



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΜΜΟΘΙΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΛΑΦΟΝΗΣΙΟΥ



ΖΑΝΝΕΤΙΔΗΣ ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ

Εξεταστική επιτροπή

Βαφείδης Αντώνιος , Καθηγητής Π.Κ.(επιβλέπων)

Στειακάκης Εμμανουήλ, Λέκτορας Π. Κ.

Σπανουδάκης Νικόλαος, Δρ. Γεωφυσικός

ΧΑΝΙΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι κυρίως η απεικόνιση και το βάθος ανάπτυξης των αμμοθινών, η απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών και η μελέτη του ριζικού συστήματος των κέδρων της παραλίας του κεδρόδασους διπλά στο ελαφονήσι Χανίων. Η συγκεκριμένη εργασία αποτελεί μέρος ευρωπαϊκού προγράμματος που αφορά την επιβίωση περιοχών στην Ευρώπη με πλούσιο φυσικό πλούτο.

Η συγκεκριμένη μελέτη έγινε με τις γεωφυσικές μεθόδους του γεωραντάρ και της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους οι οποίοι με στήριξαν και με βοήθησαν στην περάτωση της παρούσας διπλωματικής.

Αρχικά, οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Αντώνιο Βαφεΐδη, καθηγητή και πρόεδρο του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης για την ανάθεση της εργασίας και τη συνεχή επιστημονική υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης πρέπει να ευχαριστήσω τους υπεύθυνους από το Μ.Α.Ι.Χ. για τη πολύτιμη βοήθειά τους μέσω των στοιχείων δικής τους έρευνας που δοθήκαν για την περάτωση της συγκεκριμένης εργασίας.

Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Hamdam Hamdam και κ. Νίκο Οικονόμου υποψήφιους διδάκτορες του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια μου για την ηθική υποστήριξη κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εν λόγω διπλωματική εργασία εστιάζει όπως προαναφέρθηκε στις δυο μεθόδους του γεωραντάρ και της ηλεκτρικής τομογραφίας. Οι μετρήσεις έγιναν στην παραλία του κεδρόδασους. Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν απεικόνιση των αμμοθινών, η μελέτη του ριζικού συστήματος και η παρατήρηση των γεωλογικών σχηματισμών γύρω και κάτω από αυτές. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν τον Απρίλιο του 2009 και τον Φεβρουάριο του 2010.

Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά πακέτα του MATLAB 6.5 και του RES2DINV. Το MATLAB 6.5 χρησιμοποιήθηκε για τα δεδομένα του γεωραντάρ ώστε να ανακτηθεί αρχικά το κυμάτιδιο αναφοράς (wavelet) και στην συνέχεια να πραγματοποιηθεί η αποσυνέλιξη (deconvolution) των μετρήσεων από το κεδρόδασος. Αντίστοιχα το RES2DINV χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των μετρήσεων της ηλεκτρικής τομογραφίας. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι αντιστροφής, κανονικοποίηση με περιορισμούς εξομάλυνσης, συνδυασμένη αντιστροφή και αντιστροφή με την νόρμα L1 με σκοπό την σύγκριση τους και την επιλογή της καταλληλότερης γεωηλεκτρικής τοπογραφικής τομής.

Στην συνέχεια έγινε η υπέρθεση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων ώστε να βγουν ασφαλή συμπεράσματα που θα βοηθήσουν στην έρευνα και θα δώσουν χρήσιμα στοιχεία στο M.A.I.X. για το κατά πόσο είναι ευνοϊκές οι συνθήκες για την βλάστηση των κέδρων αλλά και για την περαιτέρω επιβίωση τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Εισαγωγή.....	6
1.2 Στόχος της διπλωματικής εργασίας.....	7
1.3 Σύντομη περιγραφή κεφαλαίων	8
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	9
ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	9
2.1 Εισαγωγή.....	9
2.2 Μέθοδος του γεωραντάρ	9
2.2.1 Βασικές αρχές	9
2.2.2 Επεξεργασία των δεδομένων του γεωραντάρ	11
2.2.3 Σύντομη περιγραφή της μεθοδολογίας του γεωραντάρ	12
2.3 Μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης.....	14
2.3.1 Ηλεκτρική Τομογραφία	16
2.3.2 Μέθοδοι αντιστροφής δεδομένων.....	16
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	17
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	17
3.1 Εισαγωγή.....	17
3.2 Περιοχή μελέτης.....	17
3.2.1 Γεωλογική μελέτη της περιοχής.	18
3.2.2 Μελέτη των θέσεων των γραμμών	19
3.3 Διαδικασία συλλογής δεδομένων με την μέθοδο ηλεκτρικής τομογραφίας.	23
3.4 Διαδικασία συλλογής δεδομένων με την μέθοδο γεωραντάρ.	24
3.5 Ποιοτικός έλεγχος της διαδικασίας μετρήσεων.	25

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	27
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	27
4.1 Εισαγωγή.....	27
4.2 Επεξεργασία της ηλεκτρικής τομογραφίας.	28
4.2.1 Μελέτη της γεωηλεκτρικής τομής της γραμμής T1 _a	28
4.2.2 Μελέτη της γεωηλεκτρικής τομής της γραμμής T1 _b	30
4.2.3 Μελέτη της γεωηλεκτρικής τομής ολόκληρης της γραμμής T1	32
4.2.4 Μελέτη της γεωηλεκτρικής τομής της γραμμής T2.....	34
4.2.5 Μελέτη της γεωηλεκτρικής τομής της γραμμής T3.....	36
4.3 Επεξεργασία των δεδομένων γεωραντάρ	38
4.3.1 Εισαγωγή	38
4.3.2 Ανάκτηση του κυματιδίου αναφοράς	38
4.3.3 Διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων Γεωραντάρ	41
4.3.4 Ανάλυση ταχυτήτων των περιθλώμενων κυμάτων.....	47
5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	50
ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ	50
5.1 Εισαγωγή.....	50
5.2 Υπέρθωση αποτελεσμάτων στη γραμμή μελέτης T1 _b	51
5.3 Υπέρθωση αποτελεσμάτων στη γραμμή μελέτης T3.....	54
6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	57
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	58

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εφαρμόστηκαν δυο διαφορετικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης για την απεικόνιση αλλά και τον προσδιορισμό του μεσού πάχους των αμμοθινών στην περιοχή Ελαφονησίου, την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, και την απεικόνιση, αν είναι αυτή εφικτή, του υδροφόρου ορίζοντα.

Πρόσφατες αναφορές έδειξαν ότι ο συνδυασμός γεωφυσικών δεδομένων μπορεί να δώσει ασφαλή συμπεράσματα για την γεωηλεκτρική δομή του εδάφους και την ακριβή θέση του υδροφόρου ορίζοντα. Ακόμη θα παρατεθούν παραδείγματα παλαιότερων ερευνών που εστιάζουν α) στην αξιοπιστία της ηλεκτρικής τομογραφίας στην απεικόνιση υδροφόρων σχηματισμών και β) στο πόσο σημαντική είναι η αποσυνέλιξη δεδομένων γεωραντάρ που ακολουθήθηκε και στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Ο Anicet Beauvais (2003) χρησιμοποίησε συνδυασμό των δυο συγκεκριμένων μεθόδων για την απεικόνιση υδροφόρου ορίζοντα. Πιο αναλυτικά η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας είναι χρήσιμη στην έρευνα υπόγειων νερών και περιοχών με αρκετά πολύπλοκη γεωλογία (Griffiths and Barker, 1993 και Dahlin and Owen, 1998). Η μέθοδος του γεωραντάρ έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχημένα σε υδρογεωλογικές έρευνες και σε χαρτογράφηση υπεδάφειων βραχωδών σχηματισμών (Van overmeeren, 1994; Doolittle and Collins, 1998; Aranha et al., 2002). Η ηλεκτρική τομογραφία έχει μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης αλλά έχει μικρότερη ευκρίνεια από το γεωραντάρ. Η μέθοδος του γεωραντάρ είναι αρκετά αξιόπιστη όσο και οικονομικά συμφέρουσα για την υψηλής ανάλυσης χαρτογράφηση υπεδάφειων σχηματισμών αλλά σε σχηματισμούς με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, όπως αργιλικούς σχηματισμούς, το H/M σήμα αποσβένει με πολύ γρήγορο ρυθμό και δυσκολεύει την απεικόνιση τους. Επίσης και οι δυο μέθοδοι επηρεάζονται από τον τυχαίο θόρυβο. Ωστόσο ο συνδυασμός των δυο μεθόδων είναι ικανός να δώσει

αναλυτικά τις πληροφορίες που χρειάζονται για την χαρτογράφηση της εκάστοτε περιοχής.

Οι Hamdan et al. (2002) στην εργασία τους με τίτλο «Τρισδιάστατη χαρτογραφική απεικόνιση πιθανών υδροφόρων σχηματισμών στην περιοχή Κισσάμου, Ν.Χανίων» αναζήτησαν τους υδροφόρους σχηματισμούς με την χρήση ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων και δημιούργησαν μία τρισδιάστατη προσομοίωση της γεωλογικής δομής (μοντέλο) των γεωλογικών σχηματισμών και ιδιαίτερα αυτών που παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον για την περιοχή Κίσσημου του νομού Χανίων. Ο εντοπισμός - διαχωρισμός των γεωλογικών σχηματισμών έγινε με γεωηλεκτρική διασκόπηση.

Τέλος οι Economou and Vafidis (2011a and b) ανέπτυξαν μεθοδολογία για την αποσυνέλιξη δεδομένων γεωραντάρ με την χρήση του μετασχηματισμού S. Οι τομές γεωραντάρ αποκτούν μείωση της χρονικής ανάλυσης με το βάθος λόγω του ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα παρουσιάζουν απόσβεση η οποία είναι εμφανέστερη στις αρμονικές υψηλών επιπέδων. Οι Economou and Vafidis (2010) πρότειναν μεθοδολογία εξισορρόπησης φάσματος για την αποκατάσταση της χρονικής ανάλυσης δεδομένων γεωραντάρ με σκοπό την επιτυχημένη εφαρμογή μεθόδων αποσυνέλιξης.

1.2 Στόχος της διπλωματικής εργασίας

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα γεωφυσικής έρευνας που έγινε στην παραλία κεδρόδασους. Η έρευνα αυτή έγινε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Junicoast (Actions for the conservation of coastal dunes with juniperus SPP in Crete and the South Aegean). Ο στόχος της ήταν η χαρτογράφηση της περιοχής και κυρίως να εξαχθούν συμπεράσματα για το πάχος των αμμοθινών.

Η γεωφυσική μελέτη περιελάμβανε διασκόπηση με τις μεθόδους ηλεκτρικής τομογραφίας και γεωραντάρ. Το βάθος μελέτης ήταν μέχρι τα 5m και η χαρτογράφηση της περιοχής αφορούσε τους επιφανειακούς γεωλογικούς σχηματισμούς το πάχος των αμμόλοφων καθώς και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα. Τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης αφορούν στο μέσο πάχος των αμμοθινών, στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των κέδρων και στην

απεικόνιση των βραχωδών σχηματισμών. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα θα παρατεθούν στο 5^ο κεφάλαιο στο οποίο παρατίθεται η υπέρθεση που πρόεκυψε από την επεξεργασία των μετρήσεων.

1.3 Σύντομη περιγραφή κεφαλαίων

Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε μια σύντομη περιγραφή του στόχου της διπλωματικής εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει μια σύντομη αναφορά των βασικών αρχών που διέπουν τις δυο γεωφυσικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα γίνει μια περιγραφή της περιοχής και των γραμμών μελέτης. Επίσης θα παρατεθούν γεωλογικά στοιχεία τα οποία ήταν γνωστά από παλιότερες μελέτες που είχαν γίνει στην περιοχή καθώς και γεωλογικά στοιχεία που λήφθηκαν από τους αντίστοιχους γεωλογικούς χάρτες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των μετρήσεων από τις δυο γεωφυσικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν. Θα εξαχθούν τα πρώτα συμπεράσματα τα οποία θα βασίζονται κυρίως στην ανάλυση των εικόνων χωρίς όμως να γίνει γεωλογική ερμηνεία αυτών.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο θα ακολουθήσει η υπέρθεση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων και με την βοήθεια των γεωλογικών πληροφοριών της περιοχής θα παρατεθεί ερμηνεία με βάση τις παρατηρήσεις από την επεξεργασία των μετρήσεων. Κατά συνέπεια στο τέλος της διπλωματικής εργασίας θα υπάρχει η δυνατότητα να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τα ζητήματα που τέθηκαν στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα προσδιοριστούν οι βασικές έννοιες των δύο μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης που χρησιμοποιήθηκαν οι οποίες ήταν η μέθοδος του γεωραντάρ και η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

2.2 Μέθοδος του γεωραντάρ

Η μέθοδος του γεωραντάρ είναι η νεότερη στο τομέα της γεωφυσικής διασκόπησης. Η συχνή της εφαρμογή τα τελευταία χρόνια στον τομέα της έρευνας έχει δώσει την κατάλληλη εμπειρία και τεχνογνωσία στους επιστήμονες για την χρησιμοποίησή της. Η βασική αρχή λειτουργίας της μεθόδου του γεωραντάρ είναι παρόμοια με αυτή της μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης.

2.2.1 Βασικές αρχές

Το γεωραντάρ δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα όποια μέσω της απόσβεσης που υφίστανται μέσα στο έδαφος δίνουν πληροφορίες για την δομή του υπεδάφους και την διαφοροποίηση των φυσικών ιδιοτήτων των διαφόρων υλικών. Οι κύριες μέθοδοι διασκόπησης που χρησιμοποιεί το γεωραντάρ είναι αυτή της διασκόπησης σε γεωτρήσεις, και της ανάκλασης.

Στην συγκεκριμένη μέθοδο σημαντικό ρόλο παίζει η απόσβεση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Στο έδαφος το H/M κύμα δεν έχει την δυνατότητα εισχώρησης σε μεγάλο βάθος διότι αποσβένει αρκετά γρήγορα λόγω των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Στο γεωραντάρ τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται χωρίς αρχικά να εμφανίζουν μεγάλη διασπορά. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκάστοτε υλικού που συναντάει 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. Επιπλέον υπάρχει και η περίπτωση της αντήχησης κατά την οποία το κύμα παγιδεύεται μέσα στο γεωλογικό στρώμα δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο πολλαπλές ανακλάσεις.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία υφίστανται απόσβεση, η οποία είναι λιγότερο εξαρτώμενη από την συχνότητα εκπομπής σε πεπερασμένο εύρος φάσματος (1MHz έως 1000 MHz (GPR plateau). Όσο η συχνότητα εκπομπής παραμένει χαμηλή, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διεισδύουν σε μεγαλύτερα βάθη, ενώ με την αύξηση των συχνοτήτων μειώνεται το βάθος πλήρους απόσβεσης τους. Επιπρόσθετα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, μια σημαντική ιδιότητα των γεωλογικών σχηματισμών, επηρεάζει την εξασθένηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, η οποία αυξάνεται όσο πιο αγωγίμο είναι το μέσο διάδοσης (Πουλιούδης, 2001). Η εξασθένηση των κυμάτων επιφέρει τις παρακάτω συνέπειες:

α) Μείωση του πλάτους. Το πλάτος του κύματος A μειώνεται από την αρχική τιμή του A_0 , ως αποτέλεσμα της εξασθένησης (συντελεστής εξασθένησης α), καθώς έχει διανύσει μήκος x στο μέσο διάδοσης:

$$A = A_0 e^{-\alpha x} \quad (2.1)$$

β) Μετατόπιση της κεντρικής συχνότητας. Η κεντρική συχνότητα του φάσματος της ακτινοβολίας που λαμβάνει η κεραία του δέκτη είναι χαμηλότερη από την κεντρική συχνότητα εκπομπής.

γ) Μικρότερο βάθος διασκόπησης. Όσο μεγαλύτερη είναι η εξασθένηση, τόσο μικρότερο θα είναι το βάθος διείσδυσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Μία εμπειρική σχέση, που συνδέει το μέγιστο βάθος διείσδυσης $d_{\max}$ με τον συντελεστή εξασθένησης α (dB/m) είναι:

$$d_{\max} < \frac{30}{\alpha} \quad (2.2)$$

Η μέθοδος του γεωραντάρ έχει τρεις τρόπους εφαρμογής: α) η πρώτη εφαρμογή αφορά γεωλογικούς σκοπούς. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν παίζει

μεγάλο ρόλο η διακριτική ικανότητα, όσο το βάθος διείσδυσης, γι'αυτό και επιλέγονται κεραίες εκπομπής χαμηλών συχνοτήτων 2 MHz έως 50 MHz.

β) Η δεύτερη εφαρμογή αφορά την γεωφυσική διασκόπηση στον έλεγχο κατασκευών (Non Destructive Testing, NDT) για τον προσδιορισμό γεωτεχνικών παραμέτρων όπου είναι πιο σημαντική η διακριτική ικανότητα της μεθόδου οπότε επιλέγονται κεραίες εκπομπής μεγάλων συχνοτήτων 500 MHz - 2000 MHz. γ) Τέλος εφαρμόζεται στην επιστήμη της αρχαιολογίας με κεραίες εκπομπής κυρίως μεσαίων συχνοτήτων 50 MHz - 500 MHz (Σπανουδάκης, 2007).

2.2.2 Επεξεργασία των δεδομένων του γεωραντάρ

Οι βασικές μέθοδοι επεξεργασίας των δεδομένων του γεωραντάρ είναι η αφαίρεση του θορύβου και η ενίσχυση τους (gain). Η εφαρμογή της τεχνικής αυτής γίνεται στα πρώτα στάδια της επεξεργασίας ώστε να προκύψουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

2.2.2.1 Διόρθωση Dewow

Ένας από τους βασικούς τρόπους αφαίρεσης των πολύ χαμηλών συχνοτήτων είναι η εφαρμογή ενός φίλτρου αποκοπής (high pass ή low cut filter) το οποίο επιτρέπει την διέλευση ακτινοβολίας συγκεκριμένης κεντρικής συχνότητας και την απαγορεύει την διέλευση H/M κύματος χαμηλής συχνότητας. Η παραπάνω διαδικασία είναι γνωστή και ως “dewowing”. Κατά την διαδικασία αυτή το φίλτρο δημιουργεί ένα νοητό παράθυρο σε κάθε σημείο του ίχνους, υπολογίζει την μέση τιμή των σημείων που ανήκουν στο παράθυρο και την αφαιρεί από την τιμή που αντιστοιχεί στο κεντρικό σημείο. Ο συγκεκριμένος τρόπος επεξεργασίας επαναλαμβάνεται για όλα τα σημεία του ίχνους.

2.2.2.2 Τεχνικές ενίσχυσης του πλάτους του σήματος σε μεγάλους χρόνους

Αφού αφαιρεθούν οι χαμηλές συχνότητες του σήματος ακολουθεί η ενίσχυση του με την εφαρμογή του αντιστοίχου φίλτρου. Η ενίσχυση πραγματοποιείται κυρίως για να εντοπιστούν οι ανακλάσεις σε μεγάλο βάθος οι οποίες λόγω των εξασθενημένων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων έχουν αρκετά μειωμένο πλάτος (Πουλιούδης, 2001).

Τρεις από τους κύριους τρόπους ενίσχυσης είναι: AGC (Automatic Gain Control), SEC (Spreading and Exponential Compensation) και Ενίσχυση Περιβάλλουσας (Envelope Gain) σήματος.

