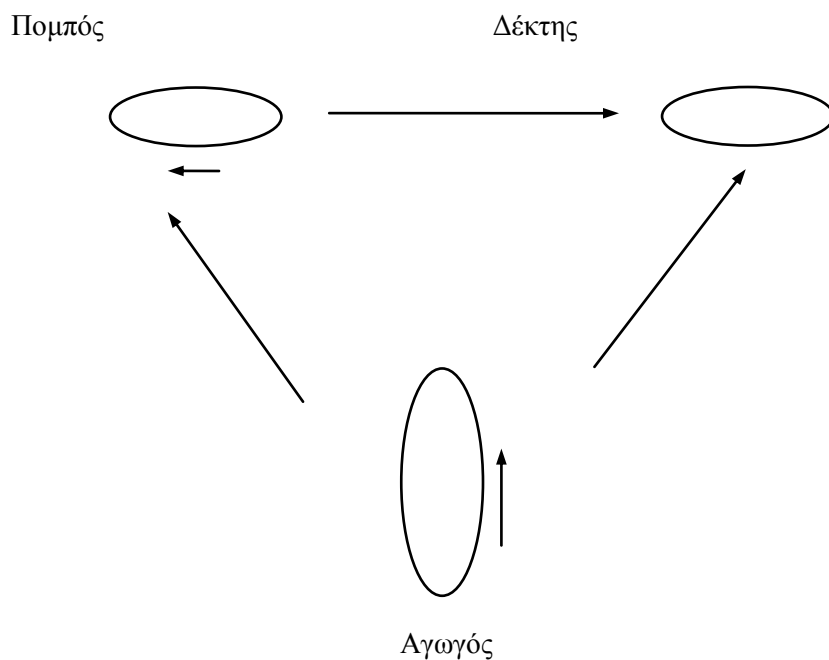
Η φανταστική συνιστώσα που μετράται με το όργανο δίνει πληροφορίες για την ηλεκτρική αγωγιμότητα του υπεδάφους και χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση αυτού, ενώ η πραγματική συνιστώσα παρέχει περισσότερα στοιχεία για την ύπαρξη μεταλλικών αντικειμένων (καλώδια, σωλήνες, βαρέλια, διάκενα κ.τ.λ.) στο υπέδαφος.

2.1.1 Βασικές αρχές

Στη μέθοδο του κινούμενου πομπού – δέκτη μελετάται η χρονική μεταβολή του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Το όργανο μετράει την πραγματική και φανταστική συνιστώσα του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου.

Κατά την εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης παράγεται (τεχνητά ή φυσικά) στην επιφάνεια της γης πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το οποίο όχι μόνο φθάνει απ' ευθείας και σχεδόν αμετάβλητο σε δέκτη στην

επιφάνεια της γης, αλλά διαδίδεται και μέσα στη γη, όπου αν συναντήσει ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα, επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο αγώγιμο αυτό σώμα (Σχ. 2.1). Η επαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στο υπέδαφος έχει σαν συνέπεια τη γένεση δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος το οποίο φθάνει στο δέκτη και συμβάλλει με το πρωτεύον κύμα (Παπαζάχος, 1986).



Σχήμα 2.1 : Ο πομπός των 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 ως πηνία.

2.1.2. Χαρτογράφηση με ηλεκτρομαγνητική συσκευή

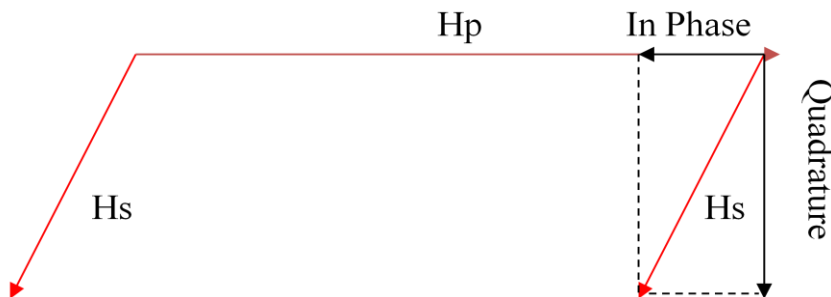
Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται κατά μήκος γραμμών μελέτης ή σε κάνναβο.

Ο λόγος των πλατών του πρωτεύοντος H_p και του δευτερεύοντος H_s H/M πεδίων μετριέται απ' ευθείας από την H/M συσκευή. Αν η απόσταση των πομπού και δέκτη ισούται με s , ω είναι η κυκλική συχνότητα, Im είναι το φανταστικό μέρος της έντασης του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου και μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα στο κενό η φαινόμενη ειδική αγωγιμότητα του υπεδάφους ισούται με

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu_0 s^2} \frac{\text{Im}(H_s)}{H_p}$$

(2.1)

Το δευτερογενές μαγνητικό πεδίο αναλύεται στην πραγματική συνιστώσα (IN PHASE) η οποία έχει διαφορά φάσης 180° με το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο και στην φανταστική (QUADRATURE- Im) η οποία έχει διαφορά φάσης με το πρωτεύον 90° . Το όργανο μετράει την πραγματική και την φανταστική συνιστώσα του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου.



Μέγιστο βάθος διασκόπησης H/M πεδίου σε ομογενές μέσο αγωγιμότητας σ :

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \sigma}} \quad (2.2)$$

Στα πλεονεκτήματα αναφέρεται η δυνατότητα μέτρησης, τόσο της πραγματικής όσο και της φανταστικής συνιστώσας του δευτερογενούς πεδίου, κάτι που επιτρέπει τόσο την καταγραφή της μαγνητικής επιδεκτικότητας, όσο και της αγωγιμότητας του υπεδάφους. Επίσης εντοπίζονται μεταλλικά αντικείμενα άσχετα αν έχουν μαγνήτιση ή όχι και δεν χρειάζεται επαφή με το έδαφος .

2.2 ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ

Το Γεωραντάρ (GPR) είναι μια σχετικά νέα τεχνική γεωφυσικής διασκόπησης. Την τελευταία δεκαετία έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές εφαρμογές και έχει αποκτηθεί από τους ερευνητές αρκετή εμπειρία σχετικά με αυτό. Η βασική αρχή λειτουργίας της μεθόδου του Γεωραντάρ είναι παρόμοια με αυτή της μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης.

2.2.1 Βασικές αρχές.

Η συσκευή Γεωραντάρ παράγει παροδικό ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Οι κύριες μέθοδοι διασκόπησης είναι αυτή της ανάκλασης και της διασκόπησης σε γεωτρήσεις.

Όταν το Η/Μ κύμα συναντήσει υλικό με διαφορετική ηλεκτρική διαπερατότητα αλλάζει κατεύθυνση, δηλαδή διαθλάται ή ανακλάται. Περίθλαση συμβαίνει όταν το κύμα συναντήσει πολύ μικρού μεγέθους εμπόδια, τα οποία το αναγκάζουν να διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Αντήχηση συμβαίνει, όταν το κύμα “παγιδευτεί” σε κάποιο γεωλογικό στρώμα. Σε τέτοιες περιπτώσεις το κύμα ανακλάται πολλές φορές, με συνέπεια τη δημιουργία πολλαπλών ανακλάσεων.

Οι εφαρμογές του γεωραντάρ μπορούν να διακριθούν ουσιαστικά σε τρεις κατηγορίες: α) Για γεωλογικούς σκοπούς, όταν το βάθος διασκόπησης είναι σημαντικότερο από την διακριτική ικανότητα, γι’ αυτό χρησιμοποιούνται κεραίες συχνότητας 2 MHz έως 50 MHz. β) Στις μη καταστροφικές δοκιμές (Non Destructive Testing, NDT) όπου η διακριτική ικανότητα είναι το ζητούμενο, γι’ αυτό χρησιμοποιούνται κεραίες συχνότητας 500 MHz - 2000 MHz. γ) Στην αρχαιολογία, όπου χρησιμοποιούνται κεραίες συχνότητας 50 MHz - 500 MHz (Σπανουδάκης, 2007).

2.2.2 Διασκόπηση με γεωραντάρ

Ο σχεδιασμός πραγματοποιείται πριν από την διασκόπηση και αποτελείται από τρία βασικά στάδια:

- Αξιολόγηση του πεδίου έρευνας
- Επιλογή της μεθόδου διασκόπησης
- Προσδιορισμός των παραμέτρων της διασκόπησης.

Κατά την αξιολόγηση του πεδίου έρευνας πρέπει να ελεγχθεί κατά πόσο είναι εφικτό ή όχι να εφαρμοστεί η μέθοδος του γεωραντάρ κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες που διέπουν τη διασκόπηση. Για το λόγο αυτό είναι καθοριστική η μελέτη των παρακάτω σημείων:

- Βάθος διείσδυσης ακτινοβολίας και βάθος στόχου
- Γεωμετρία στόχου
- Ηλεκτρικές ιδιότητες στόχου και μέσου διάδοσης
- Περιβάλλον διασκόπησης

Το μέγιστο βάθος διείσδυσης του γεωραντάρ, εξαρτάται άμεσα από την εξασθένιση και την ηλεκτρική αγωγιμότητα των σχηματισμών στους οποίους διαδίδεται. Όταν η αγωγιμότητα των σχηματισμών είναι μεγάλη, το βάθος διείσδυσης είναι μικρό. Το βάθος του στόχου μελετάται πάντα σε συνδυασμό με το βάθος διείσδυσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και τη διακριτική τους ικανότητα.

Είναι γεγονός ότι ο στόχος πρέπει να περιγράφεται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Η πιο σημαντική παράμετρος του είναι το μέγεθος. Στην περίπτωση που ο στόχος δεν είναι σφαιρικός, θα πρέπει να προσδιοριστεί και ο προσανατολισμός.

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του στόχου και του μέσου διάδοσης, που ενδιαφέρουν την τεχνική του γεωραντάρ, είναι η διηλεκτρική σταθερά και αγωγιμότητα. Η γνώση τους επιτρέπει στο χρήστη να διαπιστώνει κάθε φορά εάν η αντίθεση μεταξύ τους είναι σημαντική, ώστε να υπάρξει μετρήσιμη ανάκλαση.

Η χρήση του γεωραντάρ δεν ενδείκνυται σε περιοχές όπου υπάρχουν εγκατεστημένοι μεταδότες ραδιοκυμάτων, σε περιοχές με εκτεταμένες μεταλλικές κατασκευές στο

υπέδαφος ή στην επιφάνεια, και σε περιοχές με υψηλή υγρασία και βρόχινες συνθήκες. Όλα αυτά επηρεάζουν την ποιότητα των μετρήσεων.

Κατ' αρχάς επιλέγεται ποια μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά για τη συλλογή των δεδομένων, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε διασκόπησης. Τρεις από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους που εφαρμόζονται είναι οι εξής:

- **Μέθοδος της ανάκλασης (Reflection):** Είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος και εφαρμόζεται στη χαρτογράφηση των γεωλογικών στρωμάτων
- **Μέθοδος του κοινού ενδιαμέσου σημείου (Common Midpoint):** Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε συνάρτηση με το βάθος.
- **Μέθοδος της τομογραφίας (Transillumination):** Η μέθοδος αυτή δεν στηρίζεται στην ανάκλαση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος όπως οι προηγούμενες, αλλά στη διέλευση του μέσα από τη μάζα του υλικού μελέτης.

Στη συνέχεια πρέπει να ρυθμιστούν όλοι εκείνοι οι παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται με την επιτυχή έκβαση του πειράματος. Οι παράμετροι αυτοί μπορούν να συνοψιστούν στους παρακάτω:

- συχνότητα εκπομπής
- ολικός χρόνος καταγραφής
- διάστημα δειγματοληψίας
- βήμα διασκόπησης
- απόσταση κεραίων
- προσανατολισμός κεραίων
- υπέρθεση

Η συχνότητα εκπομπής συνδέεται άμεσα με τη διακριτική ικανότητα και το βάθος διείσδυσης του παλμού του γεωραντάρ. Αυτοί οι δύο παράγοντες καθορίζουν τελικά την επιλογή της συχνότητας. Μία διασκόπηση χαρακτηρίζεται αποτυχημένη εάν ο ολικός χρόνος καταγραφής δεν είναι αρκετά μεγάλος για να καταγραφούν τα ανακλώμενα κύματα που προέρχονται από το στόχο. Το διάστημα δειγματοληψίας πρέπει να είναι

πάντα μικρότερο από το μισό της περιόδου του κύματος της μέγιστης συχνότητας εκπομπής. Τα περισσότερα συστήματα γεωραντάρ εκπέμπουν σε ένα εύρος συχνοτήτων που κυμαίνεται από $0.5f$ έως $1.5f$ όπου f η κεντρική συχνότητα εκπομπής. Το βήμα διασκόπησης ορίζει την απόσταση δύο διαδοχικών σημείων πάνω στη γραμμή μελέτης όπου πραγματοποιούνται οι μετρήσεις. Ένα μεγάλο βήμα διασκόπησης δεν δίνει επαρκή αποτελέσματα. Στα συστήματα γεωραντάρ μπορεί να μεταβάλλεται η απόσταση των κεραιών προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος. Αύξηση της απόστασης των κεραιών συνεπάγεται αύξηση της εξασθένισης του κύματος, αφού αυτό αναγκάζεται να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση. Οι κεραίες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα γεωραντάρ είναι ωμικές, διπολικές και ο προσανατολισμός τους καθίσταται σημαντικός για την επιτυχή έκβαση των πειραμάτων.

Σε περιβάλλοντα με υψηλό θόρυβο η βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων επιτυγχάνεται με επαναλαμβανόμενες καταγραφές σε κάθε σημείο της γραμμής μελέτης οι οποίες προστίθενται. Το αποτέλεσμα της υπέρθεσης είναι ένα ίχνος στο οποίο τα πλάτη των ανακλώμενων κυμάτων έχουν ενισχυθεί.

2.3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

2.3.1 Εισαγωγή

Η εμφάνιση των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης χρονολογείται από τις αρχές του εικοστού αιώνα. Με τη χρήση των μεθόδων αυτών επιτεύχθηκε ο εντοπισμός φυσικού αερίου στη Ρουμανία το 1923 και αλατούχων δόμων στη Γαλλία το 1926. Η συστηματική εφαρμογή τους ξεκίνησε τη δεκαετία του '70 και αυτό λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών, γεγονός που βοήθησε τόσο στη συλλογή των δεδομένων όσο και στην επεξεργασία τους.

Βασική επιδίωξη των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Μετρούμενο μέγεθος είναι η ηλεκτρική τάση. Παράλληλα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο καθορισμός της τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, καθώς και η μελέτη των μεταβολών αυτής στα επιφανειακά στρώματα.

Για την εφαρμογή των ηλεκτρικών γεωφυσικών μεθόδων απαιτείται σημαντική αντίθεση στις ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ του υπό μελέτη γεωλογικού σχηματισμού και του ευρύτερου γεωλογικού περιβάλλοντος. Η χρήση των ηλεκτρικών μεθόδων καλύπτει ένα ευρύ φάσμα των γεωεπιστημών όπως είναι η κοιτασματολογία, η υδρογεωλογία, η τεχνική γεωλογία, η χαρτογράφηση γεωλογικών σχηματισμών αλλά και την αρχαιολογία.

Από τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης οι πιο σημαντικές είναι η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η μέθοδος των ισοδυναμικών γραμμών, η μέθοδος της επαγόμενης πολικότητας, η μέθοδος του φυσικού δυναμικού και η μέθοδος των τελλουρικών ρευμάτων. Για τη συλλογή δεδομένων στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας.

2.3.2 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομοιογενή και ισότροπη γη

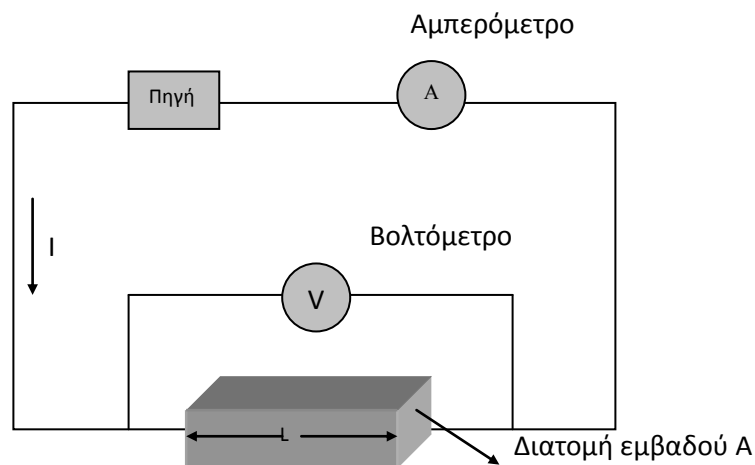
Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στον νόμο που διατύπωσε το 1827 ο George Simon Ohm , σύμφωνα με τον οποίο αντίσταση R (σε Ωm) ενός αγωγού ονομάζεται ο σταθερός λόγος της διαφοράς δυναμικού ΔV (σε Volt) που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού, προς την ένταση I (σε Ampere) του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.

$$R = \Delta V / I \quad (2.3)$$

Η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος L του αγωγού, αντιστρόφως ανάλογη με το εμβαδόν A της τομής του αγωγού και εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του.

$$R = \rho L / A \quad (2.4)$$

όπου ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού



Σχήμα 2.3: Ηλεκτρικό κύκλωμα αποτελούμενο από πηγή και αγωγό σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου.

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι το 1 Ωm . Πολλές φορές όμως χρησιμοποιείται και η μονάδα $1\Omega\text{cm}$ και είναι $1\Omega\text{m} = 100\Omega\text{cm}$. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών. Οι τιμές της κυμαίνονται από $10^{-6}\Omega\text{m}$ σε ορισμένα ορυκτά όπως είναι ο γραφίτης, μέχρι $10^{15}\Omega\text{m}$ σε ορισμένα ξηρά χαλαζιακά πετρώματα. Τα πετρώματα και τα ορυκτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 10^{-6} και $10^{-1}\Omega\text{m}$ χαρακτηρίζονται ως καλοί αγωγοί, ενώ κακοί αγωγοί θεωρούνται αυτά που έχουν ειδική αντίσταση μεταξύ 10^8 και $10^{15}\Omega\text{m}$. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι: α) η λιθολογία των πετρωμάτων, β) το πορώδες τους, γ) η γεωλογική ηλικία τους και δ) η θερμοκρασία τους.

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ($\Omega\text{m.m}$)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	80-250
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ Αργίλοι Μάργες Άμμοι και Χαλίκια κορεσμένα Εβαπορίτες (Γύψοι) Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι Κροκαλοπαγή βάσεως Ψαμμίτες	2-20 20-60 50-500 200 150-500 200-300 50-70
ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ Φλύσχης Σχιστόλιθοι-Οφιόλιθοι Ασβεστόλιθοι	70-80 100-300 >500

Πίνακας 2.1 :Τυπικές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης πετρωμάτων.

Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εδάφους συνδεδεμένα με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνεχούς ρεύματος δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, στο οποίο η γη αποτελεί τον αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος. Επειδή ο αέρας της ατμόσφαιρας είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, όλο το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο εισχωρεί στη γη (Χορευτάκη, 2003).

2.3.3 Φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Για ανομοιογενές μέσο η αντίσταση που υπολογίζεται από τη σχέση (2.4) εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a).

Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός διαφορετικών διατάξεων ηλεκτροδίων που θα περιγραφούν παρακάτω.

2.3.4 Τρόποι διάταξης ηλεκτροδίων

Οι τρόποι διατάξεις των ηλεκτροδίων είναι:

α) Διάταξη Wenner

Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM = MN = NB = a$, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4.α, έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 2\pi a \frac{V_{MN}}{I} \quad (2.5)$$

Η ποσότητα

$$2\pi\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{2a}-\frac{1}{2a}+\frac{1}{a}\right)=2\pi\alpha \quad (2.6)$$

ονομάζεται γεωμετρικός συντελεστής και συμβολίζεται με K. Η τιμή του μπορεί να υπολογιστεί αν οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι γνωστές.

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, μονοδιάστατη δηλαδή εκτίμηση της μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται κέντρο της διασκόπησης.

β) Διάταξη Schlumberger

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N είναι ανάμεσα στα A και B και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης. Έτσι είναι AB = 2L και MN = 2b = I (σχήμα 2.4.β), η απόσταση 2b μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση 2L μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Έτσι ο γεωμετρικός συντελεστής K θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$K=2\pi \left(\frac{1}{L-b}-\frac{1}{L+b}-\frac{1}{L+b}+\frac{1}{L-b} \right)^{-1}=(L^2-b^2)\frac{\pi}{2b} \quad (2.7)$$

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

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{i} \quad (2.8)$$

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

γ) Διάταξη Διπόλου-Διπόλου

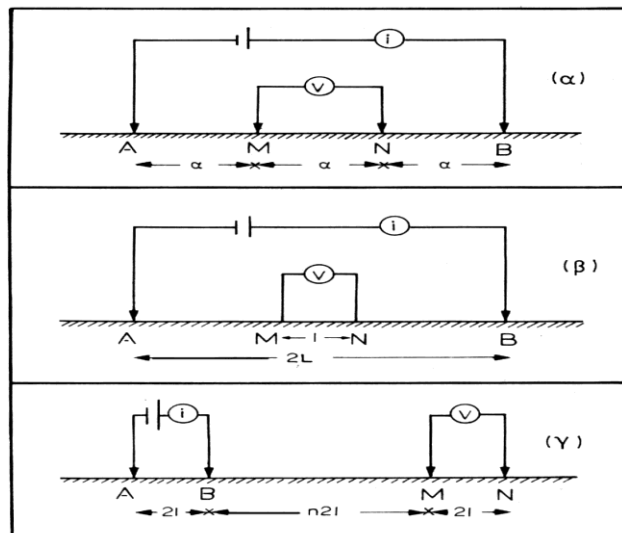
Κατά την χρήση της διάταξης διπόλου-διπόλου η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Ομοίως a είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και ίση με na ($n \gg 1$), όπως φαίνεται στο σχήμα (2.4.γ).

Ο γεωμετρικός συντελεστής K για την διάταξη διπόλου-διπόλου και για $n \gg 1$, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = \pi na(n+1)(n+2) \quad (2.9)$$

και η φαινόμενη ειδική αντίσταση από την σχέση

$$\rho_a = \pi na(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{i} \quad (2.10)$$



Σχήμα 2.4: Διατάξεις Wenner (α), Schlumberger (β), διπόλου-διπόλου (γ) (Παπαζάχος, 1986).

