

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Απεικόνιση υπόγειων δεξαμενών με τη μέθοδο γεωραντάρ

ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ
(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΠΕΡΔΙΚΑΤΣΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ - ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΟΥΠΙΟΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ – ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ



Απρίλιος 2008

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι ο εντοπισμός θαμμένων αρχαιοτήτων με τη χρήση γεωραντάρ καθώς και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της συγκεκριμένης μεθόδου. Στην αρχή γίνεται μία αναλυτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του γεωραντάρ και των τμημάτων εκ των οποίων αποτελείται, καθώς επίσης γίνεται αναφορά και στους διάφορους τομείς εφαρμογής της συσκευής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι παράμετροι οι οποίοι θα πρέπει να εκτιμηθούν και να ρυθμιστούν πριν από τη διεξαγωγή των μετρήσεων, και οι οποίοι είτε έχουν σχέση με το γεωραντάρ είτε με τη περιοχή μελέτης. Στο κυρίως μέρος της εργασίας παρουσιάζονται οι επιμέρους περιοχές μελέτης καθώς επίσης και οι παράμετροι που είχαν καθοριστεί για τη συλλογή των δεδομένων. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σε κάθε περίπτωση για την επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν. Τέλος, γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων της έρευνας και αξιολόγηση της συγκεκριμένης μεθόδου διασκόπησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Τι είναι το γεωραντάρ.....	1
1.2 Αρχή λειτουργίας γεωραντάρ.....	1
1.3 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Χρήσεις γεωραντάρ.....	4
2.2 Αξιολόγηση του πεδίου της έρευνας.....	11
2.3 Σχεδιασμός διασκόπησης.....	13
2.3.1 Επιλογή συχνότητας λειτουργίας.....	15
2.3.2 Υπολογισμός διάρκειας καταγραφής.....	15
2.3.3 Διάστημα δειγματοληψίας.....	16
2.3.4 Βήμα διασκόπησης.....	16
2.3.5 Απόσταση πομπού – δέκτη.....	17
2.3.6 Προσανατολισμός κεραιών.....	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων γεωραντάρ.....	19
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Επεξεργασία δεδομένων από το υπόγειο του κτιρίου του Οργανισμού Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης

4.1 Εισαγωγή.....	21
4.2 Διεξαγωγή των μετρήσεων.....	21
4.3 Επεξεργασία των δεδομένων.....	22
4.3.1 Πρώτη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων.....	22
4.3.2 Δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων.....	26

4.4 Υπέρθωση των ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων.....	31
4.5 Υπολογισμός ταχύτητας ηλεκτρομαγνητικού κύματος.....	35
4.6 Αποτελέσματα.....	39
4.7 Συμπεράσματα.....	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Επεξεργασία δεδομένων από από τη περιοχή Απτέρα του νομού Χανίων

5.1 Εισαγωγή.....	53
5.2 Διεξαγωγή των μετρήσεων.....	55
5.3 Επεξεργασία των δεδομένων.....	56
5.3.1 Πρώτη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων.....	57
5.3.2 Δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων.....	60
5.3.3 Τρίτη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων.....	61
5.4 Υπέρθωση των ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων.....	66
5.5 Υπολογισμός ταχύτητας ηλεκτρομαγνητικού κύματος.....	72
5.6 Αποτελέσματα.....	75
5.7 Συμπεράσματα.....	83

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κεφάλαιο 1

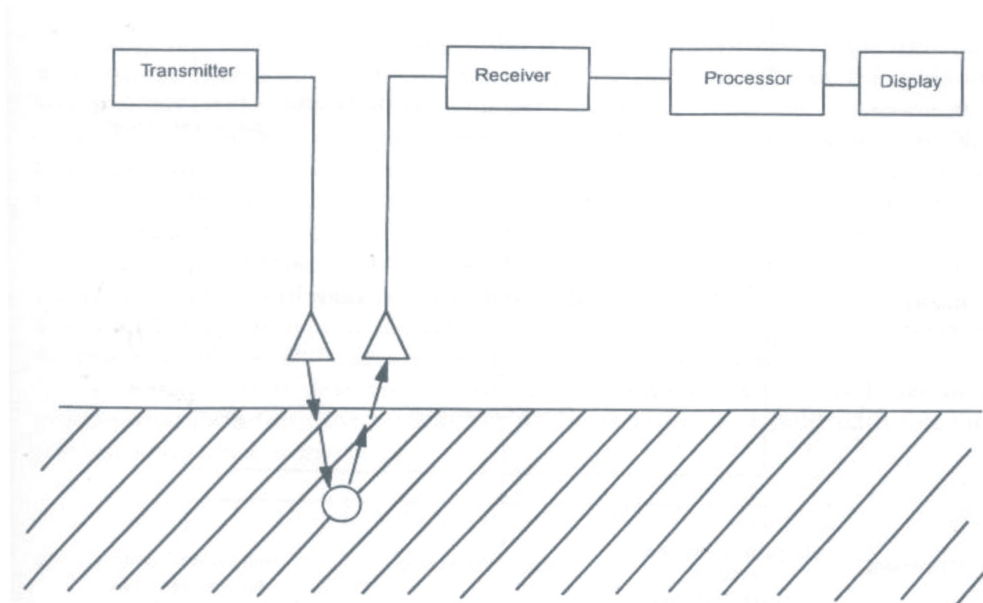
1.1 Τι είναι το γεωραντάρ

Το γεωραντάρ (Ground Penetrating Radar, GPR) είναι συσκευή που χρησιμοποιείται στη διεξαγωγή γεωφυσικών διασκοπήσεων. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στην βασική θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Χρησιμοποιείται κυρίως για τον εντοπισμό υπεδάφινων ανωμαλιών, χωρίς να προκαλεί τη διαταραχή των υπό μελέτη εδαφών, ενώ τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται και στον μη καταστροφικό έλεγχο μη μεταλλικών κατασκευών χωρίς αυτές να υφίστανται βλάβες. Η ανακάλυψη του γεωραντάρ έγινε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Η τεχνολογία της εποχής και η γνώση γύρω από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ήταν σχετικά περιορισμένες με αποτέλεσμα την περιορισμένη ακρίβεια του οργάνου. Η άνθιση η τεχνολογίας στο τομέα της ηλεκτρονικής κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έφερε σημαντικές εξελίξεις στις τεχνικές διάδοσης κυμάτων σε παλμούς, καθώς επίσης και στη κατασκευή βελτιωμένων εξαρτημάτων για τη διεξαγωγή ακριβέστερων μετρήσεων. Ένας σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη του τομέα των ηλεκτρομαγνητικών γεωφυσικών διασκοπήσεων με γεωραντάρ ήταν και η ανάπτυξη βασικών αρχών θεωρίας και υπολογισμών για τον προσδιορισμό της ταχύτητας των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

1.2 Αρχή λειτουργίας γεωραντάρ

Η ανάπτυξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας καθώς και η ανάπτυξη των υπολογιστών συνέβαλλε στην εκτενέστερη χρήση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στον τομέα της γεωφυσικής διασκόπησης. Το γεωραντάρ χρησιμοποιεί ραδιοκύματα εύρους συχνοτήτων από 1 έως 1200 MHz. Αποτελείται από έναν πομπό, ο οποίος παράγει ηλεκτρομαγνητικό παλμό που διαρκεί μερικά νανοδευτερόλεπτα (10^{-9} sec), και από έναν δέκτη. Ο παλμός αυτός διαδίδεται στο υπό έρευνα υλικό ωσότου συναντήσει επιφάνεια ή υλικό με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες. Τότε ένα μέρος της ενέργειας του παλμού θα διαδοθεί στο δεύτερο υλικό (διάθλαση), και ένα μέρος θα ανακλαστεί και θα επιστρέψει στον δέκτη. Το γεωραντάρ διαθέτει μονάδα ελέγχου η οποία θα καταγράψει το χρόνο διαδρομής του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από τον πομπό στον δέκτη, καθώς επίσης και το πλάτος του ανακλώμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος (Σχήμα 1.1). Η διάδοση του κύματος εξαρτάται από τις

ηλεκτρικές ιδιότητες του υπό μελέτη υλικού καθώς και από τη συχνότητα εκπομπής της κεραίας του πομπού. Οι πληροφορίες αυτές καταγράφονται και αποθηκεύονται έτσι ώστε στη συνέχεια να είναι δυνατή η επεξεργασία τους από κατάλληλο λογισμικό. Η εκπομπή και λήψη των ραδιοκυμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί από την ίδια κεραία (monostatic mode) ή από δύο διαφορετικές κεραίες (bistatic mode) (Πουλιούδης, 2001).



Σχήμα 1.1: Αρχή λειτουργίας γεωραντάρ (D. J. Daniels, 1996, Surface–Penetrating Radar)

1.3 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Στόχος της μονάδας ελέγχου του γεωραντάρ είναι να καταγράψει το πλάτος του ανακλώμενου παλμού, καθώς επίσης και το χρόνο που μεσολαβεί από τη στιγμή εκπομπής του παλμού από το πομπό έως τη λήψη του από το δέκτη. Στη γεωφυσική μέθοδο διασκόπησης με γεωραντάρ, ο δέκτης μας καταγράφει τρεις κύριες κατηγορίες κυμάτων με διαφορετικά πλάτη και με διαφορετικούς χρόνους άφιξης:

- Ανακλώμενα κύματα: Τα κύματα αυτά εκπέπονται από τον πομπό του οργάνου, διαδίδονται στο έδαφος έως ότου συναντήσουν κάποια ασυνέχεια ή υλικό με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες. Τότε εν μέρει ανακλώνται και ποσοστό του της

ενέργειας του ηλεκτρομαγνητικού παλμού επιστρέφει στο δέκτη του γεωραντάρ όπου και γίνεται καταγραφή του χρόνου διαδρομής και του πλάτους του. Ο χρόνος διαδρομής δίδεται από τον τύπο:

$$t_r = (4D^2 + X^2)^{1/2} / u$$

όπου D το βάθος του εμποδίου, X η απόσταση πομπού-δέκτη και u η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο μέσο διάδοσης.

- Απ' ευθείας κύματα: Τα κύματα αυτά διαδίδονται από τον πομπό στο δέκτη δίχως να ανακλαστούν σε κάποια επιφάνεια. Υπάρχουν δύο κατηγορίες απ' ευθείας κυμάτων: Τα απ' ευθείας κύματα αέρα και τα απ' ευθείας κύματα εδάφους. Τα απ' ευθείας κύματα αέρα είναι τα πρώτα κύματα τα οποία καταγράφονται από το δέκτη του οργάνου σε κάθε μέτρηση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η ταχύτητα διάδοσης στον αέρα είναι η μέγιστη δυνατή καθώς και στη μικρή απόσταση την οποία διανύουν τα κύματα αυτά. Αμέσως μετά έχουμε τις αφίξεις των απ' ευθείας κυμάτων εδάφους. Ο χρόνος διαδρομής των κυμάτων αυτών δίδεται από τους εξής τύπους (Σπανουδάκης, 2002):

$$t = X / u_{\text{αέρα}}$$

$$t = X / u_{\text{εδάφους}}$$

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

Κεφάλαιο 2

2.1 Χρήσεις γεωραντάρ

Στη μέθοδο διασκόπησης με γεωραντάρ, το μέγεθος του στόχου, η μορφή του στόχου, οι ηλεκτρικές ιδιότητες του υπό μελέτη υλικού, το ανάγλυφο του πεδίου διασκόπησης και το οικονομικό κόστος της γεωφυσικής μελέτης καθορίζουν διάφορες παραμέτρους όπως:

- την επιλογή συχνότητας λειτουργίας της κεραίας
- τον προσανατολισμό της κεραίας
- τον τύπο της χρησιμοποιούμενης κεραίας
- το βήμα διασκόπησης

Αυτό σημαίνει πως είναι εφικτό να δημιουργηθεί ένα σύστημα το οποίο θα ειδικεύεται στην διασκόπηση ενός συγκεκριμένου στόχου, ανάλογα με τις απαιτήσεις μας. Στην περίπτωση όπου το βάθος διασκόπησης είναι σημαντικότερο από την διακριτική ικανότητα, χρησιμοποιούνται κεραίες των 50MHz ή και μεγαλύτερες. Αντίθετα, για εφαρμογές στις επιστήμες των μηχανικών και στις μη καταστροφικές δοκιμές (Non Destructive Testing, NDT), όπου η διακριτική ικανότητα είναι το ζητούμενο, οι κεραίες που χρησιμοποιούνται είναι της τάξης των 500-2000MHz.

Συνεπώς, το γεωραντάρ έχει ένα πολύ ευρύ φάσμα εφαρμογών το οποίο εκτείνεται από την χαρτογράφηση γεωλογικών δομών έως και την τον εντοπισμό καλωδίων ή οπλισμού σε τσιμέντο.

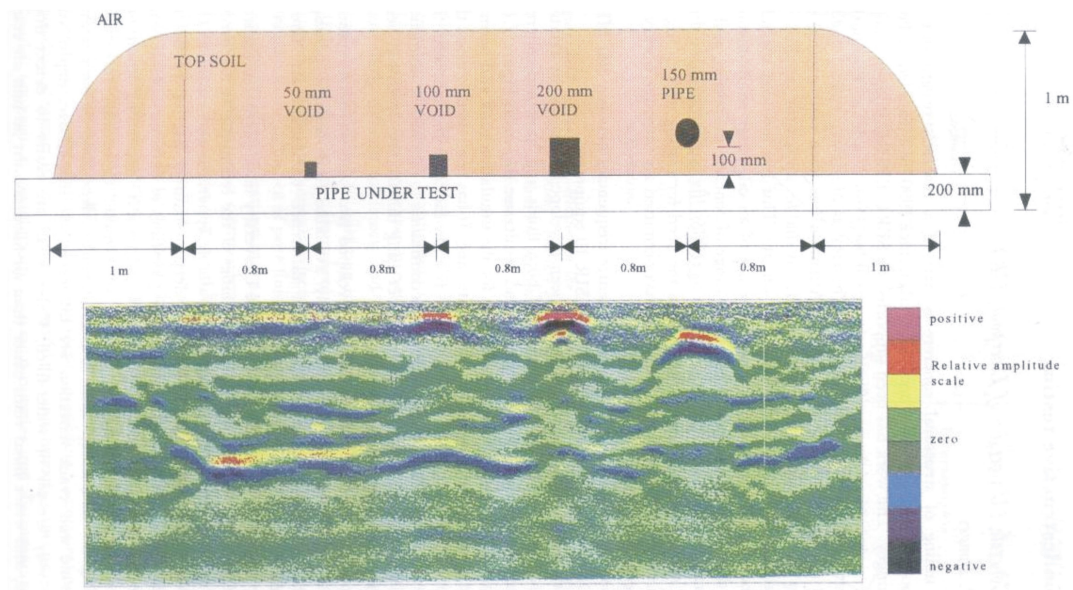
Οι κυριότερες εφαρμογές του γεωραντάρ είναι:

1. Γεωλογικές

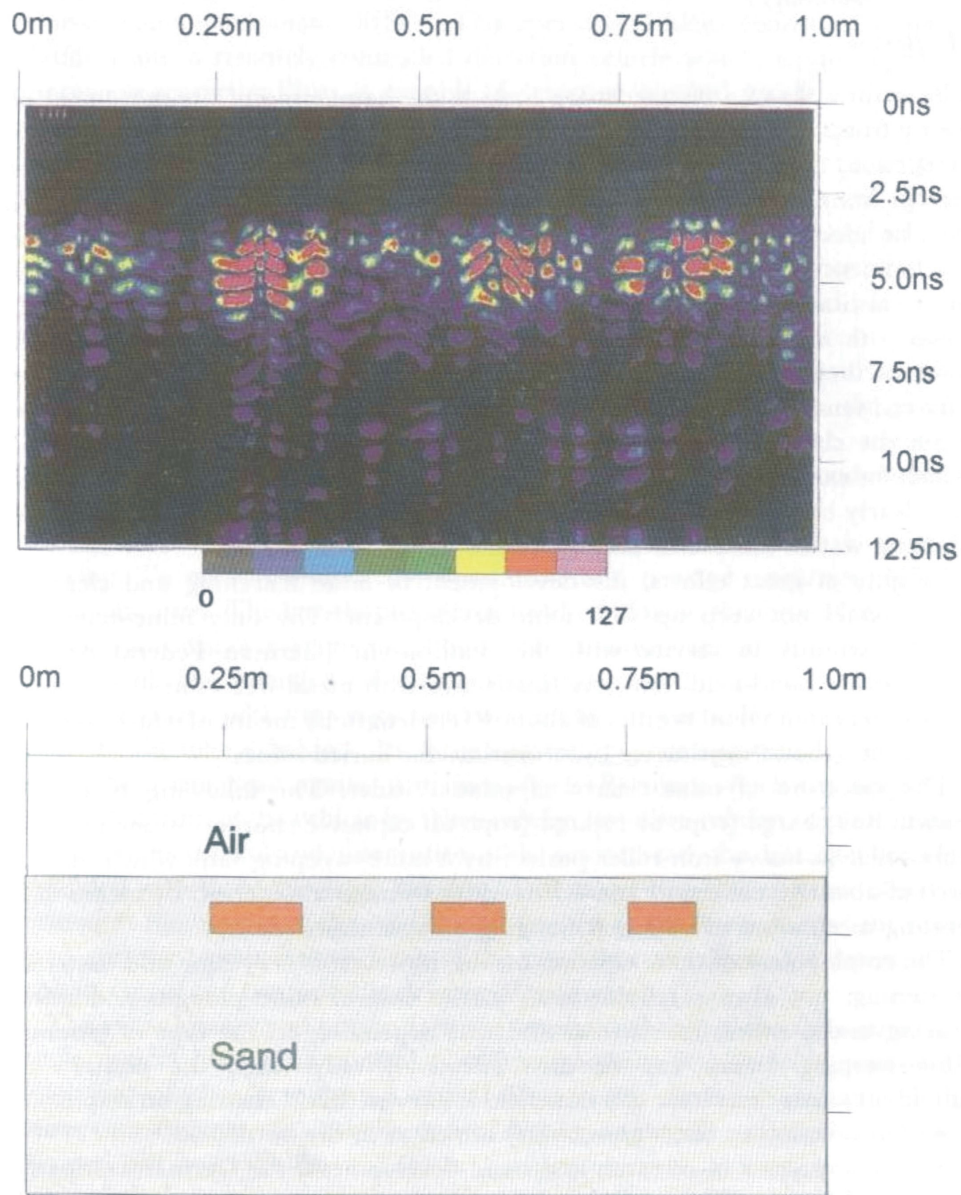
- Χαρτογράφηση υπεδάφειων τάφρων
- Χαρτογράφηση ρωγμών σε ορυκτό αλάτι
- Χαρτογράφηση γεωλογικών δομών
- Χαρτογράφηση λιμναίων και ποτάμιων ιζημάτων
- Ανίχνευση εγκοίλων και ασυνεχειών

2. Περιβαλλοντικές

- Έρευνες σε χωματερές
- Χαρτογράφηση ρύπων στο υπεδάφειο νερό
- Έρευνες για εντοπισμό νερού
- Εντοπισμός θαμμένων αντικειμένων όπως μεταλλικών σωλήνων (Σχήμα 2.1), ναρκών (Σχήμα 2.2), καλωδίων



Σχήμα 2.1: Εντοπισμός θαμμένων σωλήνων με γεωραντάρ (Daniels, 1996, Surface-Penetrating Radar)



Σχήμα 2.2: Εντοπισμός θαμμένων ναρκών με γεωραντάρ (Daniels, 1996, Surface-Penetrating Radar)

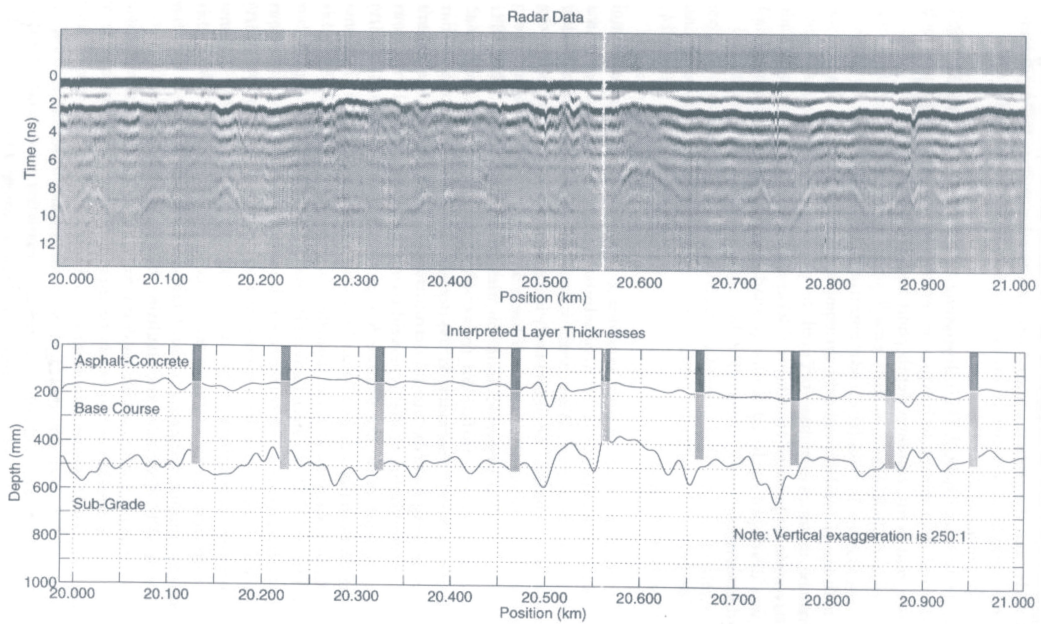
3. Κατασκευές

- Απεικόνιση αστοχιών και κενών (Εικόνα 2.3, Εικόνα 2.5, Εικόνα 2.6, Εικόνα 2.7)
- Ανάλυση στρωματογραφίας σε δρόμους (Σχήμα 2.4)
- Προσδιορισμός οπλισμού στο τσιμέντο

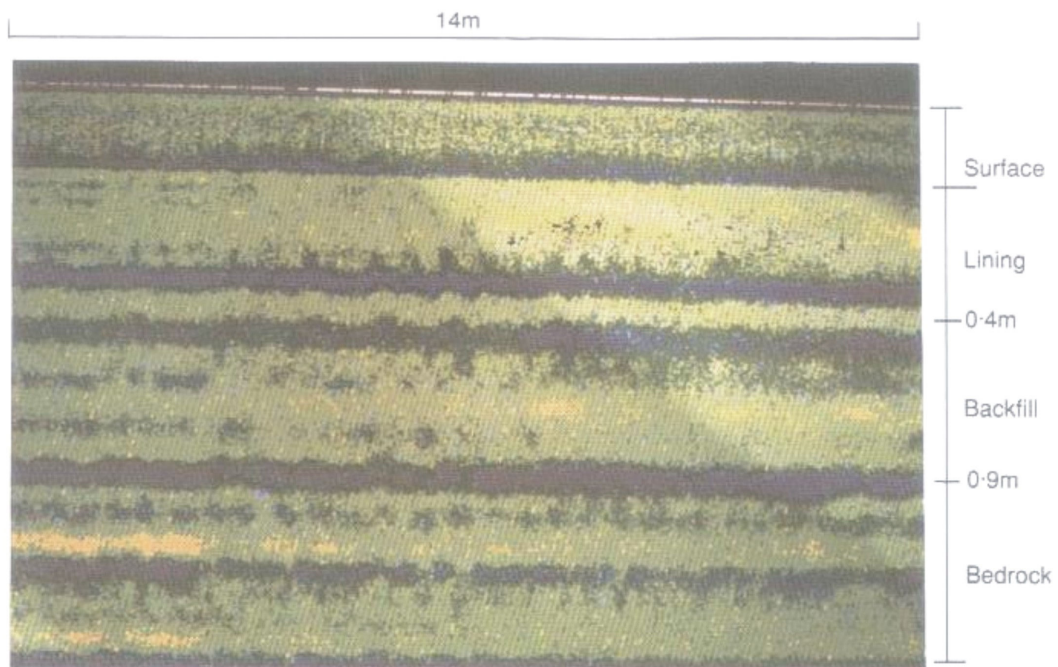
- Εντοπισμός σωλήνων και καλωδίων



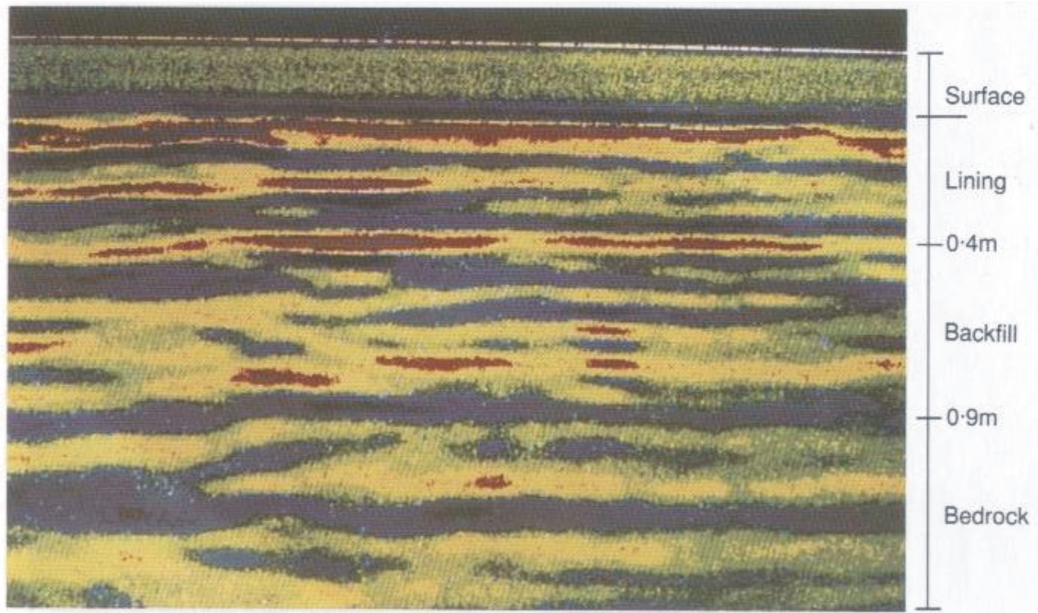
Εικόνα 2.3: Ανίχνευση αστοχιών σε οδόστρωμα με χρήση γεωραντάρ (Daniels, 1996, Surface-Penetrating Radar)



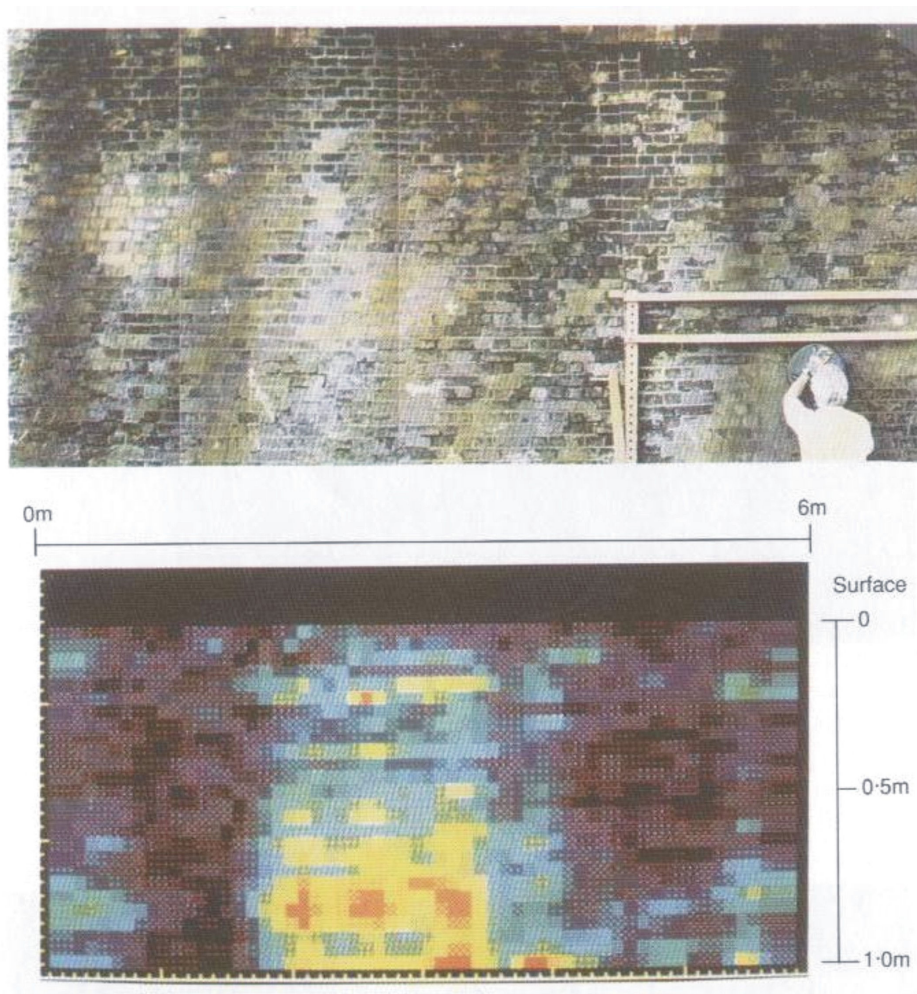
Σχήμα 2.4: Ανάλυση στρωματογραφίας σε δρόμο με χρήση γεωραντάρ (Daniels, 1996, Surface-Penetrating Radar)



Εικόνα 2.5: Έλεγχος αστοχιών στην ενισχυτική επένδυση των σηράγγων – υγής τομέας σήραγγας (Daniels, 1996, Surface-Penetrating Radar)



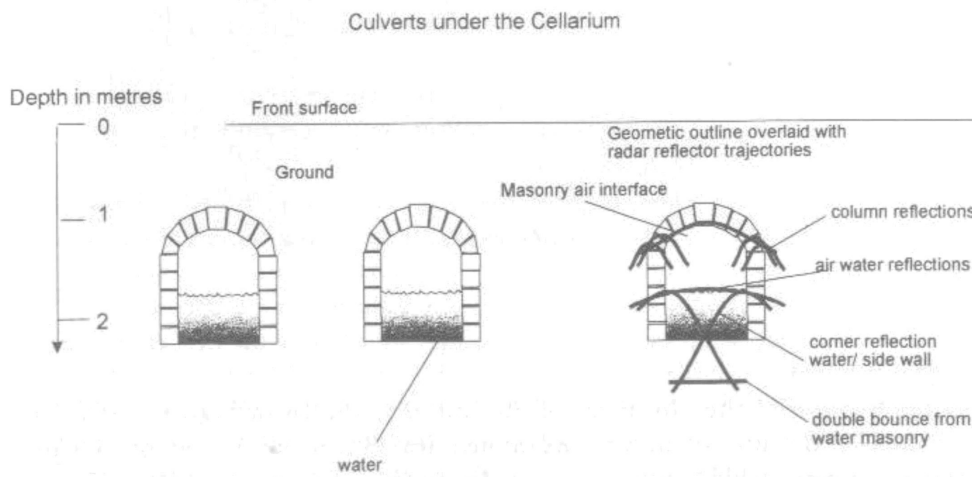
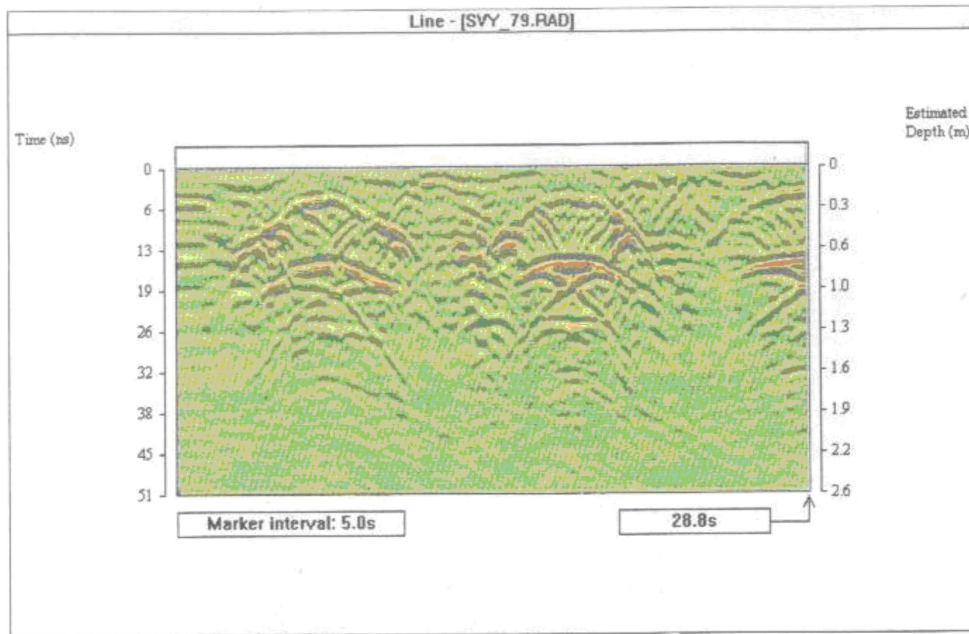
Εικόνα 2.6: Έλεγχος αστοχιών στην ενισχυτική επένδυση των σηράγγων – προβληματικός τομέας σήραγγας (Daniels, 1996, Surface–Penetrating Radar)



Εικόνα 2.7: Έλεγχος στην συναρμογή των υλικών κατασκευής μιας γέφυρας με χρήση γεωραντάρ (Daniels, 1996, Surface-Penetrating Radar)

4. Αρχαιολογία

- Εντοπισμός θαμμένων κατασκευών (Σχήμα 2.8)
- Χαρτογράφηση πριν την αρχαιολογική εκσκαφή



Σχήμα 2.8: Εντοπισμός θαμμένων κατασκευών με χρήση γεωραντάρ (Daniels, 1996, Surface-Penetrating Radar)

2.2 Αξιολόγηση του πεδίου της έρευνας

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου διασκόπησης με γεωραντάρ, οφείλεται εν μέρει στην κατανόηση των αρχών λειτουργίας του οργάνου από τον χειριστή του και εν μέρει στην

πληρέστερη γνώση του πεδίου έρευνας, όπως των ιδιοτήτων και της δομής του προς εντοπισμό στόχου. Επιπρόσθετα, η προετοιμασία του οργάνου και ο σχεδιασμός της διασκόπησης πρώτα γίνεται με βάση την αξιολόγηση του πεδίου της έρευνας. Οι παράμετροι οι οποίες θα πρέπει να εκτιμηθούν είναι:

1. Χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης

- Προσβασιμότητα (με αυτοκίνητο, πεζοί)
- Τοπογραφικοί χάρτες της περιοχής
- Αεροφωτογραφίες
- Φωτογραφίες της περιοχής μελέτης
- Σχέδια κατασκευής των οικοδομικών κατασκευών που τυχάνει να βρίσκονται εντός της περιοχής μελέτης
- Ιστορικά αρχεία που αφορούν τη περιοχή
- Καιρικές συνθήκες που επικρατούν

2. Χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους

- Τεχνητή (σκυρόδεμα, τούβλα, ξύλο) ή φυσική (γρασίδι, χώμα, άργιλος, πέτρα) επιφάνεια εδάφους
- Η προηγούμενη χρήση της περιοχής
- Το ανάγλυφο της περιοχής
- Βλάστηση
- Επιφανειακό νερό / χιόνι / πάγος

3. Χαρακτηριστικά του υπεδάφους της περιοχής μελέτης

- Γεωλογία
- Στρωματογραφία
- Τυχόν υπόγειες γνωστές κατασκευές

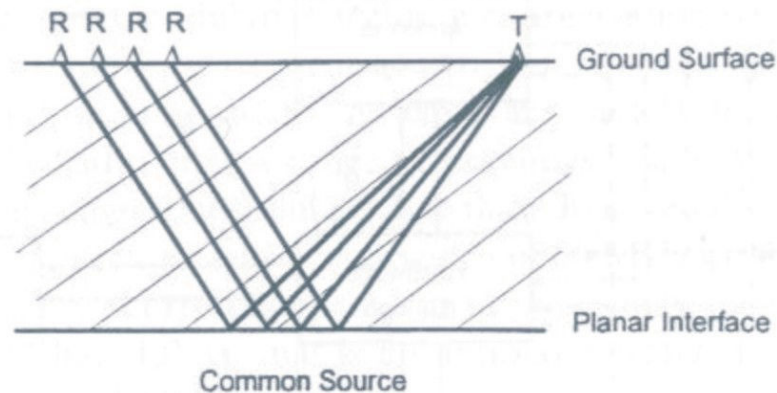
4. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα του στόχου

- Μέγεθος στόχου
- Βάθος στόχου
- Σύσταση στόχου
- Χρονική διάρκεια παραμονής στόχου στο υπέδαφος

2.3 Μέθοδοι διασκόπησης

Η εκλογή μεθόδων διασκόπησης με γεωραντάρ έχει να κάνει με τον τρόπο και με την θέση στην οποία θα τοποθετηθούν ο πομπός και ο δέκτης του γεωραντάρ κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Υπάρχουν οι εξής τρόποι με τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί το γεωραντάρ:

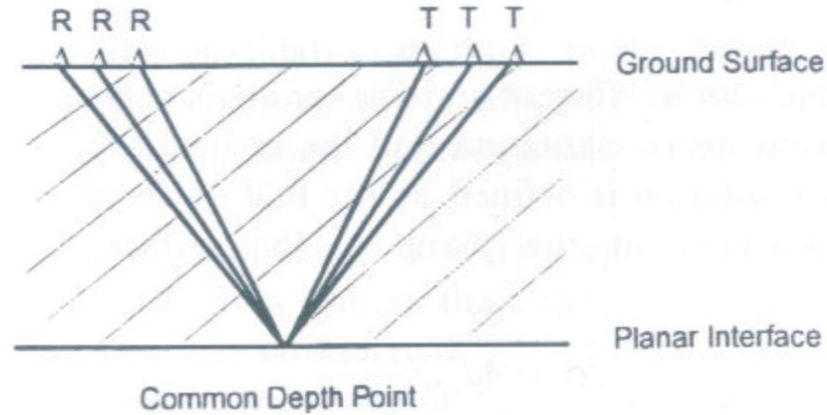
Μέθοδος σταθερού πομπού, κινούμενου δέκτη (Wide angle reflection and refraction): Σε αυτή τη περίπτωση ο πομπός παραμένει σταθερός σε κάποιο σημείο ενώ ο δέκτης κινείται πάνω στη γραμμή μελέτης με σταθερό βήμα (Σχήμα 2.9)



Σχήμα 2.9: Μέθοδος σταθερού πομπού, κινούμενου δέκτη

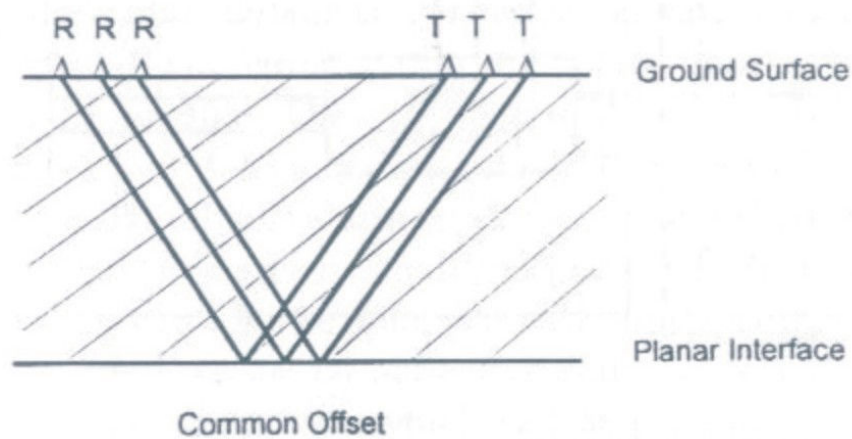
Μέθοδος του κοινού ενδιάμεσου σημείου (Common Mid Point): Στη μέθοδο αυτή πρώτα προσδιορίζεται κάποιο σημείο του ανακλαστήρα που θα αποτελέσει το ενδιάμεσο σημείο και οι κεραίες τοποθετούνται στην ελάχιστη απόσταση (Σχήμα 2.10). Κάθε κεραία

απομακρύνεται από το κέντρο κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η μέγιστη απόσταση δεν χρειάζεται να ξεπεράσει το βάθος του προς έρευνα ανακλαστήρα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο μέσο.