2.2.3 Σύντομη περιγραφή της μεθοδολογίας του γεωραντάρ

Η επεξεργασία η οποία προτείνεται, αποτελείται από δύο κύρια στάδια: α) την εξισορρόπηση φάσματος και β) την αποσυνέλιξη κυματιδίου ή αποσυνέλιξη μηδενικής φάσης.

2.2.3.1 Εξισορρόπηση φάσματος

Η εξισορρόπηση φάσματος στα δεδομένα γεωραντάρ πραγματοποιείται κυρίως στο χώρο των συχνοτήτων με τη χρήση ενός φάσματος αναφοράς. Στην συγκεκριμένη μεθοδολογία πραγματοποιείται αποκατάσταση της κυρίαρχης συχνότητας των δεδομένων σε όλους τους χρόνους.

2.2.3.2 Εξισορρόπηση φάσματος και ενίσχυση όλων των συχνοτήτων σε περιορισμένο εύρος αυτών (ΕΟΣΠΕ)

Η εξισορρόπηση φάσματος είναι ίσως ο πιο διαδομένος τρόπος για να βελτιωθούν τα δεδομένα σεισμικής ανάκλασης και πραγματοποιείται πριν από την αποσυνέλιξη και την ανάλυση ταχυτήτων αντίστοιχα. Το συγκεκριμένο φίλτρο το οποίο υλοποιήθηκε από τον Yilmaz (1987) ονομάζεται και φίλτρο μηδενικής φάσης διότι εφαρμόζεται μόνο στο πλάτος του φάσματος και όχι στην φάση του. Με αυτόν τον τρόπο οι ανακλάσεις διατηρούν την αρχική τους φάση και αλλάζουν μόνο την

κυρίαρχη συχνότητά τους. Σαν αποτέλεσμα της μεθόδου κάθε ίχνος του φάσματος χαρακτηρίζεται από σταθερή τιμή κυρίαρχης συχνότητας σε όλο το μήκος του.

Την μέθοδο της εξισορρόπησης φάσματος έχουν χρησιμοποιήσει στο παρελθόν οι Neto και Madeiros (2006), όπως και οι Belina κ.ά. (2008). Πιο συγκεκριμένα οι Belina εφάρμοσαν ΕΟΣΠΕ στο χώρο των συχνοτήτων. Ο σκοπός έρευνας τους η σύγκριση των μεθόδων εξισορρόπησης και αποσυνέλιξης ώστε να καταλήξουν στην πιο αποτελεσματική. Τέλος όταν υπάρχει εφαρμογή φίλτρου μηδενικής φάσης αυτόματα εφαρμόζεται εξισορρόπηση φάσματος και η πιο συνήθης είναι η ΕΟΣΠΕ.

2.2.3.3 Αποσυνέλιξη δεδομένων γεωραντάρ

Η αποσυνέλιξη βελτιώνει τη χρονική ανάλυση των σεισμικών δεδομένων (Yilmaz, 1987). Το συνελκτικό μοντέλο περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$x(t) = w(t) * e(t) + n(t) \quad (2.3)$$

όπου:.

$x(t)$ = το σεισμόγραμμα ή καταγραφή γεωραντάρ

$w(t)$ = η κυματομορφή της πηγής

$e(t)$ = η απόκριση του υπεδάφους στο μοναδιαίο παλμό

$n(t)$ = τυχαίος θόρυβος

$*$ = συνέλιξη.

Κατ' αντιστοιχία, στον χώρο των συχνοτήτων, η εν λόγω εξίσωση μπορεί να γραφτεί ως εξής (Brigham, 1974):

$$X(f) = W(f) E(f) + N(f) \quad (2.4)$$

η οποία περιέχει τις ίδιες παραμέτρους αντίστοιχα με την εξίσωση 2.3 στον χώρο των συχνοτήτων όπου f ορίζεται η συχνότητα και η αποσυνέλιξη λόγω μετασχηματισμού Fourier μετατρέπεται σε πολλαπλασιασμό. Το συγκεκριμένο μοντέλο ισχύει όταν οι παράμετροι E και N διακατέχονται από το ίδιο πλάτος φάσματος για όλες τις συχνότητες του φάσματος. Επιπλέον το εύρος του E πρέπει να είναι μονάδα. Ο σκοπός του μοντέλου είναι η εύρεση ενός φίλτρου $G(f)$ το οποίο εφαρμόζοντας το στο X να δώσει ένα αποτέλεσμα $Y(f)$, όσο το δυνατόν πιο κοντά στο E :

$$Y(f)=G(f) X(f) \sim E(f) \quad (2.5)$$

Λόγω της ύπαρξης του θορύβου η πλήρης ανάκτηση των συντελεστών ανάκλασης E καθίσταται αδύνατη γι'αυτό και εφαρμόζεται το φίλτρο Wiener το οποίο επιτυγχάνει ταυτόχρονα την αποθορυβοποίηση και την επιτυχή ανάκτηση αυτών. Το παραπάνω φίλτρο επιλύει το πρόβλημα με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Berkhout, 1977). Από την στιγμή που το κυματιδίο εκπομπής είναι γνωστό τότε το φίλτρο Wiener δίνεται από:

$$G(f) = \frac{W^*(f)}{|W(f)|^2 + \sigma_n^2} \quad (2.6)$$

2.3 Μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης αρχικώς εμφανιστήκαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό την δεκαετία του '70 ακολουθώντας την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών που βοήθησε στην συλλογή και την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων.

Στόχος της μεθόδου είναι υπολογίζοντας την ηλεκτρική τάση να καθορίσει τις ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων των επιφανειακών σχηματισμών του φλοιού της γης. Ακόμη ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μεταβολές της τιμής που υφίσταται και ένα άλλο μέγεθος το οποίο είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Για να μπορέσει η συγκεκριμένη μέθοδος να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα θα πρέπει οι ηλεκτρικές ιδιότητες του υπό μελέτη σχηματισμού να έχουν μεγάλη αντίθεση με τους υπόλοιπους σχηματισμούς που το περιβάλλουν.

Από τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης οι πιο σημαντικές είναι η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η μέθοδος των ισοδύναμων 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 ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα η ηλεκτρική τομογραφία, η ηλεκτρική βυθοσκόπηση και η ηλεκτρική χαρτογράφηση (Βαφείδης Α. 2001).

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών.

<u>ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ</u>	<u>ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm.m)</u>
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	80-250
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ <i>Αργίλοι</i> <i>Μάργες</i> <i>Άμμοι και Χαλίκια κορεσμένα</i> <i>Εβαπορίτες (Γύψοι)</i> <i>Μαργαίκοι Ασβεστόλιθοι</i> <i>Κροκαλοπαγή βάσεως</i> <i>Ψαμμίτες</i>	2 – 20 20 – 60 50 – 500 200 150 – 500 200 – 300 50 – 70
ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ <i>Φλύσχης</i> <i>Σχιστόλιθοι – Οφιόλιθοι</i> <i>Ασβεστόλιθοι</i>	70 – 80 100 – 300 >500

Πίνακας 2.3 : Τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων (Βαφείδης Α. 2001)

2.3.1 Ηλεκτρική Τομογραφία

Με την ηλεκτρική τομογραφία επιδιώκεται ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους, δηλαδή η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

Επειδή δεν είναι εύκολος ο άμεσος υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος από μετρήσεις στην επιφάνεια της γης, υπολογίζεται αρχικά η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a , η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Βαφείδης Α. 2001).

2.3.2 Μέθοδοι αντιστροφής δεδομένων

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των μετρήσεων το RES2DINV έδινε την δυνατότητα αντιστροφής των δεδομένων με τρεις διαφορετικές μεθόδους:

Μέθοδος Α):Κανονικοποίηση με περιορισμούς εξομάλυνσης (Default, Smoothness-constrained least-squares method). Η συγκεκριμένη μέθοδος εξασφαλίζει ένα μοντέλο με ομαλή κατανομή της ειδικής αντίστασης. Αυτή η προσέγγιση είναι αποδεκτή μόνο σε περίπτωση που οι πραγματικές τιμές της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους αλλάζουν με ομαλό ή σταδιακό τρόπο.

Μέθοδος Β):Χρήση της νόρμας L1 (Robust). Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου το υπέδαφος αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς που ναί μεν είναι ομοιογενείς αλλά παρουσιάζουν απότομες αλλαγές μεταξύ τους.

Μέθοδος Γ):Η συνδυασμένη αντιστροφή (Use combined inversion method). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου λόγω της μεγάλης ποικιλίας των τιμών της ειδικής αντίστασης, οι τιμές ευαισθησίας των δεδομένων είναι σημαντικά διαταραγμένες.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρατεθούν τα στοιχεία για την γεωγραφική τοποθεσία της περιοχής μελέτης και διαδικασία που ακολουθήθηκε για την συλλογή των δεδομένων.

3.2 Περιοχή μελέτης

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην επαρχία Σελήνου η οποία βρίσκεται νοτιοδυτικά του νομού Χανίων. Πιο συγκεκριμένα η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην παράλια κεδρόδασους ανατολικά της παραλίας του Ελαφονησίου (όρμος της Βρουλιάς).



***Εικόνα 3.1 :** Χαρακτηριστικές εικόνες από την παραλία κεδρόδασους.*

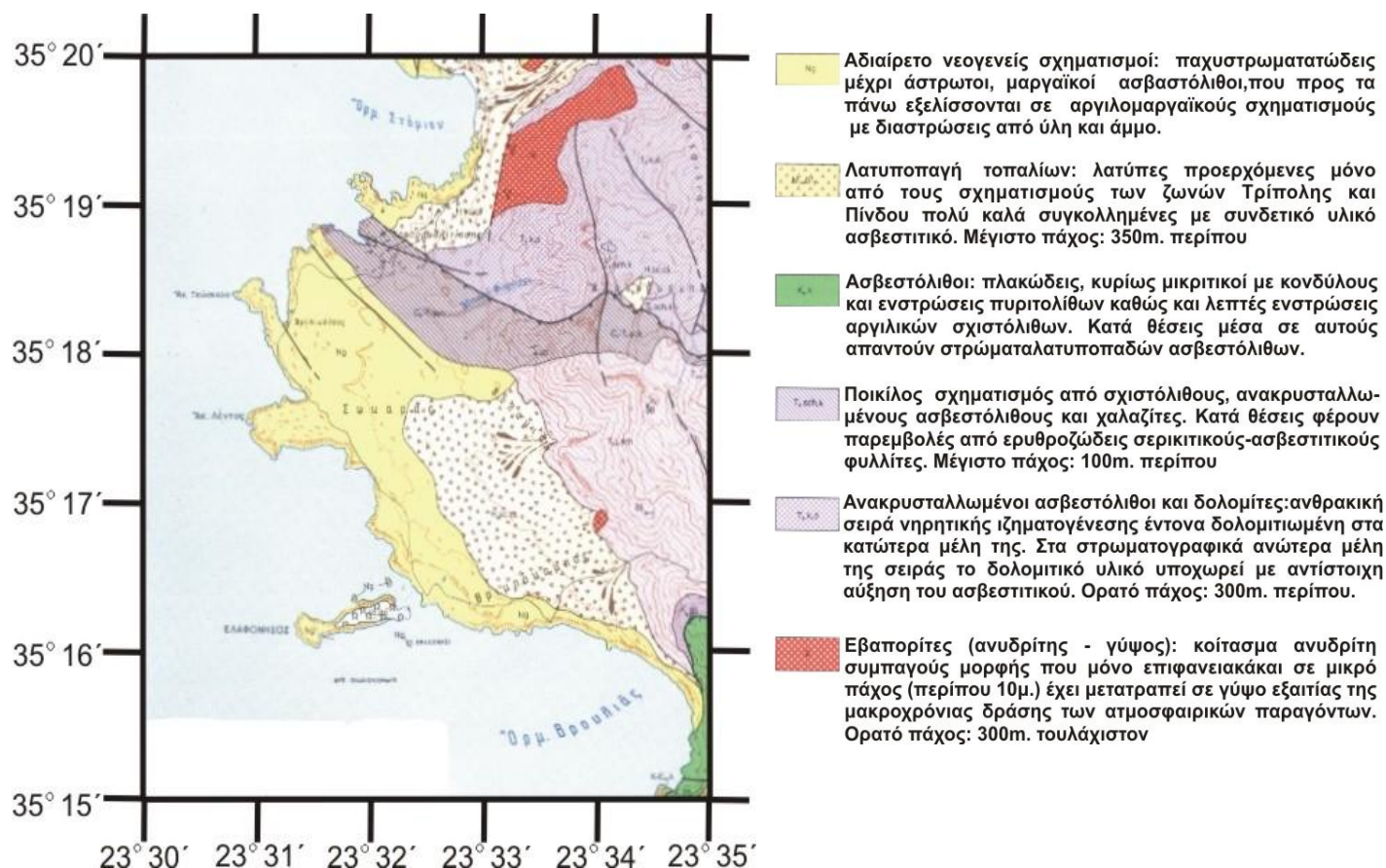
3.2.1 Γεωλογική μελέτη της περιοχής.

Συμφώνα με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής εκτός από τις αμμοθίνες η περιοχή του κεδρόδασους αποτελείται από αδιαιρέτους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς.

Οι αμμοθίνες ή θίνες, είναι μικροί λόφοι από άμμο που συνήθως βρίσκονται στις παράκτιες περιοχές. Δημιουργούνται από άμμο η οποία προέρχεται και μεταφέρεται από τη λεκάνη απορροής των ποταμών ή και από ιζήματα διαβρωμένων βράχων ή και υποθαλάσσιων συσσωρεύσεων άμμου. Οι θίνες, εξαιτίας της αμμώδους σύστασής τους, αποτελούν ασταθή, αλλά δυναμική γεωμορφολογική και όχι μόνο ενότητα, της παράκτιας συνήθως ζώνης. Τέλος οι συγκεκριμένες αμμοθίνες ανήκουν στο είδος των κινούμενων ή λευκών αμμοθινών οι οποίες είναι ευμετάβλητες, καθώς βρίσκονται διαρκώς σε δυναμική εξέλιξη, με αμμόλοφους κάποιου ύψους, σταθερότερα ριζωμένα φυτά και αναπτύσσονται πίσω από τις πρωτογενείς θίνες.

Όσο αφορά τις νεογενείς αποθέσεις αποτελούνται από παχυστρωματώδεις μέχρι και άστρωτους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους χρώματος λευκού μέχρι λευκοκίτρινου. Επίσης οι νεογενείς σχηματισμοί στους ανώτερους ορίζοντες της γης εξελίσσονται σε αργιλομαργαϊκούς σχηματισμούς χρώματος τεφροκίτρινου με διαστρώσεις από ιλύ και άμμο.

Τέλος οι τεταρτογενείς αποθέσεις αποτελούνται από πλευρικά κορήματα και λατύπες φυλλιτικής και ανθρακικής σύστασης αναμεμιγμένες με ερυθρογή.

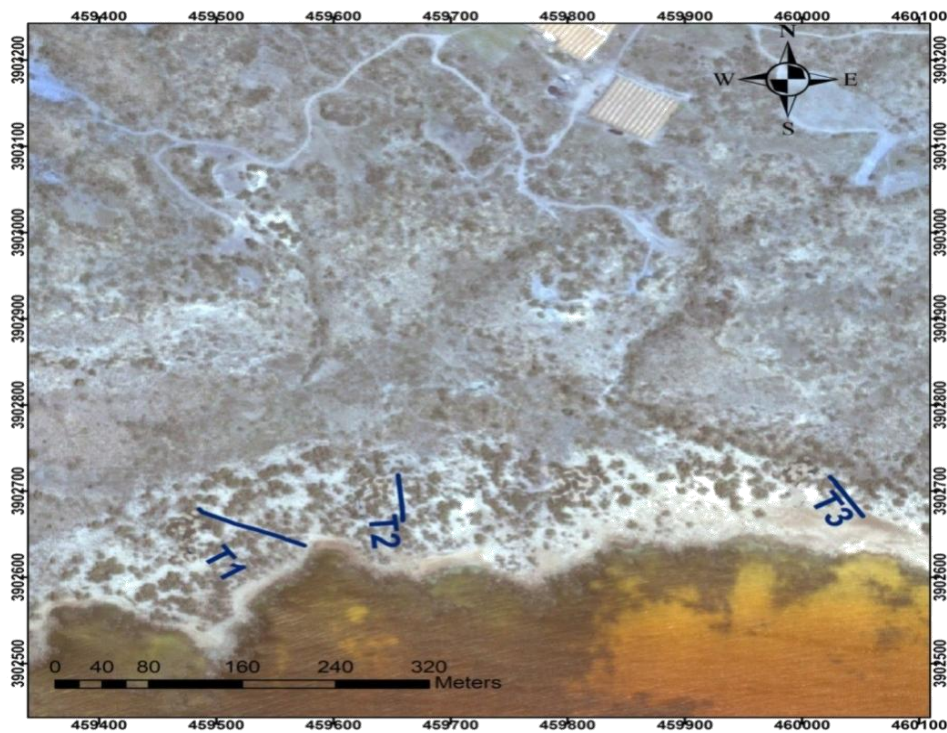


Εικόνα 3.2 : Γεωλογική εικόνα της περιοχής (Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλο Παλαιοχώρας)

3.2.2 Μελέτη των θέσεων των γραμμών

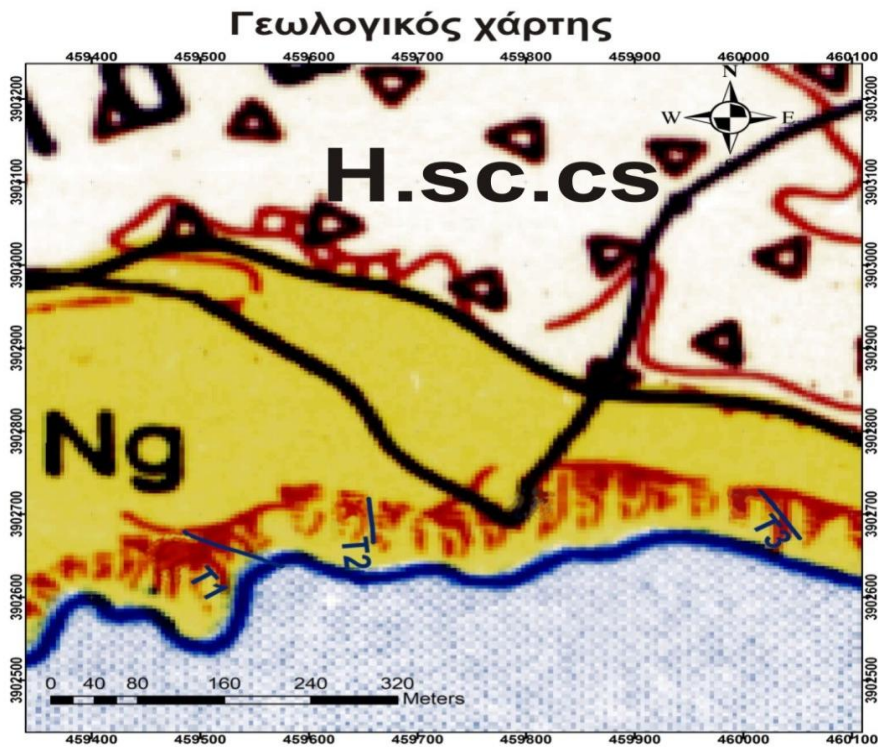
Στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής κεδρόδασους σχεδιάστηκε γεωφυσική έρευνα η οποία περιλάμβανε την γεωφυσική διασκόπηση τριών γραμμών μελέτης της T1, της T2 και της T3 συνολικού μήκους 200 m. Η T1 είναι 100 m, η T2 είναι 50 m και η T3 που είναι επίσης 50 m. Στην εικόνα 3.3 παρατηρούνται οι ακριβείς θέσεις των τριών γραμμών μελέτης σε αεροφωτογραφία που λήφθηκε με τη βοήθεια του Google Earth.