2.4 Ηλεκτρική Τομογραφία

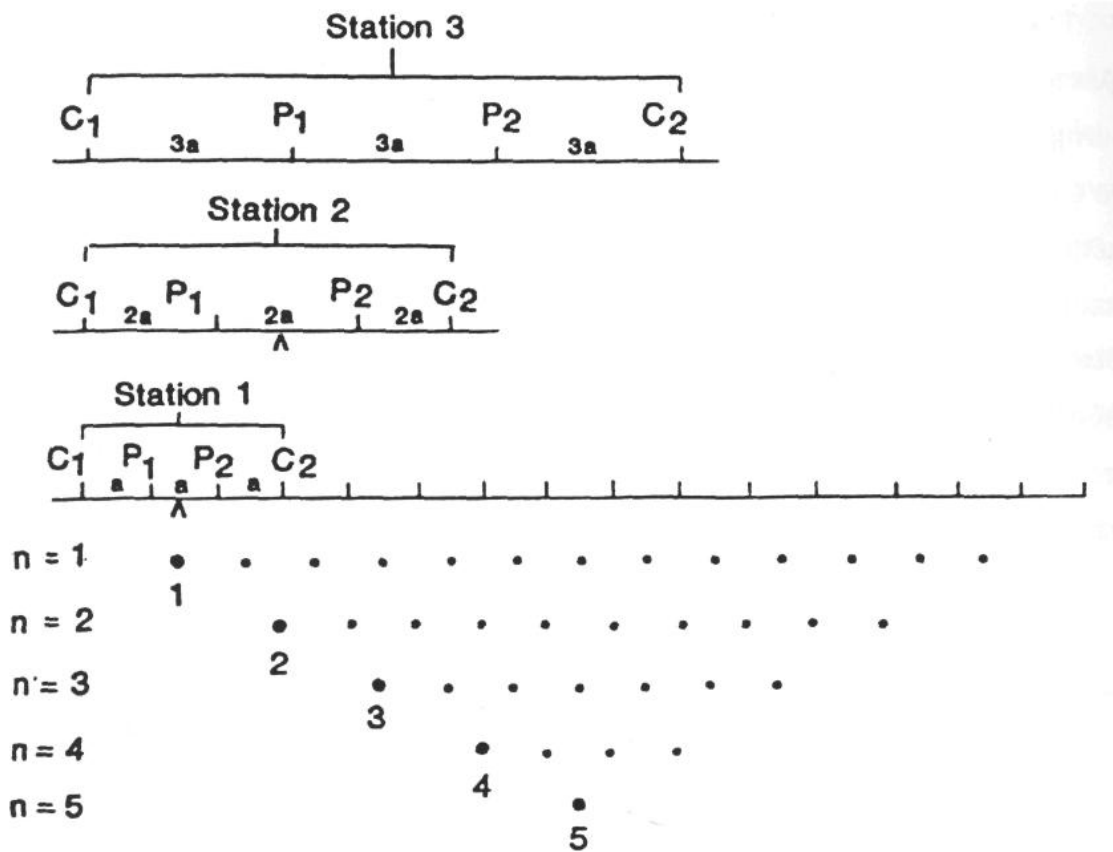
2.4.1 Εισαγωγή

Με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας επιτυγχάνεται η λεπτομερής απεικόνιση του υπεδάφους καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Ο όρος τομογραφία παράγεται από τη λέξη «τομή» και σημαίνει απεικόνιση τομής π.χ. του υπεδάφους. Στην ηλεκτρική τομογραφία απεικονίζεται η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση. Ευθύ πρόβλημα στη μέθοδο μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζουμε τον υπολογισμό της διαφοράς δυναμικού και εν συνεχεία της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις ήδη γνωστές ηλεκτρικές αντιστάσεις. Αντίστροφο πρόβλημα ονομάζουμε τον υπολογισμό των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες (Γκανιάτσος, 1995). Η εύρεση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι δυνατή με τους αλγόριθμους αντιστροφής. Αν και η αντιστροφή είναι ένα μη γραμμικό πρόβλημα, η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων του Gauss – Newton με εξομάλυνση αποφεύγει τις ασταθείς λύσεις και συγκλίνει γρήγορα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο.

2.4.2 Τρόπος πραγματοποίησης των μετρήσεων

Στην ηλεκτρική τομογραφία της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Wenner – Schlumberger και η διάταξη Διπόλου-Διπόλου. Στην διάταξη Wenner – Schlumberger πρόκειται για ένα συνδυασμό των δύο διατάξεων, όπου η διάταξη των ηλεκτροδίων δυναμικού και ρεύματος για την πρώτη μέτρηση πραγματοποιείται σύμφωνα με τη διάταξη Wenner. Εν συνεχεία η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού παραμένει σταθερή από το κέντρο της διάταξης και μεταβάλλεται η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος, πάντα συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης. Στην διάταξη διπόλου-διπόλου η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού και ρεύματος μεγαλώνει όσο πιο βαθιές μετρήσεις πραγματοποιούνται.

Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν την ψευδοτομή του υπεδάφους. Στην ψευδοτομή (pseudo section) οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι σχεδιασμένες σε μία τομή κατά τέτοιο τρόπο όπως οι πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις σε σημεία ακριβώς κάτω από το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων και σε βάθος που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη διάταξη (σχ.2.5), (Αποστολίδου, 2009).



Σχήμα 2.5 : Ψευδοτομή (pseudo section) φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΑΧΗ ΜΕΓΑΡΩΝ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης στην εν λόγω περιοχή. Η γεωφυσική έρευνα είχε ως στόχο την απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους, τον προσδιορισμό της κατανομής των ορατών από την επιφάνεια ασυνεχειών στο υπέδαφος.

Στα πλαίσια της έρευνας αυτής σε τμήμα του οικοπέδου όπου θα ανεγερθεί η εν λόγω οικοδομή, σχεδιάστηκε κάναβος διαστάσεων 14 x 24 m, όπου πραγματοποιήθηκαν 3 γεωφυσικές μέθοδοι (σχήμα 3.5):

- Μία γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας συνολικού μήκους 26 m. Χρησιμοποιήθηκαν οι διατάξεις ηλεκτροδίων Wenner-Schlumberger και Διπόλου – Διπόλου με ισαπόσταση ηλεκτροδίων 1 μέτρο.
- Ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση με το όργανο CM 031, σε περιοχή διαστάσεων 9.5 x 24 m. Η ισαπόσταση των γραμμών μελέτης και το βήμα δειγματοληψίας των μετρήσεων ορίστηκε στα 0.5 m.
- Διασκόπηση με τη χρήση γεωραντάρ, σε περιοχή διαστάσεων 12 x 23 m 15 γραμμών. Η ισαπόσταση των γραμμών μελέτης ήταν κατά κανόνα 1 m, ενώ το βήμα δειγματοληψίας των μετρήσεων ορίστηκε στα 0.05 m. Η διάρκεια των καταγραφών σε κάθε θέση και το διάστημα δειγματοληψίας ήταν 140 ns και 0.14 ns, αντίστοιχα.



Σχήμα 3.1 : Φωτογραφία της εκσκαφής όπου φαίνεται το όργανο. Στο μπλε κύκλο φαίνεται το Βόρειο πρανές ενώ ο πορτοκαλί κύκλος είναι το Δυτικό πρανές.



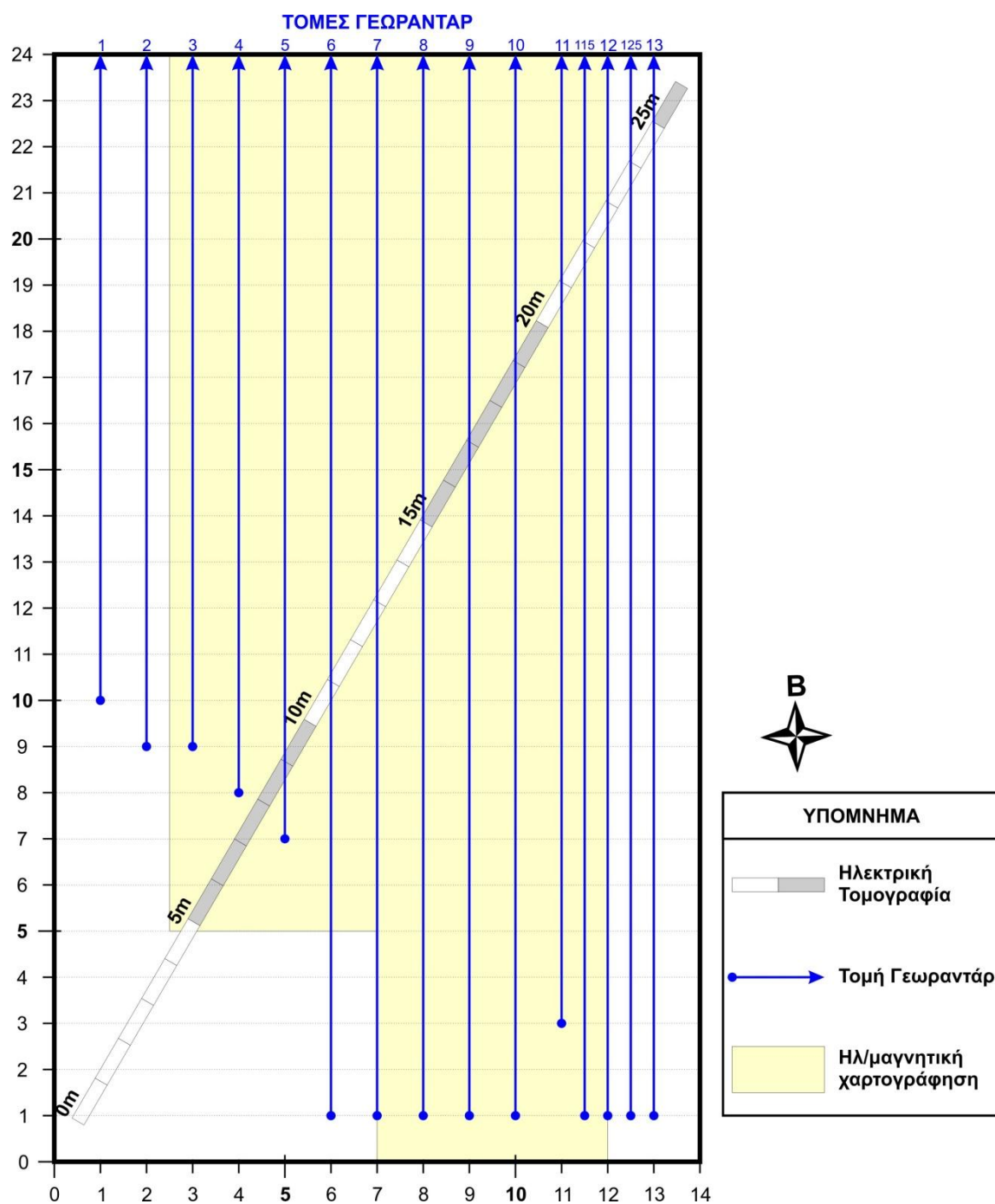
Σχήμα 3.2 : Φωτογραφία της εκσκαφής. Ο μπλε κύκλος δείχνει το Βόρειο πρανές και ο πορτοκαλί κύκλος το Ανατολικό πρανές. Μέσα στο μπλε κύκλο παρατηρείται ρωγμές με διεύθυνση ΑΔ .



Σχήμα 3.3 : Φωτογραφία της εκσκαφής. Ο μπλε κύκλος είναι το Βόρειο πρανές και μέσα στον πορτοκαλί κύκλο παρατηρούνται ρωγμές .



Σχήμα 3.4 :Φωτογραφία πραγματοποίησης μετρήσεων της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας .



Σχήμα 3.5: Σκαρίφημα του καννάβου, όπου απεικονίζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης για τις 3 γεωφυσικές μεθόδους

3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε στο πρόγραμμα Transform V3.4. Χρησιμοποιήθηκαν δύο ειδών φίλτρα ανάδειξης τοπικών ανωμαλιών.

3.1.1 Μέθοδος εξομάλυνσης

Η μέθοδος εξομάλυνσης χρησιμοποιείται κυρίως για τη μείωση του τυχαίου θορύβου των μετρήσεων. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος εξομάλυνσης είναι αυτή του κινητού μέσου.

Στη μέθοδο του κινητού μέσου, η μέση τιμή σε κάθε κόμβο του καννάβου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις τιμές στους γειτονικούς κόμβους.

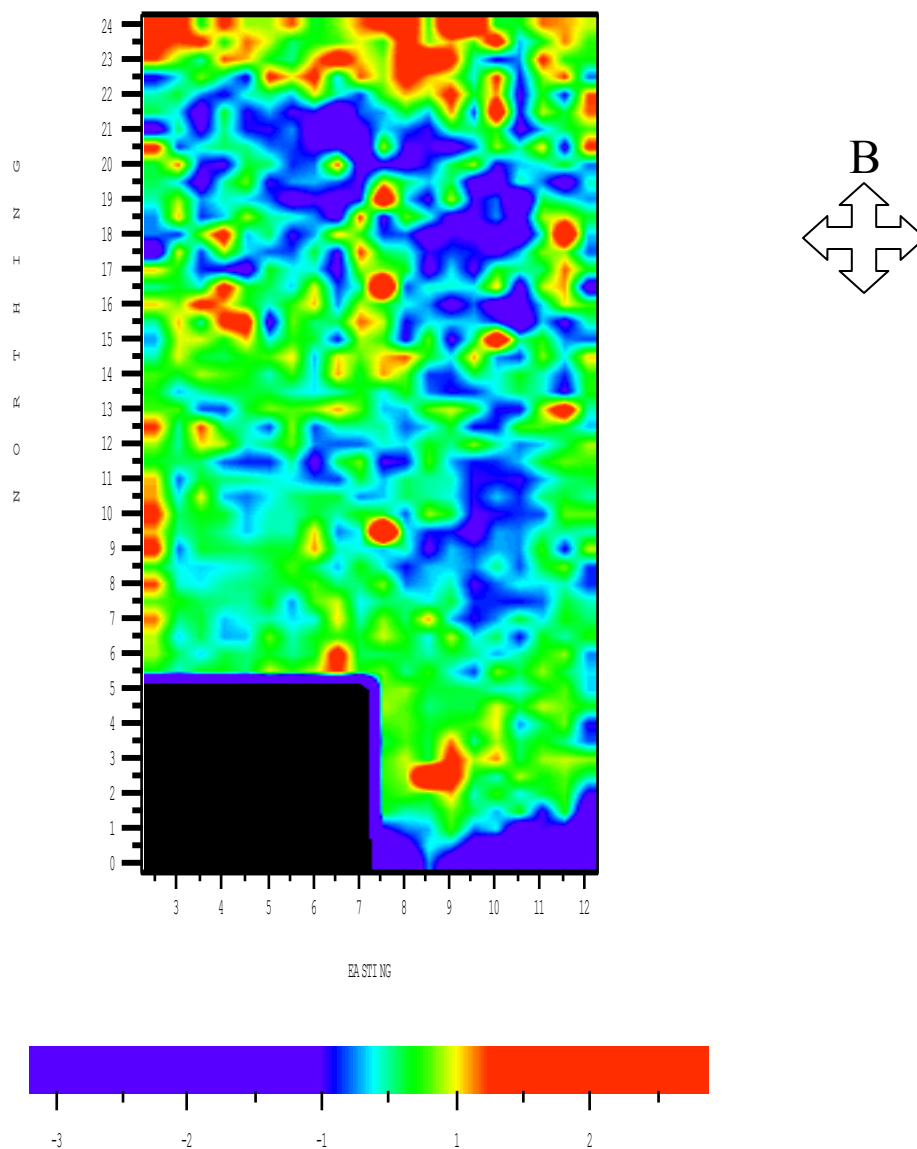
Για την εφαρμογή αυτού του φίλτρου χρησιμοποιήθηκε απευθείας εντολή μέσω του Transform V3.4. Μπορεί κάποιος να επιλέξει τον αριθμό των επαναλήψεων εφαρμογής του φίλτρου. Αυτό σημαίνει, πόσες φορές θα εξομαλυνθεί ο χάρτης. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η επιλογή των 5 επαναλήψεων, μετά από δοκιμές, γιατί κρίθηκε η καταλληλότερη.

Εφαρμόζοντας φίλτρο κινητού μέσου όρου στον αρχικό χάρτη προκύπτει ένας χάρτης του οποίου οι τιμές υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση:

$$\rho_a(i,j) = \sum_{k,\ell} a(k,\ell) \cdot \rho(k-i,\ell-j) \quad (3.1)$$

όπου i,j είναι δείκτης της θέσης της μέτρησης της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ_a και $a(k,\ell)$ είναι συντελεστές βαρύτητας.

Η μέθοδος εξομάλυνσης εφαρμόστηκε στους χάρτες ηλεκτρικής αντίστασης. Η εξομαλυσμένη εικόνα αφαιρέθηκε από την αρχική και δημιουργήθηκε έτσι χάρτης ο οποίος τονίζει τις αντιθέσεις που παρουσιάζουν οι τιμές ηλεκτρικής αντίστασης.



Σχήμα 3.7: Χάρτης φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μετά από εφαρμογή φίλτρου εξομάλυνσης. Οι τιμές είναι σε Ohm και υπάρχει απόκλιση από την μέση τιμή. Οι υψηλότερες αντιστάσεις (βόρεια) αποδίδονται στον καθαρό, συμπαγή ασβεστόλιθο, ενώ οι χαμηλότερες αντιστάσεις, στον κατακερματισμένο ασβεστόλιθο.

3.2 ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ

3.2.1 Εισαγωγή

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα GPRProV5 το οποίο αναπτύχθηκε από τον Σπανουδάκη Νικόλαο, Μηχανικό Ορυκτών Πόρων. Αφού τα δεδομένα των μετρήσεων του γεωραντάρ εισαχθούν στο πρόγραμμα, απεικονίζονται σε τομή. Η τομή αυτή περιγράφει το πλάτος συναρτήσει του διπλού χρόνου διαδρομής του ηλεκτρομαγνητικού κύματος και της απόστασης από την αρχή της γραμμής μελέτης. Το πρόγραμμα GPRProV5 διαθέτει μια λίστα από φίλτρα.

- Φίλτρο διόρθωσης Dewow: Πρόκειται για φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων κάθε ίχνους ξεχωριστά.
- Εκθετική ενίσχυση για την αντιστάθμιση της γεωμετρικής διασποράς (SEC): Η ενίσχυση SEC έχει σαν στόχο την ισοστάθμιση των σημάτων τα οποία αλλοιώνονται λόγω της γεωμετρικής διασποράς και της εκθετικής απώλειας της ενέργειας των κυμάτων λόγω εξασθένησης.

Η συνάρτηση που περιγράφει την ενίσχυση SEC είναι:

$$g(t) = C + 1 + \frac{t - (t_w + t_0)}{t_w} * e^{bt}$$

όπου C είναι η σταθερά εκκίνησης

t_0 : ο χρόνος άφιξης του πρώτου σήματος (time zero)

t_w : το εύρος του παλμού και

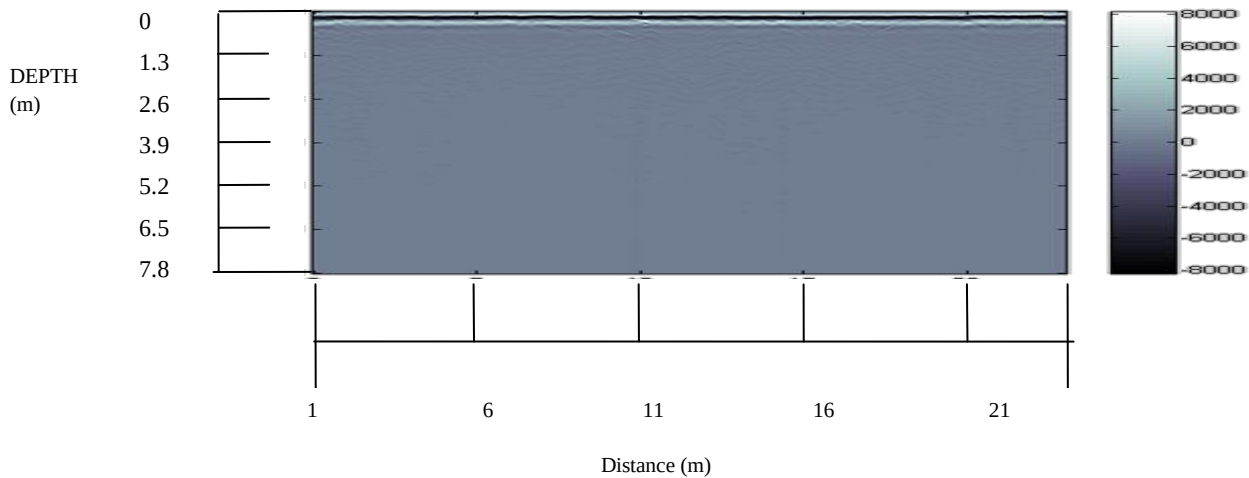
$b = (\text{εξασθένηση } \alpha \text{ σε db/m} * \text{ταχύτητα παλμού } 0,1 \text{ m/ns}) / 8,69$

- Στιγμιαίο πλάτος (Instantaneous Envelope): Χρησιμοποιείται για να τονίσει αλλαγές στη λιθολογία και τις γεωλογικές ανομοιομορφίες, υπολογίζοντας την ανακλώμενη ισχύ.
- Στιγμιαίο πλάτος σε κλίμακα dB.

3.2.2 Επεξεργασία μετρήσεων Γεωραντάρ

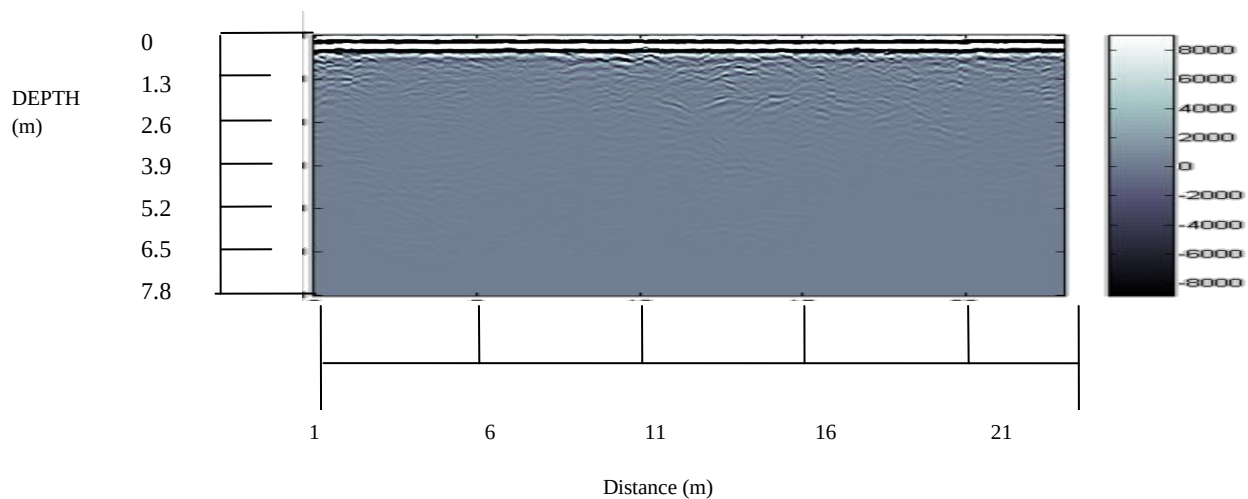
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τομές γεωραντάρ που προέκυψαν κατά την επεξεργασία της γραμμής μελέτης 00 (Παράγραφος 3.3.1). Λόγω πληθώρας δεδομένων (γραμμών) έχει γίνει επιλογή μιας μόνο γραμμής, για την οποία παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα βήματα της επεξεργασίας. Οι υπόλοιπες γραμμές παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.

Στο σχήμα 3.8 παρουσιάζονται τα αρχικά δεδομένα.