Σχήμα 2.10: Μέθοδος του κοινού ενδιάμεσου σημείου

Μέθοδος της ανάκλασης (Reflection): Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τη γεωλογική χαρτογράφηση και τον εντοπισμό μεμονωμένων στόχων. Οι κεραίες διατηρούνται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους και κινούνται κατά μήκος της γραμμής μελέτης με σταθερό βήμα (Σχήμα 2.11).



Σχήμα 2.11: Μέθοδος της ανάκλασης

Μέθοδος της τομογραφίας (Transillumination): Σε αυτή τη μέθοδο οι κεραίες τοποθετούνται εκατέρωθεν του υπό μελέτη υλικού αντικρίζοντας η μία την άλλη. Ο ηλεκτρομαγνητικός

παλμός δεν ανακλάται σε κάποια ασυνέχεια, αλλά διέρχεται από το μέσο και χρησιμοποιείται κυρίως για τον χαρακτηρισμό σχηματισμών ανάμεσα στις γεωτρήσεις.

2.3.1 Επιλογή συχνότητας λειτουργίας

Η επιλογή της συχνότητας λειτουργίας του γεωραντάρ είναι μία σημαντική παράμετρος, η οποία πρέπει να προεπιλεχθεί των μετρήσεων. Η μεγάλη συχνότητα εκπομπής έχει το πλεονέκτημα της υψηλής διακριτικότητας, όμως έχει και το μειονέκτημα του μικρού βάθους διείσδυσης. Αντίθετα, η μικρή σχετικά συχνότητα εκπομπής έχει το πλεονέκτημα του μεγάλου βάθους διείσδυσης και το μειονέκτημα της μικρής διακριτικής ικανότητας. Οπότε για την επίτευξη όσο το δυνατό πιο αξιόπιστων μετρήσεων, ο χρήστης θα πρέπει να βρει τη χρυσή τομή ανάμεσα στην επιθυμητή διακριτική ικανότητα και το ζητούμενο βάθος διασκόπησης, επιλέγοντας την ορθότερη συχνότητα εκπομπής.

Για το σκοπό αυτό έχει αναπτυχθεί ο εξής εμπειρικός τύπος:

$$f = 150 / xK^{1/2} \quad [2.1]$$

f: συχνότητα εκπομπής (MHz)

x: χωρική διακριτική ικανότητα (m)

K: διηλεκτρική σταθερά του περιβάλλοντα χώρου

2.3.2 Επιλογή διάρκειας καταγραφής

Για την επιλογή της διάρκειας της καταγραφής χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$W = 2.6d_{\max} / u \quad [2.2]$$

W: ολικός χρόνος καταγραφής (nsec)

d_{\max} : μέγιστο επιθυμητό βάθος

u: ταχύτητα διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού παλμού στο μέσο

Ο συγκεκριμένος τύπος για να προβλεψει τυχόν σφάλματα από τους υπολογισμούς, αυξάνει το χρόνο καταγραφής κατά 30%.

2.3.3 Διάστημα δειγματοληψίας

Το διάστημα δειγματοληψίας καθορίζεται από την αρχή του Nyquist και πρέπει να είναι μικρότερο από τη μισή περίοδο του σήματος υψηλότερης συχνότητας στην καταγραφή. Για τον υπολογισμό του διαστήματος δειγματοληψίας χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$t = 1000 / 6f \quad [2.3]$$

f: συχνότητα (MHz)

t: χρόνος (nsec)

2.3.4 Βήμα διασκόπησης

Το βήμα διασκόπησης είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων πάνω στη γραμμή μελέτης πάνω στα οποία πραγματοποιούνται μετρήσεις. Το βήμα διασκόπησης συντελεί σημαντικά στην ακρίβεια των μετρήσεων. Όταν χρησιμοποιείται μεγάλο βήμα διασκόπησης, τα αποτελέσματα δεν θα έχουν μεγάλη ακρίβεια ειδικά όταν υπάρχουν απότομες και έντονες μεταβολές στην κλίση των ανακλαστήρων. Για το λόγο αυτό, κρίνεται απαραίτητη η χρήση του κριτηρίου

Nyquist το οποίο εκφράζει ότι το διάστημα δειγματοληψίας είναι ένα τέταρτο του μήκους κύματος στον περιβάλλοντα χώρο:

$$n_x = \lambda / 4 = 75 / (K^{1/2} f) \quad [2.4]$$

n_x : το βήμα διασκόπησης (m)

f : συχνότητα εκπομπής της κεραίας (MHz)

K : διηλεκτρική σταθερά του περιβάλλοντα χώρου

Το ελάχιστο βήμα διασκόπησης πρέπει να επιλέγεται βάση του κριτηρίου Nyquist, καθώς πυκνότερη δειγματοληψία δεν είναι απαραίτητη. Παρατηρείται (εξίσωση 2.4) ότι το βήμα διασκόπησης εξαρτάται άμεσα από τη συχνότητα εκπομπής της κεραίας καθώς και από τη διηλεκτρική σταθερά του περιβάλλοντα χώρου.

2.3.5 Απόσταση πομπού – δέκτη

Η δυνατότητα επιλογής της απόστασης πομπού – δέκτη αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα του συστήματος διότι με τον τρόπο αυτό είναι εφικτή η μεταβολή της γωνίας ανάκλασης του κύματος. Όμως, όσο αυξάνεται η απόσταση πομπού – δέκτη, τόσο αυξάνεται και η απόσταση την οποία διανύει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα στο μέσο, με αποτέλεσμα να προκληθεί μεγαλύτερη εξασθένηση. Η απόσταση μεταξύ των κεραιών για την καλύτερη απεικόνιση του στόχου, δίνεται από τον τύπο:

$$S = 2d_{\text{στόχου}} / (K-1)^{1/2} \quad [2.5]$$

S : απόσταση μεταξύ πομπού – δέκτη

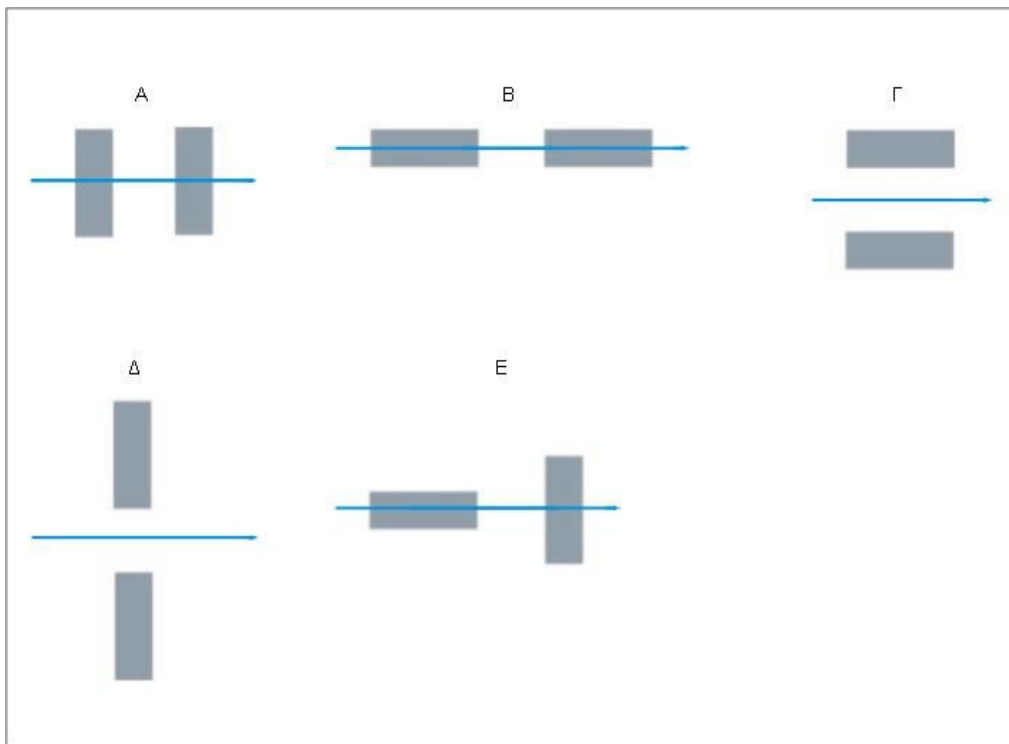
$d_{\text{στόχου}}$: βάθος στο οποίο βρίσκεται ο στόχος

K : διηλεκτρική σταθερά του περιβάλλοντα χώρου

Αν δεν υπάρχουν επιπρόσθετες πληροφορίες για τη περιοχή μελέτης, μπορεί να θεωρηθεί το S ίσο με το 20% του βάθους του στόχου.

2.3.6 Προσανατολισμός κεραιών

Ο προσανατολισμός των κεραιών έχει να κάνει με τη διεύθυνση των κυρίων στελεχών των κεραιών με τη διεύθυνση της γραμμής μελέτης. Ο προσανατολισμός των κεραιών του σχήματος 2.12 (Α) και 2.12 (Γ) χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις γεωλογικής χαρτογράφησης. Ο προσανατολισμός του σχήματος 2.12 (Ε) χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό σκεδαστών, όπως σωλήνες.



Σχήμα 2.12: Προσανατολισμός κεραιών γεωραντάρ

Κεφάλαιο 3

3.1 Μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων γεωραντάρ

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα GPRProV5 το οποίο αναπτύχθηκε από τον Σπανουδάκη Νικόλαο, Μηχανικό Ορυκτών Πόρων. Το πρόγραμμα εκτελείται σε περιβάλλον Matlab. Το λογισμικό αυτό στηρίζει τη λειτουργία του στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνων χρησιμοποιώντας διάφορα φίλτρα και τύπους ενίσχυσης, έτσι ώστε να γίνουν ευδιάκριτες συγκεκριμένες λεπτομέρειες οι οποίες θα οδηγήσουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το σκοπό της εκάστοτε έρευνας. Αφού τα δεδομένα των μετρήσεων του γεωραντάρ εισαχθούν στο πρόγραμμα, απεικονίζονται σε τομή. Η τομή αυτή περιγράφει το διπλό χρόνο διαδρομής του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο έδαφος συναρτήσει της απόστασης από την αρχή της γραμμής μελέτης. Το πρόγραμμα GPRProV5 διαθέτει μια λίστα από φίλτρα τα οποία μπορούμε να εφαρμόσουμε με διάφορους συνδιασμούς στις ακατέργαστες εικόνες δεδομένων του γεωραντάρ.

Κάποια από τα φίλτρα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία των τομών του γεωραντάρ, είναι:

- Φίλτρο διόρθωσης Dewow: Πρόκειται για φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων κάθε ίχνους ξεχωριστά.
- Φίλτρο κινητού μέσου όρου: Πρόκειται για φίλτρο το οποίο απομακρύνει τον τυχαίο θόρυβο και τις υψηλές συχνοότητες κατά την καταγραφή.
- Φίλτρο αποκοπής σημάτων υποβάθρου (Background noise removal): Το φίλτρο αποκοπής σημάτων υποβάθρου εφαρμόζεται για την εξάλειψη φαινομένων τα οποία επιδρούν στο σήμα καταγραφής του γεωραντάρ, όπως τα ηλεκτροφόρα καλώδια, κεραίες και δέκτες κινητής τηλεφωνίας, καθώς και οι μεταλλικές κατασκευές. Για να υλοποιηθεί αυτό, υπολογίζεται ένα νέο ίχνος το οποίο αποτελεί το μέσο όρο όλων των ίχνων. Έπειτα το μέσο ίχνος αφαιρείται από κάθε ίχνος και προκύπτει μια νέα εικόνα απαλλαγμένη από τα παραπάνω φαινόμενα.

- Φίλτρο μέσου ίχνους: Το φίλτρο μέσου ίχνους επενεργεί όπως και το φίλτρο κινητού μέσου όρου, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιεί δεδομένα που ανήκουν σε διαφορετικά ίχνη. Το συγκεκριμένο φίλτρο αποσβένει το θόρυβο και τα κύματα περίθλασης ενώ τονίζει οριζόντιους και μικρής κλίσης ανακλαστήρες.

Κάποιοι από τους τύπους ενίσχυσης οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία των εικόνων του γεωραντάρ, είναι:

- Αυτόματος έλεγχος ενίσχυσης AGC: Σκοπός της ενίσχυσης AGC είναι η ενίσχυση των ασθενέστερων κυμάτων ώστε να τονιστούν οι πληροφορίες που διαθέτουν. Κατά την εφαρμογή της ενίσχυσης AGC, όλα τα σήματα ισοσταθμίζονται εφαρμόζοντας ενίσχυση η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη της ισχύος του σήματος.
- Εκθετική ενίσχυση για την αντιστάθμιση της γεωμετρικής διασποράς (SEC): Η ενίσχυση SEC έχει σαν στόχο την ισοστάθμιση των σημάτων τα οποία αλλοιώνονται λόγω της γεωμετρικής διασποράς και της εκθετικής απώλειας της ενέργειας των κυμάτων λόγω εξασθένησης (Σπανουδάκης, 2001).

Κάποια από τα στιγμιαία χαρακτηριστικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία των εικόνων του γεωραντάρ, είναι:

- Στιγμιαίο πλάτος (Instantaneous Envelope): Χρησιμοποιείται για να τονίσει αλλαγές στη λιθολογία και τις γεωλογικές ανομοιομορφίες, υπολογίζοντας την ανακλώμενη ισχύ.
- Στιγμιαία φάση (Instantaneous Phase): Αναδεικνύει τους ανακλαστήρες και τις αλλαγές στη λιθολογία γι' αυτό και χρησιμοποιείται στη γεωλογική χαρτογράφηση. Η στιγμιαία φάση είναι η συνεχής απεικόνιση της φάσης του σήματος σε σχέση με το χρόνο.

Κεφάλαιο 4

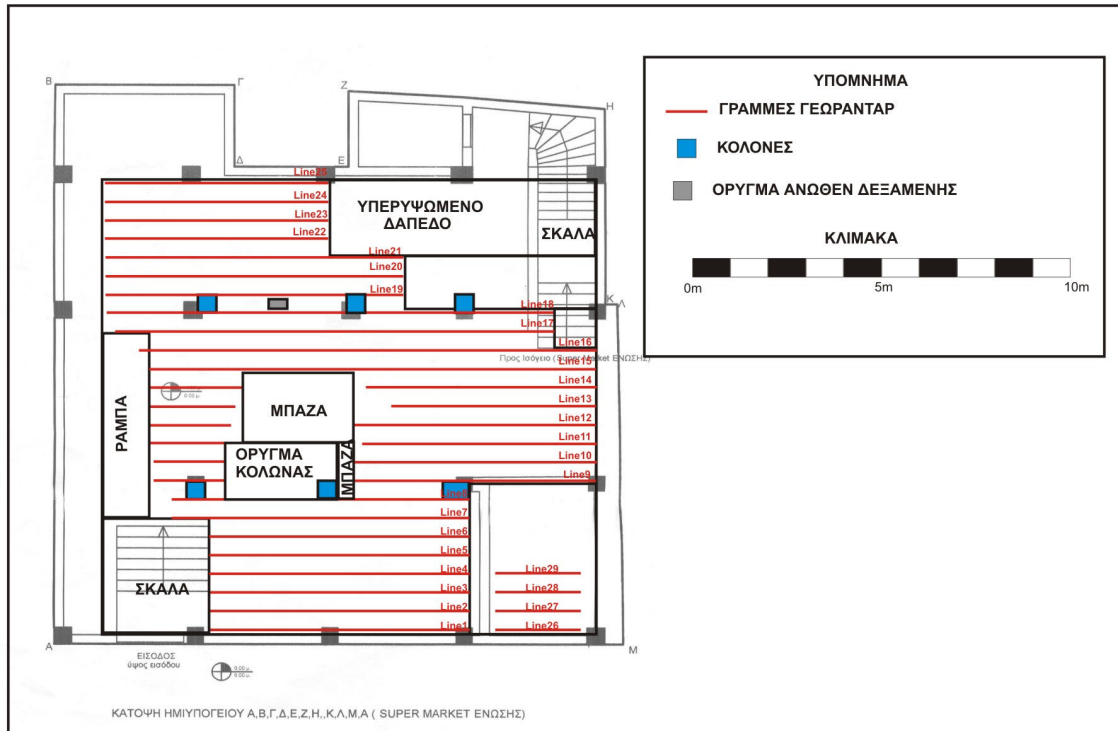
Επεξεργασία δεδομένων από το υπόγειο του κτιρίου του Οργανισμού Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης

4.1 Εισαγωγή

Σκοπός της έρευνας αυτής είναι ο εντοπισμός και η οριοθέτηση θαμμένων αρχαιοτήτων στο υπόγειο της πολυκατοικίας του ΟΑΝΑΚ (παλιό super market Ένωσης) με τη χρήση γεωραντάρ. Για την μελέτη της συγκεκριμένης περιοχής χρησιμοποιήθηκε το σύστημα SIRch της εταιρίας GSSI. Η κεντρική συχνότητα εκπομπής ήταν 400MHz, το διάστημα δειγματοληψίας 136 picosecond, ενώ το βήμα διασκόπησης ίσο με 5 cm. Χρησιμοποιήθηκε μια μέση ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων της τάξεως των 9,8 cm/nsec.

4.2 Διεξαγωγή των μετρήσεων

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 29 γραμμές μελέτης στο υπόγειο με στόχο τον εντοπισμό και την οριοθέτηση των θαμμένων αρχαιοτήτων (δεξαμενές). Οι γραμμές μελέτης ήταν προσανατολισμένες κατά τη διεύθυνση Νότο προς Βορρά. Η ισοαπόσταση μεταξύ των γραμμών ήταν 50 cm. Η πρώτη γραμμή μελέτης είναι στα δυτικά του υπόγειου ενώ η τελευταία στα ανατολικά (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Περιοχή μελέτης και οι θέσεις των γραμμών μελέτης του γεωραντάρ

4.3 Επεξεργασία των δεδομένων

Στόχος μας ήταν η δημιουργία τομών με διαφορετικό συνδιασμό φίλτρων μέσω του προγράμματος GPRProV5. Έγινε διαλογή των επεξεργασμένων τομών οι οποίες τόνιζαν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του στόχου. Στο τελευταίο στάδιο, έγινε υπέρθεση των επιλεγμένων τομών χρησιμοποιώντας το λογισμικό πακέτο Corel Draw 10. Με το τρόπο αυτό, μέσα σε μία και μοναδική ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα, που αντιστοιχεί σε μία γραμμή μελέτης, έχουμε την ύπαρξη όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων για την οριοθέτηση και το χαρακτηρισμό του βάθους του στόχου.

4.3.1 Πρώτη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων

Σε πρώτη φάση έγινε η εφαρμογή του φίλτρου Dewow έχοντας σαν στόχο την αποκοπή των χαμηλών συχνοτήτων. Στην συνέχεια εφαρμόστηκε φίλτρο ενίσχυσης AGC με παράθυρο

μήκους 20 nanosecond. Στόχος της εφαρμογής του συγκεκριμένου φίλτρου είναι η ενίσχυση των ασθενών κυμάτων που προκύπτουν λόγω της εξασθένησης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο υπέδαφος. Τέλος, εφαρμόστηκε φίλτρο μέσης τιμής (average filter) διάρκειας 3 nsec. Για την καλύτερη απεικόνιση των λεπτομερειών επιλέχθηκε η προβολή της εικόνας σε κλίμακα του γκρι (bone) καθώς και απεικόνιση σε κλίμακα χρωμάτων seismic. Δηλαδή:

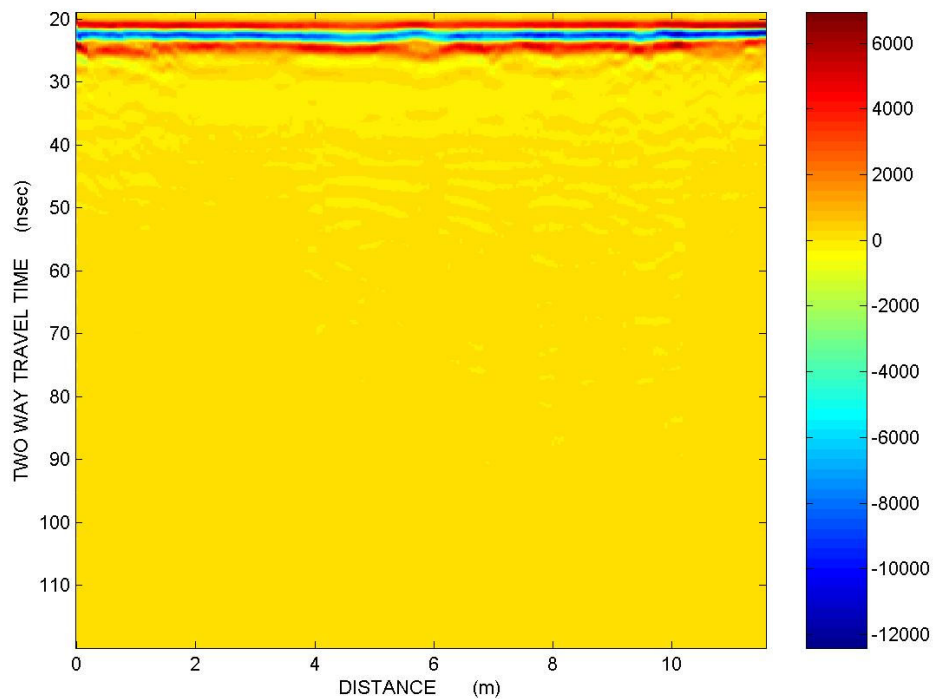
Ακατέργαστα δεδομένα \Rightarrow Dewow \Rightarrow AGC \Rightarrow Average Filter \Rightarrow κλίμακα Bone

και

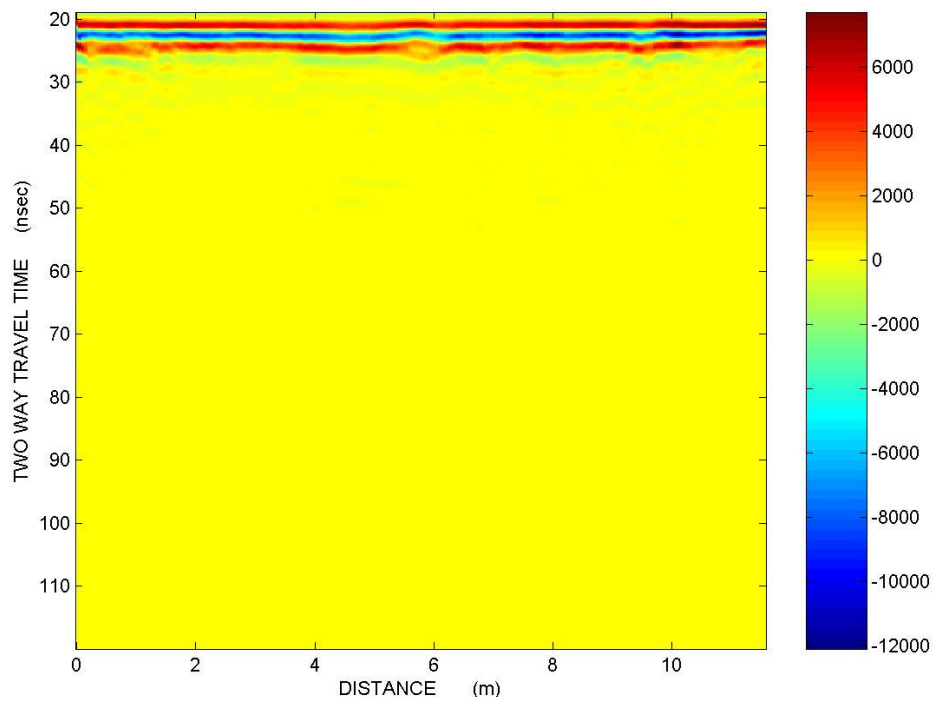
Ακατέργαστα δεδομένα \Rightarrow Dewow \Rightarrow AGC \Rightarrow Average Filter \Rightarrow κλίμακα Seismic

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας παρουσιάζονται στο παράρτημα.

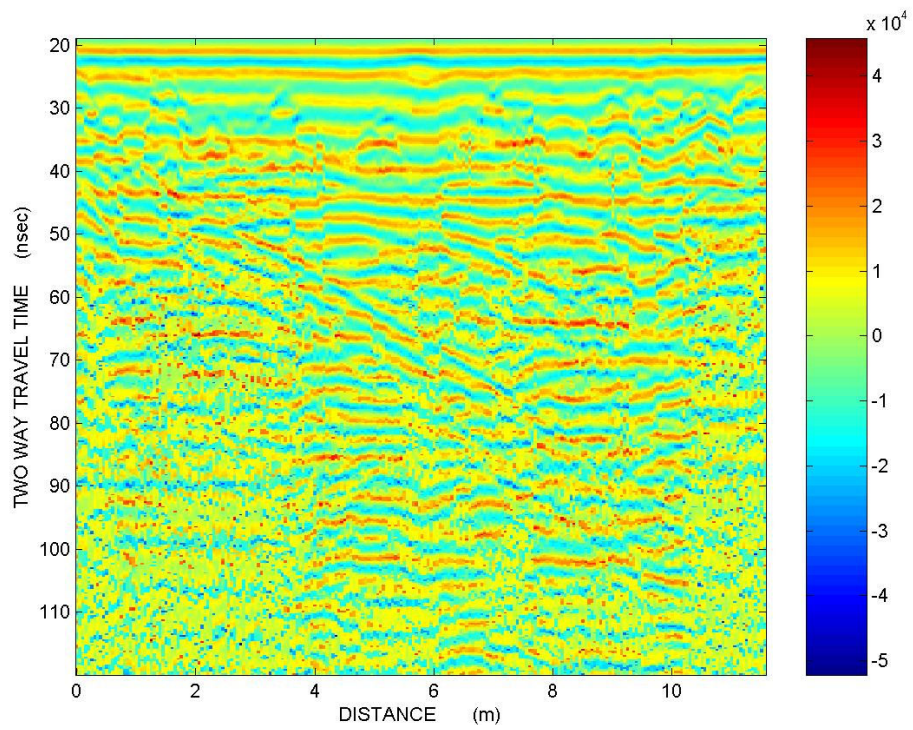
Σαν παράδειγμα, παρακάτω παρουσιάζεται βήμα βήμα η διαδικασία επεξεργασίας μέσω του λογισμικού GPRProV5 στα πρωταρχικά δεδομένα της 15ης γραμμής μετρήσεων:



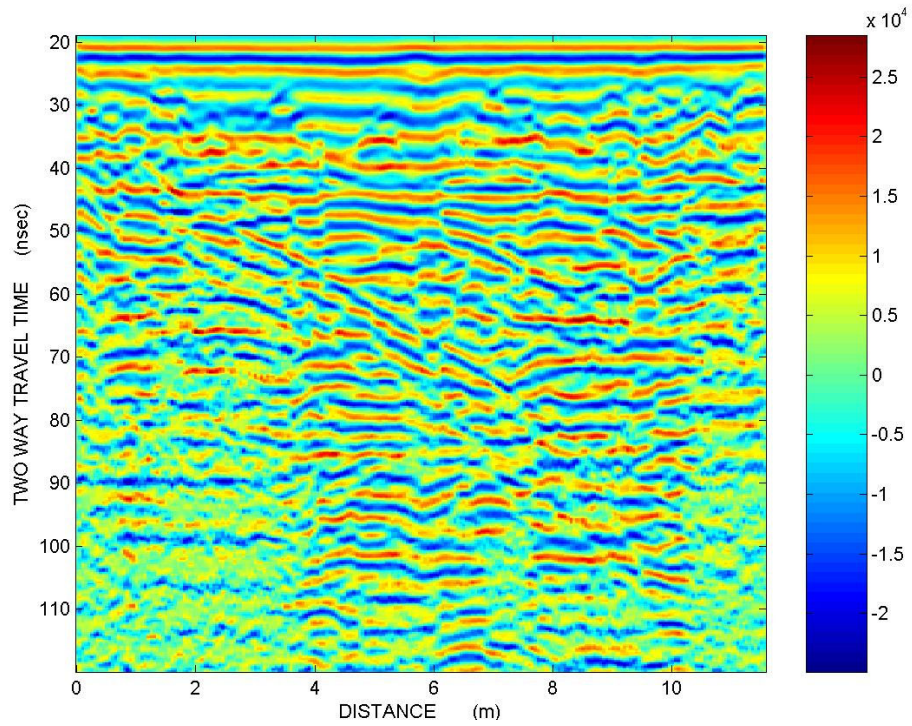
Γραμμή μελέτης 15, ανεπεξέργαστη εικόνα



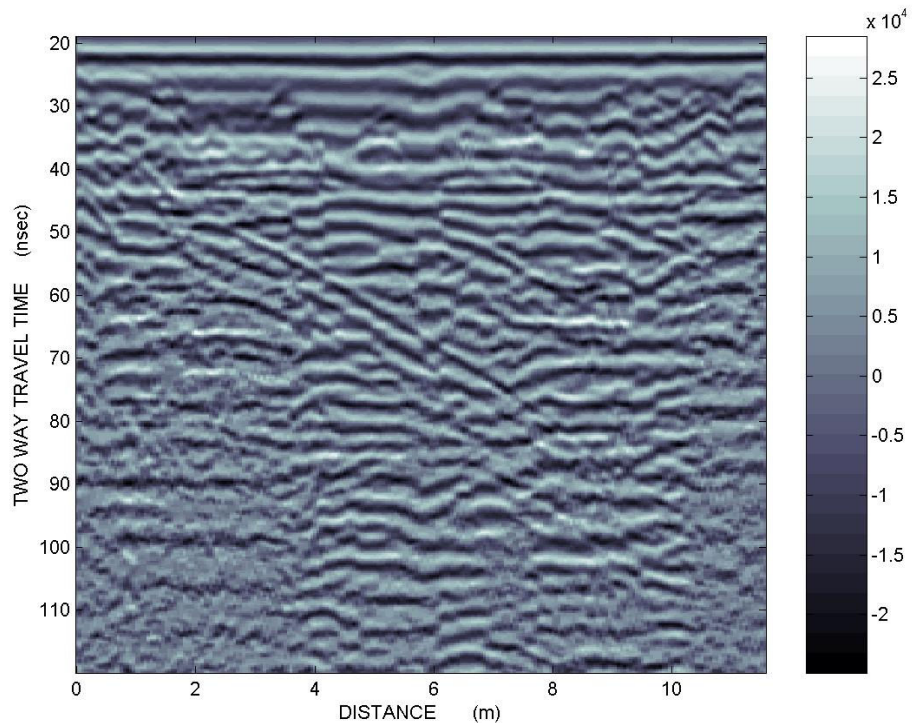
Γραμμή μελέτης 15 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow



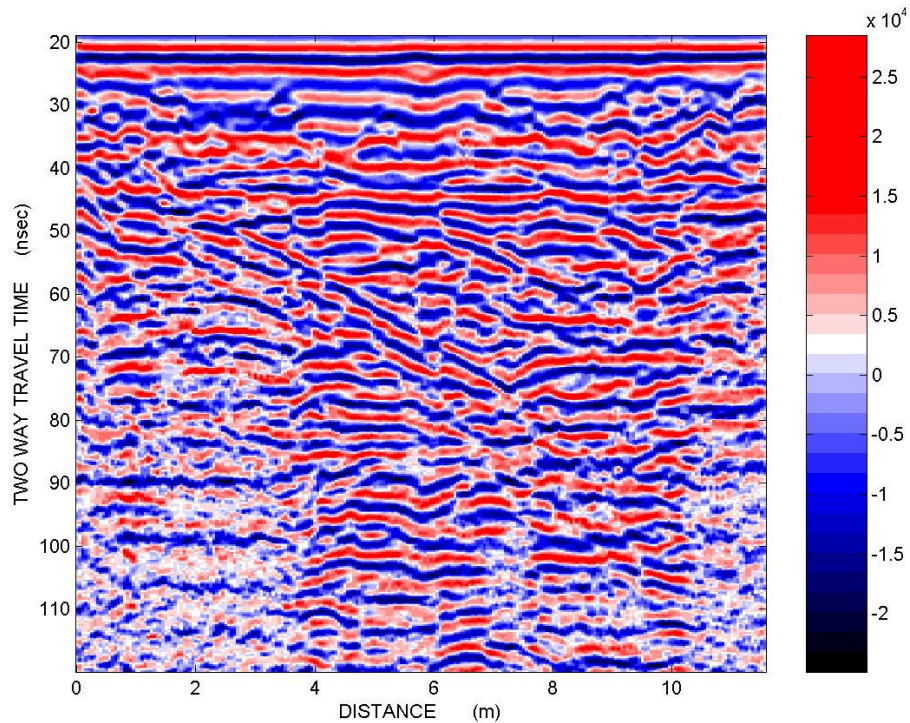
Γραμμή μελέτης 15 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow και AGC



Γραμμή μελέτης 15 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow, AGC και Average Filter



Γραμμή μελέτης 15 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow, AGC, Average Filter και απεικόνιση σε κλίμακα χρωμάτων Bone



Γραμμή μελέτης 15 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow, AGC, Average Filter και απεικόνιση σε κλίμακα χρωμάτων Seismic

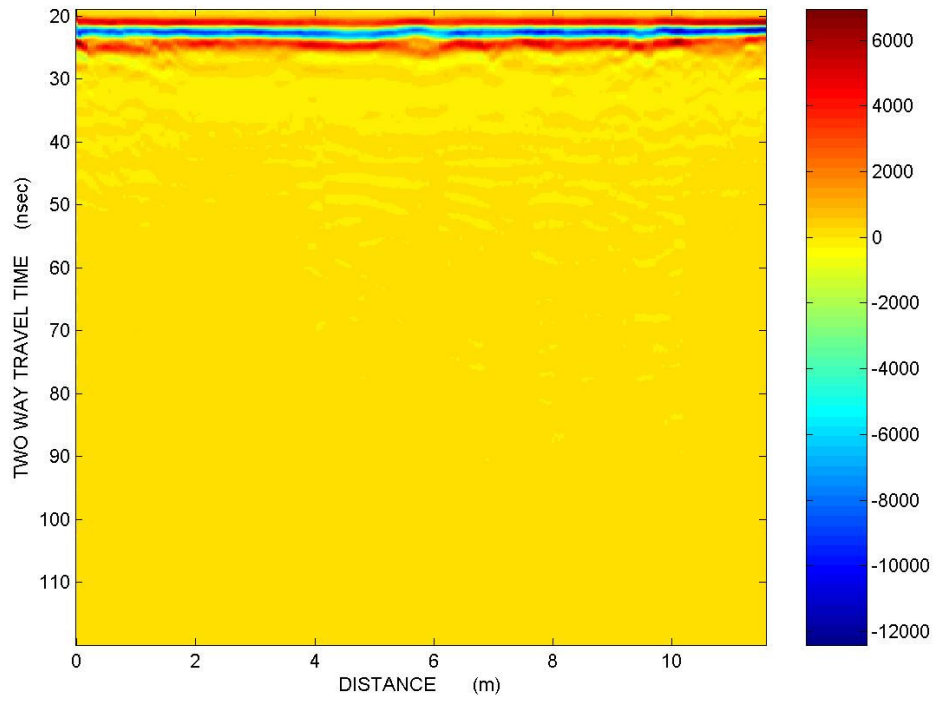
4.3.2 Δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων

Η δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων περιλαμβάνει την εφαρμογή των εξής φίλτρων: φίλτρο διόρθωσης Dewow, ενίσχυση SEC με παράθυρο μήκους 10 nsec, Average Filter με μήκος παραθύρου 3 nsec και φίλτρο DB Instantaneous Envelope (στιγμιαίο πλάτος σε κλίμακα DB). Δηλαδή:

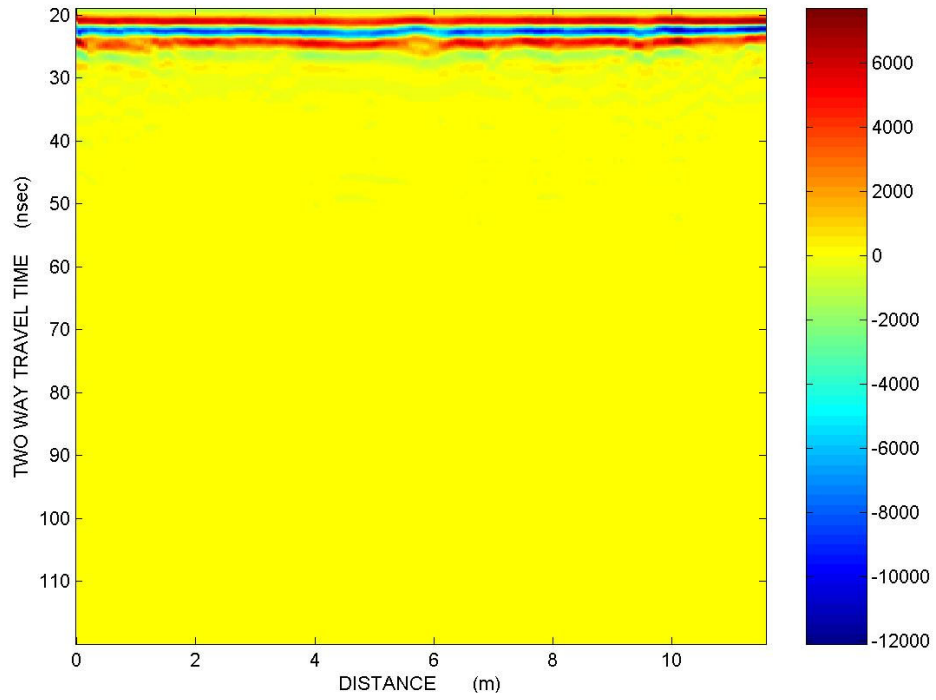
Ακατέργαστα δεδομένα \Rightarrow Dewow \Rightarrow SEC \Rightarrow Average Filter \Rightarrow DB Instantaneous Envelope

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας παρουσιάζονται στο παράρτημα.

