

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



Πελαγία Σταμούλη

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συμβολή της προσομοίωσης δεδομένων γεωραντάρ στην απεικόνιση
υπόγειων δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμων.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής (επιβλέπων)

Αγιουτάντης Ζαχαρίας, Καθηγητής

Σουπιός Παντελής, Αναπληρωτής Καθηγητής (ΤΕΙ Κρήτης)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την περάτωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον επιβλέποντα κ. Βαφείδη Αντώνιο καθηγητή της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης για την ανάθεση της εργασίας και την πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας.

Τον κ. Αγιουτάντη Ζαχαρία καθηγητή της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης καθώς και τον κ. Σουπιό Παντελή αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και για τις παρατηρήσεις που έκαναν επί της εργασίας .

Τον κ. Οικονόμου Νικόλαο Δρ. Μηχανικό Ορυκτών Πόρων για τον χρόνο και την συνεχή βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Την οικογένεια μου για την υλική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	5
1.1 Τι είναι η Γεωφυσική.....	5
1.2 Γεωφυσική Έρευνα.....	5
1.3 Μέθοδοι Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής.....	6
1.4 Εφαρμογή γεωραντάρ στην απεικόνιση θαμμένων ανθρωπογενών δομών	6
1.5 Περιγραφή της διπλωματικής	7
Κεφάλαιο 2 – Η μέθοδος του γεωραντάρ.....	8
2.1 Αρχή λειτουργίας.....	8
2.2 Τύποι συστημάτων γεωραντάρ.....	9
2.3 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων	9
2.4 Μέθοδοι διασκόπησης.....	10
2.5 Εφαρμογές του γεωραντάρ.....	11
2.6 Επεξεργασία των τομών Γεωραντάρ με το MATGPR	11
Κεφάλαιο 3 – Συνθετικά δεδομένα γεωραντάρ	13
3.1 Αλγόριθμος προσομοίωσης	13
3.2 Περιγραφή των μοντέλων	13
3.2 Συνθετικές τομές γεωραντάρ	15
Κεφάλαιο 4 – Πραγματικά δεδομένα γεωραντάρ	25
4.1 Περιγραφή του πειράματος για τα πραγματικά δεδομένα Γεωραντάρ.....	25
4.2 Βήματα επεξεργασίας	26
4.3 Τομές πραγματικών δεδομένων	26
Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα	59
Βιβλιογραφία	60
Παράρτημα.....	61

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η χαρτογράφηση τριών θαμμένων κυλινδρικών δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμων, διαμέτρου 3 μέτρων, καθώς και η εκτίμηση του βάθους ταφής τους με την μέθοδο του γεωραντάρ. Διασκοπήθηκαν 11 γραμμές μελέτης με κεραίες κεντρικής συχνότητας 400 MHz και 900 MHz. Οι γραμμές μελέτης είχαν διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ και ΝΑ-ΒΔ και κάλυψαν περιοχή διαστάσεων 28x28 μέτρα. Οι τομές των πραγματικών δεδομένων γεωραντάρ υπέστησαν επεξεργασία η οποία περιλάμβανε ανάλυση ταχυτήτων, χωροθέτηση και μετατροπή των χωροθετημένων τομών σε τομές βάθους. Μετά την συνδυαστική ερμηνεία όλων των τομών γεωραντάρ προέκυψε ότι η διεύθυνση των τριών δεξαμενών είναι ΝΔ-ΒΑ. Οι δεξαμενές έχουν μήκος γύρω στα 20 μέτρα και είναι θαμμένες σε βάθος περίπου 1 μέτρο.

Δημιουργήθηκαν συνθετικά δεδομένα χρησιμοποιώντας κεραίες 400 MHz ώστε να μελετηθεί η απόκριση του γεωραντάρ για δεξαμενές παρόμοιου σχήματος και διαστάσεων με αυτές που διασκοπήθηκαν. Εξετάστηκαν 14 μοντέλα και χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά υλικά τόσο για την δεξαμενή όσο και για το περιεχόμενο της. Οι τομές των συνθετικών δεδομένων γεωραντάρ υπέστησαν επεξεργασία η οποία περιλάμβανε ανάλυση ταχυτήτων, χωροθέτηση και μετατροπή των τομών σε τομές βάθους. Παρατηρήθηκε ότι το γεωραντάρ απεικονίζει με πολύ καλή ακρίβεια το πάνω όριο της δεξαμενής.

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Τι είναι η Γεωφυσική

Γεωφυσική καλείται ο κλάδος των Φυσικών Επιστημών, ο οποίος έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των φυσικών φαινομένων που σχετίζονται με τη Γη και διαδραματίζονται σε αυτήν. Χρησιμοποιούνται σεισμικές και ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι, καθώς και μέθοδοι καταγραφής ραδιενεργών φαινομένων.

Στο πεδίο της Γεωφυσικής περιλαμβάνονται οι εξής επιμέρους τομείς¹:

- Σεισμολογία
- Βαρυτομετρία
- Μετεωρολογία
- Ωκεανογραφία
- Γεωμαγνητική
- Υδρολογία ή Υδρογεωλογία
- Γεωδυναμική
- Τεκτονική
- Γεωμηχανική
- Ορυκτοφυσική
- Εφαρμοσμένη Γεωφυσική

1.2 Γεωφυσική Έρευνα

Κάθε Γεωφυσική έρευνα² έχει σαν στόχο τον εντοπισμό και την μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων των υπόγειων στρωμάτων, καθώς και τον εντοπισμό και τη μελέτη ανωμαλιών στο υπέδαφος, είτε αυτές προέρχονται από ενταφιασμένα αντικείμενα, είτε αποτελούν φυσικές ανωμαλίες παραδείγματος χάριν ρηγμάτων ή υπόγειου νερού.

Ανάλογα με τον τελικό στόχο κάθε έρευνας επιλέγονται οι μέθοδοι, ο εξοπλισμός, καθώς και ο τρόπος εκτέλεσης της γεωφυσικής έρευνας, που θα χρησιμοποιηθούν με στόχο την ακριβή και πιο γρήγορη εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων με το χαμηλότερο δυνατό κόστος.

¹ «Γεωφυσική», Βικιπέδια

² «Γεωφυσική Έρευνα και Γεωφυσικές Μέθοδοι», Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Γεωργίας Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης

1.3 Μέθοδοι Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

Στον κλάδο της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, έχοντας υπόψη τον διαθέσιμο εξοπλισμό, οι μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν είναι οι εξής³:

- Η μέθοδος Γεωραντάρ.
- Η μέθοδος Σεισμικής Διάθλασης.
- Η μέθοδος Σεισμικής Ανάκλασης.
- Η μέθοδος Γεωηλεκτρικής Βυθοσκόπησης, χαρτογράφησης και τομογραφίας.
- Η Βαρυτομετρική Μέθοδος.
- Η Μαγνητομετρική Μέθοδος.
- Η Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος.
- Η μέθοδος VLF.
- Η μέθοδος Φυσικού Δυναμικού.
- Η μέθοδος Επαγόμενης Πολικότητας.

1.4 Εφαρμογή γεωραντάρ στην απεικόνιση θαμμένων ανθρωπογενών δομών

Η πρώτη χρήση των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων για τον εντοπισμό θαμμένων αντικειμένων αποδίδεται στον γερμανό Hulsmeyer το 1904. Όμως η πρώτη δημοσιευμένη εργασία τέτοιων ερευνών πραγματοποιήθηκε από τους γερμανούς Leimbach και Lowy το 1910. Τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν στις έρευνες αυτές χρησιμοποιούσαν τεχνικές συνεχούς εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Το 1926 ο Hulsenbeck ανέπτυξε τα πρώτα συστήματα γεωραντάρ που χρησιμοποιούσαν παλμούς. Ο Hulsenbeck κατάλαβε τότε ότι οποιαδήποτε μεταβολή στην διηλεκτρική σταθερά των σχηματισμών και όχι απαραίτητα μόνο η ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορούσε να παράξει ανακλώμενο κύμα.

Την δεκαετία του 1980 η τεχνολογία του γεωραντάρ γνώρισε μεγάλη άνθιση με την εισαγωγή ψηφιακών συστημάτων, η οποία άνοιξε τον δρόμο στην επεξεργασία σήματος και την ανάπτυξη καινούριων εφαρμογών.

Μετά από χρόνια έρευνας το 2000 οι Grandjean et al πραγματοποίησαν δοκιμές σε ειδικό χώρο δοκιμών στην Γαλλία όπου υπάρχουν σωλήνες, έγκυλα και εδαφικές συνθήκες όμοιες με αυτές που συναντώνται σε μια αστική περιοχή. Οι δοκιμές αποτελούνταν από διασκοπήσεις τομογραφίας, κοινού ενδιάμεσου σημείου και ανάκλασης. Στα δεδομένα εφαρμόστηκαν διάφορες τεχνικές επεξεργασίας όπως

³ «Γεωφυσική Έρευνα και Γεωφυσικές Μέθοδοι», Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Γεωργίας Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης

αντιστροφή τομογραφίας, 2D και 3D χωροθέτηση, ανάλυση ταχυτήτων, καμπύλες εξασθένησης και μοντελοποίηση⁴.

1.5 Περιγραφή της διπλωματικής

Κεφάλαιο 1: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά για την έννοια της γεωφυσικής, της γεωφυσικής έρευνας καθώς και για τις μεθόδους που περιλαμβάνει η Εφαρμοσμένη Γεωφυσική.

Κεφάλαιο 2: Το δεύτερο κεφάλαιο περιγράφει σε γενικές γραμμές την αρχή λειτουργίας της μεθόδου του γεωραντάρ, τις μεθόδους διασκόπησης, και τις εφαρμογές του. Γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και στις κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται. Επίσης ασχολείται με το πρόγραμμα MATGPR που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων (συνθετικά-πραγματικά) και με τα φίλτρα που προσαρμόστηκαν στις τομές γεωραντάρ.

Κεφάλαιο 3: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων για θαμμένη δεξαμενή, απαριθμούνται οι παράμετροι και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, και μετά γίνεται η χωροθέτηση της κάθε τομής και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 4: Το τέταρτο κεφάλαιο ασχολείται με την επεξεργασία των πραγματικών δεδομένων, η οποία γίνεται για δυο συχνότητες 400 MHz και 900 MHz, ακολουθεί χωροθέτηση, γίνονται διαγράμματα με τις παραμέτρους της ταχύτητας, του χρόνου, της απόστασης και της θέσης της κάθε δεξαμενής και στο τέλος ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 5: Το τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που απορρέουν από την εργασία.

⁴ Πουλιούδης, Γ. (2001), «Μέθοδοι Επεξεργασίας Καταγραφών Γεωραντάρ», Μεταπτυχιακή Εργασία

Κεφάλαιο 2 – Η μέθοδος του γεωραντάρ

2.1 Αρχή λειτουργίας

Η μέθοδος του γεωραντάρ⁵ εφαρμόζεται στην έρευνα δομών μικρού βάθους και χρησιμοποιεί ραδιοκύματα εύρους συχνότητας από 1 έως 1200 MHz. Η λειτουργία του στηρίζεται στην ανάκλαση ραδιοκυμάτων. Το σύστημα του γεωραντάρ εκπέμπει ένα ηλεκτρομαγνητικό παλμό στο υπό έρευνα υλικό. Ο παλμός, που διαρκεί μερικά νανοδευτερόλεπτα, θα ταξιδεύσει στο έδαφος μέχρι να συναντήσει επιφάνεια με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες. Τότε ένα μέρος της ενέργειας του παλμού θα διαδοθεί στο δεύτερο στρώμα και ένα μέρος θα ανακλαστεί στην επιφάνεια και θα επιστρέψει στην κεραία του δέκτη. Το σήμα που λαμβάνει η κεραία του δέκτη προωθείται στην μονάδα ελέγχου, όπου καταγράφεται ο χρόνος διαδρομής καθώς και το πλάτος του κύματος. Η διάδοση του παλμού στο υπέδαφος είναι συνάρτηση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του μέσου διάδοσης και της συχνότητας εκπομπής της κεραίας. Η εκπομπή και λήψη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί από την ίδια κεραία ή από δυο διαφορετικές κεραίες (μία για την εκπομπή και μία για την λήψη).



Σχήμα 2.1 Μέτρηση με γεωραντάρ (Πηγή: www.terramentor.com).

⁵ Πουλιούδης, Γ. (1999), «Γεωφυσική διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου με την μέθοδο του υπεδάφειου ραντάρ», Διπλωματική Εργασία



Σχήμα 2.2 Απεικόνιση λειτουργίας του γεωραντάρ (Πηγή: www.geo-analysis.com).

2.2 Τύποι συστημάτων γεωραντάρ

Υπάρχουν δυο τύποι συστημάτων γεωραντάρ και είναι οι εξής :

1. **Μονοστατικά συστήματα** : Υπάρχει μια μόνο κεραία που χρησιμεύει ως πομπός και δέκτης ταυτόχρονα (εκπέμπει-καταγράφει).
2. **Διστατικά συστήματα** : Ο πομπός και ο δέκτης είναι ξεχωριστές κεραίες.

2.3 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

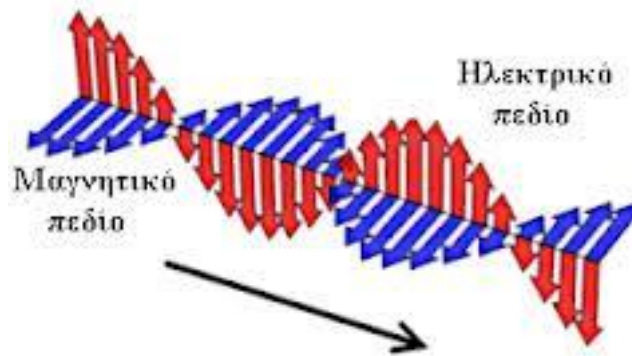
Ο κύριος στόχος της μονάδας έλεγχου του γεωραντάρ είναι να καταγράψει το πλάτος του ανακλώμενου παλμού, καθώς επίσης και το χρόνο που μεσολαβεί από τη στιγμή εκπομπής του παλμού από τον πομπό έως και τη λήψη του από το δέκτη. Στη γεωφυσική μέθοδο διασκόπησης με γεωραντάρ⁶, ο δέκτης καταγράφει τρία είδη κυμάτων με διαφορετικά πλάτη και διαφορετικούς χρόνους άφιξης.

- **Ανακλώμενα κύματα**: Τα κύματα αυτά εκπέμπονται από τον πομπό του οργάνου και διαδίδονται στο έδαφος μέχρι να συναντήσουν κάποια ασυνέχεια ή υλικό με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες. Τότε ένα μέρος ανακλάται και ένα ποσοστό της ενέργειας του ηλεκτρομαγνητικού παλμού επιστρέφει στο δέκτη όπου και γίνεται καταγραφή του χρόνου διαδρομής και του πλάτους του.
- **Απ' ευθείας κύματα**: Τα κύματα αυτά διαδίδονται από τον πομπό στο δέκτη χωρίς να ανακλαστούν σε κάποια επιφάνεια. Χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

⁶ Παρασκευάς, Ε. (2008), «Απεικόνιση υπόγειων δεξαμενών με τη μέθοδο γεωραντάρ», Διπλωματική Εργασία

α) απ' ευθείας κύματα αέρα, β) απ' ευθείας κύματα εδάφους. Τα απ' ευθείας κύματα αέρα είναι αυτά που καταγράφονται πρώτα από το δέκτη του οργάνου σε κάθε μέτρηση, και αυτό συμβαίνει διότι η ταχύτητα διάδοσης στον αέρα είναι η μέγιστη δυνατή. Αμέσως μετά είναι οι αφίξεις των απ' ευθείας κυμάτων εδάφους.

- **Κρίσιμα διαθλώμενα κύματα:** Όταν σε μια διασκόπηση κοινού ενδιαμέσου σημείου ή σταθερού πομπού και κινούμενου δέκτη, η απόσταση του δέκτη υπερβεί μια κρίσιμη τιμή, τότε το κύμα ανακλάται στην πρώτη επιφάνεια που θα συναντήσει και έπειτα διαθλάται στην επιφάνεια και διαδίδεται προς τον πομπό μέσω του αέρα.



Σχήμα 2.3 Απεικόνιση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου (Πηγή: www.learnfromphysics.blogspot.gr).

2.4 Μέθοδοι διασκόπησης

Το γεωραντάρ χρησιμοποιείται με διάφορες τεχνικές για την συλλογή των δεδομένων. Τρεις από τις πιο συνηθισμένες είναι: η μέθοδος της ανάκλασης, η μέθοδος του κοινού ενδιαμέσου σημείου και η μέθοδος της τομογραφίας⁷.

- **Η μέθοδος της ανάκλασης:** Είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος και εφαρμόζεται στην χαρτογράφηση των γεωλογικών στρωμάτων. Για τον σκοπό αυτό οι κεραίες του πομπού και του δέκτη κινούνται κατά μήκος της γραμμής μελέτης διατηρώντας συγκεκριμένο προσανατολισμό και σταθερή απόσταση.
- **Η μέθοδος του κοινού ενδιαμέσου σημείου:** Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε

⁷ Πουλιούδης, Γ. (2001), «Μέθοδοι Επεξεργασίας Καταγραφών Γεωραντάρ», Μεταπτυχιακή Εργασία

συνάρτηση του βάθους. Για τον λόγο αυτό οι δυο κεραίες απομακρύνονται από σταθερό σημείο κατά μήκος της γραμμής μελέτης και καταγράφεται ο χρόνος διαδρομής του κύματος για τον ίδιο ανακλαστήρα.

- **Η μέθοδος της τομογραφίας:** Η μέθοδος αυτή δεν στηρίζεται στην ανάκλαση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος όπως οι προηγούμενες αλλά στη διέλευση αυτού μέσα από την μάζα του υλικού μελέτης. Για να μελετηθούν οι ιδιότητες του υλικού οι κεραίες τοποθετούνται στις δυο απέναντι πλευρές με τέτοιο τρόπο, ώστε να αντικρίζει η μία την άλλη.

2.5 Εφαρμογές του γεωραντάρ

Η ραγδαία εξέλιξη στην ηλεκτρονική τεχνολογία μετά το 1970 έδωσε σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη του γεωραντάρ, έτσι ώστε σήμερα να κατατάσσεται στις σύγχρονες μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης με συνεχώς αυξανόμενο πλήθος εφαρμογών.

Μερικές από αυτές είναι οι εξής⁸:

- Καθορισμός του πάχους γεωλογικών στρωμάτων.
- Καθορισμός του βάθους υδροφόρων οριζόντων.
- Προσδιορισμός υπόγειων έγκοιλων και στοών.
- Εντοπισμός θαμμένων αρχαιοτήτων.
- Χαρτογράφηση των πάγων.
- Υπολογισμός της έκτασης της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων.
- Εντοπισμός θαμμένων σωλήνων και καλωδίων.
- Έλεγχος της κατάστασης της ασφάλτου των δρόμων.
- Ανεύρεση μεταλλικών και μη μεταλλικών αντικειμένων.
- Μετρήσεις σε γεωτρήσεις.

2.6 Επεξεργασία των τομών Γεωραντάρ με το MATGPR

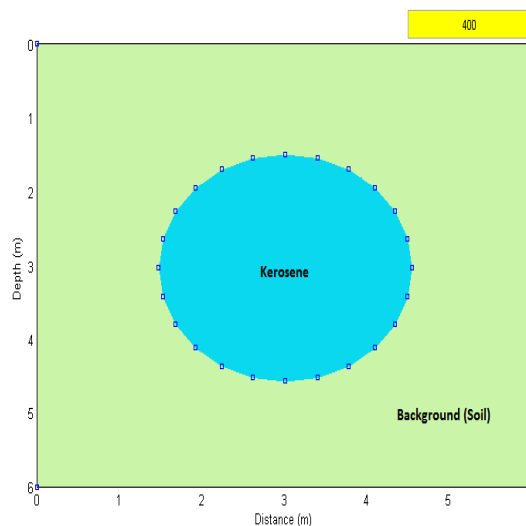
Το πρόγραμμα MATGPR⁹ δημιουργήθηκε από τον κύριο Ανδρέα Τζάνη αναπληρωτή καθηγητή της Γεωφυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου των Αθηνών. Το πρόγραμμα αυτό είναι ένα σύστημα λογισμικού δύο επιπέδων (Σχήμα 2.4). Στο πάνω επίπεδο είναι υπάρχουν οι λειτουργίες διαχείρισης δεδομένων. Το κάτω επίπεδο αποτελείται από μια ακολουθία αυτοτελών λειτουργιών, οι οποίες αφορούν το χειρισμό, την απεικόνιση και την επεξεργασία δεδομένων. Η φιλοσοφία σχεδίασης είναι αρκετά απλή, η

⁸ Πουλιούδης, Γ. (1999), «Γεωφυσική διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου με την μέθοδο του υπεδάφειου ραντάρ», Διπλωματική Εργασία

⁹ Tzanis, A. (2006), "MATGPR: A freeware MATLAB package of common-offset GPR data"

επεξεργασία ακολουθεί έναν κύκλο μεταξύ των δεδομένων που εισάγονται και αυτών που εξάγονται. Κάθε χρήστης είναι αυτός που θα αποφασίσει και θα εφαρμόσει το στάδιο της επεξεργασίας και μετά θα αξιολογήσει το αποτέλεσμα. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στο να παραχθούν λύσεις σχετικές με αλγόριθμους και τεχνικές ανάλυσης οι οποίες είναι απαραίτητες και δεν παρέχονται με το σύστημα Matlab.

Αφού εισαχθεί μια τομή γεωραντάρ στο εν λόγω λογισμικό ο χρήστης βλέπει και τις πληροφορίες του αρχείου οι οποίες είναι : α) το όνομα του αρχείου, β) το συνολικό μήκος της γραμμής μελέτης, γ) ο αριθμός των ιχνών, δ) η ισαπόσταση των ιχνών, ε) η δειγματοληψία στο χρόνο, ζ) τα δείγματα ανά ίχνος, η) η συχνότητα της κεραίας, θ) ο συνολικός χρόνος καταγραφής, ι) η διεύθυνση που πραγματοποιήθηκε η γραμμή μελέτης.



Σχήμα 2.4 Matgpr λογισμικό δυο επιπέδων.

Για να γίνει η επεξεργασία των τομών ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία :

- Αρχικά εφαρμόστηκε η διόρθωση Dewow, που διώχνει τις χαμηλές σχετικά συχνότητες οι οποίες θεωρούνται θόρυβος.
- Στη συνέχεια εφαρμόστηκε φίλτρο Global Background. Το συγκεκριμένο φίλτρο, αφού υπολογίσει τον μέσο όρο όλων των ιχνών της τομής γεωραντάρ (μέσο ίχνος), τον αφαιρεί από όλα τα ίχνη ξεχωριστά.
- Αμέσως μετά πραγματοποιήθηκε ανάλυση ταχυτήτων με τη χρήση των υπερβολών περίθλασης.
- Έχοντας υπολογίσει την ταχύτητα πραγματοποιήθηκε χωροθέτηση.
- Μετά ακολούθησε η δημιουργία τομής βάθους.

Κεφάλαιο 3 – Συνθετικά δεδομένα γεωραντάρ

3.1 Αλγόριθμος προσομοίωσης

Για τη δημιουργία συνθετικών τομών γεωραντάρ χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος που περιγράφει την διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ανομοιογενές μέσο. Ο αλγόριθμος αυτός επιλύει τις εξισώσεις του Maxwell σε δυο διαστάσεις (Bitri and Grandjean, 1998), με την μέθοδο της προς τα κάτω συνέχειας του κυματικού πεδίου στο χώρο συχνότητας και κυματαριθμού. Ειδικότερα το κυματικό πεδίο προκύπτει από την εφαρμογή τεχνικής μετατόπισης της φάσης θεωρώντας αρχικά ότι η διηλεκτρική σταθερά σε κάθε στρώμα παραμένει ίδια. Στη συνέχεια εφαρμόζοντας διόρθωση η οποία λαμβάνει υπόψη τυχούσα πλευρική μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς¹⁰.

3.2 Περιγραφή των μοντέλων

Κατά την δημιουργία των συνθετικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο υπεδάφους στο οποίο υπάρχει θαμμένη μια κυλινδρική δομή είτε αυτή ήταν από πλαστικό, είτε από μέταλλο. Η κυλινδρική αυτή δομή περιείχε νερό ή κενό ή κηροζίνη. Αφού έτρεξε το πρόγραμμα πρόεκυψαν διάφορες τομές γεωραντάρ συνδυάζοντας τα παραπάνω υλικά. Στόχος ήταν να μελετηθεί η απόκριση του γεωραντάρ στα διάφορα υλικά να αποτυπωθεί η συμπεριφορά του κάθε υλικού, και να γίνει ανάλυση των ανακλάσεων ώστε να προκύψει αν αυτές μετά την χωροθέτηση απεικονίζουν την πάνω ή την κάτω επιφάνεια της κυλινδρικής δομής.

Πιο συγκεκριμένα για να δημιουργηθεί η κάθε συνθετική τομή γεωραντάρ το πρόγραμμα ζητούσε 3 παραμέτρους: αντίσταση, διηλεκτρική σταθερά και μαγνητική διαπερατότητα. Αυτές οι παράμετροι εισήχθησαν για το κάθε μοντέλο υπεδάφους, για την αντίστοιχη θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή και για το υλικό που περιείχε. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι οι συνθετικές τομές έγιναν για συχνότητα 400 MHz και για να γίνει η χωροθέτηση των συνθετικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι ταχύτητες 0,095m/ns και 0,122m/ns που αντιστοιχούν σε έδαφος και τσιμέντο αντίστοιχα.

Επιπλέον παράμετροι:

1. Αριθμός ιχνών: 152
2. Ισαπόσταση ιχνών: 0,03949 m
3. Διάστημα δειγματοληψίας: 0,2778 ns
4. Δείγματα ανά ίχνος: 502
5. Συνολικός χρόνος καταγραφής: 139,17 ns

¹⁰ Bitri, A. and Grandjean, G.(1998), "Frequency - wavenumber modelling and migration of 2D GPR data in moderately heterogeneous dispersive media"

Υλικά	Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση (Ohmm)	Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά	Ταχύτητα (m/ns)
Έδαφος(soil)	1000	10	0,095
Τσιμέντο (concrete)	1754,38	6	0,122
Πλαστικό (PVC)	2000	3,3	0,165
Νερό (water drinking)	50	80	0,033
Μέταλλο (Pec)	0,001	3	0,0019
Κηροζίνη (kerosene)	2000	3	0,211
Κενό (free Space)	100000	1	0,299

Πίνακας 3.1 Παράμετροι των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των συνθετικών τομών γεωραντάρ.

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι παράμετροι των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των συνθετικών τομών και στον πίνακα 3.2 το βάθος, η ταχύτητα και ο χρόνος που πρόεκυψαν από αυτές. Η σχετική διηλεκτρική σταθερά δίνεται σε σχέση με την διηλεκτρική σταθερά του κενού.

Μοντέλο	Βάθος (m)		Ταχύτητα (m/ns)		Χρόνος (ns)	
	1 ^ο στρώμα	Δεξαμενή	1 ^ο στρώμα	Δεξαμενή	1 ^ο στρώμα	Δεξαμενή
1 (α)	1,5	4,5	0,095	0,033	31	212
1 (β)	1,5	4,5	0,095	0,211	31	59
2 (α)	1,5	4,5	0,122	0,165	24	60
2 (β)	1,5	4,5	0,122	0,211	24	52
3 (α)	1,5	4,5	0,095	0,211	31	59
3 (β)	1,5	4,5	0,095	0,033	31	212
4 (α)	1,5	4,5	0,122	0,033	24	205
4 (β)	1,5	4,5	0,122	0,211	24	52
5 (α)	1,5	4,5	0,095	0,033	31	212
5 (β)	1,5	4,5	0,095	0,299	31	51
6 (α)	1,5	4,5	0,122	0,165	24	60
6 (β)	1,5	4,5	0,122	0,299	24	44
7 (α)	1,5	4,5	0,095	0,211	31	59
7 (β)	1,5	4,5	0,095	0,0019	31	-

Πίνακας 3.2 Βάθος, ταχύτητα και χρόνος που πρόεκυψαν από τις συνθετικές τομές γεωραντάρ:

Στον πίνακα 3.3 φαίνεται ότι ο πυθμένας της δεξαμενής εμφανίζεται σε μικρότερο βάθος στις συνθετικές τομές και δίνεται και το σφάλμα αυτής της τιμής.