Δορυφορική εικόνα



Εικόνα 3.3 : Αεροφωτογραφία (GOOGLE EARTH) που απεικονίζονται οι τρεις γραμμές μελέτης στην παράλια του κεδρόδασους.

Πιο αναλυτικά η γραμμή T1 η οποία είναι και μεγαλύτερη από τις άλλες δυο βρίσκεται βορειοανατολικά της παραλίας με διεύθυνση ΝΑ – ΒΔ. Η γραμμή μελέτης T2 βρίσκεται ανατολικά της γραμμής T1 και έχει διεύθυνση Ν – Β. Τέλος η γραμμή μελέτης T3 βρίσκεται βορειοδυτικά της παραλίας του κεδρόδασους και έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

— Γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας.



ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ: Κώνοι κρημάτων και πλευρικά κορήματα: λατύπες ανθρακικής και φυλλιτικής σύστασης, αναμεμειγμένες με ερυθρογή.



ΝΕΟΓΕΝΕΣ: Αδιαίρετοι νεογενείς σχηματισμοί: Παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτοι, μαργαίκοι ασβεστόλιθοι, που προς τα πάνω εξελίσσονται σε αργιλομαργαίτους σχηματισμούς με διαστρώσεις από υλύ και άμμος.

Εικόνα 3.4 : Γεωλογική κάτοψη της παραλίας κεδρόδασους με αποτύπωση των γραμμών μελέτης (Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλο Παλαιοχώρας).



Εικόνα 3.5: Χαρακτηριστικές φωτογραφίες που απεικονίζουν τους βραχώδεις σχηματισμούς στην παράλια του κεδρόδασους.

Παραπάνω παρατίθενται χαρακτηριστικές φωτογραφίες των βραχώδων σχηματισμών (Ψαμμίτες). Τα δείγματα που πάρθηκαν χαρακτηρίστηκαν γεωλογικά και παρατηρήθηκε η ομοιογένεια των συγκεκριμένων σχηματισμών. Οι σχηματισμοί αποτελούνταν από κροκαλοπαγείς - λατυποπαγείς, ψαμμιτικές και ασβεστολιθικές αποθέσεις (σύμφωνα με τη γεωλογική μελέτη) οι οποίοι είναι πολύ συμπαγείς και δεν απορροφούν καθόλου νερό και σε συνδυασμό με την ακόρεστη άμμο σχηματίζουν το στρώμα πολύ υψηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων.

3.3 Διαδικασία συλλογής δεδομένων με την μέθοδο ηλεκτρικής τομογραφίας.

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων της ηλεκτρικής τομογραφίας η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε ήταν η διπόλου – διπόλου η οποία έχει ευαισθησία στο θόρυβο αλλά καλύτερη πλευρική ανάλυση από την διάταξη Wenner - Schlumberger . Η ισαπόσταση των ηλεκτροδίων a ισούταν με 1 m και ο αριθμός επίπεδων βάθους ήταν 18. Ο εξοπλισμός περιελάμβανε 55 ηλεκτρόδια , καλώδια συνδεσμολογίας και το μηχάνημα συλλογής δεδομένων, STING R1. Η εκάστοτε γραμμή σημαδεύονταν με μετροταινία ώστε να αποφευχθούν τα λάθη στην τοποθέτηση των ηλεκτροδίων. Το μέγιστο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων ήταν 55 m. Στις μετρήσεις της γραμμής μελέτης T2 και T3 δεν υπήρξε πρόβλημα διότι ήταν και οι δυο μήκους 50 m. Σε αντίθεση με τις T2 και T3 όμως η T1 όπως έχει προαναφερθεί είναι 100 m με αποτέλεσμα την αναγκαστική διχοτόμηση της σε δυο μέρη για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Το πρώτο μέρος ονομάστηκε T1_a και αφορούσε το διάστημα 0 – 54_ο m της γραμμής T1 και το δεύτερο μέρος ονομάστηκε T1_b και αφορούσε το διάστημα 46_ο – 100_ο m της γραμμής T1. Η ένωση των μετρήσεων των δυο γραμμών έγινε μέσω του προγράμματος του EXCEL ώστε να ανακτηθεί ολόκληρη η ανάπτυξη της γραμμής μελέτης T1. Το ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων είχε σαν αποτέλεσμα το βάθος διασκόπησης να φτάσει μέχρι τα 9 m.



Εικόνα 3.6: απεικόνιση αναπτύγματος ηλεκτροδίων



Εικόνα 3.7 : Απεικόνιση του μηχανήματος συλλογής δεδομένων της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας STING.

3.4 Διαδικασία συλλογής δεδομένων με την μέθοδο γεωραντάρ.

Κατά τη διάρκεια μετρήσεων με τη μέθοδο του γεωραντάρ χρησιμοποιήθηκε κεραία ισχύος 225 MHz. Ο εξοπλισμός της μεθόδου εκτός από την κεραία πομπού – δεκτή περιλάμβανε καλώδια σύνδεσης της κεραίας με υπολογιστή που κατέγραφε τα δεδομένα. Τα συγκεκριμένα καλώδια είχαν μήκος περίπου 25 m όποτε για διευκόλυνση του πειράματος η αφετηρία τους μαζί με τον υπολογιστή βρισκόταν στο κέντρο κάθε γραμμής. Πριν γίνει η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε πείραμα σε ειδικά διαμορφωμένη πλαστική δεξαμενή γεμάτη με νερό στο εργαστήριο γεωφυσικής (στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης) με την ίδια κεραία που συλλέχθηκαν τα δεδομένα στις γραμμές μελέτης της παραλίας του κεδρόδασους ώστε να ανακτηθεί το κυματίδιο αναφοράς (reference wavelet). Το

συγκεκριμένο πείραμα και η χρησιμότητα του θα αναλυθούν στο 4ο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας.



***Εικόνα 3.8:** Απεικόνιση της κεραίας του γεωραντάρ ισχύος 225 MHz στην παράλια κεδρόδασους.*

3.5 Ποιοτικός έλεγχος της διαδικασίας μετρήσεων.

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων κυρίως με τη μέθοδο του γεωραντάρ υπήρξαν αρκετές δυσκολίες. Κατά μήκος των γραμμών μελέτης T1 και T2 υπήρχαν πολλοί βραχώδη σχηματισμοί οι οποίοι δεν επέτρεψαν την λήψη μετρήσεων σε όλο το μήκος των γραμμών.

Συγκεκριμένα στην γραμμή μελέτης T1 οι μετρήσεις με την κεραία του γεωραντάρ πραγματοποιήθηκαν στο δεύτερο μισό της και ειδικότερα από το 45ο m

της γραμμής μέχρι το τέλος της, λόγω του ότι στα πρώτα 45 m υπήρχε έντονη η παρουσία του βραχώδους υπόβαθρου στην επιφάνεια.

Σε όλη την γραμμή μελέτης T2 ήταν αδύνατη η εφαρμογή της μεθόδου του γεωραντάρ για τους ίδιους παραπάνω λόγους. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η επεξεργασία δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας, σε όλες τις γραμμές σχεδόν, πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια: στο πρώτο στάδιο επεξεργάστηκαν τα δεδομένα μέχρι βάθος 5 m, καθώς η συγκεκριμένη διάταξη είναι πιο ευαίσθητη στο θόρυβο σε μεγαλύτερα βάθη. Στο δεύτερο στάδιο επεξεργάστηκαν όλα τα δεδομένα (μέγιστο βάθος 9 m) για μια προσεγγιστική εικόνα της συνέχειας των γεωλογικών σχηματισμών σε μεγαλύτερα βάθη.

Σε αντίθεση με τη μέθοδο του γεωραντάρ στην μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας δεν υπήρξαν προβλήματα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ωστόσο εκ των υστέρων παρατηρήθηκαν έντονα φαινόμενα παρουσίας του υψίσυχνου θορύβου στις ψευδοτομές τα οποία αφαιρέθηκαν κατά την διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι γραμμές μελέτης επιλέχθηκαν σε συνεργασία με το επιστημονικό προσωπικό του M.A.I.X. και ήταν οι πλέον αντιπροσωπευτικές για να δώσουν μια πλήρη εικόνα της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των κέδρων.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

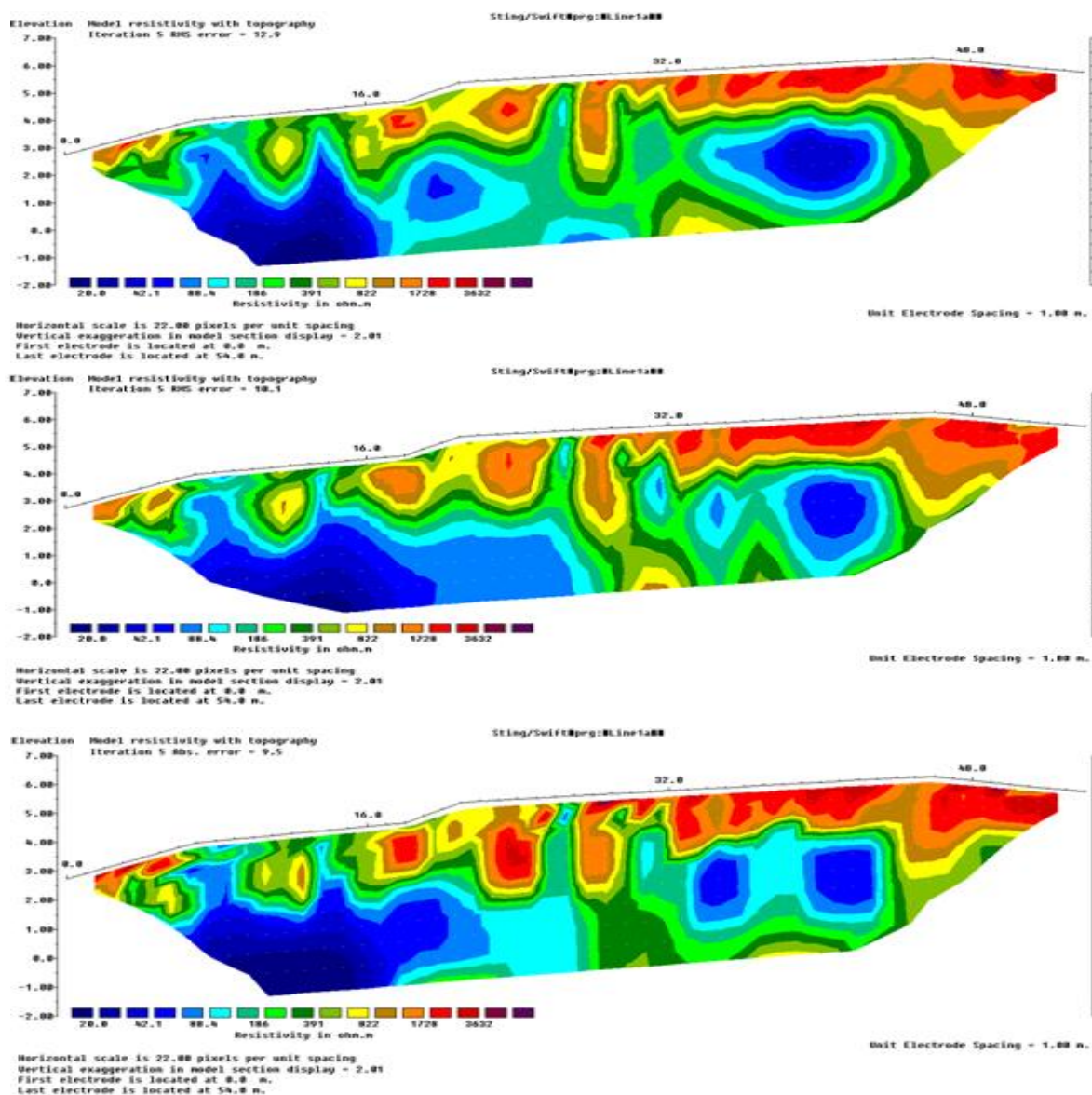
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα παρατεθεί η επεξεργασία των μετρήσεων της ηλεκτρικής τομογραφίας και η αντίστοιχη του γεωραντάρ. Στην ηλεκτρική τομογραφία θα παρουσιαστούν οι γεωηλεκτρικής τομές με υψομετρικές διαφορές και για τις τρεις γραμμές μελέτης. Για κάθε γραμμή θα παρατεθούν οι τομές που πρόεκυψαν από τις τρεις μεθόδους αντιστροφής με την εξής σειρά: α) Κανονικοποίηση με περιορισμούς εξομάλυνσης, β) Η συνδυασμένη αντιστροφή και γ) Χρήση της νόρμας L1 (Robust). Έπειτα θα ακολουθήσει η επεξεργασία των μετρήσεων από τη μέθοδο του γεωραντάρ στις γραμμές όπου έγινε επιτρεπτή η εφαρμογή της μεθόδου.

4.2 Επεξεργασία της ηλεκτρικής τομογραφίας.

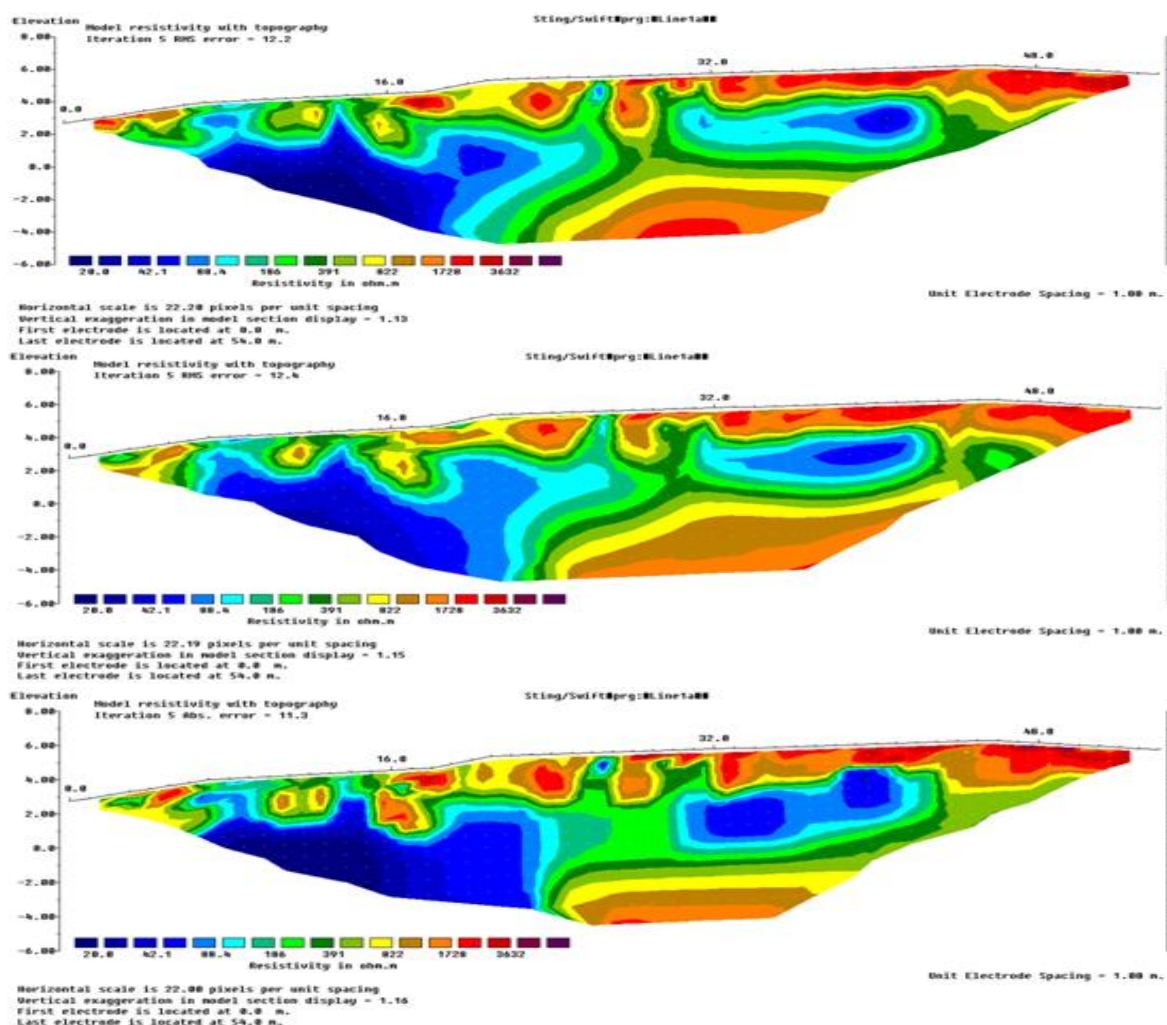
4.2.1 Μελέτη της γεωηλεκτρικής τομής της γραμμής T1_a.



Εικόνα 4.1 : Γεωηλεκτρικές τομές επεξεργασίας της γραμμής T1_a με βάθος διασκόπισης 5 m.

Το πρώτο κομμάτι της γραμμής μελέτης T1 έχει μήκος από 0 – 54 m. Στην τοπογραφικές τομές παρατηρείται ότι οι τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης κυμαίνονται από 20 Ωm μέχρι 3600 ohm.m και πάνω. Υπάρχουν δυο ζώνες πολύ χαμηλής ηλεκτρικής κάτω από 50 ohm.m αριστερά της τομής ενώ υψηλές αντιστάσεις παρατηρούνται στο πρώτο στρώμα της τομής πάχους 1.5 - 2 m κάτω από

το έδαφος της γης. Οι δυο ζώνες χαμηλών αντιστάσεων είναι ακόμη πιο εμφανείς στην τρίτη τομή. Επίσης στην αρχή της τομής και συγκεκριμένα από το 8° – 16° m της γραμμής μελέτης χαμηλές αντιστάσεις που οφείλονται στην παρουσία ριζικού συστήματος των κέδρων. Είναι επίσης πιθανόν λόγω του ριζικού συστήματος να συγκρατείται υγρασία. Παρακάτω παρατίθενται οι αντίστοιχες τομές της L1_a με βάθος διασκόπισης 9 m για τις απαραίτητες επαληθεύσεις.