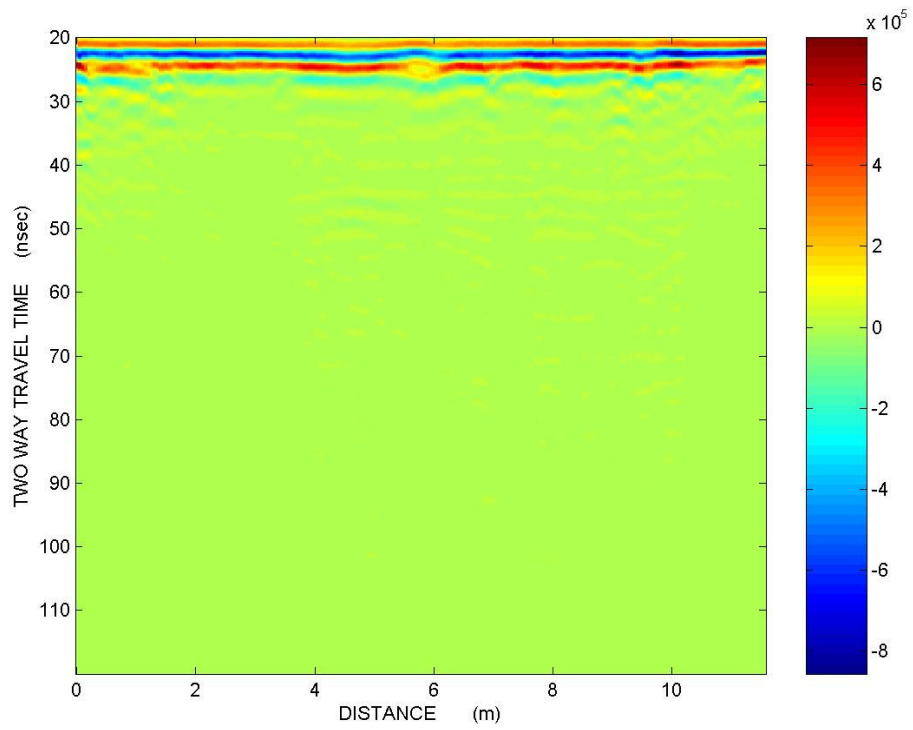
Σαν παράδειγμα, παρακάτω παρουσιάζεται βήμα βήμα η διαδικασία εφαρμογής των φίλτρων του λογισμικού GPRProV5 στη μη επεξεργασμένη εικόνα της 15ης γραμμής μελέτης:



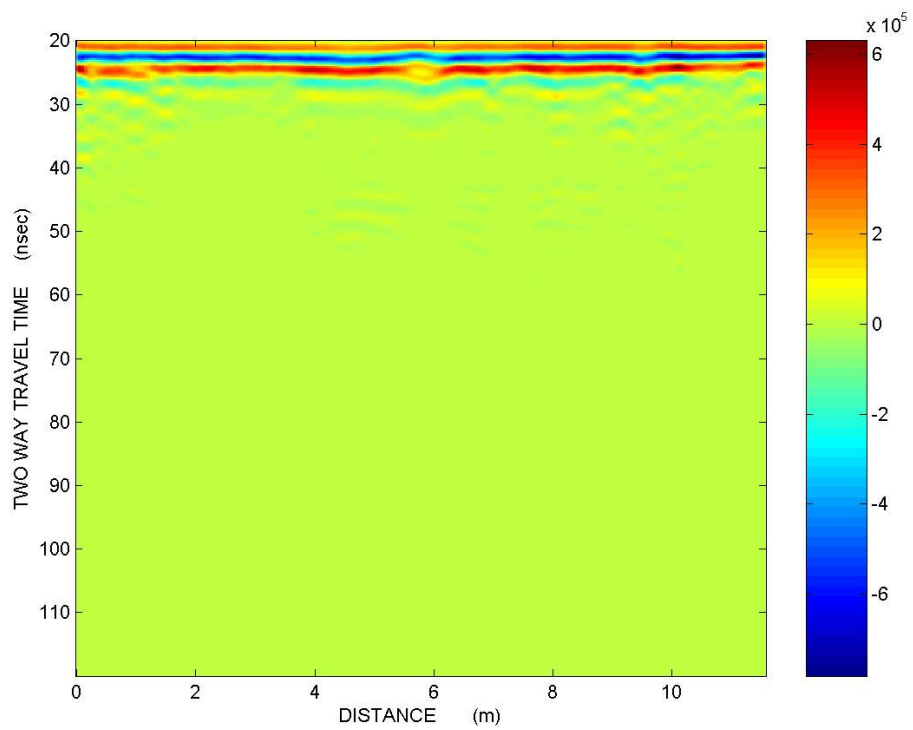
Γραμμή μελέτης 15, ανεπεξέργαστη εικόνα



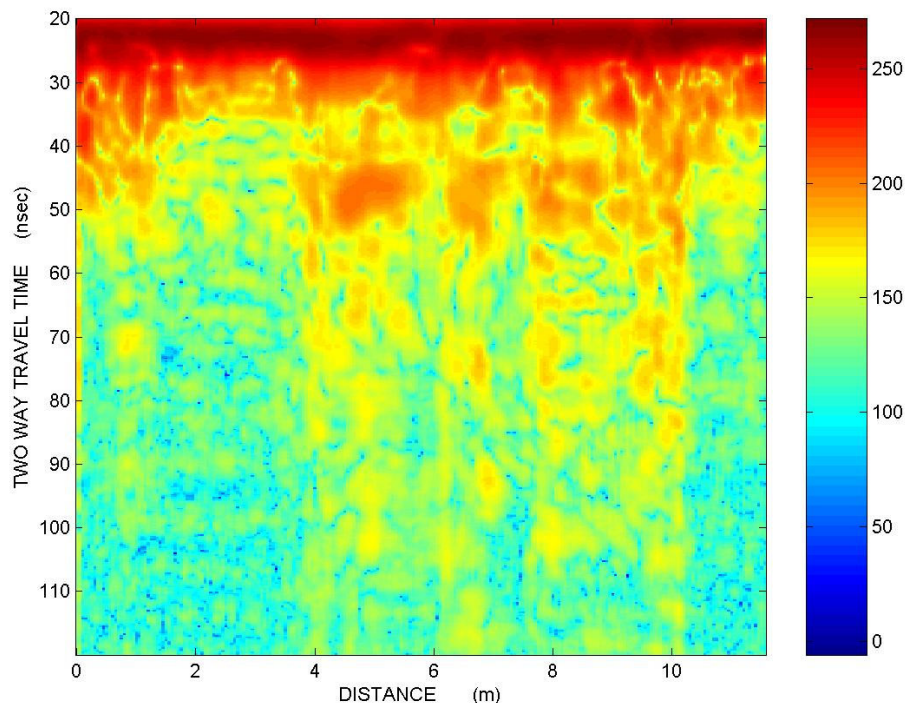
Γραμμή μελέτης 15 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow



Γραμμή μελέτης 15 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow και SEC



Γραμμή μελέτης 15 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow, SEC και Average Filter



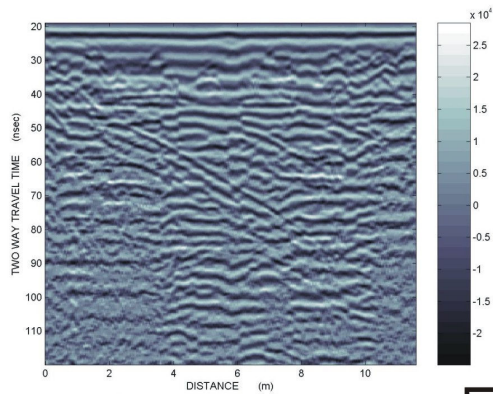
Γραμμή μελέτης 15 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow, SEC, Average Filter και DB Instantaneous Envelope

Τα παραπάνω βήματα εφαρμόστηκαν και στις 29 γραμμές μελέτης. Οι ψηφιακά επεξεργασμένες εικόνες των 29 γραμμών μελέτης σύμφωνα με τους παραπάνω τρόπους επεξεργασίας παρουσιάζονται στο παράρτημα.

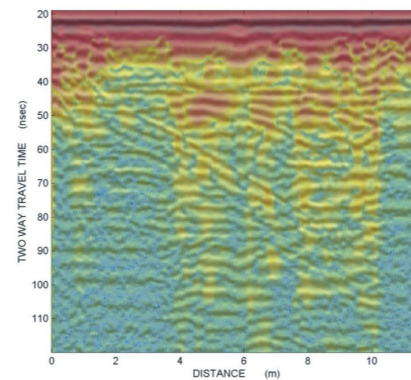
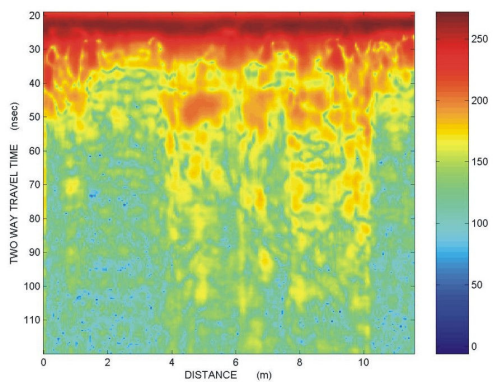
4.4 Υπέρθεση των ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό πακέτο Corel Draw 10, επεξεργάσθηκαν περαιτέρω οι παραπάνω εικόνες χρησιμοποιώντας τη τεχνική της υπέρθεσης (Σχήμα 4.2, Σχήμα 4.3). Στόχος της διαδικασίας αυτής, ήταν η δημιουργία εικόνων που θα συνδιάζουν τα χαρακτηριστικά που τονίζει κάθε διαδικασία επεξεργασίας ξεχωριστά ώστε να αναδειχθούν οι ανακλαστήρες οι οποίοι εντοπίστηκαν και οι τυχόν αλλαγές στη λιθολογία του υπεδάφους. Τα αποτελέσματα της υπέρθεσης παρουσιάζονται στο παράρτημα. Η υπέρθεση των εικόνων έγινε ανά ζεύγη με τους εξής τρόπους:

Πρώτη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων



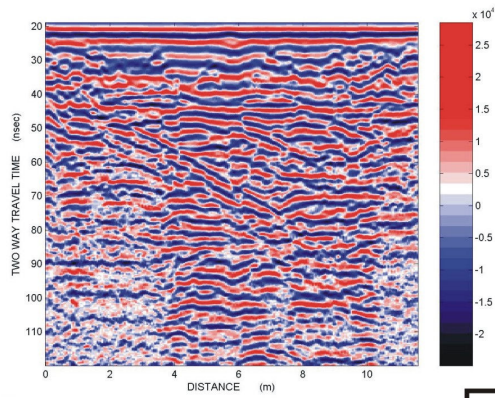
Δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων



Πρώτη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων

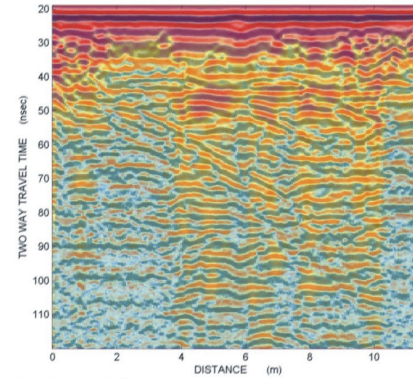
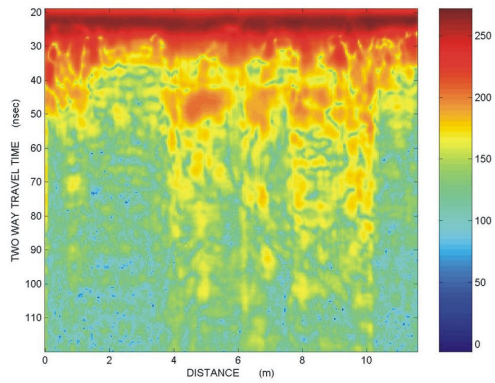
Σχήμα 4.2: Τρόπος δημιουργίας της πρώτης ομάδας υπερτιθεμένων εικόνων

Πρώτη ομάδα ψηφιακά
επεξεργασμένων εικόνων



ΥΠΕΡΘΕΣΗ

Δεύτερη ομάδα ψηφιακά
επεξεργασμένων εικόνων



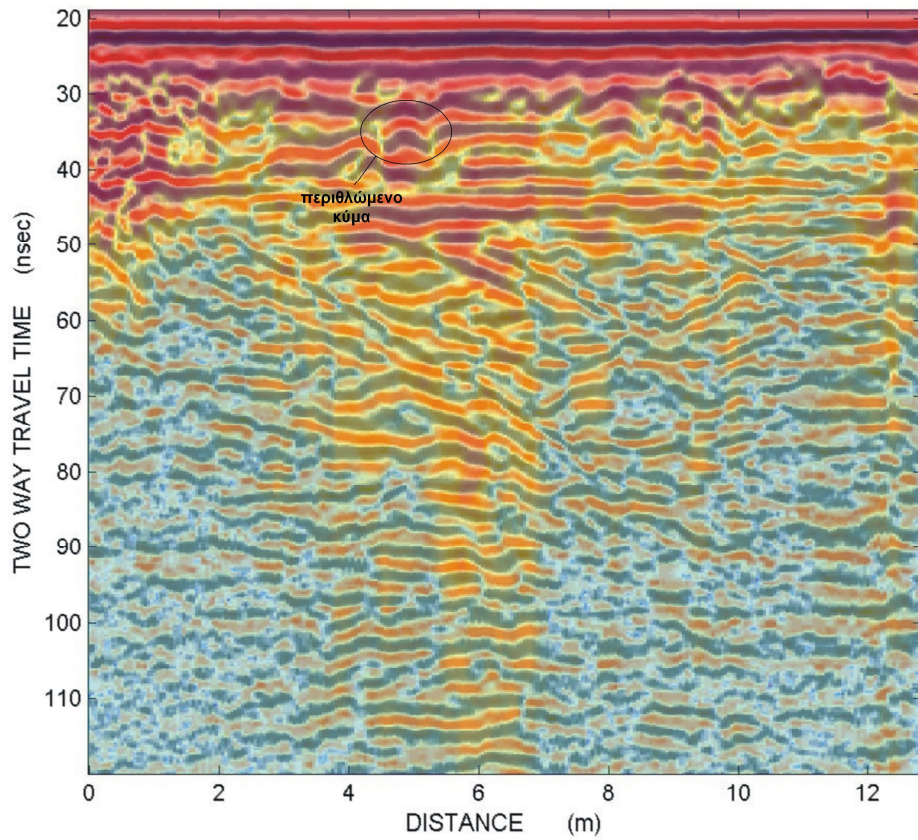
Δεύτερη ομάδα
υπερτιθεμένων εικόνων

Σχήμα 4.3: Τρόπος δημιουργίας της δεύτερης ομάδας υπερτιθεμένων εικόνων

4.5 Υπολογισμός ταχύτητας ηλεκτρομαγνητικού κύματος

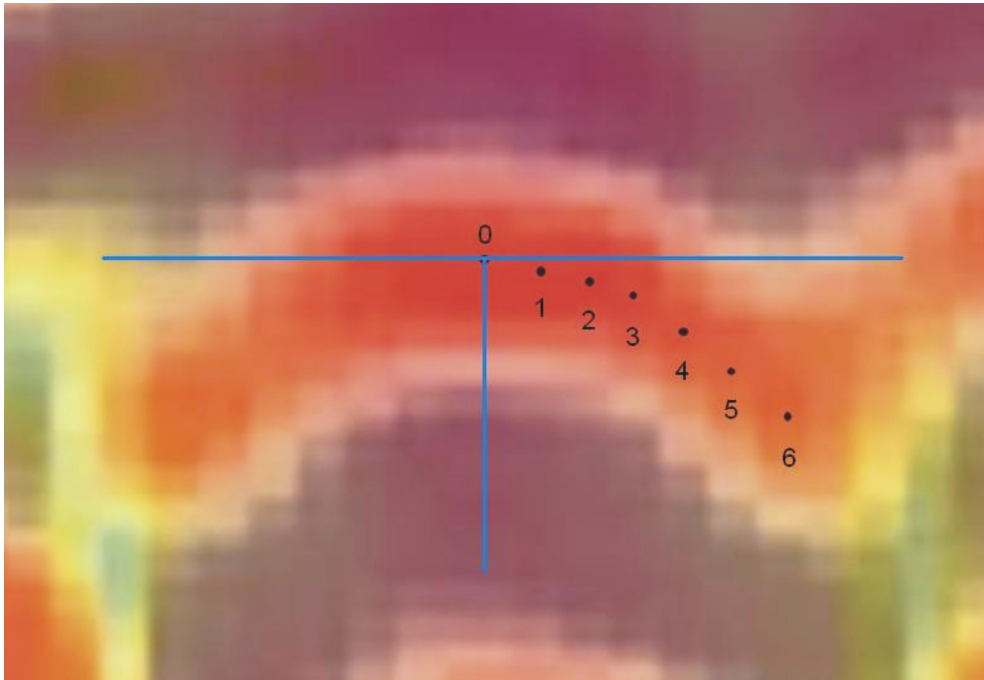
Για τον υπολογισμό του βάθους ταφής του αρχαίου κτίσματος, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της ταχύτητας των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο έδαφος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε με τη μέθοδο $x^2 - t^2$. Αρχικά, από μια εικόνα μιας οποιαδήποτε γραμμή μελέτης εντοπίστηκε η υπερβολή ενός περιθλώμενου κύματος. Στη συνέχεια, έγινε επιλογή διαφόρων σημείων πάνω στη μία πλευρά της υπερβολής σημειώνοντας τις τιμές x (απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης) και t (διπλός χρόνος διαδρομής κύματος) και αφού έχει θεωρηθεί ότι η αρχή των αξόνων είναι ο άξονας συμμετρίας της υπερβολής. Στην συνέχεια, αφού οι τιμές των x και t υψωθούν στο τετράγωνο, δημιουργούμε ένα γράφημα. Στόχος ήταν η εύρεση της εξίσωσης της καλύτερης ευθείας που διέρχεται από τα σημεία του γραφήματός μας. Μέσω του συντελεστή διεύθυνσης θα γίνει ο υπολογισμός της ταχύτητας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ηλεκτρομαγνητικού παλμού χρησιμοποιήθηκε η γραμμή μελέτης 16. Στο σχήμα 4.4 φαίνεται το περιθλώμενο κύμα το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ταχύτητας του παλμού.



Σχήμα 4.4: Περιθλώμενο κύμα

Για μεγαλύτερη ευκολία, γίνεται μεγέθυνση στη περιοχή όπου βρίσκεται το περιθλώμενο κύμα και επιλογή έξι σημείων επάνω στη δεξιά πλευρά της υπερβολής. Παράλληλα, σαν αρχή των αξόνων επιλέγεται το κέντρο της υπερβολής (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Περιθλώμενο κύμα

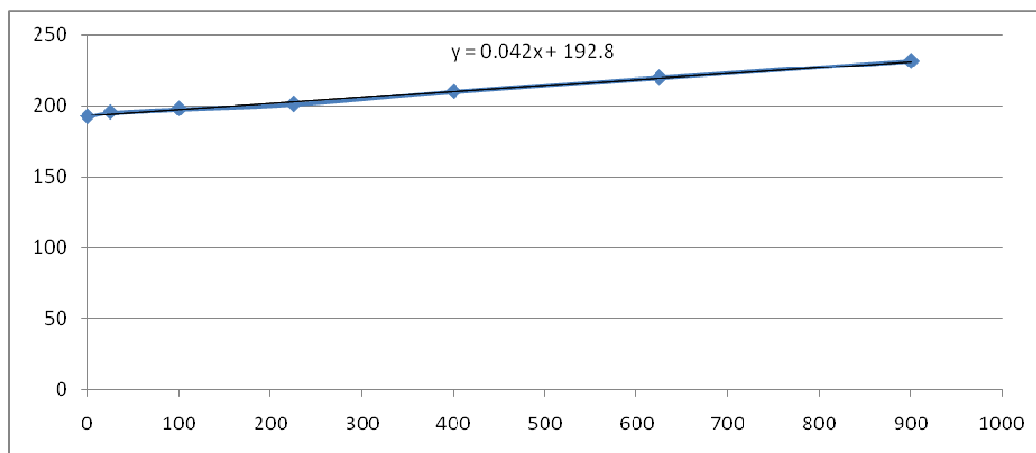
Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών είναι:

Σημείο	Απόσταση από αρχή γραμμής μελέτης x (cm)	Διπλός χρόνος διαδρομής t (nsec)
0	0	13.87
1	5	13.97
2	10	14.05
3	15	14.17
4	20	14.48
5	25	14.82
6	30	15.20

Υψώνοντας στο τετράγωνο όλες τις τιμές των x και t:

Σημείο	x^2 (cm ²)	t^2 (nsec ²)
0	0	192.30
1	25	195.16
2	100	197.57
3	225	200.89
4	400	209.74
5	625	219.57
6	900	231.11

Το γράφημα το οποίο δημιουργείται από το συνδιασμό των τιμών $x^2 - t^2$ είναι:



Η εξίσωση της ευθείας που διέρχεται από τα σημεία αυτά είναι η

$y = 0,042x + 192,8$ με συντελεστή διεύθυνσης $k = 0,042$.

Η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού παλμού υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$U = (4 / k)^{1/2}$$

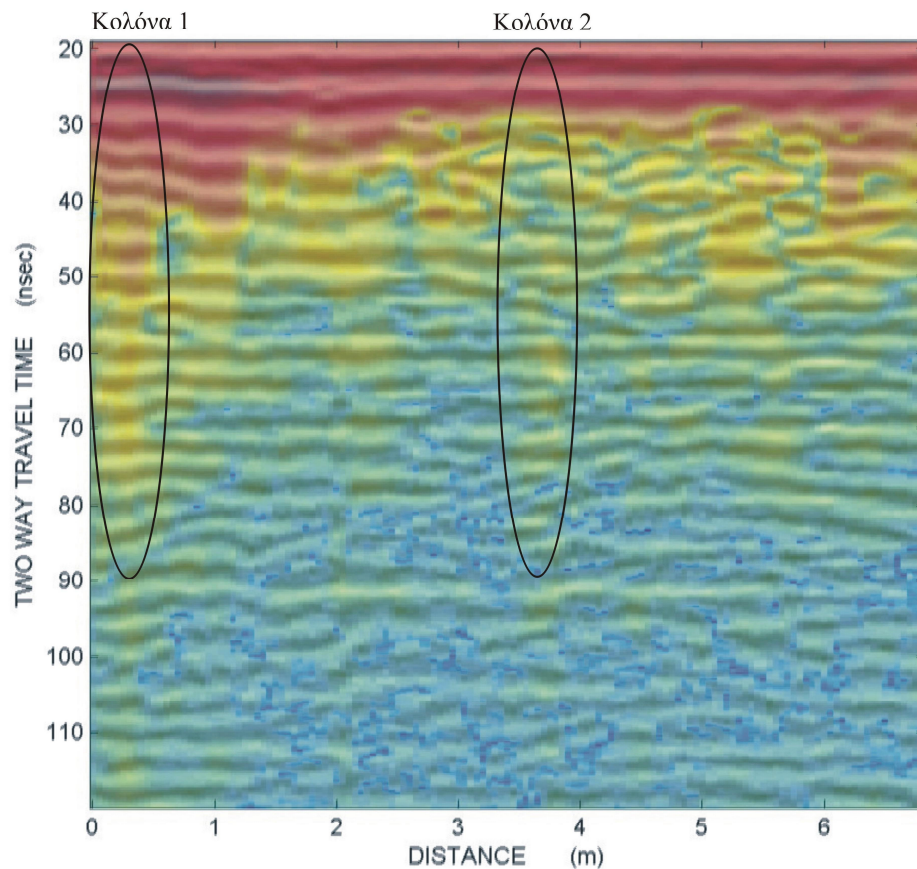
όπου U η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού παλμού και k ο συντελεστής διεύθυνσης της ευθείας.

Με εφαρμογή της παραπάνω εξίσωσης έχουμε: $U = (4 / 0,042)^{1/2} = 9,8 \text{ cm / nsec}$.

4.6 Αποτελέσματα

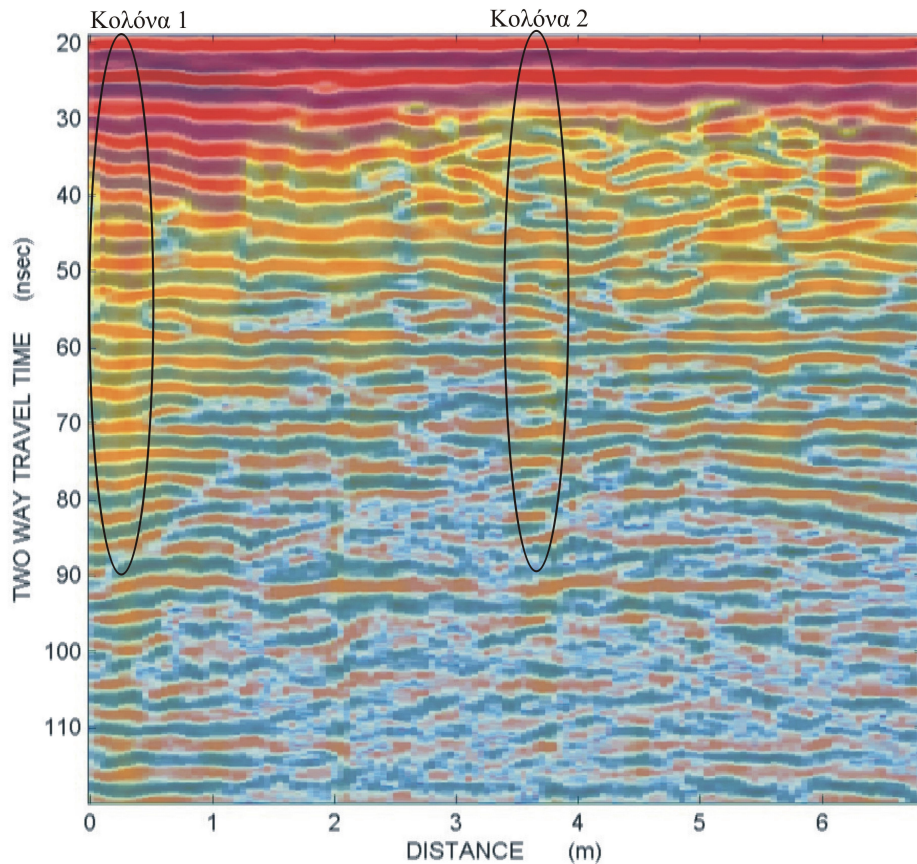
Μετά από την επεξεργασία των τομών γεωραντάρ, πραγματοποιήθηκε ερμηνεία τους, όπου παρατηρήθηκαν πιθανές θέσεις ύπαρξης της δεξαμενής. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται επιλεκτικά κάποιες τομές γεωραντάρ.

Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα επεξεργασίας της γραμμής μελέτης 1, που βρίσκεται δίπλα στο δυτικό τοίχο του υπόγειου, όπου παρατηρούνται οι θέσεις των κολόνων 1 και 2.



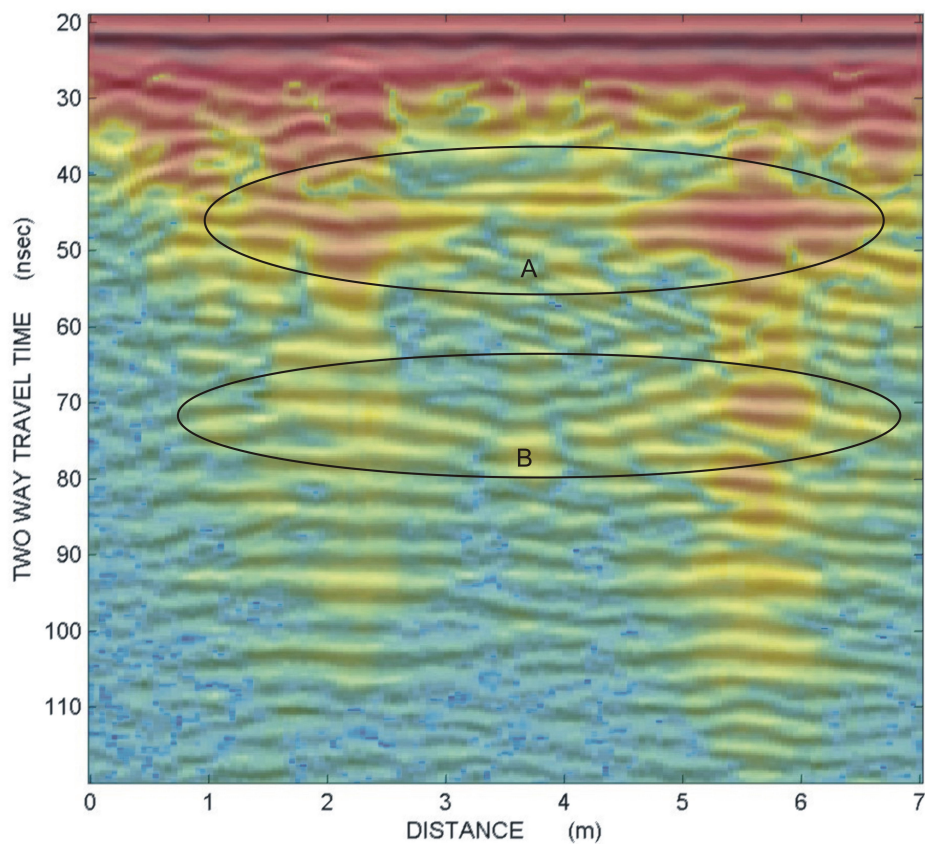
Σχήμα 4.6: Γραμμή μελέτης 1 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά), κοντά στο δυτικό τοίχο του υπογείου

Παρατηρώντας την εικόνα της γραμμής μελέτης 1 η οποία προέρχεται από τη δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων (Σχήμα 4.7), συμπεραίνεται πως δίνει τα ίδια αποτελέσματα. Και σε αυτή τη περίπτωση διακρίνονται οι θέσεις των κολόνων 1 και 2 λόγω των ισχυρών ανακλάσεων στις συγκεκριμένες περιοχές.



Σχήμα 4.7: Γραμμή μελέτης 1 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά), κοντά στο δυτικό τοίχο του υπογείου

Στο σχήμα 4.8 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα επεξεργασίας της γραμμής μελέτης 4, που βρίσκεται σε απόσταση 1.5m από τον δυτικό τοίχο (Σχήμα 4.1). Σε αυτήν την τομή παρατηρούνται ισχυρές ανακλάσεις (περιοχή A και περιοχή B) σε απόσταση 1-6 m από την αρχή της γραμμής μελέτης. Οι ανακλάσεις που παρατηρούνται στα 25 nsec περίπου, οφείλονται στην οροφή της δεξαμενής ενώ οι ανακλάσεις που παρατηρούνται στα 50 nsec οφείλονται στο πάτωμα της δεξαμενής.



Σχήμα 4.8: Γραμμή μελέτης 4 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά), 1.5 m από το δυτικό τοίχο του υπόγειου

Συγκρίνοντας την εικόνα του σχήματος 4.8 με την εικόνα της γραμμής μελέτης 4 (Σχήμα 4.9) η οποία προέρχεται από τη δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων, αντλούνται οι ίδιες πληροφορίες. Εύκολα διακρίνονται οι ισχυρές ανακλάσεις (περιοχή A και περιοχή B) που παρατηρούνται σε απόσταση 1 - 6 m από την αρχή της γραμμής μελέτης. Οι ανακλάσεις αυτές διακρίνονται στα 25 nsec και 50 nsec και πιθανόν οφείλονται στην οροφή και στο πάτωμα της δεξαμενής αντίστοιχα.

Το βάθος ταφής του ανώτερου τμήματος της δεξαμενής είναι ίσο με:

$$d_{\text{οροφής}} = U * t = (9,8 \text{ cm / nsec}) * (25/2 \text{ nsec}) = 1,2 \text{ m}$$

Έντονες ανακλάσεις παρατηρούνται στα 50 nsec και είναι πιθανό σε αυτό το σημείο να βρίσκεται το πάτωμα της δεξαμενής.

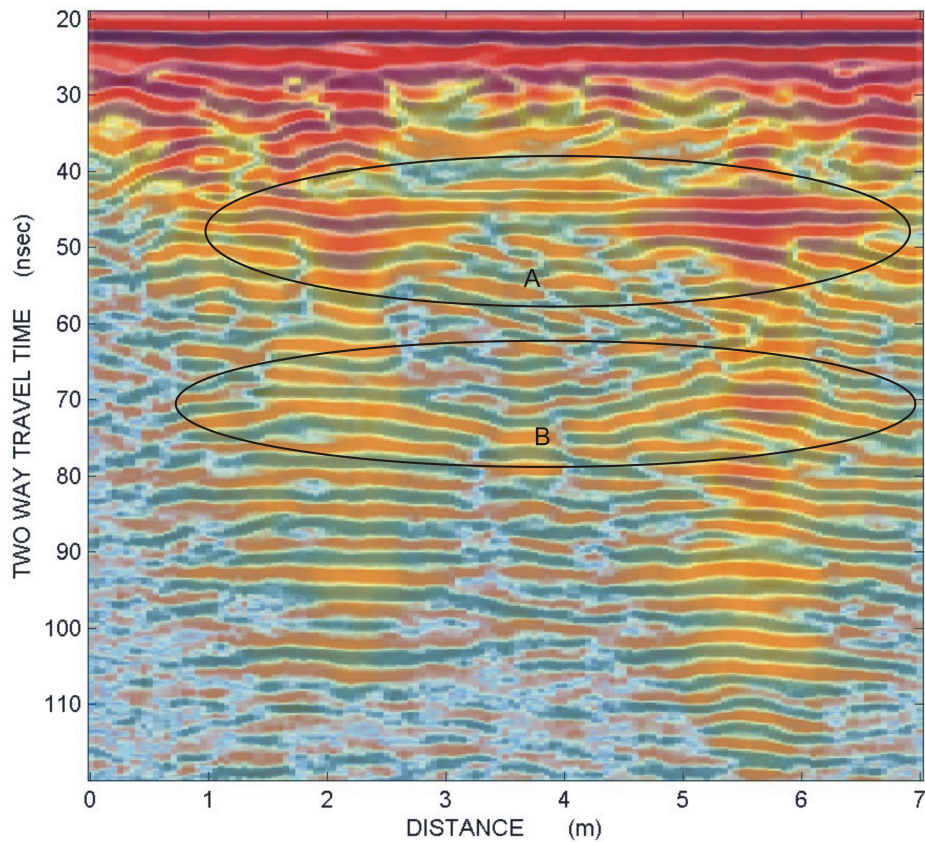
Γνωρίζουμε ότι η δεξαμενή είναι άδεια, οπότε από τα 25 nsec έως τα 50 nsec, ο ηλεκτρομαγνητικός παλμος ταξιδεύει στον αέρα για μία απόσταση d_z .

Οπότε το πάτωμα της δεξαμενής θα βρίσκεται σε βάθος:

$$d_{\text{πατώματος δεξαμενής}} = d_{\text{οροφής}} + d_z =$$

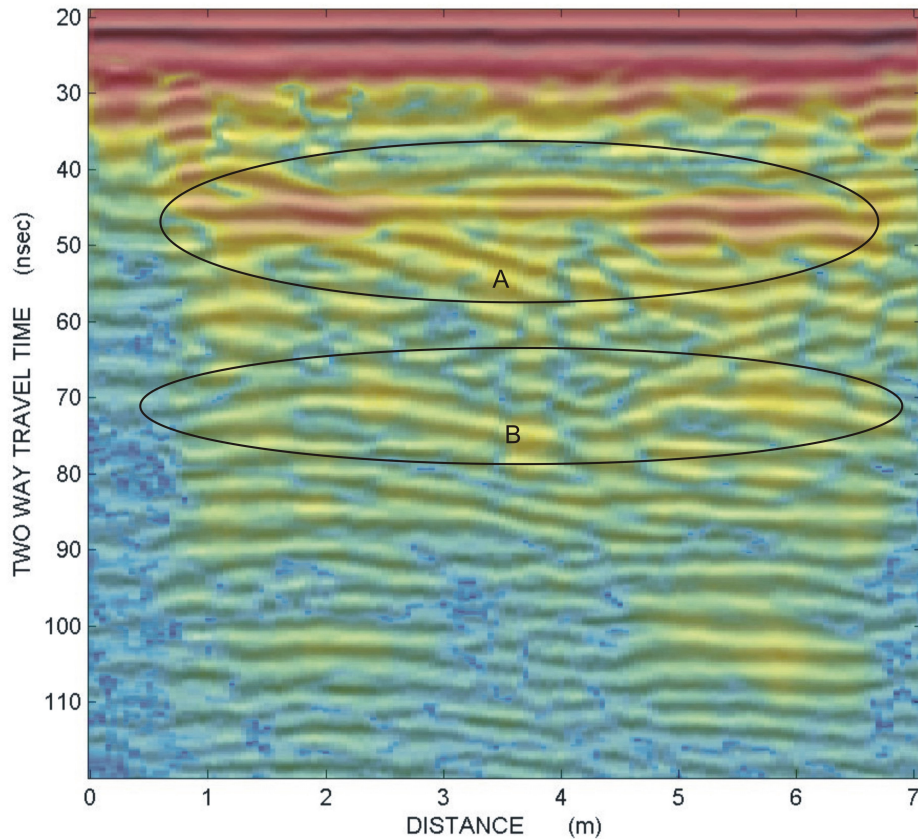
$$= (9,8 \text{ cm / nsec}) \cdot (25/2 \text{ nsec}) + (30 \text{ cm / nsec}) \cdot (25/2 \text{ nsec}) = 5 \text{ m.}$$

Οπότε το βάθος στο οποίο βρίσκεται το πάτωμα της δεξαμενής είναι 5 m.



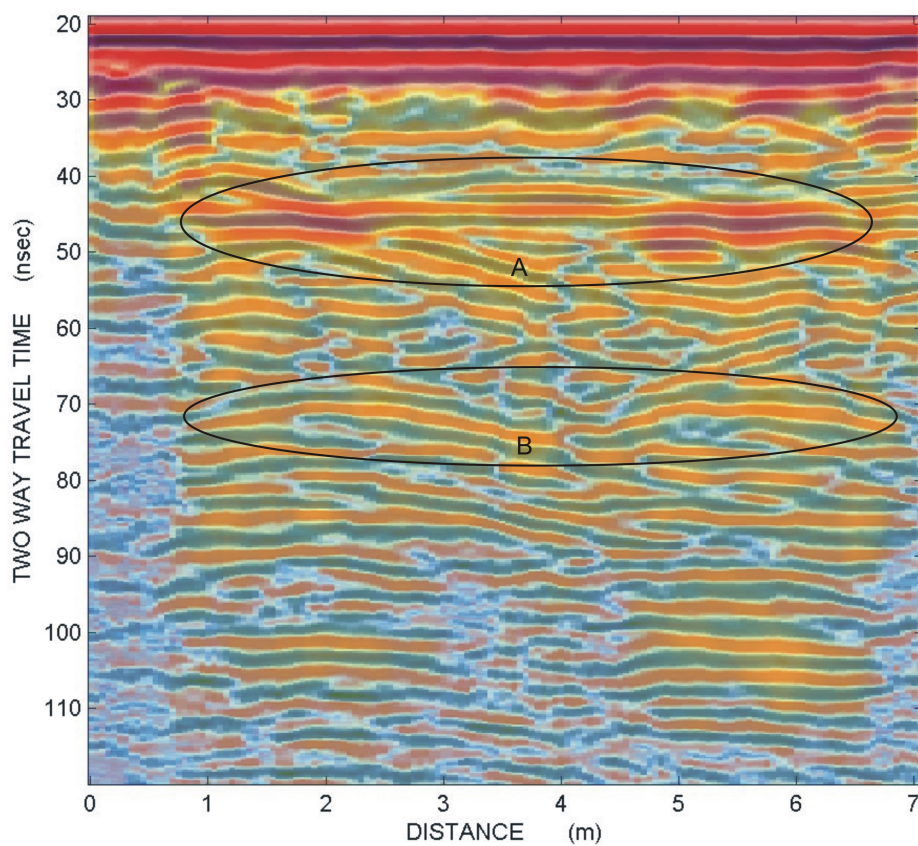
Σχήμα 4.9: Γραμμή μελέτης 4 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά), 1.5 m από το δυτικό τοίχο του υπόγειου

Στο σχήμα 4.10 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα επεξεργασίας της γραμμής μελέτης 6. Σε αυτήν την τομή παρατηρούνται ισχυρές ανακλάσεις (περιοχή A και περιοχή B) σε απόσταση 1-6,5 m από την αρχή της γραμμής μελέτης. Οι ανακλάσεις που παρατηρούνται στα 25 nsec περίπου, οφείλονται στην οροφή της δεξαμενής ενώ οι ανακλάσεις που παρατηρούνται στα 50 nsec οφείλονται στο πάτωμα της δεξαμενής.