Μοντέλο	Χρόνος (ns)	Πραγματικό βάθος (m)	Θεωρητικό βάθος (m)	Σφάλμα	Σφάλμα %
1(α)	212	4,5	-	-	-
1(β)	59	4,5	3	0,33	33
2(α)	60	4,5	3,8	0,16	16
2(β)	52	4,5	3,3	0,27	27
3(α)	59	4,5	3	0,33	33
3(β)	212	4,5	-	-	-
4(α)	205	4,5	-	-	-
4(β)	52	4,5	3,4	0,24	24
5(α)	212	4,5	-	-	-
5(β)	51	4,5	2,7	0,40	40
6(α)	60	4,5	2,9	0,36	36
6(β)	44	4,5	2,6	0,42	42
7(α)	59	4,5	3,2	0,29	29
7(β)	-	4,5	-	-	-

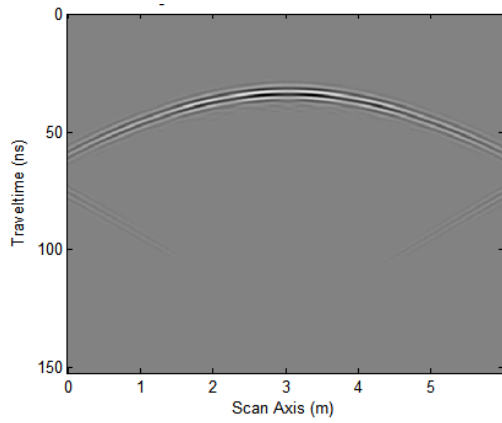
Πίνακας 3.3 Πραγματικό βάθος του πυθμένα της δεξαμενής σε σχέση με το υπολογισμένο από την τομή βάθους.

3.2 Συνθετικές τομές γεωραντάρ

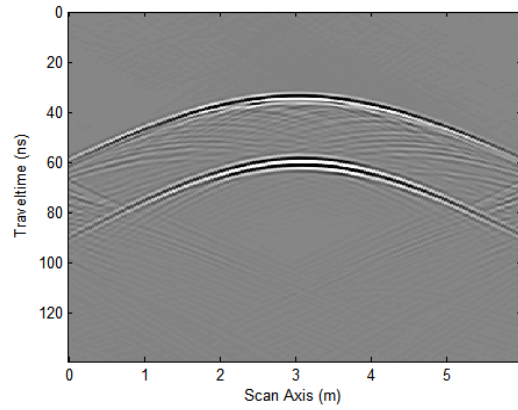
- Στο σχήμα 3.1: Η τομή **(1α)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό που περιέχει νερό. Η **(1γ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,095 m/ns και η **(1ε)** είναι τομή βάθους. Η τομή **(1β)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό που περιέχει κηροζίνη. Η **(1δ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,095 m/ns και η **(1ζ)** είναι τομή βάθους.
- Στο σχήμα 3.2: Η τομή **(2α)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε τσιμέντο, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό. Η **(2γ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,122 m/ns και η **(2ε)** είναι τομή βάθους. Η τομή **(2β)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε τσιμέντο, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από που περιέχει κηροζίνη. Η **(2δ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,122 m/ns και η **(2ζ)** είναι τομή βάθους.
- Στο σχήμα 3.3: Η τομή **(3α)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει κηροζίνη. Η **(3γ)** είναι χωροθετημένη

τομή για ταχύτητα 0,095 m/ns και η **(3ε)** είναι τομή βάθους. Η τομή **(3β)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει νερό. Η **(3δ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,095 m/ns και η **(3ζ)** είναι τομή βάθους.

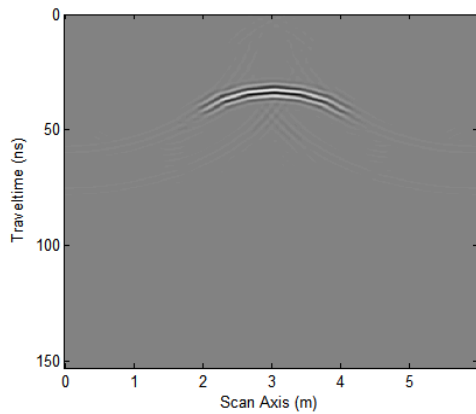
- Στο σχήμα 3.4: Η τομή **(4α)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε τσιμέντο, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό που περιέχει νερό. Η **(4γ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,122 m/ns και η **(4ε)** είναι τομή βάθους. Η τομή **(4β)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε τσιμέντο, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό που περιέχει κηροζίνη. Η **(4δ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,122 m/ns και η **(4ζ)** είναι τομή βάθους.
- Στο σχήμα 3.5: Η τομή **(5α)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε τσιμέντο, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει νερό. Η **(5γ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,122 m/ns και η **(5ε)** είναι τομή βάθους. Η τομή **(5β)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από που περιέχει κενό. Η **(5δ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,095 m/ns και η **(5ζ)** είναι τομή βάθους.
- Στο σχήμα 3.6: Η τομή **(6α)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε τσιμέντο, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό που περιέχει κενό. Η **(6γ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,122 m/ns και η **(6ε)** είναι τομή βάθους. Η τομή **(6β)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό που περιέχει κενό. Η **(6δ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,095 m/ns και η **(6ζ)** είναι τομή βάθους.
- Στο σχήμα 3.7: Η τομή **(7α)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή(μεγαλύτερου πάχους) από πλαστικό που περιέχει κηροζίνη. Η **(7γ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,095 m/ns και η **(7ε)** είναι τομή βάθους. Η τομή **(7β)** πρόεκυψε από προσομοίωση μοντέλου υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος, στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από μέταλλο. Η **(7δ)** είναι χωροθετημένη τομή για ταχύτητα 0,095 m/ns και η **(7ζ)** είναι τομή βάθους.



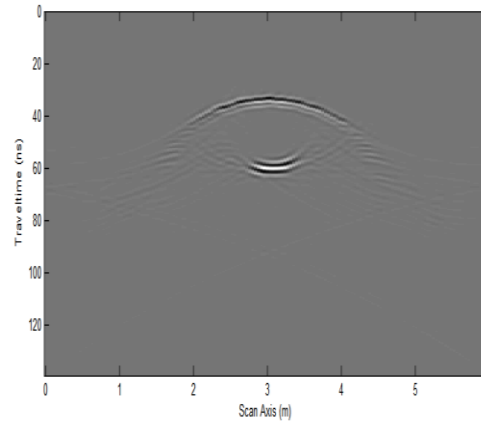
(1α)



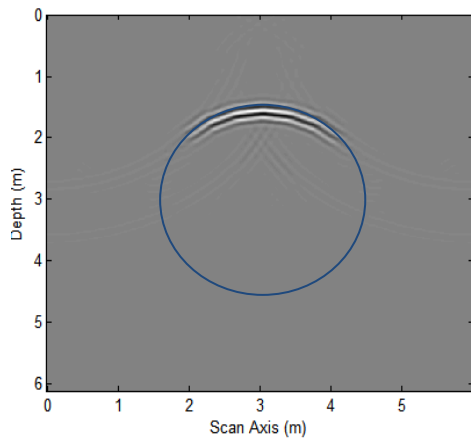
(1β)



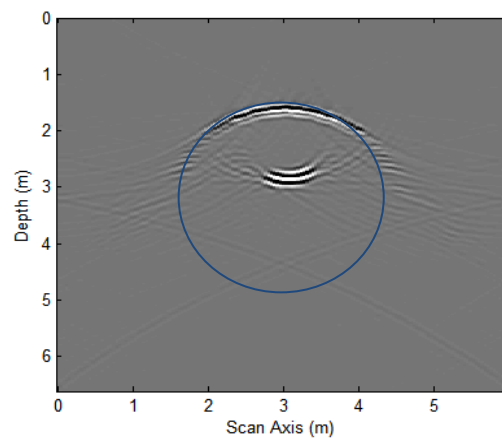
(1γ)



(1δ)

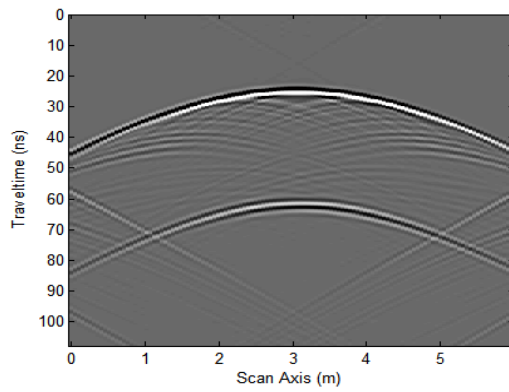


(1ε)

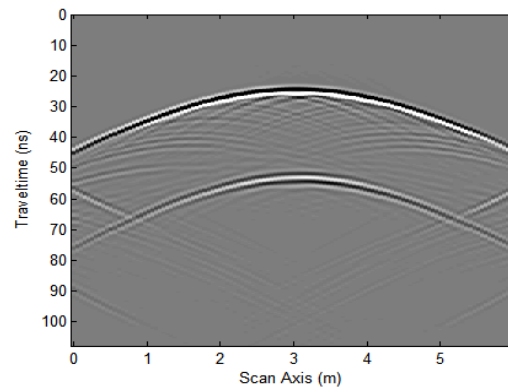


(1ζ)

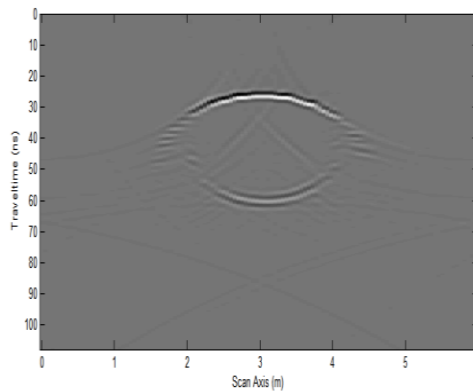
Σχήμα 3.1. Τομές γεωραντάρ που πρόεκυψαν από προσομοίωση για μοντέλο υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος (soil) στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό (PVC) που περιέχει νερό (1α) και για θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει κηροζίνη (1β). Οι (1γ) και (1δ) είναι οι αντίστοιχες χωροθετημένες τομές γεωραντάρ (ταχύτητα 0,095 m/ns) και οι (1ε) και (1ζ) είναι οι τομές βάθους. Με μπλέ κύκλο περιγράφεται το όριο της δεξαμενής.



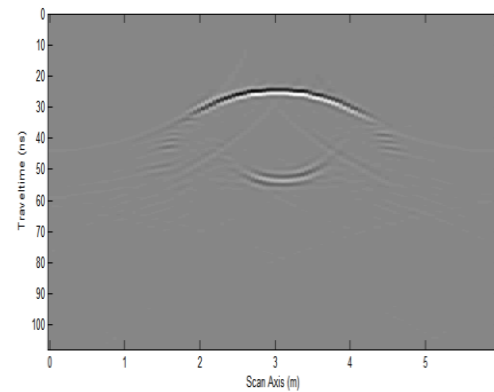
(2α)



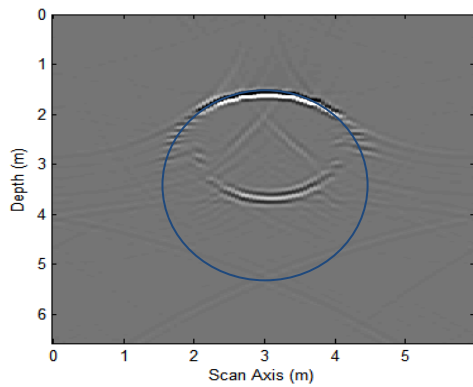
(2β)



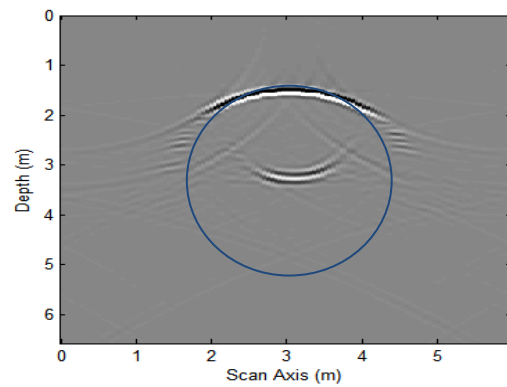
(2γ)



(2δ)

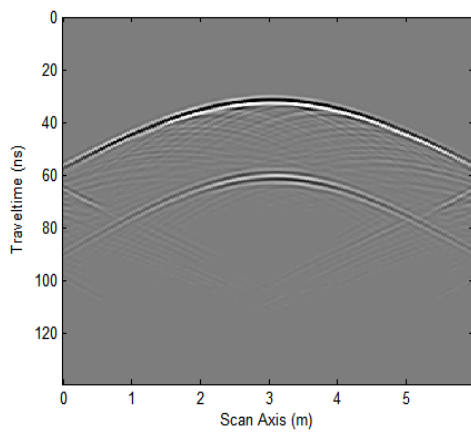


(2ε)

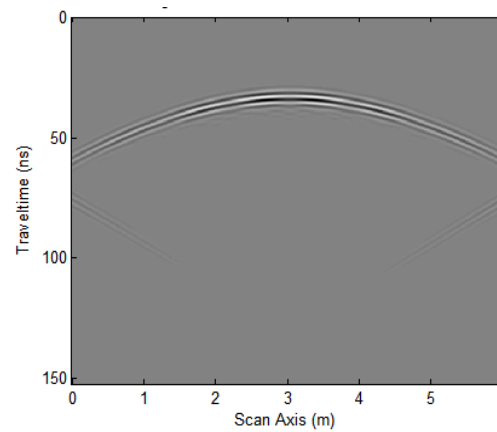


(2ζ)

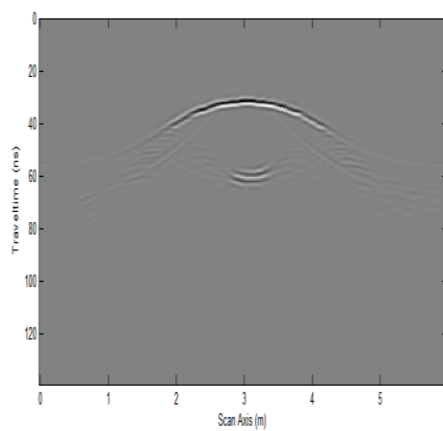
Σχήμα 3.2. Τομές γεωραντάρ που πρόέκυψαν από προσομοίωση για μοντέλο υπεδάφους που αντιστοιχεί σε τσιμέντο (concrete) στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό (PVC) (2α) και περιέχει κηροζίνη (2β). Οι (2γ) και (2δ) είναι οι αντίστοιχες χωροθετημένες τομές γεωραντάρ (ταχύτητα 0,122 m/ns) και οι (2ε) και (2ζ) είναι οι τομές βάθους. Με μπλε κύκλο περιγράφεται το όριο της δεξαμενής.



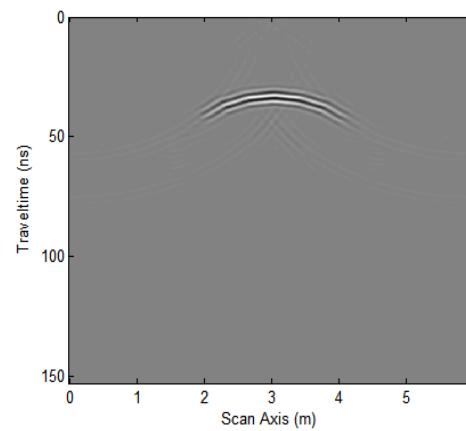
(3α)



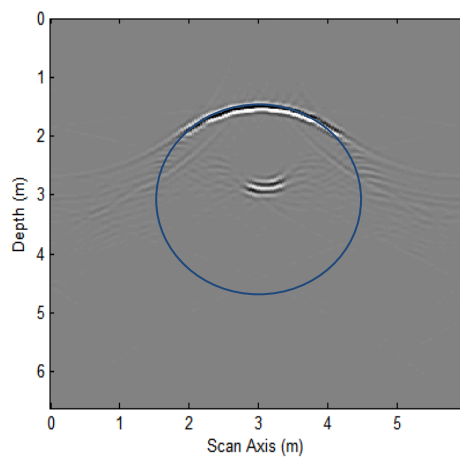
(3β)



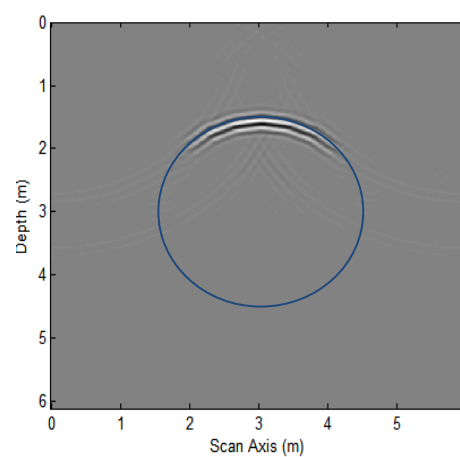
(3γ)



(3δ)

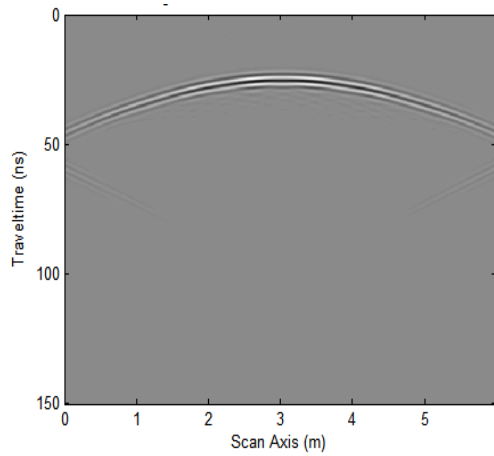


(3ε)

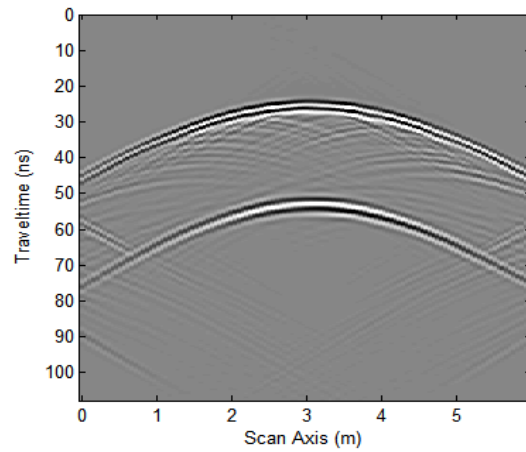


(3ζ)

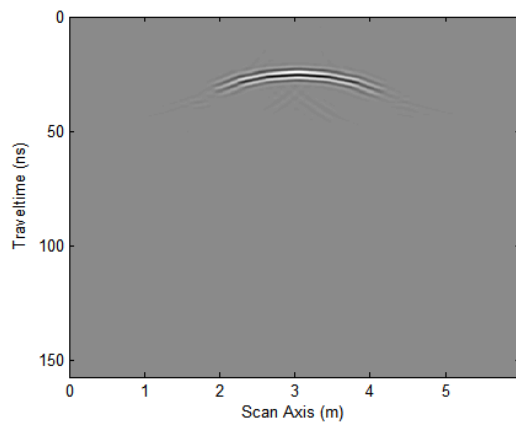
Σχήμα 3.3. Τομές γεωραντάρ που προέκυψαν από προσομοίωση βασιζόμενη για μοντέλο υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος (soil) στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει κηροζίνη (3α) και νερό (3β). Οι (3γ) και (3δ) είναι οι αντίστοιχες χωροθετημένες τομές γεωραντάρ (ταχύτητα 0,095 m/ns) και οι (3ε) και (3ζ) είναι οι τομές βάθους. Με μπλε κύκλο περιγράφεται το όριο της δεξαμενής.



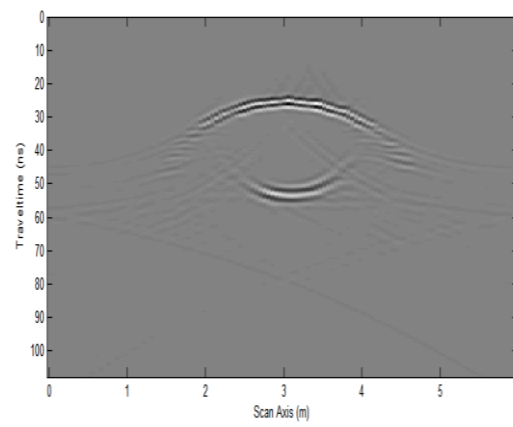
(4α)



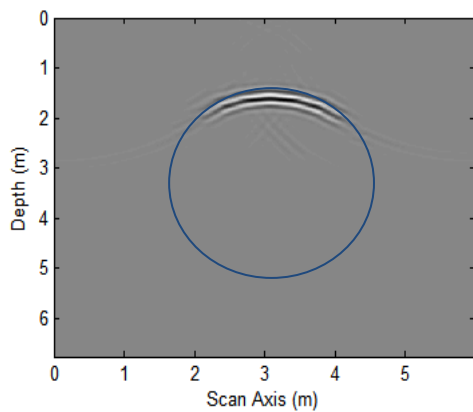
(4β)



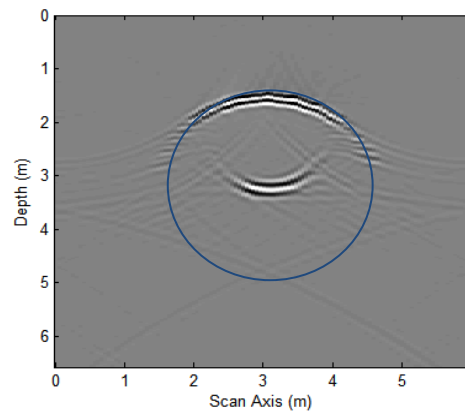
(4γ)



(4δ)

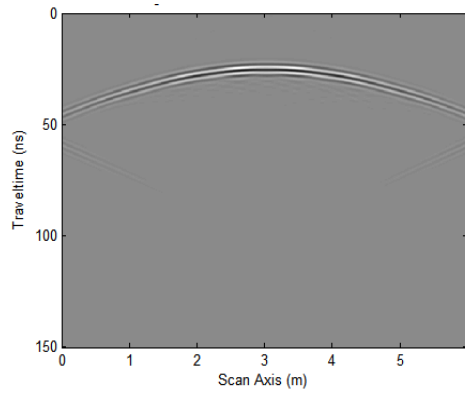


(4ε)

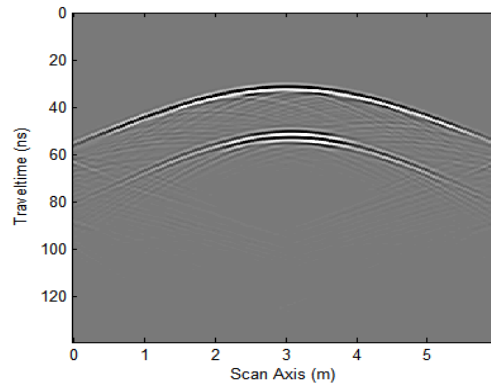


(4ζ)

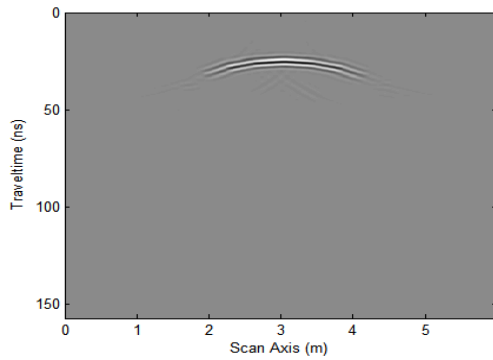
Σχήμα 3.4. Τομές γεωραντάρ που προέκυψαν από προσομοίωση βασιζόμενη για μοντέλο υπεδάφους που αντιστοιχεί σε τσιμέντο (concrete) στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό (PVC) που περιέχει νερό (4α) και κηροζίνη (4β). Οι (4γ) και (4δ) είναι οι αντίστοιχες χωροθετημένες τομές γεωραντάρ (ταχύτητα 0,122 m/ns) και οι (4ε) και (4ζ) είναι οι τομές βάθους. Με μπλε κύκλο περιγράφεται το όριο της δεξαμενής.



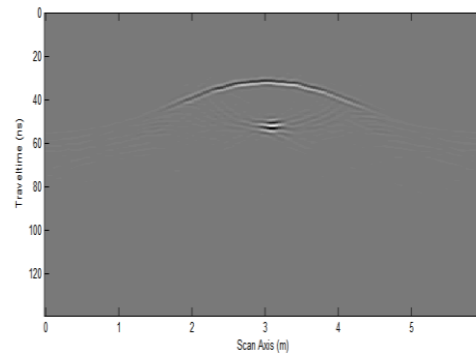
(5α)



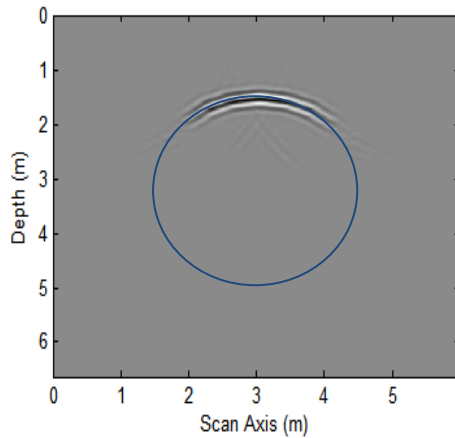
(5β)



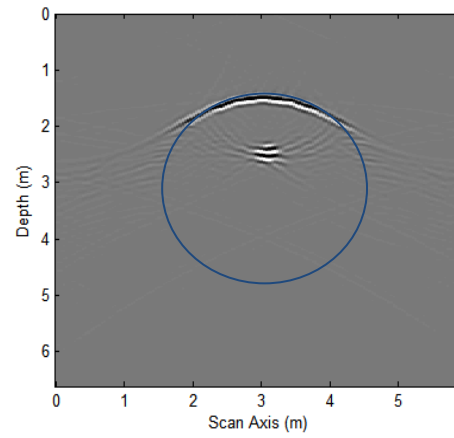
(5γ)



(5δ)

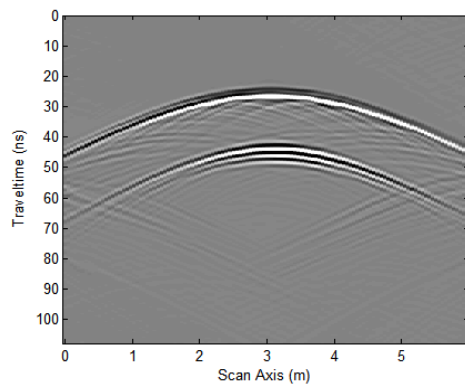


(5ε)

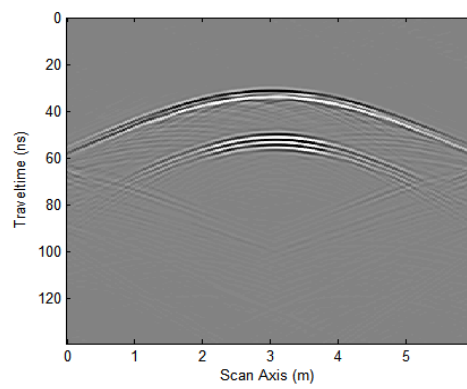


(5ζ)

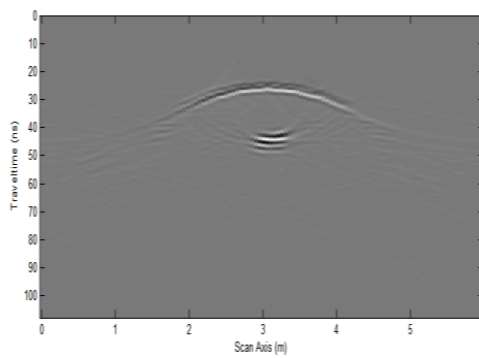
Σχήμα 3.5. Τομές γεωραντάρ που πρόεκυψαν από προσομοίωση βασιζόμενη για μοντέλο υπεδάφους που αντιστοιχεί σε τσιμέντο (concrete) στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει νερό (5α) και για μοντέλο υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος (soil) στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή που περιέχει κενό (5β). Οι (5γ) και (5δ) είναι οι αντίστοιχες χωροθετημένες τομές γεωραντάρ (ταχύτητες 0,122 m/ns και 0,095 m/ns) και οι (5ε) και (5ζ) είναι τομές βάθους. Με μπλε κύκλο περιγράφεται το όριο της δεξαμενής.