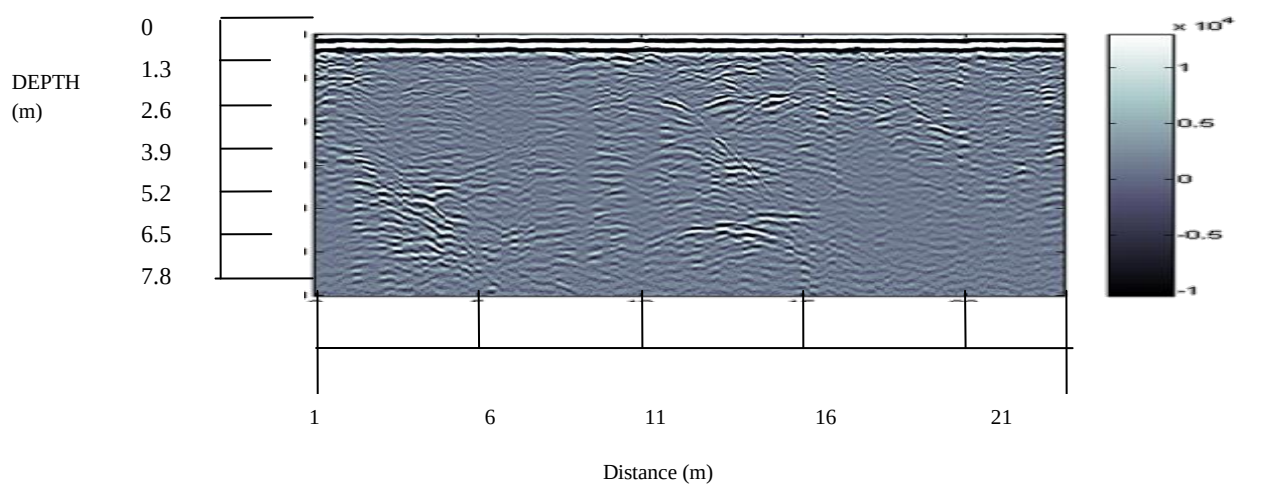
Σχήμα 3.8: Αρχικά δεδομένα γεωραντάρ της γραμμής μελέτης 08.

Το πρώτο βήμα της επεξεργασίας είναι η εφαρμογή του φίλτρου διόρθωσης Dewow το οποίο δεν διαφοροποιεί αισθητά την εικόνα (Σχήμα 3.9).



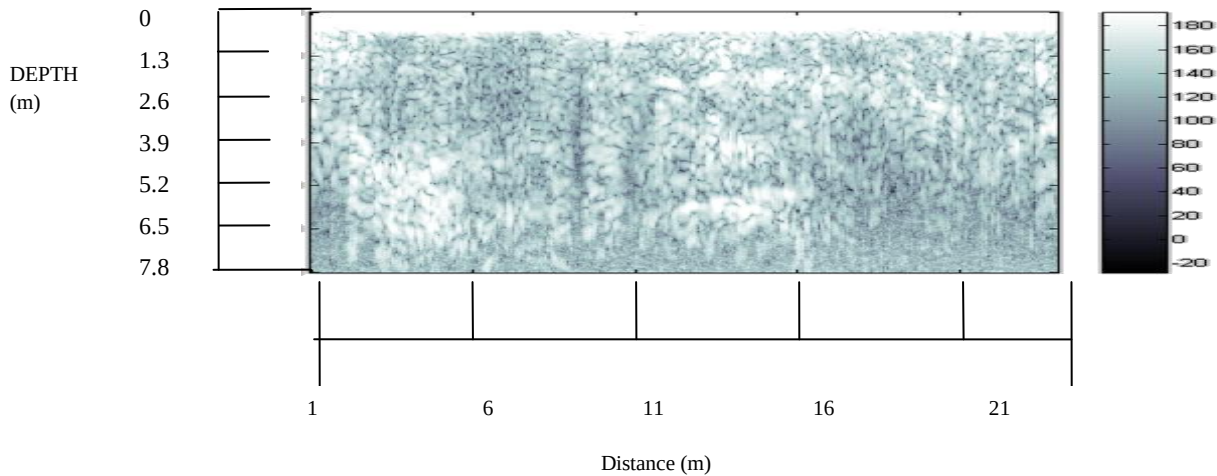
Σχήμα 3.9: Εφαρμογή του φίλτρου Dewow στα αρχικά δεδομένα της γραμμής μελέτης 08.

Στη συνέχεια ακολουθεί η εφαρμογή του φίλτρου εκθετικής ενίσχυσης (SEC). Στην συγκεκριμένη περίπτωση τέθηκε εξασθένηση ίση με 2 db/m. Εύκολα παρατηρείται ότι το φίλτρο (SEC) ενισχύει ανακλάσεις που καταγράφονται σε μεγαλύτερους σχετικά διπλούς χρόνους διαδρομής (Σχήμα 3.10).

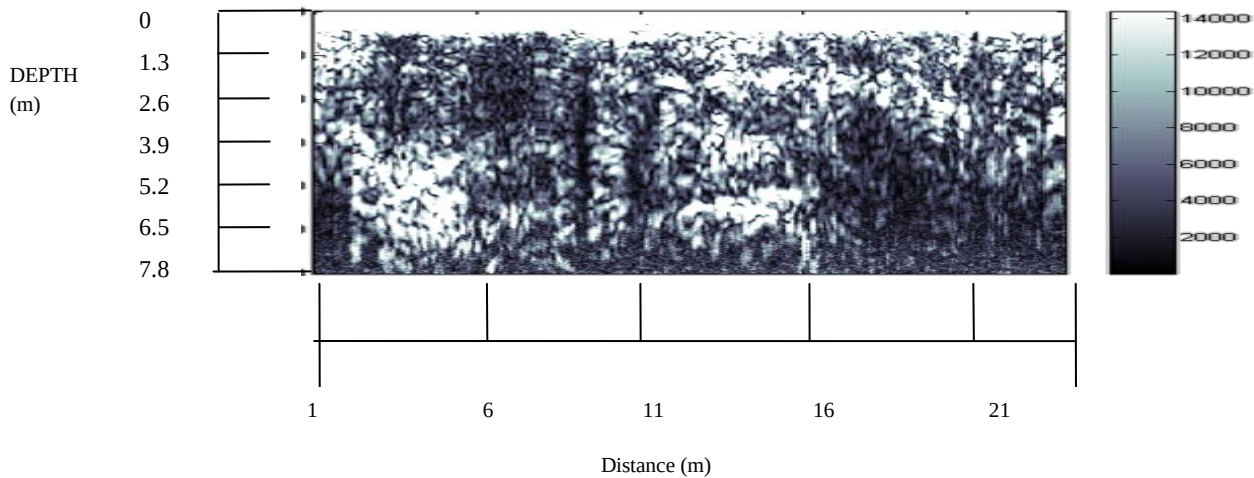


Σχήμα 3.10: Εφαρμογή του φίλτρου εκθετικής ενίσχυσης μετά την διόρθωση Dewow σε δεδομένα της γραμμής μελέτης 08.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες από τον υπολογισμό των μιγαδικών χαρακτηριστικών των δεδομένων. Τα μιγαδικά χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν σε αυτήν την εργασία είναι α) το στιγμιαίο πλάτος, β) το στιγμιαίο πλάτος σε κλίμακα dB.

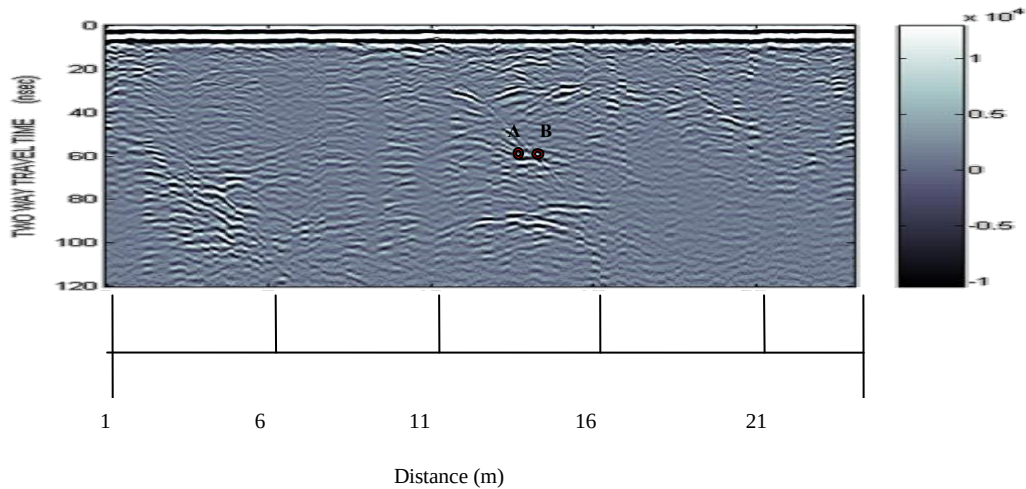


Σχημα 3.11 : Στιγμιαίο πλάτος των δεδομένων της γραμμής μελέτης 08 μετά απο διόρθωση Dewow και εκθετική ενίσχυση.



Σχημα 3.12: Στιγμιαίο πλάτος dB των δεδομένων της γραμμής μελέτης 08 μετά απο διόρθωση Dewow και εκθετική ενίσχυση.

3.2.3 Υπολογισμός της ταχύτητας διάδοσης:



Σχήμα 3.13: Τομή γεωραντάρ γραμμής 08.

Παίρνω τα σημεία A και B με τις εξής συντεταγμένες :

	x(m)	y(ns)	x^2	y^2
A	0	58.3	0	3398.89
B	1	60.3	1	3636.09

Πίνακας 3.1: Συντεταγμένες σημείων για τον υπολογισμό της ταχύτητας διάδοσης.

Επομένως η ταχύτητα διάδοσης είναι : $v = \sqrt{4/k}$ όπου $k = 3636.09 - 3398.89 / 1 = 237.2$

Άρα η ταχύτητα διάδοσης $v = \sqrt{4/237.2} = 0.13 \text{ m/ns}$.

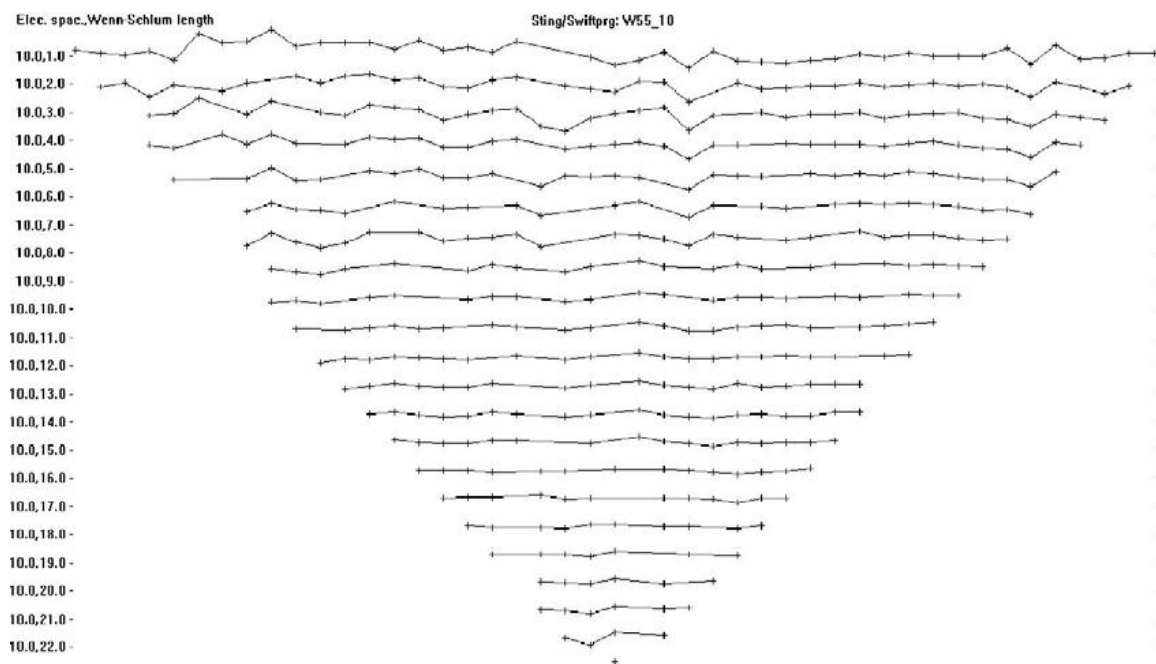
Το γεωραντάρ χρησιμοποιήθηκε λόγω της υψηλής ανάλυσης της μεθόδου και της χαμηλής απόσβεσης των H/M κυμάτων στον ασβεστόλιθο. Η ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση επιλέχτηκε λόγω βαθύτερης διείσδυσης (έως 6 μέτρα). Τέλος η γεωηλεκτρική τομογραφία χρησιμοποιήθηκε για να αποδοθεί αρχικά στην γραμμή μελέτης της, η μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος. Η περεταίρω συνδυασμένη ερμηνεία των στοιχείων από τις τρεις μεθόδους βοήθησε στον διαχωρισμό ανωμαλιών που σχετίζονται με την διείσδυση του θαλασσινού νερού στην περιοχή από άλλες που σχετίζονται τα ανομοιογενές στα ανθρακικά πετρώματα.

3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

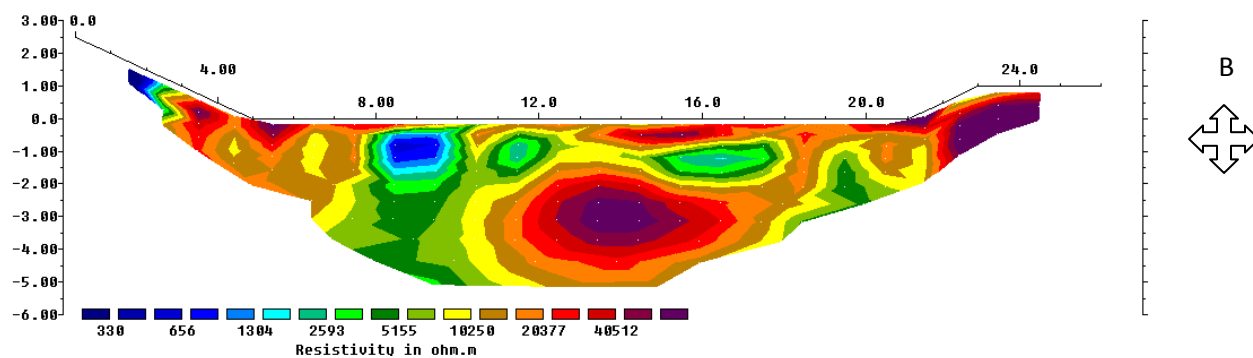
Η επεξεργασία των δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό πακέτο Res2Dinv ver 3.2. Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν την ψευδοτομή του υπεδάφους. Το συγκεκριμένο λογισμικό πραγματοποιεί αντιστροφή των δεδομένων φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη δημιουργία γεωηλεκτρικού μοντέλου που περιγράφει τη μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε σχέση με το βάθος. Με την αντιστροφή γίνεται ο υπολογισμός της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις φαινόμενες. Περαιτέρω επεξεργασία των γεωηλεκτρικών τομών που προέκυψαν από την αντιστροφή των δεδομένων ηλεκτρικών αντιστάσεων, περιλάμβανε τη βελτίωση της απεικόνισης των αποτελεσμάτων με αλλαγή της χρωματικής κλίμακας.

3.3.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας

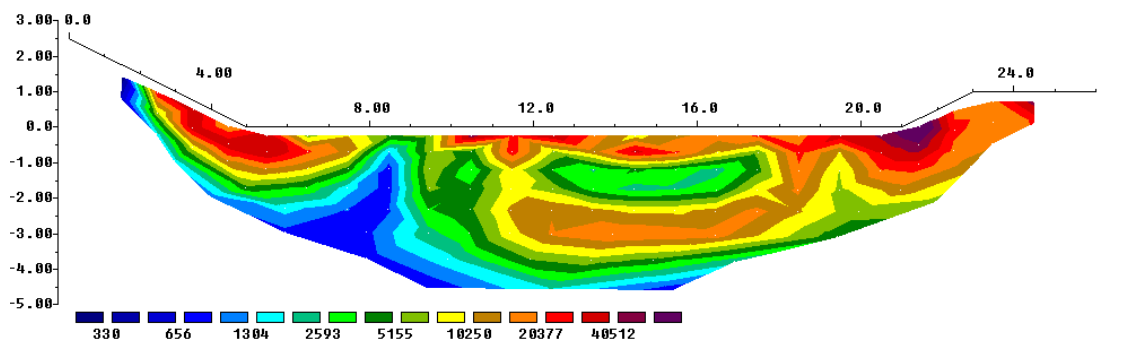
Η επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας έγινε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου RES2DINV. Δημιουργείται ένα γεωηλεκτρικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των φαινόμενων αντιστάσεων ρ_a . Αυτές οι υπολογισμένες τιμές συγκρίνονται με τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Όταν φτάσει στο αποδεκτό όριο σύγκλισης των τιμών, ολοκληρώνεται η διαδικασία της αντιστροφής. Για τη μείωση του σφάλματος μεταξύ υπολογισμένων και μετρούμενων τιμών των φαινόμενων αντιστάσεων ρ_a , αφαιρούνται τιμές με μεγάλη διακύμανση.



Σχήμα 3.14: Δεδομένα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με μορφή σχεδιαγράμματος



Σχήμα 3.15: Γεωηλεκτρική τομή (διάταξη Διπόλου-Διπόλου).



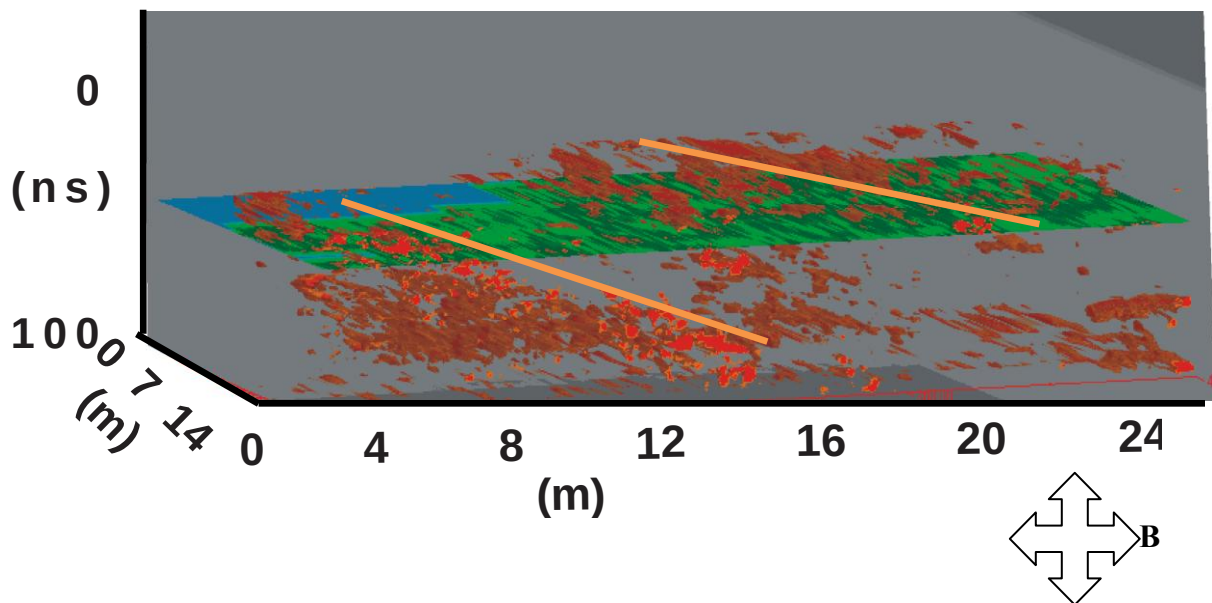
Σχήμα 3.16: Γεωηλεκτρική τομή (διάταξη Wenner Schlumberger).

Επιλέχθηκε η γεωηλεκτρική τομή Διπόλου-Διπόλου για τη σύγκριση με τις τομές γεωραντάρ.

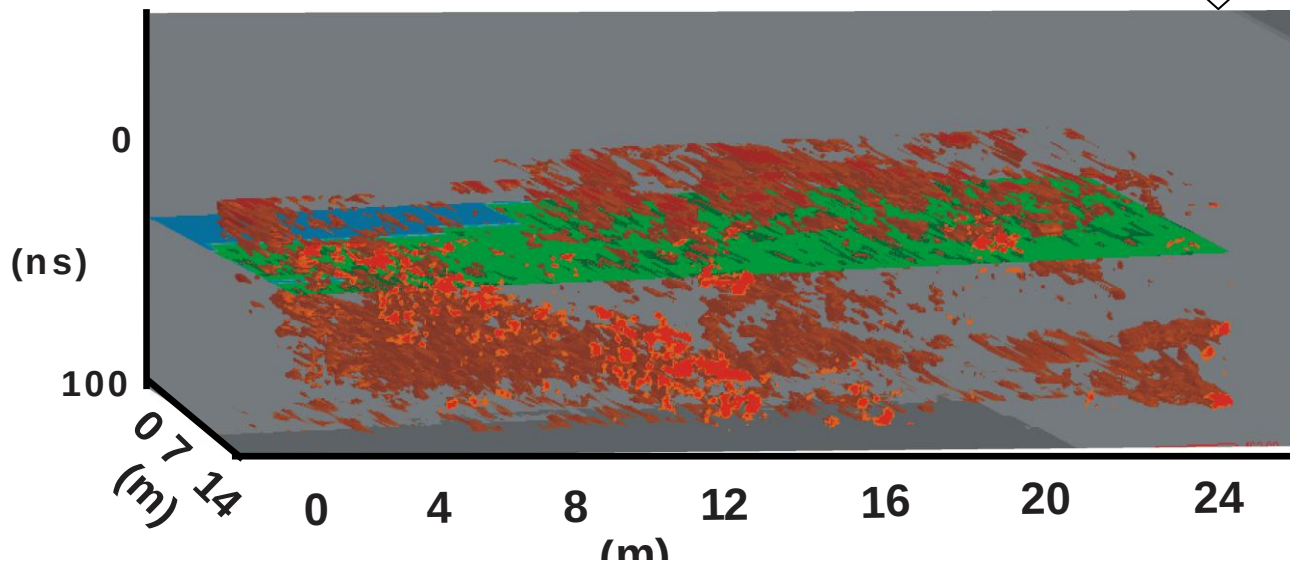
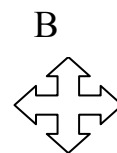
3.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΜΩΝ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΜΕΣΩ T3D

3.4.1 Εισαγωγή

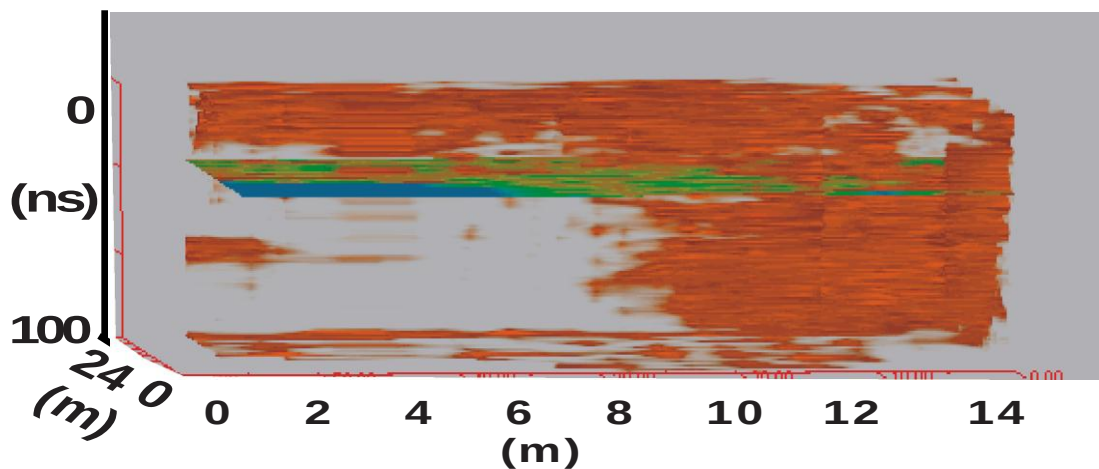
Το T3D απεικονίζει τα δεδομένα γεωραντάρ σε τρεις διαστάσεις. Αρχικά στο πρόγραμμα GPR13 τα δεδομένα του γεωραντάρ αποθηκεύονται σαν mat αρχεία. Ύστερα στην matlab διαβάζεται το mat αρχείο και αποθηκεύεται. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα TRANSFORM αποθηκεύεται το αρχείο με κατάληξη '.hdf' για να μπορεί να διαβαστεί το πρόγραμμα T3D. Τέλος δημιουργούνται οι παρακάτω τρισδιάστατες απεικονίσεις από διάφορες οπτικές γωνίες.