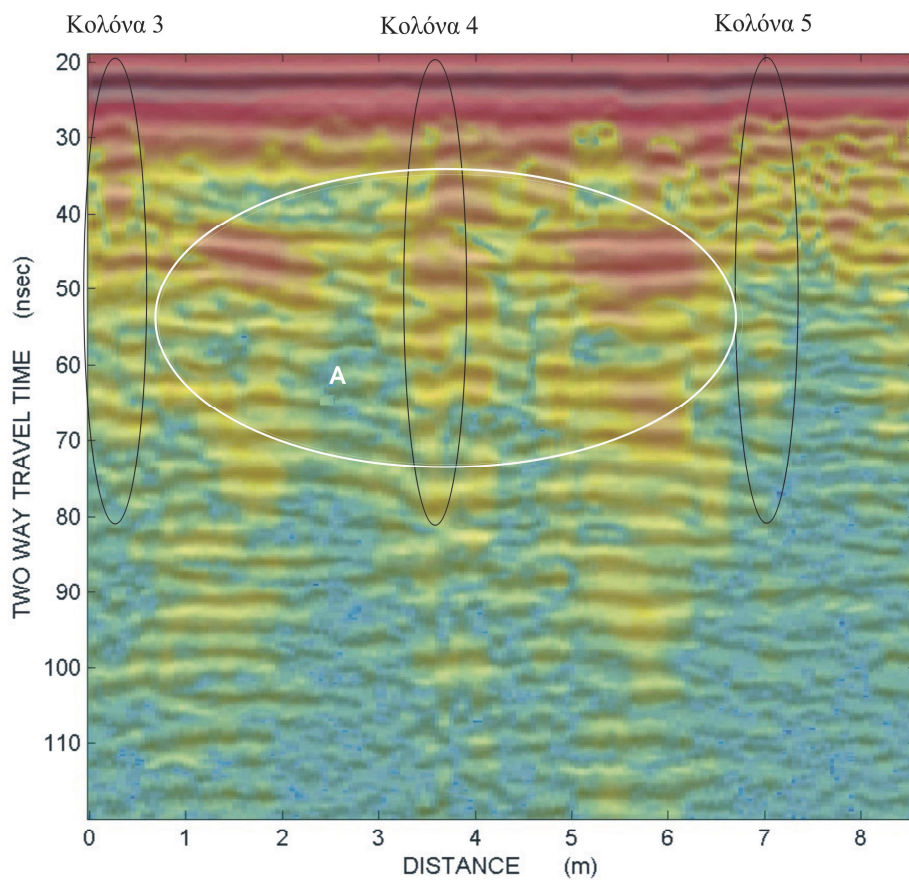
Σχήμα 4.10: Γραμμή μελέτης 6 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά)

Παρατηρώντας την εικόνα της γραμμής μελέτης 6 η οποία προέρχεται από τη δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων (Σχήμα 4.11), συμπεραίνεται πως δίνει τα ίδια αποτελέσματα. Και σε αυτή τη περίπτωση διακρίνονται ισχυρές ανακλάσεις (περιοχή A και περιοχή B) που παρατηρούνται σε απόσταση 1-6 m από την αρχή της γραμμής μελέτης. Οι ανακλάσεις αυτές διακρίνονται στα 25 nsec και 50 nsec και οφείλονται στην οροφή και στο πάτωμα της δεξαμενής αντίστοιχα.



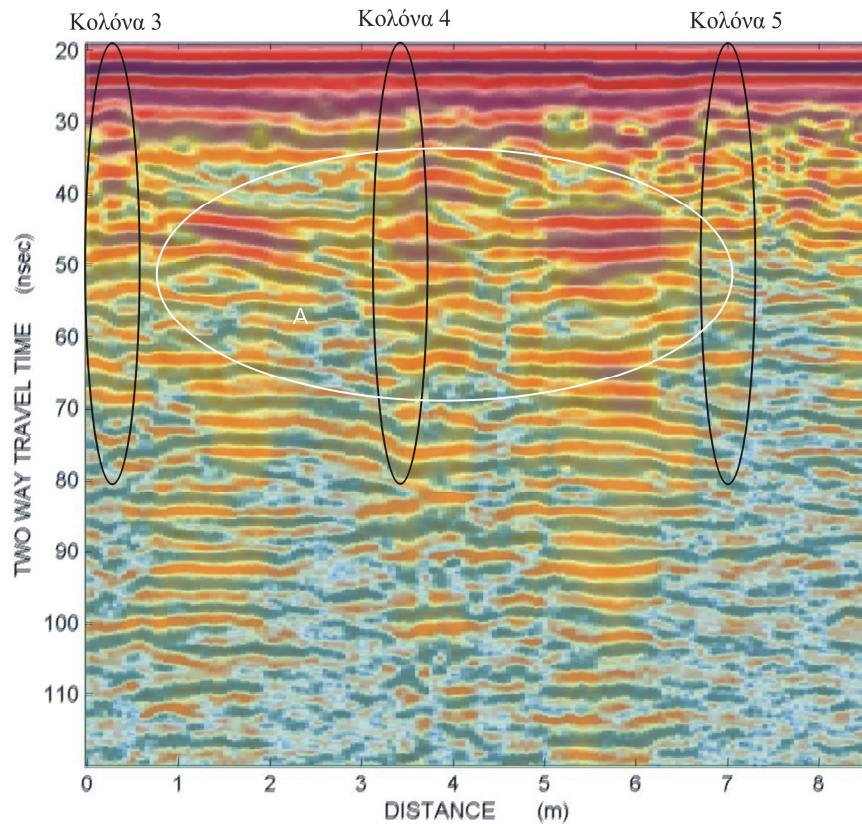
Σχήμα 4.11: Γραμμή μελέτης 6 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά)

Στο σχήμα 4.12 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα επεξεργασίας της γραμμής μελέτης 8, που βρίσκεται στα όρια και δυτικά του ορύγματος της κολόνας (Σχήμα 4.1). Σε αυτήν την τομή παρατηρούνται ισχυρές ανακλάσεις (περιοχή A) σε απόσταση 0.8-6.5 m από την αρχή της γραμμής μελέτης.



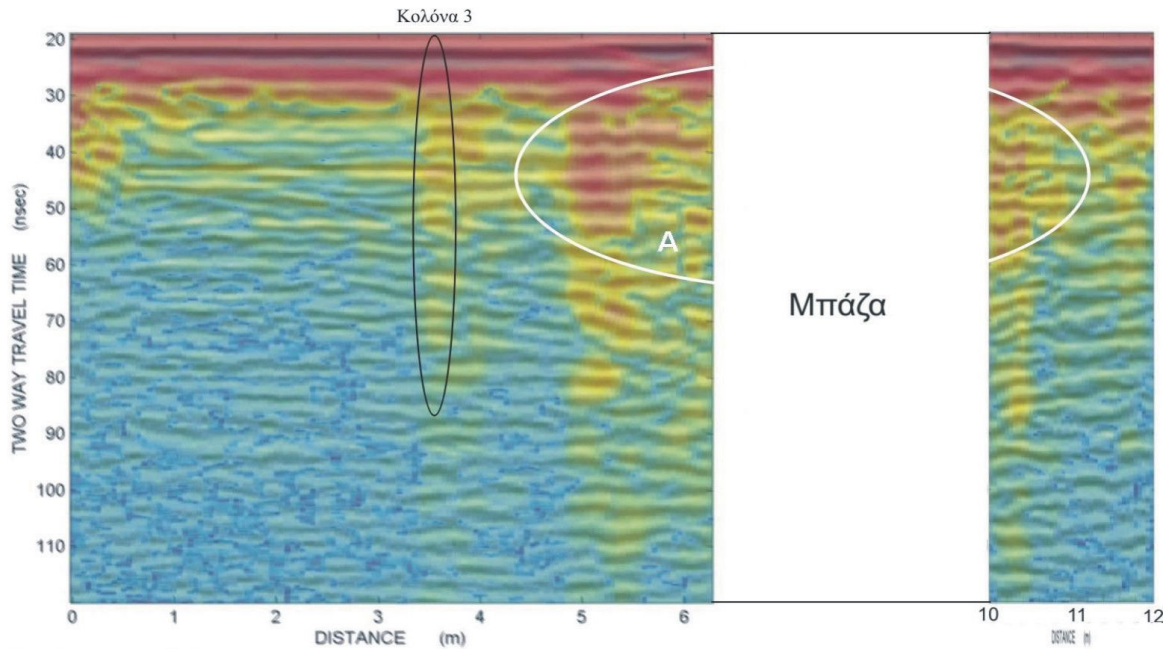
Σχήμα 4.12: Γραμμή μελέτης 8 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά), στα όρια και δυτικά του ορύγματος της κολόνας

Η εικόνα της γραμμής μελέτης 8 η οποία προέρχεται από τη δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων (Σχήμα 4.13), δίδει τις ίδιες πληροφορίες. Ισχυρές ανακλάσεις (περιοχή A) παρατηρούνται σε απόσταση 0.8-6.5 m από την αρχή της γραμμής μελέτης.



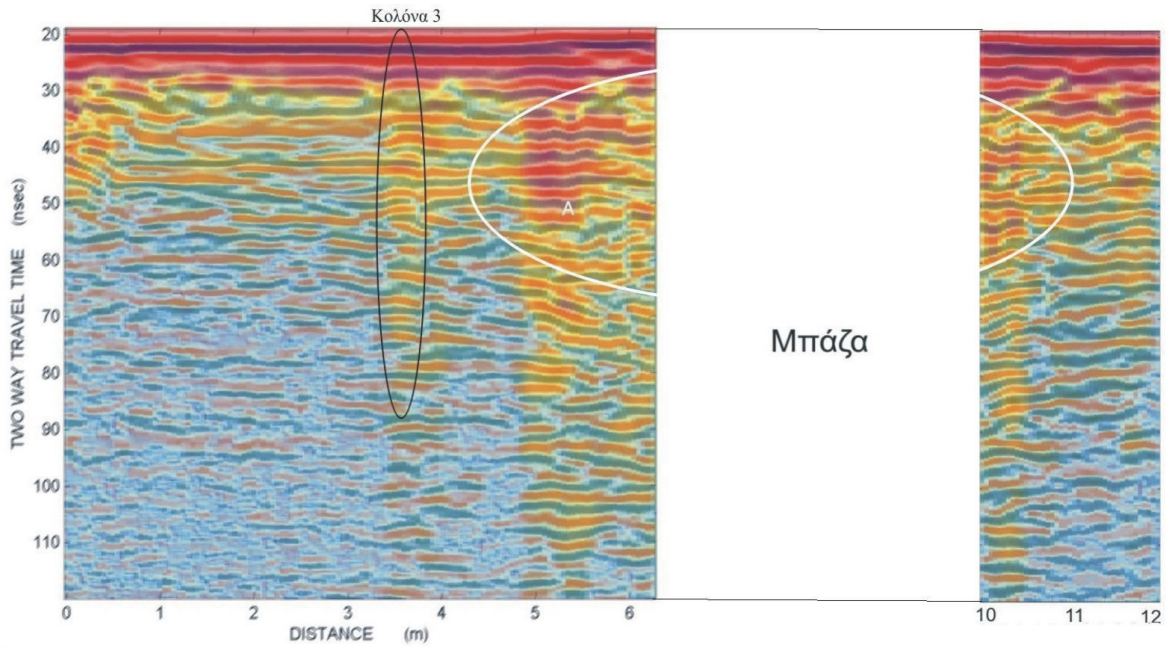
Σχήμα 4.13: Γραμμή μελέτης 8 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά), στα όρια και δυτικά του ορύγματος της κολόνας

Στο σχήμα 4.14 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα επεξεργασίας της γραμμής μελέτης 11, που βρίσκεται στα όρια και ανατολικά του ορύγματος της κολόνας (Σχήμα 4.1). Σε αυτήν την τομή παρατηρούνται ισχυρές ανακλάσεις (περιοχή Α) σε απόσταση 4.8- 6m και 10-10.5m από την αρχή της γραμμής μελέτης, ενώ δεν ήταν εφικτή η μέτρηση σε απόσταση 6 – 10m λόγω της ύπαρξης μπαζών.



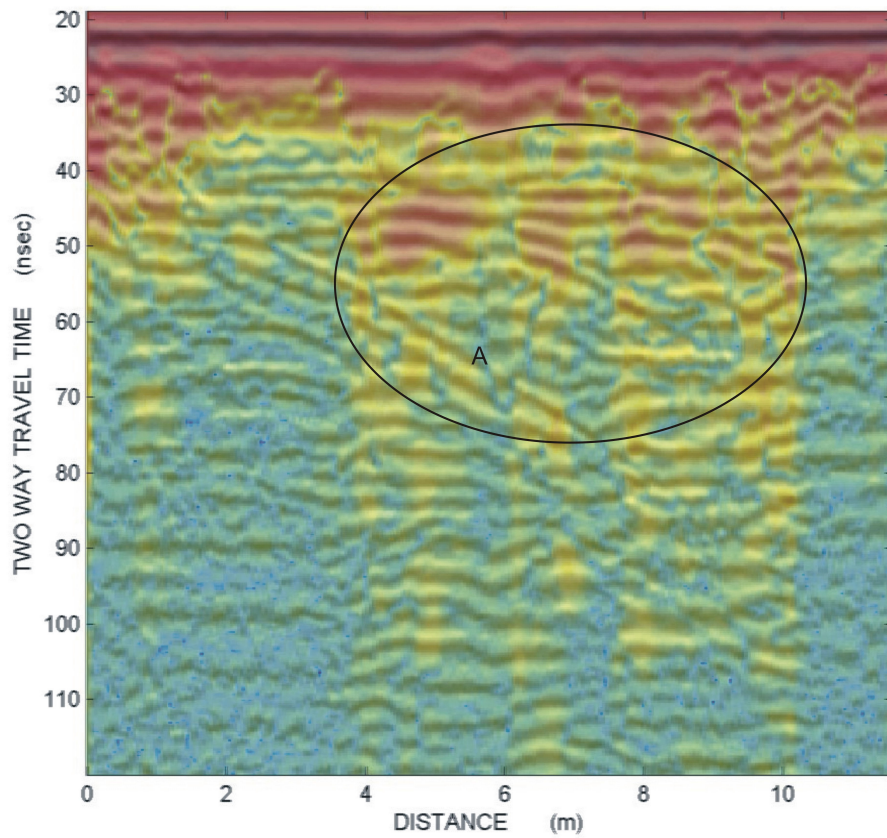
Σχήμα 4.14: Γραμμή μελέτης 11 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά), στα όρια και ανατολικά του ορύγματος της κολόνας

Παρατηρώντας την εικόνα της γραμμής μελέτης 11 η οποία προέρχεται από τη δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων (Σχήμα 4.15), συμπεραίνεται πως δίνει τα ίδια αποτελέσματα με την εικόνα του σχήματος 4.14. Και σε αυτή τη περίπτωση διακρίνονται ανακλάσεις στη περιοχή A στα 25 nsec καθώς και στη θέση της κολόνας 3.



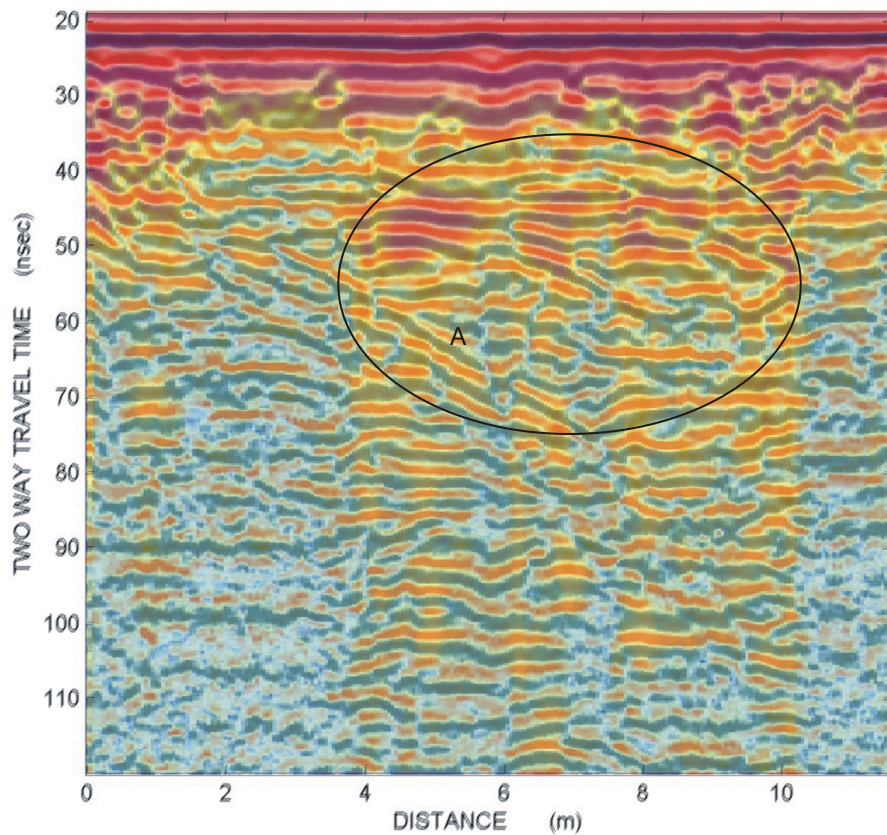
Σχήμα 4.15: Γραμμή μελέτης 11 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά), στα όρια και ανατολικά του ορύγματος της κολόνας

Στο σχήμα 4.16 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα επεξεργασίας της γραμμής μελέτης 15, που βρίσκεται δυτικά της σκάλας προς το ισόγειο (Σχήμα 4.1). Σε αυτήν την τομή παρατηρούνται ισχυρές ανακλάσεις στα 25 nsec και στα 50 nsec σε απόσταση 3.9-10.1m από την αρχή της γραμμής μελέτης (περιοχή A).



Σχήμα 4.16: Γραμμή μελέτης 15 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά), δυτικά του της σκάλας προς του ισόγειου

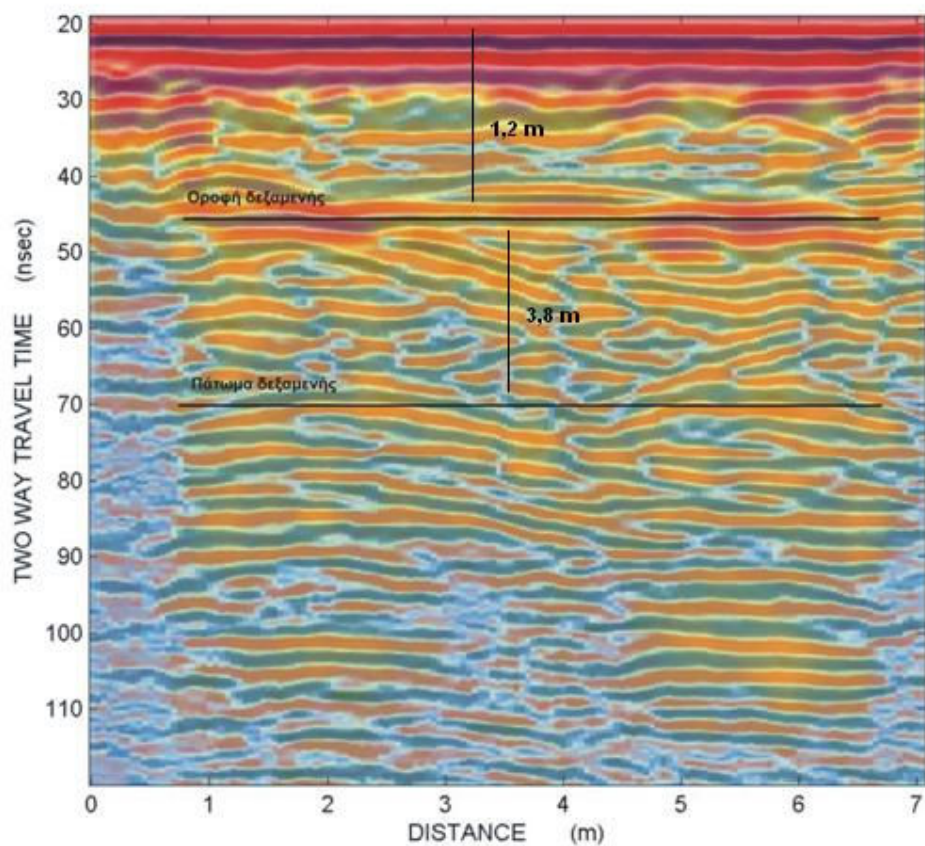
Η εικόνα της γραμμής μελέτης 15 η οποία προέρχεται από τη δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων (Σχήμα 4.17), δίνει τις ίδιες πληροφορίες με αυτή του σχήματος 4.16. Ισχυρές ανακλάσεις στα 25 nsec και 50 nsec παρατηρούνται σε απόσταση 3.9-10.1 m από την αρχή της γραμμής μελέτης (περιοχή A). Οι ανακλάσεις αυτές οφείλονται στην οροφή και στο πάτωμα της δεξαμενής αντίστοιχα.



Σχήμα 4.17: Γραμμή μελέτης 15 (με διεύθυνση από νότο προς βορρά), δυτικά του της σκάλας προς του ισόγειου

4.7 Συμπεράσματα

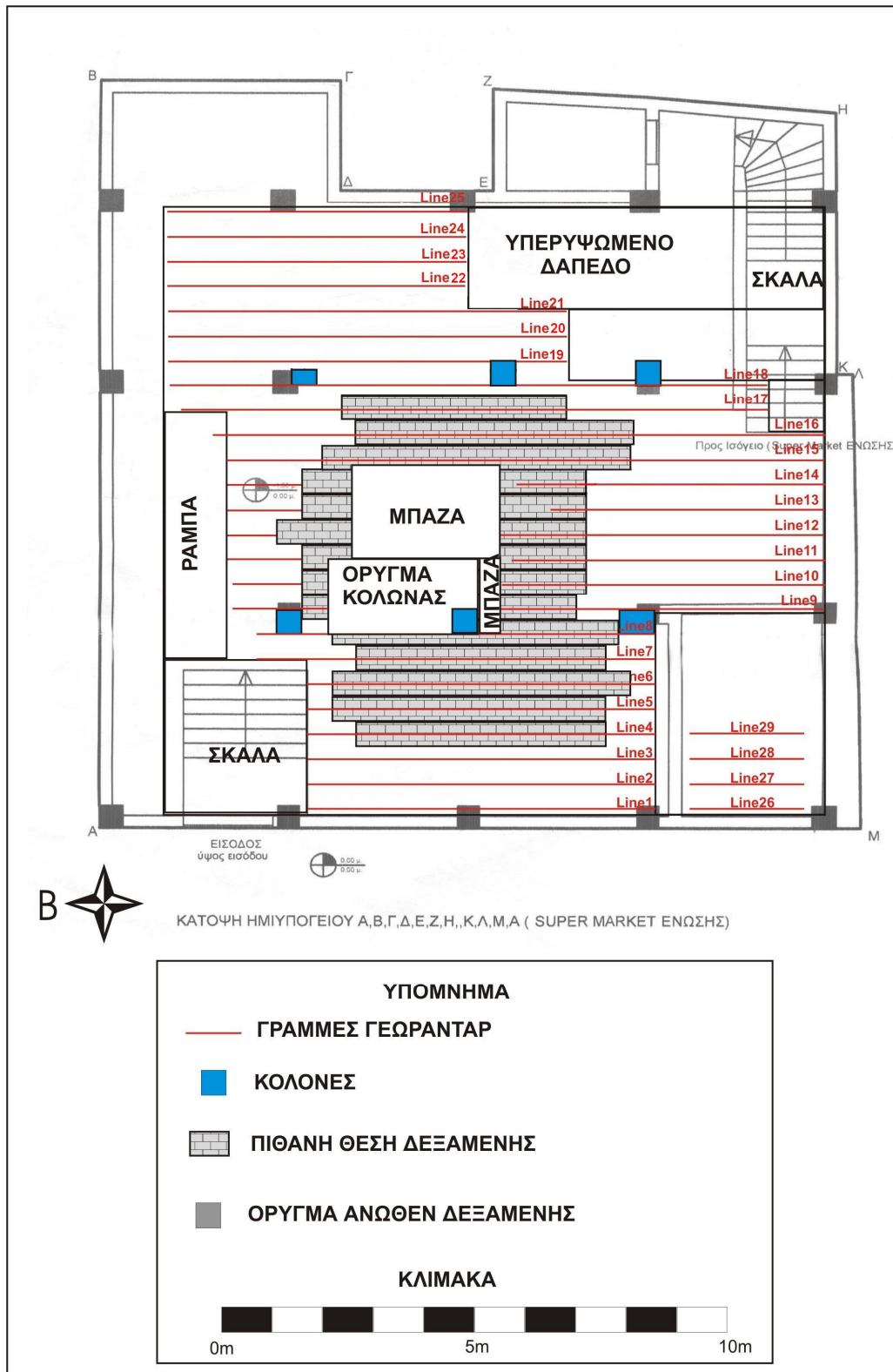
Στο σχήμα 4.18 παρουσιάζεται το σχήμα της οροφής της δεξαμενής καθώς και τα βάθη στα οποία αναμένεται να βρεθεί η οροφή και το πάτωμα της δεξαμενής σύμφωνα με τη τομή γεωραντάρ που δίνεται από τη γραμμή μελέτης 6. Το μήκος της δεξαμενής είναι 6,5 m, το πλάτος της είναι 5,5 m και το ύψος της είναι 3,8 m.



Σχήμα 4.18: Γραμμή μελέτης 6, βάθος ταφής της οροφής και του πατώματος της δεξαμενής

Το βάθος της οροφής της δεξαμενής προσδιορίστηκε στα 1,2 m και το βάθος του πατώματός της στα 5 m.

Σύμφωνα με τις τομές του γεωραντάρ και το όρυγμα άνωθεν της δεξαμενής, η σκιαγραφημένη περιοχή αντιστοιχεί στην υπόγεια δεξαμενή της οποίας η θέση παρουσιάζεται στο σχήμα 4.25. Η μέθοδος διασκόπησης του υπεδάφους με γεωραντάρ κρίθηκε αποτελεσματική, καθώς έγινε ακριβής προσδιορισμός της θέσης και του βάθους της θαμμένης δεξαμενής.



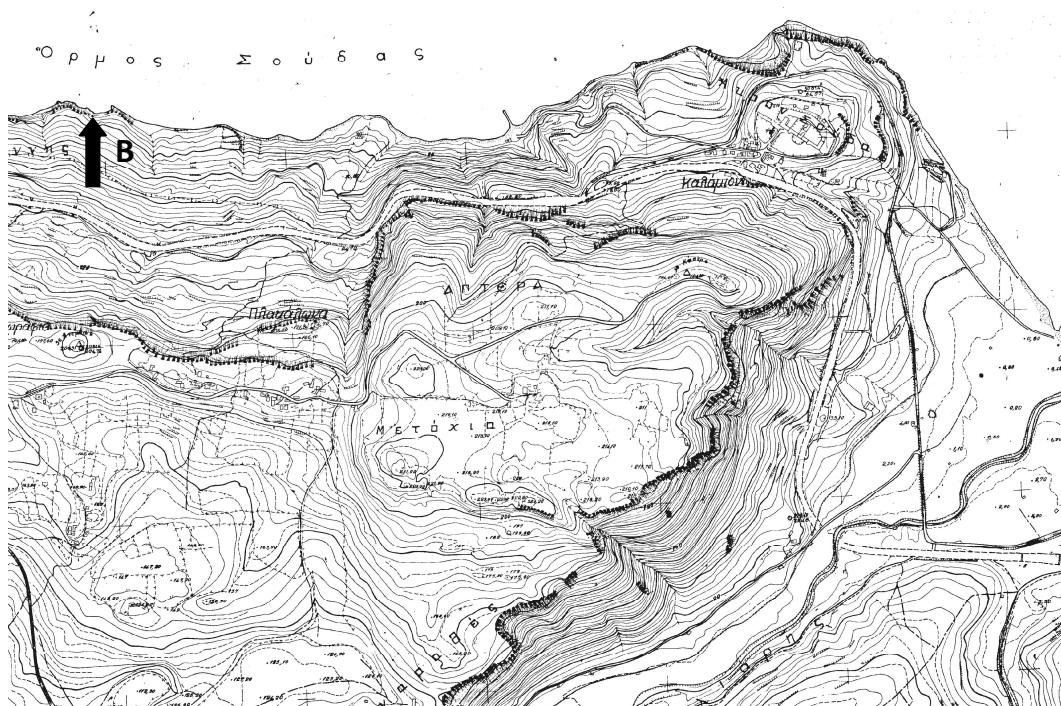
Σχήμα 4.25: Η θέση της υπόγειας δεξαμενής σύμφωνα με τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης

Κεφάλαιο 5

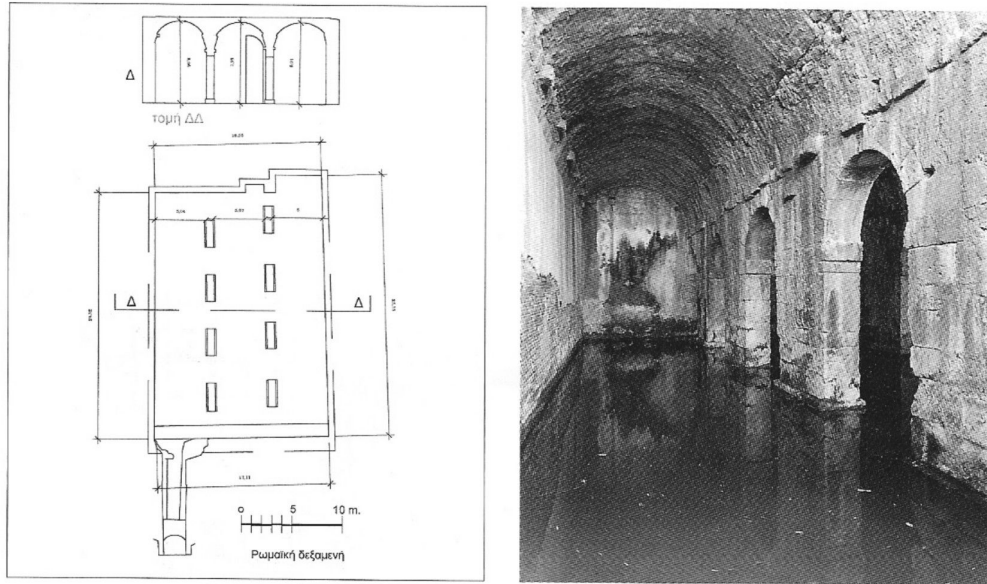
Επεξεργασία δεδομένων από από τη περιοχή Απτέρα του νομού Χανίων

5.1 Εισαγωγή

Ο αρχαιολογικός χώρος των Απτέρων βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του νομού Χανίων. Βρίσκεται περίπου 20 χιλιόμετρα ανατολικά της πόλης των Χανίων (Σχήμα 5.1). Σκοπός της έρευνας αυτής είναι ο εντοπισμός και η οριοθέτηση θαμμένων αρχαιοτήτων (τρίκλιτη δεξαμενή, σχήμα 5.2) στη περιοχή A4, καθώς και η περαιτέρω αξιολόγηση της συγκεκριμένης μεθόδου ως προς την αποτελεσματικότητά της στον εντοπισμό τέτοιου είδους στόχων. Για την μελέτη της συγκεκριμένης περιοχής χρησιμοποιήθηκε το σύστημα SIRch της εταιρίας GSSI. Η κεντρική συχνότητα εκπομπής ήταν 400MHz και το διάστημα δειγματοληψίας 195,4 picosecond. Χρησιμοποιήθηκε μια μέση ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων της τάξεως των 9,5 cm/nsec.



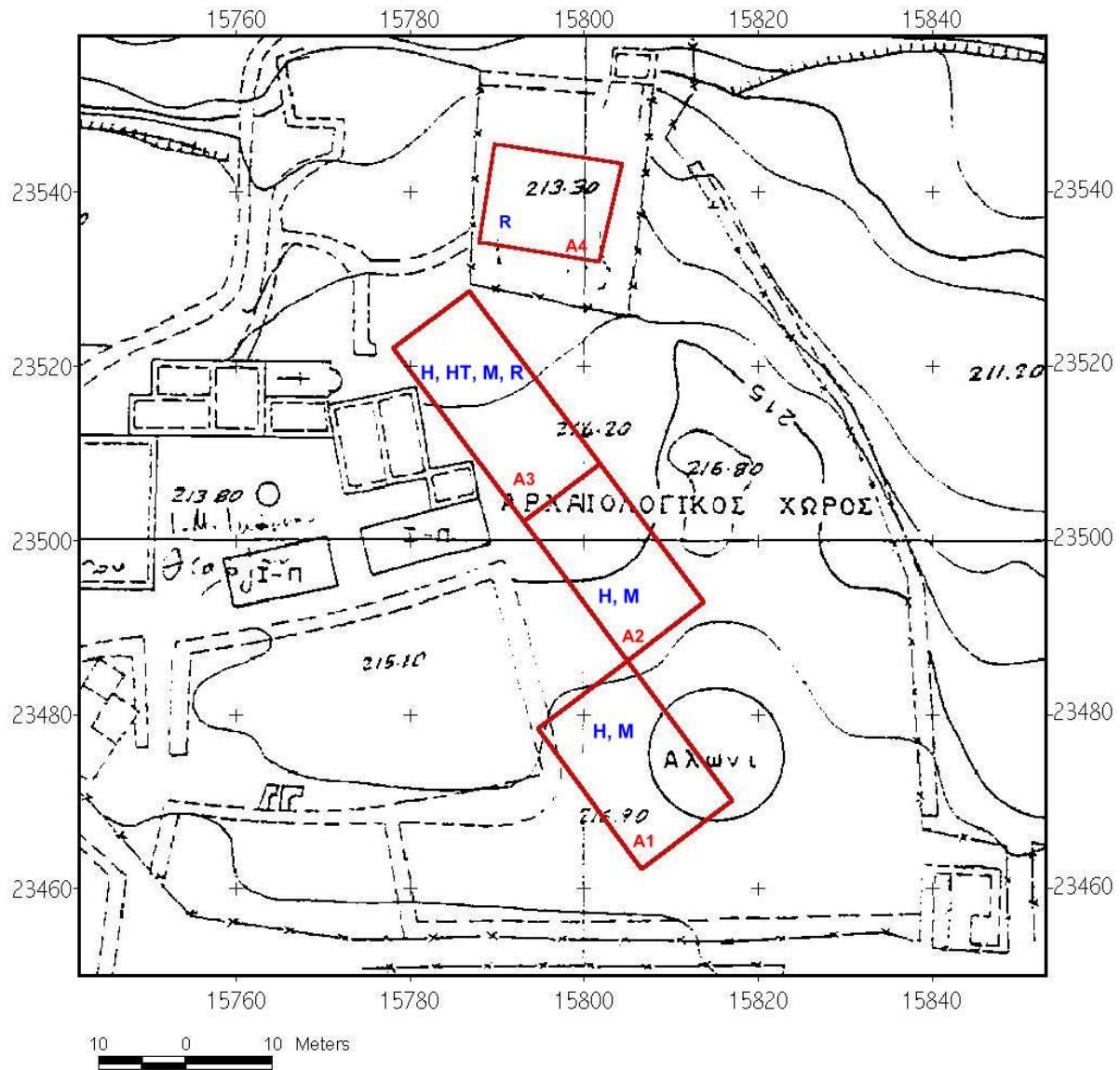
Σχήμα 5.1: Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της αρχαίας Αιπτέρας, όπου πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα



Σχήμα 5.2: Άποψη τρίκλιτης δεξαμενής η οποία έχει ήδη ανακαλυφθεί

5.2 Διεξαγωγή των μετρήσεων

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 11 γραμμές μελέτης μήκους 14 μέτρων, διεύθυνσης Δύσης-Ανατολής, με ισαπόσταση 0.5 μέτρο και ισαπόσταση σταθμών μέτρησης 5 εκατοστά. Αυτές οι γραμμές μελέτης αντιστοιχούν στον κάναβο A4 ο οποίος βρίσκεται βορειοανατολικά του μοναστηριού (Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3: Τοπογραφικός χάρτης του αρχαιολογικού χώρου των Απτέρων (ισοϋψείς ανά 1 μέτρο). Με κόκκινο περίγραμμα οριοθετείται η περιοχή Α που αποτελείται από τους επιμέρους κανάβους Α1, Α2, Α3 και Α4.

5.3 Επεξεργασία των δεδομένων

Για την επεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων χρησιμοποιήθηκε και εδώ το λογισμικό πακέτο GPR Pro V5. Όπως και στην περίπτωση των μετρήσεων στο κτίριο του ΟΑΝΑΚ, έτσι

και εδώ σκοπός είναι η δημιουργία τομών γεωραντάρ από τη χρήση διαφόρων συνδιασμών φίλτρων. Στη συνέχεια και σε αυτή τη περίπτωση θα γίνει υπέρθεση των επιλεγμένων τομών γεωραντάρ χρησιμοποιώντας το λογισμικό πακέτο Corel Draw 10. Με το τρόπο αυτό, από τις ψηφιακά επεξεργασμένες εικόνες αναδुकνύονται όσο το δυνατόν περισσότερες λεπτομέρειες οι οποίες αφορούν την οριοθέτηση και το βάθος του στόχου.