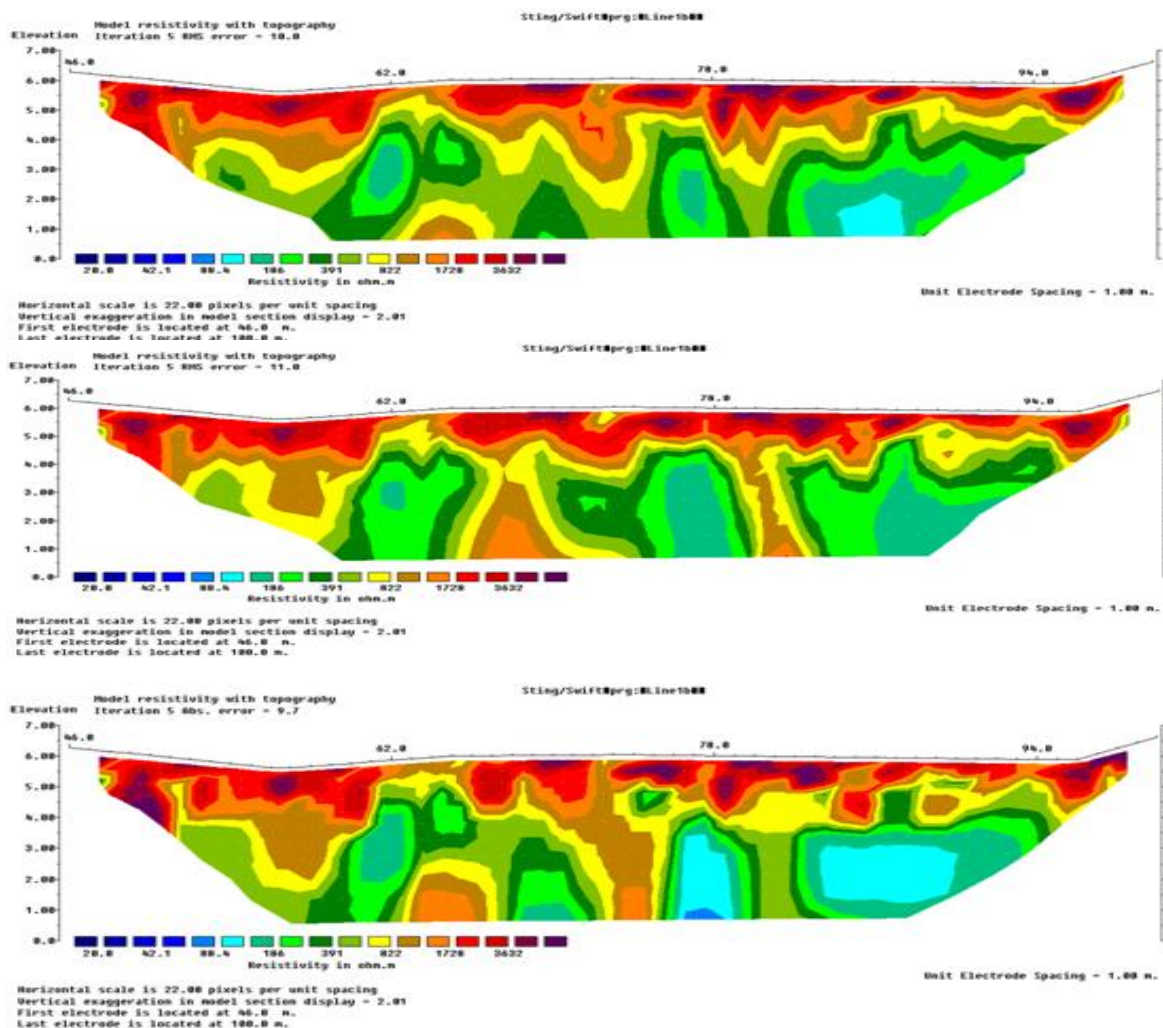


Εικόνα 4.2 : Γεωλεκτρικές τομές επεξεργασίας της γραμμής T1_a με βάθος διασκόπισης 9 m.

Στις τομές της εικόνας 1.2 παρατηρείται κάτω από το δεύτερο στρώμα το οποίο περιέχει τις ζώνες πολύ χαμηλών αντιστάσεων η αφετηρία ενός τρίτου στρώματος. Στο συγκεκριμένο στρώμα οι τιμές των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων

κυμαίνονται από 820 – 1800 ohm.m. Ωστόσο, λόγω έλλειψης στοιχείων, το συγκεκριμένο στρώμα δεν μπορεί να ταυτοποιηθεί.

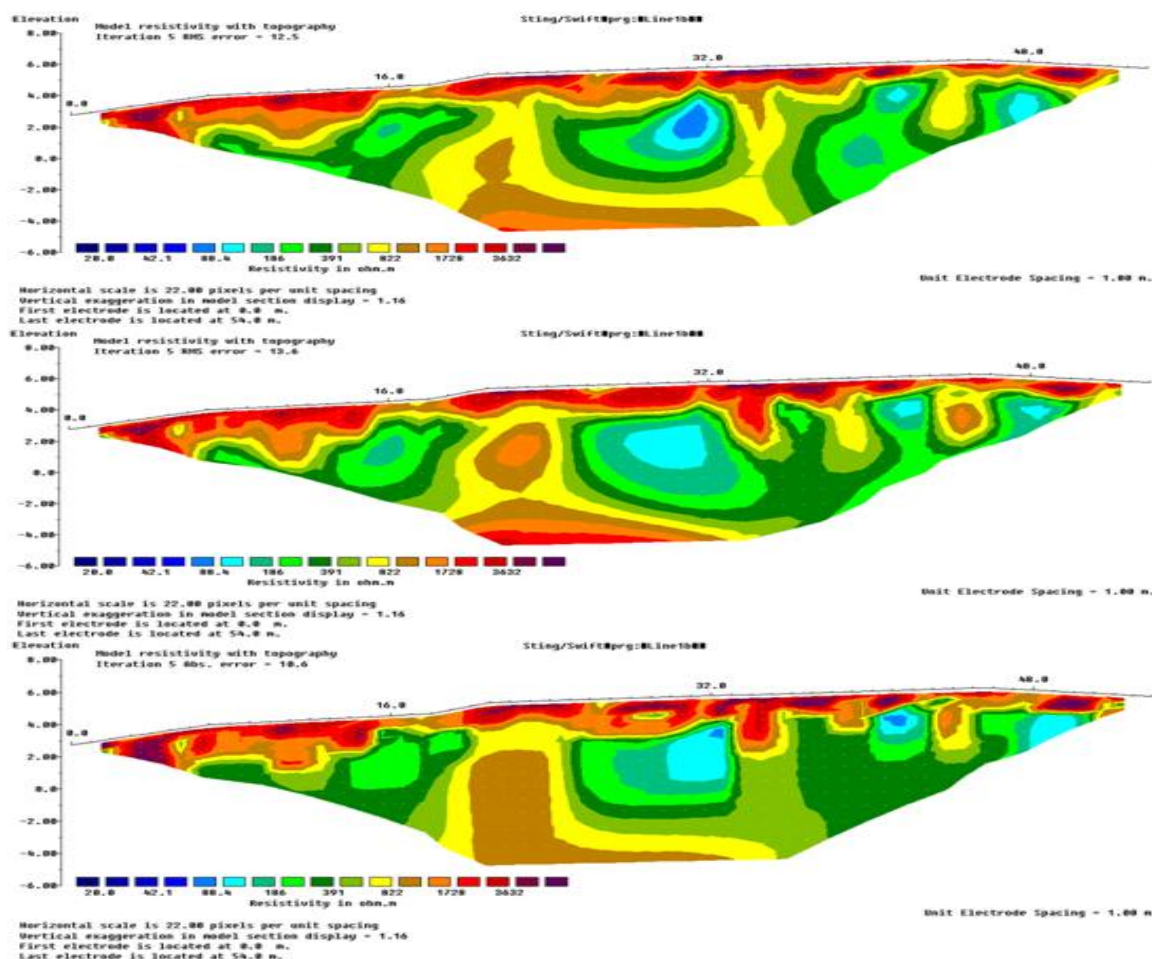
4.2.2 Μελέτη της γεωηλεκτρικής τομής της γραμμής T1_b



Εικόνα 4.3 : Γεωηλεκτρικές τομές επεξεργασίας της γραμμής T1_b με βάθος διασκόπησης 5 m.

Το δεύτερο μέρος της γραμμής L1 είναι από 46 – 100 m. Η ηλεκτρική αντίσταση κυμαίνεται από 80 – 4.500 ohm.m. Παρατηρούνται υψηλές τιμές αντιστάσεων σε στρώμα πάχους 1 – 2 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Σε

χαμηλότερα βάθη οι τιμές της αντίστασης μειώνονται αισθητά, κοντά στα 50 ohm.m. Για επαλήθευση των συμπερασμάτων παρατίθεται παρακάτω η μελέτη της τοπογραφικής τομής της L1_b, με βάθος διασκόπησης 9 m, ώστε να γίνουν οι κατάλληλες συγκρίσεις. Η τομή που έδωσε η τρίτη μέθοδος κανονικοποίησης (robust) είναι και αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην διαδικασία της υπέρθεσης στο κεφάλαιο που θα ακολουθήσει. Η επιλογή της τομής έγινε διότι στην συγκεκριμένη μέθοδο κανονικοποίησης οριοθετούνται με μεγαλύτερη ευκρίνεια οι ζώνες εναλλαγής των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

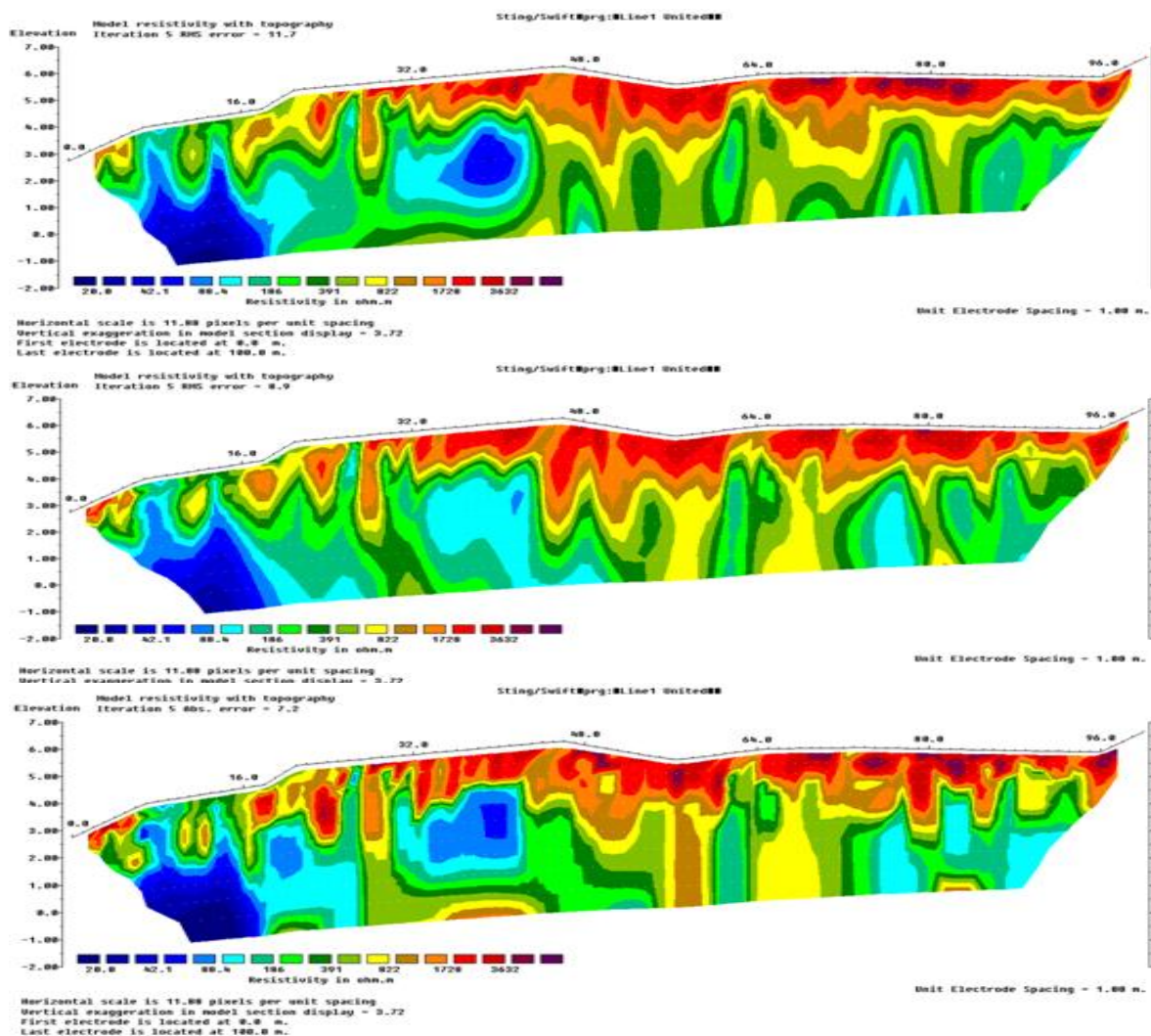


Εικόνα 4.4 : Γεωηλεκτρικές τομές επεξεργασίας της γραμμής T1_B με βάθος διασκόπησης 9 m.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4 το στρώμα των υψηλών αντιστάσεων δεν υπερβαίνει τα τρία μετρά , ενώ η ζώνη με χαμηλές αντιστάσεις είναι στα 2 m βάθος

μεταξύ του $28^{\text{ου}}$ και $34^{\text{ου}}$ ηλεκτροδίου. Τέλος, παρατηρείται η αφετηρία ενός τρίτου στρώματος.

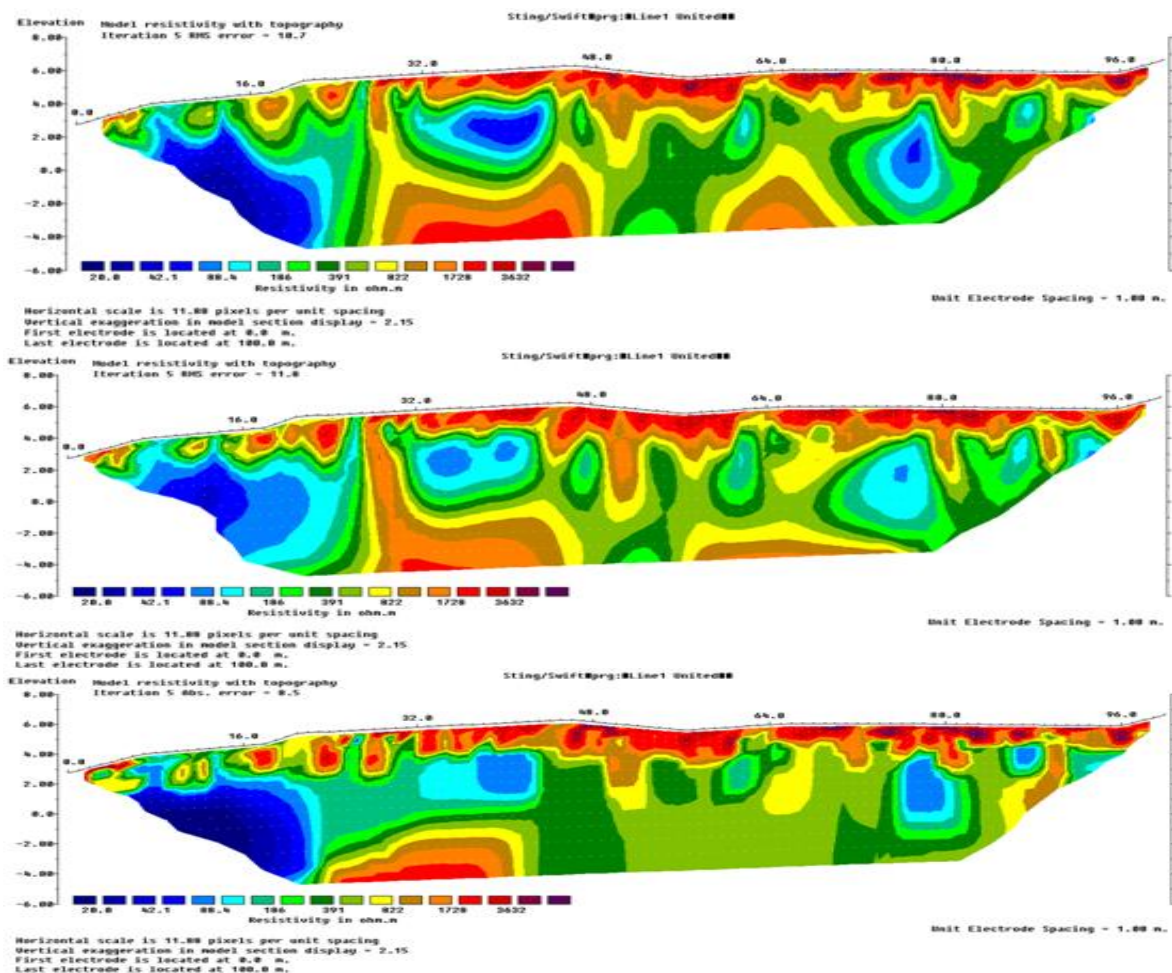
4.2.3 Μελέτη της γεωηλεκτρικής τομής ολόκληρης της γραμμής T1



Εικόνα 4.5 :Γεωηλεκτρικές τομές επεξεργασίας της γραμμής T1 με βάθος διασκόπησης 5 m.

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η γραμμή μελέτης T1, συνολικού μήκους 100m, σε ενιαία μορφή αφού έγινε η συγχώνευση των μετρήσεων μέσω του προγράμματος EXCEL. Η αφετηρία της είναι σε βραχώδεις σχηματισμούς, δίπλα στην ακτή της παραλίας κεδρόδασους. Παρατηρείται ότι το στρώμα πάχους 1.5 - 2 m που

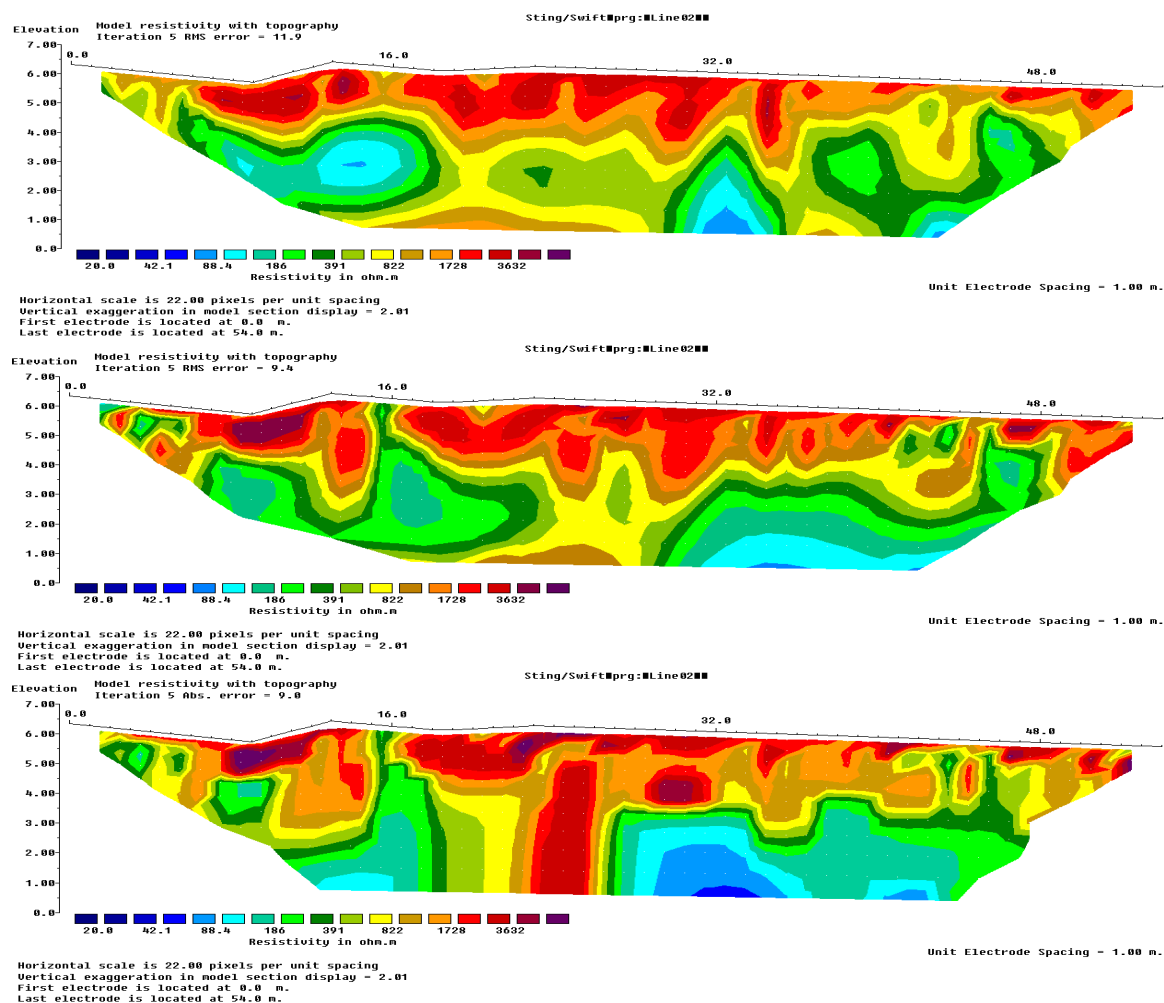
κυμαίνεται από 1700 – 4000 ohm.m είναι σχεδόν ενιαίο σε όλο το μήκος της γραμμής. Επιπλέον, φαίνεται καθαρά η ζώνη πολύ χαμηλών αντιστάσεων, κάτω από 20 Ωm. Επίσης, μετά το 72^ο m της γραμμής και μέχρι το τέλος της υπάρχει ένα δεύτερο στρώμα χαμηλών αντιστάσεων που κυμαίνονται σε τιμές κάτω από 100 ohm.m.