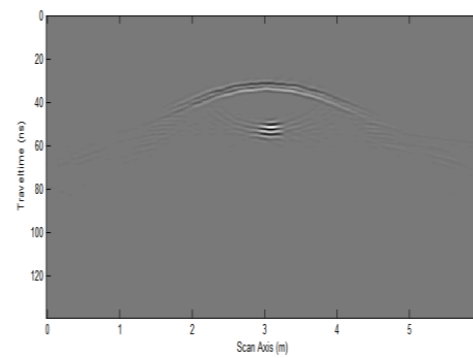
(6α)



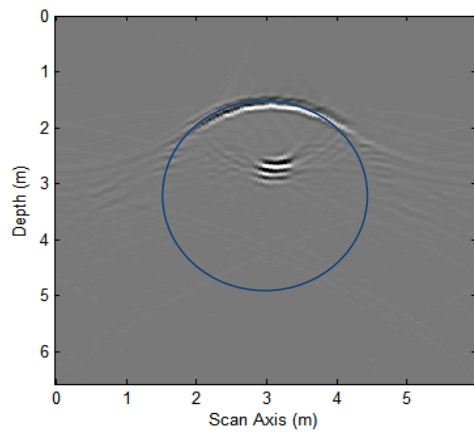
(6β)



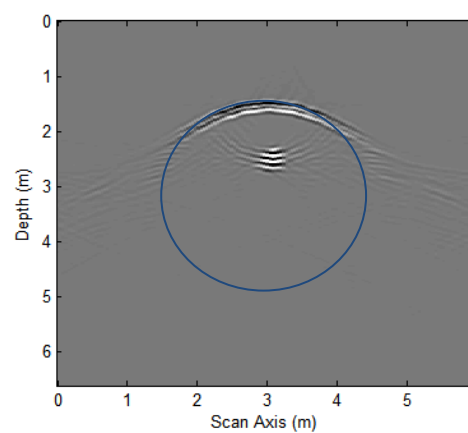
(6γ)



(6δ)

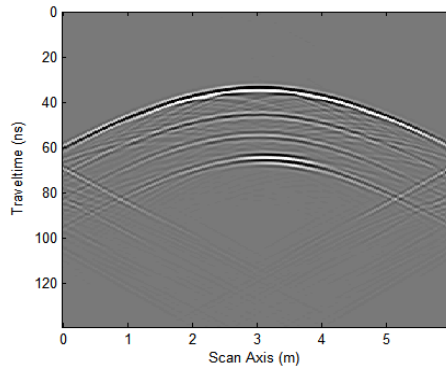


(6ε)

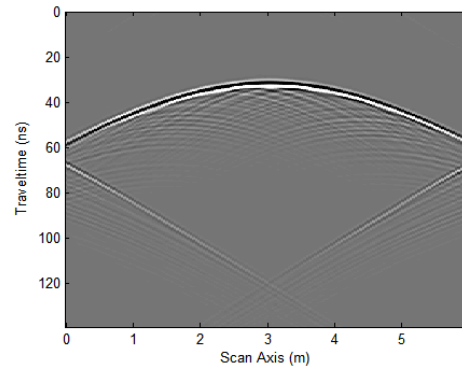


(6ζ)

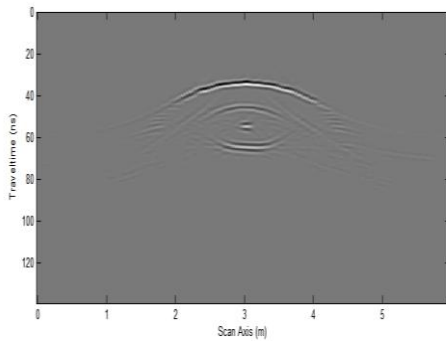
Σχήμα 3.6. Τομές γεωραντάρ που προέκυψαν από προσομοίωση βασιζόμενη για μοντέλο υπεδάφους που αντιστοιχεί σε τσιμέντο (concrete) στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό (PVC) που περιέχει κενό (6α) και για μοντέλο υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος (soil) στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από πλαστικό (PVC) που περιέχει κενό (6β). Οι (6γ) και (6δ) είναι οι αντίστοιχες χωροθετημένες τομές γεωραντάρ (ταχύτητες 0,122 m/ns και 0,095 m/ns) και οι (6ε) και (6ζ) είναι τομές βάθους. Με μπλε κύκλο περιγράφεται το όριο της δεξαμενής.



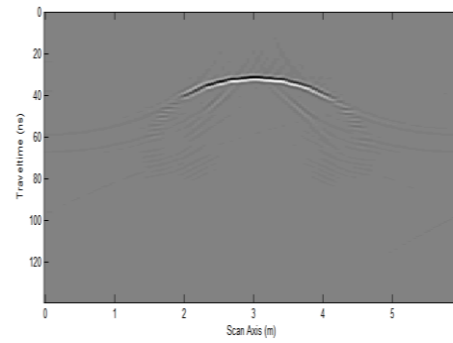
(7α)



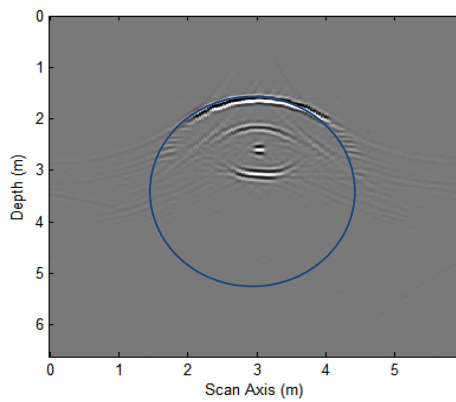
(7β)



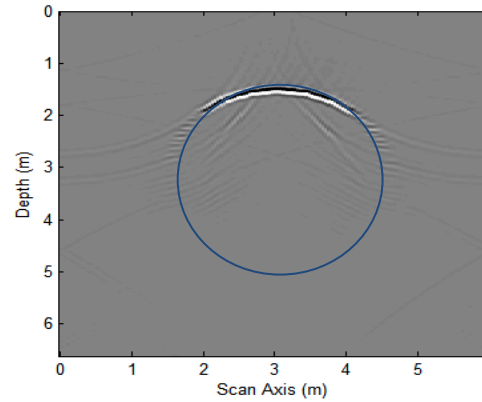
(7γ)



(7δ)



(7ε)



(7ζ)

Σχήμα 3.7. Τομές γεωραντάρ που πρόεκυψαν από προσομοίωση βασιζόμενη σε μοντέλο υπεδάφους που αντιστοιχεί σε έδαφος (soil) στο οποίο είναι θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή (με μεγαλύτερο πάχος) από πλαστικό (Pvc) που περιέχει κηροζίνη (7α) και για θαμμένη κυλινδρική δεξαμενή από μέταλλο (7β). Τα (7γ) και (7δ) είναι οι αντίστοιχες χωροθετημένες τομές γεωραντάρ (ταχύτητα 0,095 m/ns) και οι (7ε) και (7ζ) είναι τομές βάθους. Με μπλε κύκλο περιγράφεται το όριο της δεξαμενής.

Σχόλια: α) Μια πρώτη παρατήρηση είναι ότι στα μοντέλα όπου η δεξαμενή περιέχει νερό φαίνεται μόνο το πάνω όριο της δεξαμενής. Αυτό συμβαίνει γιατί το κύμα μέσα στο νερό εξασθενεί πολύ γρήγορα.

β) Ο πυθμένας της δεξαμενής απεικονίζεται σε μικρότερο βάθος στις τομές γεωραντάρ (Πίνακας 4.3). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για τη μετατροπή του διπλού κατακόρυφου χρόνου σε βάθος χρησιμοποιήθηκε η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο έδαφος ή το τσιμέντο. Η ταχύτητα σε αυτά τα υλικά είναι μικρότερη από αυτή στα ρευστά που πληρούν την δεξαμενή. Στον ίδιο πίνακα παρατηρείται μεγαλύτερο σφάλμα στην εκτίμηση του βάθους για τα μοντέλα στα οποία υπάρχει το στρώμα εδάφους.

γ) Η χωροθέτηση κρίνεται ότι απεικονίζει ικανοποιητικά την οροφή της δεξαμενής.

δ) Στην τομή για τη μεταλλική δεξαμενή γίνεται ολική ανάκλαση και δεν υπάρχει ανάκλαση από τον πυθμένα της. Άρα είναι εμφανές ότι είναι αδύνατον να απεικονιστεί ο πυθμένας της δεξαμενής.

Κεφάλαιο 4 – Πραγματικά δεδομένα γεωραντάρ

4.1 Περιγραφή του πειράματος για τα πραγματικά δεδομένα Γεωραντάρ

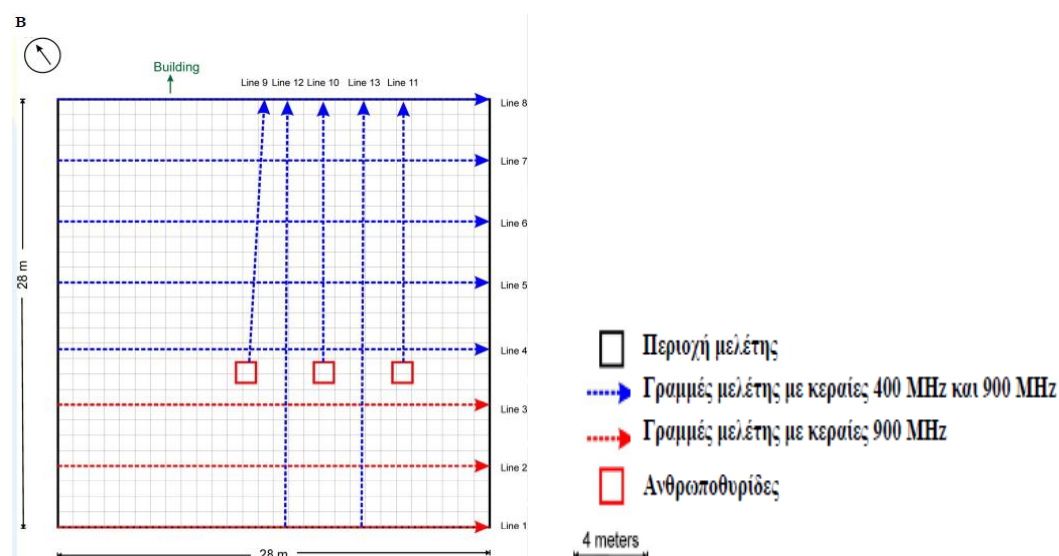
Πραγματοποιήθηκε διασκόπηση με γεωραντάρ σε περιοχή όπου υπήρχαν τρεις θαμμένες μεταλλικές κυλινδρικές δεξαμενές καυσίμων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε γραμμές μελέτης με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και ΝΔ-ΒΑ.

Ο στόχος αυτής της διασκόπησης ήταν να χαρτογραφηθούν οι δεξαμενές καθώς και να εκτιμηθεί το βάθος ταφής τους. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η μέθοδος διασκόπησης που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος σταθερής απόστασης πομπού-δέκτη.

Οι παράμετροι διασκόπησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ακόλουθοι:

1. Συχνότητα εκπομπής : 400 MHz και 900 MHz
2. Διάστημα δειγματοληψίας : 0.0342 ns
3. Βήμα διασκόπησης : 0.017 m
4. Απόσταση κεραίων : Μηδενική
5. Ολικός χρόνος καταγραφής : ≈ 60 ns
6. Αριθμός των ιχνών: 1699
7. Ισαπόσταση ιχνών: 0,01667 m
8. Δείγματα ανά ίχνος: 1688
9. Συνολικός χρόνος καταγραφής: 57,005 ns

Η διασκόπηση πραγματοποιήθηκε σε γραμμές μελέτης σύμφωνα με το παρακάτω σκαρίφημα :



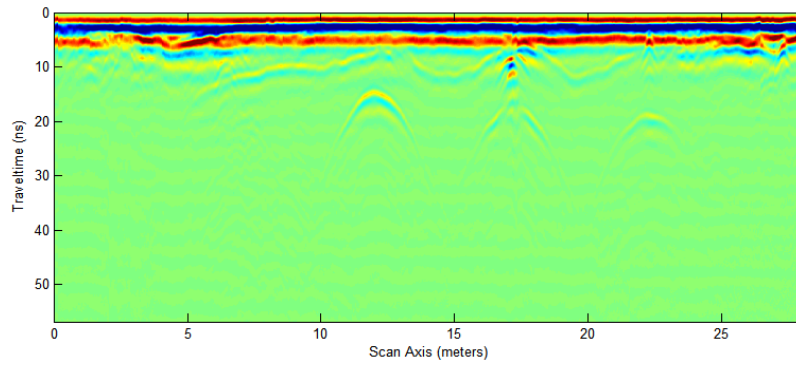
Σχήμα 4.1 Σκαρίφημα περιοχής μελέτης.

4.2 Βήματα επεξεργασίας

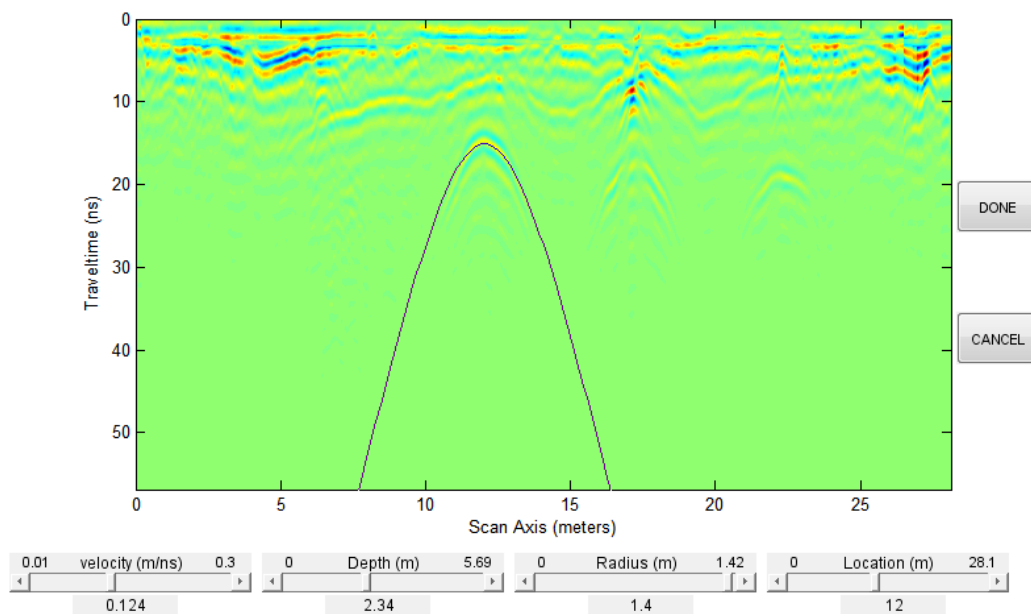
- Οι γραμμές στις οποίες έγινε η επεξεργασία είναι οι 4, 5, 6 ,7, 8 και για τις δυο συχνότητες 400 MHz και 900 MHz. Το μόνο δεδομένο ήταν ότι η διάμετρος των δεξαμενών είναι 3 m.
- Για να γίνει η επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MATGPR ώστε να προκύψουν οι τομές ανά γραμμή μελέτης και εφαρμόστηκαν η διόρθωση Dewow και το φίλτρο Global Background που αναφέρονται αναλυτικά στην ενότητα 2.6.
- Μετά ακολούθησε ανάλυση ταχυτήτων, αυτό που έγινε δηλαδή ήταν να προσαρμοσθεί μια υπερβολικού τύπου καμπύλη στην επιλεγμένη περίθλαση και να υπολογισθεί η ταχύτητα.
- Χρησιμοποιώντας την υπολογισμένη ταχύτητα από το προηγούμενο βήμα και άλλες τρεις προτεινόμενες ταχύτητες (0,09 m/ns ,0.1 m/ns, 0,12 m/ns) Πρόεκυψαν τέσσερις χωροθετημένες τομές γεωραντάρ, από τις οποίες επιλέχθηκε η καλύτερη. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε κάποιες περιπτώσεις η ταχύτητα του μοντέλου συνέπιπτε με μια από τις τρεις προτεινόμενες ταχύτητες.
- Τέλος έγιναν τομές βάθους για όλες τις γραμμές μελέτης, αφού σε κάθε γραμμή μελέτης και για όλες τις δεξαμενές πρόεκυψε η ίδια ταχύτητα.

4.3 Τομές πραγματικών δεδομένων

Στις παρακάτω γραμμές μελέτης δίνεται η τομή για την ανάλυση ταχυτήτων με την χρήση των υπερβολών περίθλασης μόνο για την πρώτη δεξαμενή. Οι τομές για την δεύτερη και τρίτη δεξαμενή για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο παράρτημα.

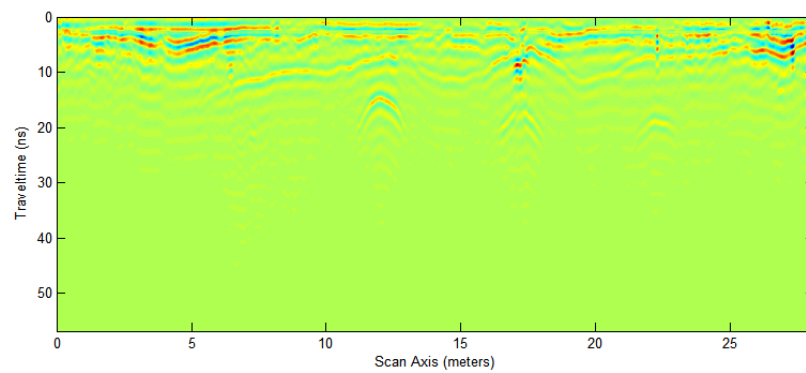
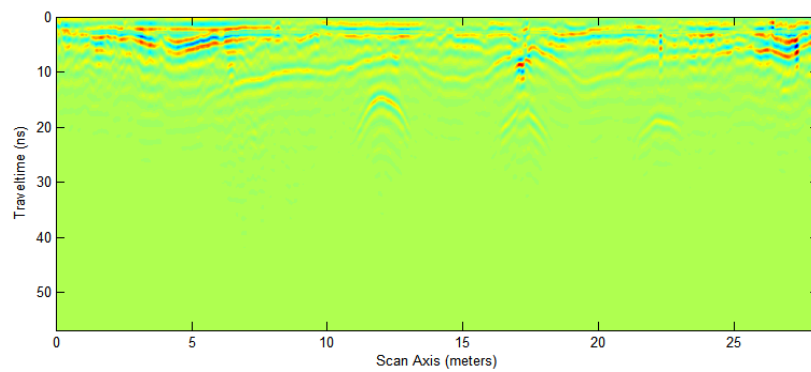
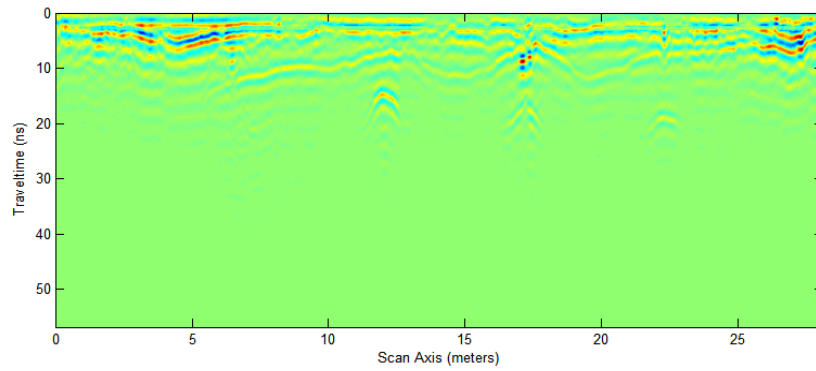


Σχήμα 4.2: Γραμμή Μελέτης 4 (400 MHz), μη επεξεργασμένα δεδομένα .

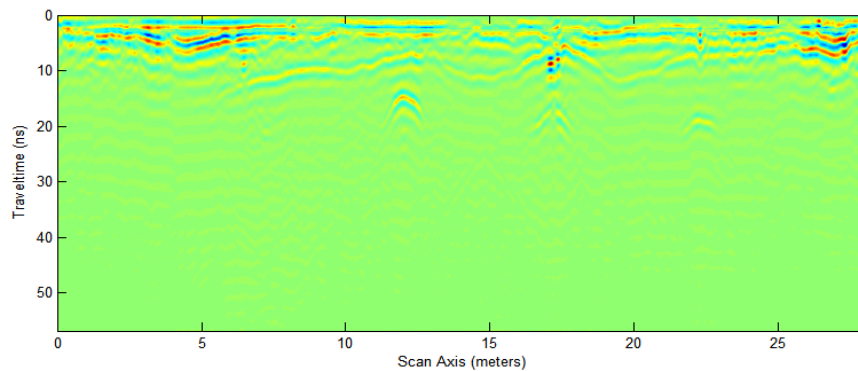


Σχήμα 4.3: Γραμμή Μελέτης 4 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Το σχήμα 4.2 απεικονίζει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα για την γραμμή μελέτης 4 (400 MHz). Η τομή γεωραντάρ του σχήματος 4.3 αντιστοιχεί στην γραμμή μελέτης 4 (400 MHz). Η μαύρη γραμμή περιγράφει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από το πάνω όριο της κυλινδρικής θαμμένης δεξαμενής. Στο κάτω μέρος της εικόνας απεικονίζονται η ταχύτητα (0,124 m/ns), το βάθος το κέντρου της δεξαμενής (2,34 m), η ακτίνα (1,4 m) και η θέση της προς έρευνα κυλινδρικής δομής (12 m).

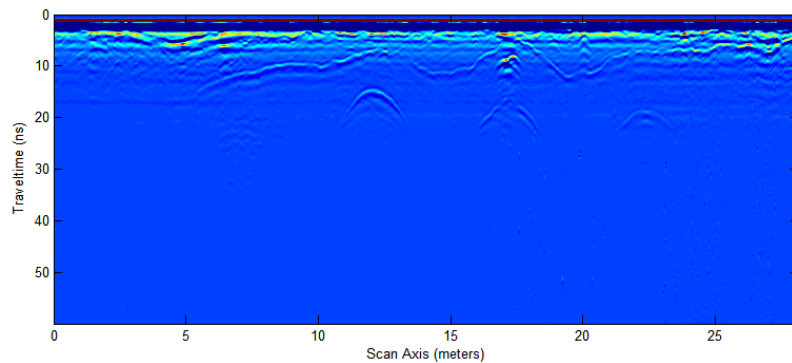


Σχήμα 4.4. Χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 4 (400 MHz) για ταχύτητες 0,124 m/ns (πάνω), 0,09 m/ns (μέση) και 0,1 m/ns (κάτω).

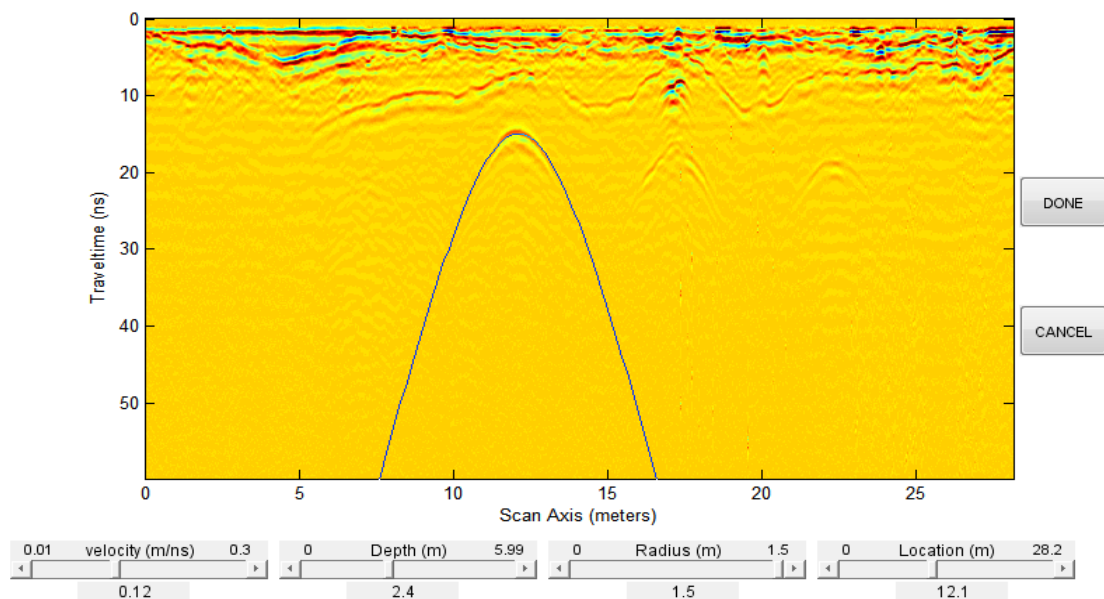


Σχήμα 4.5 Χωροθετημένη τομή για την γραμμή μελέτης 4(400 MHz) για ταχύτητα 0,12 m/ns.

Το σχήμα 4.4 απεικονίζει τις χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 4 (400 MHz) για ταχύτητες 0,124 m/ns, 0,09 m/ns, 0,11 m/ns αντίστοιχα. Το σχήμα 4.5 απεικονίζει την χωροθετημένη τομή για την γραμμή μελέτης 4 (400 MHz) για ταχύτητα 0,12 m/ns.

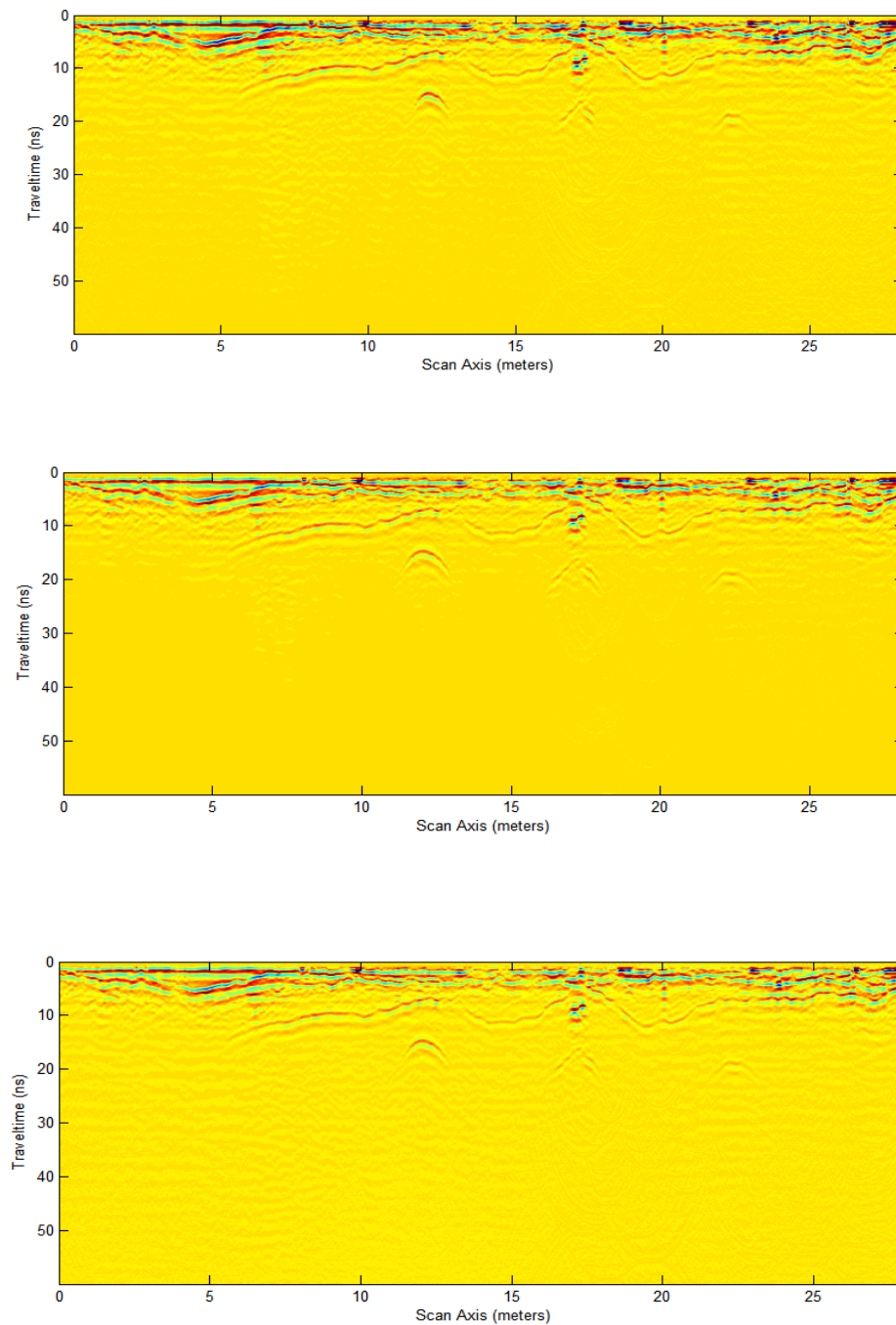


Σχήμα 4.6 : Γραμμή Μελέτης 4 (900 MHz) , μη επεξεργασμένα δεδομένα.