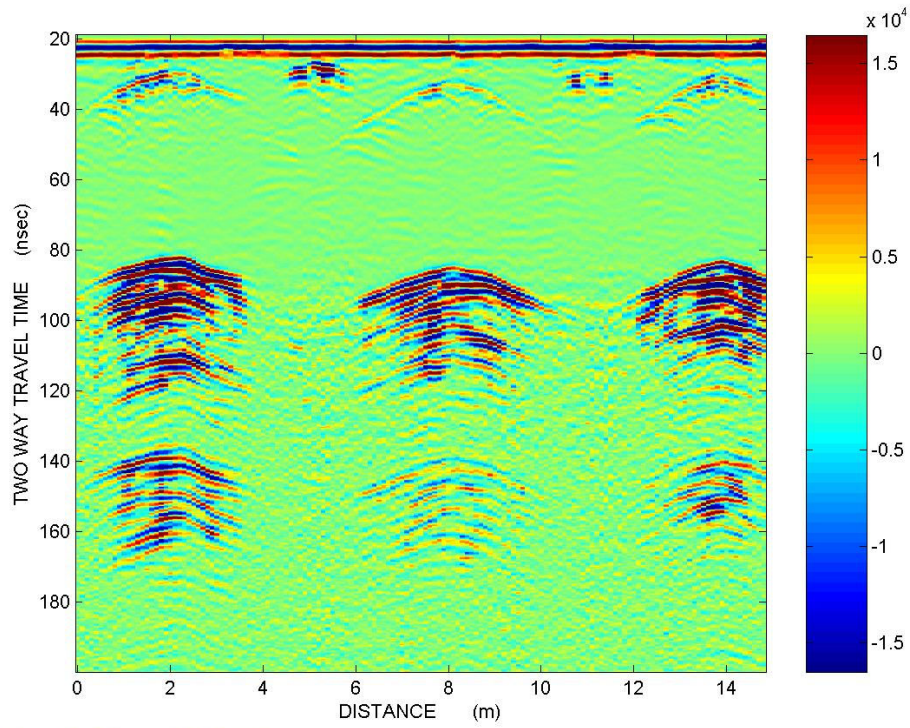
5.3.1 Πρώτη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων

Σε πρώτη φάση εφαρμόστηκε φίλτρο Dewow έχοντας σαν στόχο την αποκοπή των χαμηλών συχνοτήτων. Στην συνέχεια εφαρμόστηκε φίλτρο ενίσχυσης SEC με παράθυρο μήκους 10 nanosecond. Στόχος του συγκεκριμένου φίλτρου είναι η ενίσχυση των ασθενών κυμάτων που προκύπτουν λόγω της εξασθένησης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο υπέδαφος. Τέλος, εφαρμόστηκε φίλτρο μέσης τιμής (average filter) διάρκειας 3 nsec. Για την καλύτερη απεικόνιση των λεπτομερειών επιλέχθηκε η προβολή των τομών σε κλίμακα χρωμάτων seismic. Δηλαδή:

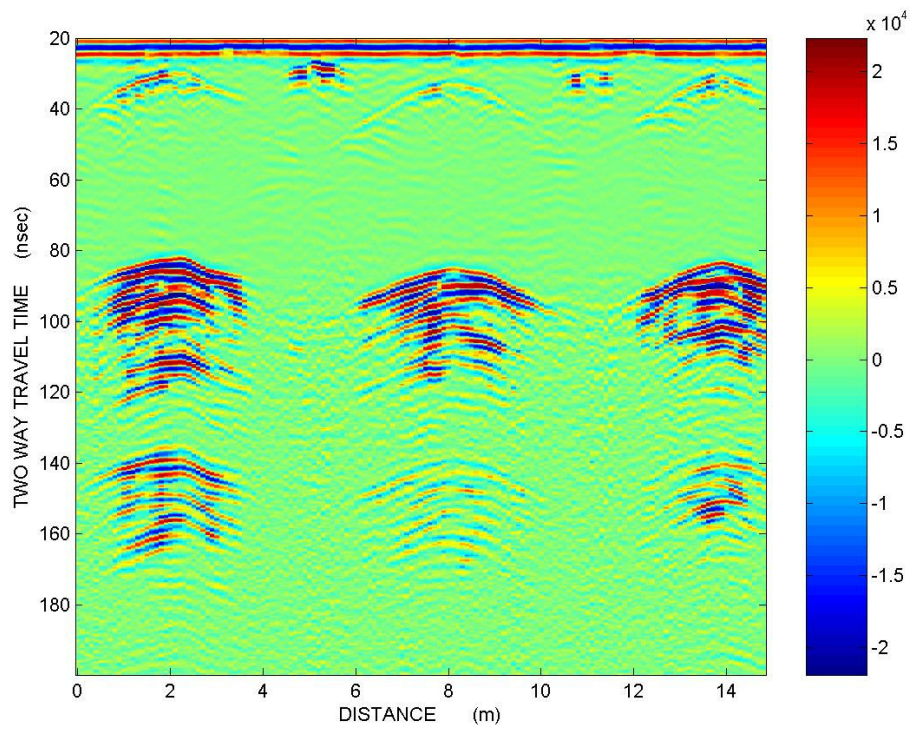
Ακατέργαστα δεδομένα \Rightarrow Dewow \Rightarrow SEC \Rightarrow Average Filter \Rightarrow κλίμακα Seismic

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας παρουσιάζονται στο παράρτημα.

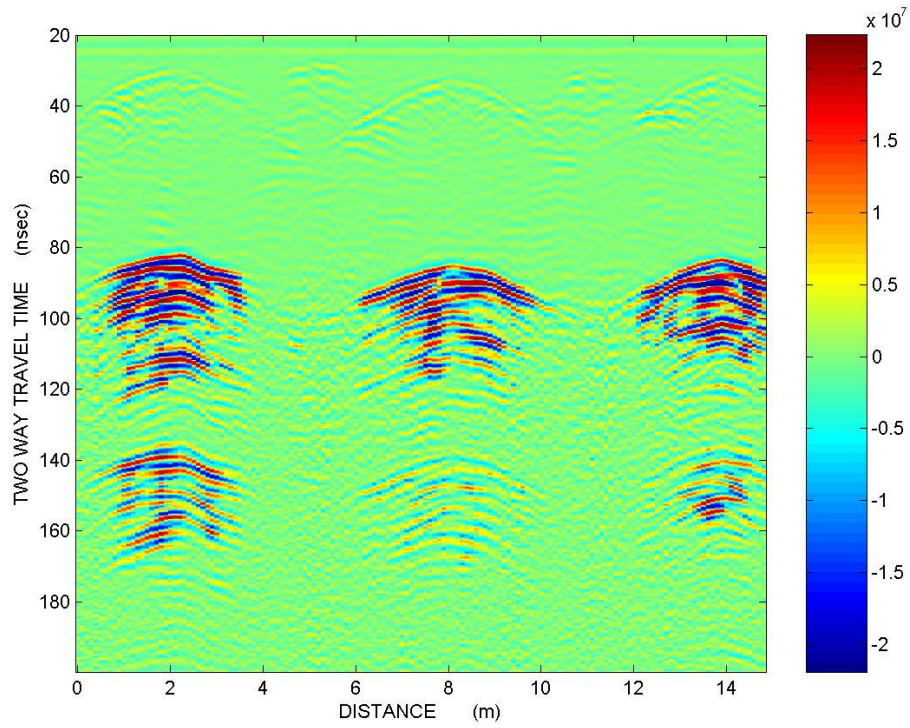
Σαν παράδειγμα, παρακάτω παρουσιάζονται τα στάδια της διαδικασίας εφαρμογής των φίλτρων του λογισμικού GPRProV5 στη μη επεξεργασμένη εικόνα της δεύτερης γραμμής μετρήσεων:



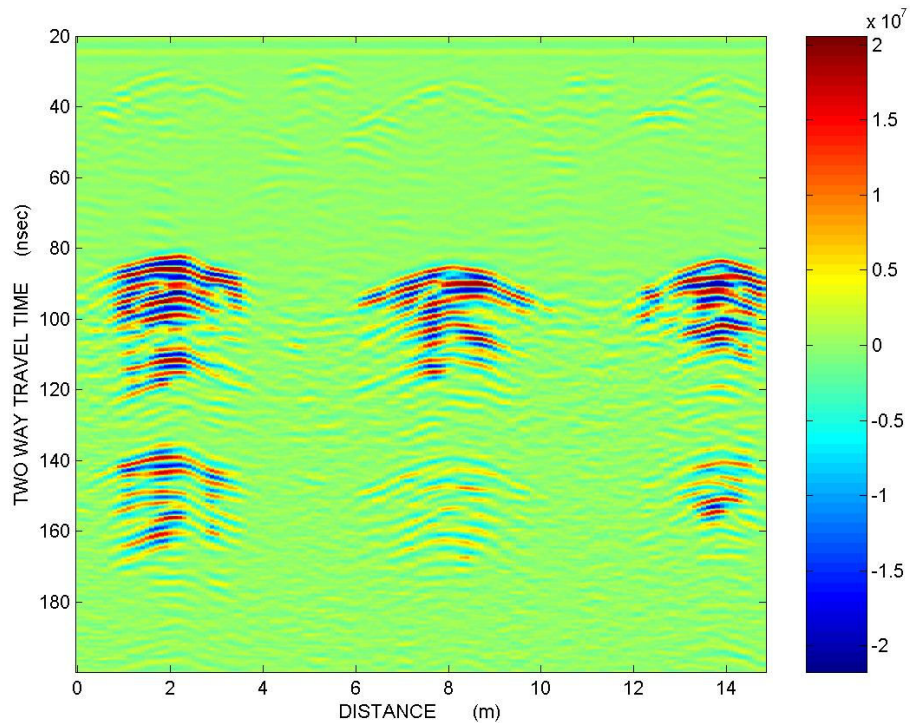
Γραμμή μελέτης 2, ανεπεξέργαστη εικόνα



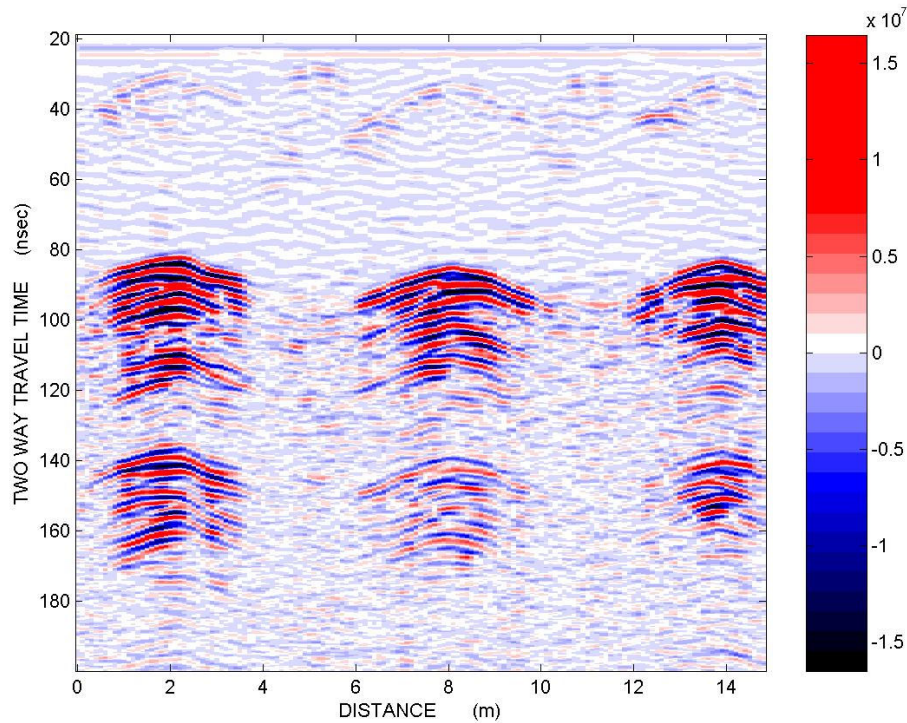
Γραμμή μελέτης 2 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow



Γραμμή μελέτης 2 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow και εν συνεχεία εφαρμογή SEC



Γραμμή μελέτης 2 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow, SEC και Average Filter



Γραμμή μελέτης 2 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow, SEC, Average Filter και απεικόνιση σε κλίμακα χρωμάτων Seismic

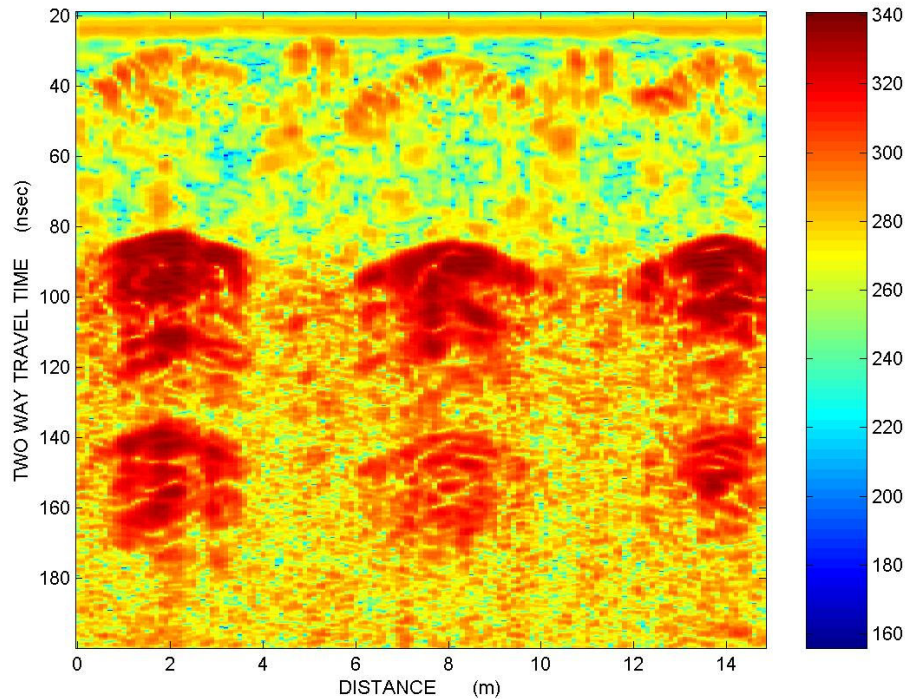
5.3.2 Δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων

Η δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων που δημιουργήθηκε, προήλθε από την εφαρμογή των εξής φίλτρων: φίλτρο διόρθωσης Dewow, ενίσχυση SEC με παράθυρο μήκους 10 nsec, Average Filter με μήκος παραθύρου 3 nsec και DB Instantaneous Envelope (στιγμιαίο πλάτος σε κλίμακα DB). Η δημιουργία της δεύτερης ομάδας ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων περιλαμβάνει τα ίδια τρία πρώτα στάδια επεξεργασίας με την πρώτη ομάδα (Dewow, SEC, Average Filter), με τη μόνη διαφορά ότι στο τέλος εφαρμόζουμε ένα διαφορετικό φίλτρο (DB Instantaneous Envelope):

Ακατέργαστα δεδομένα \Rightarrow Dewow \Rightarrow SEC \Rightarrow Average Filter \Rightarrow DB Instantaneous Envelope

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Η διαδικασία εφαρμογής των φίλτρων του λογισμικού GPRProV5 στη μη επεξεργασμένη τομή της δεύτερης γραμμής μετρήσεων είναι κατά τα τρία πρώτα στάδια ίδια με αυτή της πρώτης ομάδας εικόνων. Με την εφαρμογή του φίλτρου DB Instantaneous Envelope κατά τέλος της διαδικασίας, έχουμε την εξής ψηφιακά επεξεργασμένη εικόνα:



Γραμμή μελέτης 2 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου Dewow, SEC, Average Filter και DB Instantaneous Envelope

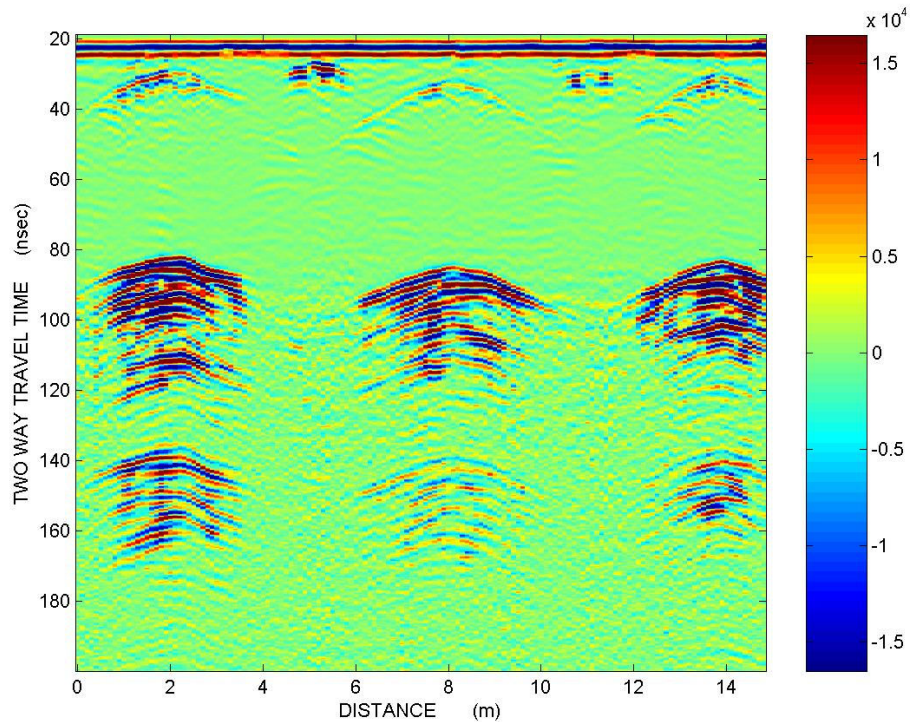
5.3.3 Τρίτη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων

Τέλος δημιουργήθηκε μία τρίτη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων με την εφαρμογή των εξής φίλτρων: Background Noise Removal (BNR), SEC με παράθυρο μήκους 10 nsec, Average Filter με μήκος παραθύρου 3 nsec και Instantaneous Phase. Δηλαδή:

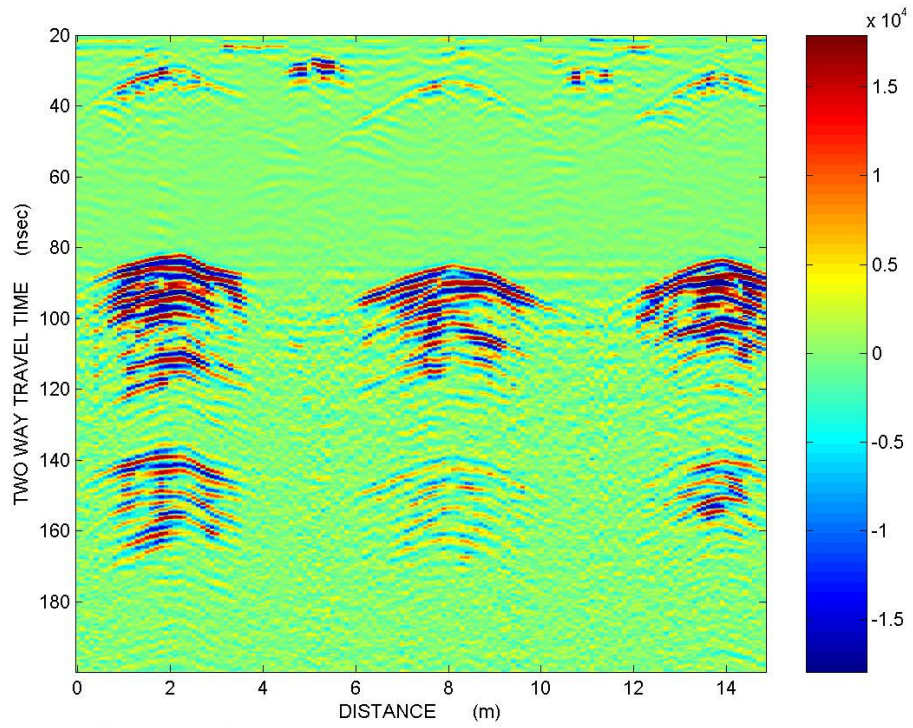
Ακατέργαστα δεδομένα \Rightarrow BNR \Rightarrow SEC \Rightarrow Average Filter \Rightarrow Instantaneous Phase

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας παρουσιάζονται στο παράρτημα.

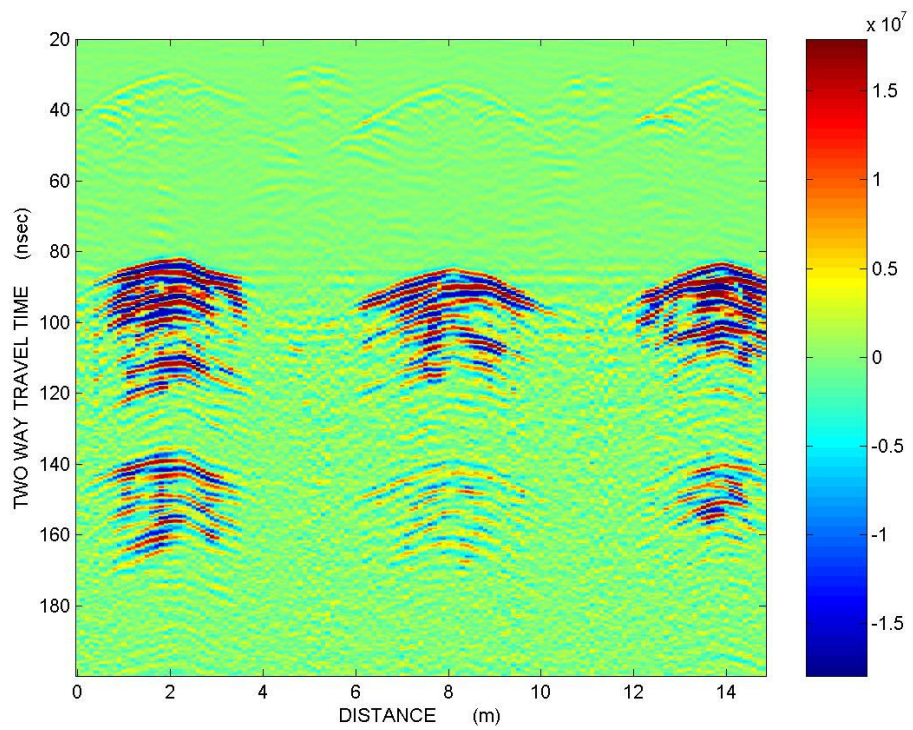
Σαν παράδειγμα, παρακάτω παρουσιάζονται τα στάδια της διαδικασίας εφαρμογής των φίλτρων του λογισμικού GPRProV5 στη μη επεξεργασμένη εικόνα της δεύτερης γραμμής μετρήσεων:



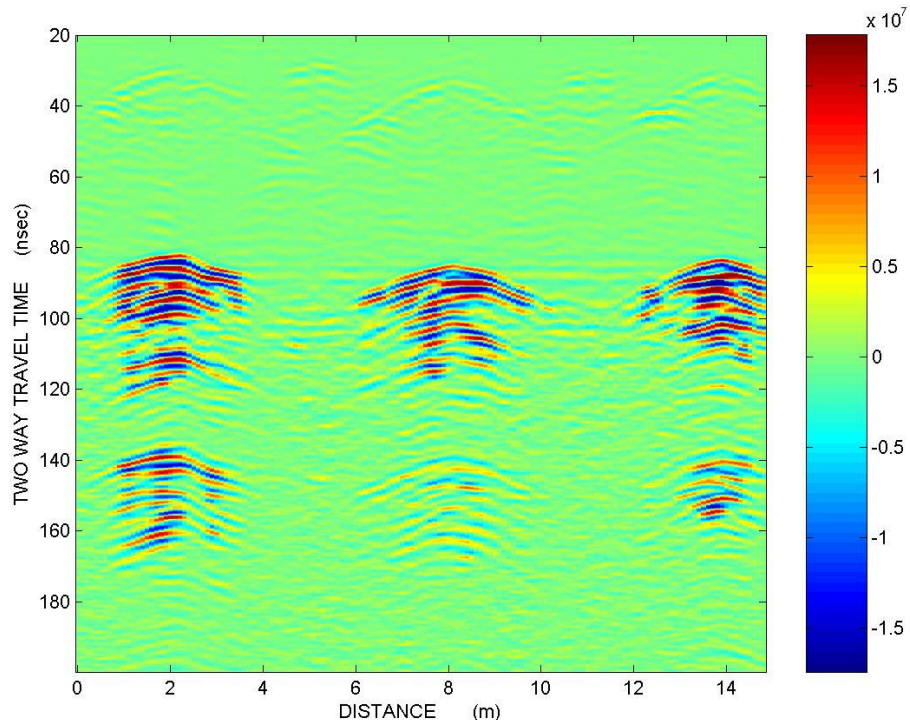
Γραμμή μελέτης 2, ανεπεξεργαστη εικόνα



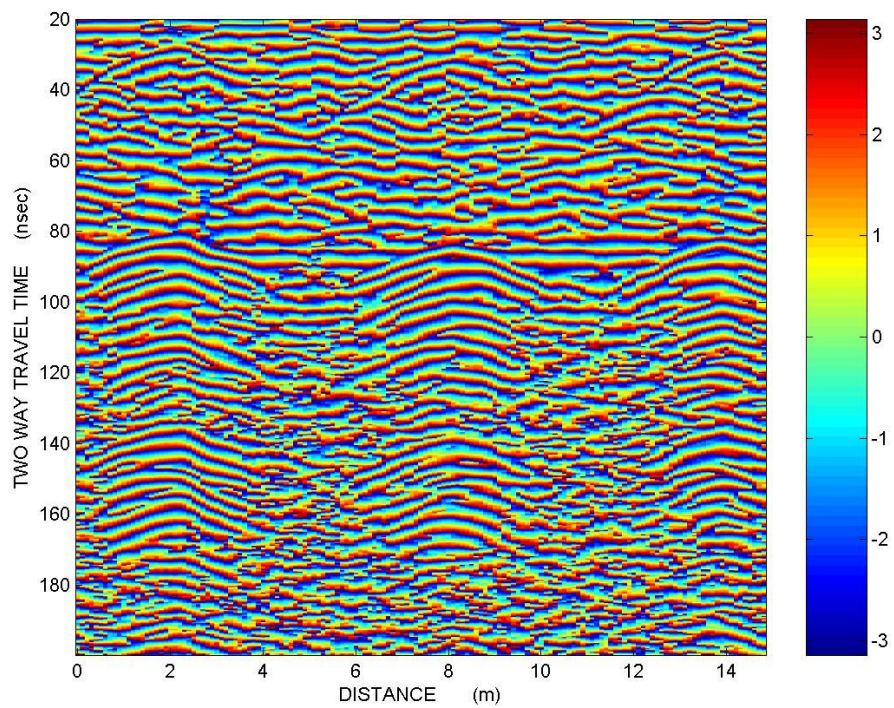
Γραμμή μελέτης 2 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου *Background Noise Removal (BNR)*



Γραμμή μελέτης 2 έπειτα από εφαρμογή φίλτρου *Background Noise Removal* και *SEC*



Γραμμή μελέτης 2 έπειτα από εφαρμογή φίλτρων *Background Noise Removal*, *SEC* και *Average Filter*



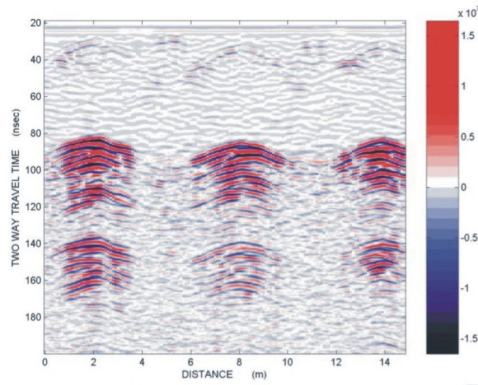
Γραμμή μελέτης 2 με φίλτρα *BNR*, *SEC*, *Average Filter* και *Instantaneous Phase*

5.4 Υπέρθεση των ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό πακέτο Corel Draw 10, έγινε μία περαιτέρω επεξεργασία των παραπάνω εικόνων χρησιμοποιώντας τη τεχνική της υπέρθεσης. Η υπέρθεση των εικόνων έγινε ανά ζεύγη με τον εξής τρόπο:

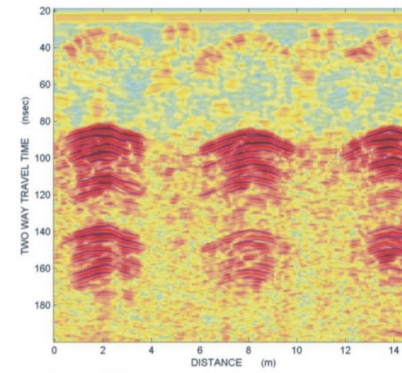
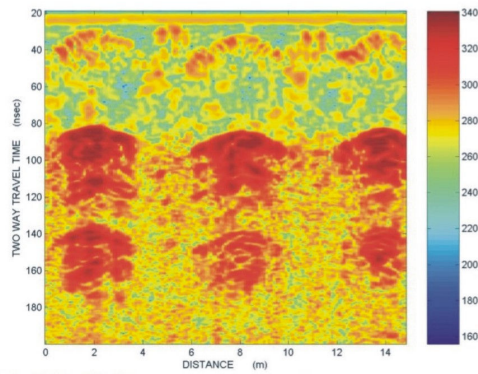
Υπέρθεση των εικόνων της πρώτης ομάδας ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων με τις εικόνες της δεύτερης ομάδας ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων (Σχήμα 5.4). Τα αποτελέσματα της υπέρθεσης παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Πρώτη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων



ΥΠΕΡΘΕΣΗ

Δεύτερη ομάδα ψηφιακά επεξεργασμένων εικόνων

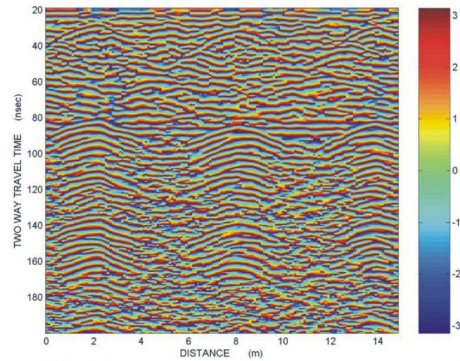


Πρώτη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων

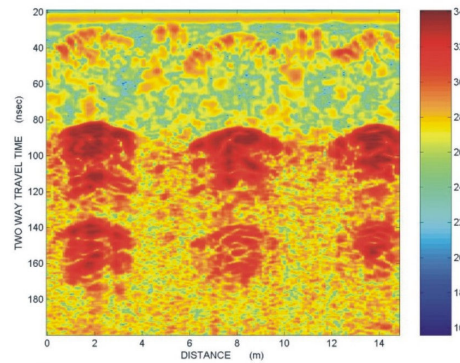
Σχήμα 5.4: Διαδικασία δημιουργίας πρώτης ομάδας υπερτιθεμένων εικόνων

Η δεύτερη ομάδα τομών υπέρθεσης προέρχεται από την υπέρθεση των εικόνων της τρίτης ομάδας επεξεργασμένων τομών με τις εικόνες της δεύτερης ομάδας επεξεργασμένων τομών (Σχήμα 5.5).

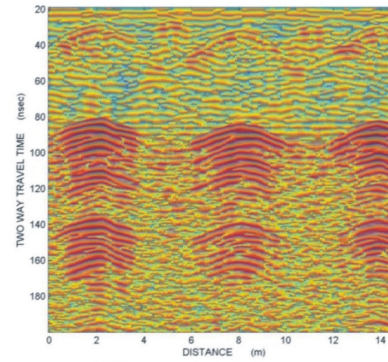
Τρίτη ομάδα ψηφιακά
επεξεργασμένων εικόνων



Δεύτερη ομάδα ψηφιακά
επεξεργασμένων εικόνων



Δεύτερη ομάδα
υπερτιθεμένων εικόνων

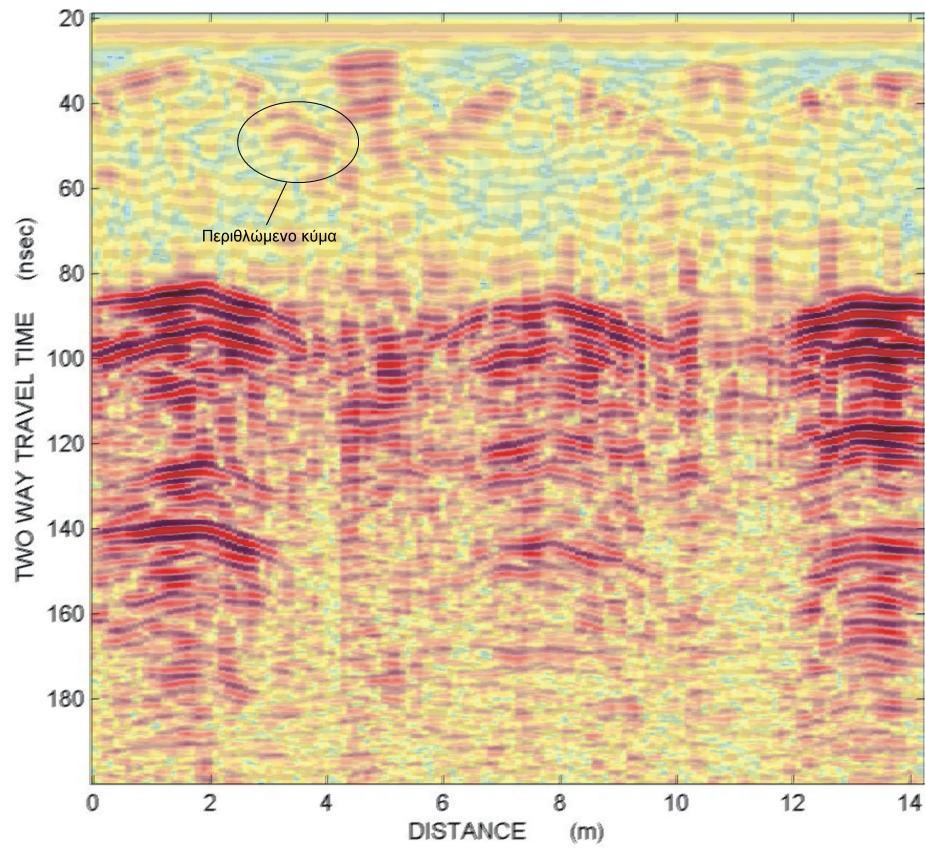


Σχήμα 5.5: Διαδικασία δημιουργίας δεύτερης ομάδας υπερτιθεμένων εικόνων

5.5 Υπολογισμός ταχύτητας ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

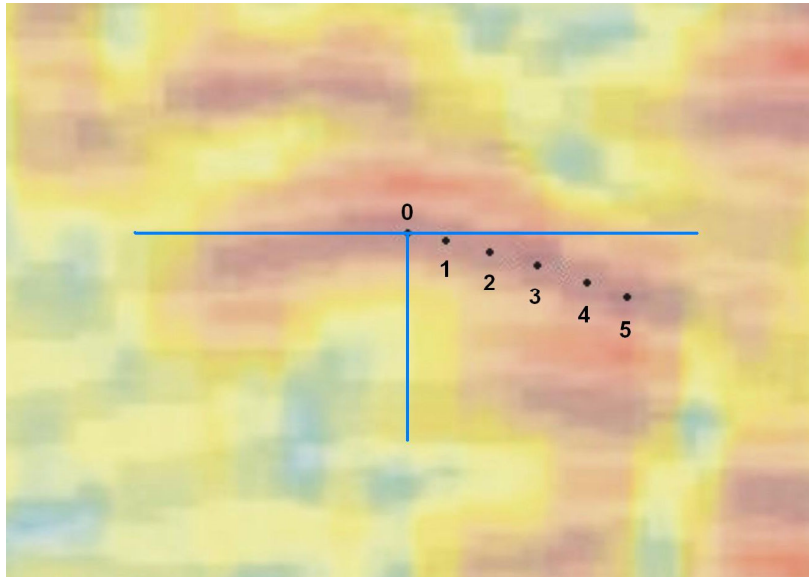
Για τον υπολογισμό του βάθους ταφής της θαμμένης δεξαμενής, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της ταχύτητας των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο έδαφος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε με τη μέθοδο $x^2 - t^2$. Αρχικά, από μια εικόνα μιας οποιαδήποτε γραμμής μελέτης εντοπίστηκε η υπερβολή ενός περιθλώμενου κύματος. Στη συνέχεια, έγινε επιλογή διαφόρων σημείων πάνω στη μία πλευρά της υπερβολής σημειώνοντας τις τιμές x (απόσταση από την αρχή της γραμμής μελέτης) και t (διπλός χρόνος διαδρομής κύματος) και αφού έχει θεωρηθεί ότι η αρχή των αξόνων είναι ο άξονας συμμετρίας της υπερβολής. Στην συνέχεια, αφού οι τιμές των x και t υψωθούν στο τετράγωνο, δημιουργούμε ένα γράφημα. Στόχος ήταν η εύρεση της εξίσωσης της καλύτερης ευθείας που διέρχεται από τα σημεία του γραφήματός μας. Μέσω του συντελεστή διεύθυνσης θα γίνει ο υπολογισμός της ταχύτητας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ηλεκτρομαγνητικού παλμού χρησιμοποιήθηκε η γραμμή μελέτης 5. Στο σχήμα 5.6 φαίνεται το περιθλώμενο κύμα το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ταχύτητας του παλμού.



Σχήμα 5.6: Περιθλώμενο κύμα

Για μεγαλύτερη ευκολία, γίνεται μεγέθυνση στη περιοχή όπου βρίσκεται το περιθλώμενο κύμα και επιλογή έξι σημείων επάνω στη δεξιά πλευρά της υπερβολής. Παράλληλα, σαν αρχή των αξόνων επιλέγεται το κέντρο της υπερβολής (Σχήμα 5.7).



Σχήμα 5.7: Περιθλώμενο κύμα

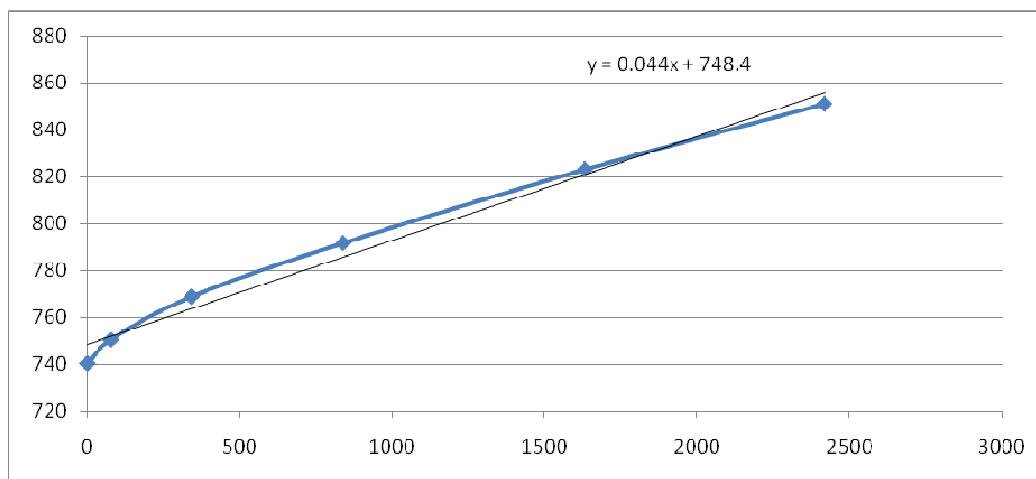
Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών είναι:

Σημείο	Απόσταση από αρχή γραμμής μελέτης x (cm)	Διπλός χρόνος διαδρομής t (nsec)
0	0	27,21
1	8,8	27,39
2	18,5	27,73
3	28,9	28,14
4	40,4	28,69
5	49,1	29,17

Υψώνοντας στο τετράγωνο όλες τις τιμές των x και t :

Σημείο	x^2 (cm ²)	t^2 (nsec ²)
0	0	740,44
1	76,7	750,52
2	341,9	768,89
3	838,3	791,73
4	1631,3	823,18
5	2415,6	851,08

Το γράφημα το οποίο δημιουργείται από το συνδιασμό των τιμών $x^2 - t^2$ είναι:



Η εξίσωση της καλύτερης ευθείας που διέρχεται από τα σημεία αυτά είναι η $y = 0,044x + 748,4$ με συντελεστή διεύθυνσης $k = 0,044$.