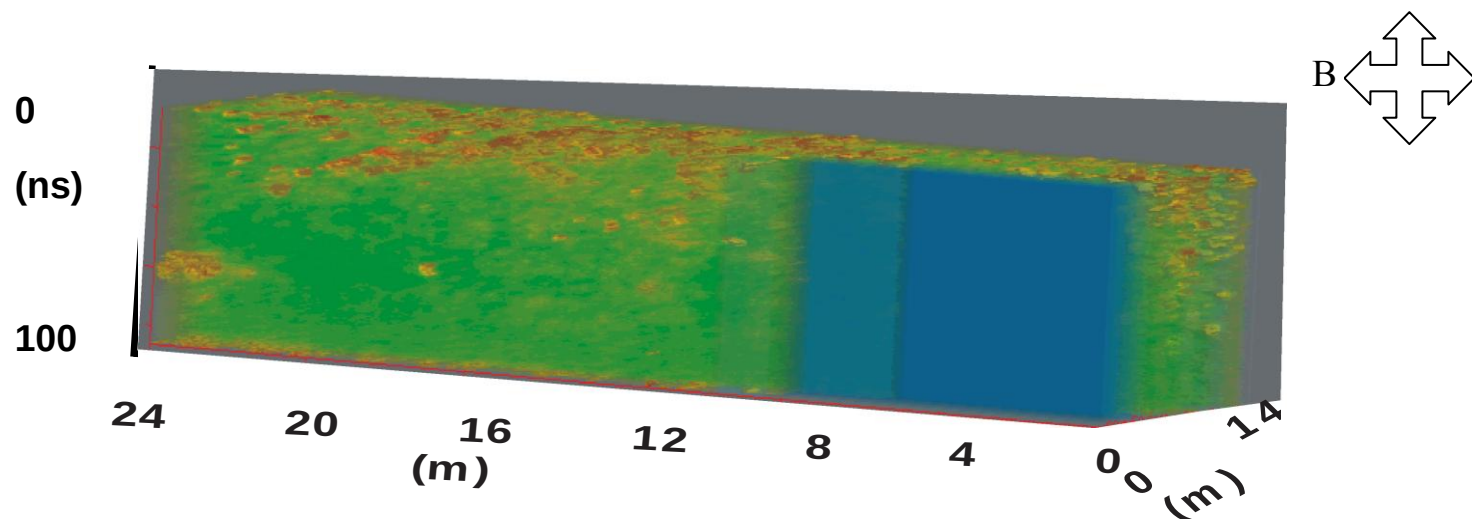
Σχήμα 3.17: Τρισδιάστατη απεικόνιση του στιγμιαίου πλάτους (κλίμακα db) των μετρήσεων γεωραντάρ.



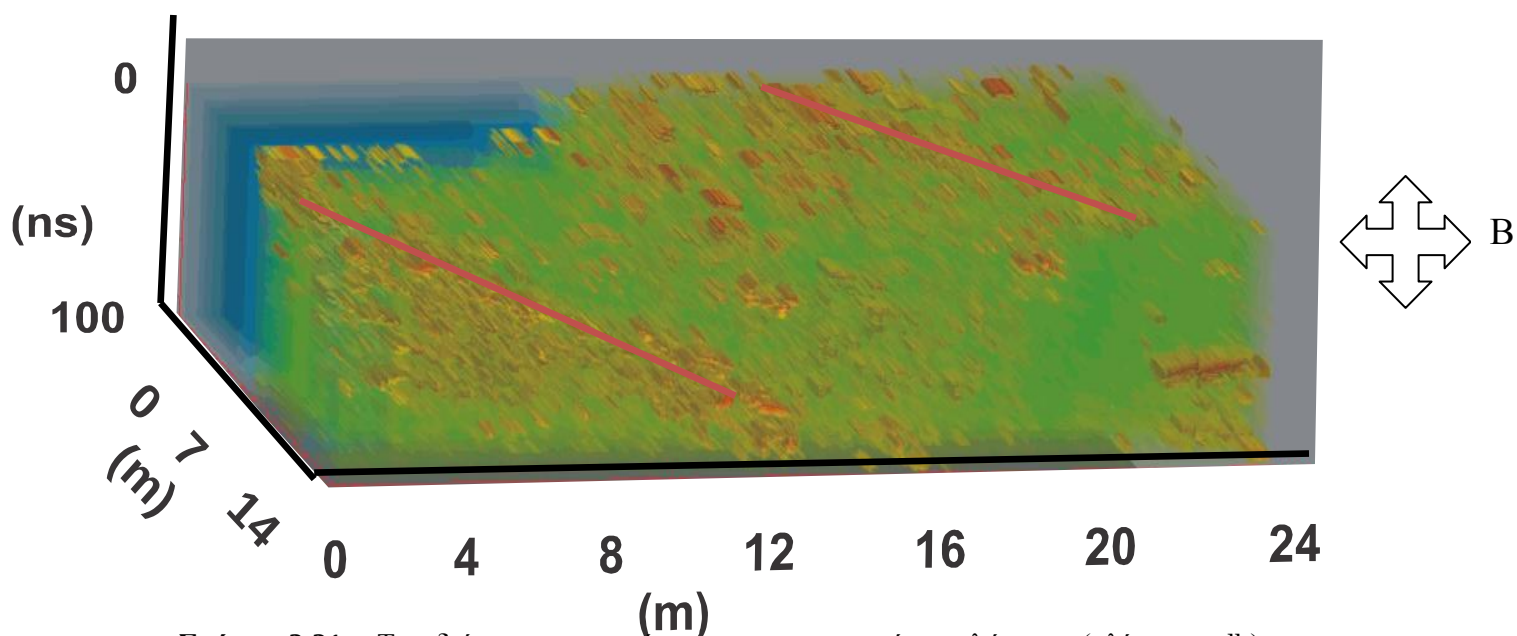
Σχήμα 3.18: Τρισδιάστατη απεικόνιση του στιγμιαίου πλάτους (κλίμακα db) των μετρήσεων γεωραντάρ



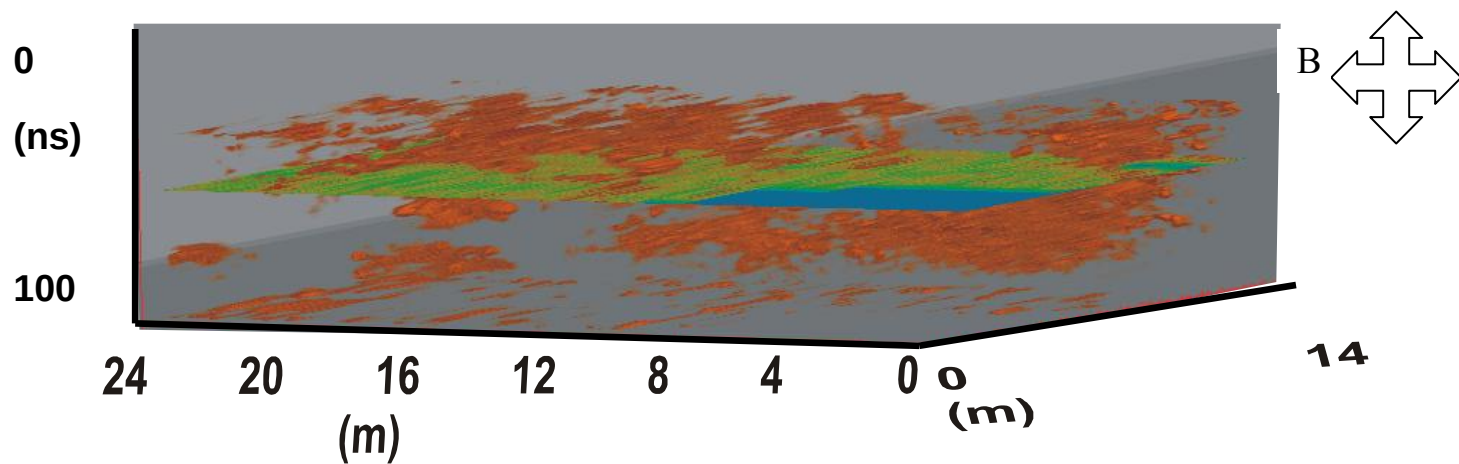
Σχήμα 3.19: Τρισδιάστατη απεικόνιση του στιγμιαίου πλάτους (κλίμακα db) των μετρήσεων γεωραντάρ (από άλλη οπτική γωνία)



Σχήμα 3.20: Τρισδιάστατη απεικόνιση του στιγμιαίου πλάτους (κλίμακα db) των μετρήσεων γεωραντάρ



Σχήμα 3.21: Τρισδιάστατη απεικόνιση του στιγμιαίου πλάτους (κλίμακα db) των μετρήσεων γεωραντάρ



Σχήμα 3.22: Τρισδιάστατη απεικόνιση του στιγμιαίου πλάτους (κλίμακα db) των μετρήσεων γεωραντάρ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

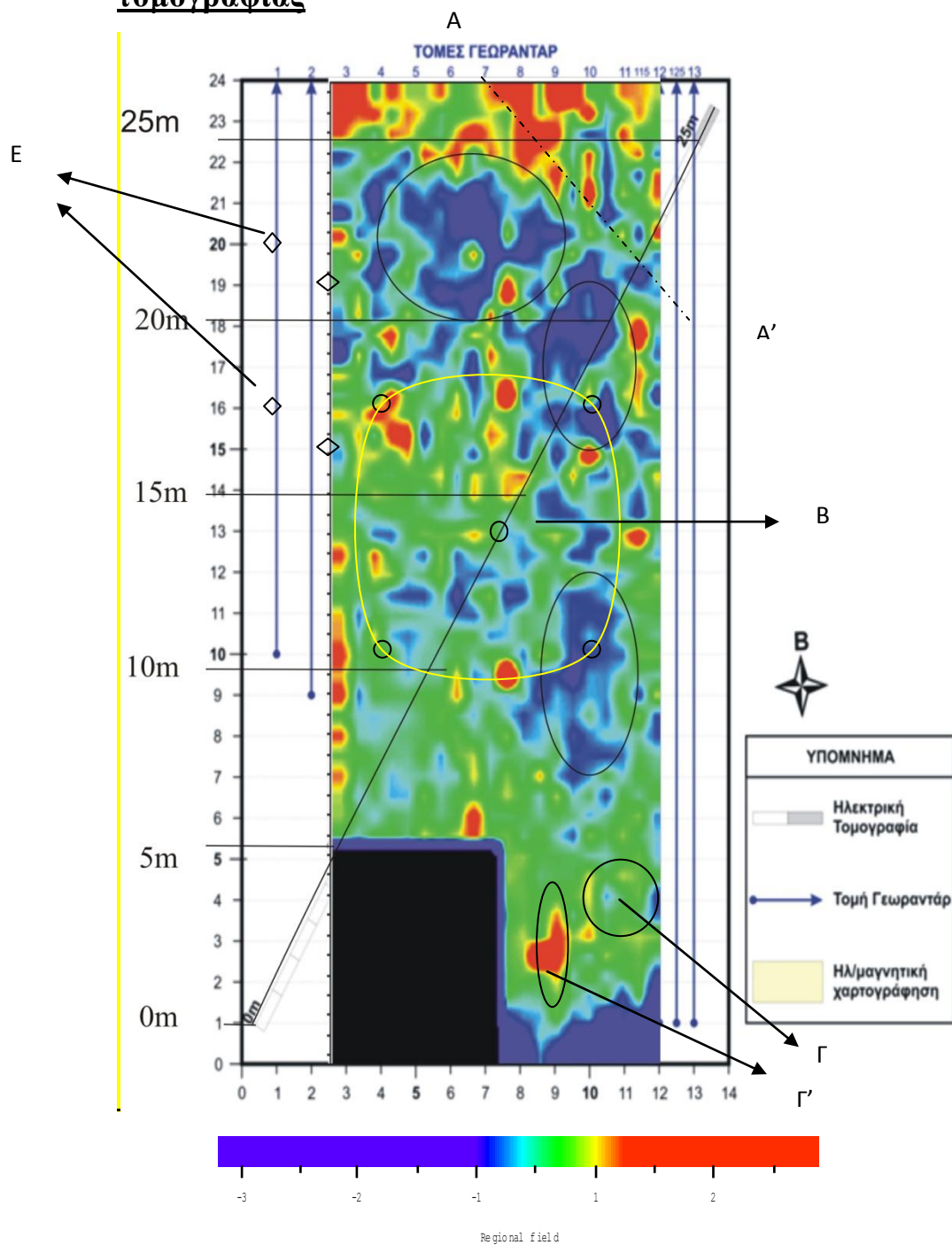
Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η εύρεση κατάλληλης επεξεργασίας των δεδομένων του γεωραντάρ, για την βέλτιστη ερμηνεία τους και την εύκολη σύγκρισή τους με τα δεδομένα της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Παρακάτω παρουσιάζονται επιλεγμένες τομές γεωραντάρ από την επεξεργασία των δεδομένων του γεωραντάρ στην περιοχή μελέτης και συγκρίνονται με την γεωηλεκτρική τομή.

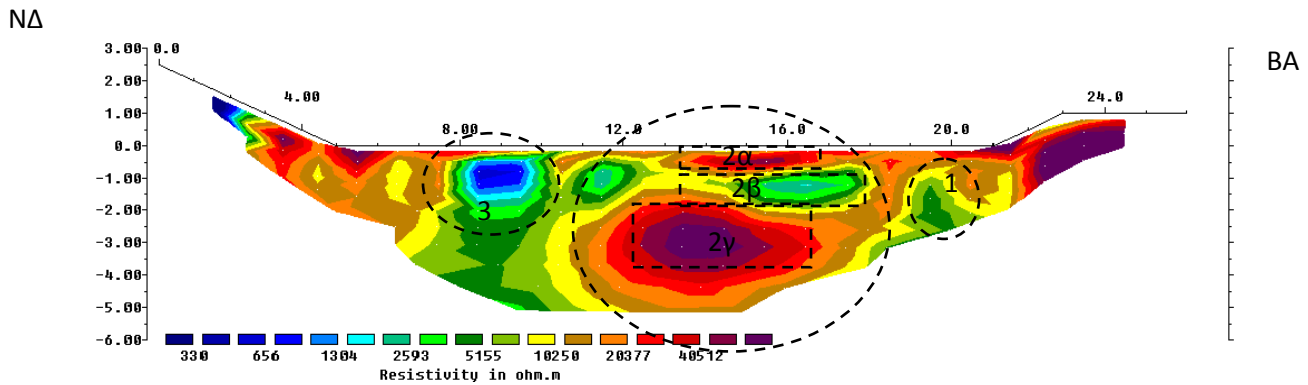
4.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτή την ενότητα γίνεται προσπάθεια συνδυασμού των εικόνων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων με στόχο την καλύτερη δυνατή εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την γεωλογική δομή του υπεδάφους.

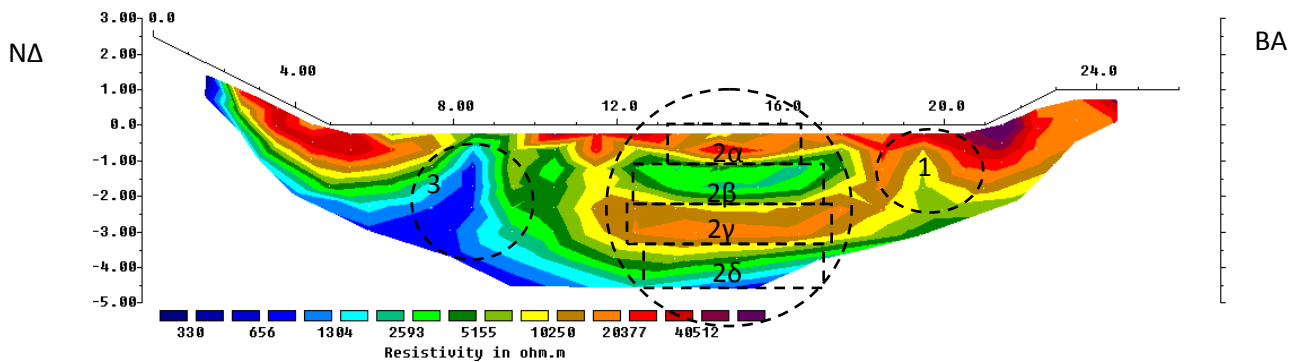
4.2.1 Σύγκριση Ηλεκτρομαγνητικής χαρτογράφησης και ηλεκτρικής τομογραφίας



Σχήμα 4.1: Ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση, γραμμή μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας και γραμμές γεωραντάρ.



Σχήμα 4.2: Γεωηλεκτρική τομή με την διάταξη διπόλου-διπόλου.



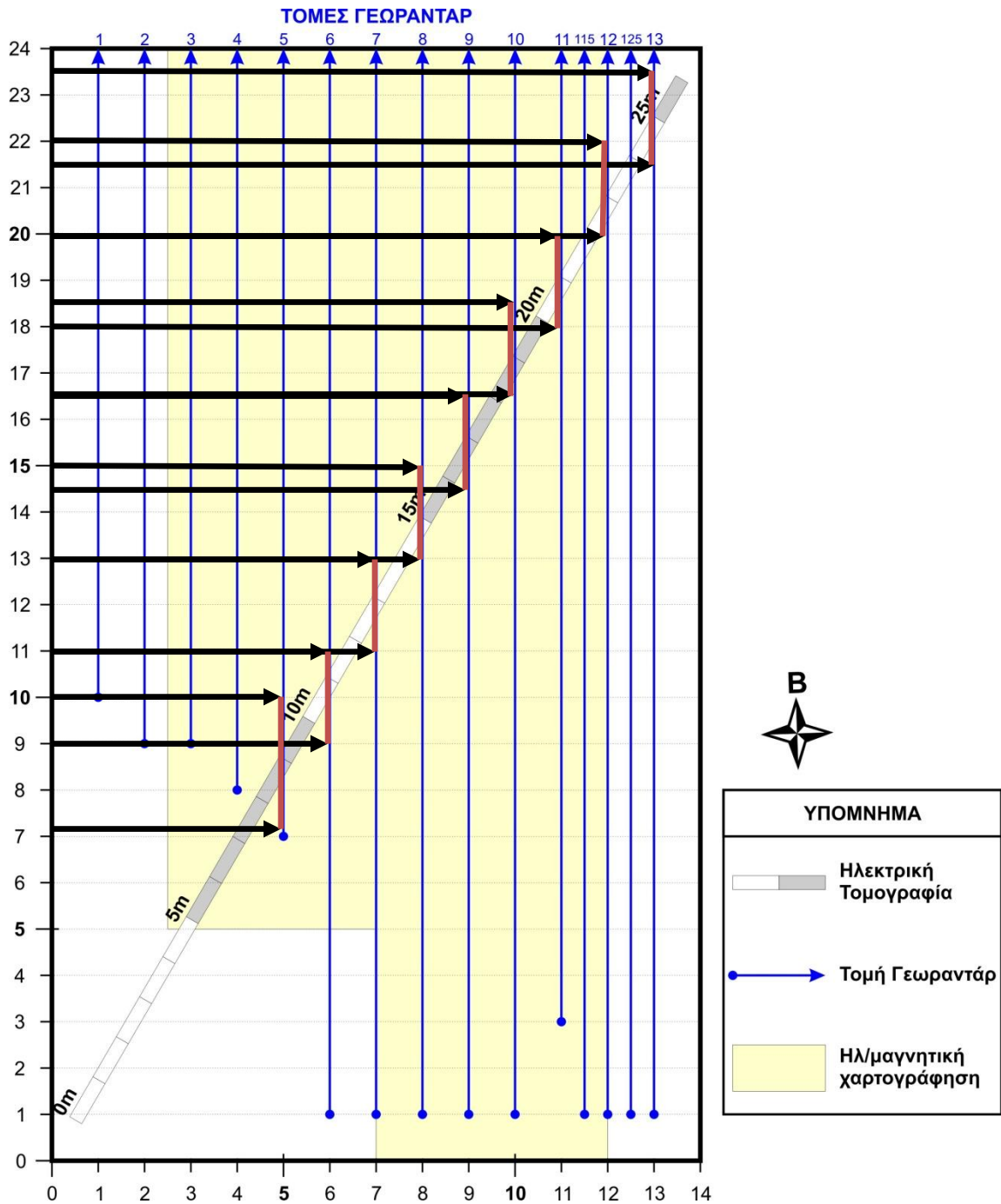
Σχήμα 4.3: Γεωηλεκτρική τομή με την διάταξη WENNER-SCHLUMBERGER.

Στις γεωηλεκτρικές τομές παρατηρούνται ανωμαλίες στα 9 μέτρα, στα 14 μέτρα, και στα 20 μέτρα από την αρχή της γραμμής μελέτης οι οποίες σχετίζονται με ρηγματώσεις (Σχήματα 4.2, 4.3). Ειδικότερα, η ζώνη 3 αποδίδεται σε ασβεστόλιθο του οποίου οι ρωγμές είναι πληρωμένες με εδαφικό υλικό. Οι ζώνες 1 και 2β απεικονίζουν ασβεστόλιθο με ρωγμές. Στην ζώνη 2α ο ασβεστόλιθος είναι επηρεασμένος από την εκσκαφή. Τέλος, η ζώνη 2γ αποδίδεται σε πιο υγιή ασβεστόλιθο.

Στην γεωηλεκτρική τομή με την διάταξη Wenner-Schlumberger (Σχήμα 4.3) εμφανίζεται μια επιπρόσθετη ζώνη χαμηλότερων αντιστάσεων (2δ), η οποία πιθανόν να επηρεάζεται από την διείσδυση θαλασσινού νερού.

Από την σύγκριση της γεωηλεκτρικής τομής με τον ηλεκτρομαγνητικό χάρτη προκύπτει ότι η ζώνη 2 (Σχήματα 4.2 και 4.3) συμπίπτει με την ζώνη Β (Σχήμα 4.1).

4.2.2 Σύγκριση τομής γεωραντάρ και της Ηλεκτρικής τομογραφίας.