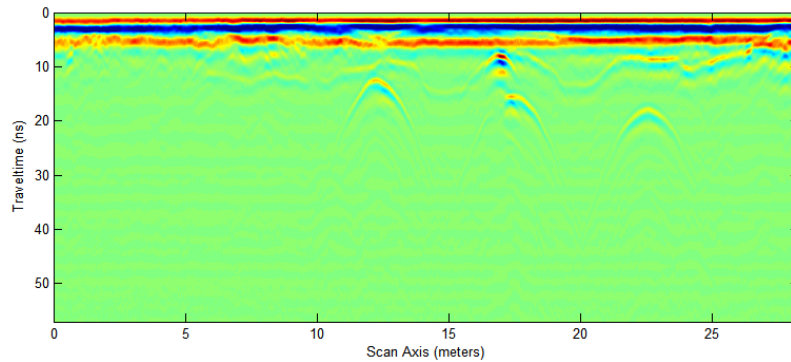
Σχήμα 4.7: Γραμμή Μελέτης 4 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Το σχήμα 4.6 απεικονίζει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα για την γραμμή μελέτης 4 (900 MHz). Η τομή γεωραντάρ του σχήματος 4.7 αντιστοιχεί στην γραμμή μελέτης 4 (900 MHz). Η μαύρη γραμμή περιγράφει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από το πάνω όριο της κυλινδρικής θαμμένης δεξαμενής. Στο κάτω μέρος της εικόνας απεικονίζονται η ταχύτητα (0,12 m/ns), το βάθος του κέντρου της δεξαμενής (2,4 m), η ακτίνα (1,5 m) και η θέση της προς έρευνα κυλινδρικής δομής (12,1 m).

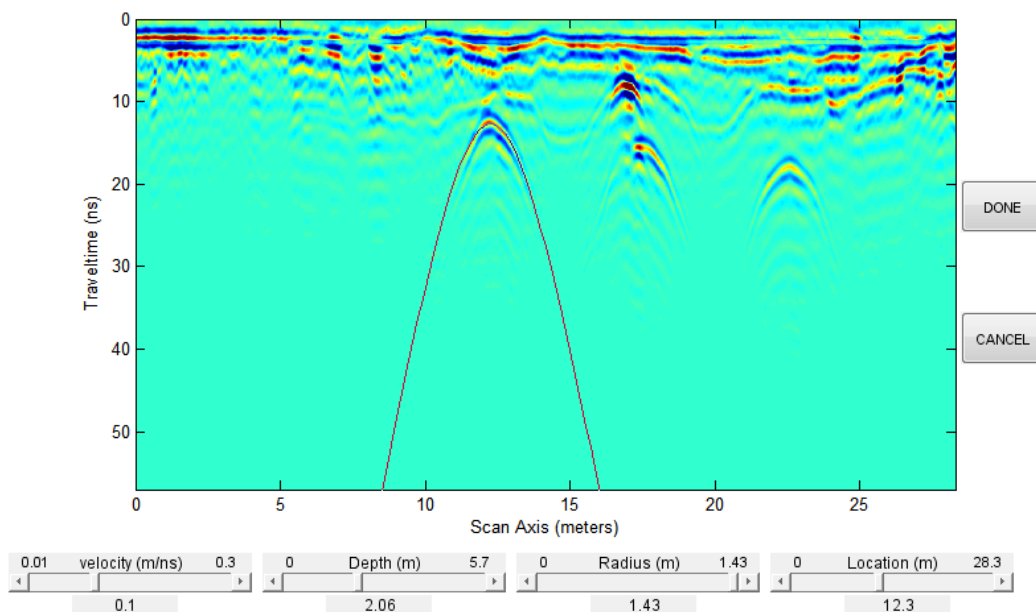


Σχήμα 4.8: Είναι χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 4 (900 MHz) για ταχύτητες 0,12 m/ns (πάνω), 0,09 m/ns (μέση), 0,1 m/ns (κάτω).

Το σχήμα 4.8 απεικονίζει τις χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 4 (900 MHz) για ταχύτητες 0,12 m/ns, 0,09 m/ns, 0,1 m/ns αντίστοιχα.

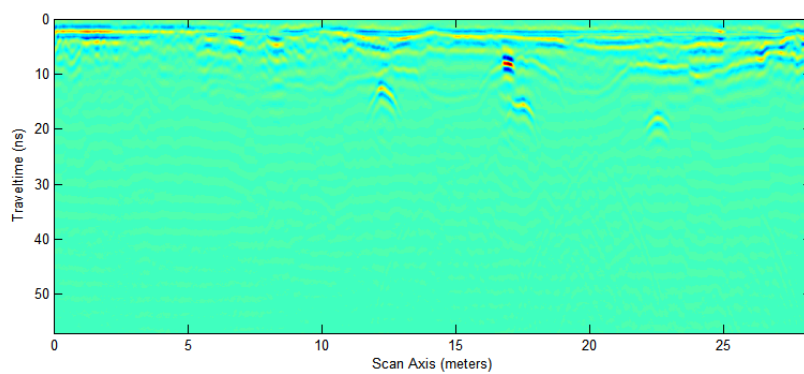
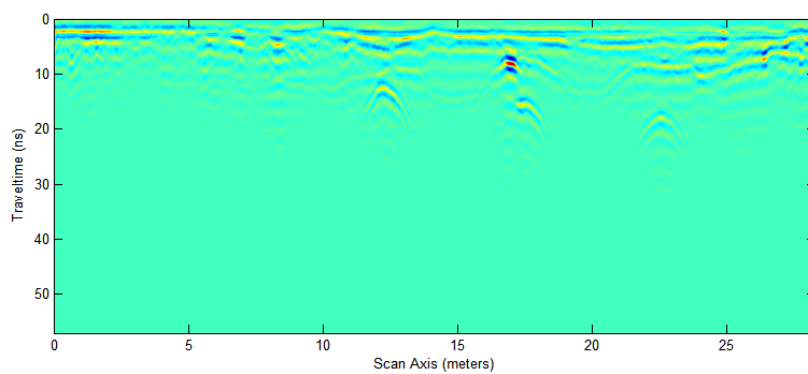
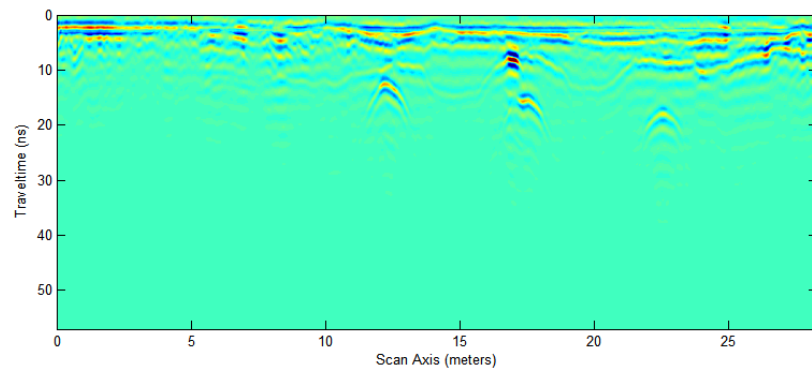


Σχήμα 4.9 : Γραμμή Μελέτης 5 (400 MHz) , μη επεξεργασμένα δεδομένα.



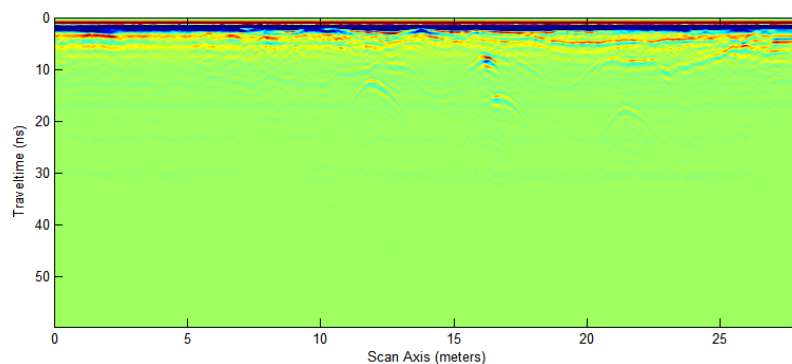
Σχήμα 4.10 : Γραμμή Μελέτης 5 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Το σχήμα 4.9 απεικονίζει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα για την γραμμή μελέτης 5 (400 MHz). Η τομή γεωραντάρ του σχήματος 4.10 αντιστοιχεί στην γραμμή μελέτης 5 (400 MHz). Η μαύρη γραμμή περιγράφει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από το πάνω όριο της κυλινδρικής θαμμένης δεξαμενής. Στο κάτω μέρος της εικόνας απεικονίζονται η ταχύτητα (0,1 m/ns), το βάθος του κέντρου της δεξαμενής (2,06 m), η ακτίνα (1,43 m) και η θέση της προς έρευνα κυλινδρικής δομής (12,3 m).

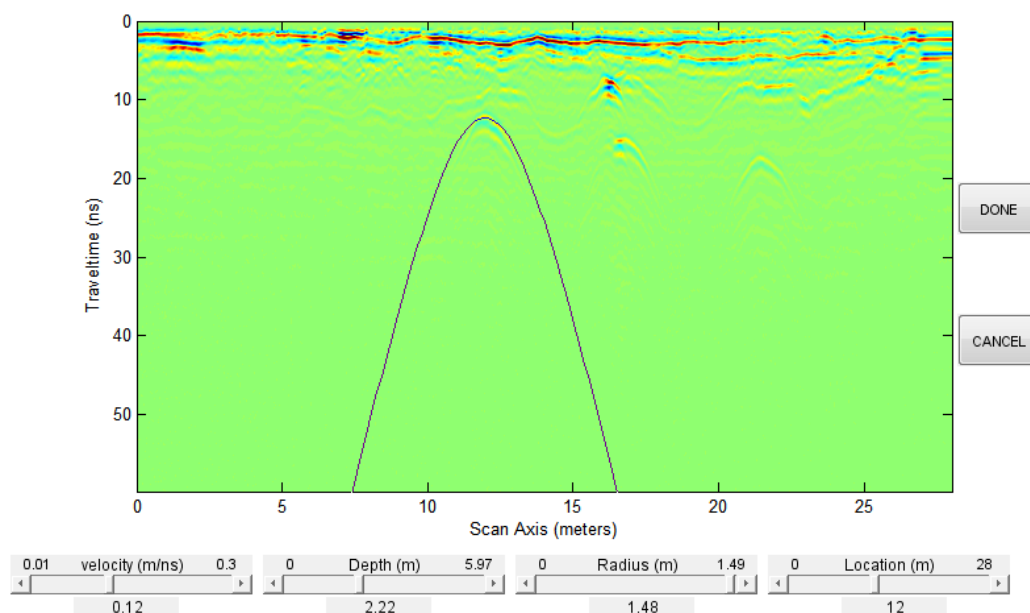


Σχήμα 4.11 Χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 5 (400 MHz) για ταχύτητες 0,1 m/ns (πάνω), 0,09 m/ns (μέση), 0,12 m/ns (κάτω) .

Το σχήμα 4.11 απεικονίζει τις χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 5 (400 MHz) για ταχύτητες 0,1 m/ns, 0,09 m/ns, 0,12 m/ns αντίστοιχα.

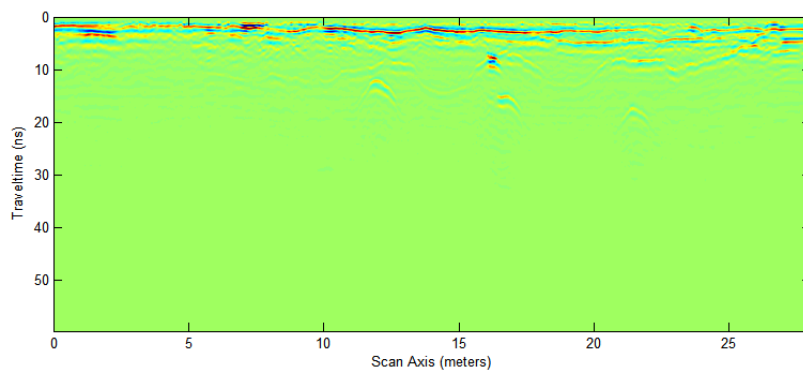
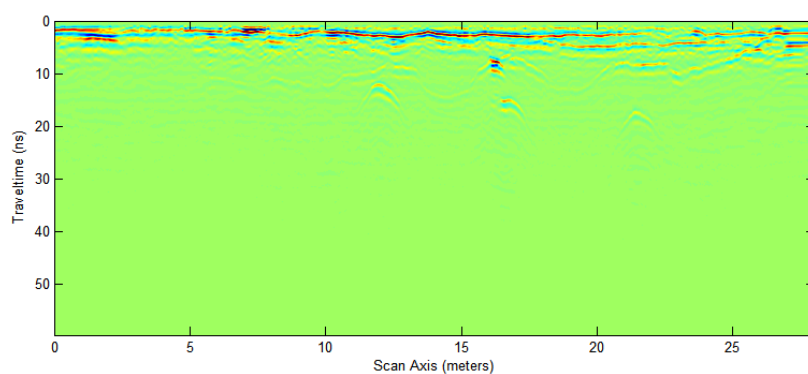
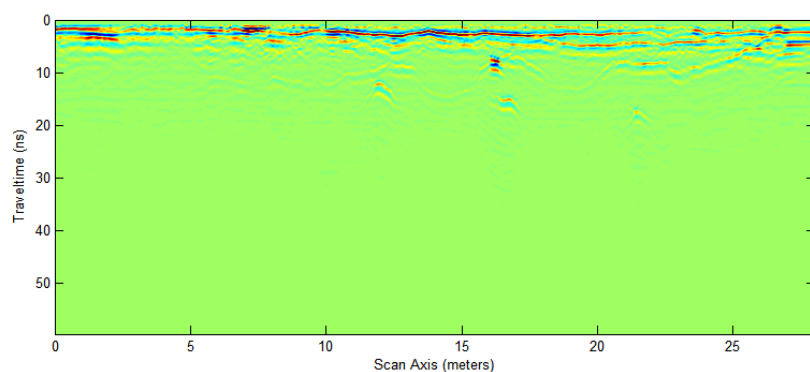


Σχήμα 4.12 : Μοντέλο 4. Γραμμή Μελέτης 5 (900 MHz) , μη επεξεργασμένα δεδομένα.



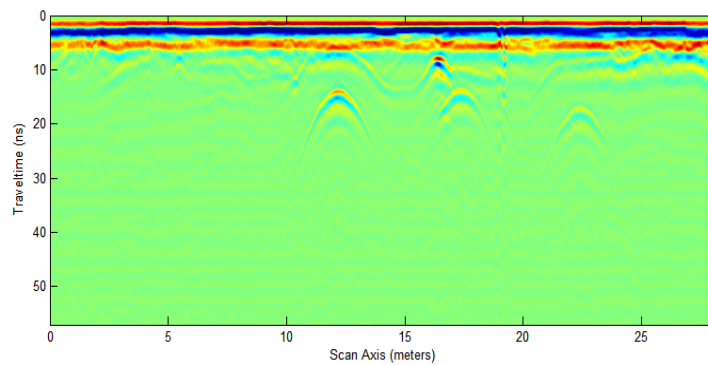
Σχήμα 4.13 : Γραμμή Μελέτης 5 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Το σχήμα 4.12 απεικονίζει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα για την γραμμή μελέτης 5 (900 MHz). Η τομή γεωραντάρ του σχήματος 4.13 αντιστοιχεί στην γραμμή μελέτης 5 (900 MHz). Η μαύρη γραμμή περιγράφει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από το πάνω όριο της κυλινδρικής θαμμένης δεξαμενής. Στο κάτω μέρος της εικόνας απεικονίζονται η ταχύτητα (0,12 m/ns), το βάθος του κέντρου της δεξαμενής (2,22 m), η ακτίνα (1,48 m) και η θέση της προς έρευνα κυλινδρικής δομής (12 m).

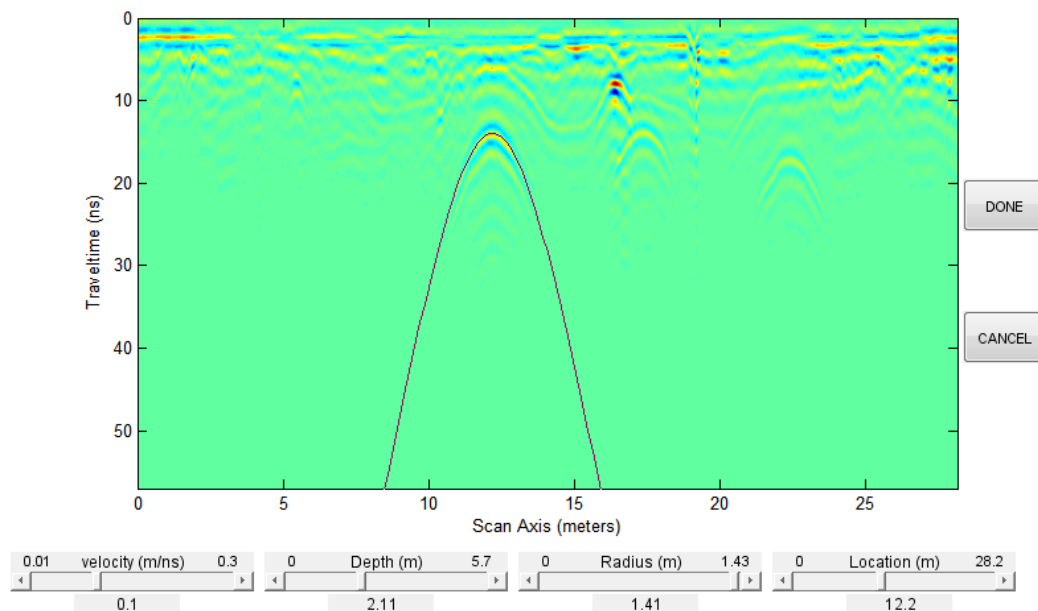


Σχήμα 4.14: Χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 5 (900 MHz) για ταχύτητες 0,12 m/ns (πάνω), 0,09 m/ns (μέση), 0,1 m/ns (κάτω).

Το σχήμα 4.14 απεικονίζει τις χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 5 (900 MHz) για ταχύτητες 0,12 m/ns, 0,09 m/ns, 0,1 m/ns αντίστοιχα.

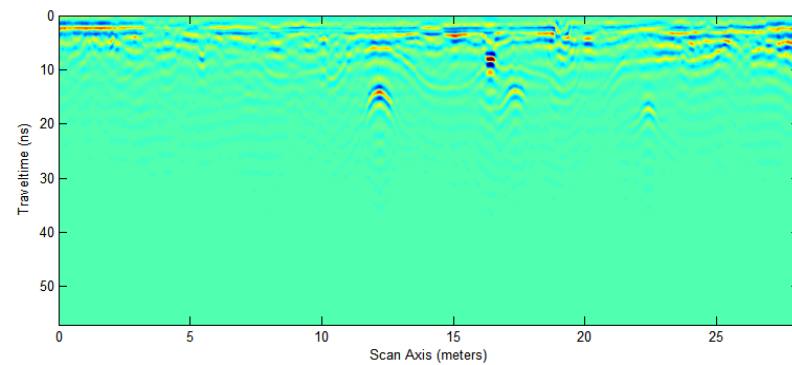
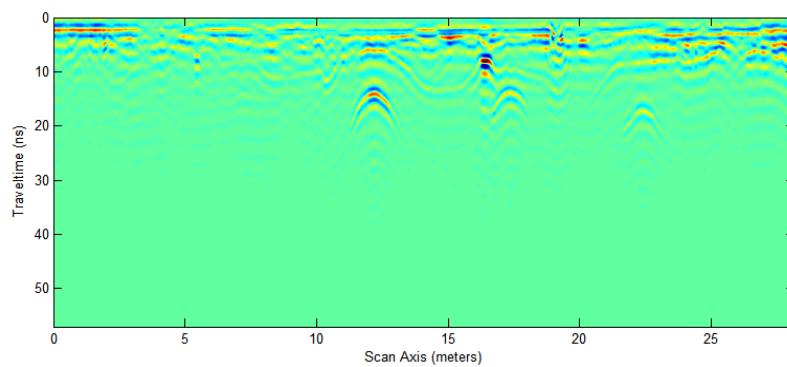
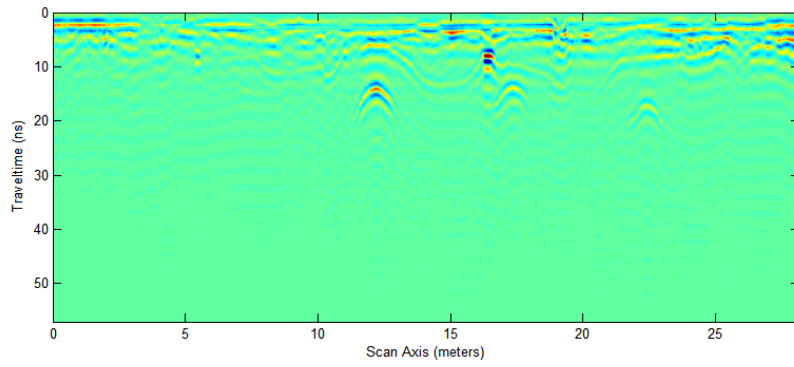


Σχήμα 4.15 : Γραμμή Μελέτης 6 (400 MHz) , μη επεξεργασμένα δεδομένα.



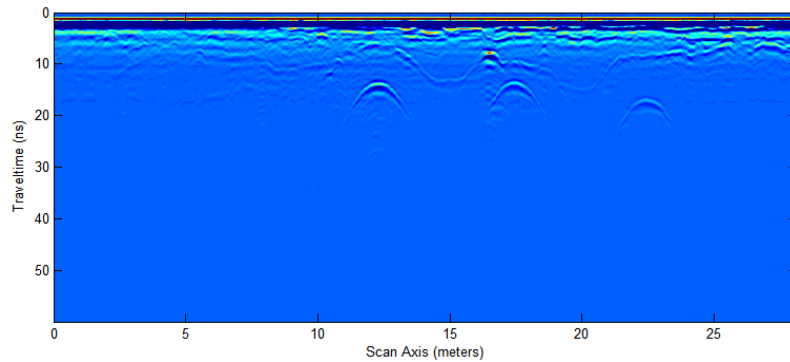
Σχήμα 4.16 : Γραμμή Μελέτης 6 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Το σχήμα 4.15 απεικονίζει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα για την γραμμή μελέτης 6 (400 MHz). Η τομή γεωραντάρ του σχήματος 4.16 αντιστοιχεί στην γραμμή μελέτης 6 (400 MHz). Η μαύρη γραμμή περιγράφει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από το πάνω όριο της κυλινδρικής θαμμένης δεξαμενής. Στο κάτω μέρος της εικόνας απεικονίζονται η ταχύτητα (0,1 m/ns), το βάθος του κέντρου της δεξαμενής (2,11 m), η ακτίνα (1,41 m) και η θέση της προς έρευνα κυλινδρικής δομής (12,2 m).

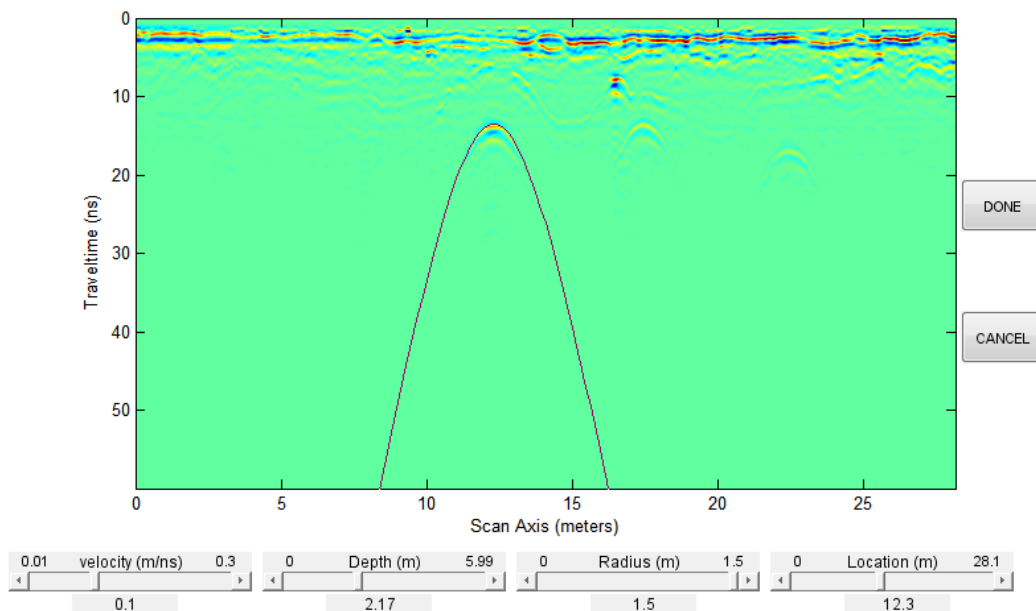


Σχήμα 4.17: Χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 6 (400 MHz) για ταχύτητες 0,1 m/ns (πάνω), 0,09 m/ns (μέση), 0,12 m/ns (κάτω).

Το σχήμα 4.17 απεικονίζει τις χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 6 (400 MHz) για ταχύτητες 0,1 m/ns, 0,09 m/ns, 0,12 m/ns αντίστοιχα.

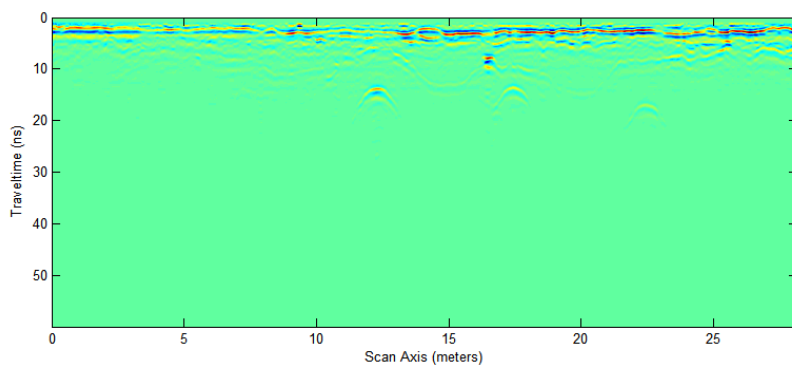
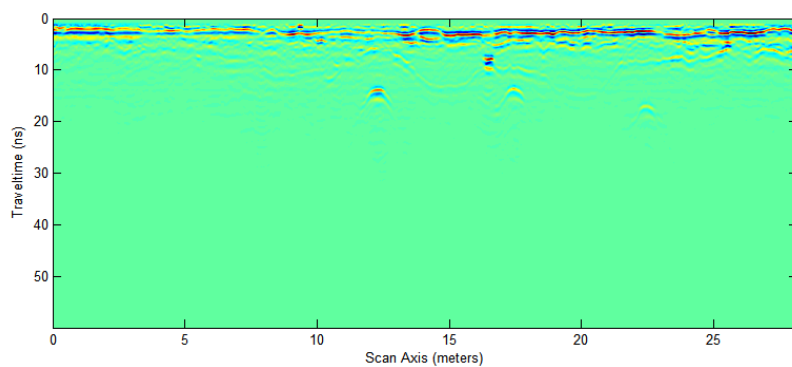
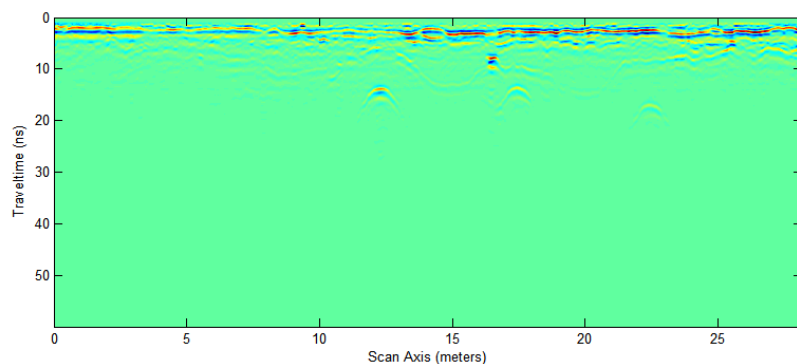


Σχήμα 4.18 : Γραμμή Μελέτης 6 (900 MHz) , μη επεξεργασμένα δεδομένα .