Η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού παλμού υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$U = (4 / k)^{1/2}$$

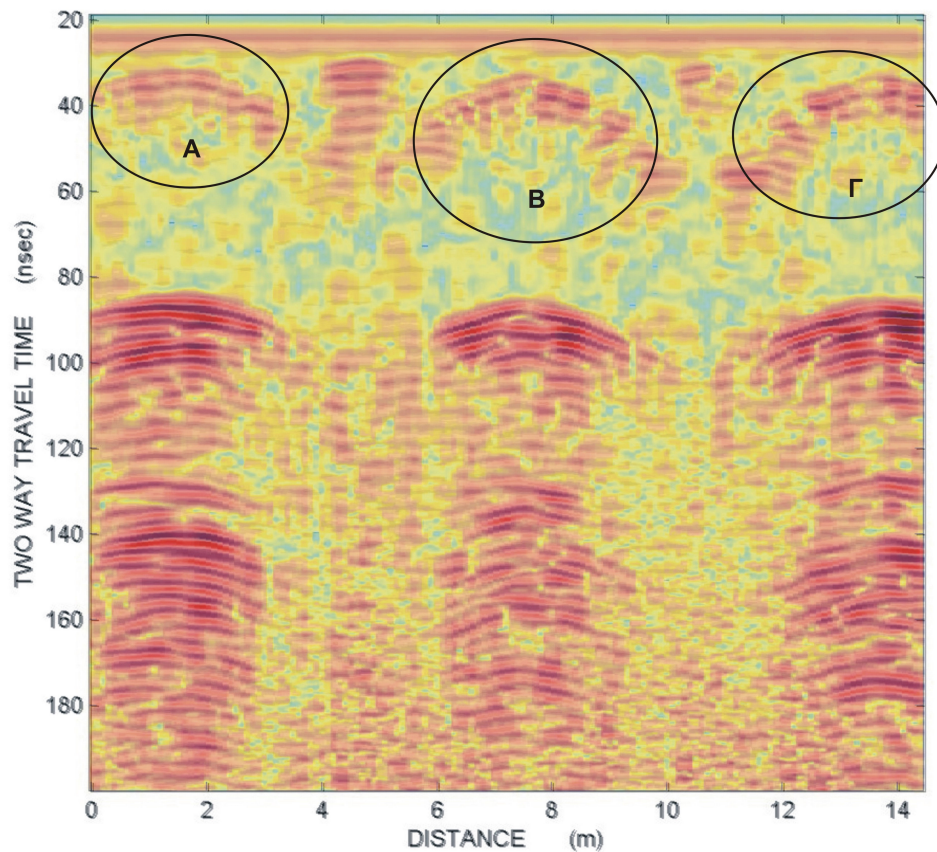
όπου U η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού παλμού και k ο συντελεστής διεύθυνσης της καλύτερης ευθείας.

Με εφαρμογή της παραπάνω εξίσωσης έχουμε: $U = (4 / 0,044)^{1/2} = 9,5$ cm / nsec.

5.6 Αποτελέσματα

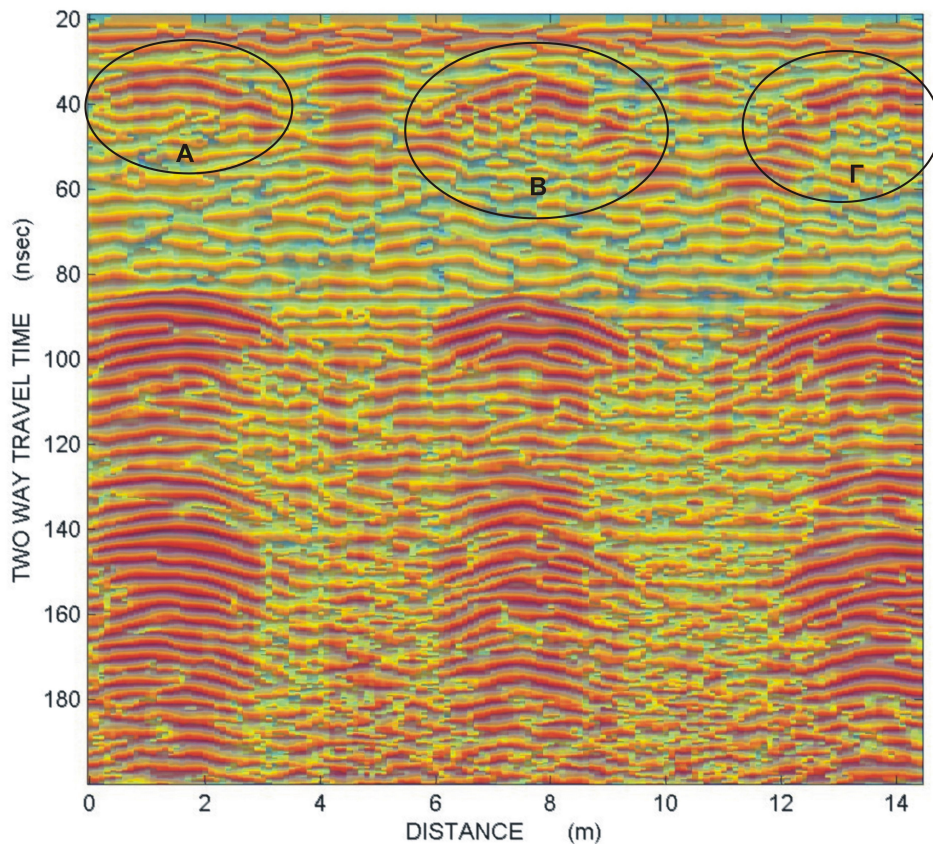
Μετά από την επεξεργασία των γραμμών μελέτης, πραγματοποιήθηκε ερμηνεία των αποτελεσμάτων και υπολογίσθηκε το βάθος στο οποίο βρίσκεται η οροφή και και το πάτωμα της θαμμένης δεξαμενής.

Στο σχήμα 5.8 παρουσιάζεται η εικόνα της γραμμής μελέτης 7 η οποία ανήκει στη πρώτη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων. Στη συγκεκριμένη τομή γεωραντάρ, παρατηρούνται έντονες ανακλάσεις που έχουν σχήμα υπερβολής (περιοχή Α) σε απόσταση 0-3.5 m από την αρχή της γραμμής μελέτης. Ανακλάσεις ίδιας μορφής παρατηρούνται σε απόσταση 6-10 m από την αρχή της γραμμής μελέτης (περιοχή Β) καθώς και σε απόσταση 11.5-14 m από την αρχή της γραμμής μελέτης (περιοχή Γ).



Σχήμα 5.8: Γραμμή μελέτης 7 από τη πρώτη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων, ανακλάσεις στις περιοχές Α, Β και Γ

Παρατηρώντας την εικόνα της γραμμής μελέτης 7 η οποία ανήκει στη δεύτερη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων (Σχήμα 5.9), διακρίνονται έντονες ανακλάσεις στις ίδιες περιοχές Α, Β και Γ.

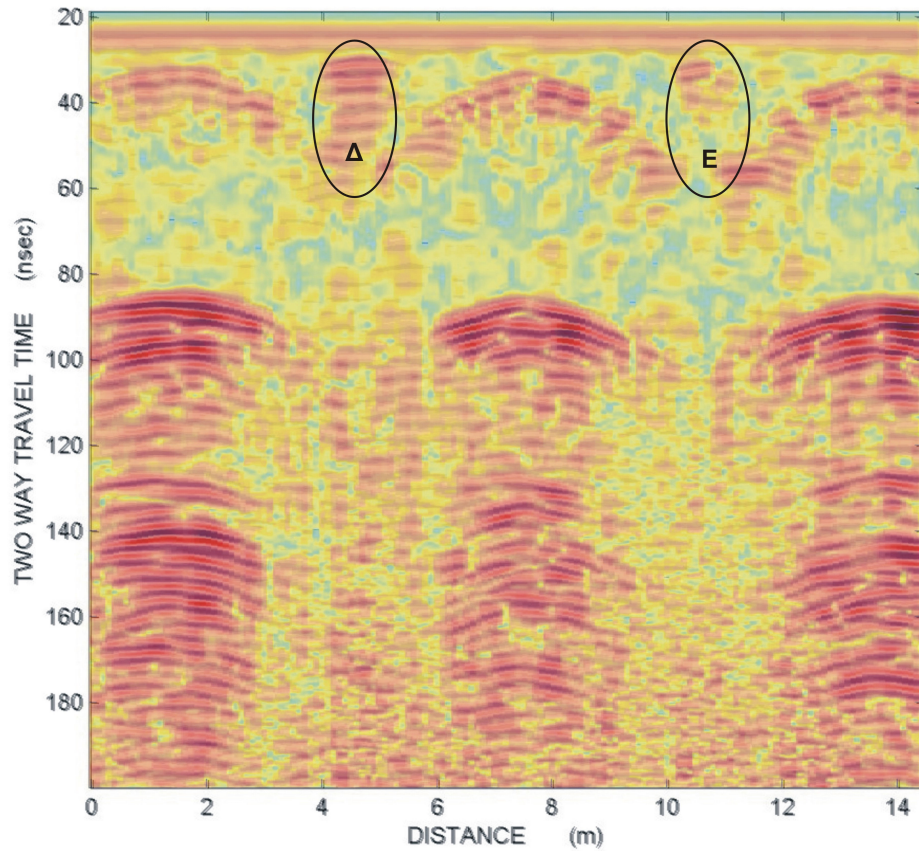


Σχήμα 5.9: Γραμμή μελέτης 7 από τη δεύτερη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων, ανακλάσεις στις περιοχές Α, Β και Γ

Οι ανακλάσεις αυτές οφείλονται στην οροφή της δεξαμενής και η απεικόνισή τους στη τομή μαρτυρά το σχεδιασμό της. Αυτό σημαίνει πως η οροφή της συγκεκριμένης δεξαμενής είναι πολύ πιθανό να αποτελείται από τρεις καμάρες οι οποίες βρίσκονται στις περιοχές Α, Β και Γ. Το βάθος ταφής του ανώτερου τμήματος της δεξαμενής είναι ίσο με:

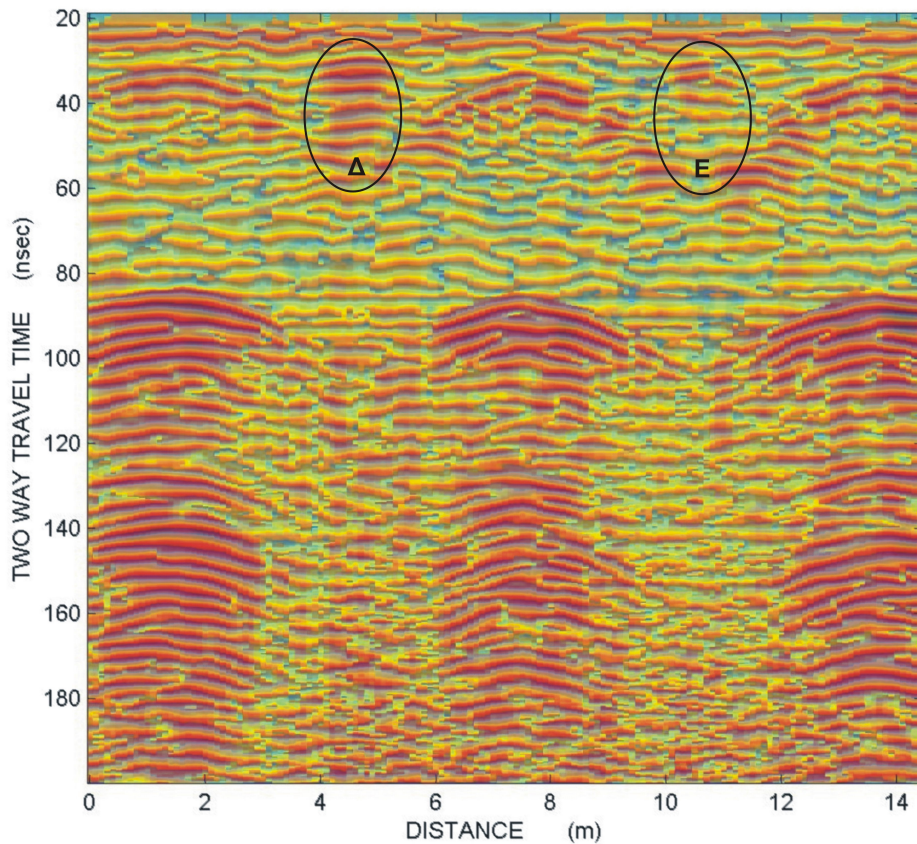
$$d_{\text{οροφής}} = U * t = (9,5 \text{ cm / nsec}) * (15/2 \text{ nsec}) = 0,7 \text{ m}$$

Στο σχήμα 5.10 παρουσιάζεται η εικόνα της γραμμής μελέτης 7 η οποία ανήκει στη πρώτη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων. Σε αυτήν την τομή παρατηρούνται ισχυρές ανακλάσεις (περιοχή Δ) σε απόσταση 4-5.5m από την αρχή της γραμμής μελέτης καθώς και σε απόσταση 10-11.5 m (περιοχή E).



Σχήμα 5.10: Γραμμή μελέτης 7 από τη πρώτη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων, ανακλάσεις στις περιοχές Δ και E

Οι ίδιες ανακλάσεις παρατηρούνται και στην εικόνα της γραμμής μελέτης 7 από την δεύτερη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων (Σχήμα 5.11).

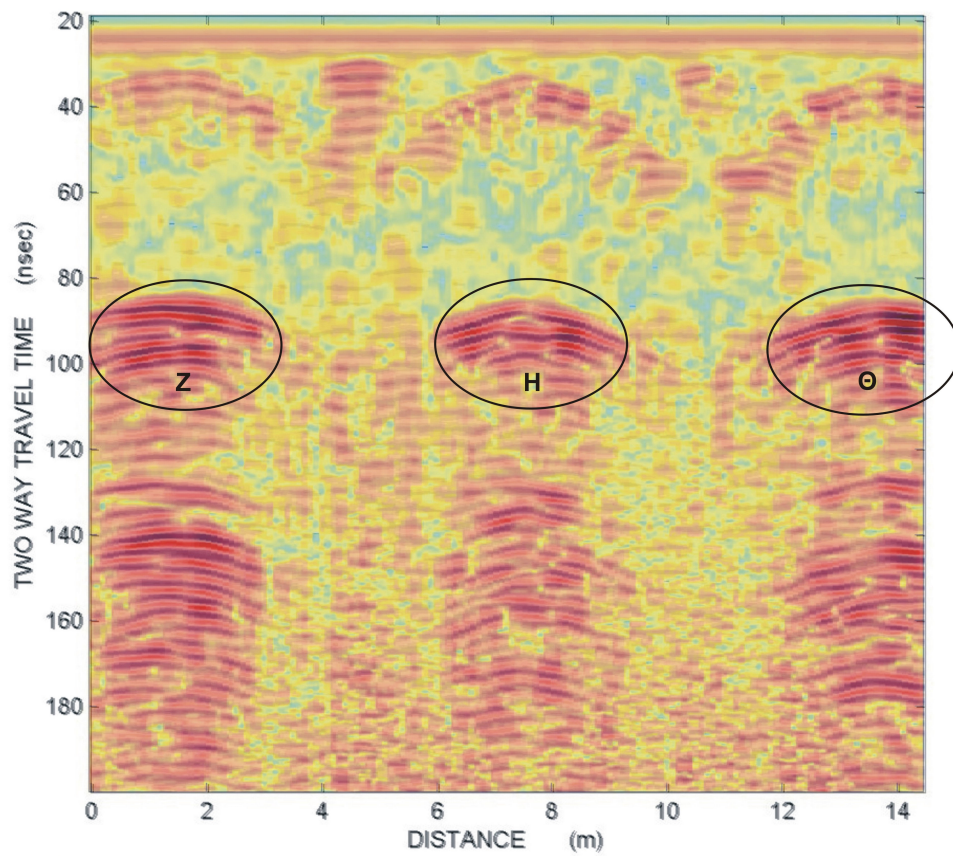


Σχήμα 5.11: Γραμμή μελέτης 7 από τη δεύτερη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων, ανακλάσεις στις περιοχές Δ και Ε

Οι ανακλάσεις αυτές φανερώνουν την πιθανή ύπαρξη κολόνων ή κάποιων αγωγών συλλογής βρόχινου νερού στις συγκεκριμένες θέσεις. Το βάθος στο οποίο βρίσκονται αυτές είναι:

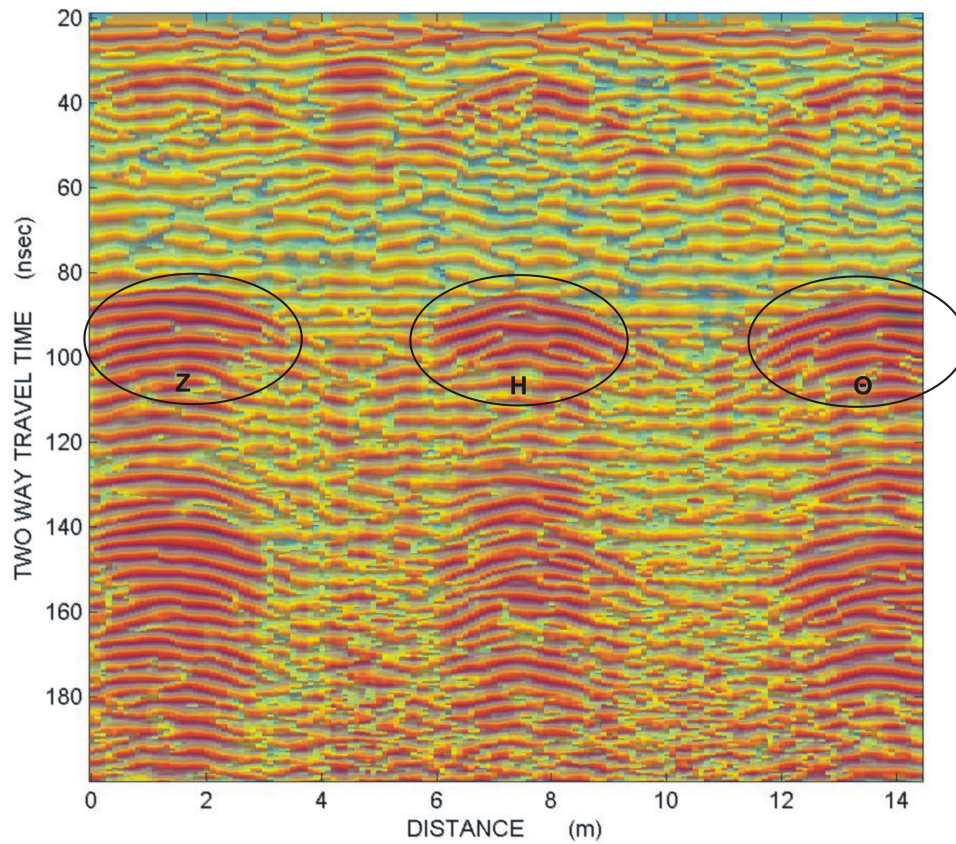
$$d_{\text{κολόνας}} = U * t = (9,5 \text{ cm / nsec}) * (10/2 \text{ nsec}) = 0,475 \text{ m.}$$

Το σχήμα 5.12 προέρχεται πάλι από την πρώτη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων και συγκεκριμένα έπειτα από την επεξεργασία της γραμμής μελέτης 7. Στις περιοχές Ζ, Η και Θ παρατηρούνται έντονες ανακλάσεις οι οποίες πιθανόν οφείλονται στο πάτωμα της δεξαμενής.



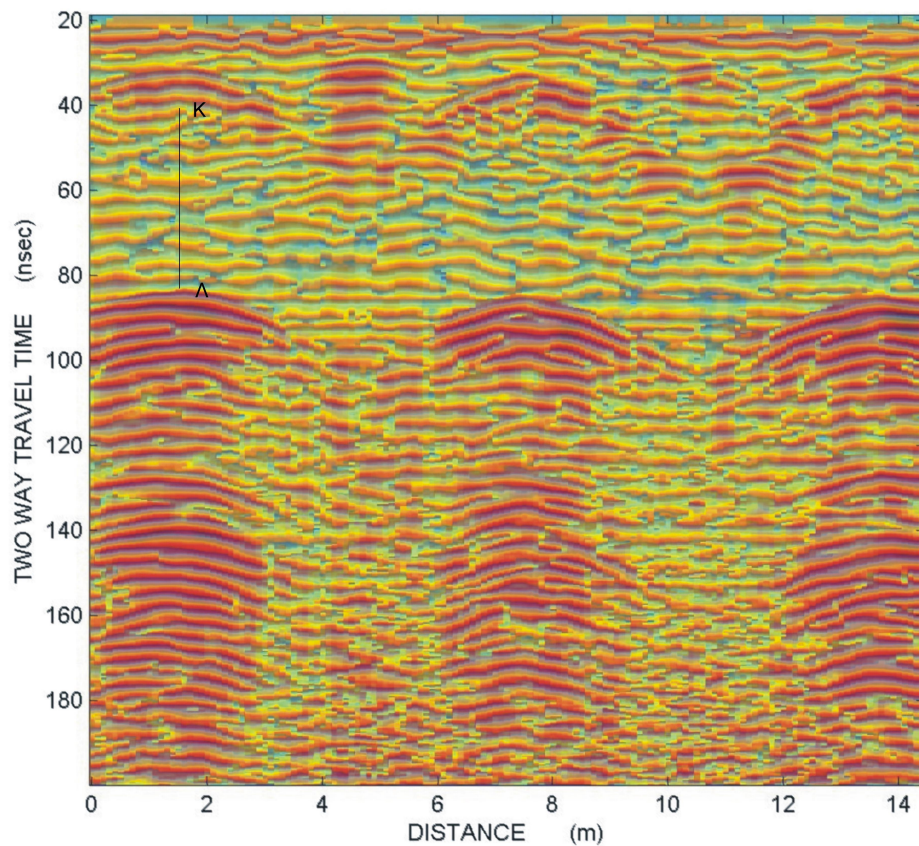
Σχήμα 5.12: Γραμμή μελέτης 7 από τη πρώτη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων, ανακλάσεις στις περιοχές Z, H και Θ

Οι ίδιες ανακλάσεις παρατηρούνται και στην εικόνα της γραμμής μελέτης 7 από την δεύτερη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων (Σχήμα 5.13).



Σχήμα 5.13: Γραμμή μελέτης 7 από τη δεύτερη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων, ανακλάσεις στις περιοχές Z, H και Θ

Γνωρίζουμε ότι η δεξαμενή είναι άδεια, οπότε από το σημείο K έως το σημείο Λ (Σχήμα 5.14), ο ηλεκτρομαγνητικός παλμός ταξιδεύει στον αέρα.



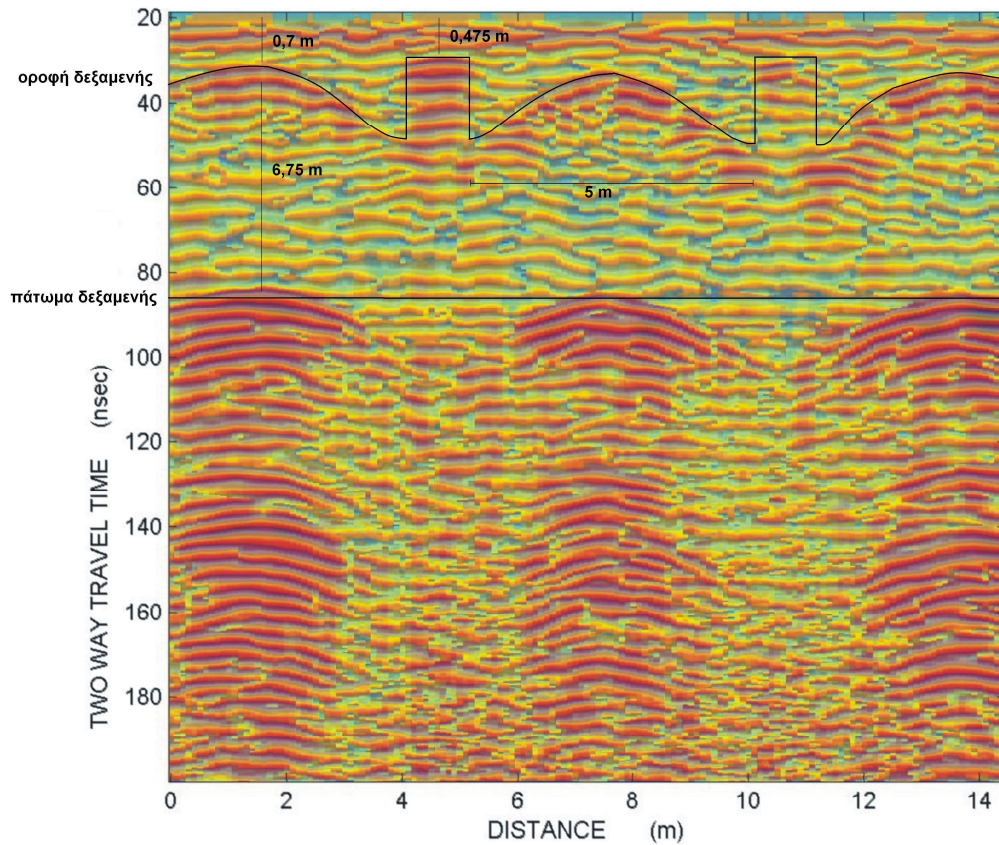
Σχήμα 5.14: Από το σημείο K έως το σημείο Λ ο ηλεκτρομαγνητικός παλμος ταξιδεύει στον αέρα.

Η τιμή της ταχύτητας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στον αέρα είναι γνωστή και είναι ίση με 30 cm / nsec . Οπότε το πάτωμα της δεξαμενής θα βρίσκεται σε βάθος:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{πατώματος δεξαμενής}} &= d_{\text{οροφής}} + d_{\text{K-}\Lambda} = \\
 &= (9,5 \text{ cm / nsec}) \cdot (15/2 \text{ nsec}) + (30 \text{ cm / nsec}) \cdot (45 / 2 \text{ nsec}) = (0,7 + 6,75) \text{ m} = 7,45 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Οπότε το βάθος στο οποίο βρίσκεται το πάτωμα της δεξαμενής είναι $7,45 \text{ m}$.

Στο σχήμα 5.15 παρουσιάζεται το σχήμα της οροφής της δεξαμενής καθώς και τα βάθη στα οποία περιμένουμε να συναντήσουμε την οροφή και το πάτωμα της δεξαμενής.



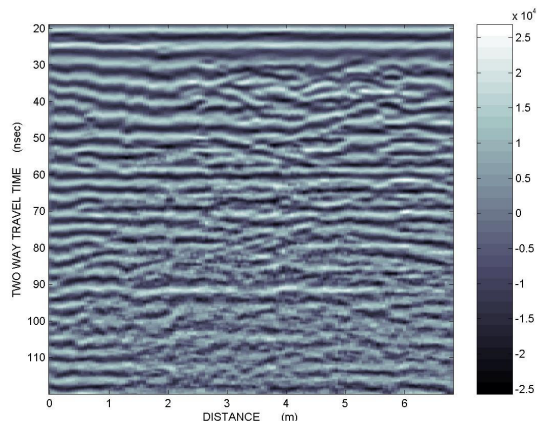
Σχήμα 5.15: Βάθος ταφής της οροφής και του πατώματος της δεξαμενής

5.7 Συμπεράσματα

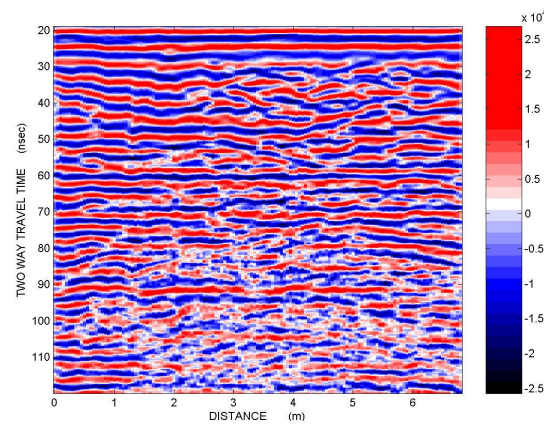
Η χρήση του γεωραντάρ για τον εντοπισμό θαμμένων αρχαιοτήτων απεδείχθη αποτελεσματική. Οι πληροφορίες που αντλήθηκαν βοήθησαν στον ακριβή υπολογισμό της θέσης και του βάθους ταφής της αρχαίας δεξαμενής. Συγκεκριμένα, το πλάτος της κάθε δεξαμενής είναι 5 m, το μήκος της είναι 5 m και το ύψος της είναι 6,75 m. Οι πληροφορίες όσον αφορά τις διαστάσεις της δεξαμενής επιβεβαιώθηκαν από επιτόπιες μετρήσεις. Η ακρίβεια του οργάνου ήταν αρκετά μεγάλη ώστε να αποδώσει με ακόμη και το σχήμα της οροφής του θαμμένου κτίσματος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

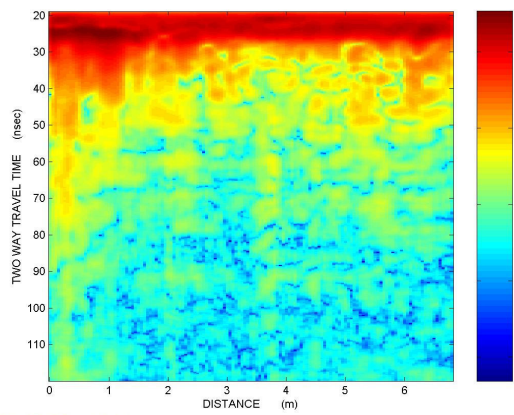
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ Ο.ΑΝ.Α.Κ.



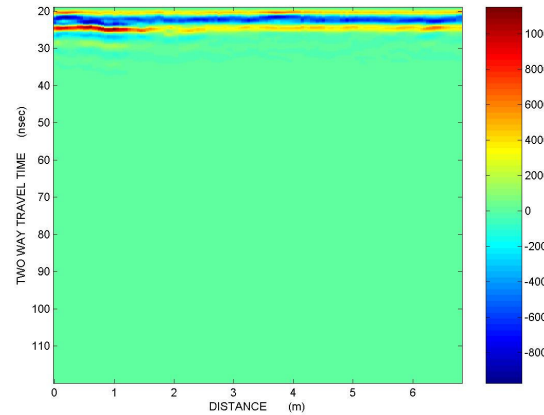
Γραμμή μελέτης 1 με φίλτρα Dewow, AGC, Average Filter, κλίμακα Bone



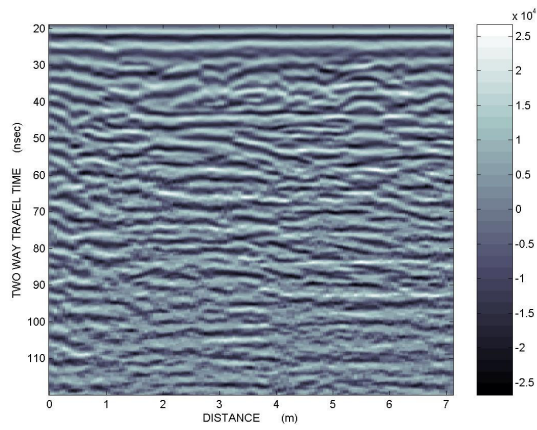
Γραμμή μελέτης 1 με φίλτρα Dewow, AGC, Average Filter, κλίμακα Seismic



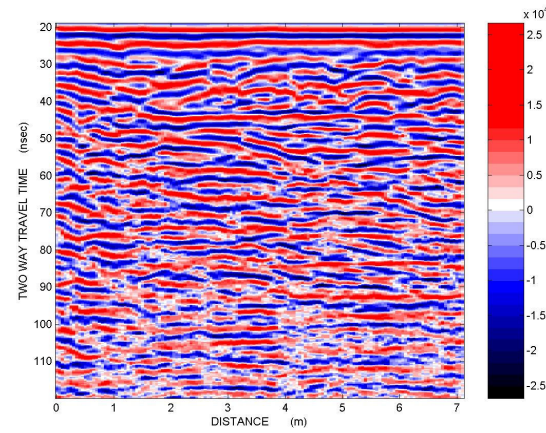
Γραμμή μελέτης 1 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



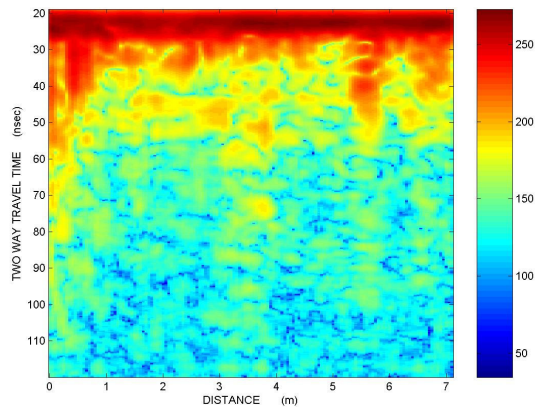
Γραμμή μελέτης 1, ακατέργαστη εικόνα



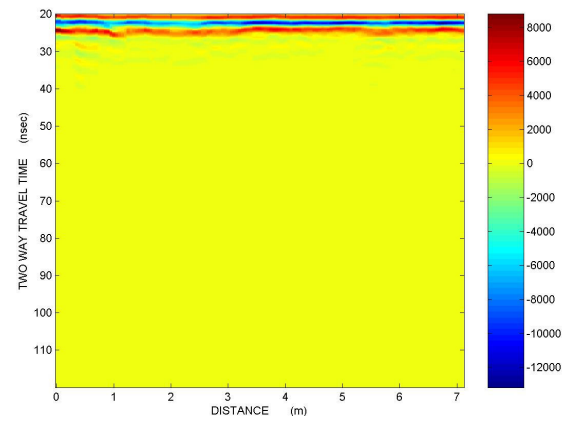
Γραμμή μελέτης 2 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



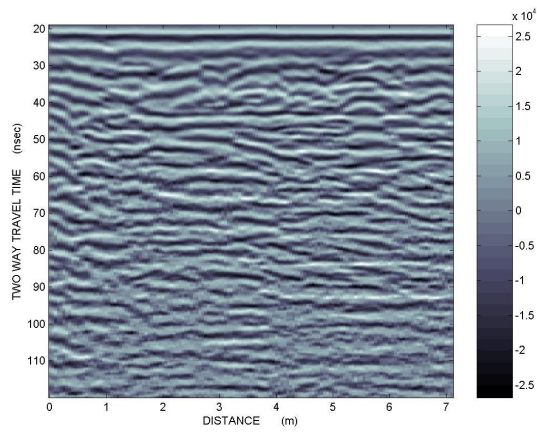
Γραμμή μελέτης 2 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



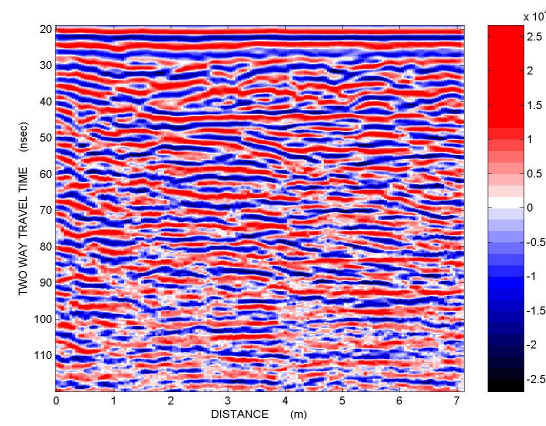
Γραμμή μελέτης 2 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



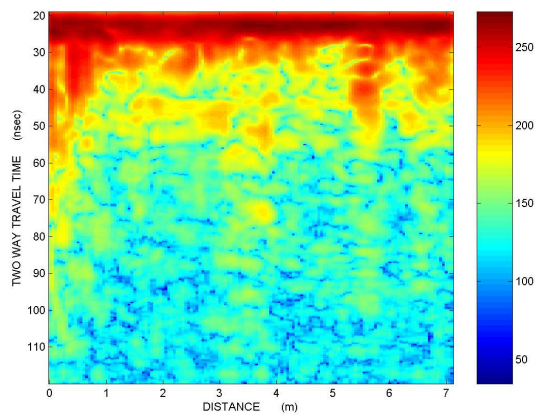
Γραμμή μελέτης 2, ακατέργαστη εικόνα



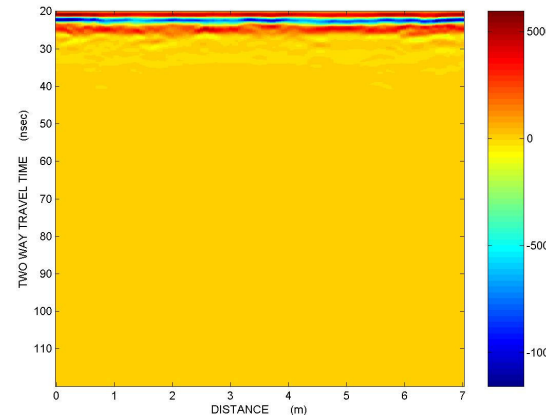
Γραμμή μελέτης 3 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



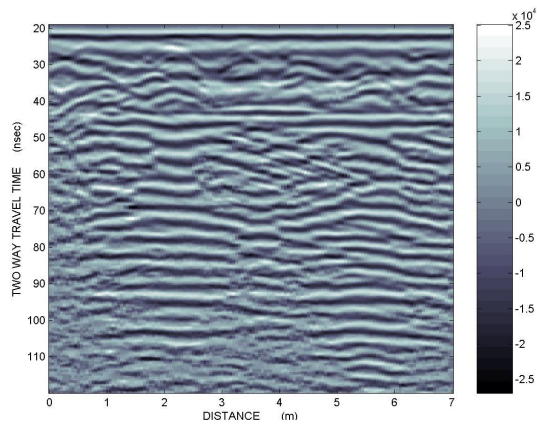
Γραμμή μελέτης 3 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



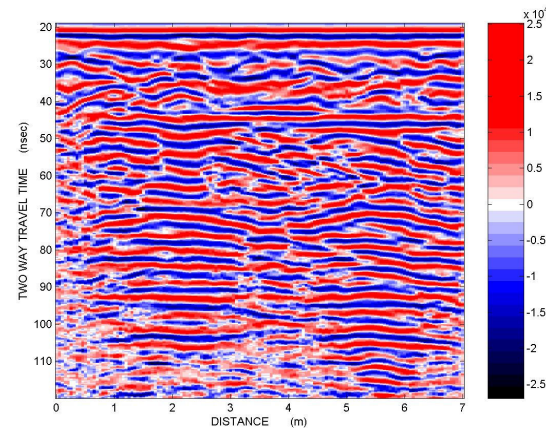
Γραμμή μελέτης 3 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