Εικόνα 4.6 : Γεωηλεκτρικές τομές επεξεργασίας της γραμμής T1 με βάθος διασκόπησης έως 9m.

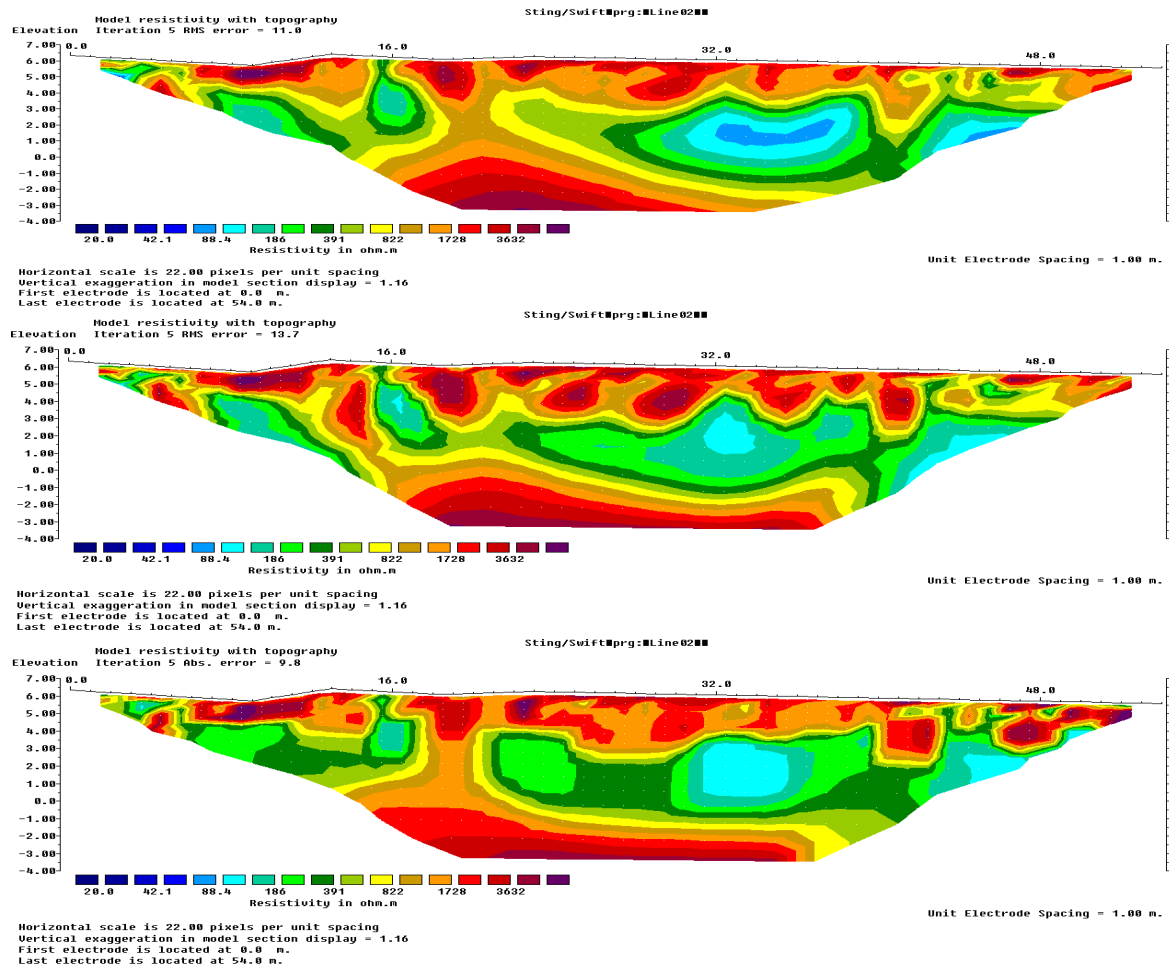
Η διαφορά η οποία είναι εμφανής λόγω του μεγαλύτερου βάθους διασκόπησης είναι η παρουσία τρίτου στρώματος. Το στρώμα εμφανίζεται στο 20^ο m κατά μήκος της γραμμής και σε βάθος 3m. Στην συγκεκριμένη ζώνη η ηλεκτρική αντίσταση κυμαίνεται από 850 – 1800 Ωm.

4.2.4 Μελέτη της γεωηλεκτρικής τομής της γραμμής T2



Εικόνα 4.7 :Γεωηλεκτρικές τομές επεξεργασίας της γραμμής T2 με βάθος διασκόπησης 5 m.

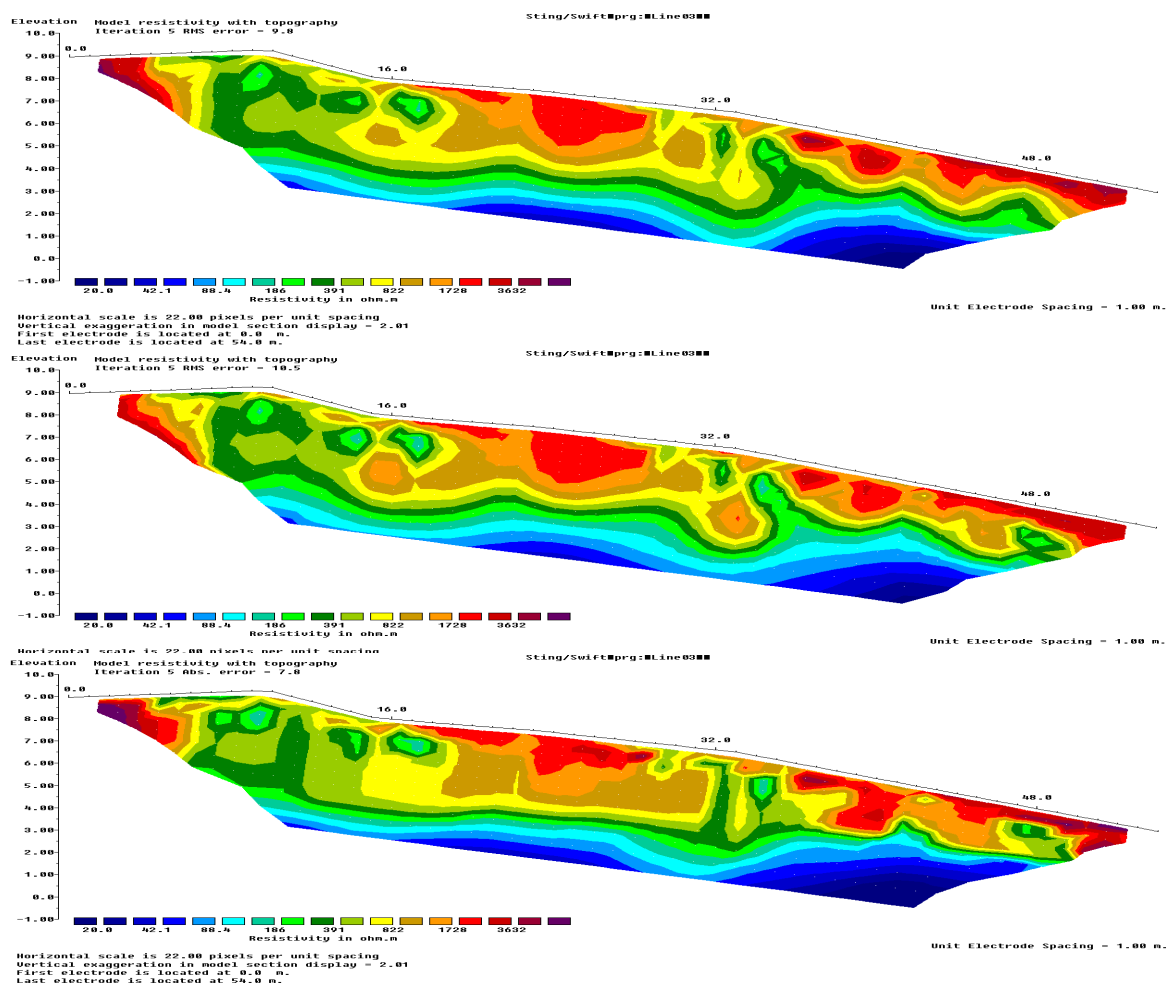
Στην εικόνα 3.7 διακρίνεται η παρουσία τουλάχιστον δύο στρωμάτων. Το πρώτο στρώμα πάχους 1.5 – 2.5 m αποτελείται από σχηματισμούς μεγάλων ηλεκτρικών αντιστάσεων 1700 – 3600 ohm.m. Το δεύτερο στρώμα πάχους 2,5 – 5 m αποτελείται από σχηματισμούς πολύ χαμηλότερων αντιστάσεων 40 – 850 Ωm. Στο δεύτερο στρώμα δεξιά της τομής σε βάθος 3 m από την επιφάνεια της γης είναι εμφανής μια ζώνη που βάσει της χρωματικής κλίμακας οι τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων κυμαίνονται από 40 έως 100 ohm.m. Επιπλέον, στο μέσο της τομής παρατηρείται ζώνη υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης που προχωράει σε βάθος άνω των 5m.



Εικόνα 4.8: Γεωλεκτρικές τομές επεξεργασίας της γραμμής T2 με βάθος διασκόπησης 9 m.

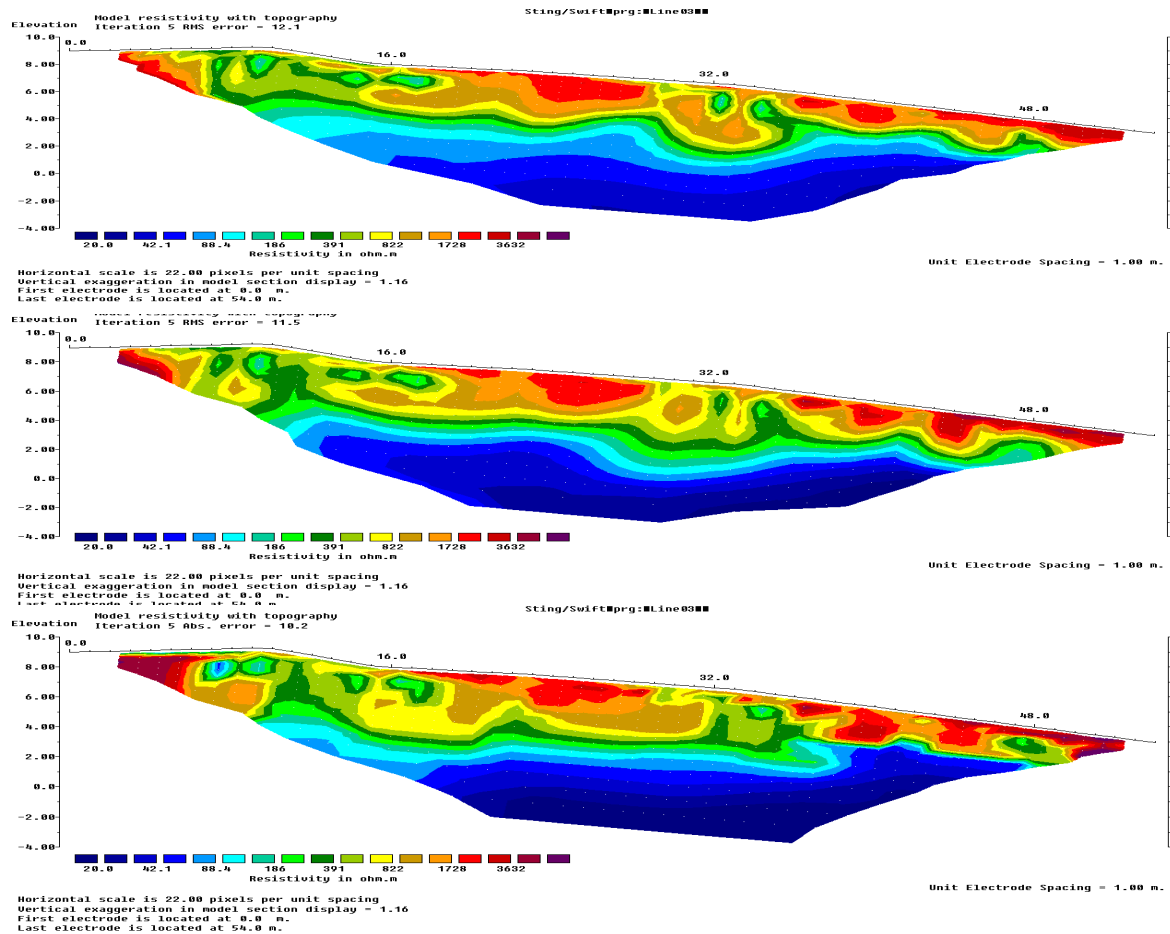
Σύμφωνα με τη εικόνα 4.8 παρατηρείται η παρουσία τρίτου στρώματος μετά τα 6.5 m βάθους που ενώνεται με το πρώτο στρώμα μέσω της ζώνης υψηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων που βρίσκεται στο μέσο της τομής.

4.2.5 Μελέτη της γεωηλεκτρικής τομής της γραμμής T3



Εικόνα 4.9: Γεωηλεκτρικές τομές της γραμμής μελέτης T3 με βάθος διασκόπησης 5m.

Στη γραμμή μελέτης T3 διακρίνονται τρία στρώματα. Το πρώτο στρώμα, πάχους 1.5 – 2.5m, αποτελείται από υψηλές τιμές ηλεκτρικών αντιστάσεων της τάξεως 1700 - 4000 ohm.m. Μετά από το πρώτο στρώμα υψηλών αντιστάσεων οι τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης μειώνονται απότομα και κυμαίνονται από 180 έως 1800 ohm.m οριοθετώντας έτσι το δεύτερο στρώμα. Τέλος στο τρίτο στρώμα, πάχους 1 – 2m, οι ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι πολύ χαμηλές, από 10 ohm.m μέχρι και 100 ohm.m.



Εικόνα 4.10: Γεωηλεκτρικές τομές της γραμμής μελέτης T3 με βάθος διασκόπησης έως 9m.

Σύμφωνα με την εικόνα 4.10 παρατηρείται η ανάπτυξη του τρίτου στρώματος όπου και γίνονται εμφανείς οι πολύ χαμηλές τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης που φτάνουν έως και τα 20 ohm.m. Όπως και στην γραμμή μελετης T1_b ετσι και στην T3 επιλέχθηκε η τρίτη τομή χωρίς όμως τις υψομετρικές διαφορές για την διαδικασία της υπέρθεσης.

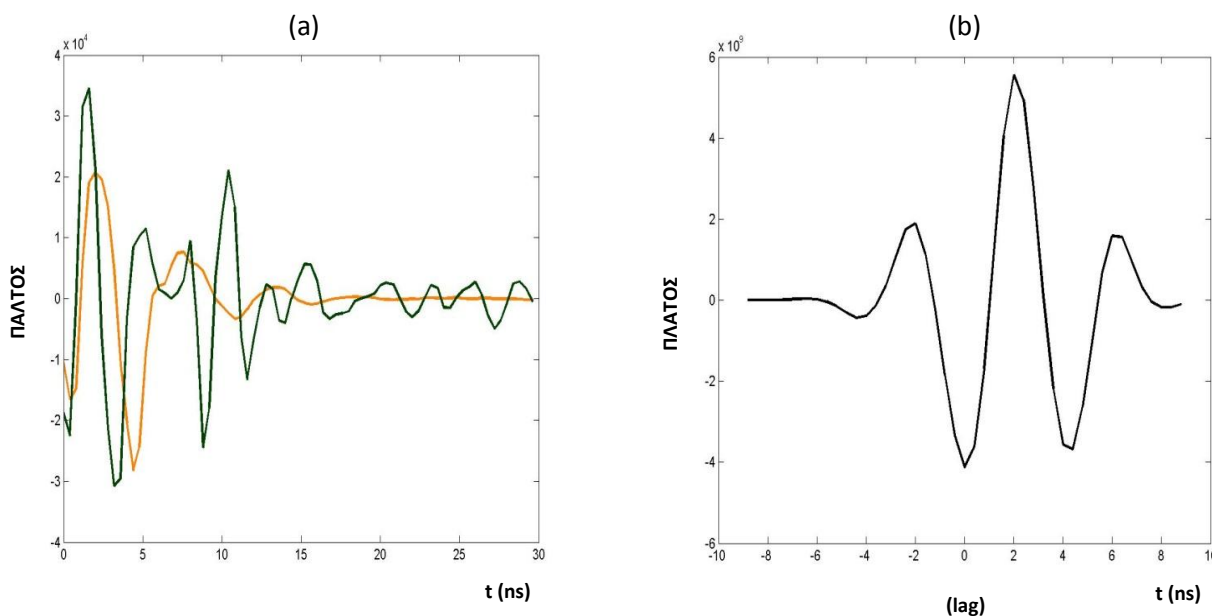
4.3 Επεξεργασία των δεδομένων γεωραντάρ

4.3.1 Εισαγωγή

Παρακάτω θα παρατεθεί η επεξεργασία που έγινε στα δεδομένα γεωραντάρ τα οποία συλλέχτηκαν από τις γραμμές T1_b και T3. Αρχικά ανακτήθηκε το κυματίδιο αναφοράς. Το κυματίδιο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε στην αποσυνέλιξη των δεδομένων. Επίσης πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της ταχύτητας των Η/Μ κυμάτων, κατά τόπους, βάσει των περιθλάσεων των τομών γεωραντάρ.

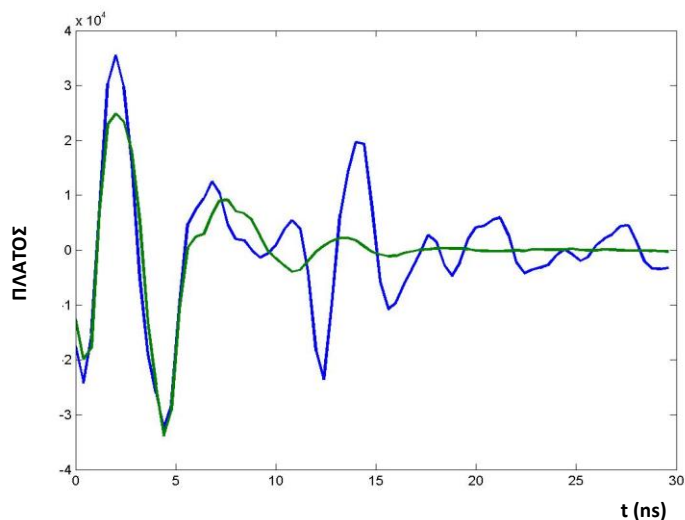
4.3.2 Ανάκτηση του κυματιδίου αναφοράς

Αρχικά εφαρμόστηκε συσχέτιση (cross-correlation) της κυματομορφής του απευθείας κύματος στον αέρα με την κυματομορφή του απευθείας κύματος από ίχνος που περιέχει ανάκλαση σε νερό (τοποθέτηση κεραίας σε ύψος 1.5m από την επιφάνεια του νερού). Η κεραία που χρησιμοποιήθηκε ήταν των 225MHz. Το συγκεκριμένο πείραμα έγινε για την ανάκτηση του όσο το δυνατόν καλύτερου κυματιδίου αναφοράς με σκοπό να γίνει η αποσυνέλιξη (deconvolution) με τα δεδομένα μετρήσεων του γεωραντάρ από την παράλια του κεδρόδασους. Στην εικόνα 4.11 παρουσιάζονται οι δυο κυματομορφές των απευθείας κυμάτων (a) και η χρονική καθυστέρησή (4.11b) (lag).