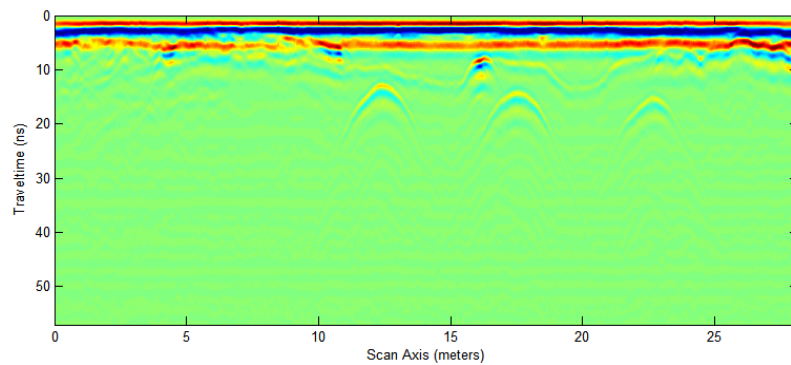
Σχήμα 4.19 : Γραμμή Μελέτης 6 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Το σχήμα 4.18 απεικονίζει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα για την γραμμή μελέτης 6 (900 MHz). Η τομή γεωραντάρ του σχήματος 4.19 αντιστοιχεί στην γραμμή μελέτης 6 (900 MHz). Η μαύρη γραμμή περιγράφει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από το πάνω όριο της κυλινδρικής θαμμένης δεξαμενής. Στο κάτω μέρος της εικόνας απεικονίζονται η ταχύτητα (0,1 m/ns), του βάθος κέντρου της δεξαμενής (2,17 m), η ακτίνα (1,5 m) και η θέση της προς έρευνα κυλινδρικής δομής (12,3 m).

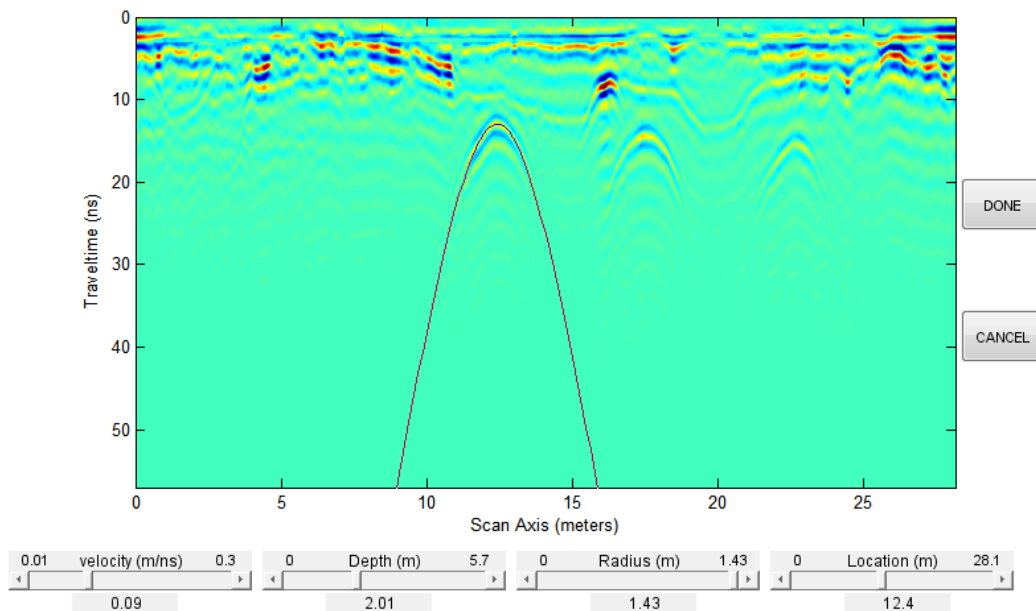


Σχήμα 4.20: Χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 6 (900 MHz) για ταχύτητες 0,1 m/ns (πάνω) 0,12 m/ns (μέση), 0,09 m/ns (κάτω).

Το σχήμα 4.20 απεικονίζει τις χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 6 (900 MHz) για ταχύτητες 0,1 m/ns, 0,12 m/ns, 0,09 m/ns αντίστοιχα.

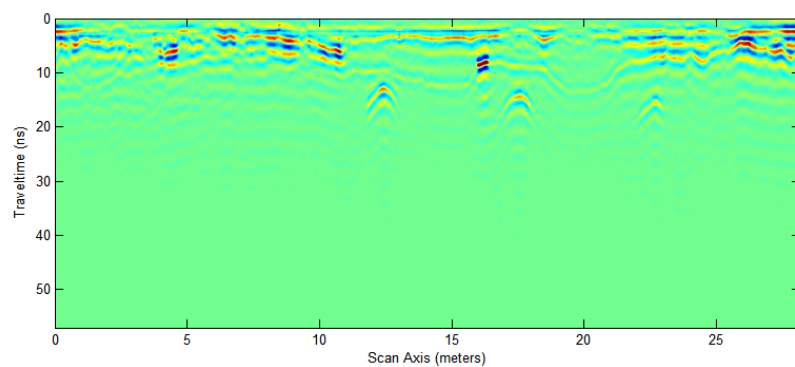
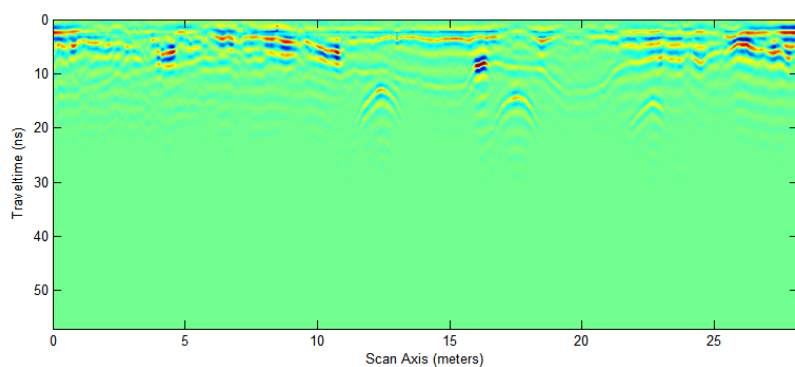
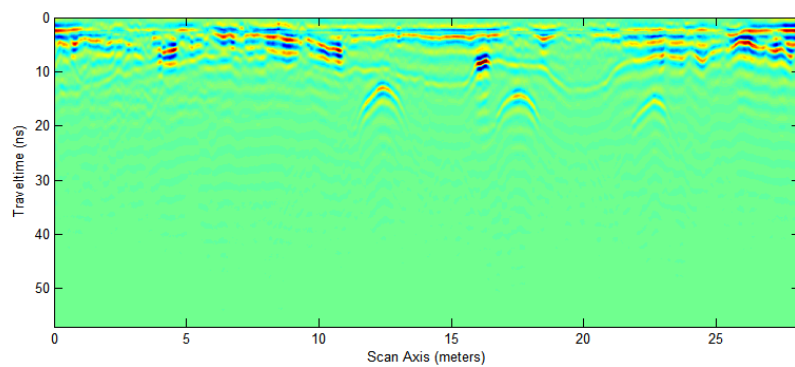


Σχήμα 4.21 : Γραμμή Μελέτης 7 (400 MHz) , μη επεξεργασμένα δεδομένα.



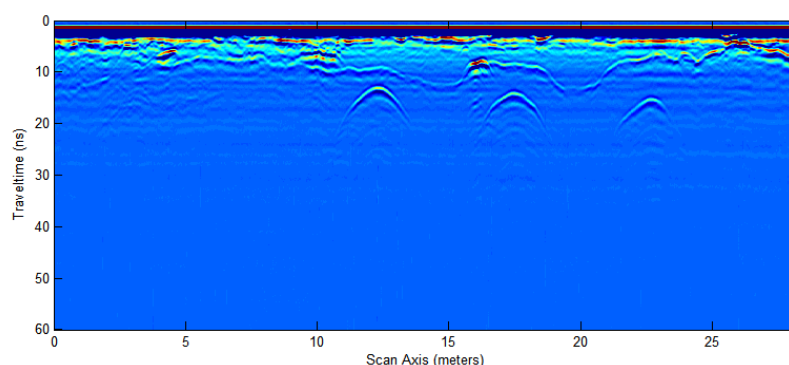
Σχήμα 4.22: Γραμμή Μελέτης 7 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Το σχήμα 4.21 απεικονίζει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα για την γραμμή μελέτης 7 (400 MHz). Η τομή γεωραντάρ του σχήματος 4.22 αντιστοιχεί στην γραμμή μελέτης 7 (400 MHz). Η μαύρη γραμμή περιγράφει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από το πάνω όριο της κυλινδρικής θαμμένης δεξαμενής. Στο κάτω μέρος της απεικονίζονται η ταχύτητα (0,09 m/ns), το βάθος του κέντρου της δεξαμενής (2,01 m), η ακτίνα (1,43 m) και η θέση της προς έρευνα κυλινδρικής δομής (12,4 m).

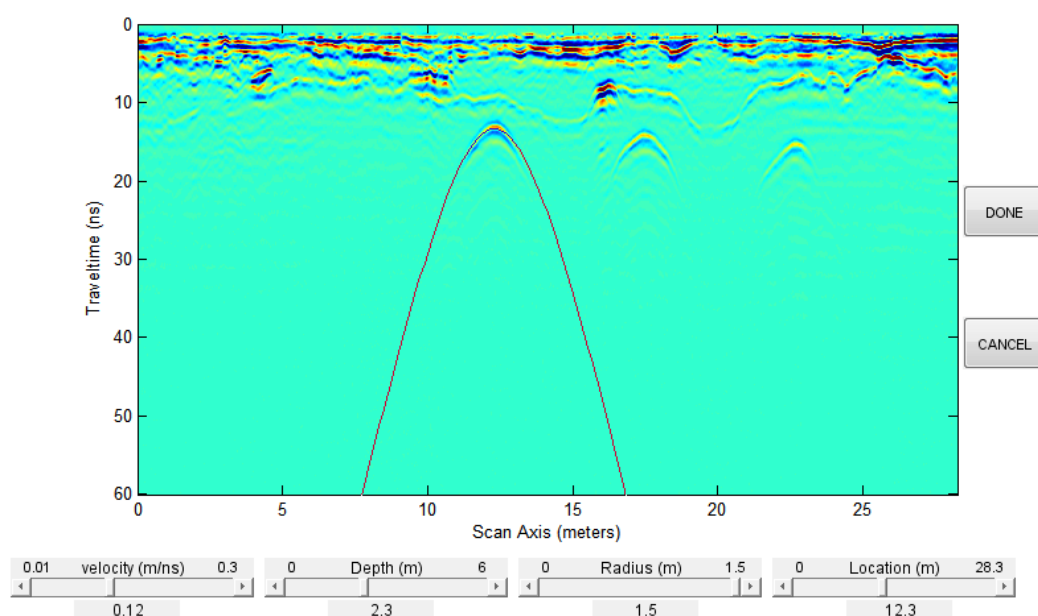


Σχήμα 4.23: Χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 7 (400 MHz) για ταχύτητες 0,09 m/ns (πάνω), 0,1 m/ns (μέση), 0,12 m/ns (κάτω).

Το σχήμα 4.23 απεικονίζει τις χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 7 (400 MHz) για ταχύτητες 0,09 m/ns, 0,1 m/ns, 0,12 m/ns αντίστοιχα.

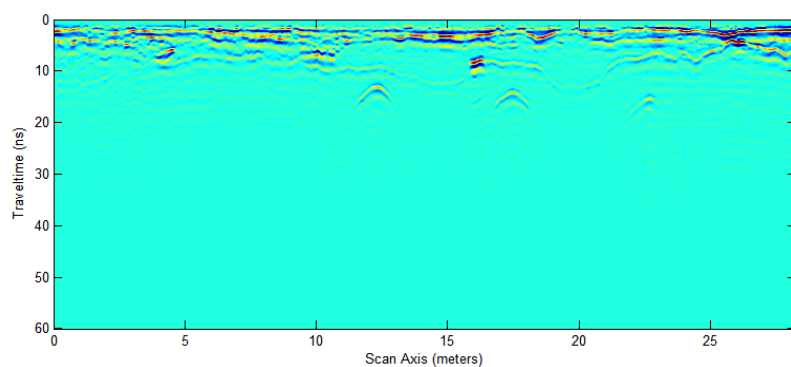
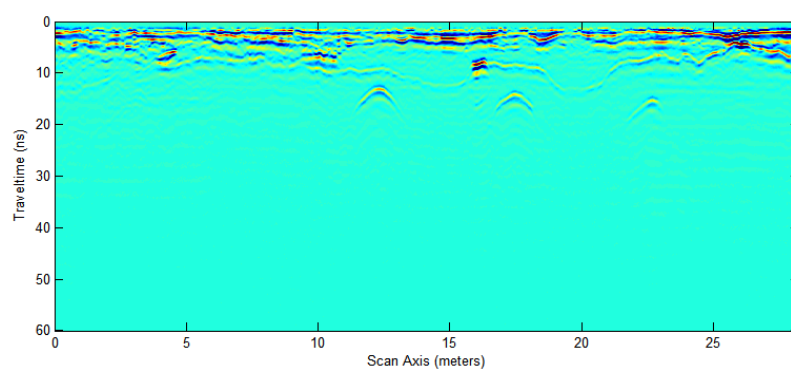
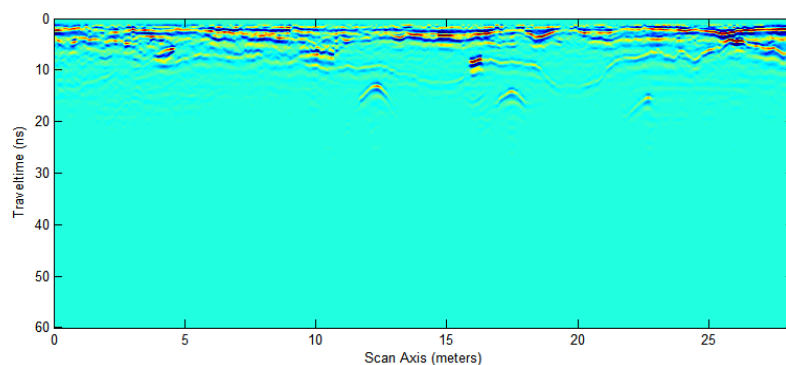


Σχήμα 4.24 : Γραμμή Μελέτης 7 (900 MHz) , μη επεξεργασμένα δεδομένα.



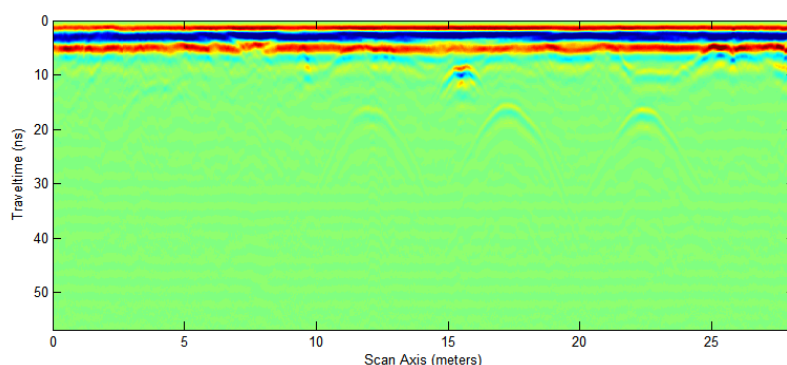
Σχήμα 4.25: Γραμμή Μελέτης 7 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Το σχήμα 4.24 απεικονίζει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα για την γραμμή μελέτης 7 (900 MHz). Η τομή γεωραντάρ του σχήματος 4.25 αντιστοιχεί στην γραμμή μελέτης 7 (900 MHz). Η μαύρη γραμμή περιγράφει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από το πάνω όριο της κυλινδρικής θαμμένης δεξαμενής. Στο κάτω μέρος της εικόνας απεικονίζονται η ταχύτητα (0,12 m/ns), το βάθος του προκύπτει κέντρου της δεξαμενής (2,3 m), η ακτίνα (1,5 m) και η θέση της προς έρευνα κυλινδρικής δομής (12,3 m).

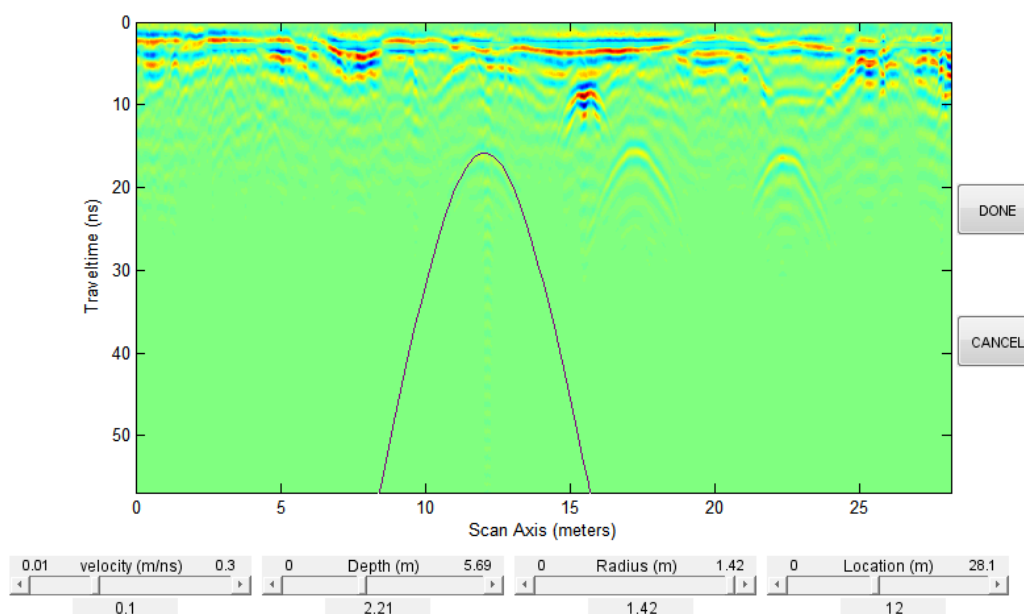


Σχήμα 4.26: Χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 7 (900 MHz) για ταχύτητες 0,12 m/ns (πάνω), 0,09 m/ns (μέση), 0,1 m/ns (κάτω).

Το σχήμα 4.26 απεικονίζει τις χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 7 (900 MHz) για ταχύτητες 0,12 m/ns, 0,09 m/ns, 0,1 m/ns αντίστοιχα.

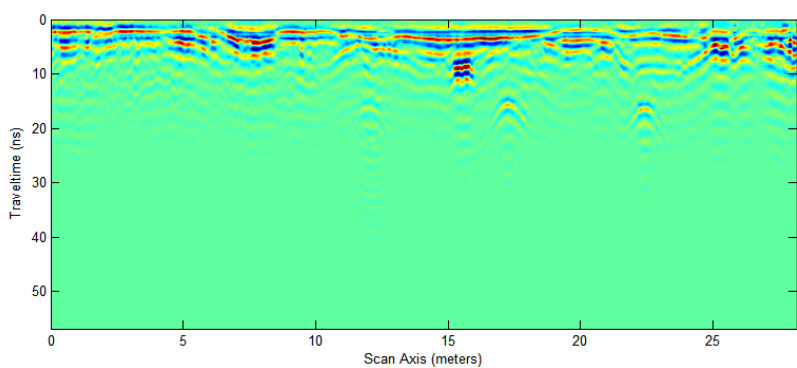
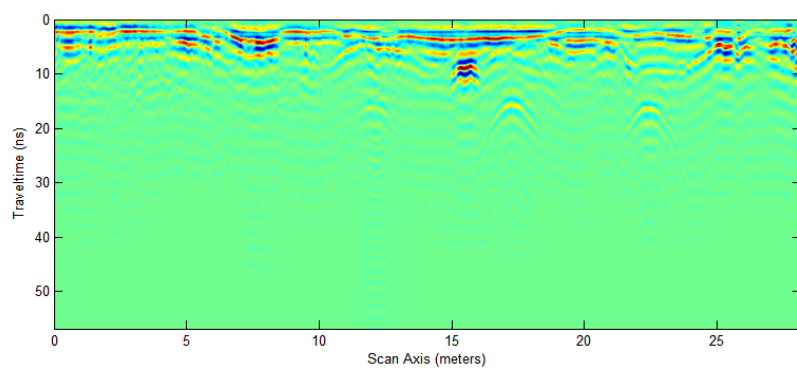
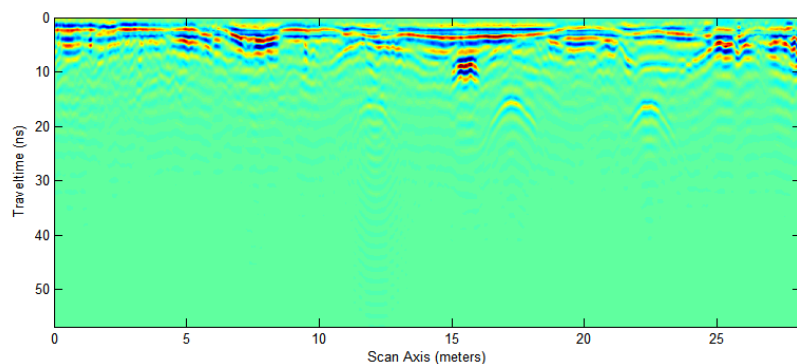


Σχήμα 4.27 : Γραμμή Μελέτης 8 (400 MHz) , μη επεξεργασμένα δεδομένα.



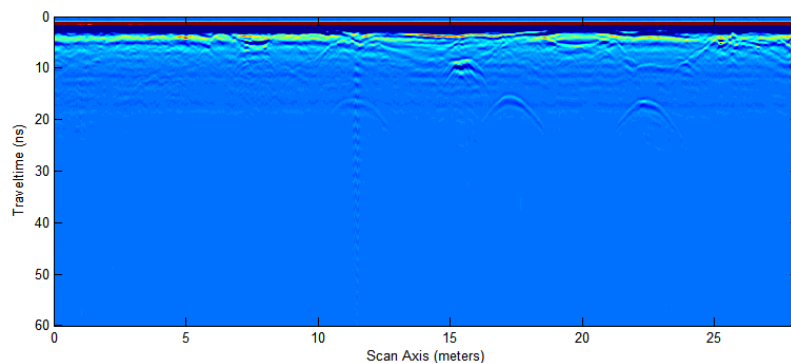
Σχήμα 4.28: Γραμμή Μελέτης 8 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Το σχήμα 4.27 απεικονίζει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα για την γραμμή μελέτης 8 (400 MHz). Η τομή γεωραντάρ του σχήματος 4.28 αντιστοιχεί στην γραμμή μελέτης 8 (400 MHz). Η μαύρη γραμμή περιγράφει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από το πάνω όριο της κυλινδρικής θαμμένης δεξαμενής. Στο κάτω μέρος της εικόνας απεικονίζονται η ταχύτητα (0,1 m/ns), το βάθος του κέντρου της δεξαμενής (2,21 m), η ακτίνα (1,42 m) και η θέση της προς έρευνα κυλινδρικής δομής (12 m).

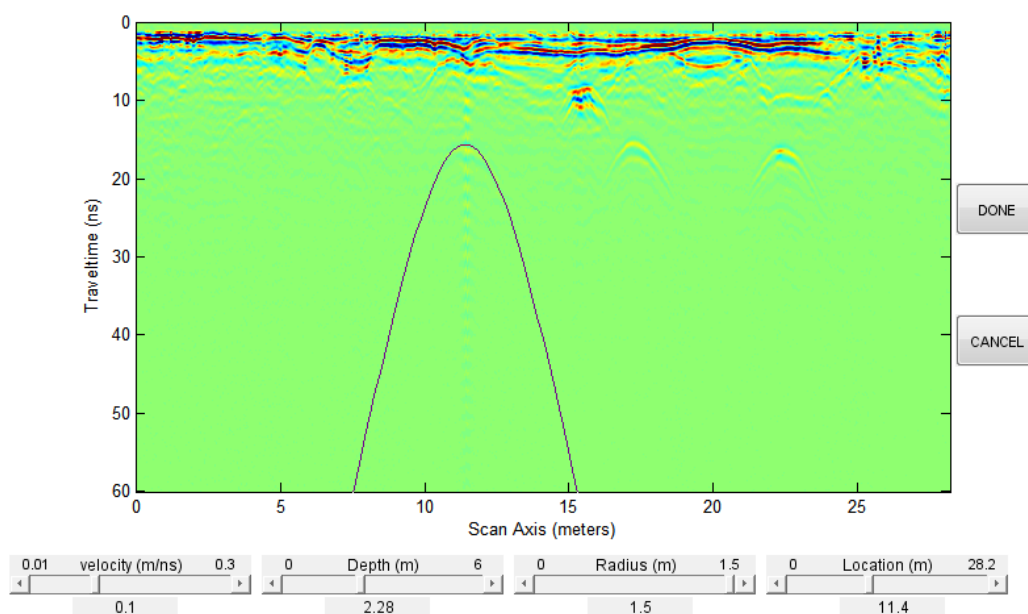


Σχήμα 4.29: Χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 8 (400 MHz) για ταχύτητες 0,1 m/ns (πάνω), 0,09 m/ns (μέση), 0,12 m/ns (κάτω).

Το σχήμα 4.29 απεικονίζει τις χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 8 (400 MHz) για ταχύτητες 0,1 m/ns, 0,09 m/ns, 0,12 m/ns αντίστοιχα.

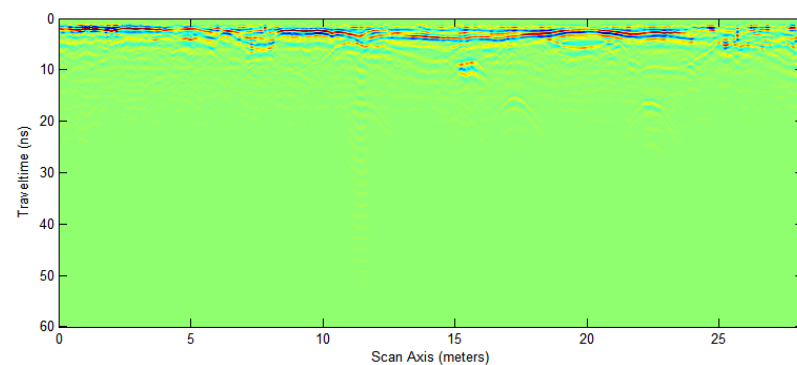
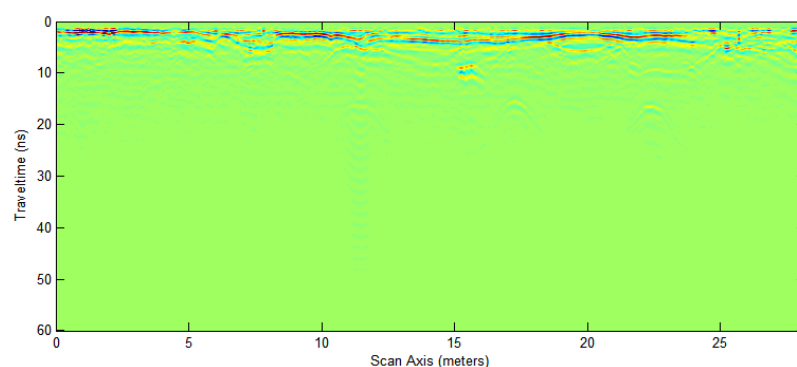
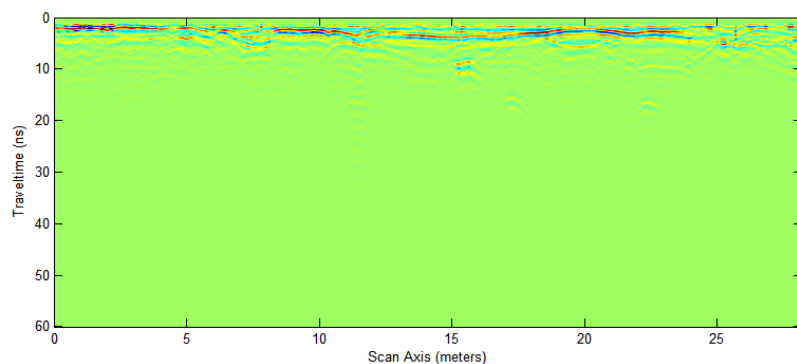


Σχήμα 4.30 : Γραμμή Μελέτης 8 (900 MHz) , μη επεξεργασμένα δεδομένα.