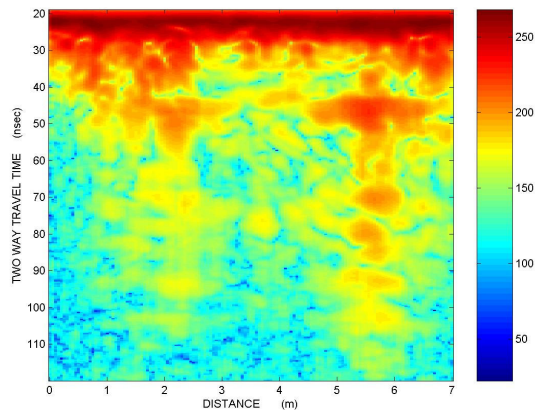
Γραμμή μελέτης 3, ακατέργαστη εικόνα



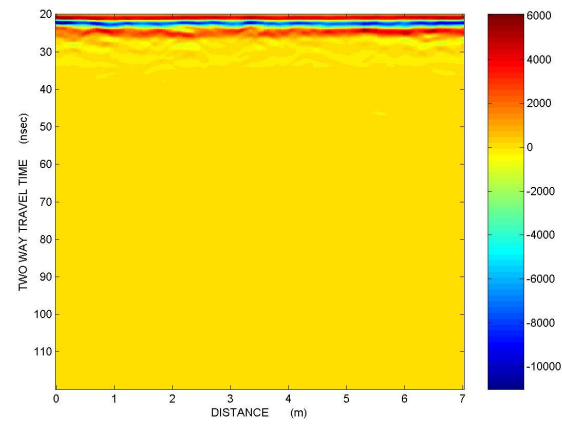
Γραμμή μελέτης 4 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



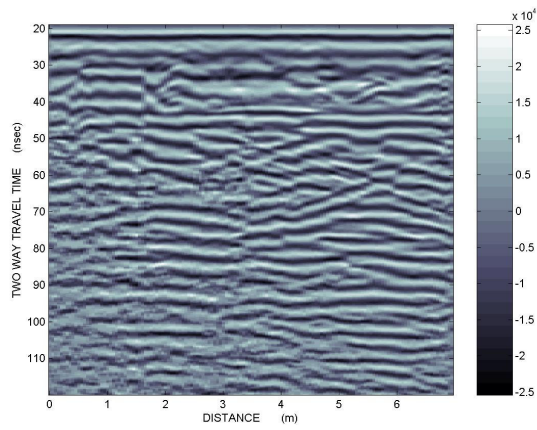
Γραμμή μελέτης 4 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



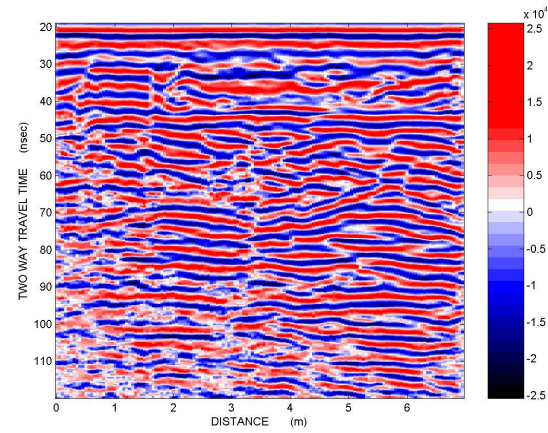
Γραμμή μελέτης 4 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



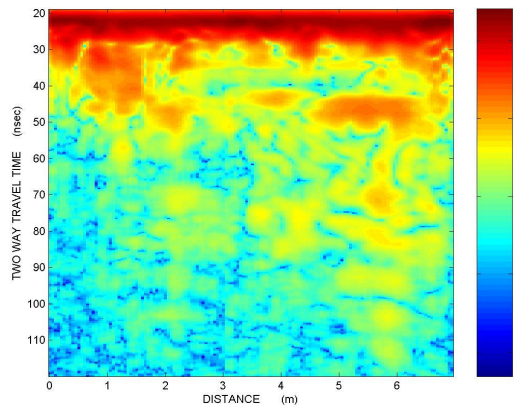
Γραμμή μελέτης 4, ακατέρραστη εικόνα



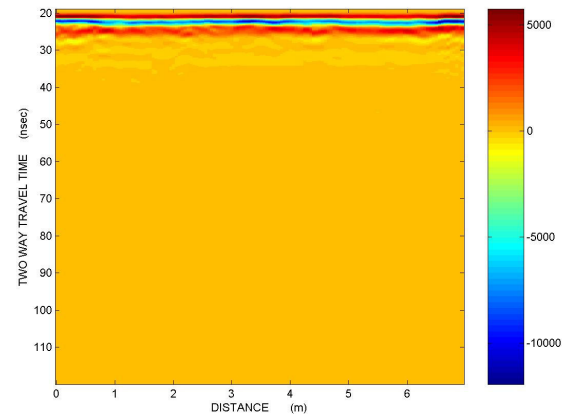
Γραμμή μελέτης 5 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



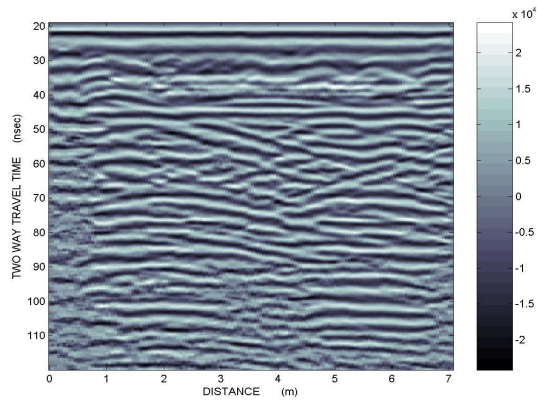
Γραμμή μελέτης 5 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



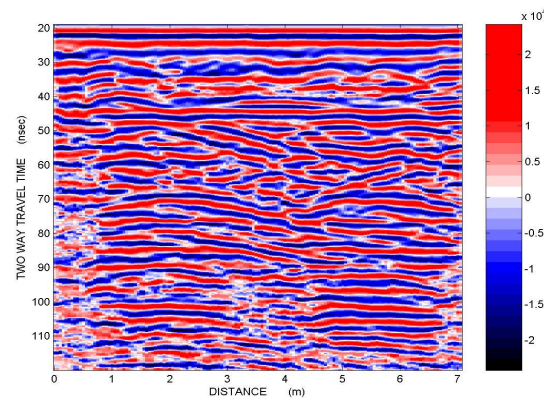
Γραμμή μελέτης 5 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



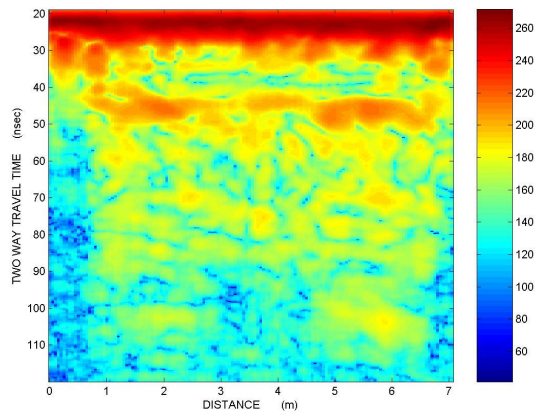
Γραμμή μελέτης 5, ακατέρραστη εικόνα



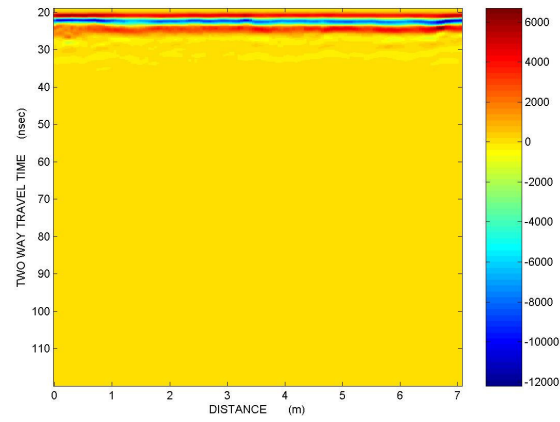
Γραμμή μελέτης 6 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



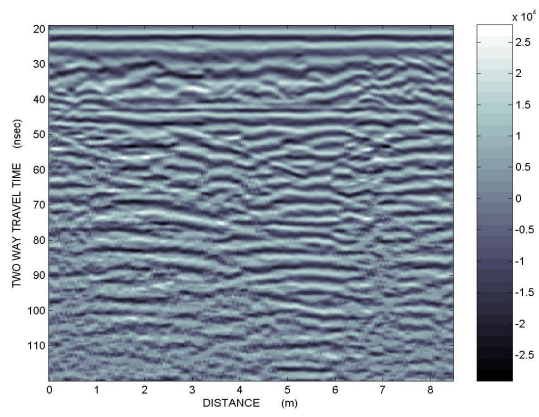
Γραμμή μελέτης 6 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



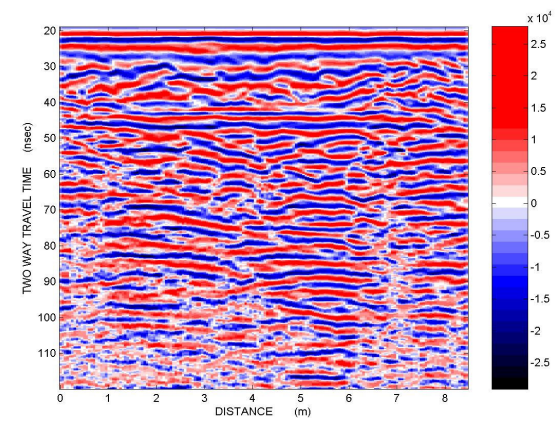
Γραμμή μελέτης 6 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



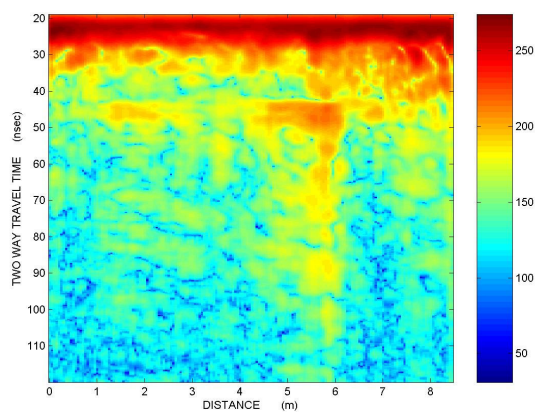
Γραμμή μελέτης 6, ακατέργαστη εικόνα



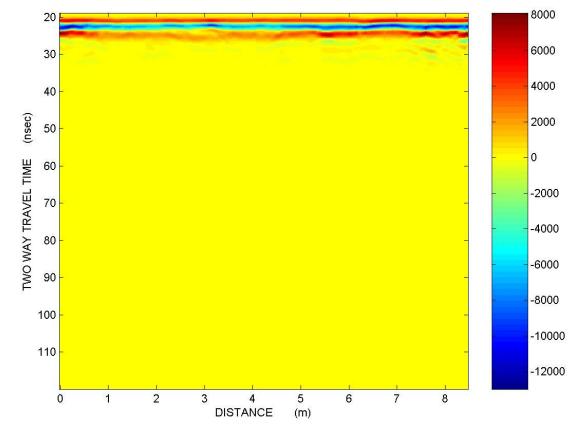
Γραμμή μελέτης 7 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



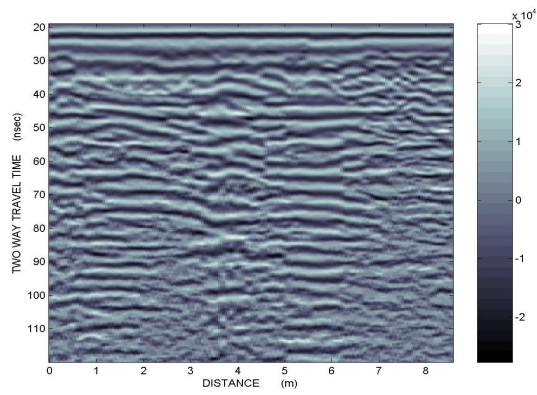
Γραμμή μελέτης 7 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



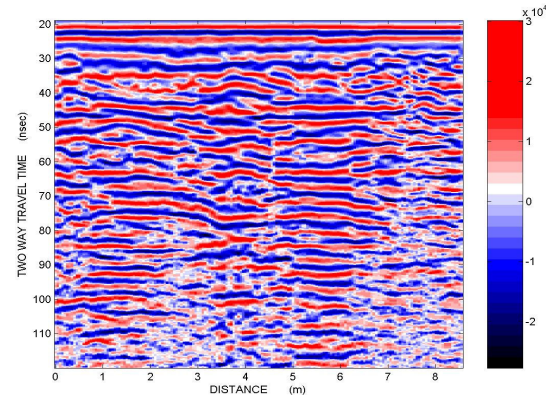
Γραμμή μελέτης 7 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



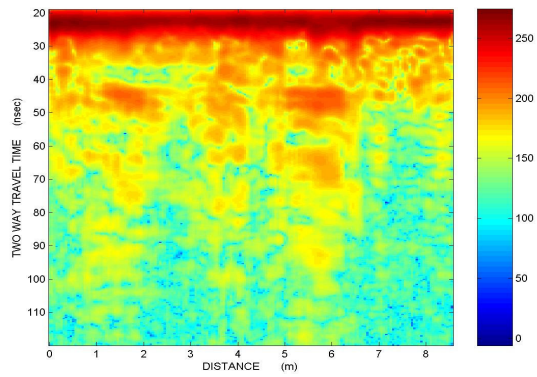
Γραμμή μελέτης 7, ακατέργαστη εικόνα



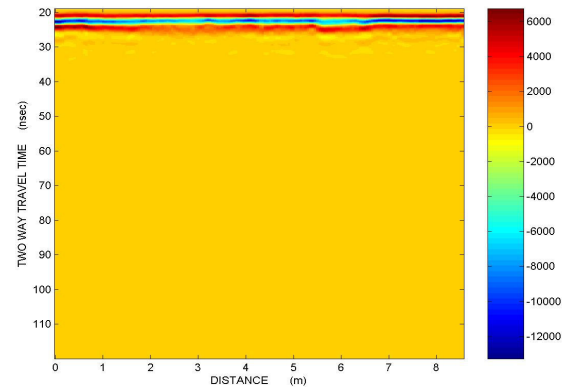
Γραμμή μελέτης 8 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



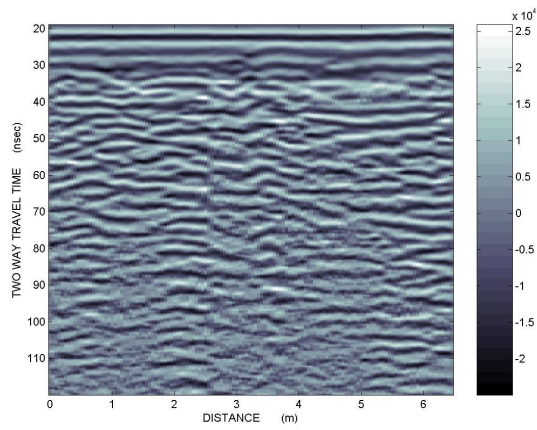
Γραμμή μελέτης 8 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



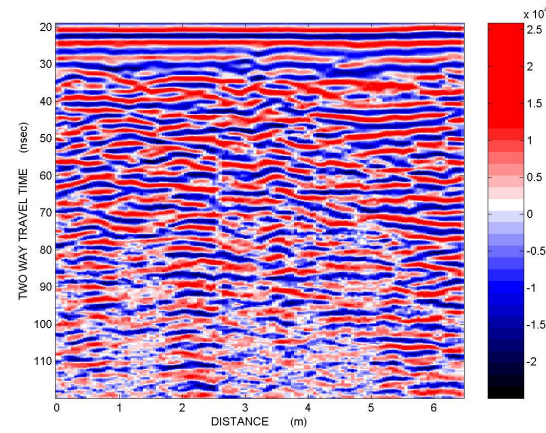
Γραμμή μελέτης 8 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



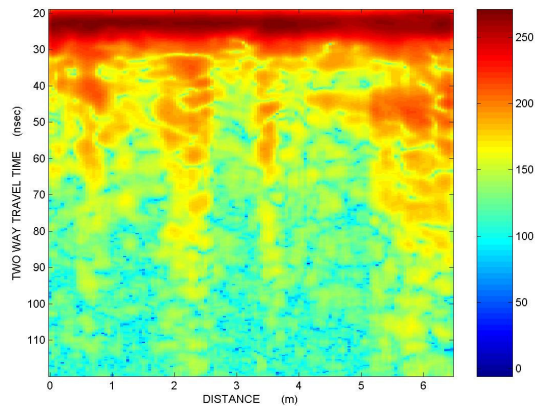
Γραμμή μελέτης 8, ακατέργαστη εικόνα



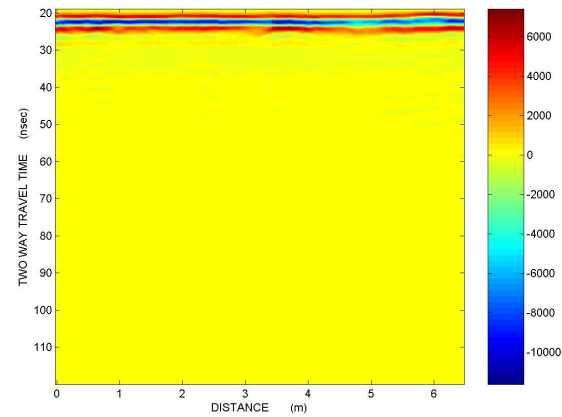
Γραμμή μελέτης 9-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



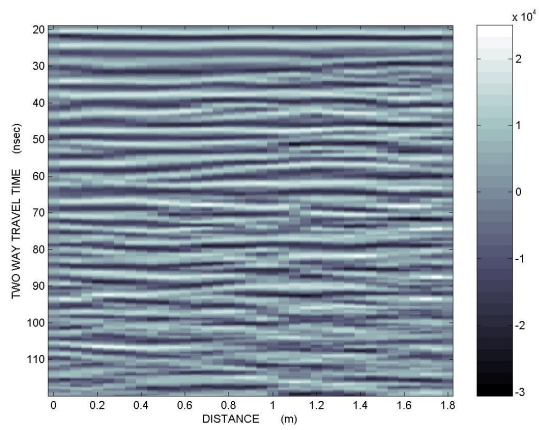
Γραμμή μελέτης 9-A με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



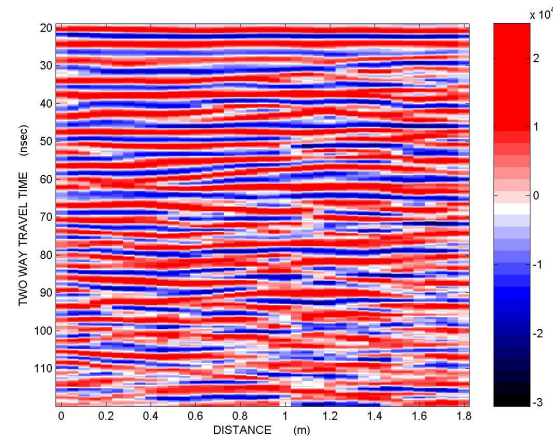
Γραμμή μελέτης 9-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



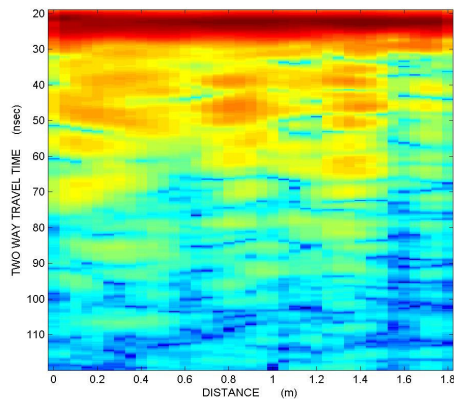
Γραμμή μελέτης 9-A, ακατέργαστη εικόνα



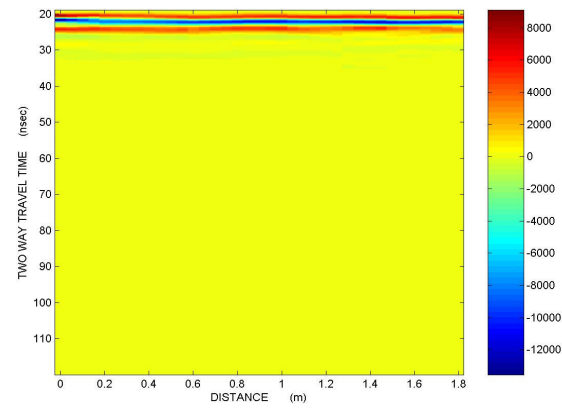
Γραμμή μελέτης 9-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



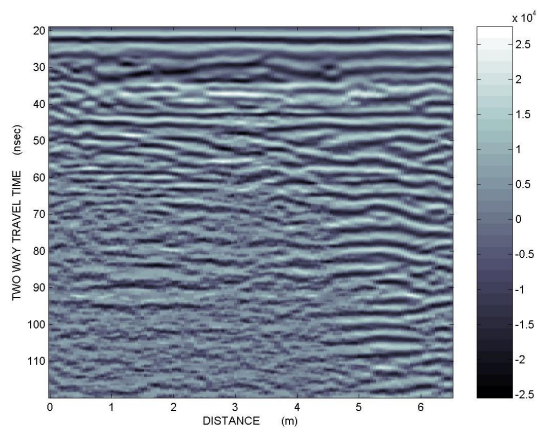
Γραμμή μελέτης 9-B με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



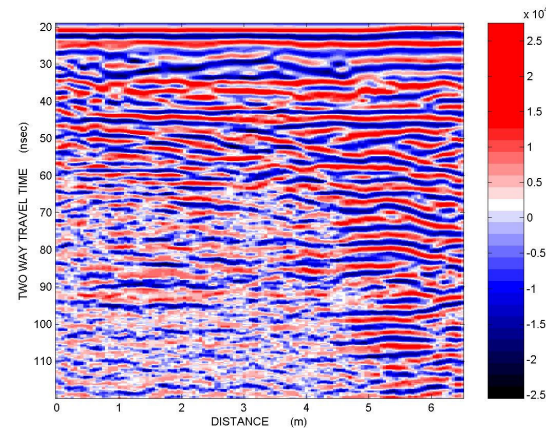
Γραμμή μελέτης 9-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



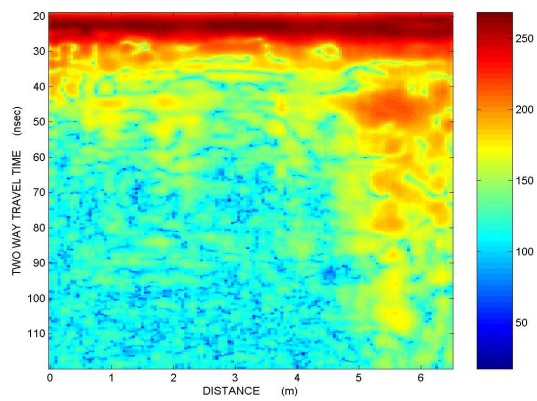
Γραμμή μελέτης 9-B, ακατέργαστη εικόνα



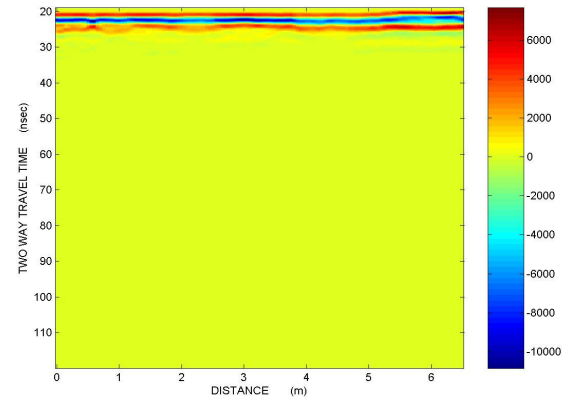
Γραμμή μελέτης 10-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



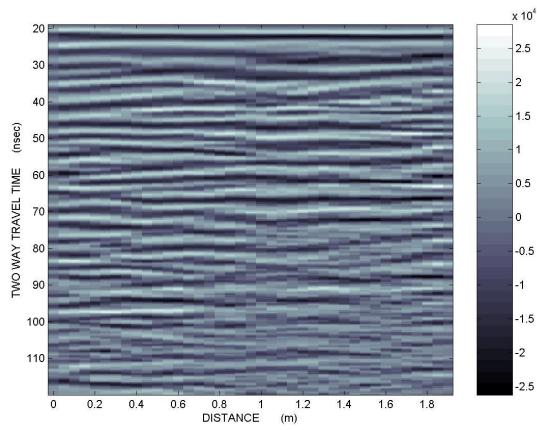
Γραμμή μελέτης 10-A με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



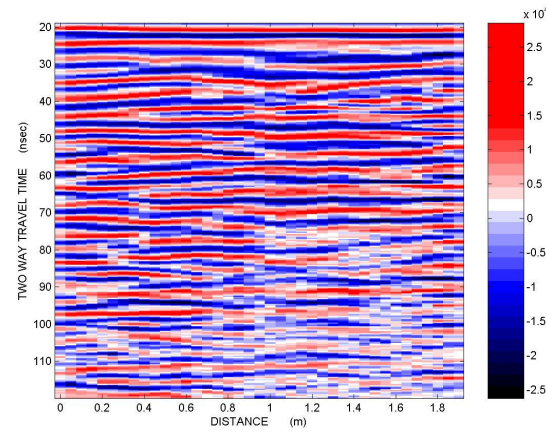
Γραμμή μελέτης 10-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



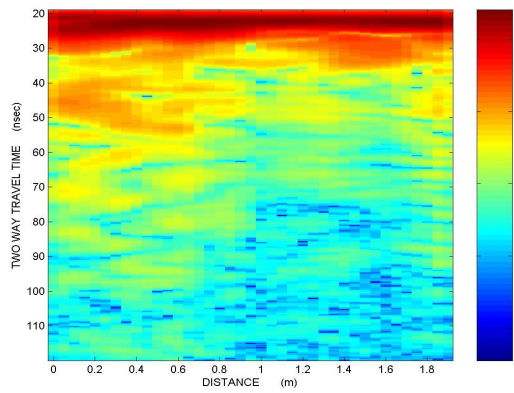
Γραμμή μελέτης 10-A, ακατέργαστη εικόνα



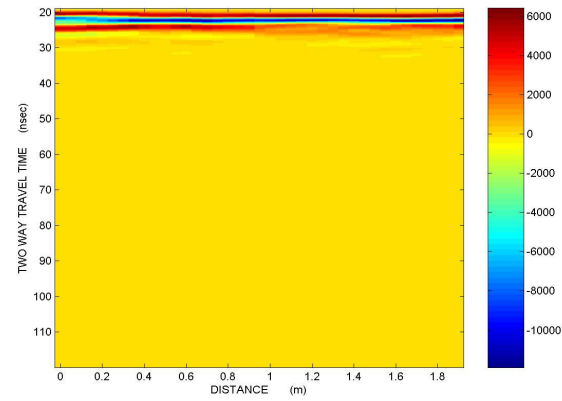
Γραμμή μελέτης 10-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



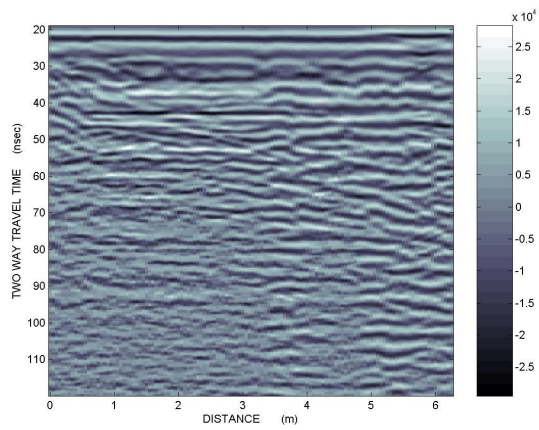
Γραμμή μελέτης 10-B με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



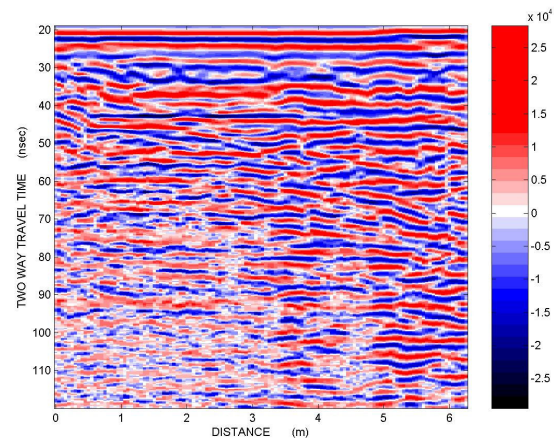
Γραμμή μελέτης 10-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



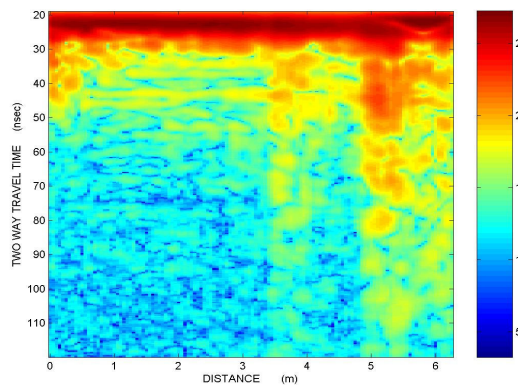
Γραμμή μελέτης 10-B, ακατέργαστη εικόνα



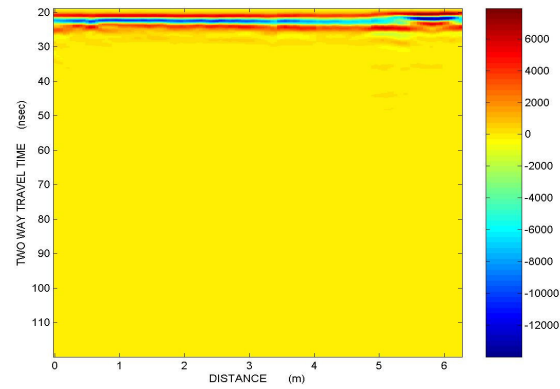
Γραμμή μελέτης 11-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



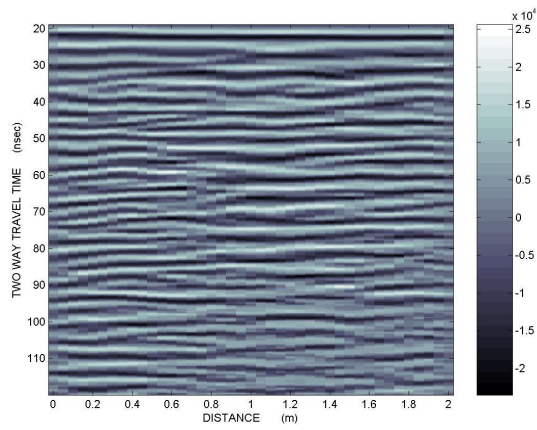
Γραμμή μελέτης 11-A με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



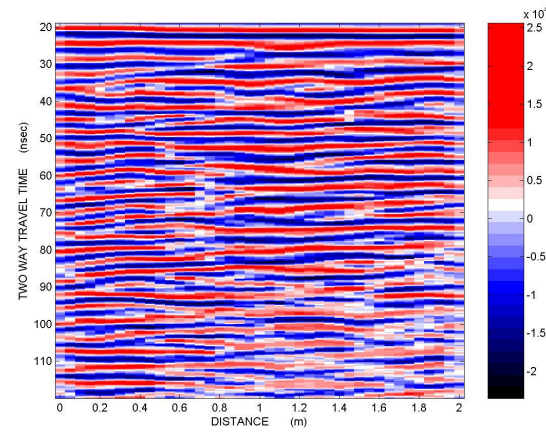
Γραμμή μελέτης 11-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



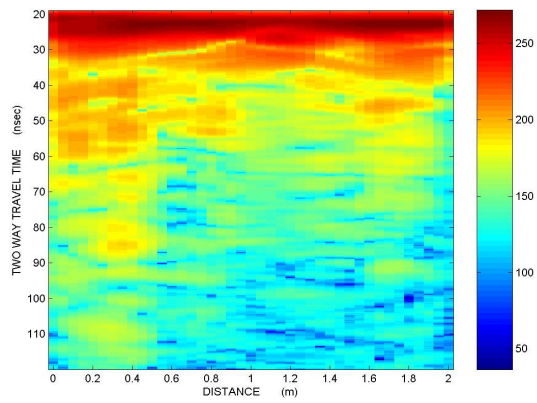
Γραμμή μελέτης 11-A, ακατέργαστη εικόνα



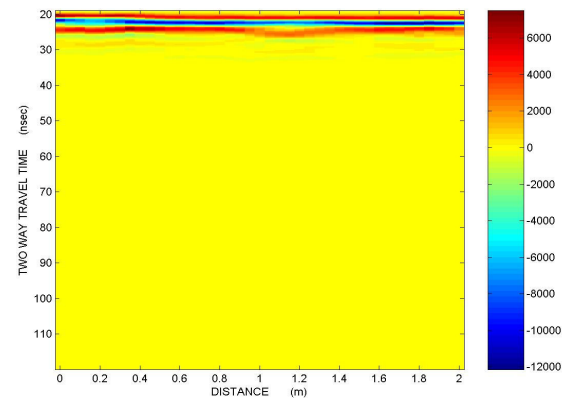
Γραμμή μελέτης 11-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



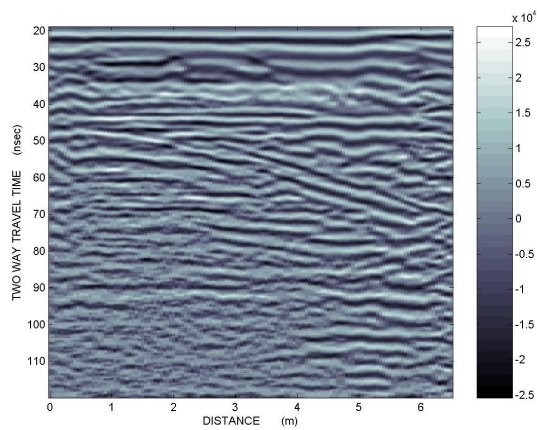
Γραμμή μελέτης 11-B με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



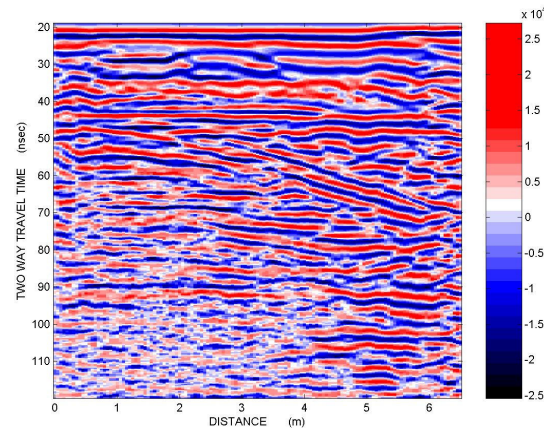
Γραμμή μελέτης 11-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



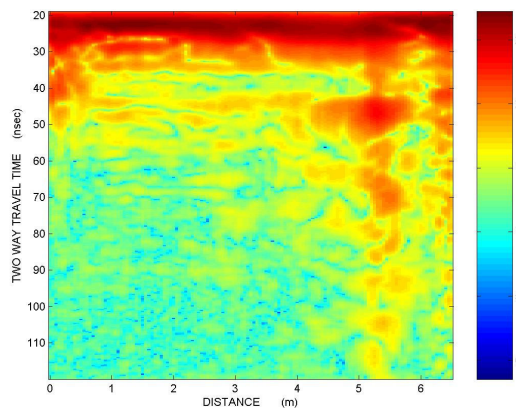
Γραμμή μελέτης 11-B, ακατέργαστη εικόνα



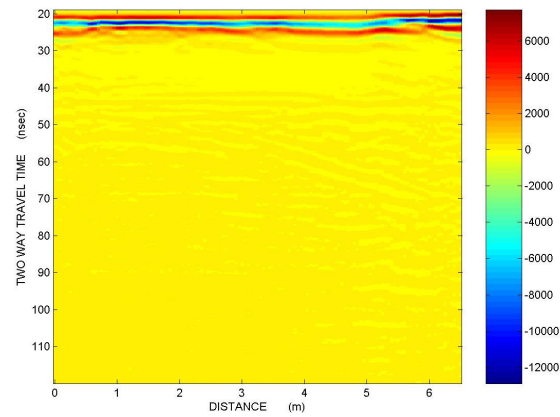
Γραμμή μελέτης 12-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



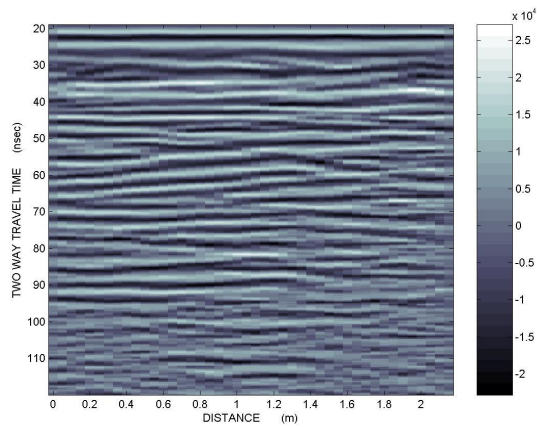
Γραμμή μελέτης 12-A με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



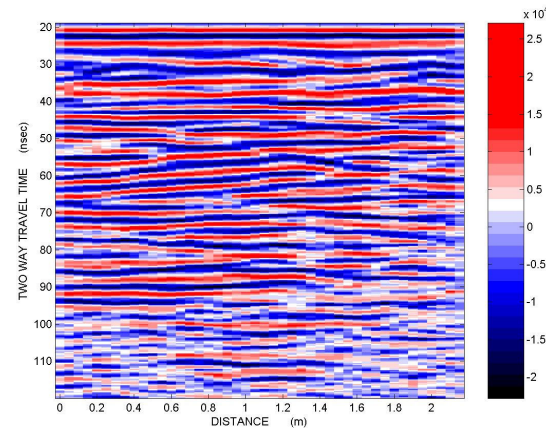
Γραμμή μελέτης 12-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



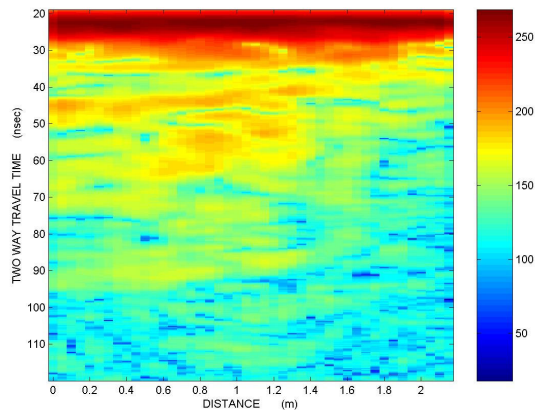
Γραμμή μελέτης 12-A, ακατέργαστη εικόνα



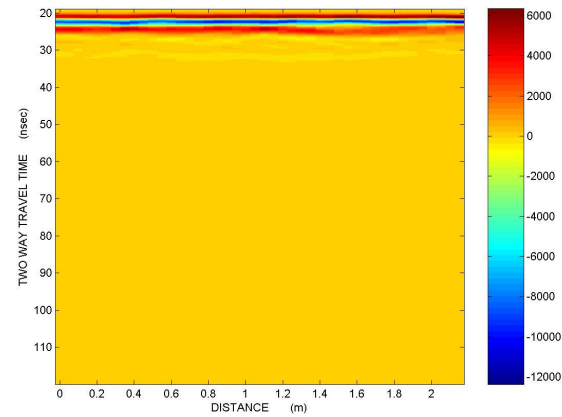
Γραμμή μελέτης 12-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