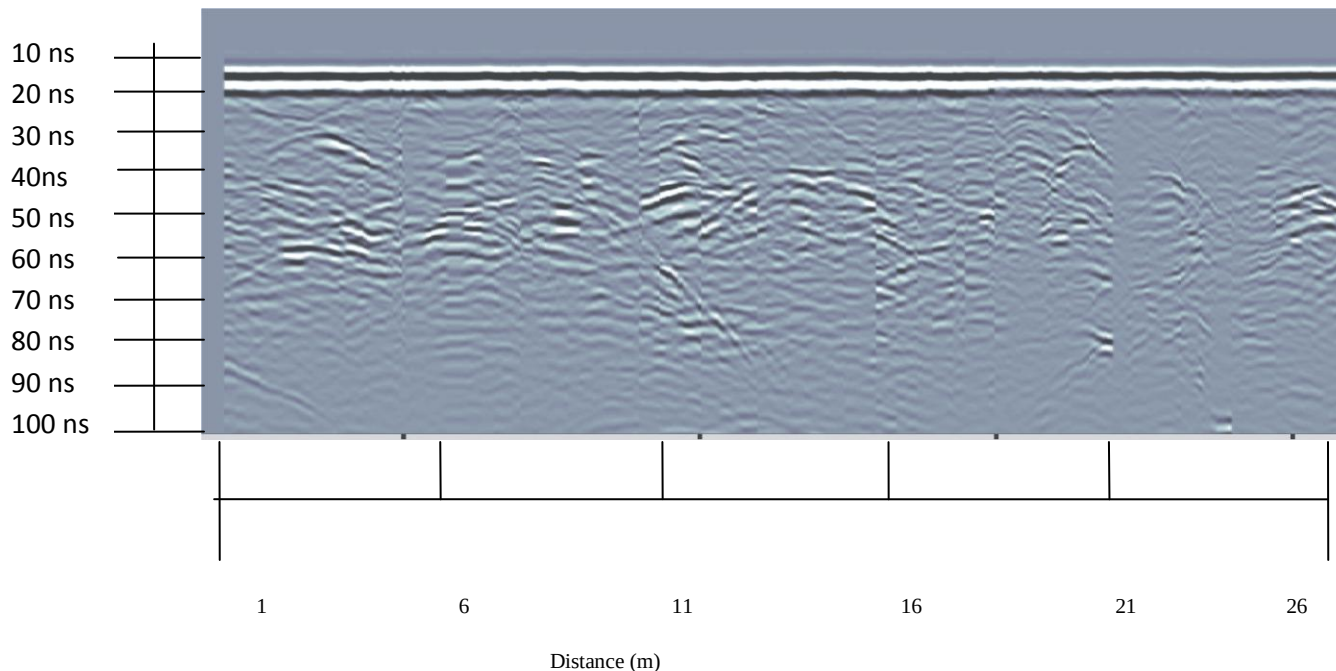


Σχήμα 4.4: Σκαρίφημα περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζονται ο κάναβος της ηλεκτρομαγνητικής χαρτογράφησης και οι γραμμές μελέτης της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ.

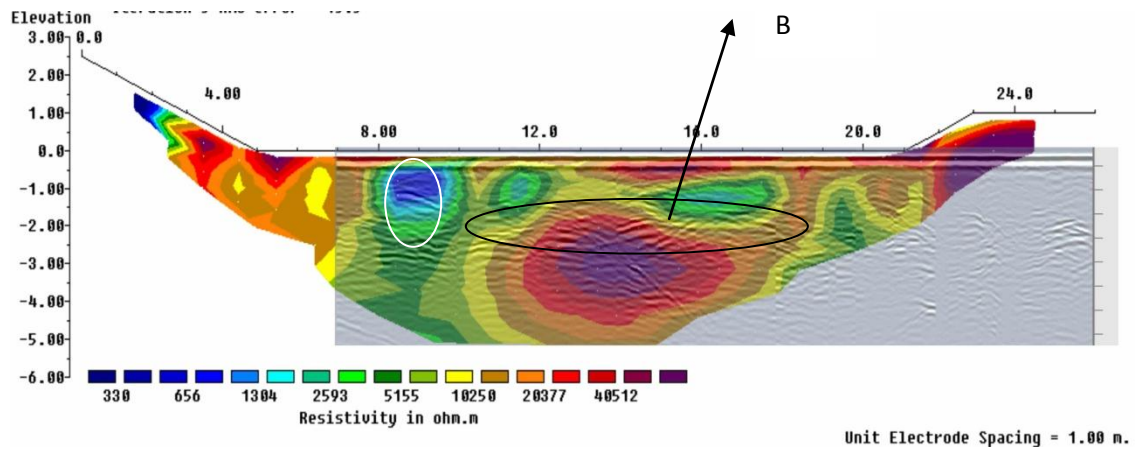
Αρχικά για να γίνει η σύγκριση δημιουργήθηκε μια τομή γεωραντάρ με τα παρακάτω δεδομένα:

ΓΡΑΜΜΕΣ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ	ΜΕΤΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΓΡΑΜΜΗ 5	7-10 ΜΕΤΡΑ
ΓΡΑΜΜΗ 6	9-11 ΜΕΤΡΑ
ΓΡΑΜΜΗ 7	11-13 ΜΕΤΡΑ
ΓΡΑΜΜΗ 8	13-15 ΜΕΤΡΑ
ΓΡΑΜΜΗ 9	14.5-16.5 ΜΕΤΡΑ
ΓΡΑΜΜΗ 10	16.5-18.5 ΜΕΤΡΑ
ΓΡΑΜΜΗ 11	18-20 ΜΕΤΡΑ
ΓΡΑΜΜΗ 12	20-22 ΜΕΤΡΑ
ΓΡΑΜΜΗ 13	21.5-23.5 ΜΕΤΡΑ

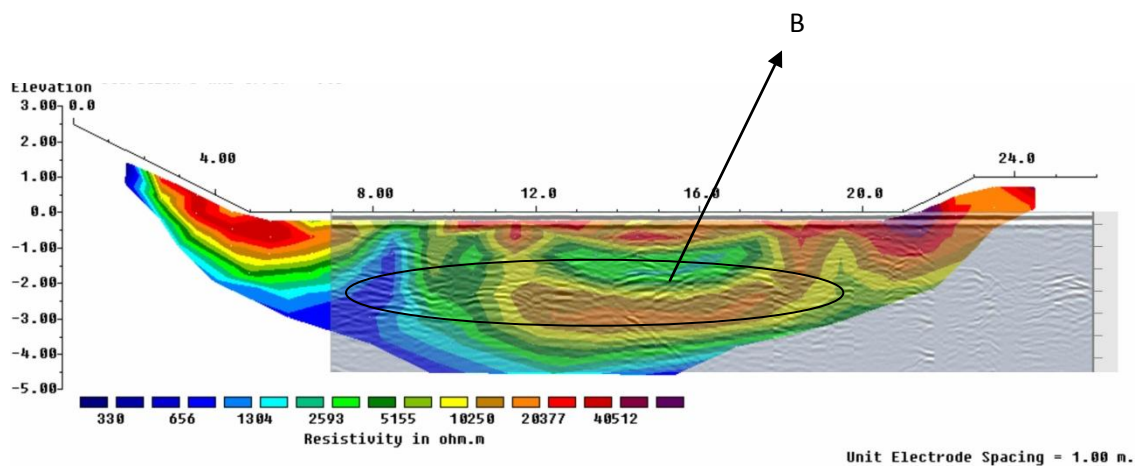
Πίνακας 4.1: Δεδομένα για την δημιουργία της παρακάτω εικόνας γεωραντάρ.



Σχήμα 4.5: Τομή γεωραντάρ των δεδομένων του παραπάνω πίνακα.



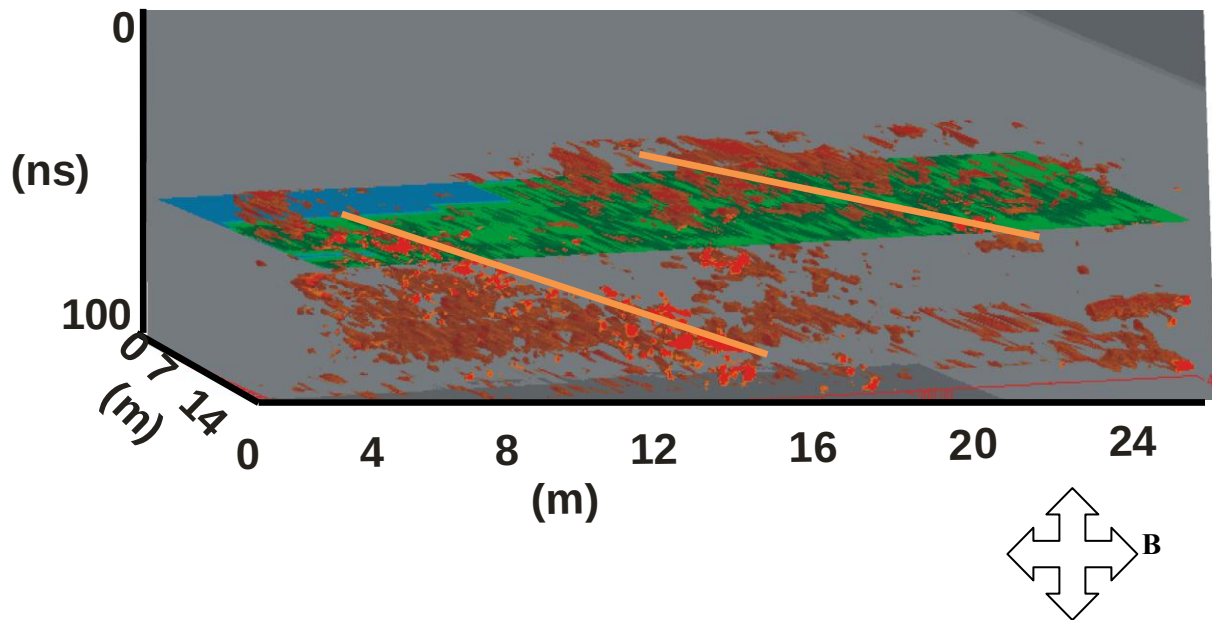
Σχήμα 4.6: Υπέρθεση τομής γεωραντάρ και γεωηλεκτρικής τομής (διάταξη DIPOLE-DIPOLE).



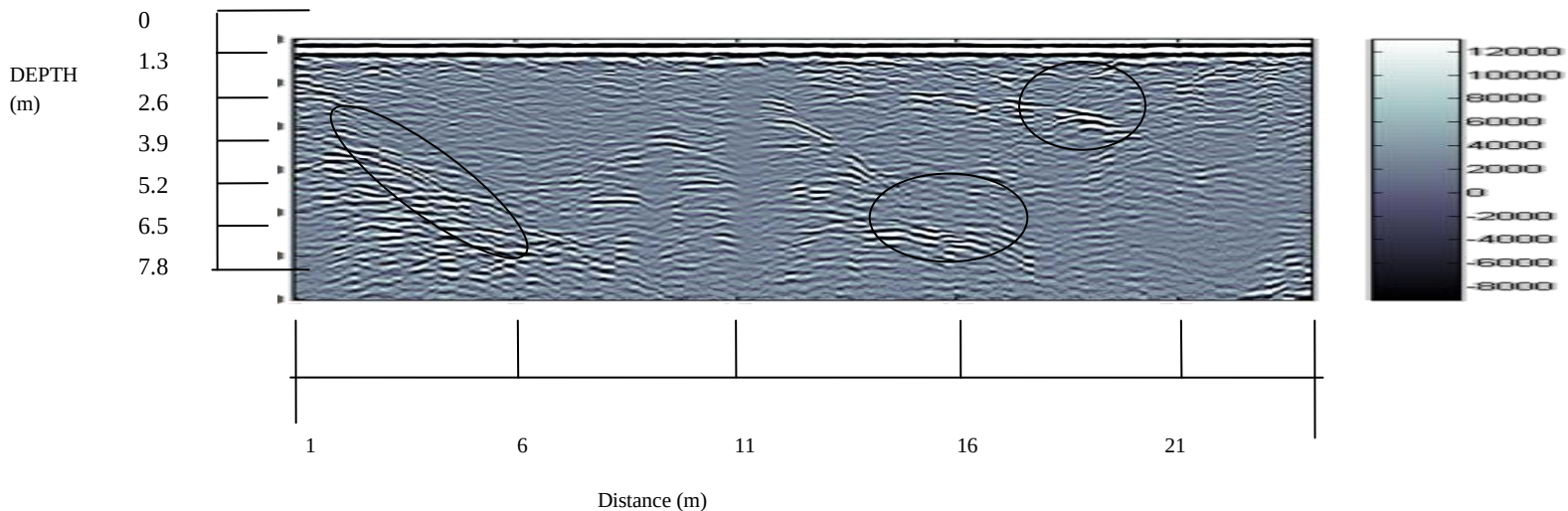
Σχήμα 4.7: Υπέρθεση τομής γεωραντάρ και γεωηλεκτρικής τομής (διάταξη WENNER SCHLUMBERGER).

Οι ισχυρές ανακλάσεις στην τομή γεωραντάρ (Σχήματα 4.6, 4.7) αποδίδονται στο όριο μεταξύ ρηγματωμένου και πιο υγιούς ασβεστόλιθου (ζώνη B). Στην ζώνη που περικλείεται με άσπρη γραμμή εμφανίζονται περιθλώμενα κύματα μέσα στην ρηγματωμένη ζώνη (Σχήμα 4.6).

4.2.3 Σύγκριση των τομών γεωραντάρ και T3D



Σχήμα 4.8: Τρισδιάστατη απεικόνιση του στιγμιαίου πλάτους (κλίμακα db) των μετρήσεων γεωραντάρ.



Σχήμα 4.9: Τομή γεωραντάρ γραμμής μελέτης 9.

Στην τομή γεωραντάρ 9 (Σχήμα 4.9) απεικονίζονται τρεις ομάδες ανακλαστήρων, οι οποίες αποδίδονται στο κάτω όριο του ρηγματωμένου ασβεστόλιθου. Αντίστοιχοι ανακλαστήρες εμφανίζονται στην τρισδιάστατη εικόνα του στιγμιαίου πλάτους (Σχήμα 4.8).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την αξιολόγηση των γεωλογικών δεδομένων της περιοχής μελέτης και των αποτελεσμάτων της γεωφυσικής διασκόπησης, προέκυψαν τα εξής:

- στο βορειοανατολικό τμήμα του καννάβου της γεωφυσικής διασκόπησης εντοπίζεται μία επιφανειακή γραμμική δομή (διακεκομμένη γραμμή ΑΑ' - σχήμα 4.1) διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ. Η δομή αυτή τέμνει το βόρειο και το ανατολικό άκρο του καννάβου στις τοπικές συντεταγμένες (7, 24) και (13, 18) αντίστοιχα. Η ίδια δομή εντοπίζεται επιφανειακά από τα 19 έως τα 22 μέτρα από την αρχή της γραμμής μελέτης κατά μήκος της ηλεκτρικής τομογραφίας ως γεωηλεκτρική ανωμαλία χαμηλότερων σχετικά αντιστάσεων (ανωμαλία 1, σχήματα 4.2, 4.3). Τα παραπάνω συμφωνούν με την επιφανειακή εμφάνιση ρηγματωμένης ζώνης στο βόρειο και ανατολικό πρυνές της εκσκαφής (σχήμα 3.2).
- Στο κέντρο του καννάβου εντοπίζεται μία δομή διαστάσεων 6x6 περίπου μέτρων (περιοχή Β) με τοπικές συντεταγμένες άκρων (4, 16), (10, 16), (10, 10) και (4, 10). Τα ακριβή άκρα της δομής αυτής προσδιορίστηκαν από ανακλάσεις γεωραντάρ και οριοθετούνται στο σχήμα 4.1 από την κίτρινη συνεχή γραμμή. Η ίδια δομή εντοπίζεται ως γεωηλεκτρική ανωμαλία υψηλών αντιστάσεων από τα 11 έως τα 18 μέτρα κατά μήκος της γεωηλεκτρικής τομής (ζώνη 2γ). Στο κέντρο της δομής αυτής, με συντεταγμένες (7, 5, 13) το βάθος της οροφής και του πυθμένα της εκτιμάται ότι είναι 1 m και 5 m αντίστοιχα. Δεδομένων των πολύ υψηλών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δομή αυτή αποδίδεται, στον πιο υγιή ασβεστόλιθο.
- Σχετικά με τις ισχυρές ανακλάσεις στα δεδομένα του γεωραντάρ που παρατηρούνται στο νοτιοανατολικό τμήμα του καννάβου (περιοχή Γ', Σχήμα 4.1) σε βάθος που κυμαίνεται κυρίως από 1.5 έως 4 m, ενδεχομένως αποδίδονται σε διακλάσεις του ασβεστολιθικού πετρώματος, οι οποίες πιθανόν να έχουν μορφή παρόμοια με αυτήν που εμφανίζουν οι πληρωμένες με αργιλικό υλικό διακλάσεις στο ανατολικό μέτωπο της εκσκαφής.

- Τέλος, στο βορειοδυτικό τμήμα του καννάβου εμφανίζονται ισχυρές ανακλάσεις στα δεδομένα του γεωραντάρ σε μία περιοχή έκτασης περίπου $3 \times 5 \text{ m}$, με συντεταγμένες άκρων (1, 16), (1, 20), (3, 19) και (3, 15) (περιοχή Ε, σχήματα 4.1 και 4.8). Οι ανακλαστήρες που τις προκαλούν εμφανίζονται ρηγά (0.5 m) στα νότια της περιοχής αυτής και βαθύτερα (2 m) στα βόρεια. Η δομή αυτή πιθανόν οφείλεται χωρίς να μπορεί να επιβεβαιωθεί, σε ασβεστολιθικές διακλάσεις, οι οποίες ενδεχομένως να συνδέονται με την δομή που βρέθηκε στο κέντρο του καννάβου.

Από την αξιολόγηση των γεωλογικών δεδομένων της περιοχής μελέτης και των αποτελεσμάτων της γεωφυσικής διασκόπησης, προέκυψε ότι δεν υπάρχουν έγκοιλα με διαστάσεις μεγαλύτερες των 2 μέτρων σε βάθος μέχρι 5 μέτρα. Εντοπίστηκαν μικρό-ρηγματώσεις σε όλη την περιοχή μελέτης. Στο βόρειο και ανατολικό άκρο εμφανίζεται ρήγμα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και προτείνεται να αποφευχθεί η έδραση κτιρίου ή τμήματός του στην θέση αυτή. Συγκεκριμένα σημεία της υπόλοιπης περιοχής μελέτης χρήζουν ενίσχυσης ή εξυγίανσης του υπεδάφους για την ασφαλή οικοδόμηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ανδρεαδάκης, Ε., (2003), Το καρστικό σύστημα του Υμηττού, Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Αποστολίδου, Τ.- Μ., (2009), Λεπτομερής απεικόνιση βαθέων καρστικών στο οροπέδιο του Ομαλού με την μέθοδο ηλεκτρικής τομογραφίας, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Γκανιάτσος, Ι., (1995), Γεωηλεκτρική τομογραφία με τη διάταξη Wenner, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Παπαζάχος, Β., (1986), Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη γεωφυσική, Έκδοση υπηρεσίας δημοσιευμάτων Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- Παρασχούδης, Β., (2002), Υδρογεωλογική μελέτη Δυτικής Αττικής (Πεδιάδας Μεγάρων- Θριάσιου πεδίου), Τεύχος 1, Υδρογεωλογική Έκθεση, Αθήνα.
- Σπανουδάκης, Ν., (2007), Συμβολή των μεθόδων ταξινόμησης δεδομένων γεωραντάρ στην επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων, Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Σούλιος, Γ., (1996), Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Α'. University Press. Θεσσαλονίκη.
- Χάρτης γεωλογίας 'Φύλλο Μέγαρο Αττικής' (Ι.Γ.Μ.Ε.).
- Χορευτάκη, Γ., (2003), Γεωφυσική διασκόπηση με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ στο λατομείο Ζωφόρων του Ν. Ηρακλείου, Μεταπτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

ΛΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

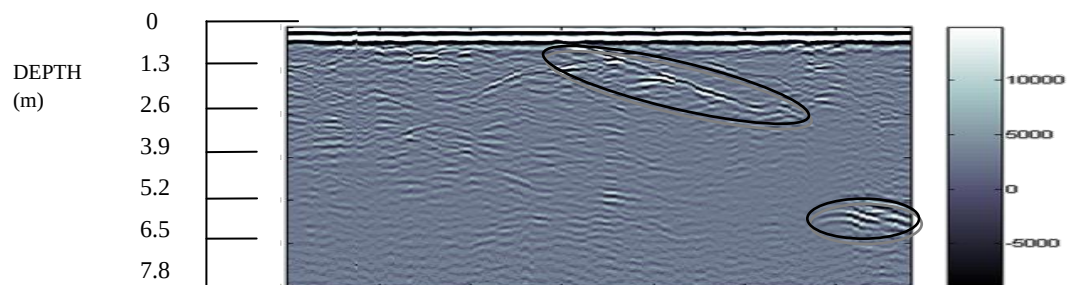
- Kaufmann, O., and Quinif, Y., (2001), An application of cone penetration tests and combined array 2D electrical resistivity to delineate cover-collapse sinkhole prone areas. In: Beck, B., Herring, G., (eds) Geotechnical and environmental applications of karst geology and hydrology, Balkema, Rotterdam, 359–364.
- Louis, I.F., Louis, F. I., and Bastou, M., (2002), Accurate subsurface characterization for highway applications using resistivity inversion methods. J Electric Electron Eng 1, 43–55.
- Thierry, P., Debeblia, N., and Bitri, A., (2005), Geophysical and geological characterization of karst hazards in urban environments: application to Orleans (France), Bull. of Eng. Geol. and Env., 64, 139-150.
- Rossi, G., Picotti, S., Baradello, L., Bolcato, S., Bratus, A., and Wardell, N., (2002), Geophysical integrated approach to the study of an aquifer in a Karstic area. SEG expanded abstracts, SEG 72nd Ann Meeting, October 2002, Salt Lake City, 1480–1483.
- van Schoor, M., (2002), Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging, J. Appl. Geophys., 50, 393–399.
- Zhou, W., Beck, B., and Adams, A., (2002), Effective electrode array in mapping karst hazards in electrical resistivity tomography, Environmental Geology, 42, 922-928.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

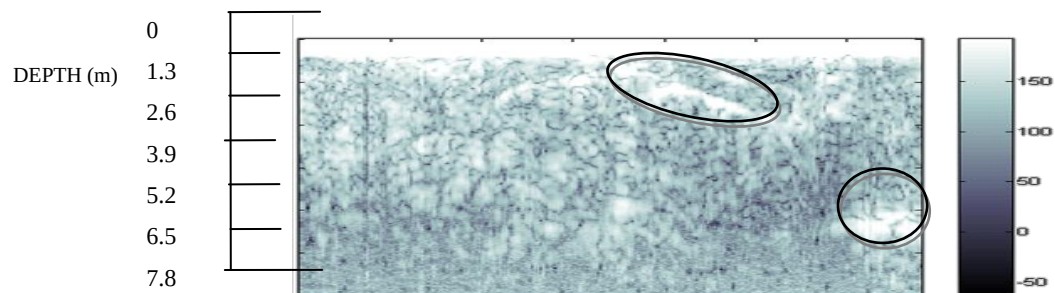
ΓΡΑΜΜΗ 1

DEWOW

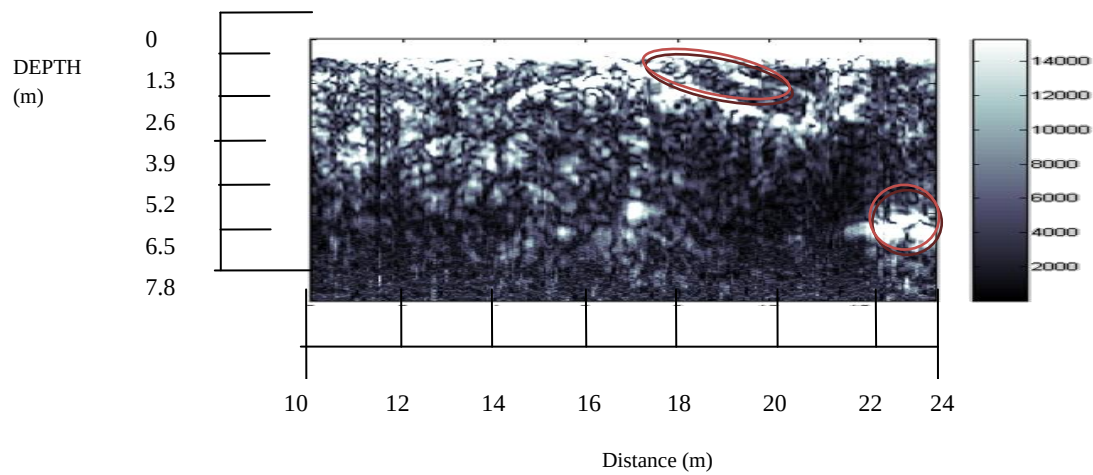
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE



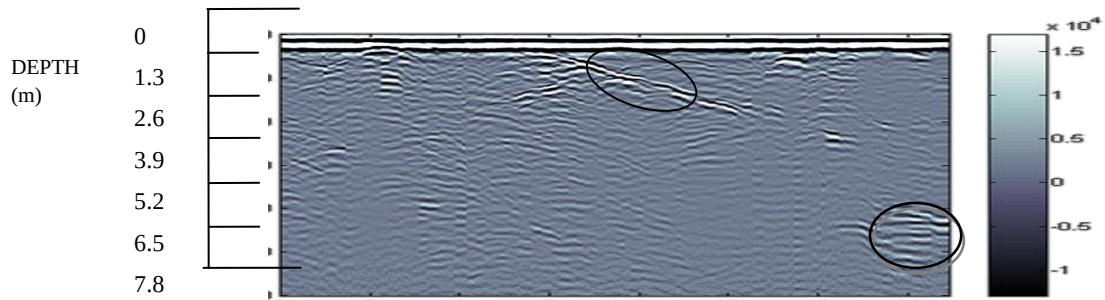
INSTANTANEOUS ENVELOPE



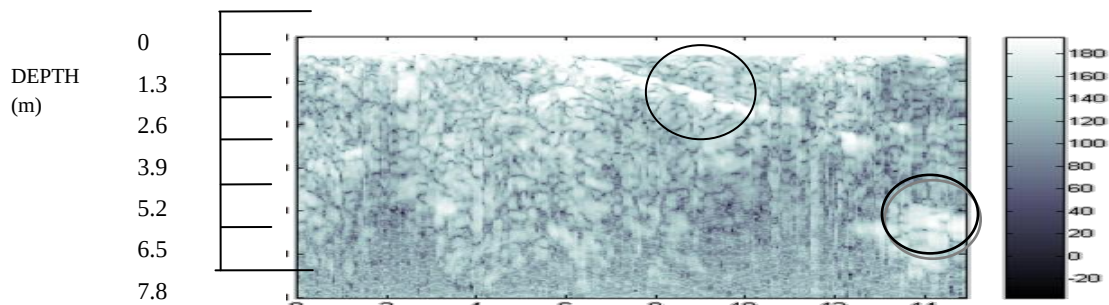
ΓΡΑΜΜΗ 2

DEWOW

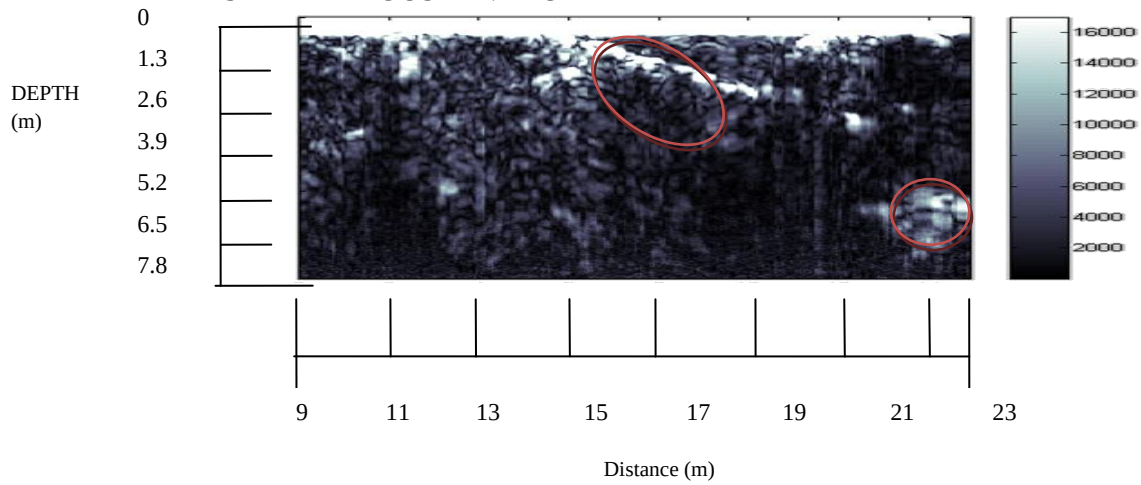
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

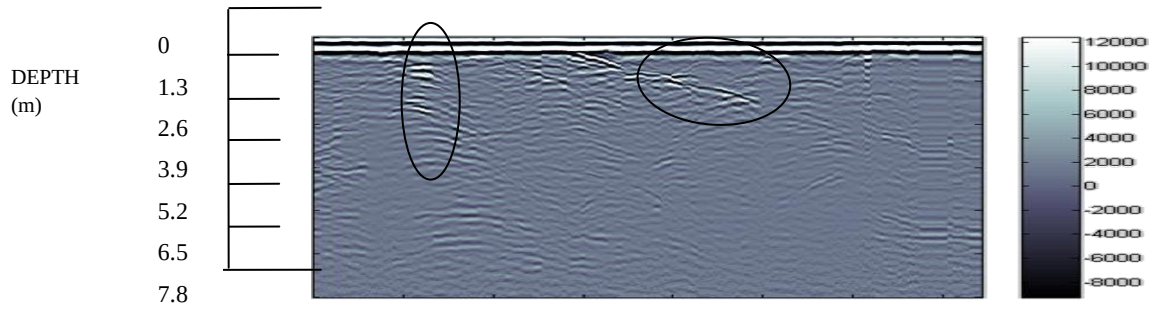


INSTANTANEOUS ENVELOPE

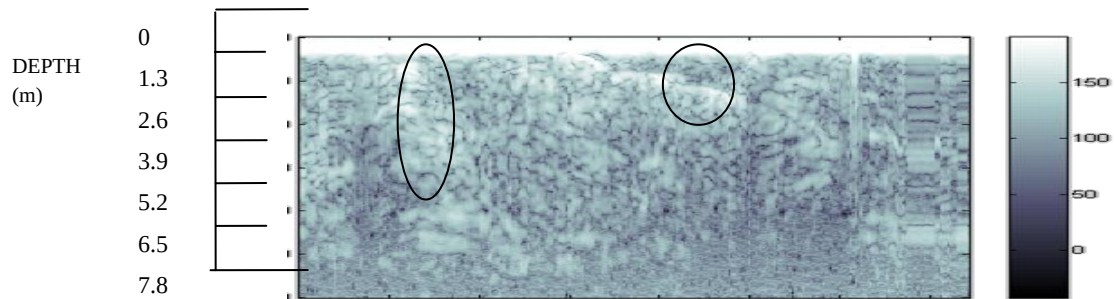


ΓΡΑΜΜΗ 3
DEWOW

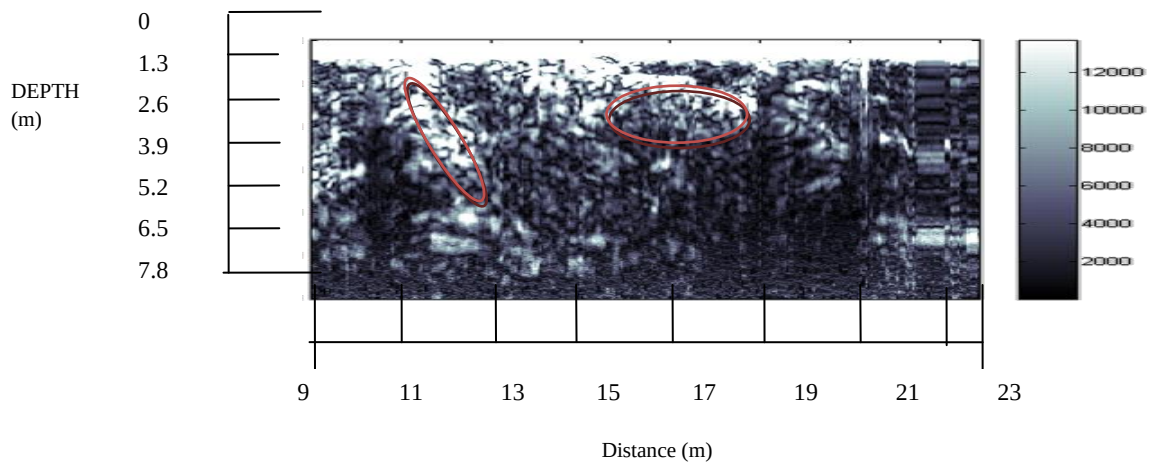
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

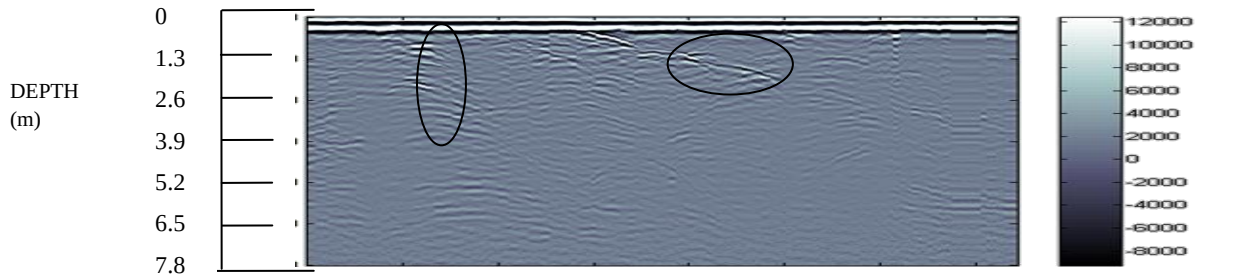


INSTANTANEOUS ENVELOPE

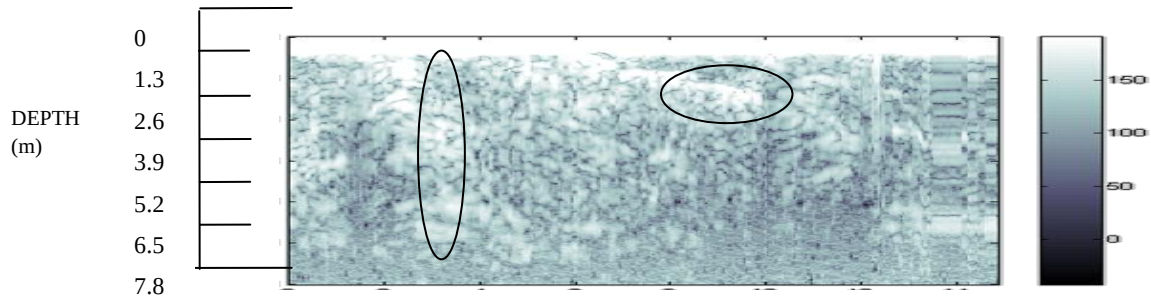


ΓΡΑΜΜΗ 4

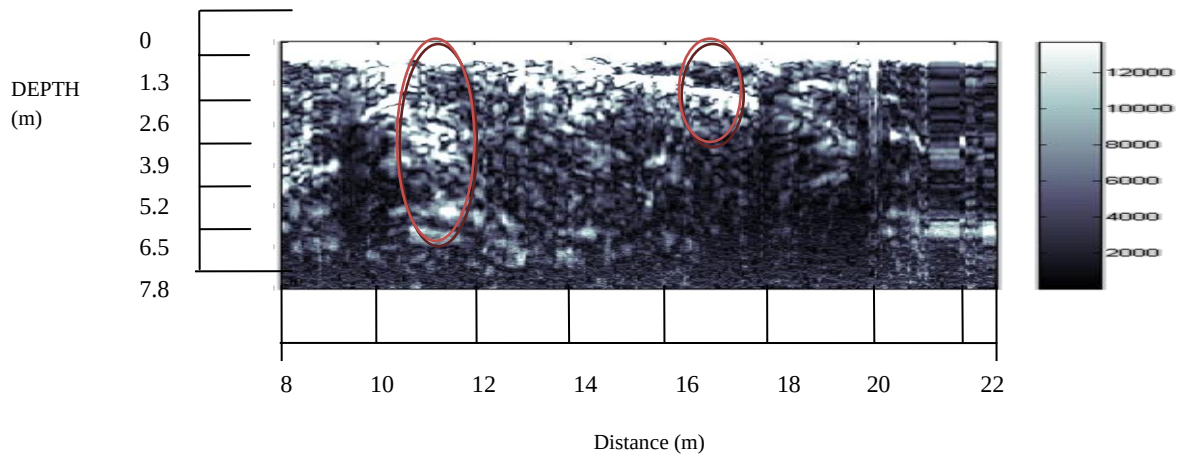
DEWOW
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

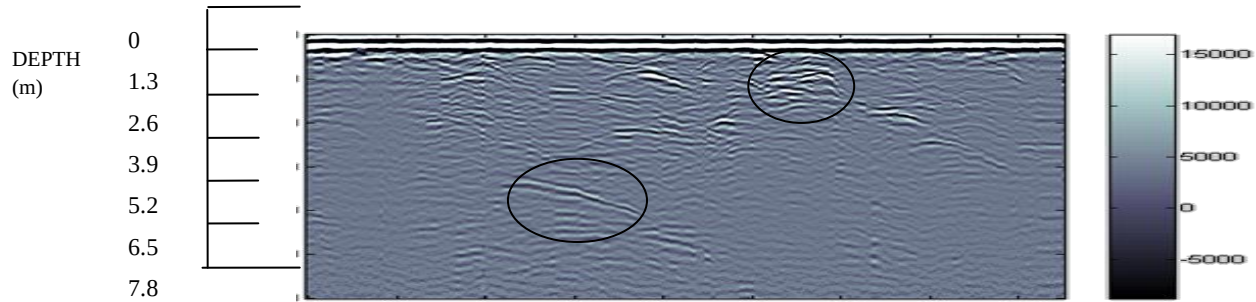


INSTANTANEOUS ENVELOPE

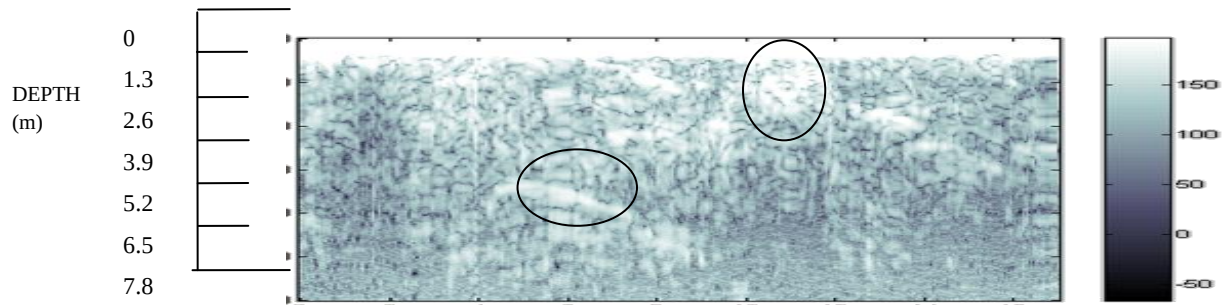


ΓΡΑΜΜΗ 5

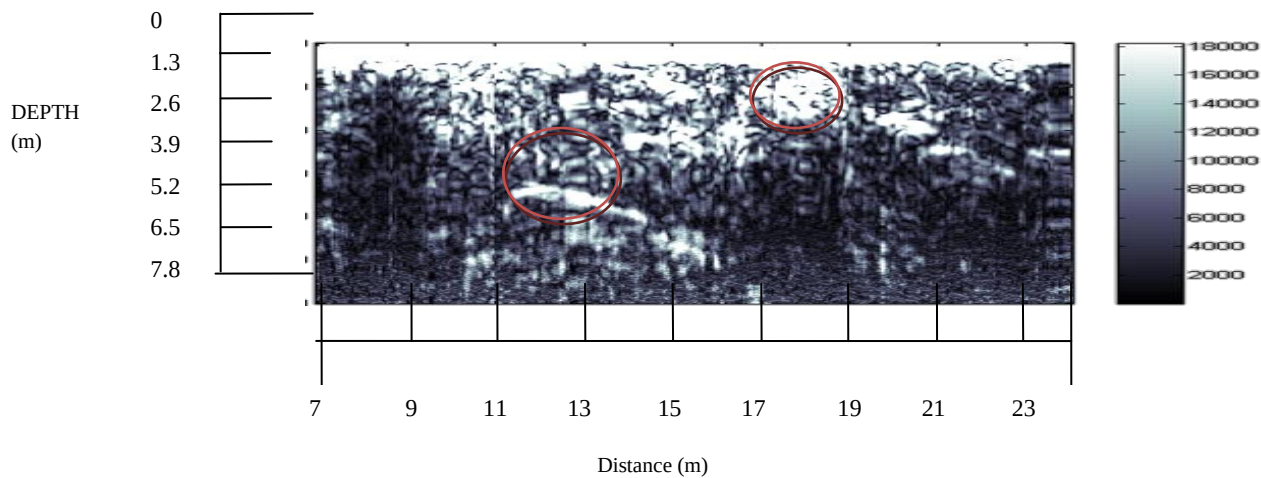
DEWOW
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

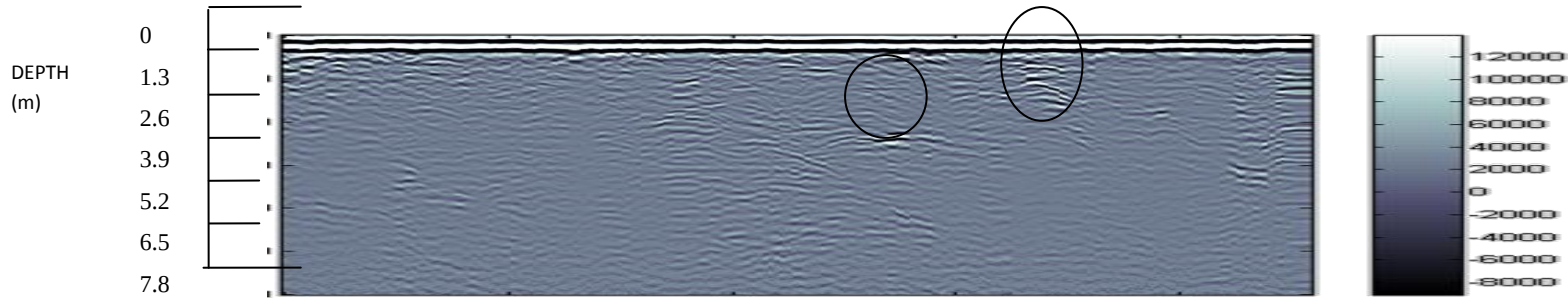


IE INSTANTANEOUS ENVELOPE

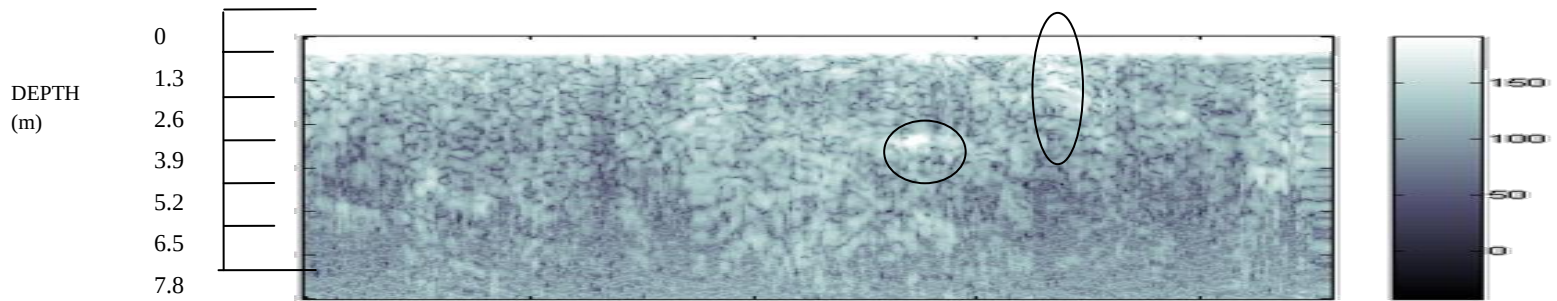


ΓΡΑΜΜΗ 6

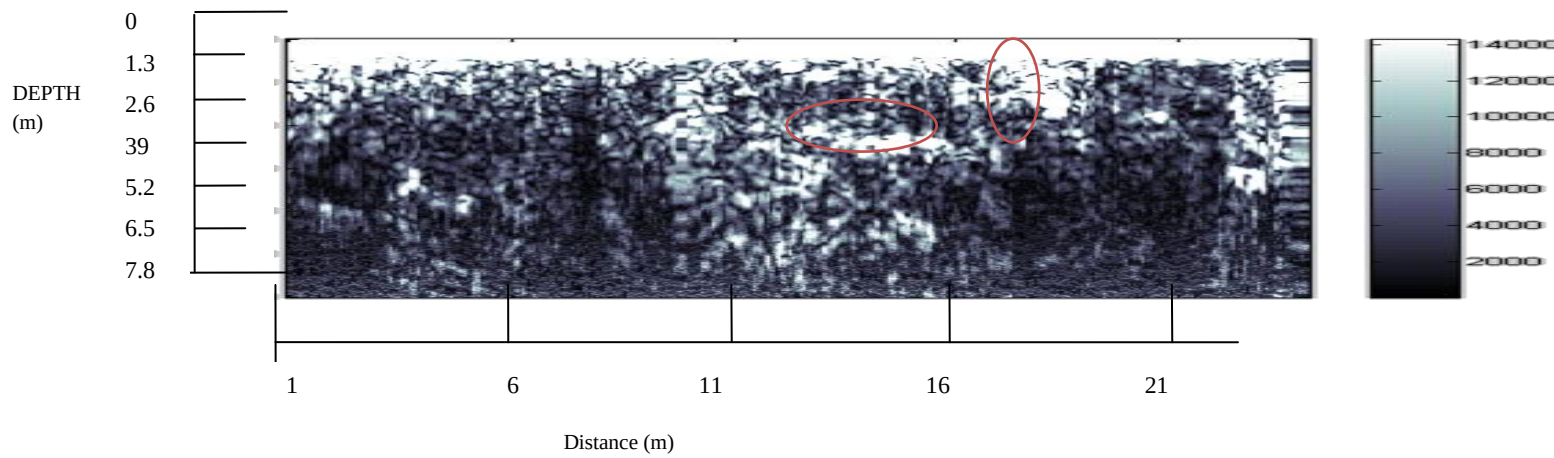
DEWOW
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