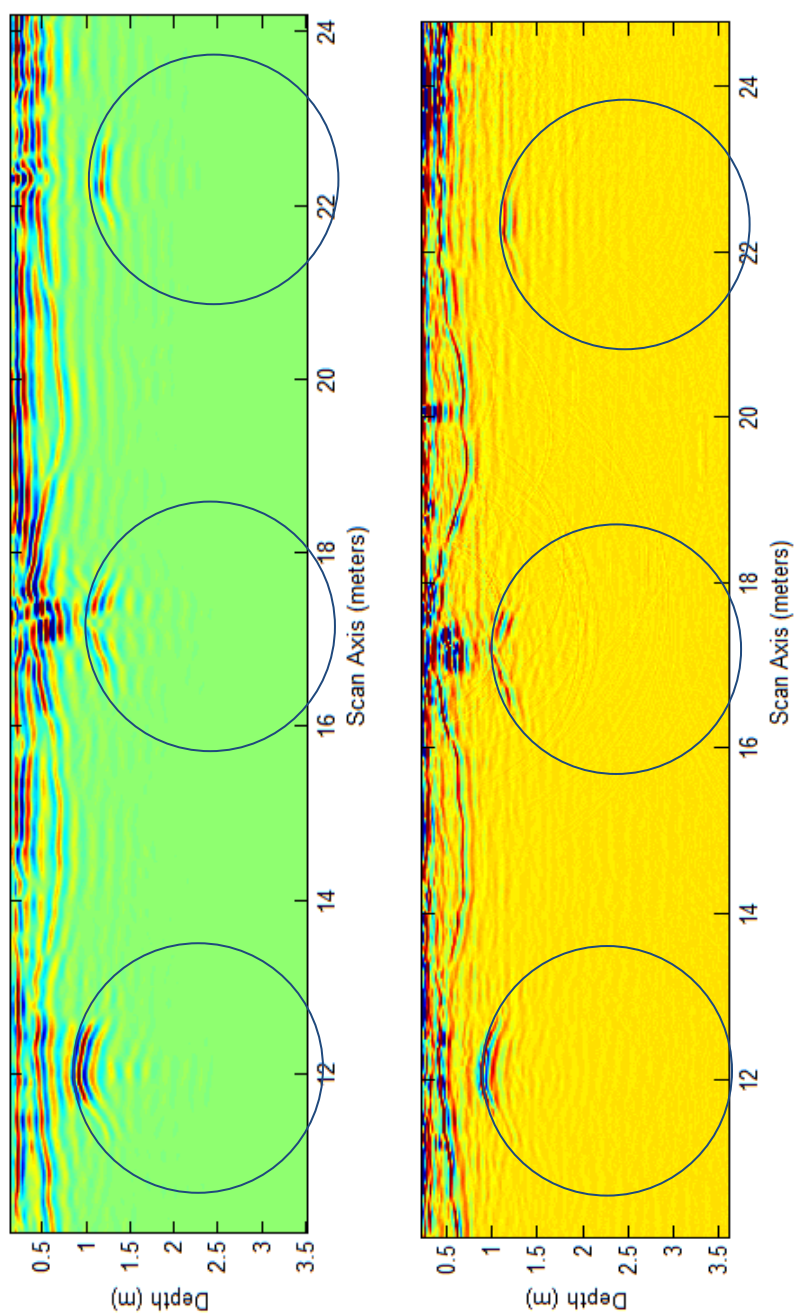
Σχήμα 4.31 : Γραμμή Μελέτης 8 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Το σχήμα 4.30 απεικονίζει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα για την γραμμή μελέτης 8 (900 MHz). Η τομή γεωραντάρ του σχήματος 4.31 αντιστοιχεί στην γραμμή μελέτης 8 (900 MHz). Η μαύρη γραμμή περιγράφει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από το πάνω όριο της κυλινδρικής θαμμένης δεξαμενής. Στο κάτω μέρος της εικόνας απεικονίζονται η ταχύτητα (0,1 m/ns), το βάθος του κέντρου της δεξαμενής (2,28 m), η ακτίνα (1,5 m) και η θέση της προς έρευνα κυλινδρικής δομής (11,4 m).



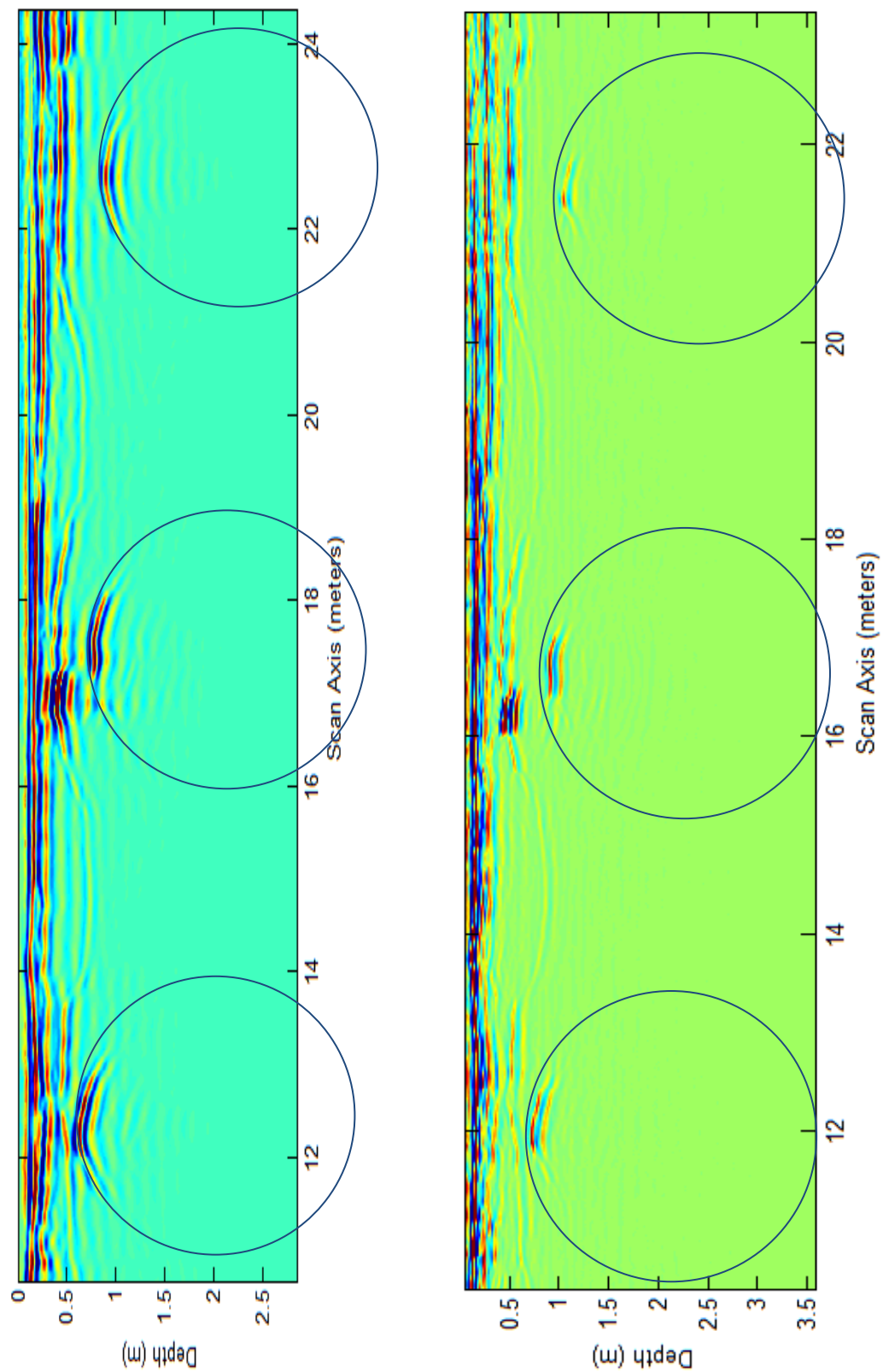
Σχήμα 4.32: Χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 8 (900 MHz) για ταχύτητες 0,1 m/ns (πάνω), 0,12 m/ns (μέση), 0,09 m/ns (κάτω).

Το σχήμα 4.32 απεικονίζει τις χωροθετημένες τομές για την γραμμή μελέτης 8 (900 MHz) για ταχύτητες 0,1 m/ns, 0,12 m/ns, 0,09 m/ns αντίστοιχα.



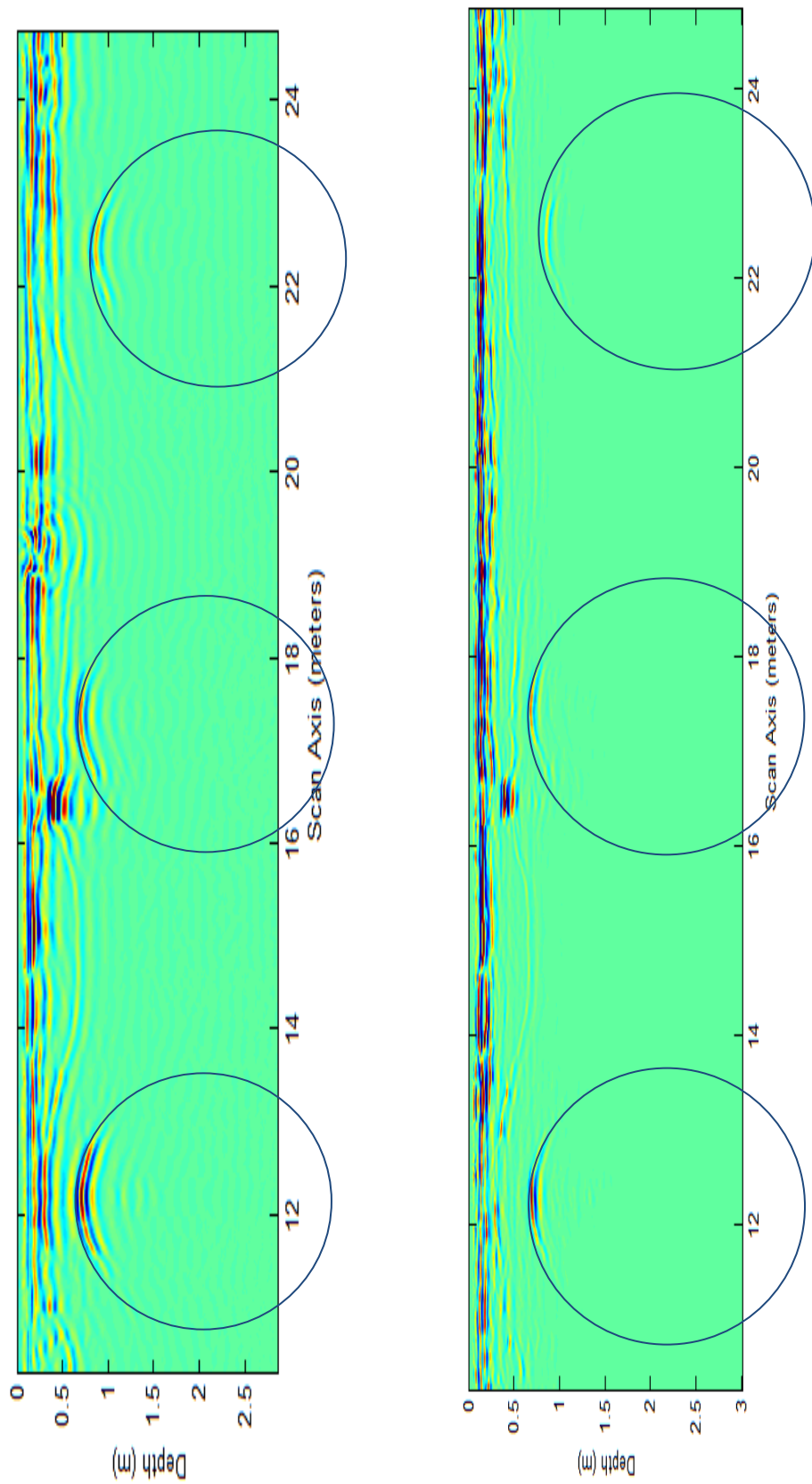
Σχήμα 4.33: Τομές βάθους της γραμμής μελέτης 4 για συχνότητες 400 MHz (πάνω) και 900 MHz (κάτω).

Το σχήμα 4.33 δείχνει τις τομές βάθους για την γραμμή μελέτης 4 για συχνότητες 400 MHz 900 MHz.



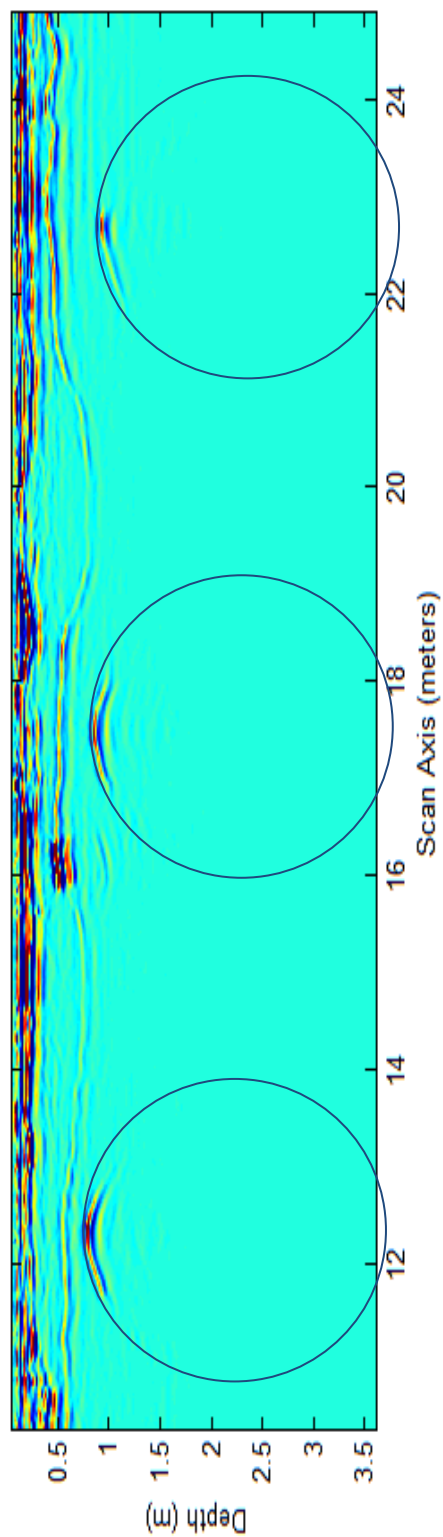
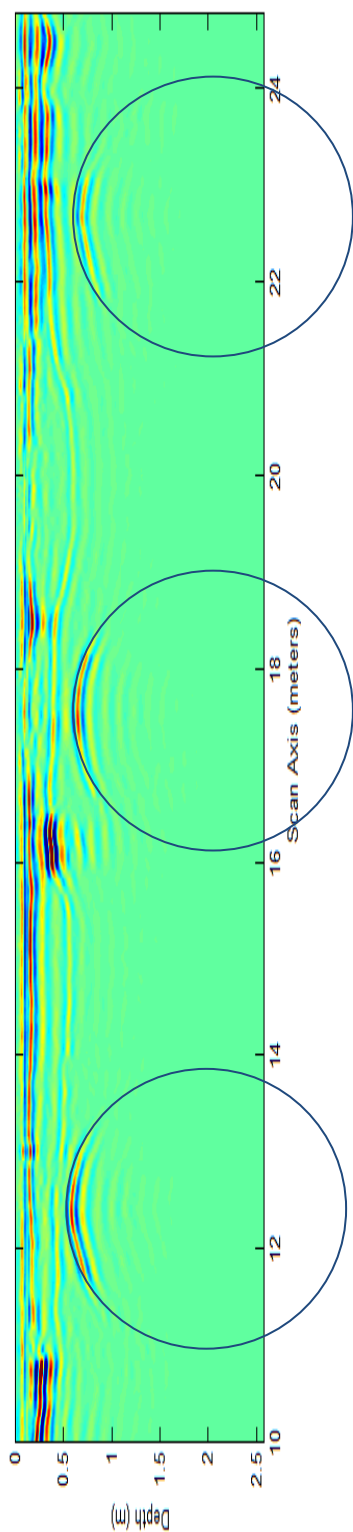
Σχήμα 4.34: Τομές βάθους της γραμμής μελέτης 5 για συχνότητες 400 MHz (πάνω) και 900 MHz (κάτω).

Το σχήμα 4.34 δείχνει τις τομές βάθους για την γραμμή μελέτης 5 για συχνότητες 400 MHz 900 MHz.



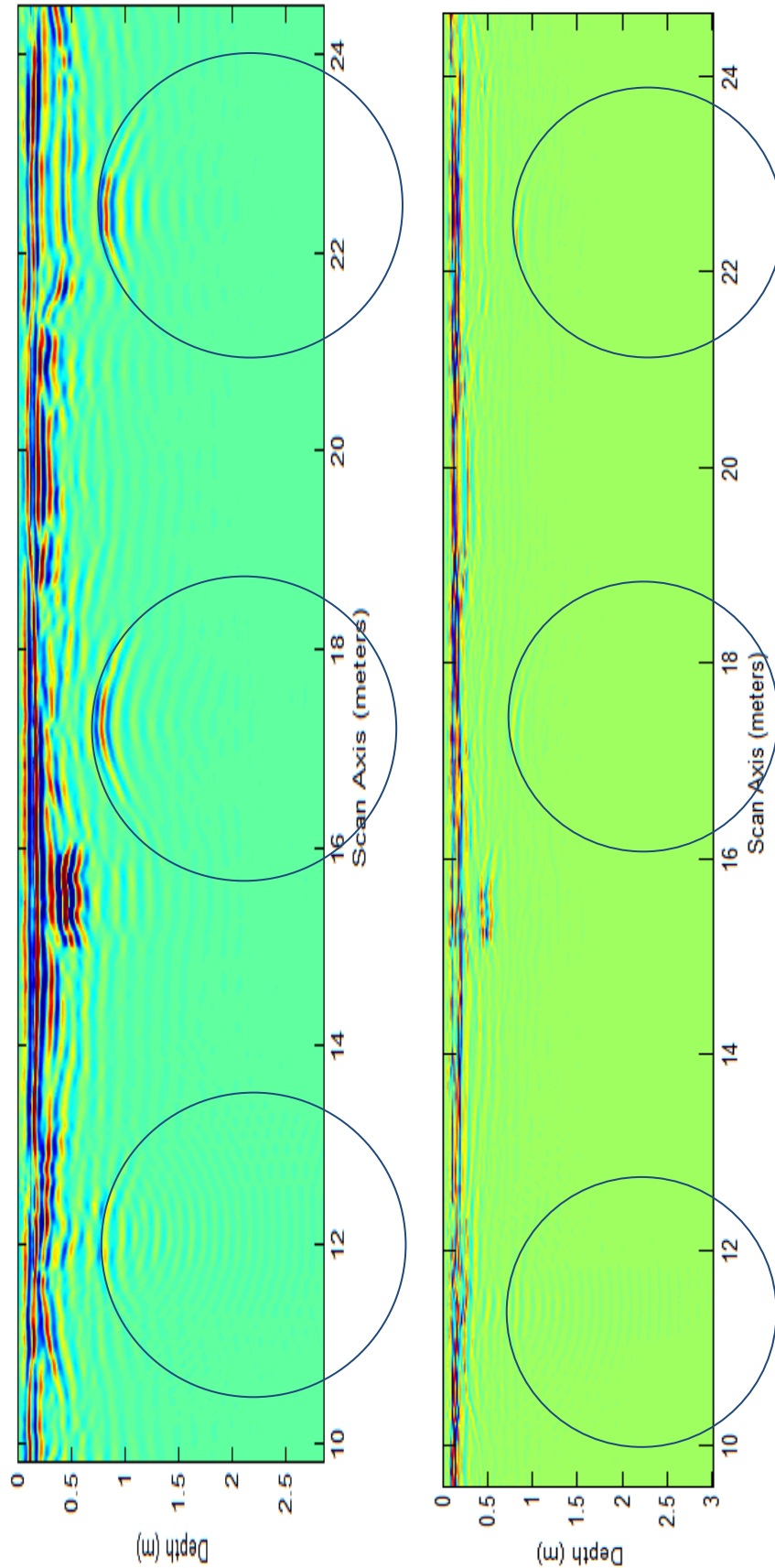
Σχήμα 4.35: Τομές βάθους της γραμμής μελέτης 6 για συχνότητες 400 MHz (πάνω) και 900 MHz (κάτω).

Το σχήμα 4.35 δείχνει τις τομές βάθους για την γραμμή μελέτης 6 για συχνότητες 400 MHz 900 MHz.



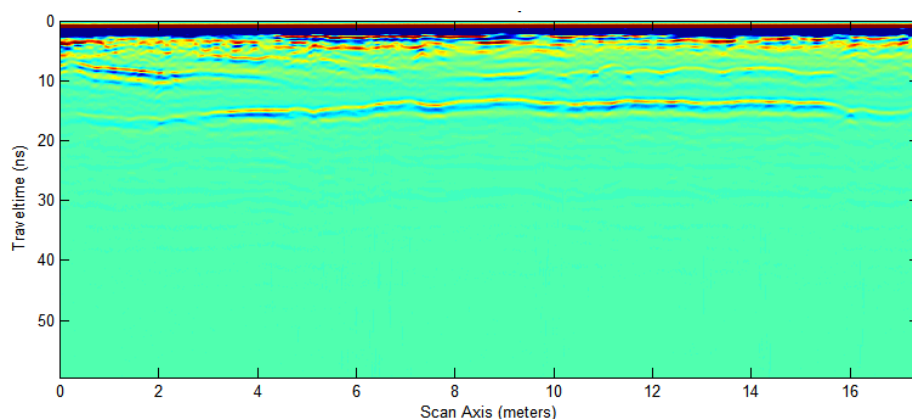
Σχήμα 4.36: Τομές βάθους της γραμμής μελέτης 7 για συχνότητες 400 MHz (πάνω) και 900 MHz (κάτω).

Το σχήμα 4.36 δείχνει τις τομές βάθους για την γραμμή μελέτης 7 για συχνότητες 400 MHz 900 MHz.



Σχήμα 4.37: Τομές βάθους της γραμμής μελέτης 8 για συχνότητες 400 MHz (πάνω) και 900 MHz (κάτω).

Το σχήμα 4.37 δείχνει τις τομές βάθους για την γραμμή μελέτης 8 για συχνότητες 400 MHz 900 MHz.



Σχήμα 4.38: Τομή γεωραντάρ για την γραμμή μελέτης 10 πάνω από την μεσαία δεξαμενή.

Το σχήμα 4.38 απεικονίζει τομή γεωραντάρ για την γραμμή μελέτης 10, η οποία βρίσκεται πάνω από την μεσαία δεξαμενή.

Γενικά Σχόλια:

α) Οι δεξαμενές αποτυπώνονται καλύτερα στις τομές βάθους στις οποίες χρησιμοποιήθηκε μεγαλύτερη ταχύτητα για την χωροθέτηση.

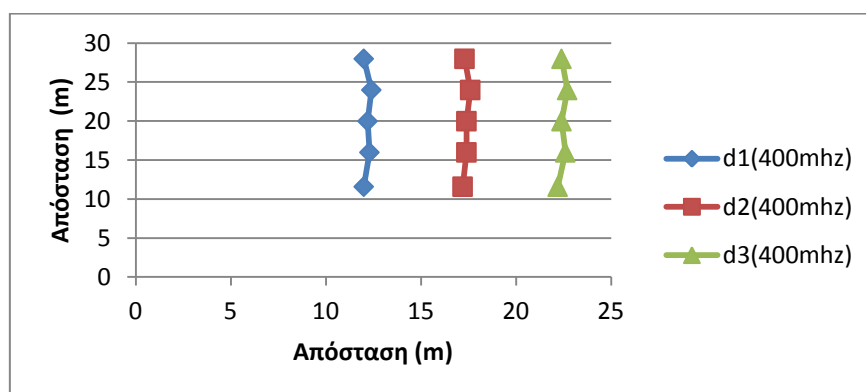
β) Στις γραμμές μελέτης 6 και 8 στα 400 MHz η δεύτερη δεξαμενή φαίνεται να βρίσκεται λίγο πιο ρηχά από την πρώτη.

Γραμμές Μελέτης	Απόσταση (m)	Θέση Δεξαμενής 1 σε m	Θέση Δεξαμενής 2 σε m	Θέση Δεξαμενής 3 σε m
4	11,6 m	12 m	17,2 m	22,2 m
5	16 m	12,3 m	17,4 m	22,6 m
6	20 m	12,2 m	17,4 m	22,4 m
7	24 m	12,4 m	17,6 m	22,7 m
8	28 m	12 m	17,3 m	22,4 m

Πίνακας 4.1 Θέση των δεξαμενών ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ για την συχνότητα 400 MHz.

Το σχήμα 4.39 για την συχνότητα 400 MHz προέκυψε με τον εξής τρόπο:

Στον κατακόρυφο άξονα αποτυπώνεται η θέση που βρίσκεται η κάθε δεξαμενή σε σχέση με την γραμμή μελέτης και στον οριζόντιο η απόσταση που αντιστοιχεί σε κάθε γραμμή μελέτης.



Σχήμα 4.39 Θέση των δεξαμενών ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ για την συχνότητα 400 MHz.

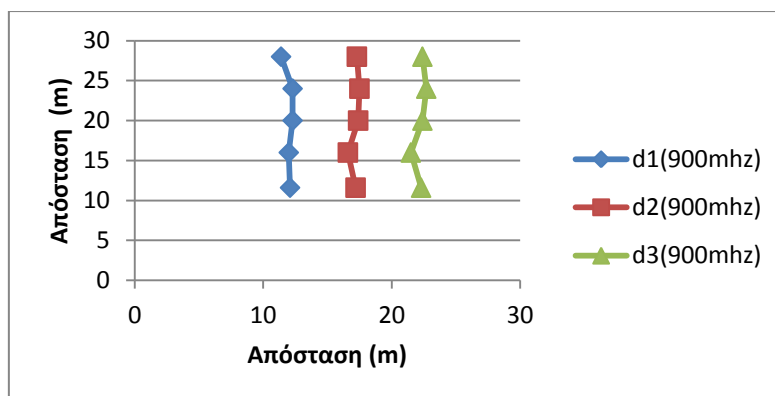
Γραμμές Μελέτης	Απόσταση (m)	Θέση Δεξαμενής 1 σε m	Θέση Δεξαμενής 2 σε m	Θέση Δεξαμενής 3 σε m
4	11,6 m	12,1 m	17,2 m	22,3 m
5	16 m	12 m	16,6 m	21,5 m
6	20 m	12,3 m	17,4 m	22,4 m
7	24 m	12,3 m	17,5 m	22,7 m
8	28 m	11,4 m	17,3 m	22,4 m

Πίνακας 4.2 Θέση των δεξαμενών ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ για την συχνότητα 900 MHz.

Οι πίνακες 4.1 και 4.2 δίνουν την θέση των δεξαμενών ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ για συχνότητες 400 MHz και 900 MHz αντίστοιχα.

Το σχήμα 4.40 για την συχνότητα 900 MHz προέκυψε με τον εξής τρόπο:

Στον κατακόρυφο άξονα αποτυπώνεται η θέση που βρίσκεται η κάθε δεξαμενή σε σχέση με την γραμμή μελέτης και στον οριζόντιο η απόσταση που αντιστοιχεί σε κάθε γραμμή μελέτης.



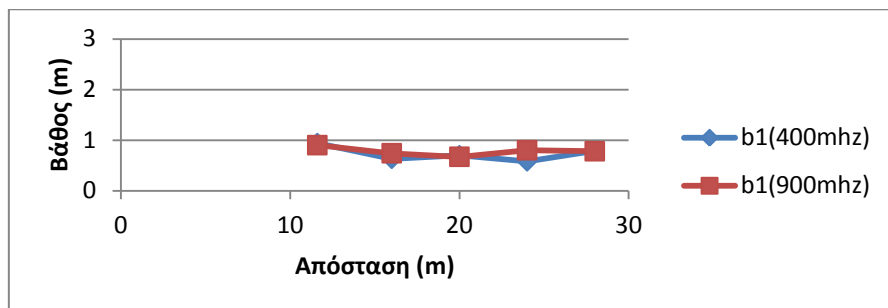
Σχήμα 4.40 Θέση των δεξαμενών ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ για την συχνότητα 900 MHz.

Σχόλιο: Στο σχήμα 4.39 παρατηρείται η θέση των δεξαμενών ανά γραμμή μελέτης για την συχνότητα 400 MHz και φαίνεται ότι οι τρεις δεξαμενές έχουν την ίδια διεύθυνση. Στο σχήμα 4.40 έγινε ακριβώς η ίδια διαδικασία όπως και για την 400 MHz απλά εδώ δεν είναι ευθείες οι γραμμές, πιο συγκεκριμένα στο σημείο 16 μέτρα και αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι δεν τοποθετήθηκε σωστά η μετροταινία κατά την διαδικασία των μετρήσεων και αποτυπώθηκε με αυτό τον τρόπο.

Γραμμές Μελέτης	Απόσταση (m)	Βάθος Δεξαμενής 1 σε m (400 MHz)	Βάθος Δεξαμενής 1 σε m (900 MHz)
4	11,6 m	0,94 m	0,9 m
5	16 m	0,63 m	0,74 m
6	20 m	0,7 m	0,67 m
7	24 m	0,58 m	0,8 m
8	28 m	0,79 m	0,78 m

Πίνακας 4.3 Βάθος της δεξαμενής 1 ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ.