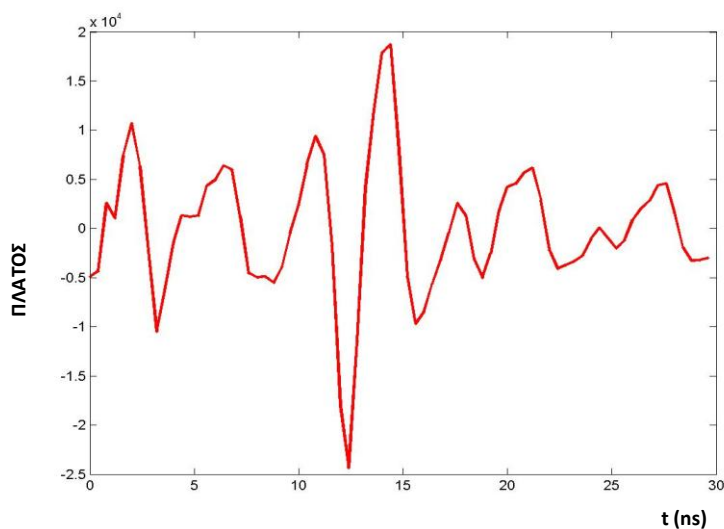
Εικόνα 4.11 : (a) Κυματομορφές των δύο απευθείας κυμάτων, (b) χρονική καθυστέρηση των κυματομορφών.

Όπως φαίνεται στο δεύτερο σχήμα η διαφορά φάσης είναι 2ns. Στο σχήμα 4.12 παρουσιάζονται οι δυο κυματομορφές με διορθωμένη την διαφορά φάσης και ενισχυμένο το απευθείας κύμα στον αέρα ώστε να γίνει η επαλήθευση της διαδικασίας της συσχέτισης.



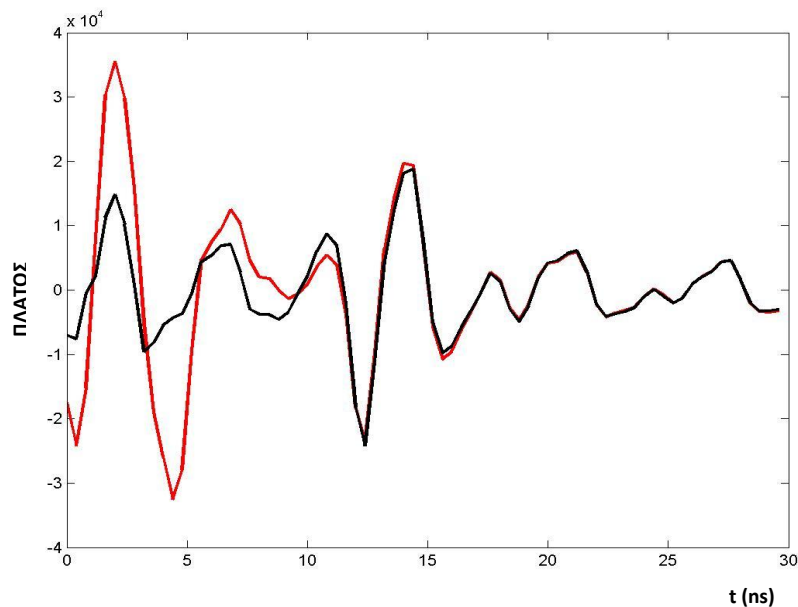
Εικόνα 4.12: Οι δυο κυματομορφές με διορθωμένη τη διαφορά φάσης (cross-correlation).

Στην συνέχεια έγινε η αφαίρεση μεταξύ της κυματομορφής του διορθωμένου κύματος και αυτής του αέρα ώστε να απομακρυνθεί το απευθείας κύμα και να προκύψει το κυματίδιο αναφοράς όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.13.



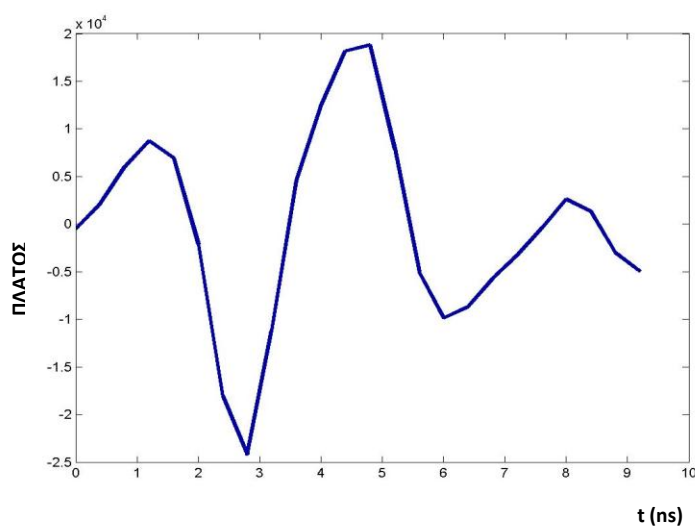
Εικόνα 4.13: Αποτέλεσμα αφαίρεσης των δύο κυματομορφών

Στο σχήμα 4.14 παρουσιάζεται η κυματομορφή της συσχέτισης των δυο αρχικών κυματομορφών a και b σε σχέση με τη διορθωμένη κυματομορφή του κύματος της κεραίας που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 4.14: Κυματομορφές της συσχέτισης (cross – correlation) και της αφαίρεσης.

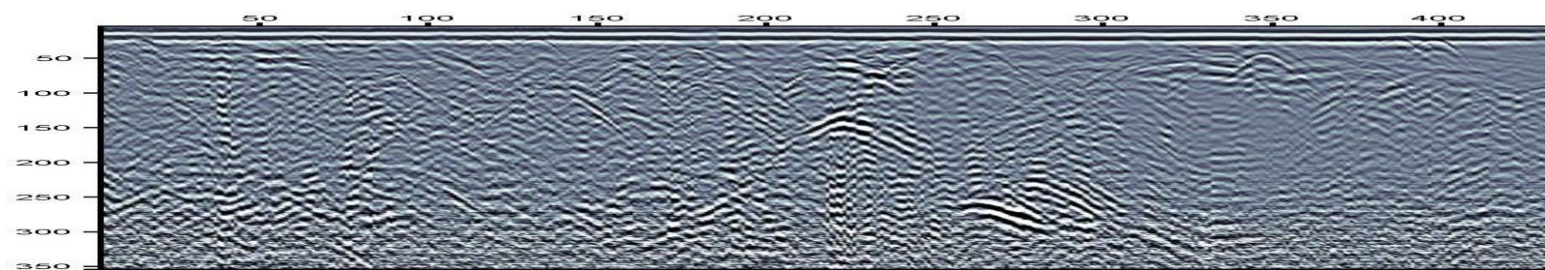
Τέλος στο σχήμα 4.15 παρουσιάζεται το τελικό κυματίδιο αναφοράς που θα χρησιμοποιηθεί για την αποσυνέλιξη (deconvolution) και προκύπτει από την συσχέτιση (cross – correlation) των κυματομορφών a και b με αφαίρεση κάποιων δεδομένων. Να σημειωθεί ότι το τελικό κυματίδιο έχει πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό (-1) διότι λόγω διάδοσης του απευθείας κύματος από αέρα σε νερό ο συντελεστής ανάκλασης είχε αρνητική τιμή.



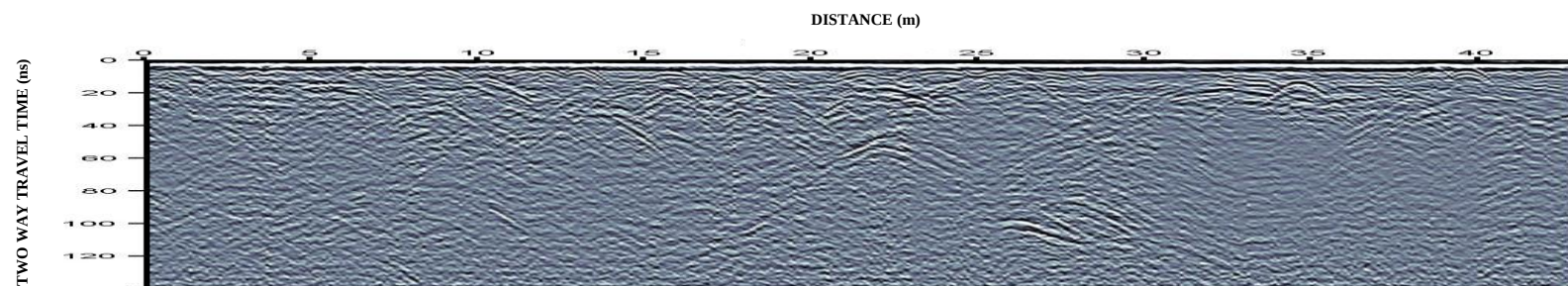
Εικόνα 4.15: Κυματίδιο αναφοράς

4.3.3 Διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων Γεωραντάρ

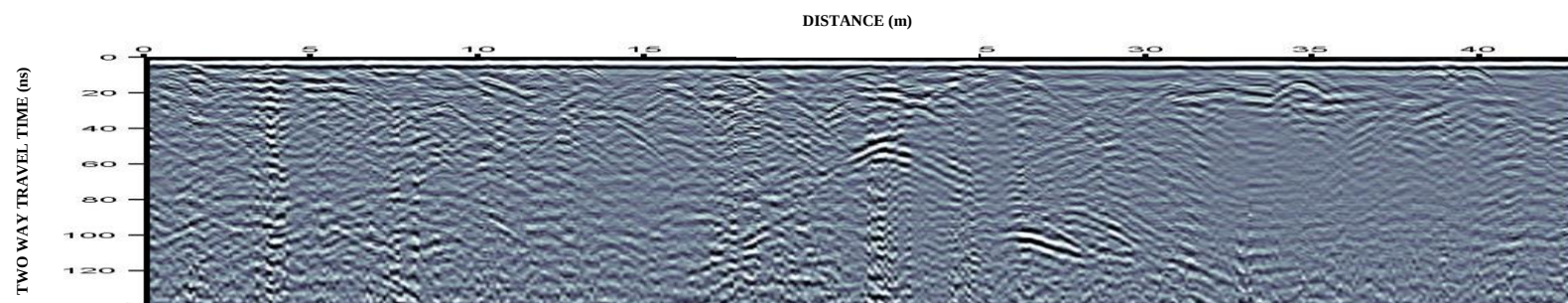
Αρχικά έγινε συλλογή των δεδομένων τις γραμμής και ενισχύθηκε το σήμα με τον τρόπο ενίσχυσης SEC. Έπειτα έγινε αφαίρεση του υψίσυχνου θορύβου με επιλογή περιορισμένου εύρους συχνοτήτων ή ΕΠΕΣ (band pass filtering). Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αποσυνέλιξη των δεδομένων με τη βοήθεια του κυματιδίου αναφοράς. Επειδή όμως τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά θεωρήθηκε απαραίτητη η εξισορρόπηση φάσματος δηλαδή ενίσχυση όλων των συχνοτήτων σε περιορισμένο εύρος αυτών (ΕΟΣΠΕ). Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιήθηκε και στις δυο γραμμές μελέτης του γεωραντάρ. Παρακάτω θα παρατεθούν οι εικόνες που απεικονίζουν την διαδικασία όπως αυτή αναφέρθηκε παραπάνω.



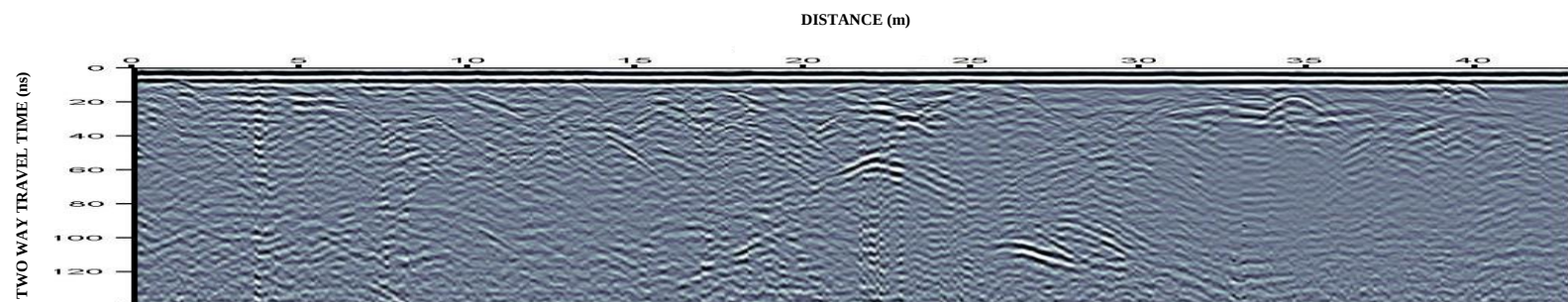
Εικόνα 4.16: Αρχικά δεδομένα της γραμμής μελέτης $T1_b$ με ενίσχυση σήματος SEC.



Εικόνα 4.17: Αρχικά δεδομένα της $T1_b$ με ΕΠΕΣ.



Εικόνα 4.18: Απλή αποσυνέλιξη της Tl_b



Εικόνα 4.19: Αποσυνέλιξη της Tl_b με εξισορρόπηση φάσματος.

Όπως φαίνεται στις εικόνες 4.16 και 4.17 αφού γίνει η αφαίρεση των υψίσυχων θορύβων με την εφαρμογή του band pass filter δίνεται η δυνατότητα πολύ καλύτερης ευκρίνειας των εσωτερικών ανακλάσεων χωρίς όμως αυτό να είναι αρκετό για το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτός είναι ο λόγος που εφαρμόζεται η αποσυνέλιξη των δεδομένων ώστε να υπάρξει μια πλήρης εικόνα των δεδομένων του γεωραντάρ. Τα αποτελέσματα της αποσυνέλιξης δίνονται στις παρακάτω εικόνες.

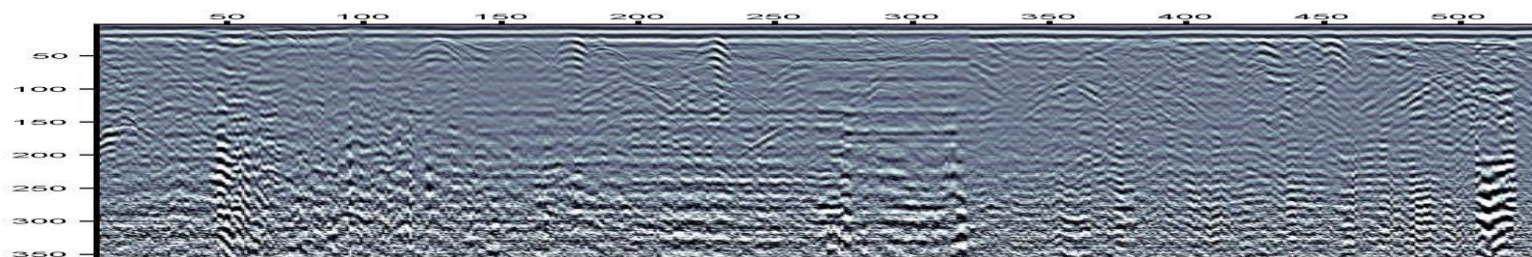
Μετά την αποσυνέλιξη και την εξισορρόπηση φάσματος στα δεδομένα του γεωραντάρ είναι πλέον εμφανείς οι εσωτερικές ανακλάσεις. Επίσης διακρίνονται δυο περιοχές από το 8 – 18 m και από το 27 – 40 m κατά μήκος της γραμμής και σε βάθος πάνω από 2 m από την επιφάνεια του εδάφους στις οποίες δεν υπάρχουν ανακλάσεις και οδηγούν σε κάποια συμπεράσματα για την ταυτοποίηση των σχηματισμών στην συγκεκριμένη γραμμή μελέτης.

Αντίστοιχα και στη γραμμή μελέτης T3 μετά την αφαίρεση των υψίσυχων θορυβώσεων η εικόνα παρουσιάζει με μεγαλύτερη ακρίβεια της εσωτερικές ανακλάσεις και ταυτόχρονα γίνεται εμφανής η ζώνη μεταξύ του 27 – 37 m που παρουσιάζει ανακλάσεις οι οποίες εκτίνονται σε μεγαλύτερο βάθος από τις αναμενόμενες στα πρώτα 2 m κάτω από την επιφάνεια της γης.

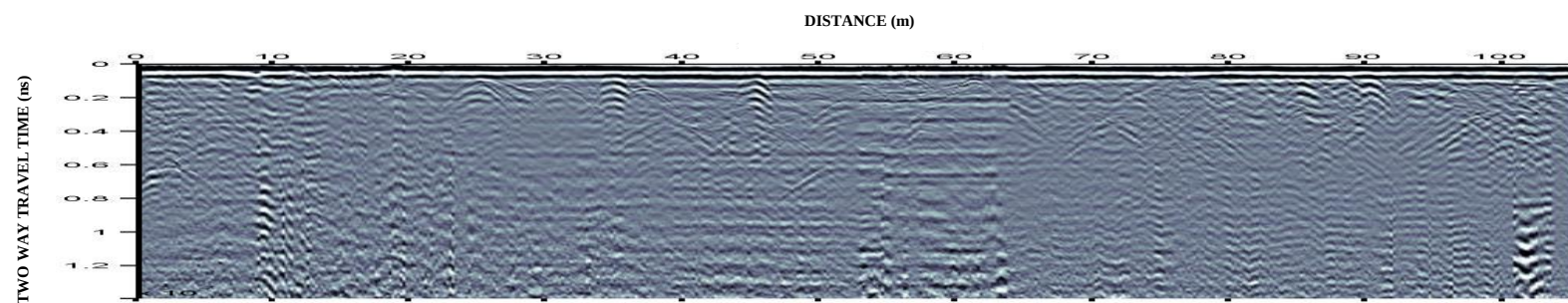
Μετά την διαδικασία της αποσυνέλιξης και την εξισορρόπηση φάσματος των μετρήσεων η ζώνη οι οποία προαναφέρθηκε για τις πρώτες δυο εικόνες καθώς επίσης και για την εικόνα που έδινε τα αποτελέσματα επεξεργασίας των μετρήσεων μετά την απλή αποσυνέλιξη έχει αφαιρεθεί δίνοντας μια σαφή εικόνα και για την γραμμή μελέτης T3 αλλά και για το πόσο σημαντικό είναι κάθε βήμα που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των μετρήσεων στην συγκεκριμένη μέθοδο.

Με τις τελικές εικόνες των δυο γραμμών, δηλαδή αυτές που δείχνουν την αποσυνέλιξη αφού είχε γίνει η εξισορρόπηση φάσματος, έγινε η υπέρθεση αποτελεσμάτων με τις αντίστοιχες ψευδοτομές της ηλεκτρικής τομογραφίας ώστε να γίνει η σωστή σύγκριση τους και να βγουν τα επιθυμητά συμπεράσματα.