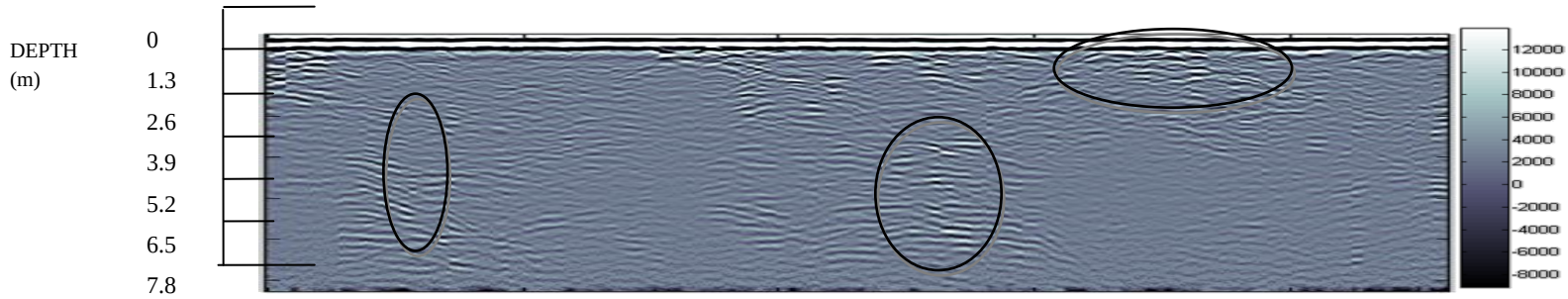


INSTANTANEOUS ENVELOPE

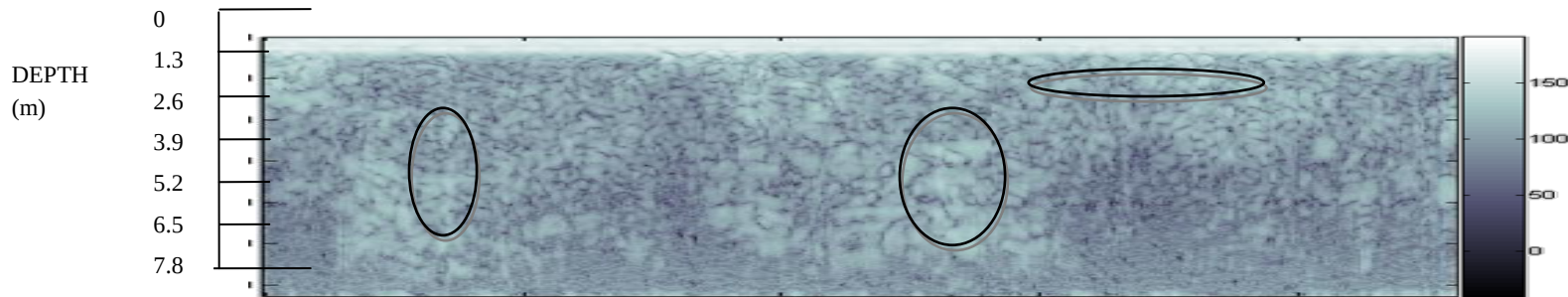


ΓΡΑΜΜΗ 7

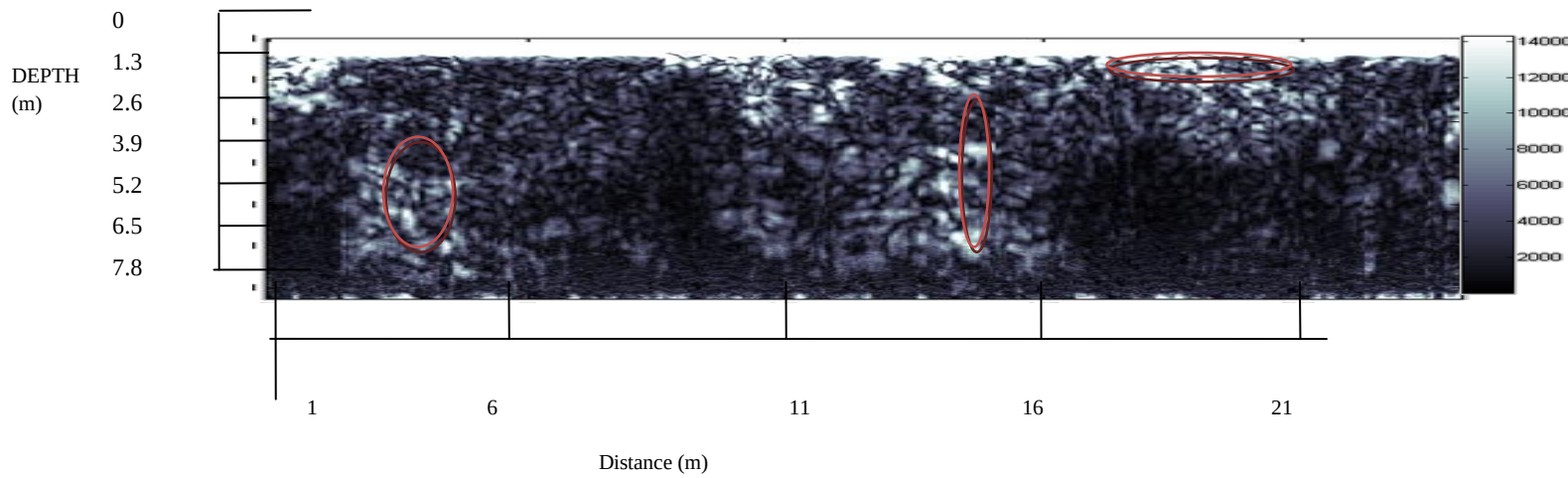
DEWOW
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

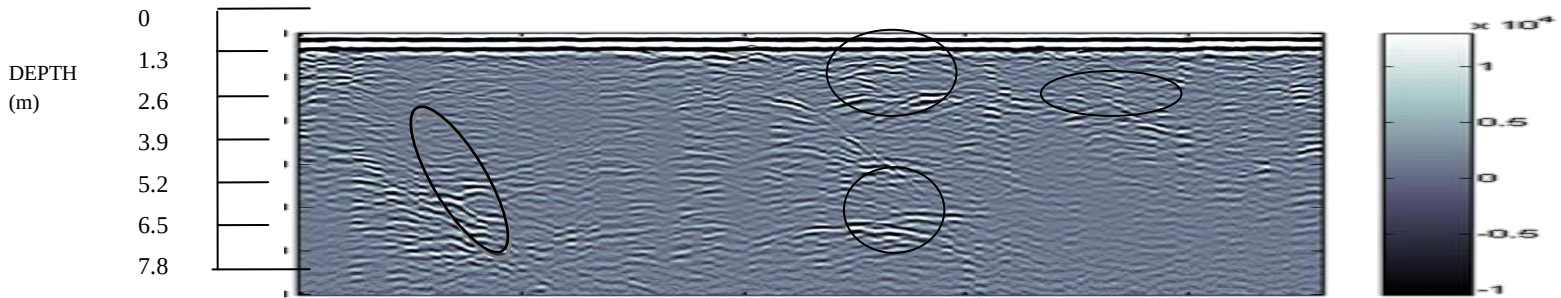


INSTANTANEOUS ENVELOPE

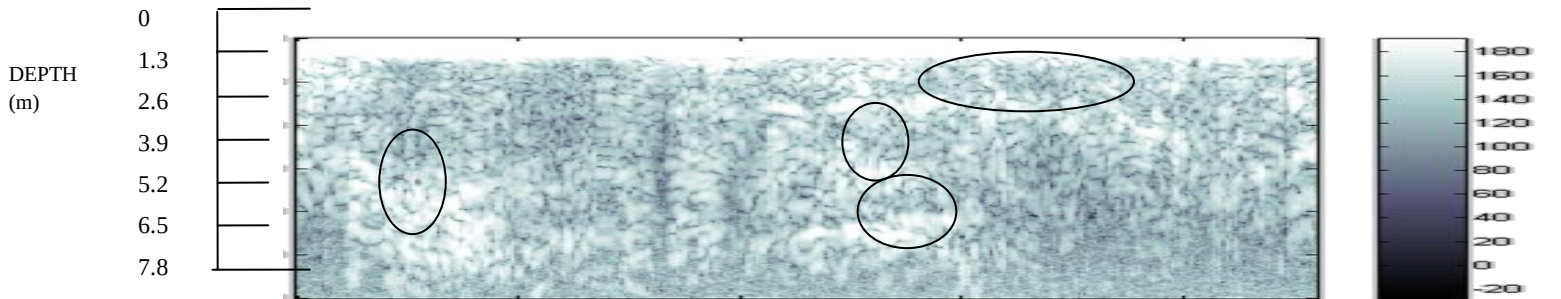


ΓΡΑΜΜΗ 8

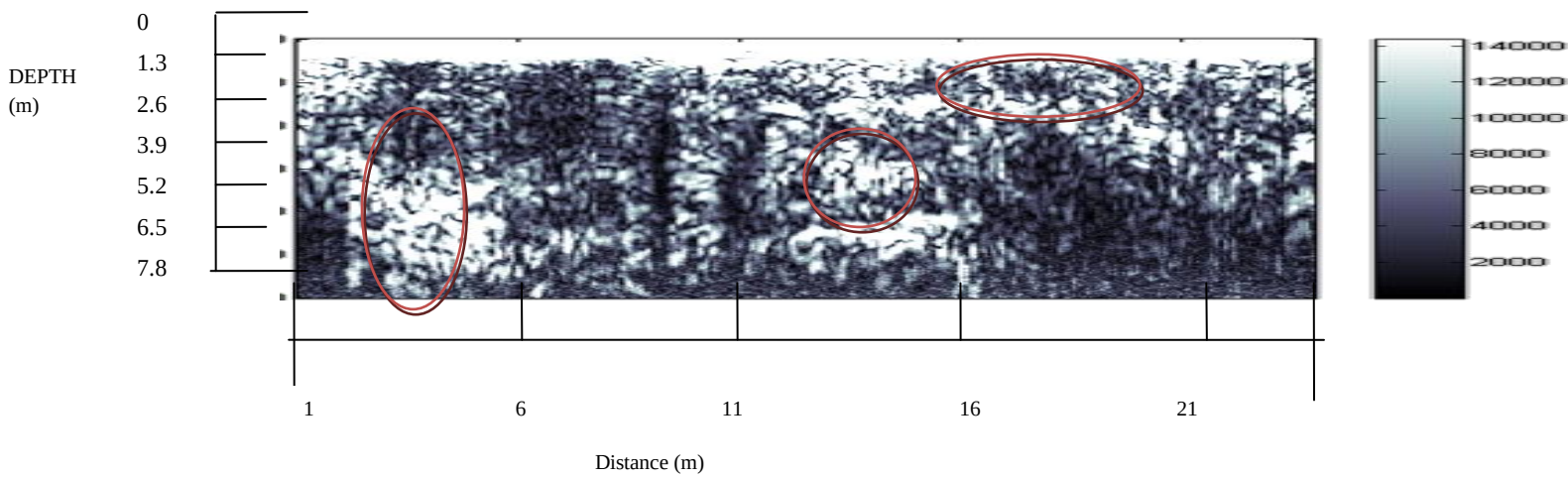
DEWOW
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE



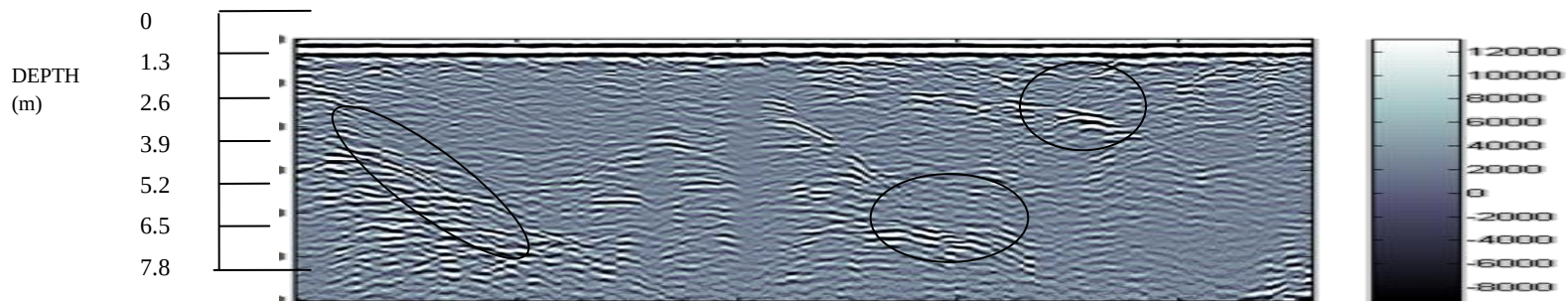
INSTANTANEOUS ENVELOPE



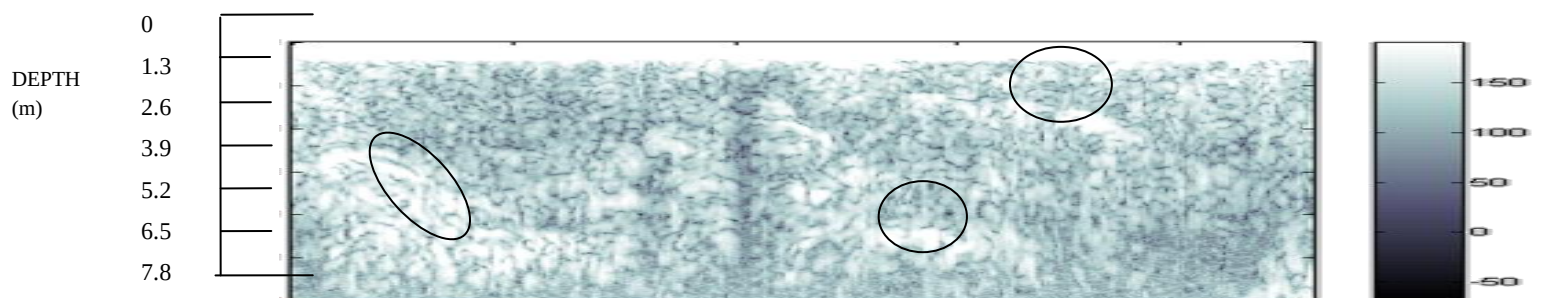
ΓΡΑΜΜΗ 9

DEWOW

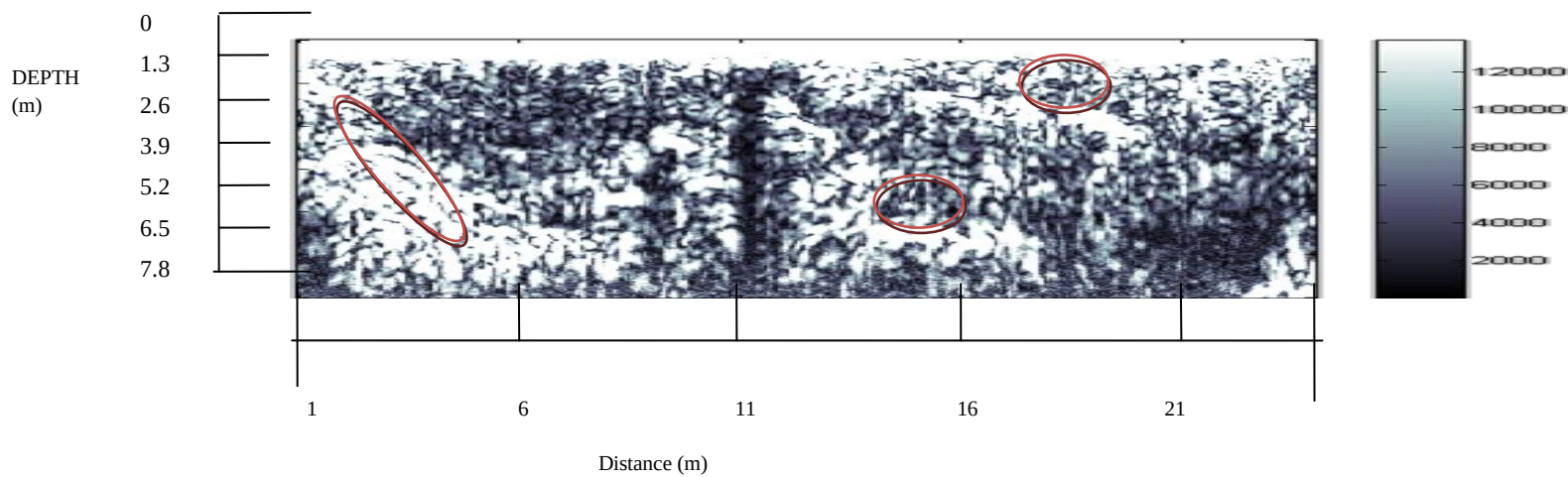
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE



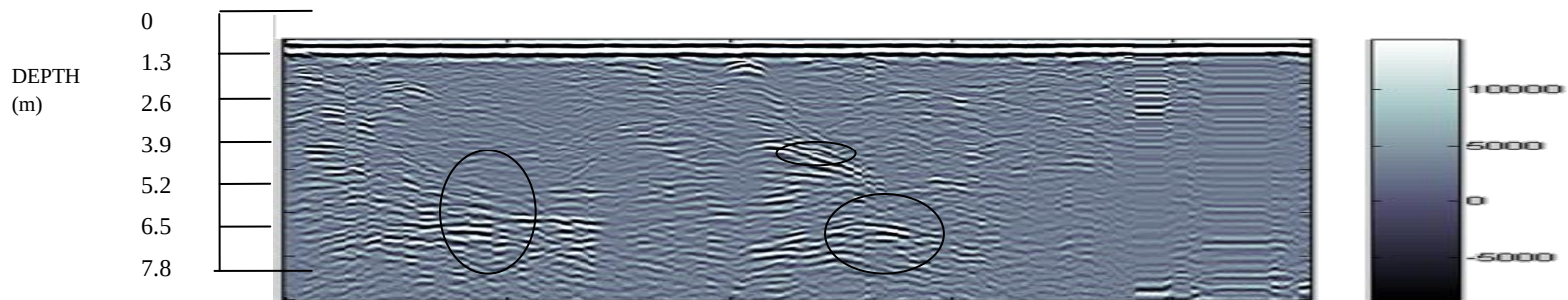
INSTANTANEOUS ENVELOPE



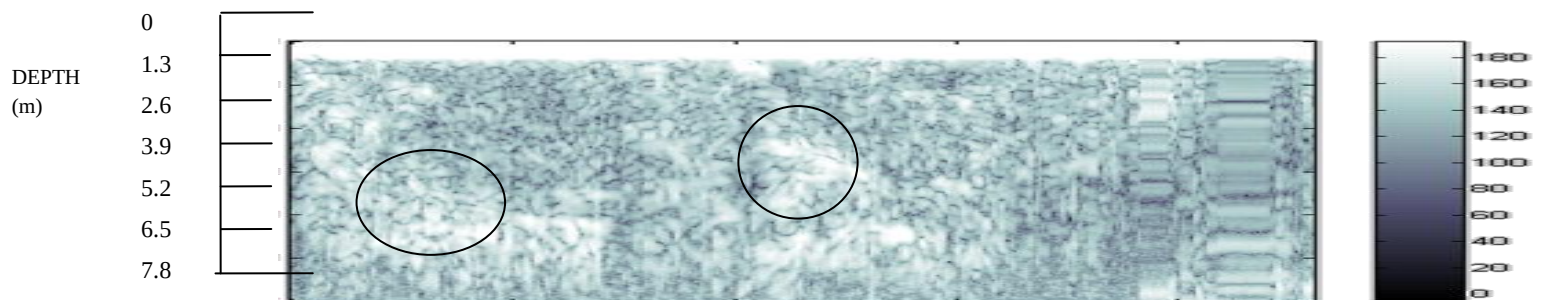
ΓΡΑΜΜΗ 10

DEWOW

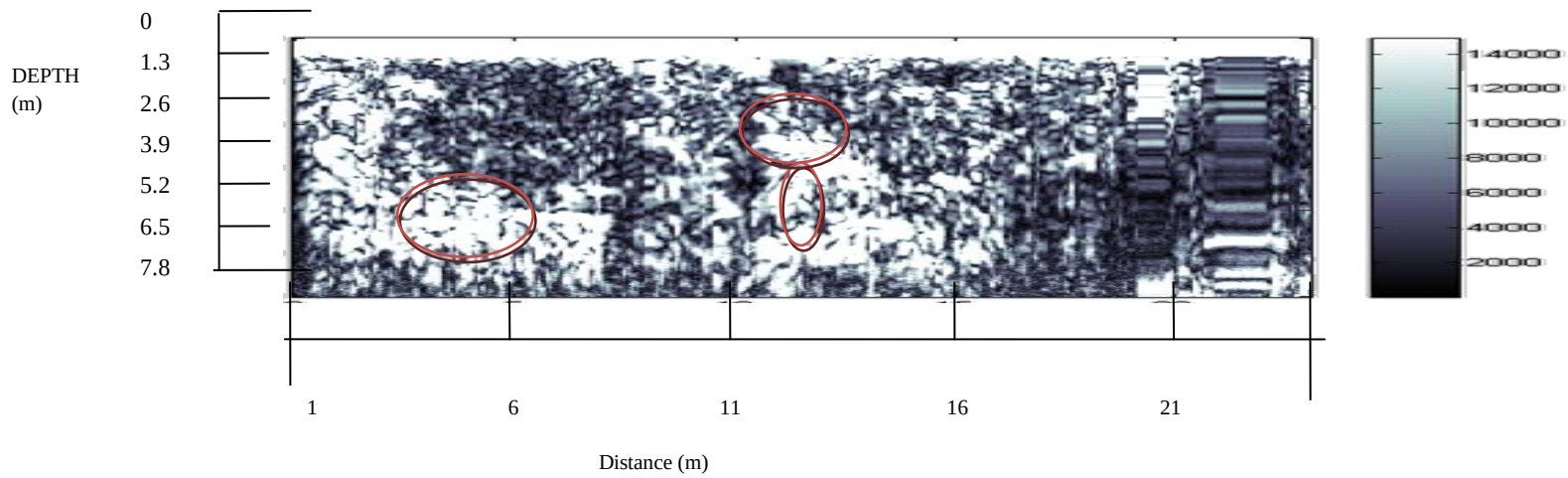
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