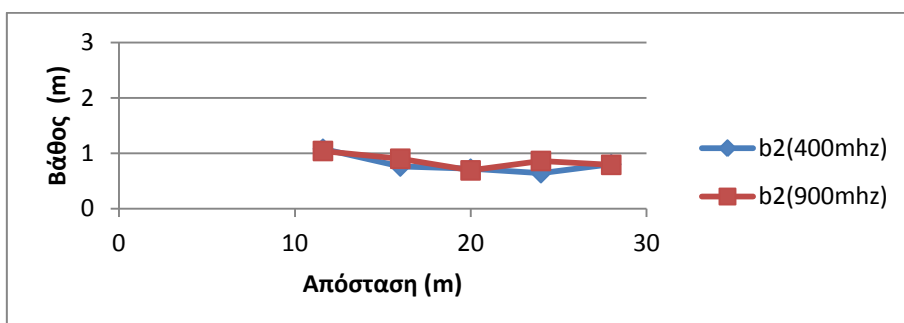
Το βάθος του πάνω ορίου από την δεξαμενή 1 (σχήμα 4.41) προκύπτει αν από την τιμή του κέντρου της δεξαμενής που μας δίνουν οι τομές με τις καμπύλες αφαιρεθεί η ακτίνα.



Σχήμα 4.41 Βάθος της δεξαμενής 1 ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ.

Γραμμές Μελέτης	Απόσταση (m)	Βάθος Δεξαμενής 2 σε m (400 MHz)	Βάθος Δεξαμενής 2 σε m (900 MHz)
4	11,6 m	1,08 m	1,04 m
5	16 m	0,76 m	0,9 m
6	20 m	0,72 m	0,69 m
7	24 m	0,64 m	0,86 m
8	28 m	0,8 m	0,79 m

Πίνακας 4.4 Βάθος της δεξαμενής 2 ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ.

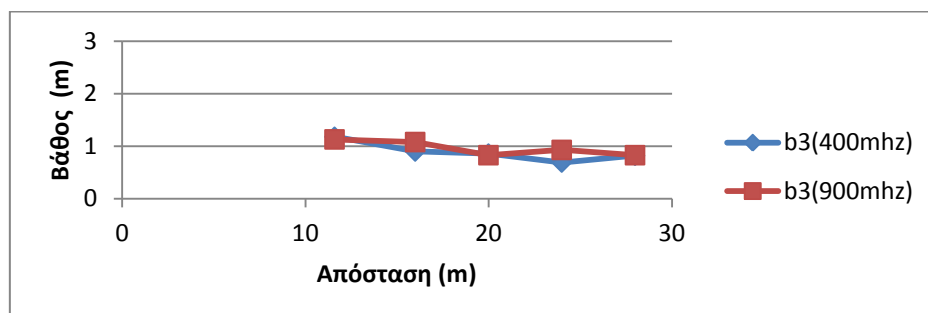


Σχήμα 4.42 Βάθος της δεξαμενής 2 ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ.

Γραμμές Μελέτης	Απόσταση (m)	Βάθος Δεξαμενής 3 σε m (400 MHz)	Βάθος Δεξαμενής 3 σε m (900 MHz)
4	11,6 m	1,18 m	1,13 m
5	16 m	0,9 m	1,08 m
6	20 m	0,86 m	0,83 m
7	24 m	0,69 m	0,93 m
8	28 m	0,82 m	0,83 m

Πίνακας 4.5 Βάθος της δεξαμενής 3 ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ.

Οι πίνακες 4.3, 4.4, 4.5 δίνουν το βάθος των δεξαμενών ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ και για τις δυο συχνότητες.



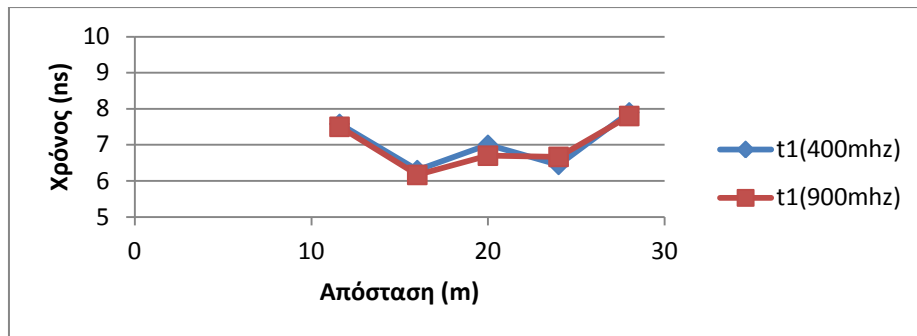
Σχήμα 4.43 Βάθος της δεξαμενής 3 ανά γραμμή μελέτης από τις τομές γεωραντάρ.

Σχόλιο: Στα σχήματα 4.41, 4.42, 4.43 αποτυπώθηκαν τα βάθη και των τριών δεξαμενών και για τις δυο συχνότητες. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι οι δεξαμενές φαίνεται να είναι στο ίδιο περίπου βάθος.

Γραμμές Μελέτης	Απόσταση (m)	Χρόνος διαδρομής για την Δεξαμενή 1 σε ns (400 MHz)	Χρόνος διαδρομής για την Δεξαμενή 1 σε ns (900 MHz)
4	11,6 m	7,58 ns	7,5 ns
5	16 m	6,3 ns	6,17 ns
6	20 m	7 ns	6,7 ns
7	24 m	6,44 ns	6,67 ns
8	28 m	7,9 ns	7,8 ns

Πίνακας 4.6 Χρόνος διαδρομής που αντιστοιχεί στο πάνω όριο της δεξαμενής 1.

Ο χρόνος διαδρομής αντιστοιχεί στο πάνω όριο της δεξαμενής 1 και προέκυψε από τις τομές βάθους χρησιμοποιώντας την ταχύτητα που προέκυψε από την ανάλυση ταχυτήτων (σχήμα 4.44).

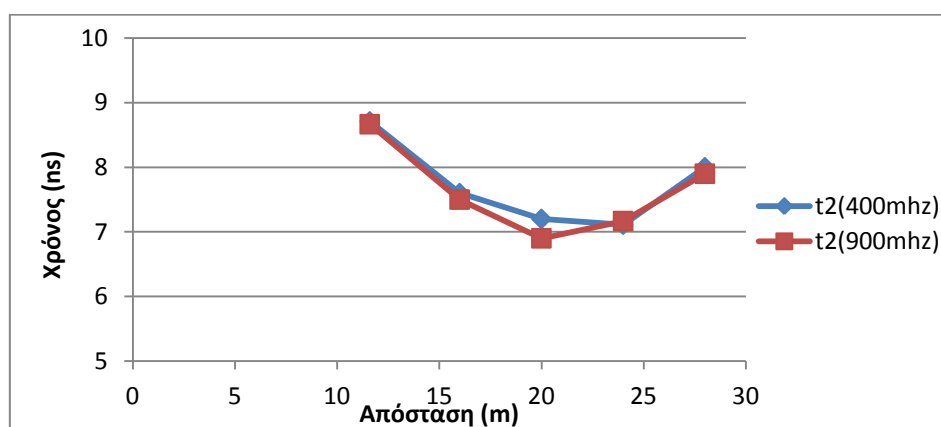


Σχήμα 4.44 Χρόνος διαδρομής που αντιστοιχεί στο πάνω όριο της δεξαμενής 1.

Γραμμές Μελέτης	Απόσταση (m)	Μονός χρόνος διαδρομής για την Δεξαμενή 2 σε ns ανά γραμμή (400 MHz)	Μονός χρόνος διαδρομής για την Δεξαμενή 2 σε ns ανά γραμμή (900 MHz)
4	11,6 m	8,71ns	8,67 ns
5	16 m	7,6 ns	7,5 ns
6	20 m	7,2 ns	6,9 ns
7	24 m	7,11 ns	7,17 ns
8	28 m	8 ns	7,9 ns

Πίνακας 4.7 Χρόνος διαδρομής που αντιστοιχεί στο πάνω όριο της δεξαμενής 2.

Ο χρόνος διαδρομής αντιστοιχεί στο πάνω όριο της δεξαμενής 2 και προέκυψε από τις τομές βάθους χρησιμοποιώντας την ταχύτητα που προέκυψε από την ανάλυση ταχυτήτων (σχήμα 4.45).



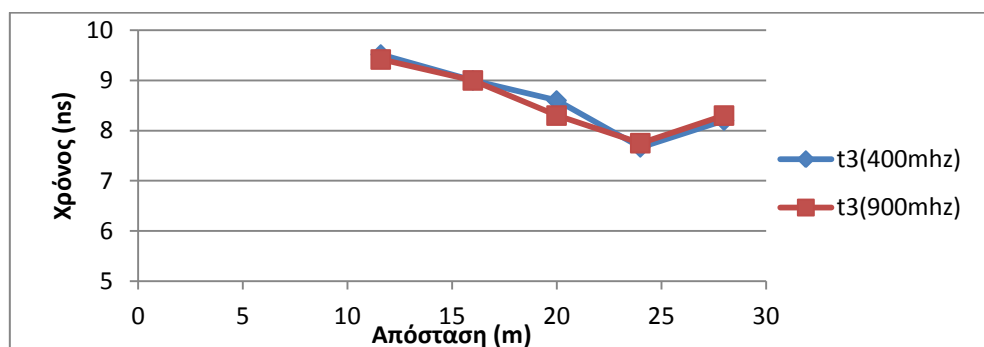
Σχήμα 4.45 Χρόνος διαδρομής που αντιστοιχεί στο πάνω όριο της δεξαμενής 2.

Γραμμές Μελέτης	Απόσταση (m)	Μονός χρόνος διαδρομής για την Δεξαμενή 3 σε ns ανά γραμμή (400 MHz)	Μονός χρόνος διαδρομής για την Δεξαμενή 3 σε ns ανά γραμμή (900 MHz)
4	11,6 m	9,52 ns	9,42 ns
5	16 m	9 ns	9 ns
6	20 m	8,6 ns	8,3 ns
7	24 m	7,67 ns	7,75 ns
8	28 m	8,2 ns	8,3 ns

Πίνακας 4.8 Χρόνος διαδρομής που αντιστοιχεί στο πάνω όριο της δεξαμενής 2.

Οι πίνακες 4.6, 4.7, 4.8 δίνουν τον χρόνο διαδρομής που αντιστοιχεί στο πάνω όριο της κάθε δεξαμενής και για τις δυο συχνότητες.

Ο χρόνος διαδρομής αντιστοιχεί στο πάνω όριο της δεξαμενής 3 και προέκυψε από τις τομές βάθους χρησιμοποιώντας την ταχύτητα που προέκυψε από την ανάλυση ταχυτήτων (σχήμα 4.46).



Σχήμα 4.46 Χρόνος διαδρομής που αντιστοιχεί στο πάνω όριο της δεξαμενής 3.

Σχόλιο: Στα σχήματα 4.44, 4.45, 4.46 αποτυπώνονται οι χρόνοι διαδρομής για όλες τις δεξαμενές και για τις δυο συχνότητες. Συγκριτικά με τα διαγράμματα του βάθους εδώ φαίνεται διαφορά στους χρόνους για την κάθε δεξαμενή, αυτή η διαφοροποίηση πιθανόν να οφείλεται στο ότι η επιφάνεια του εδάφους δεν είναι ομαλή. Η διαφοροποίηση αυτή αντιστοιχεί σε περίπου 20 cm.

Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας χαρτογραφήθηκαν τρεις θαμμένες κυλινδρικές δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων, διαμέτρου 3 μέτρων με την μέθοδο του γεωραντάρ. Δημιουργήθηκαν συνθετικά δεδομένα χρησιμοποιώντας κεραίες 400 MHz ώστε να μελετηθεί η απόκριση του γεωραντάρ για δεξαμενές παρόμοιου σχήματος και διαστάσεων με αυτές που διασκοπήθηκαν. Εξετάστηκαν 14 μοντέλα και χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά υλικά τόσο για την δεξαμενή όσο και για το περιεχόμενο της. Οι τομές των συνθετικών δεδομένων γεωραντάρ υπέστησαν επεξεργασία η οποία περιλάμβανε ανάλυση ταχυτήτων, χωροθέτηση και μετατροπή των τομών σε τομές βάθους. Παρατηρήθηκε ότι το γεωραντάρ απεικονίζει με πολύ καλή ακρίβεια το πάνω όριο της δεξαμενής.

Ειδικότερα στα μοντέλα όπου η δεξαμενή περιέχει νερό φαίνεται μόνο το πάνω όριο της δεξαμενής. Αυτό συμβαίνει γιατί το κύμα μέσα στο νερό εξασθενεί πολύ γρήγορα. Στην τομή για τη μεταλλική δεξαμενή γίνεται ολική ανάκλαση και δεν υπάρχει ανάκλαση από τον πυθμένα της. Άρα είναι εμφανές ότι είναι αδύνατον να απεικονιστεί ο πυθμένας της δεξαμενής.

Ο πυθμένας της δεξαμενής απεικονίζεται σε μικρότερο βάθος στις τομές γεωραντάρ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για τη μετατροπή του διπλού κατακόρυφου χρόνου σε βάθος χρησιμοποιήθηκε η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο έδαφος ή το τσιμέντο. Η ταχύτητα σε αυτά τα υλικά είναι μικρότερη από αυτή στα ρευστά που πληρούν την δεξαμενή. Παρατηρείται μεγαλύτερο σφάλμα στην εκτίμηση του βάθους για τα μοντέλα στα οποία υπάρχει το στρώμα εδάφους.

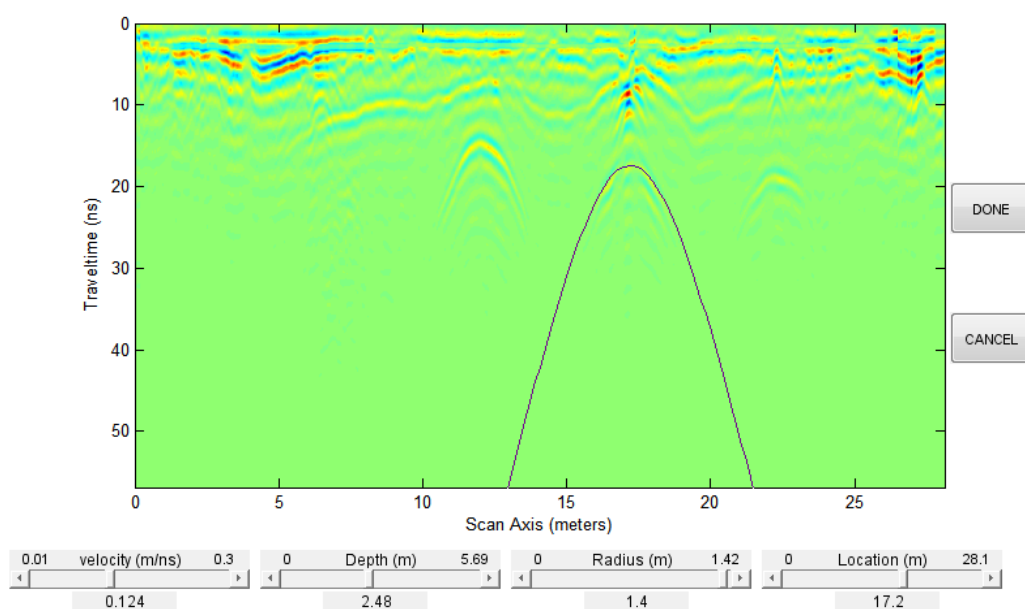
Οι τομές των πραγματικών δεδομένων γεωραντάρ υπέστησαν επεξεργασία η οποία περιλάμβανε ανάλυση ταχυτήτων, χωροθέτηση και μετατροπή των χωροθετημένων τομών σε τομές βάθους. Μετά την συνδυαστική ερμηνεία όλων των τομών γεωραντάρ προέκυψε ότι η διεύθυνση των τριών δεξαμενών είναι ΝΔ-ΒΑ. Οι δεξαμενές έχουν μήκος γύρω στα 20 m και είναι θαμμένες σε βάθος περίπου 1 m.

Βιβλιογραφία

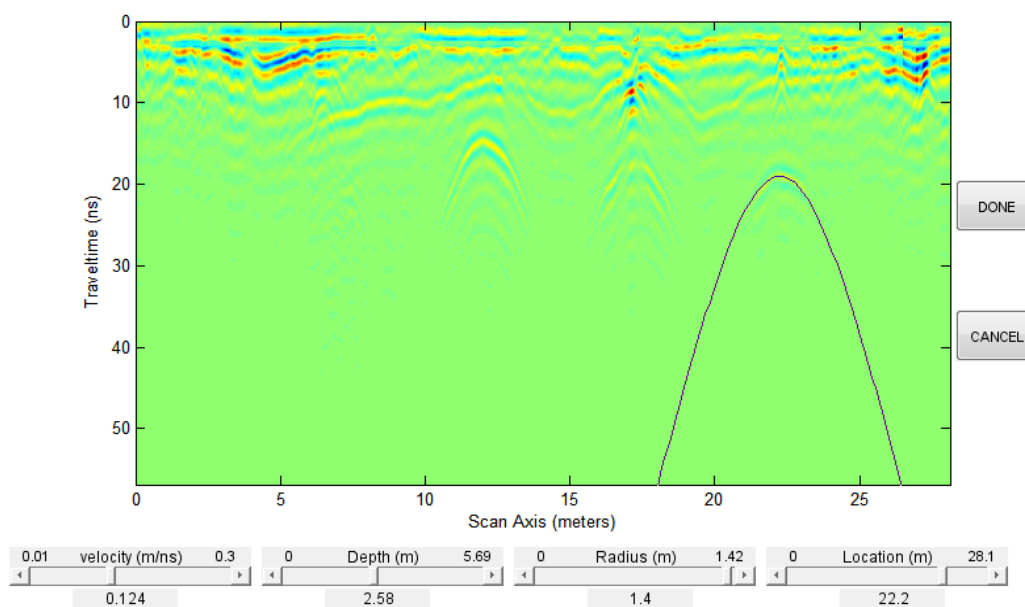
1. «Γεωφυσική», Βικιπέδια, <http://goo.gl/78bWpm>
2. Παρασκευάς, Ε. (2008), «Απεικόνιση υπόγειων δεξαμενών με τη μέθοδο γεωραντάρ», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
3. Πουλιούδης, Γ. (2001), «Μέθοδοι Επεξεργασίας Καταγραφών Γεωραντάρ», Μεταπτυχιακή Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
4. Πουλιούδης, Γ. (1999), «Γεωφυσική διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου με την μέθοδο του υπεδάφειου ραντάρ», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
5. «Γεωφυσική Έρευνα και Γεωφυσικές Μέθοδοι», Κυπριακή Δημοκρατία, Υπουργείο Γεωργίας Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, <http://goo.gl/DBFajy>
6. Tzanis, A. (2006), "MATGPR: A freeware MATLAB package of common-offset GPR data", University of Athens, Department of Geophysics and Geothermy, <http://goo.gl/YAS41N>
7. Bitri, A. and Grandjean, G. (1998), "Frequency - wavenumber modelling and migration of 2D GPR data in moderately heterogeneous dispersive media", *Geophysical Prospecting*, 46, 287-301.
8. «Η μέθοδος GPR (γεωραντάρ)», Geo Analysis, <http://goo.gl/AOXU0r>
9. «Ηλεκτρομαγνητικό κύμα», Learn from Physics, <http://goo.gl/it1qn5>
10. «Εφαρμογές Γεωραντάρ», Terra Mentor, <http://goo.gl/u6UTyd>

Παράρτημα

Γραμμή 4 - 400 MHz (Δεξαμενές 2 και 3 αντίστοιχα)

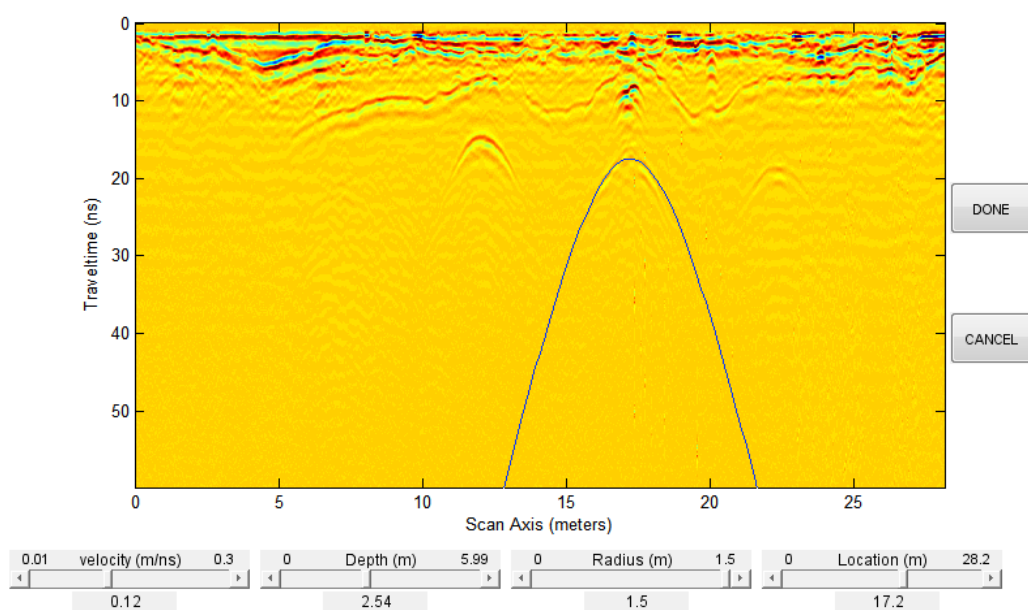


Σχήμα Ι. Γραμμή Μελέτης 4 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

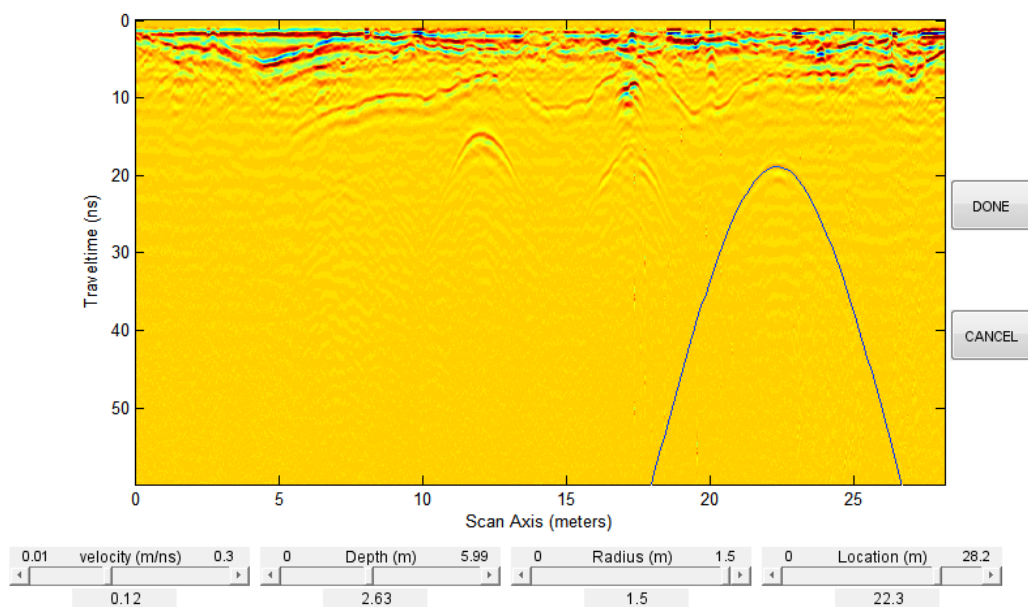


Σχήμα ΙΙ. Γραμμή Μελέτης 4 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Γραμμή 4 - 900 MHz (Δεξαμενές 2 και 3 αντίστοιχα)

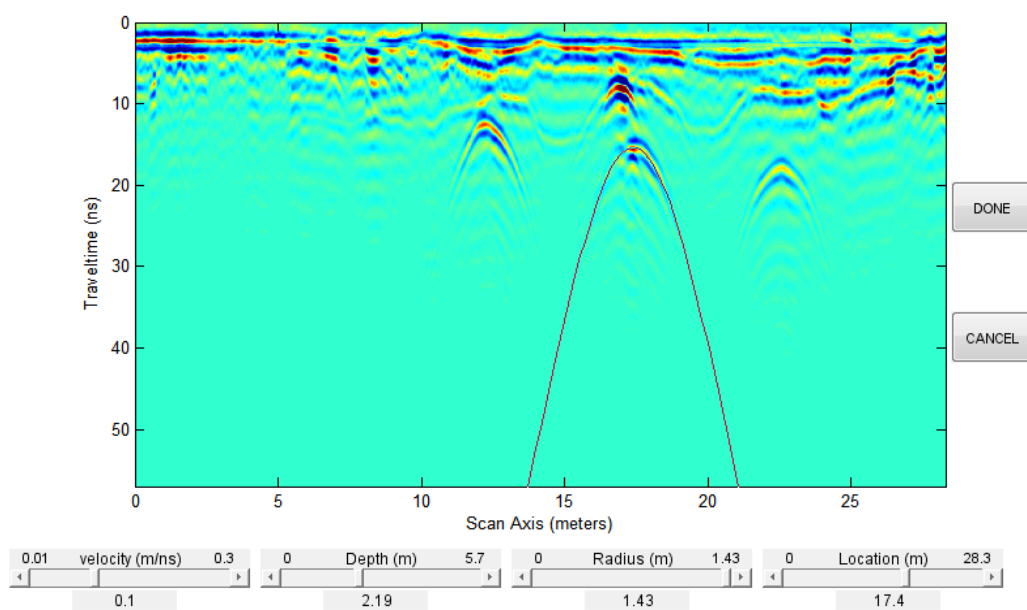


Σχήμα III. Γραμμή Μελέτης 4 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

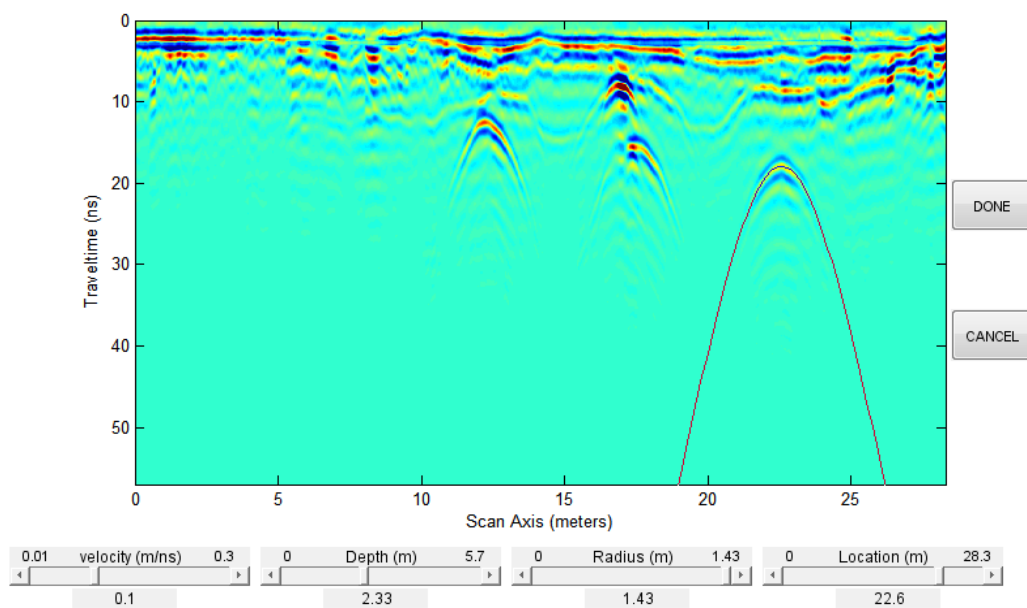


Σχήμα IV. Γραμμή Μελέτης 4 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Γραμμή 5 - 400 MHz (Δεξαμενές 2 και 3 αντίστοιχα)