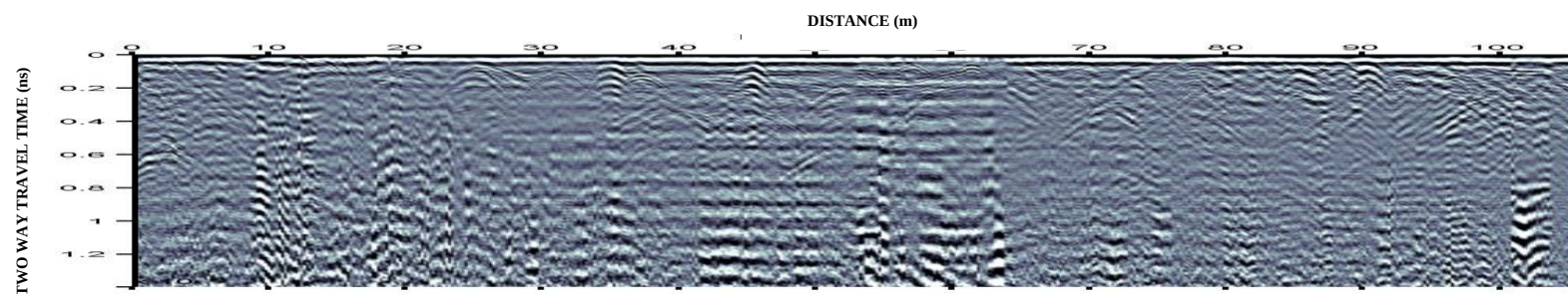
Τα αντίστοιχα αποτελέσματα της γραμμής μελέτης T3 δίδονται παρακάτω.



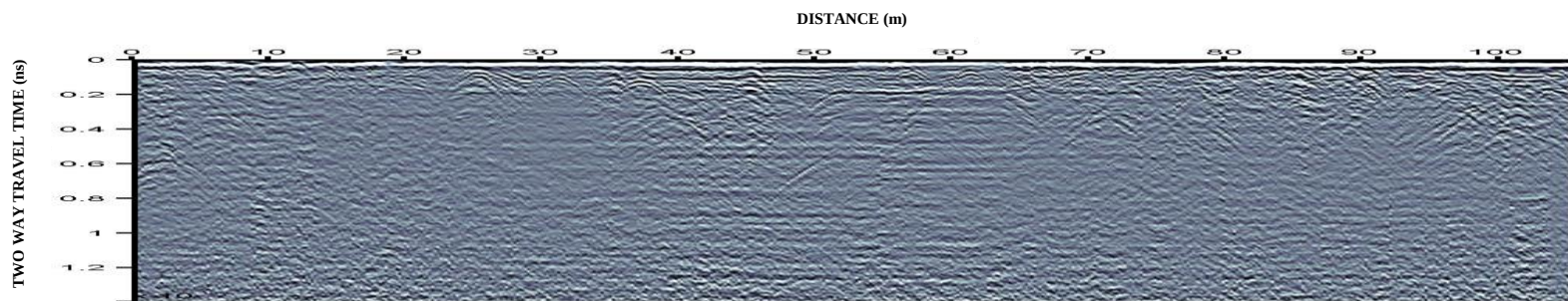
Εικόνα 4.20: Αρχικά δεδομένα της γραμμής μελέτης T3 με ενίσχυση σήματος SEC.



Εικόνα 4.21: Αρχικά δεδομένα της T3 με ΕΠΕΣ.



Εικόνα 4.22: Απλή αποσυνέλιξη της T3.



Εικόνα 4.23: Αποσυνέλιξη της T3 με εξισορρόπηση φάσματος.

4.3.4 Ανάλυση ταχυτήτων των περιθλώμενων κυμάτων

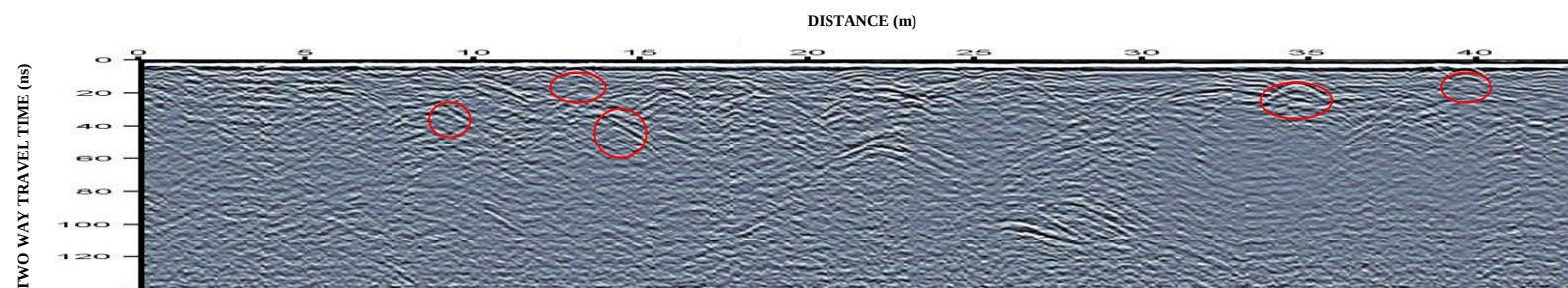
Η ανάλυση ταχυτήτων βοήθησε ώστε να βγουν συμπεράσματα για τις ταχύτητες των περιθλώμενων κυμάτων αλλά κυρίως στην σωστή αντιστοίχιση του βάθους διασκόπησης του γεωραντάρ σε σχέση με τις αντίστοιχες ψευδοτομές της ηλεκτρικής τομογραφίας. Η συγκεκριμένη αντιστοίχιση ήταν αναγκαία για την διαδικασία της υπέρθεσης των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων που θα δοθεί παρακάτω.

Στην ανάλυση ταχυτήτων πάρθηκαν πέντε σημεία σε κάθε τομή του γεωραντάρ. Η τομή που επιλέχθηκε λόγω μεγαλύτερης ευκρινείας ήταν αυτή της αποσυνέλιξης με την εξισορρόπηση φάσματος.

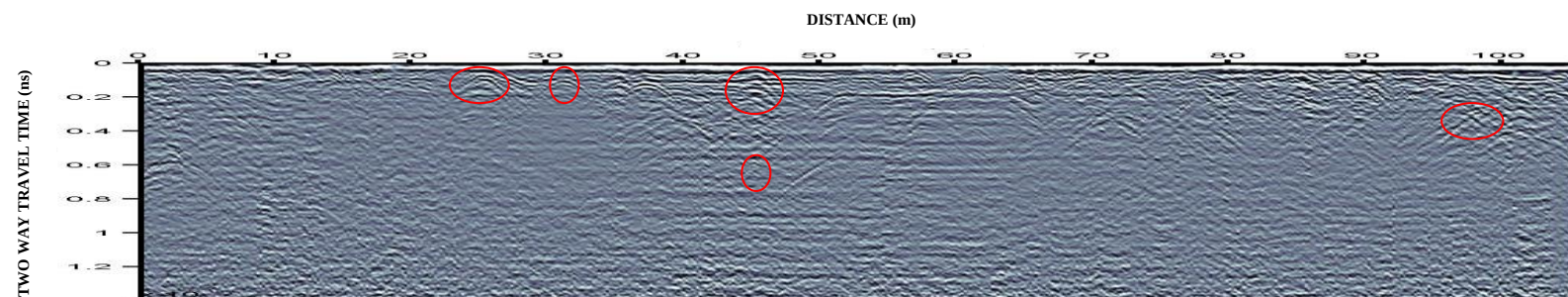
Έπειτα υπολογιστήκαν ξεχωριστά οι πέντε ταχύτητες για κάθε τομή και πάρθηκε ο μέσος όρος τους για να βγει η κλίμακα βάθους κάθε τομής αντίστοιχα. Για κάθε περιθλώμενο κύμα ξεχωριστά πάρθηκαν πέντε σημεία και εφαρμόζοντας την εξίσωση των ελαχίστων τετραγώνων προέκυπτε η αντίστοιχη εξίσωση που έδινε και τον συντελεστή k .

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό ταχύτητας ήταν:

$$k = 4/v^2 \quad (4.1)$$



Εικόνα 3.27: Τομή της $T1_b$ με τα αντίστοιχα δείγματα περιθλώμενων κυμάτων.



Εικόνα 3.28: Τομή της $T3$ με τα αντίστοιχα δείγματα περιθλώμενων κυμάτων.

Οι ταχύτητες που πρόέκυψαν από τις δυο γραμμές μελέτης μετά την ανάλυση ταχυτήτων καθώς και ο μέσος όρος τους παρατίθενται στον πίνακα 4.1.

	T1 _b	T3
V1	0.084 m/ns	0.1260 m/ns
V2	0.115	0.1150
V3	0.045	0.1390
V4	0.125	0.0595
V5	0.049	0.0548
M.O.	0.084	0.0988

Πίνακας 4.1

Επειδή οι Μ.Ο. των ταχυτήτων πλησίαζαν πιο πολύ τις ταχύτητες των περιθλώμενων κυμάτων στα πρώτα δυο μετρά των τόμων και επειδή το ενδιαφέρον της συγκεκριμένης διαδικασίας ήταν η εύρεση μιας τιμής ταχύτητας που να εκφράζει τον Μ.Ο. όλων των περιθλώμενων κυμάτων προτιμήθηκε μια ταχύτητα η οποία ταιριάζει πιο πολύ στα μεγαλύτερα βάθη. Η συγκεκριμένη ταχύτητα εκφράζει τα περιθλώμενα κύματα στις δυο γραμμές μελέτης του γεωραντάρ αλλά και της υπέρθεσης. Η ταχύτητα αυτή ισούται με $V = 0.06 \text{ m/ns}$.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ

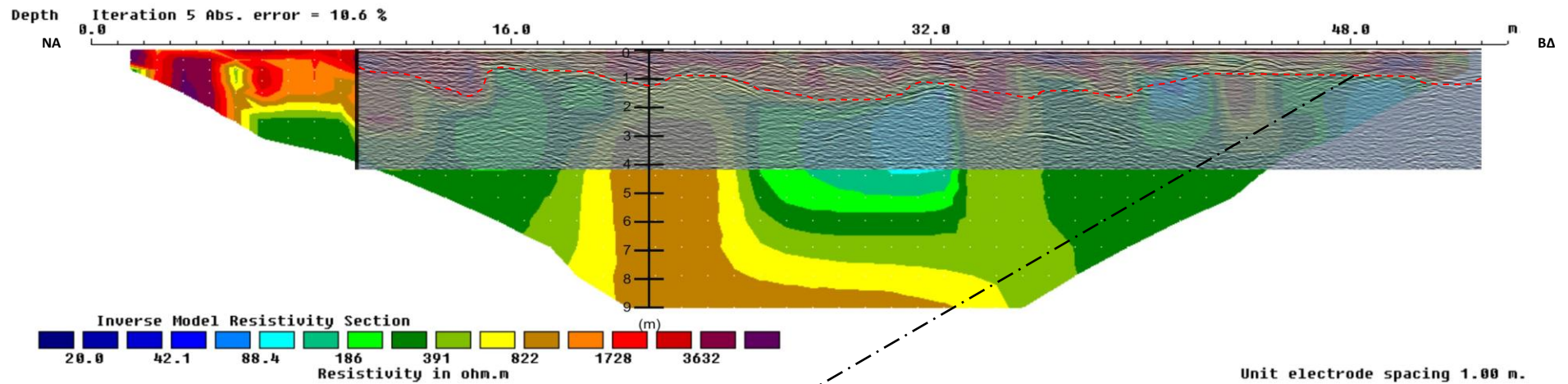
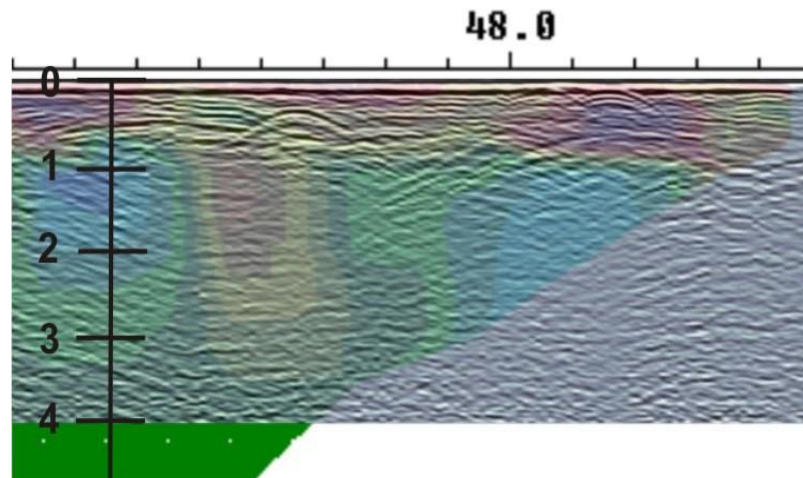
5.1 Εισαγωγή

Μετά την επεξεργασία των γραμμών μελέτης με τις δυο μεθόδους έγινε υπέρθεση των αποτελεσμάτων ώστε να γίνει η σύγκριση τους αλλά και για να δοθεί η δυνατότητα για καλύτερη και πιο λεπτομερή επεξεργασία των γραμμών. Θα παρατεθούν κάποια συγκεκριμένα κομμάτια των γραμμών μελέτης όπου οι δυο μέθοδοι συμφωνούν στην εναλλαγή των στρωμάτων. Να σημειωθεί ότι για την διαδικασία της υπέρθεσης χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από την αντιστροφή δεδομένων με την χρήση της νόρμας L1 (robust) όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4 για την ηλεκτρική τομογραφία και τα δεδομένα του γεωραντάρ αφού πραγματοποιήθηκε αποσυνέλιξη των μετρήσεων και εξισορρόπηση φάσματος.

Τέλος θα γίνει μια αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων της ηλεκτρικής τομογραφίας με τα στοιχεία που δόθηκαν από το M.A.I.X. κυρίως για τον εντοπισμό του ριζικού συστήματος των κέδρων την έκταση του και πως επηρεάζει τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

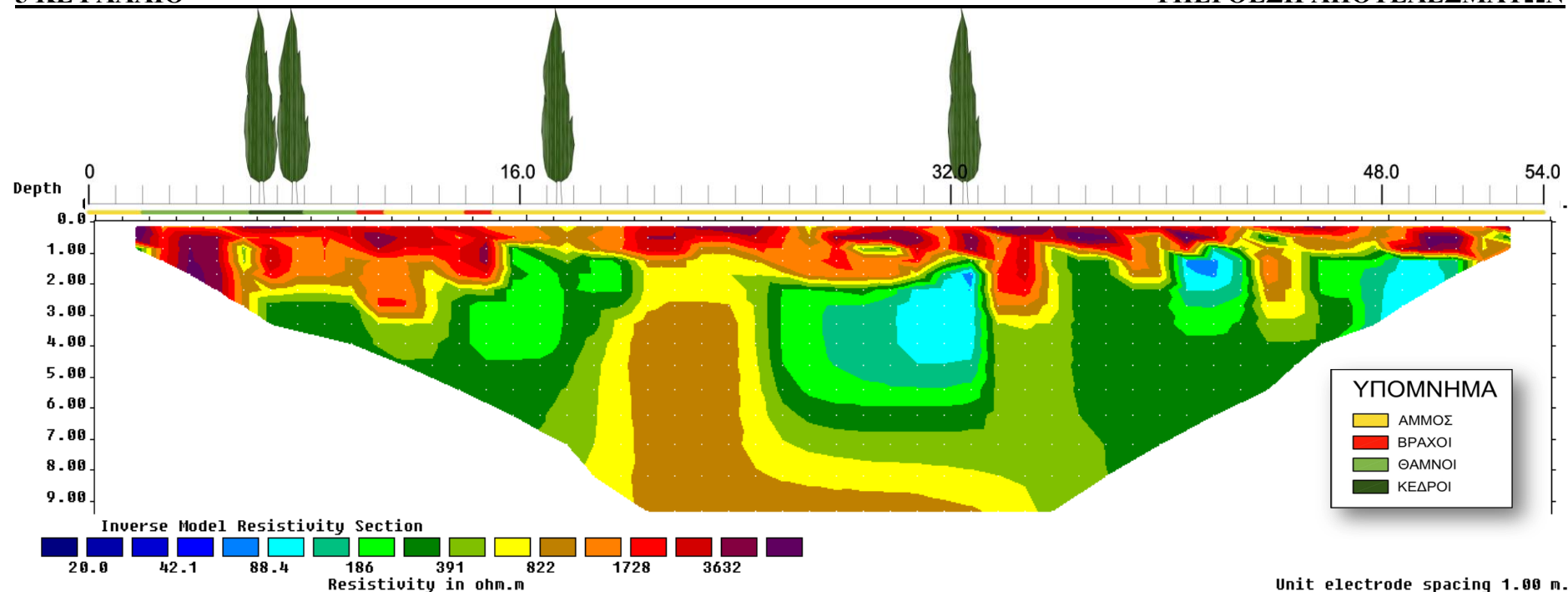


***Εικόνα 5.1:** Χαρακτηριστικές φωτογραφίες της γραμμής μελέτης T3.*

5.2 Υπέρθεση αποτελεσμάτων στη γραμμή μελέτης T1_bΕικόνα 5.2: Υπέρθεση των δυο μεθόδων στην γραμμή μελέτης T1_b.

Εικόνα 5.3: Χαρακτηριστικό τμήμα της γραμμής μελέτης T1b

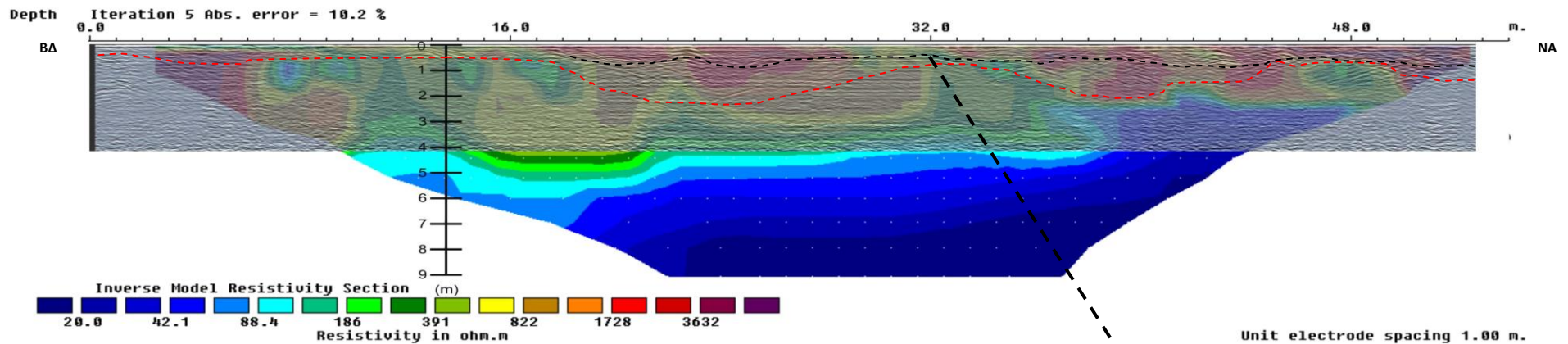
Όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2 παρατηρείται ότι στα πρώτα 2 m υπάρχουν περιθλώμενα κύματα με υψηλές ταχύτητες που πλησιάζουν τα 0.13 – 0.15 m/ns που επιβεβαιώνουν την ύπαρξη βραχιδών σχηματισμών που αναπτύσσονται μέχρι ένα ορισμένο βάθος. Στα σημεία κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (<2m), που η ειδική ηλεκτρική αντίσταση βάση της ηλεκτρικής τομογραφίας είναι υψηλή ενώ η υφή της εικόνας του γεωραντάρ είναι ομαλοποιημένη χωρίς ενδείξεις ανακλάσεων, βρίσκονται οι αμμοθίνες. Είναι χαρακτηριστικές οι ανακλάσεις μεταξύ 24^{ου} – 26^{ου} m που ακολουθούν πιστά την τομή της ηλεκτρικής τομογραφίας δείχνοντας την αλλαγή στρώματος. Επίσης κάτω από το 32^ο m και σε βάθος 2 m εκεί που πέφτει αρκετά η ηλεκτρική αντίσταση πλησιάζοντας τα 80 ohm.m είναι εμφανείς τα ανακλώμενα κύματα τα οποία σηματοδοτούν την αλλαγή στρώματος. Κατω από τα 2 m οι ταχύτητες των περιθλάσεων μειώνονται αισθητά πλησιάζοντας τα 0.06 m/ns υποδεικνύοντας την παρουσία υγρασίας ανάμεσα στους βραχώδεις σχηματισμούς. Επίσης στο τμήμα της γραμμής που παρατίθεται στην εικόνα 5.2 παρατηρούνται ανακλάσεις σε βάθος περίπου 1 m οι οποίες οφείλονται στις εξάρσεις των διαφόρων σχηματισμών και συμφωνούν απόλυτα με τις πολύ υψηλές αντιστάσεις της τομογραφίας. Σε μεγαλύτερους χρόνους οι ανακλάσεις των H/M κυμάτων παρουσιάζουν έντονα χαμηλά πλάτη επιβεβαιώνοντας τις χαμηλές αντιστάσεις που διακρίνονται σε εκείνη την περιοχή.