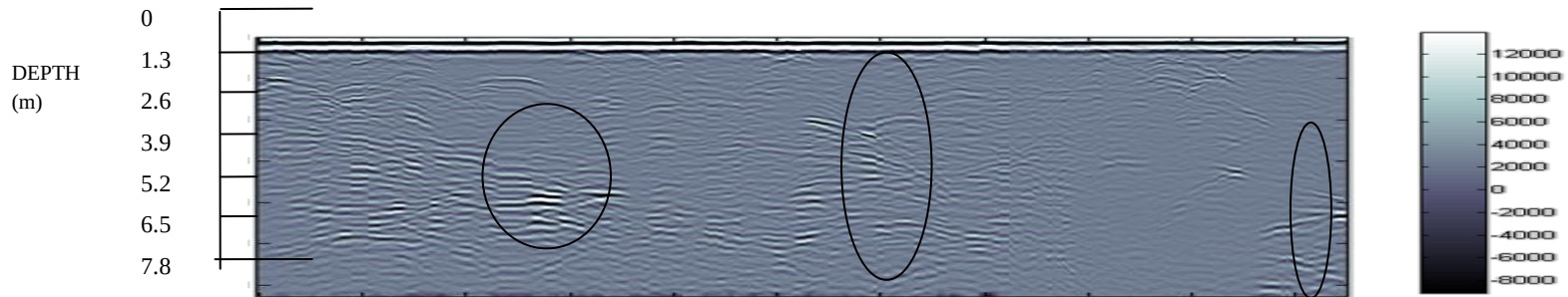


INSTANTANEOUS ENVELOPE

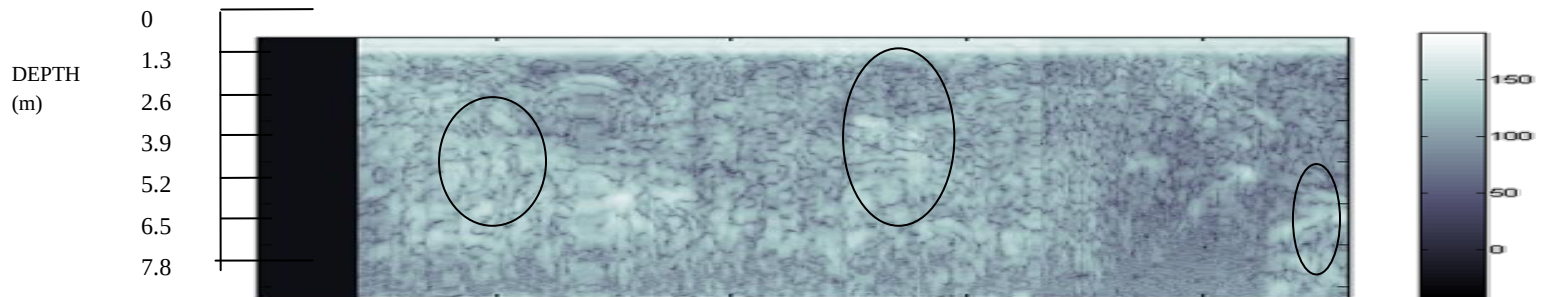


ΓΡΑΜΜΗ 11

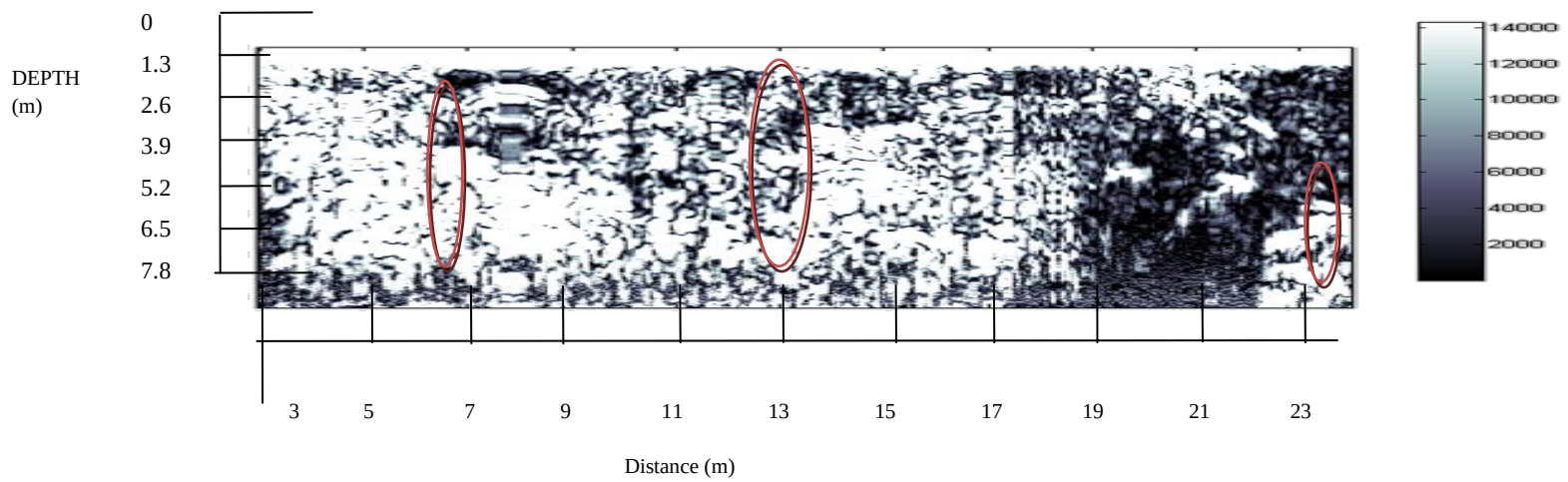
DEWOW
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

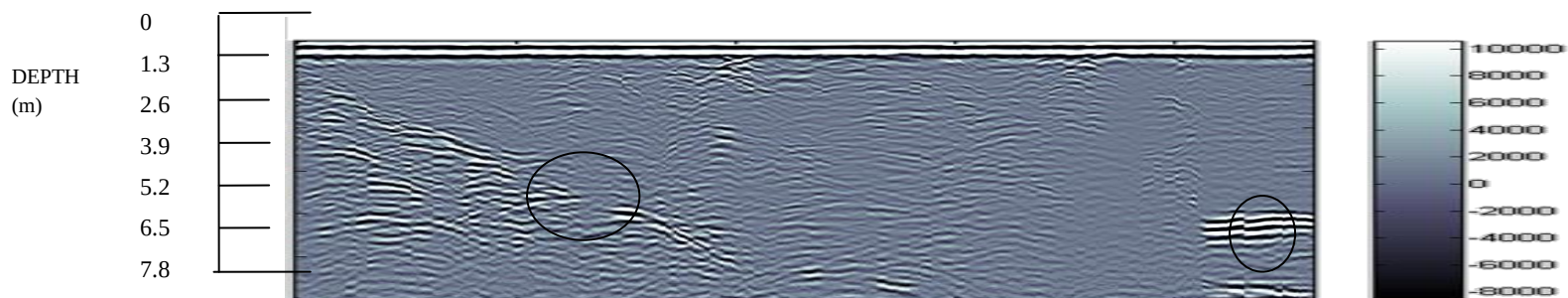


INSTANTANEOUS ENVELOPE

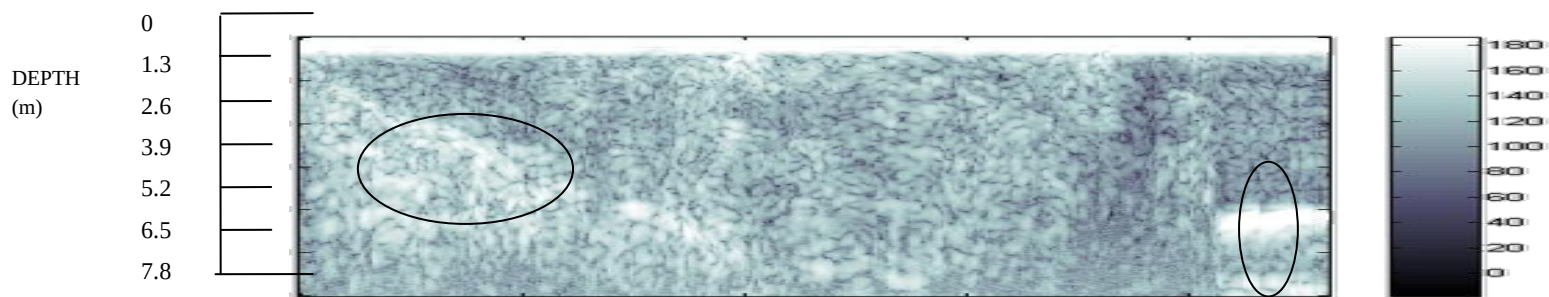


ΓΡΑΜΜΗ 11.5

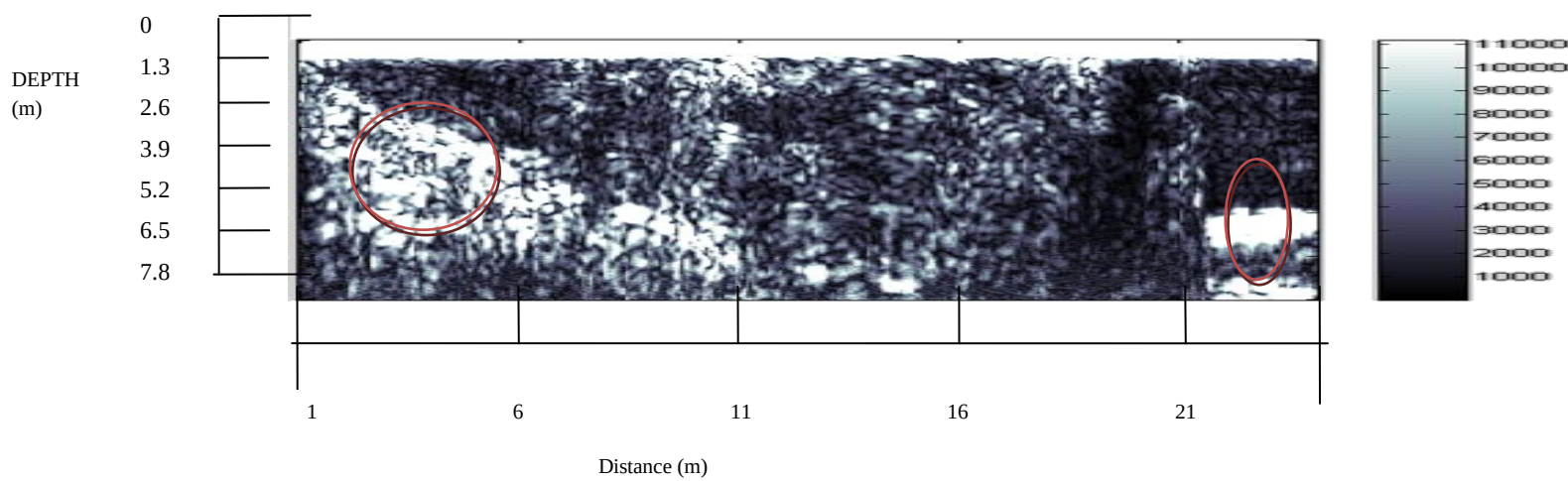
DEWOW
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

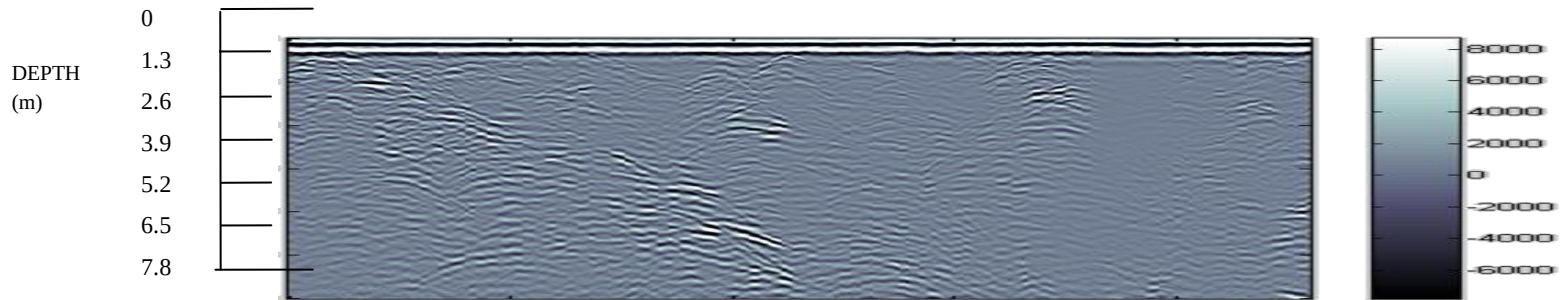


INSTANTANEOUS ENVELOPE

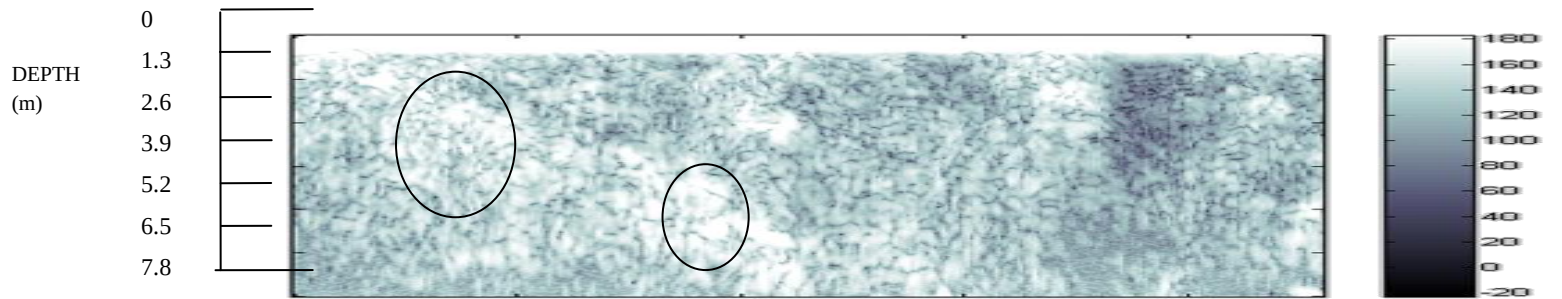


ΓΡΑΜΜΗ 12

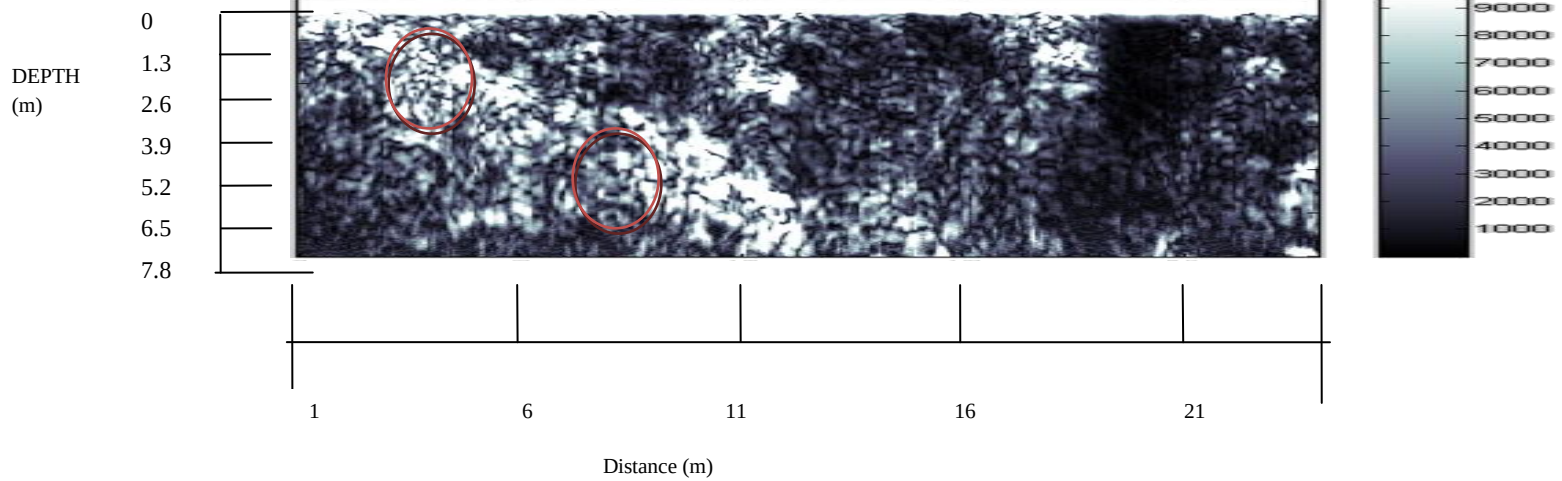
DEWOW
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

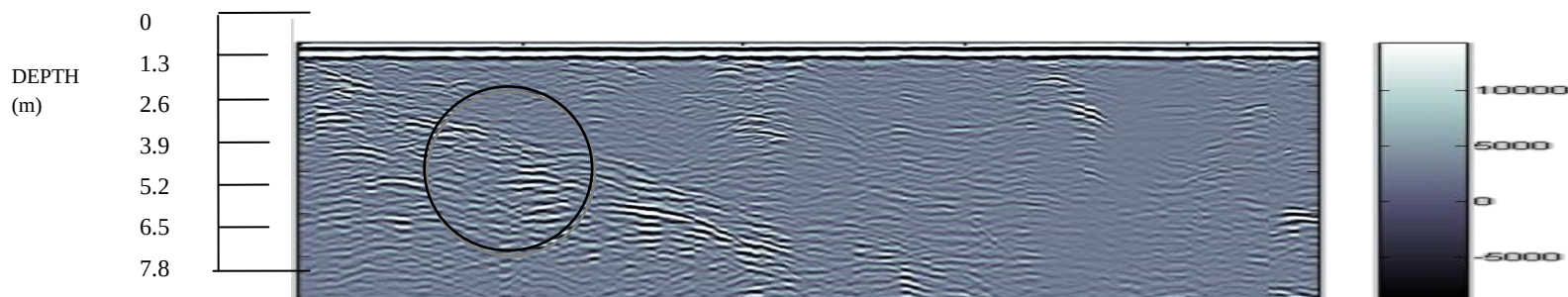


INSTANTANEOUS ENVELOPE

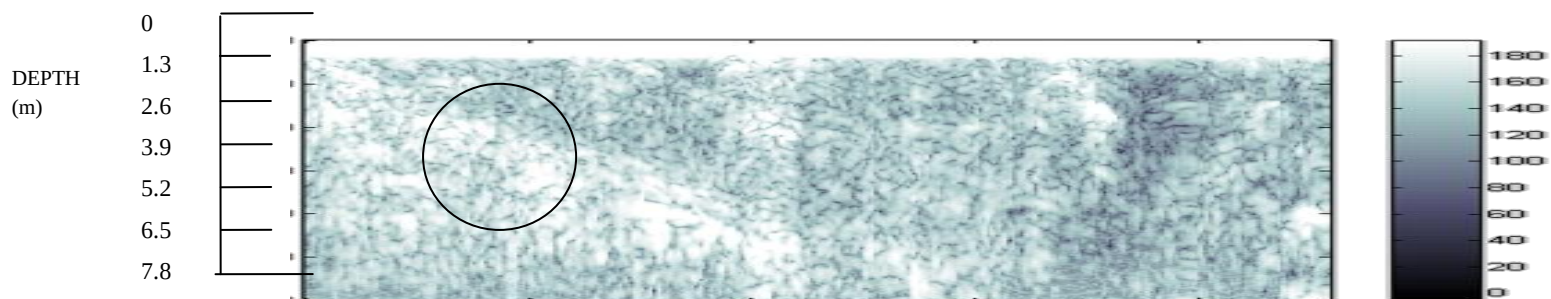


ΓΡΑΜΜΗ 12.5

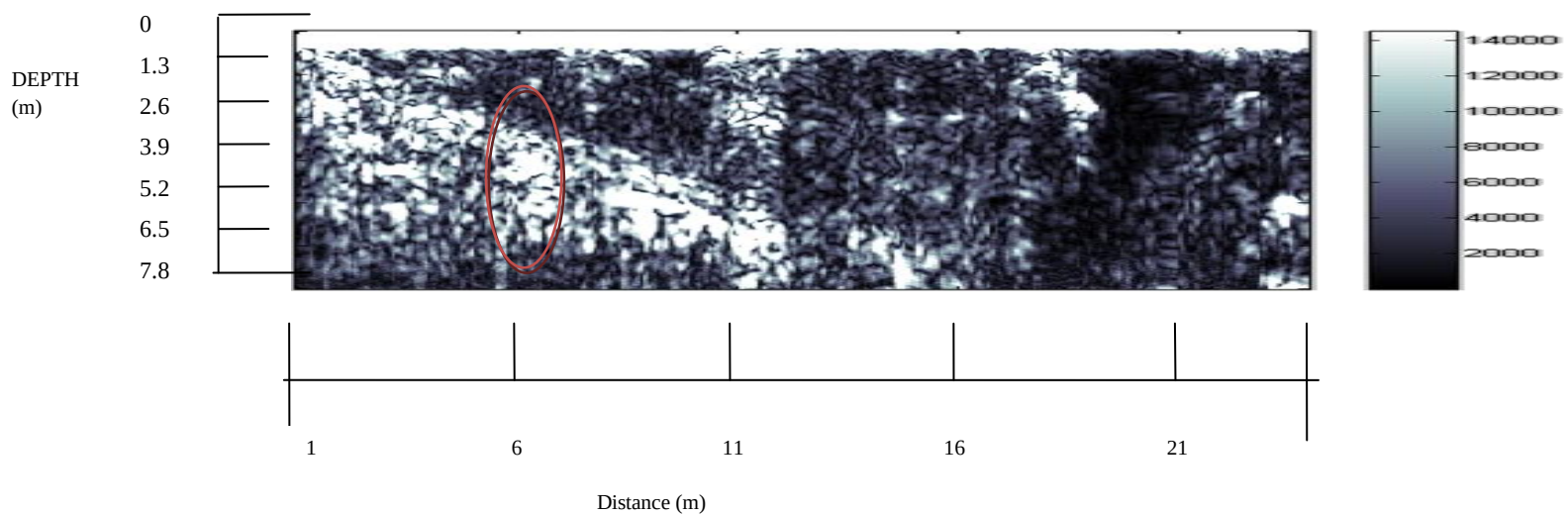
DEWOW
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE

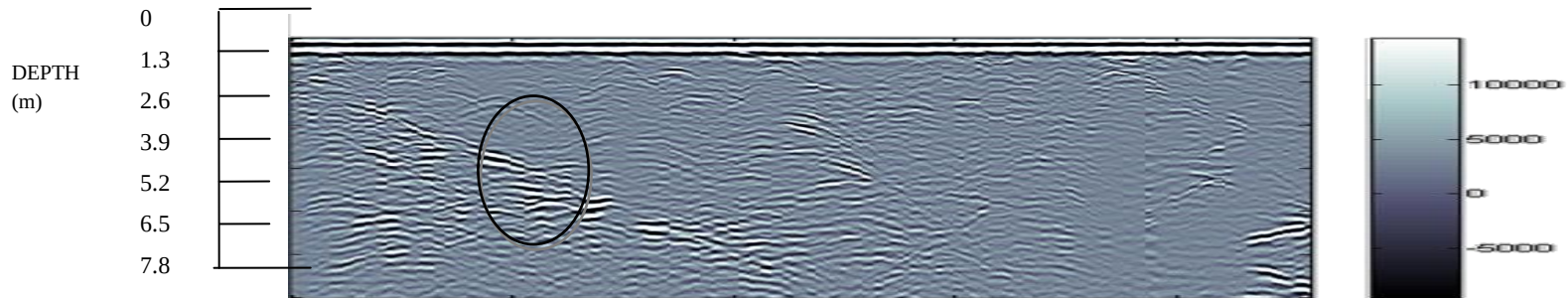


INSTANTANEOUS ENVELOPE

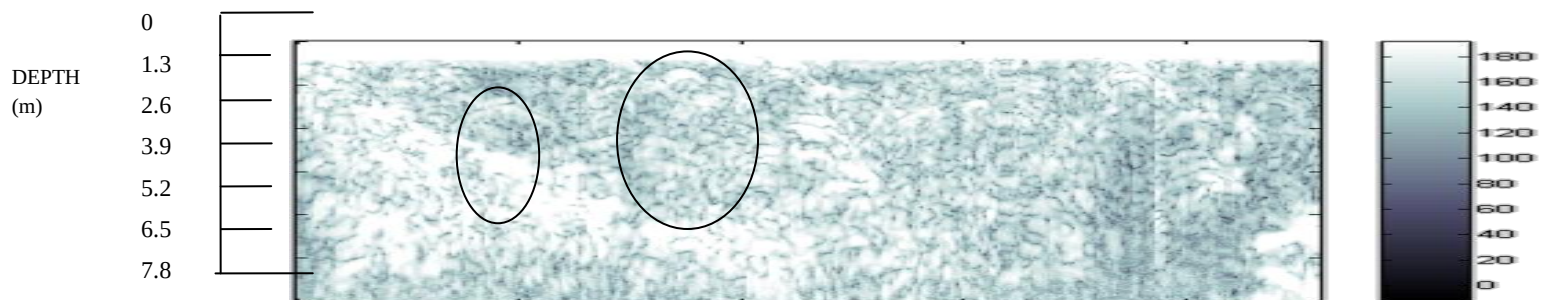


ΓΡΑΜΜΗ 13

DEWOW
SEC



DB INSTANTANEOUS ENVELOPE



INSTANTANEOUS ENVELOPE