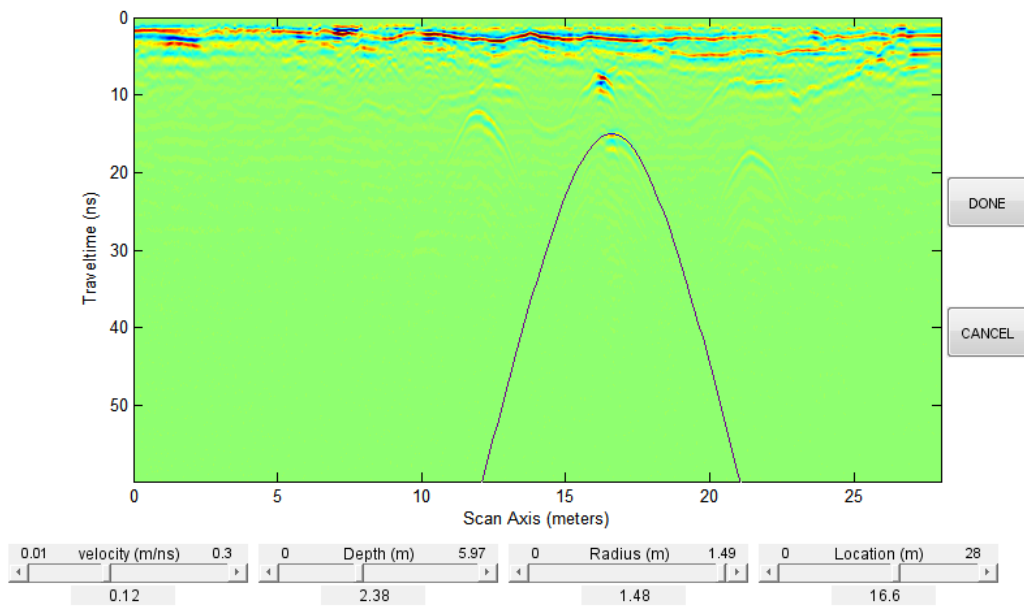


Σχήμα V. Γραμμή Μελέτης 5 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

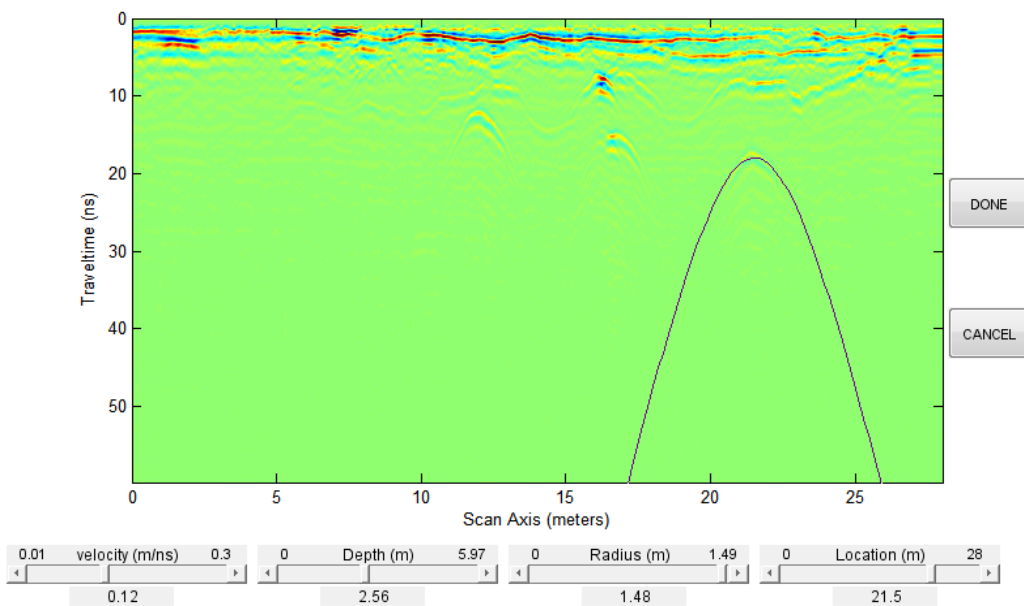


Σχήμα VI. Γραμμή Μελέτης 5 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Γραμμή 5 - 900 MHz (Δεξαμενές 2 και 3 αντίστοιχα)

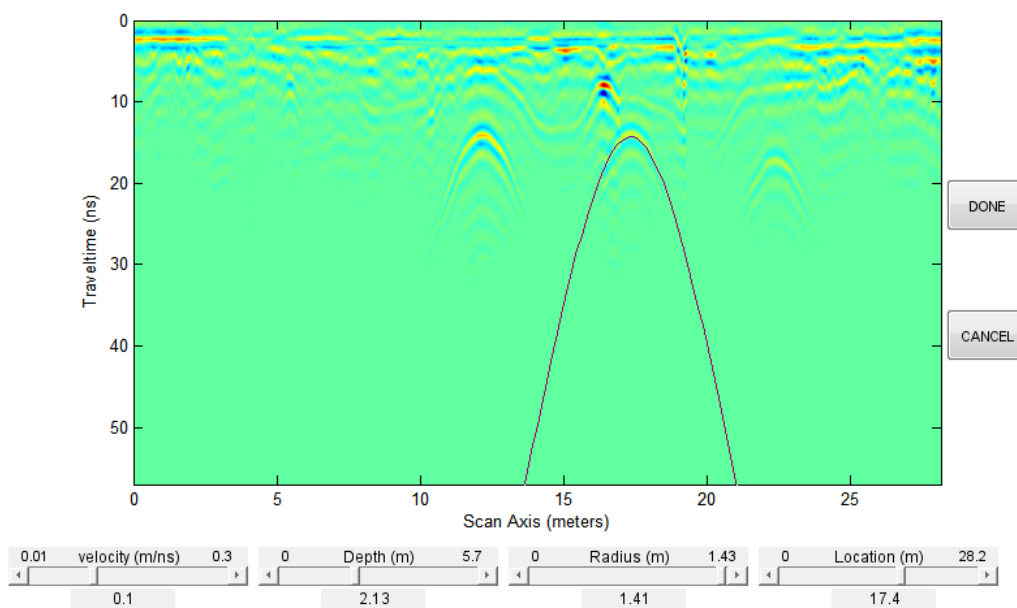


Σχήμα VII. Γραμμή Μελέτης 5 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

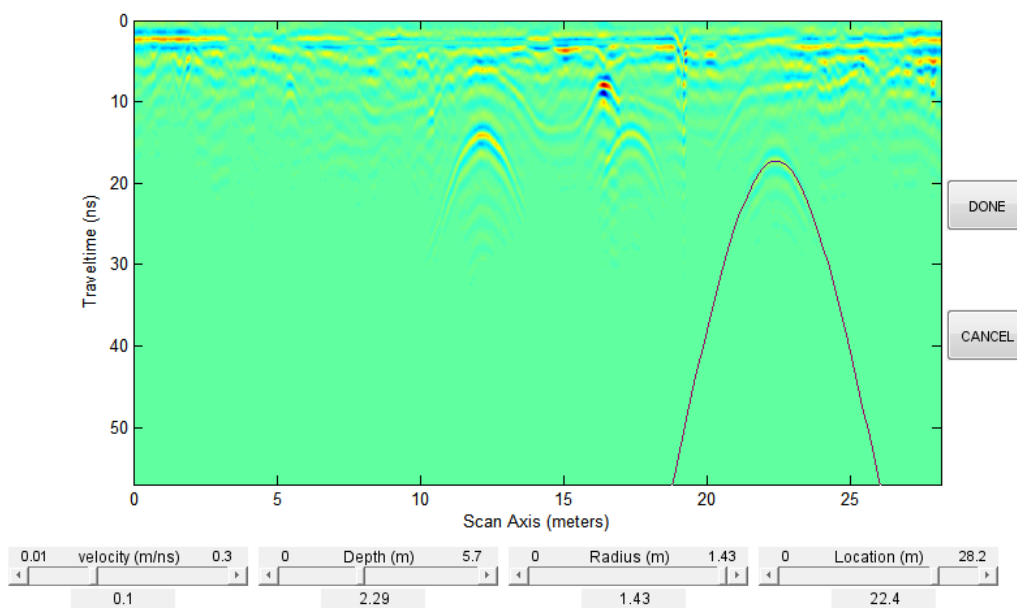


Σχήμα VIII. Γραμμή Μελέτης 5 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Γραμμή 6 - 400 MHz (Δεξαμενές 2 και 3 αντίστοιχα)

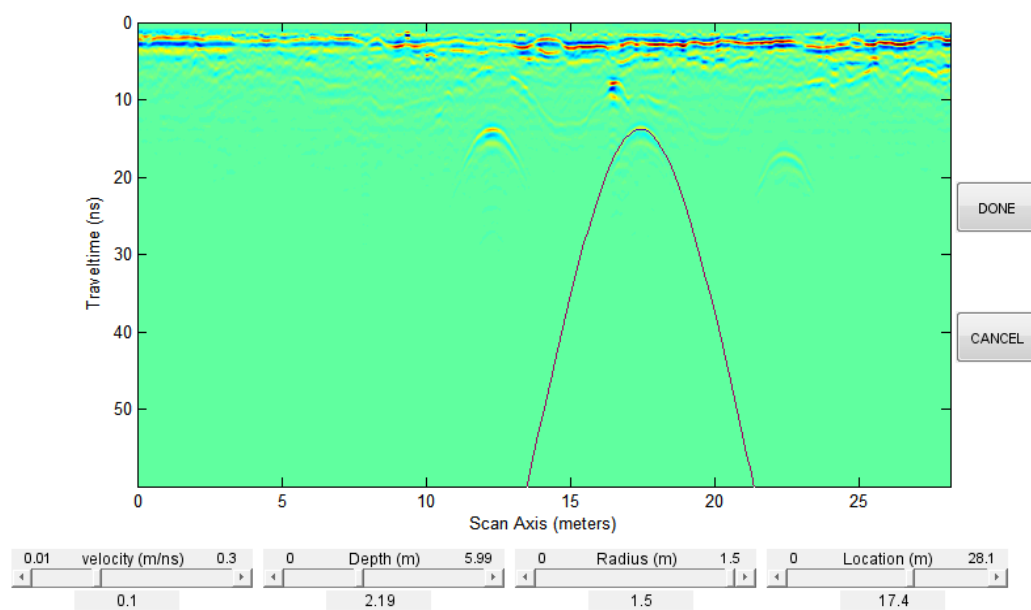


Σχήμα ΙΧ. Γραμμή Μελέτης 6 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

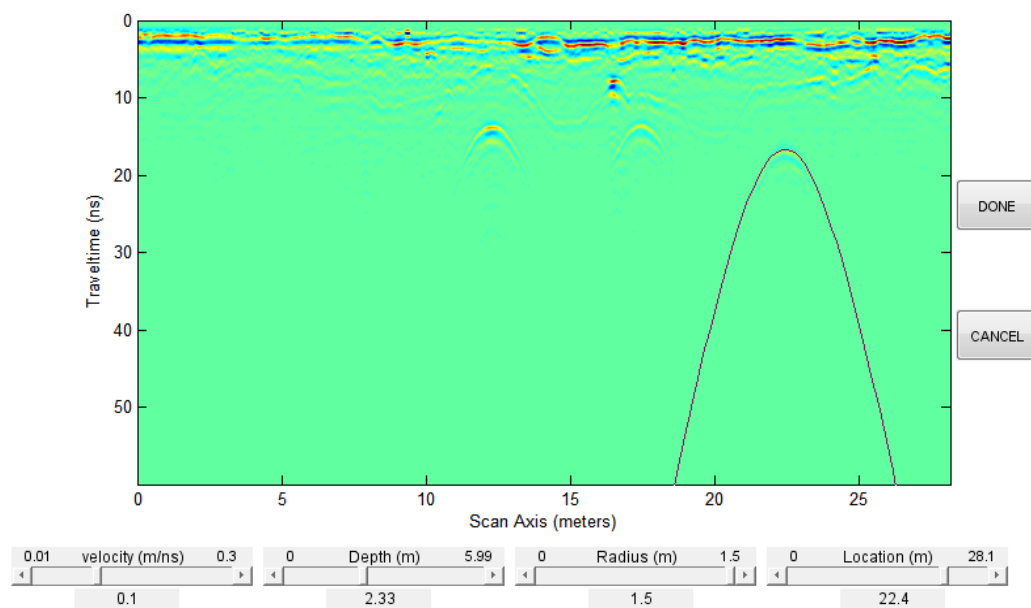


Σχήμα Χ. Γραμμή Μελέτης 6 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Γραμμή 6 - 900 MHz (Δεξαμενές 2 και 3 αντίστοιχα)

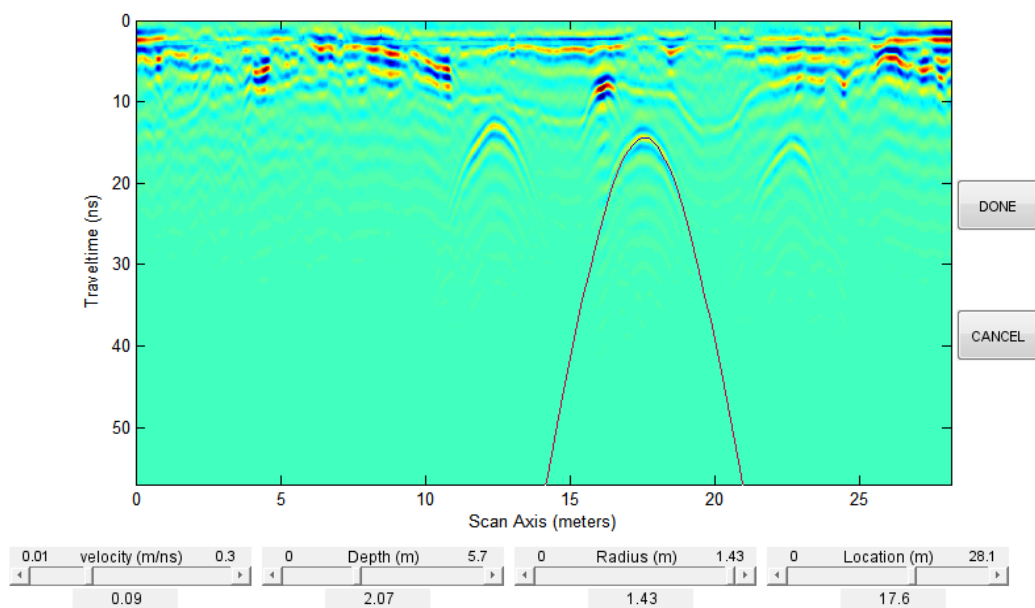


Σχήμα XI. Γραμμή Μελέτης 6 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων *Dewow*, *Remove Global Background*.

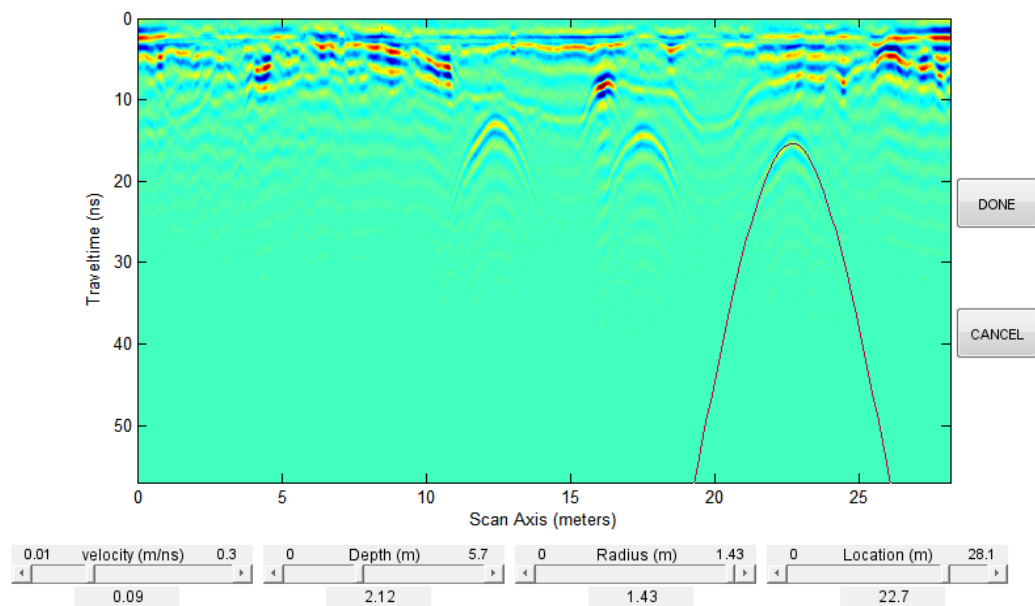


Σχήμα XII. Γραμμή Μελέτης 6 (900 MHz) έπειτα από εφαρμογή φίλτρων *Dewow*, *Remove Global Background*.

Γραμμή 7 - 400 MHz (Δεξαμενές 2 και 3 αντίστοιχα)

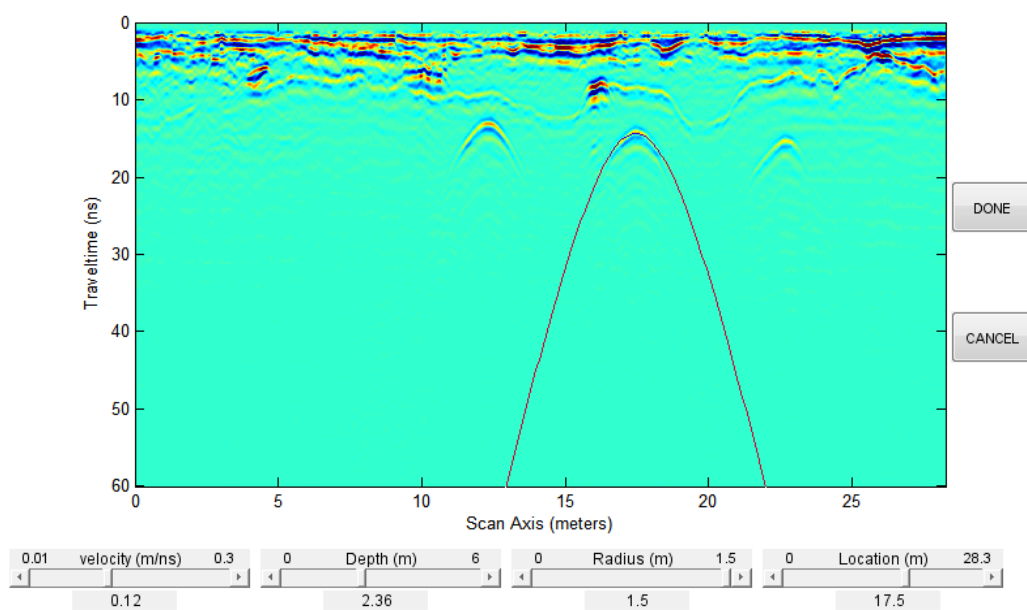


Σχήμα XIII. Γραμμή Μελέτης 7 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

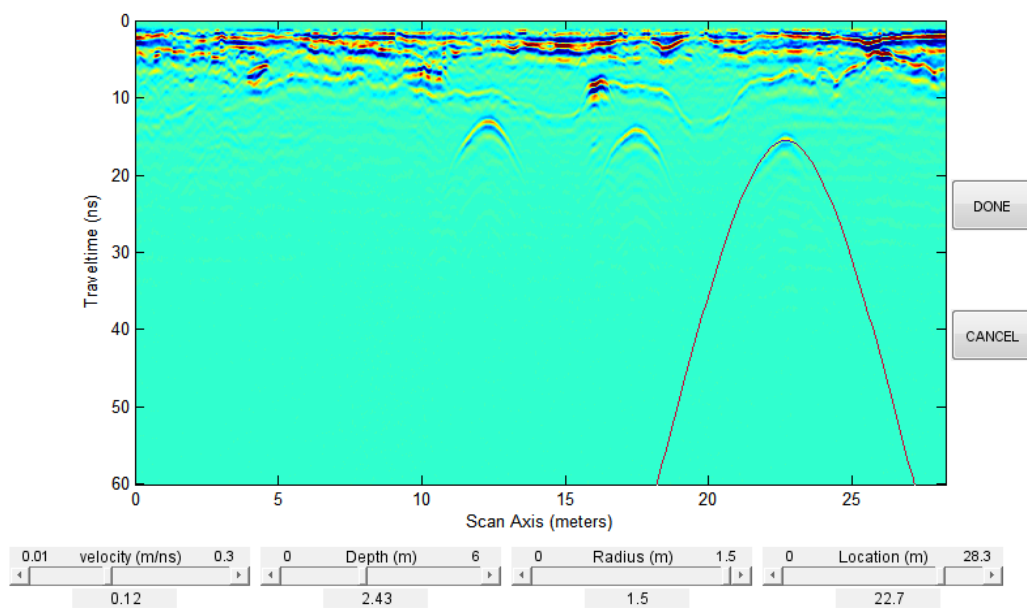


Σχήμα XIV. Γραμμή Μελέτης 7 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Γραμμή 7 - 900 MHz (Δεξαμενές 2 και 3 αντίστοιχα)

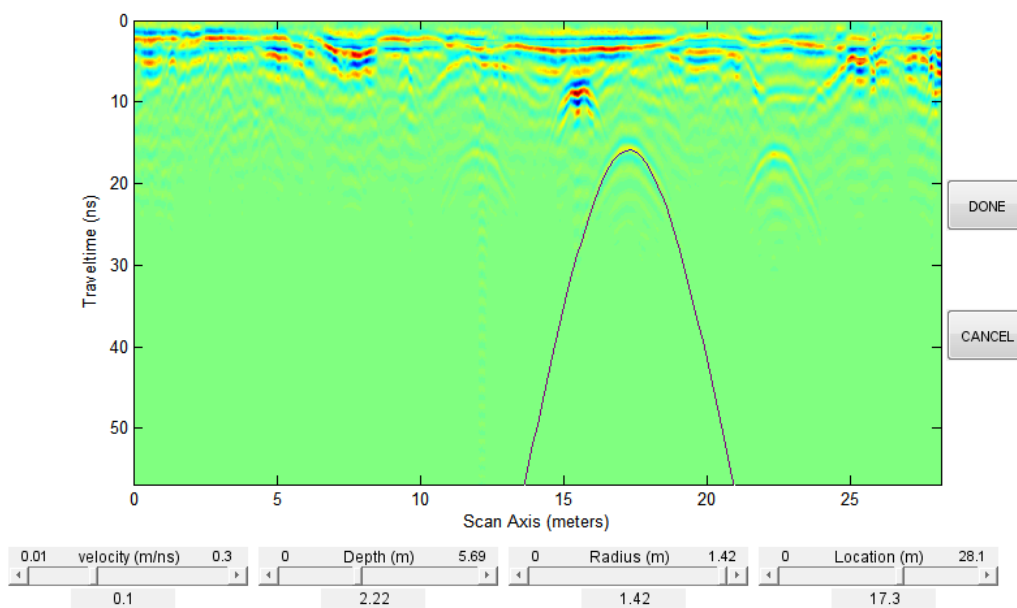


Σχήμα XV. Γραμμή Μελέτης 7 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

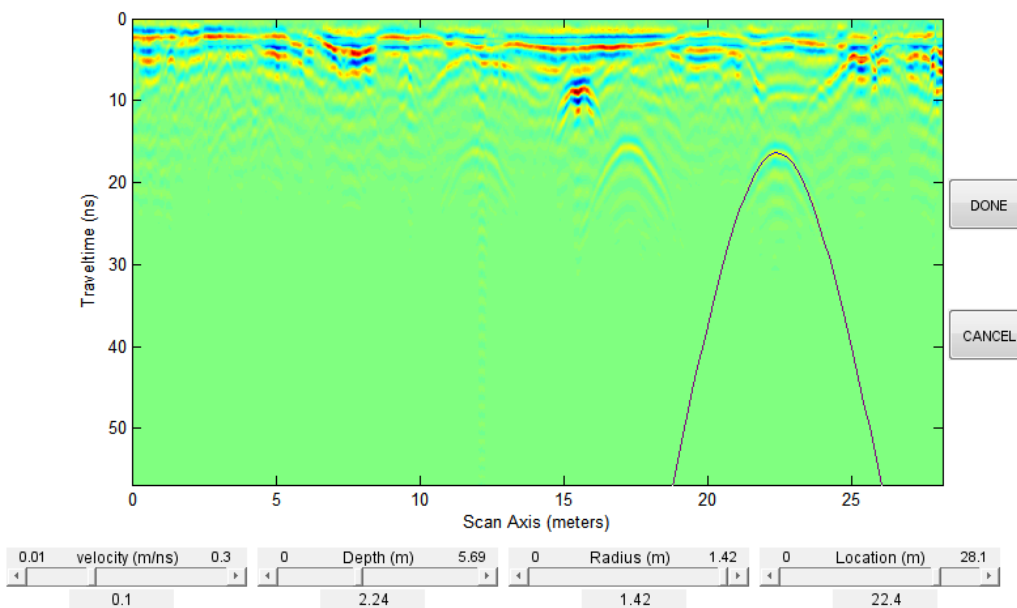


Σχήμα XVI. Γραμμή Μελέτης 7 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Γραμμή 8 - 400 MHz (Δεξαμενές 2 και 3 αντίστοιχα)

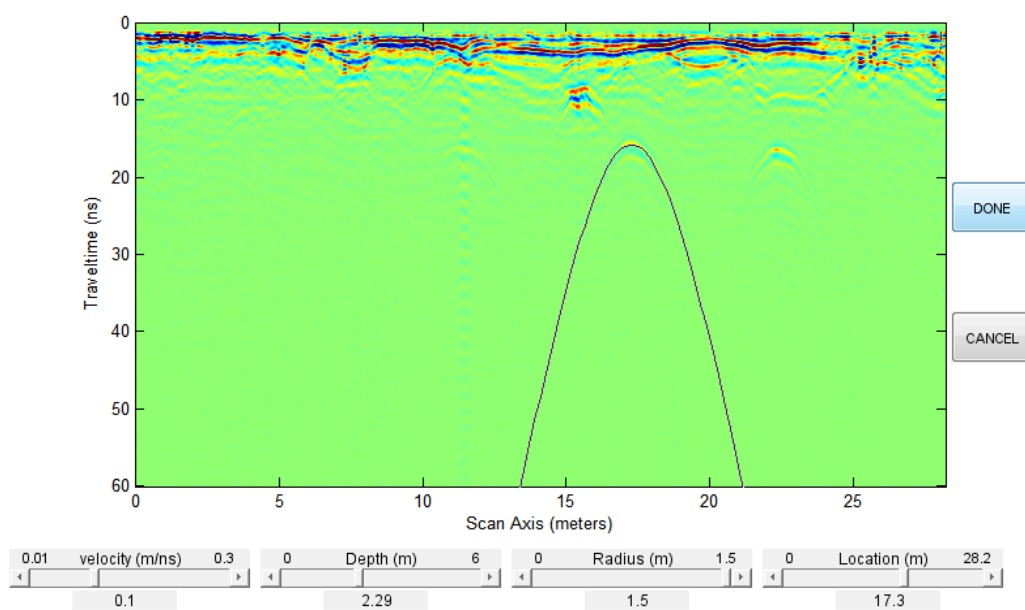


Σχήμα XVII. Γραμμή Μελέτης 8 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

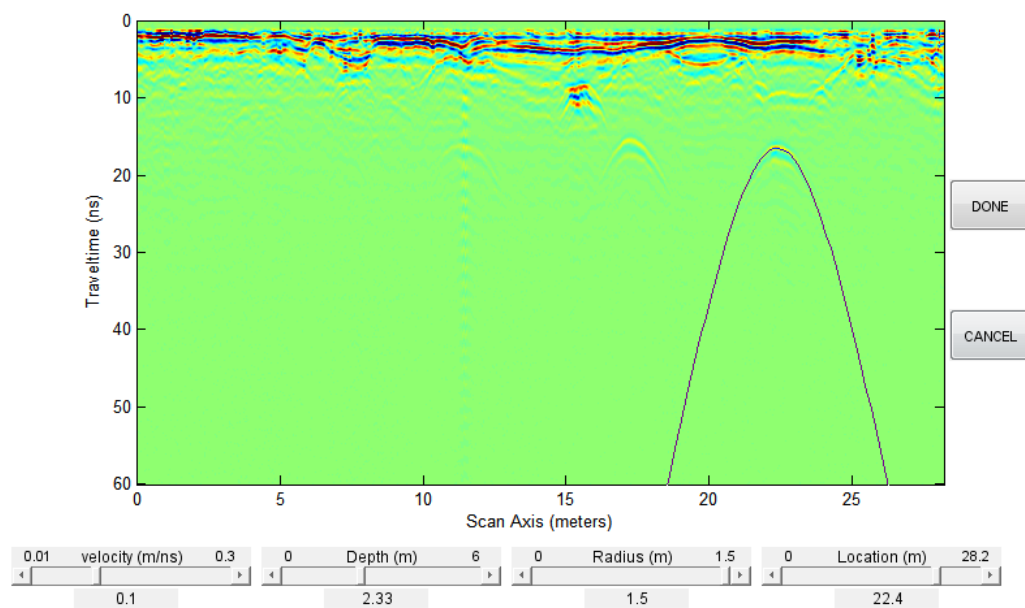


Σχήμα XVIII. Γραμμή Μελέτης 8 (400 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.

Γραμμή 8 - 900 MHz (Δεξαμενές 2 και 3 αντίστοιχα)



Σχήμα XIX. Γραμμή Μελέτης 8 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.



Σχήμα XX. Γραμμή Μελέτης 8 (900 MHz), έπειτα από εφαρμογή φίλτρων Dewow, Remove Global Background.