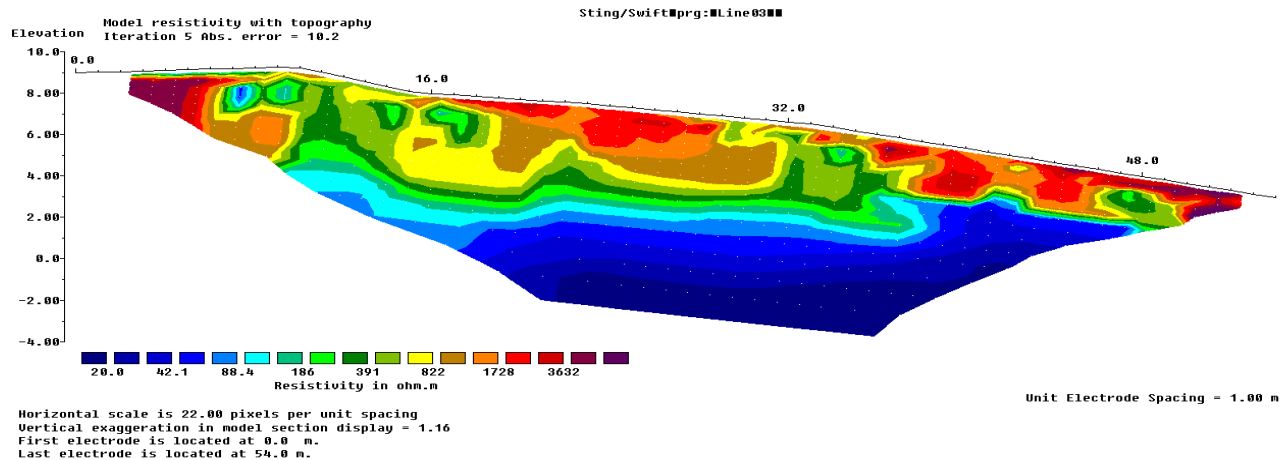
Εικόνα 5.4: Αντιστοίχιση της ηλεκτρικής τομογραφίας με τα στοιχεία από το M.A.I.X.

Είναι εμφανές και από τα στοιχεία του M.A.I.X. ότι οι μειώσεις των αντιστάσεων στα πρώτα 2m βάθους οφείλονται κυρίως στις εξάρσεις των βραχωδών σχηματισμών καθώς και στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, όπως μαρτυρούν και οι ανακλάσεις. Οι τρεις ζώνες πολύ χαμηλών αντιστάσεων, που γίνονται ορατές, οφείλονται στο ριζικό σύστημα το οποίο συγκράτα υγρασία. Απόλυτη αντιστοίχια επιτυγχάνεται στο 32° m της γραμμής μελέτης όπου υπάρχει κέδρος και η ζώνη χαμηλών αντιστάσεων βρίσκεται ακριβώς από κάτω του και σε βάθος 1.5 m.

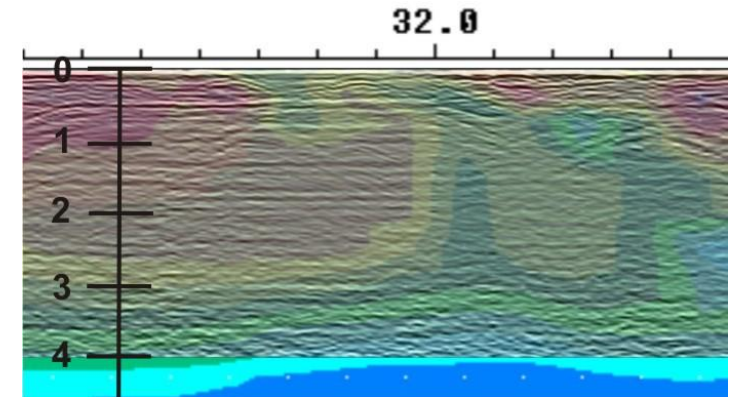
5.3 Υπέροθεση αποτελεσμάτων στη νοσημή μελέτης T3



Εικόνα 5.5: Υπέροθεση των δυο μεθόδων στην γραμμή μελέτης T3.

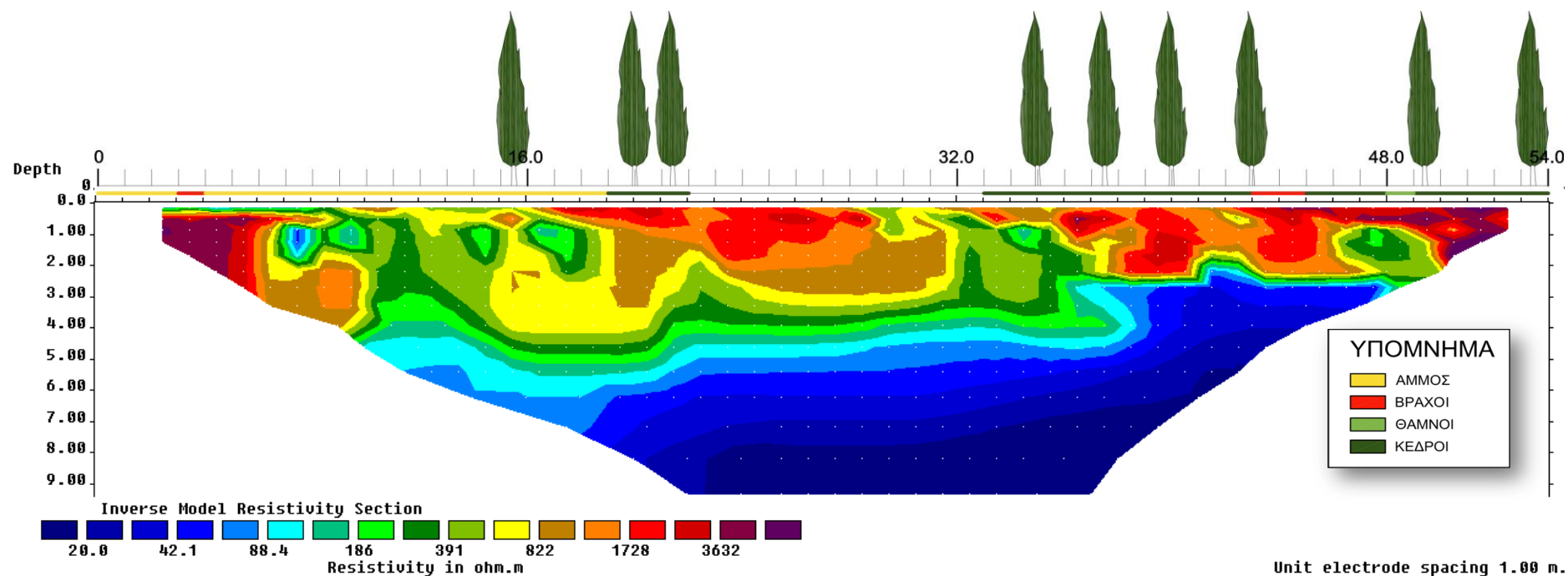


Εικόνα 5.6: Γεωηλεκτρική τομή της γραμμής μελέτης T3 με υψομετρικές διαφορές.



Εικόνα 5.7: Χαρακτηριστικό τμήμα της γραμμής μελέτης T3.

Όπως και στην T1_b έτσι και στην T3 παρατηρούνται υψηλές ταχύτητες ανακλώμενων κυμάτων καθώς και πολύ υψηλές τιμές της αντίστασης ρ στα πρώτα 2 m (πάνω από την κόκκινη γραμμή) όπου σηματοδοτείται και το μέσο πάχος των αμμοθινών χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν βραχώδεις σχηματισμοί που φτάνουν μέχρι και την επιφάνεια του εδάφους όπως φαίνεται και στις φωτογραφίες στην αρχή του κεφαλαίου. Οι βραχώδεις σχηματισμοί επιβεβαιώνονται και από τις επιφανειακές ανακλάσεις κοντά στην επιφάνεια του εδάφους όπως στο 16° m μέχρι και το 18° m της γραμμής μελέτης. Επιπλέον σε αντίθεση με την T1_b στην T3 διακρίνονται 3 στρώματα των οποίων ο διαχωρισμός τους επαληθεύεται κυρίως από την μέθοδο του γεωραντάρ καθώς είναι χαρακτηριστικές οι αλλαγές της υφής του σήματος. Στην εικόνα 5.7 όπου παρατίθεται κομμάτι της γραμμής μελέτης T3 φαίνονται καθαρά οι ομοιότητες των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων. Οι εσωτερικές ανακλάσεις ακολουθούν σε μεγάλο βαθμό τις ενδείξεις της ηλεκτρικής τομογραφίας. Στο συγκεκριμένο τμήμα είναι χαρακτηριστικός ο ανακλαστήρας που βρίσκεται μεταξύ του 25^{ου} και 33^{ου} m σε βάθος περίπου 1 m όπου οριοθετεί αλλαγή στρώματος από τις αμμοθίνες στους βραχώδεις σχηματισμούς που εκτίνονται μέχρι και τα 4 m. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η τρίτη γραμμή μελέτης ήταν πολύ κοντά στη θάλασσα. Στο τελευταίο κομμάτι της T3 που παρουσιάζονται οι πολύ υψηλές τιμές ηλεκτρικών αντιστάσεων παρατηρείται ότι και οι ταχύτητες ανακλώμενων κυμάτων είναι αρκετά υψηλές πλησιάζοντας τα 0.13 m/ns κάτι που αναμενόταν βάση του πάχους του στρώματος άμμου που πλησιάζει τα 2 m. Σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρείται η μείωση των αντιστάσεων όπου οι τιμές κυμαίνονται από 80 έως και 20 ohm.m. Με βάση την τοποθεσία της γραμμής, τις εσωτερικές ανακλάσεις και τις τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων στο τελευταίο κομμάτι της γραμμής μπορεί συμπερασματικά να ειπωθεί ότι κάτω από τα 2.5 – 3 m υπάρχει η ένδειξη παρουσίας νερού πράγμα που σημαίνει ότι απεικονίζεται ο υδροφόρος ορίζοντας ο οποίος λογικά βρίσκεται πάνω από το θαλασσινό νερό. Τέλος εάν απεικονιζόταν το νερό της θάλασσας θα έπρεπε οι αντιστάσεις να ήταν ακόμη πιο μικρές.



Εικόνα 5.8: Αντιστοίχιση της ηλεκτρικής τομογραφίας με τα στοιχεία από το M.A.I.X.

Στην 3^η γραμμή μελέτης η παρουσία των κέδρων είναι πυκνή. Να σημειωθεί ότι οι κέδροι που απεικονίζονται στην εικόνα 5.8 δεν ήταν ακριβώς πάνω στην γραμμή αλλά σε 1 – 2 m μακριά από αυτήν. Μετά το 32^ο m της γραμμής φαίνονται απότομες αυξομειώσεις στην τομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε βάθος μέχρι και 2 m. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται κυρίως στις εξάρσεις των βραχωδών σχηματισμών αλλά και στην υγρασία που συγκρατείται λόγω της έντονης παρουσίας των κέδρων ειδικά στο τελευταίο κομμάτι της γραμμής όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.8.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωφυσική διασκόπηση τριών γραμμών μελέτης συνολικού μήκους 200 m με τις δυο μεθόδους που εφαρμόστηκαν και η επεξεργασία των μετρήσεων οδήγησαν σε κάποια ασφαλή συμπεράσματα για τα ζητήματα που τέθηκαν στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Αρχικά ένα από τα βασικά ζητήματα ήταν το μέσο πάχος των αμμοθινών. Βάσει των γεωηλεκτρικών τομών που πρόέκυψαν αλλά και των μετρήσεων που λήφθηκαν από το γεωραντάρ το μέσο πάχος υπολογίζεται περίπου στο 1,5 – 2 m. Οι αυξομειώσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης οφείλονται κυρίως στην παρουσία υγρασίας λόγω της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των κέδρων. Επίσης πρέπει να σημειωθεί η έντονη παρουσία των βραχωδών σχηματισμών οι όποιοι είναι κυρίως ψαμμιτικές αλλά και αργιλομαργαϊκές αποθέσεις. Στο χαρακτηρισμό των γεωλογικών σχηματισμών, από την στιγμή που δεν είχε πραγματοποιηθεί κάποια γεώτρηση, πολύτιμη ήταν η βοήθεια των γεωλογικών χαρτών της περιοχής.

Επιπλέον ένα από τα ζητήματα που τέθηκαν ήταν η ύπαρξη και η δυνατότητα απεικόνισης του υδροφόρου ορίζοντα. Συμφώνα με την ερμηνεία των μετρήσεων της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της γραμμής μελέτης T3 είναι εμφανής η παρουσία υδροφορίας η οποία επιβεβαιώνεται και από την γεωηλεκτρική τομή που απεικονίζει τις υψομετρικές διαφορές κατά μήκος της συγκεκριμένης γραμμής.

Τέλος όσο αφορά το ριζικό σύστημα των κέδρων έγινε αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων με τα στοιχεία που δόθηκαν από το M.A.I.X. και έγινε η απεικόνιση που εξηγεί κάποια φαινόμενα όπως η αυξομείωση των αντιστάσεων αλλά και οι επιφανειακές ανακλάσεις στις τομές του γεωραντάρ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Βαφείδης Α. (1994)**. “Αξιολόγηση σχηματισμών με γεωφυσικές μεθόδους”, Χανιά.
2. **Βαφείδης Α. (2001)**. “Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ”
3. **Παπαζάχος Β. (1986)**, “Εισαγωγή Στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική”, Εκδόσεις “Ζήτη”, Θεσσαλονίκη.
4. **Σπανουδάκης Ν. (2001)**. “Η συμβολή του υπεδάφειου ραντάρ στον εντοπισμό στόχων μικρών διαστάσεων”. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
5. **Hamdan H. (2002)**, “Τρισδιάστατη χαρτογραφική απεικόνιση πιθανών υδροφόρων σχηματισμών στην περιοχή Κισσάμου, Ν. Χανίων”
6. **Βαφείδης Α. (2004)**, “Γεωφυσική διασκόπηση στο οροπέδιο του Ομαλού, Ν. Χανίων”
7. **Βαφείδης Α. (2004)**, “Συμβολή της Ηλεκτρικής Τομογραφίας και της Σεισμικής Διάθλασης στην επιλογή θέσης για τη δημιουργία Λιμνοδεξαμενής στην Κουντούρα, Δ. Πελεκάνου, Ν. Χανίων”
8. **Αργύρης Κ. (2008)**, “Γεωφυσική διασκόπηση στο τμήμα Λυγαριά - Περιβόλι του οδικού άξονα Ε65”. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
9. **Οικονόμου Ν. (2011)**, “Ανάπτυξη μεθόδων επεξεργασίας δεδομένων γεωραντάρ με τη χρήση μετασχηματισμού S”. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

ΞΕΝΗ BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Batayneh A.T., Barjous M.O. (2005).** “Resistivity surveys near a waste-disposal site in the Qasr Tuba area of central Jordan”. *Bull. Eng. Geol. Env.* 64, 287-294
2. **Bavusi M., Rizzo E., Lapenna V. (2006).** “Electromagnetic methods to characterize the Savoia di Lucania waste dump (Southern Italy)”. *Environ. Geol.* 51, 301-308
3. **Zaki Harari (1996).** “Ground-penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphic features and groundwater in sand dunes”. *J. Appl. Geophys.* 36 (1996) 43-52
4. **Terenzio Zenone, Gianfranco Morelli, Maurizio Teobaldelli, Federico Fischanger, Marco Matteucci, Matteo Sordini, Alessio Armani, Chiara Ferre, Tommaso Chiti and Guenther Seufert (2008).** “Preliminary use of ground-penetrating radar and electrical resistivity tomography to study tree roots in pine forests and poplar plantations”. *Funct. Plant Biol.* 35, 1047-1058
5. **Bano M., Girard J.-F. (2001).** “Radar reflections and water content estimation of aeolian sand dune”. *Geophys. Res. Let.* 28,3207-3210.
6. **Newmark, R., W. Daly, K. Kyle, and A. Ramirez. (1998).** “Monitoring DNAPL pumping using integrated geophysical techniques”. *JEEG*, Vol. 3, Issue 1, March 1998,p7-13
7. **RES2DINV user’s manual version 3.4**
8. **Loke M.H. and Barker R.D.,(1996).** “Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method”. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.
9. **Choudhury, K., Saha, D.K., Chakraborty, P., (2001).** “Geophysical study for saline water intrusion in a coastal alluvial terrain”. *J. Appl. Geophys.* 46, 189–200.
10. **Dobrin, M., (1976).** “Introduction to geophysical prospecting”, McGraw Hill Book Comp.Inc., New York, USA.
11. **Economou, N., and Vafidis, A., (2011a).** GPR data time varying deconvolution by kurtosis maximization, *Journal of Applied Geophysics*, accepted.

12. **Economou, N., and A., Vafidis, A., (2011b).** Deterministic deconvolution for GPR data in t-f domain, Near Surface Geophysics, in press.
13. **Economou, N., and A., Vafidis, (2010),** Spectral balancing GPR data using time variant band-width in t-f domain, Geophysics, 75, no. 3, J19-J27.
14. **Berkhout, A. J., (1977).** Least-squares inverse filtering and wavelet deconvolution: Geophysics, 42, 1369–1383.
15. **Yilmaz, O., (1987).** Seismic data processing-Investigations in geophysics, Vol 2, SEG.
16. **Neto, P., and Medeiros, W, (2006).** A practical approach to correct attenuation effects in GPR data, Journal of Applied Geophysics, 59, 140-151.
17. **Brigham, E., (1974).** The Fast Fourier Transform, Prentice-Hall signal processing series.
18. **Belina, F.A., B., Dafflon, J., Tronicke, and K., Holliger, (2008).** Enhancing the Vertical Resolution of Surface Georadar Data: Journal of Applied Geophysics, Journal of Applied Geophysics, 68, Issue 1, 26-35.