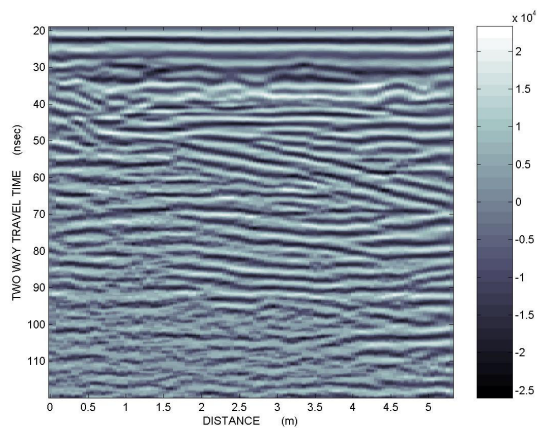
Γραμμή μελέτης 12-B με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



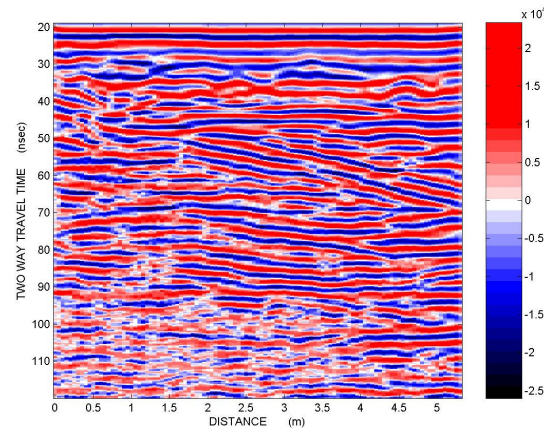
Γραμμή μελέτης 12-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



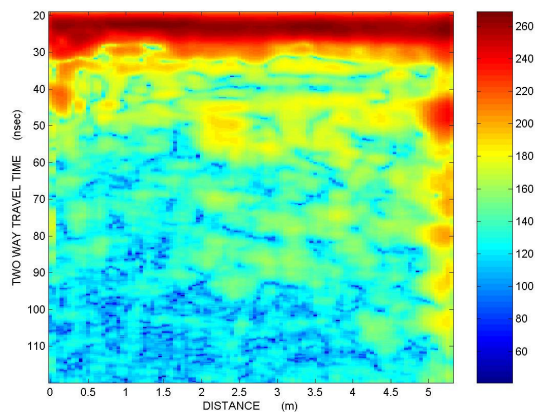
Γραμμή μελέτης 12-B, ακατέργαστη εικόνα



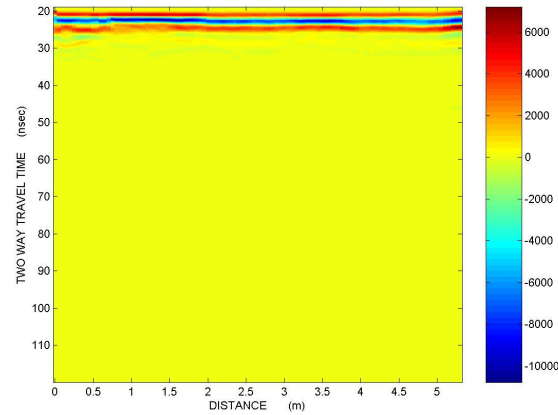
Γραμμή μελέτης 13-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



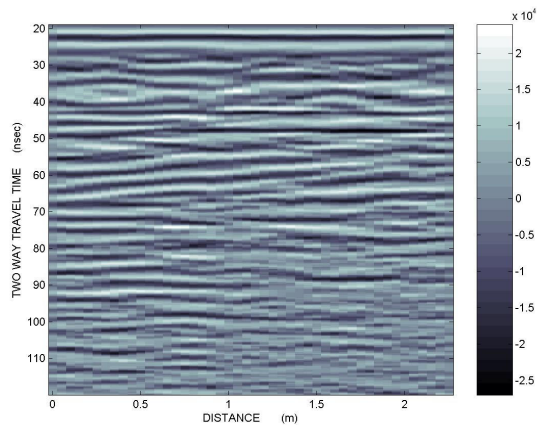
Γραμμή μελέτης 13-A με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



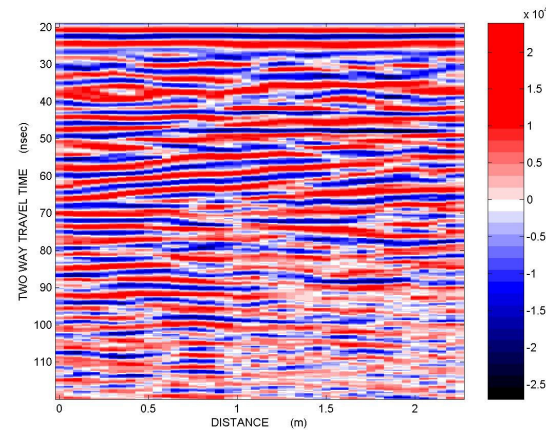
Γραμμή μελέτης 13-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



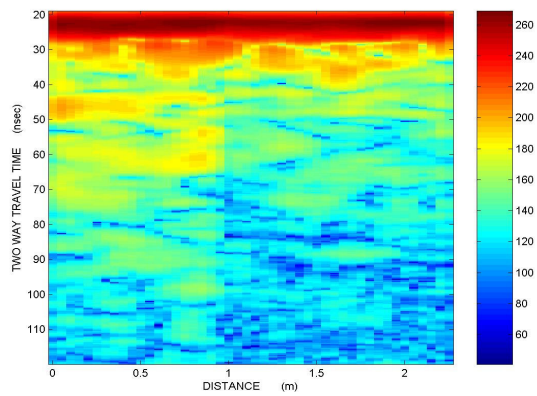
Γραμμή μελέτης 13-A, ακατέργαστη εικόνα



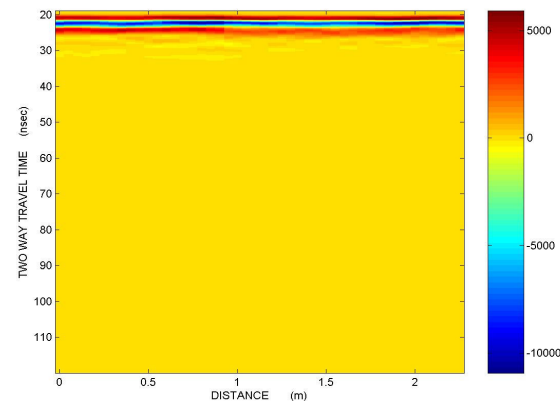
Γραμμή μελέτης 13-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



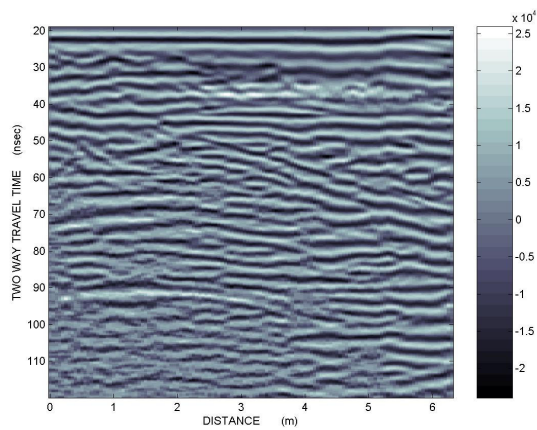
Γραμμή μελέτης 13-B με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



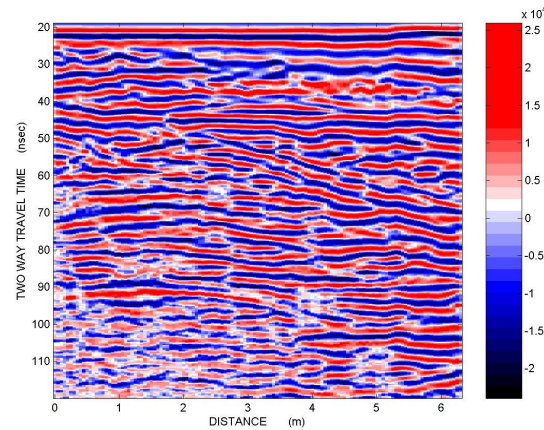
Γραμμή μελέτης 13-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



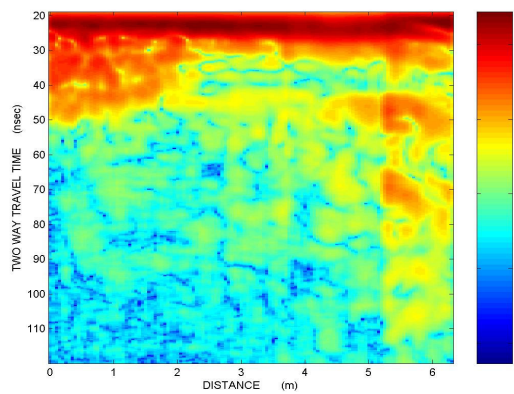
Γραμμή μελέτης 13-B, ακατέργαστη εικόνα



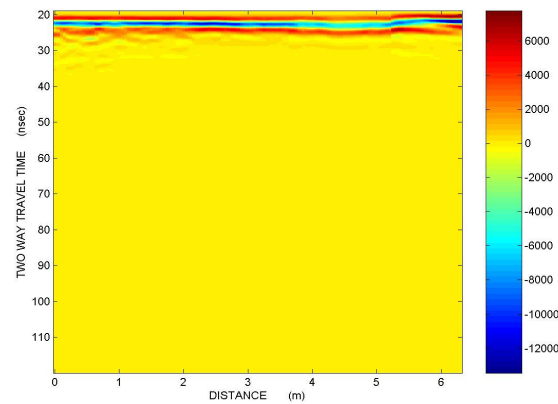
Γραμμή μελέτης 14-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



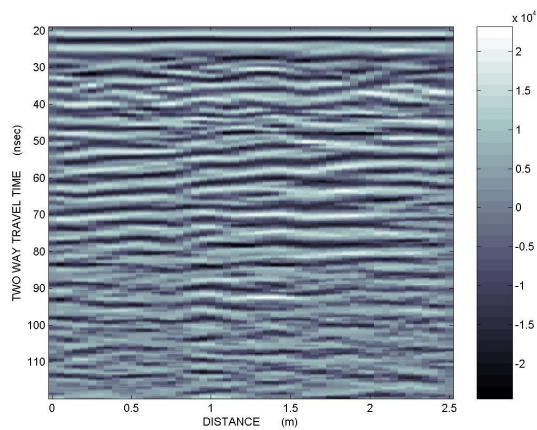
Γραμμή μελέτης 14-A με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



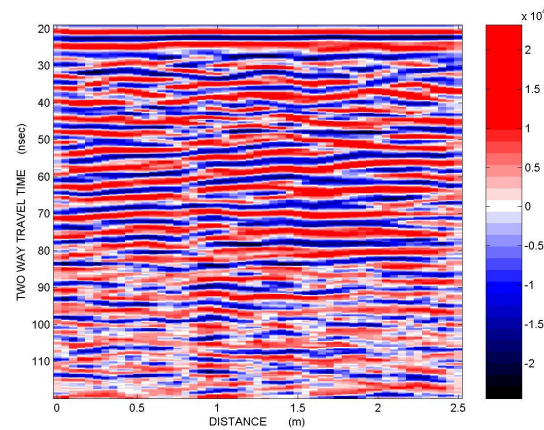
Γραμμή μελέτης 14-A με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



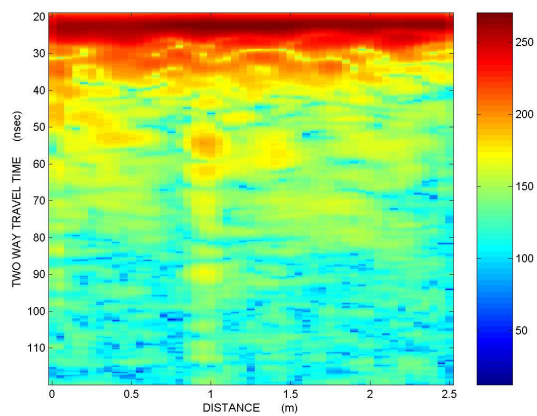
Γραμμή μελέτης 14-A, ακατέργαστη εικόνα



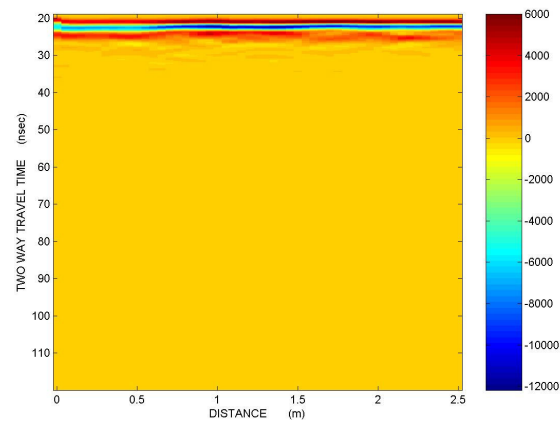
Γραμμή μελέτης 14-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



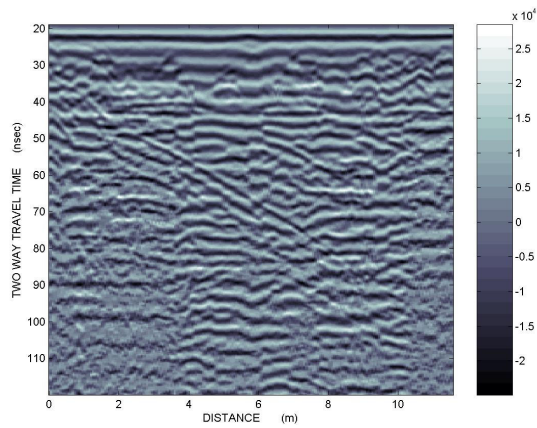
Γραμμή μελέτης 14-B με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



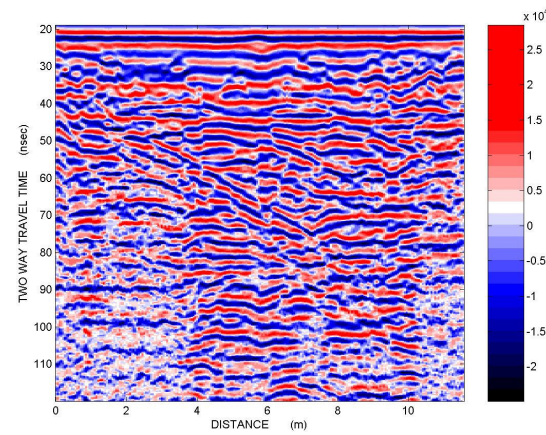
Γραμμή μελέτης 14-B με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



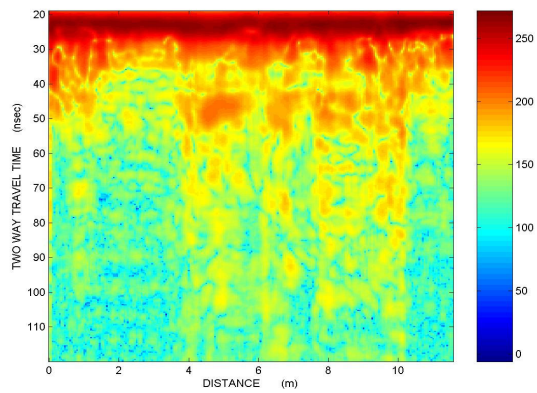
Γραμμή μελέτης 14-B, ακατέργαστη εικόνα



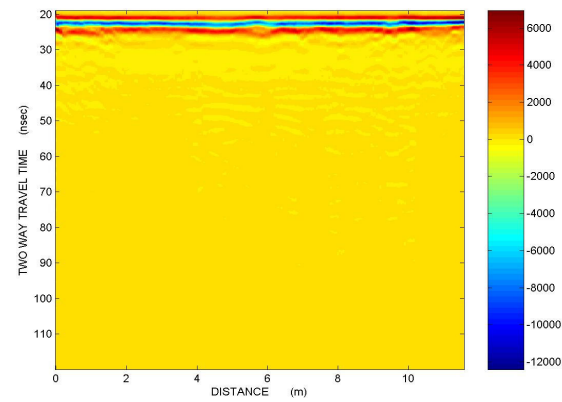
Γραμμή μελέτης 15 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



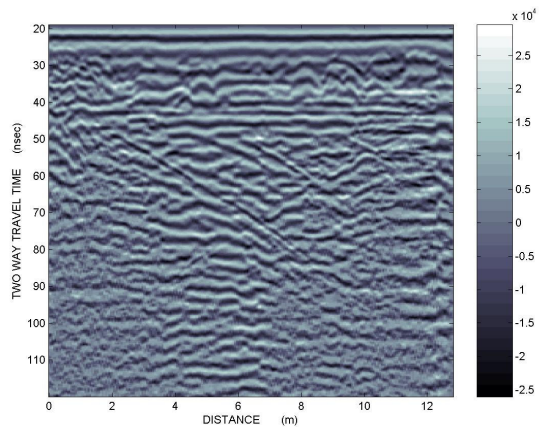
Γραμμή μελέτης 15 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



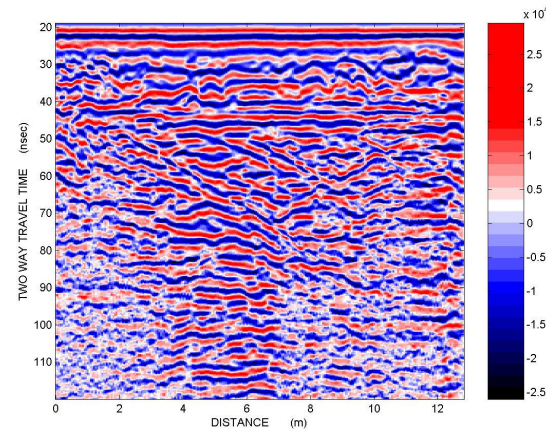
Γραμμή μελέτης 15 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



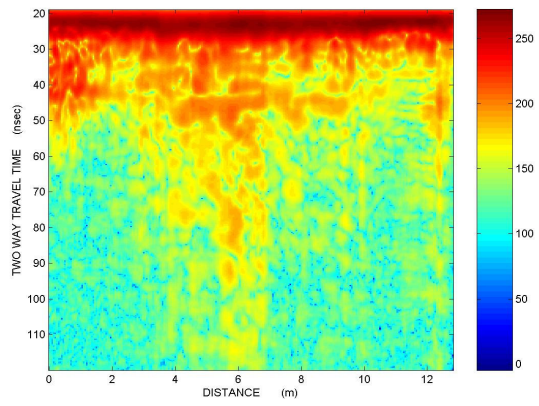
Γραμμή μελέτης 15, ακατέργαστη εικόνα



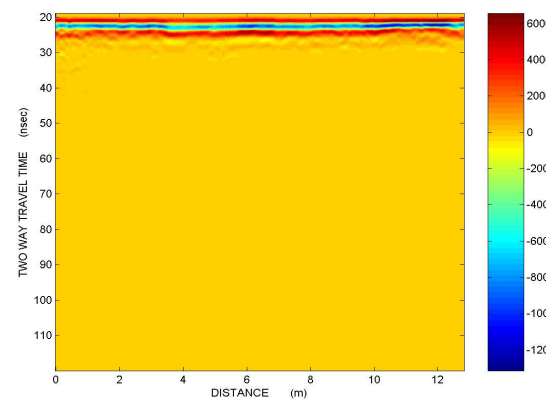
Γραμμή μελέτης 16 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



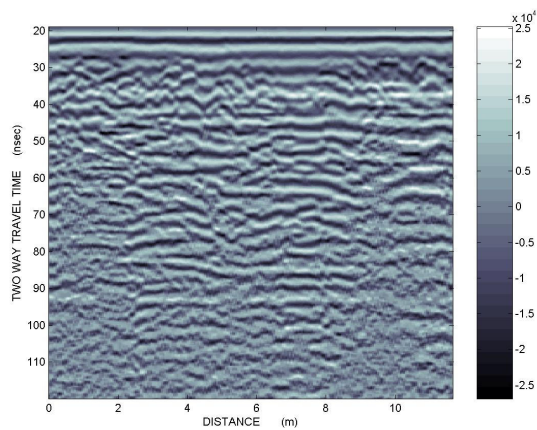
Γραμμή μελέτης 16 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



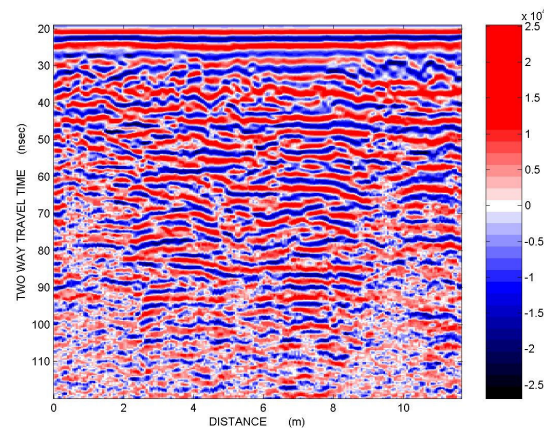
Γραμμή μελέτης 16 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



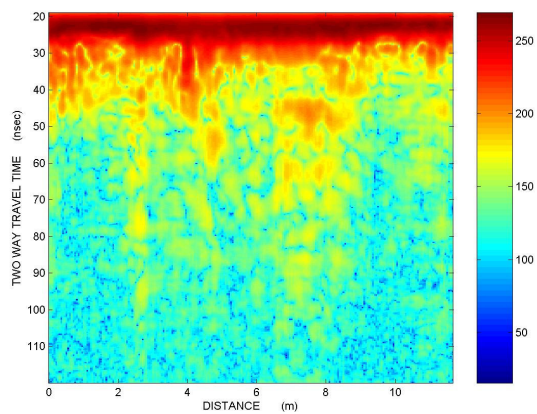
Γραμμή μελέτης 16, ακατέργαστη εικόνα



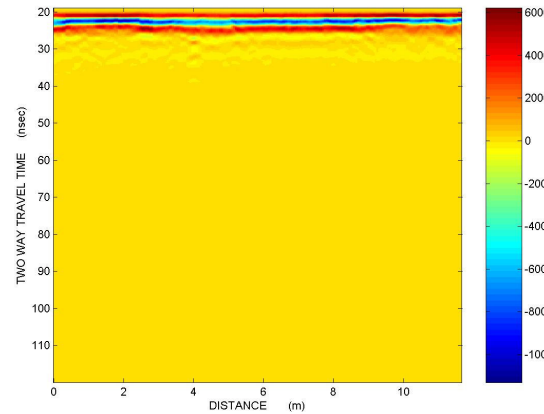
Γραμμή μελέτης 17 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



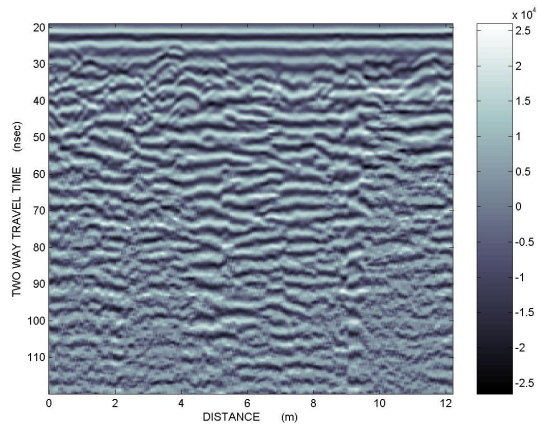
Γραμμή μελέτης 17 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



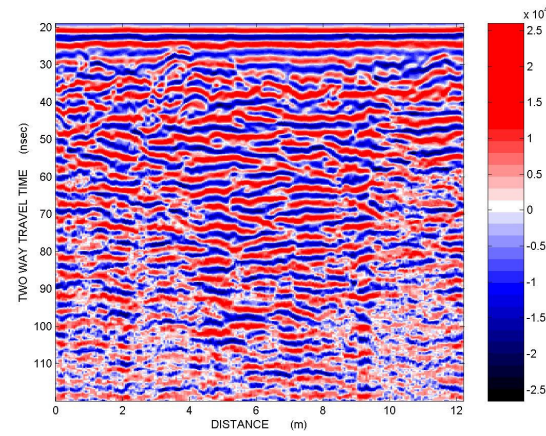
Γραμμή μελέτης 17 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



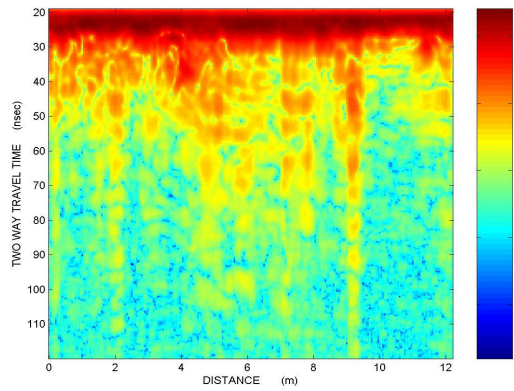
Γραμμή μελέτης 17, ακατέργαστη εικόνα



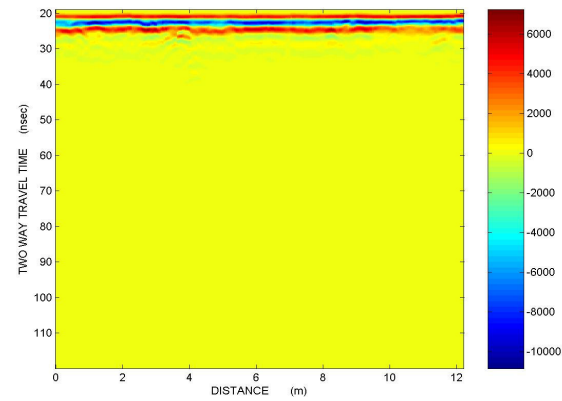
Γραμμή μελέτης 18 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



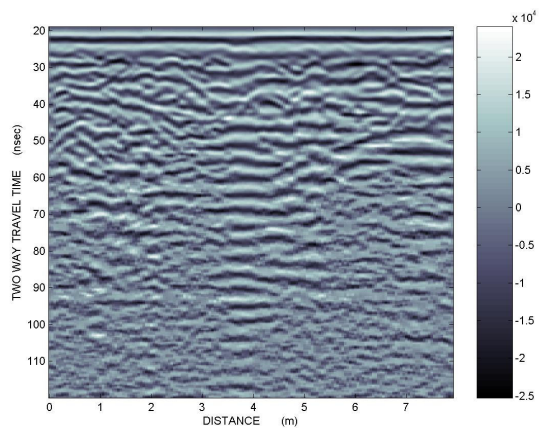
Γραμμή μελέτης 18 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



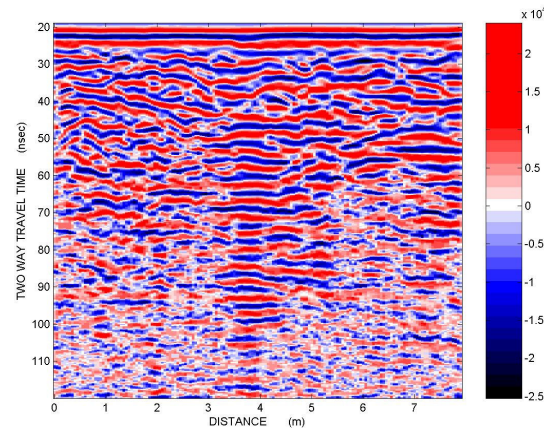
Γραμμή μελέτης 18 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



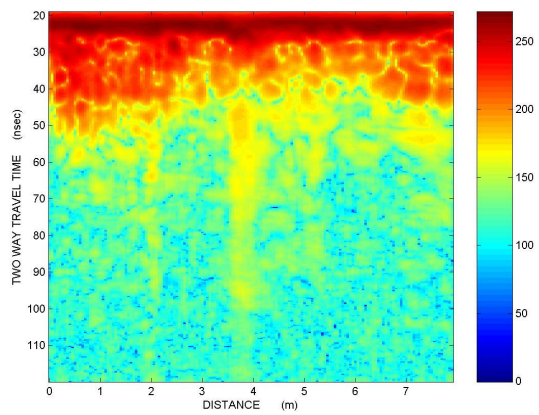
Γραμμή μελέτης 18, ακατέργαστη εικόνα



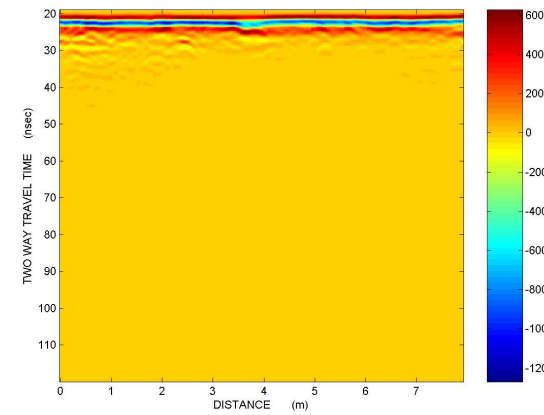
Γραμμή μελέτης 19 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



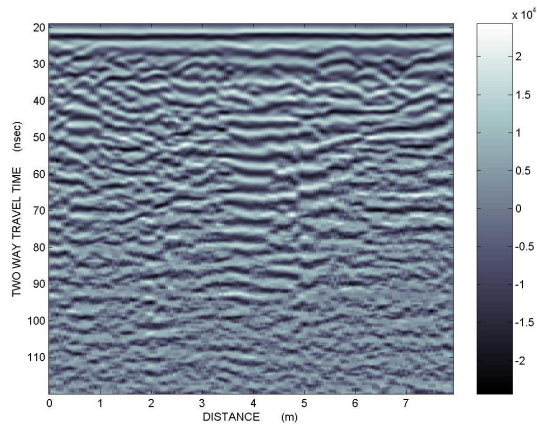
Γραμμή μελέτης 19 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



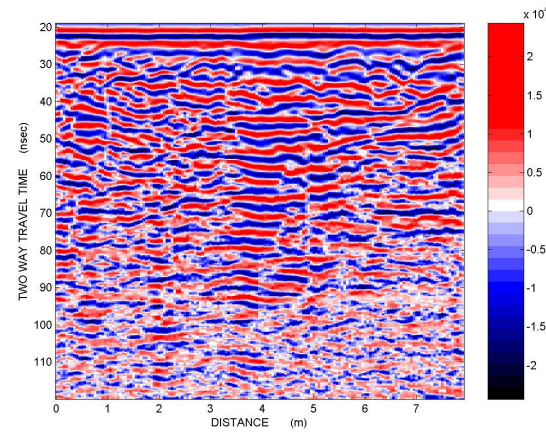
Γραμμή μελέτης 19 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



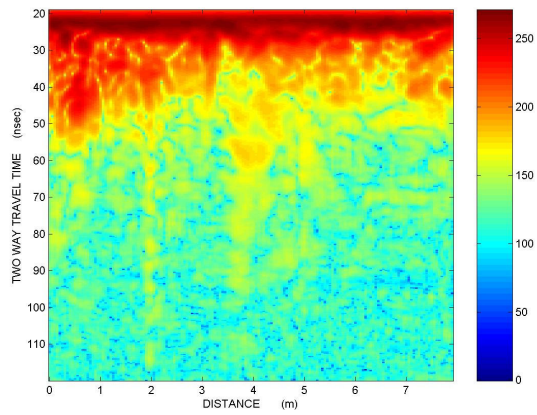
Γραμμή μελέτης 19, ακατέργαστη εικόνα



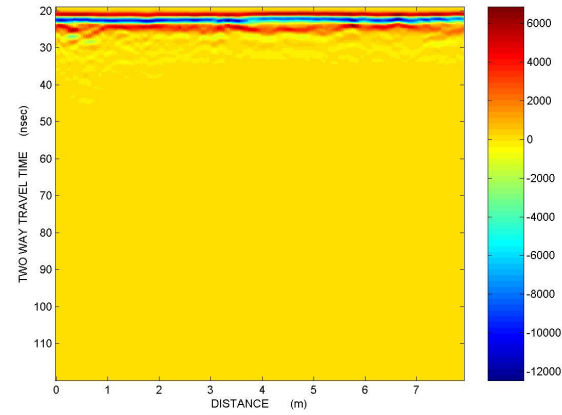
Γραμμή μελέτης 20 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



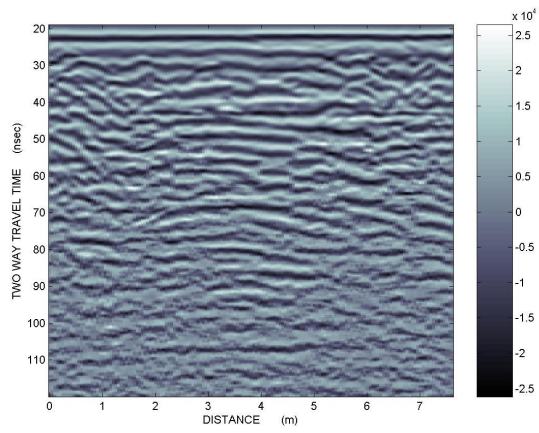
Γραμμή μελέτης 20 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



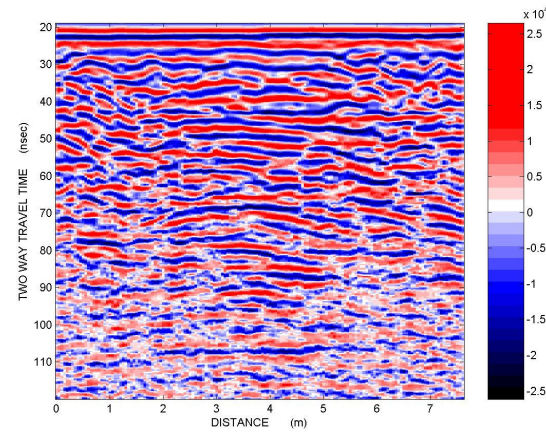
Γραμμή μελέτης 20 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



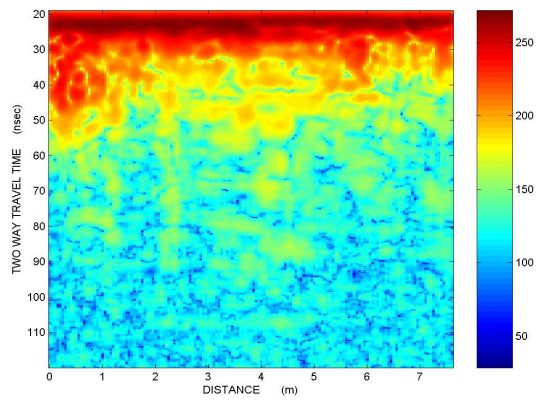
Γραμμή μελέτης 20, ακατέργαστη εικόνα



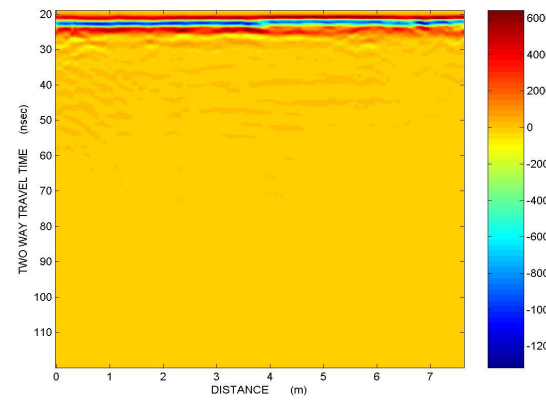
Γραμμή μελέτης 21 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



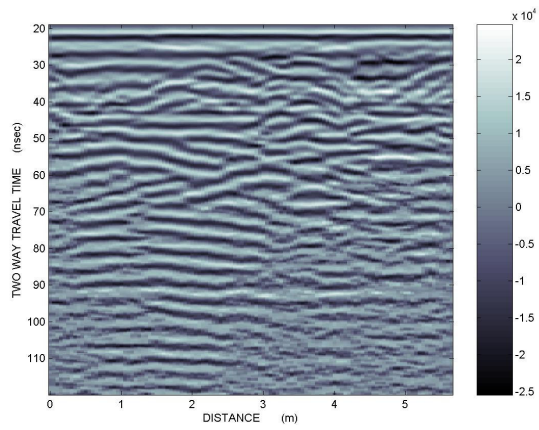
Γραμμή μελέτης 21 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



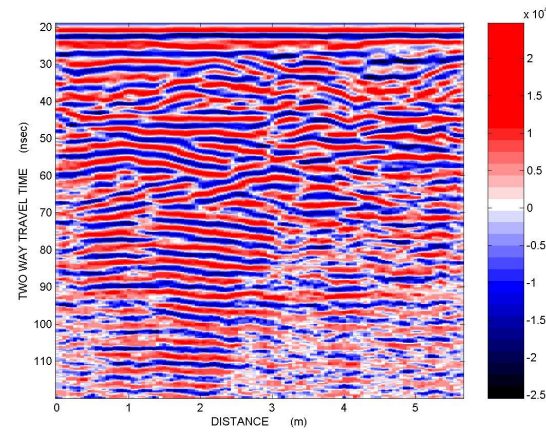
Γραμμή μελέτης 21 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



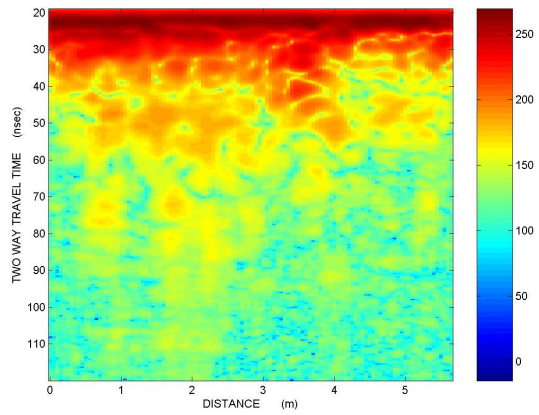
Γραμμή μελέτης 21, ακατέργαστη εικόνα



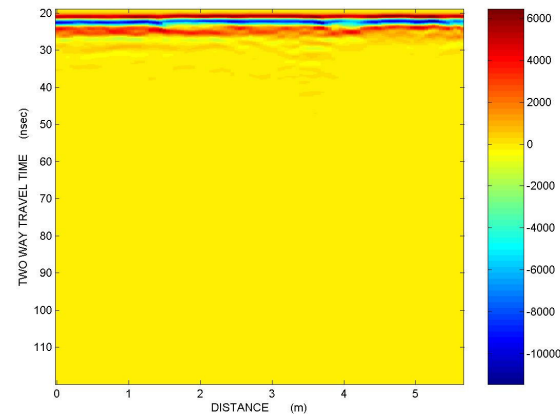
Γραμμή μελέτης 22 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



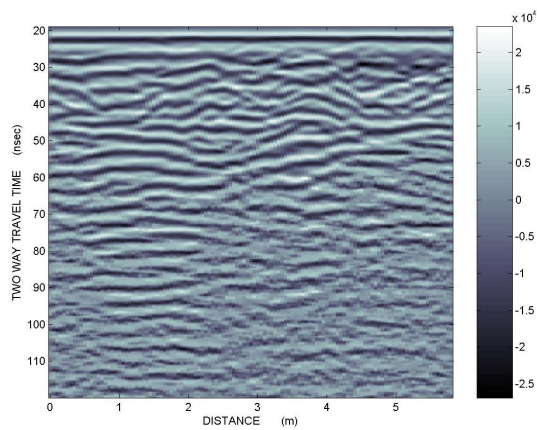
Γραμμή μελέτης 22 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



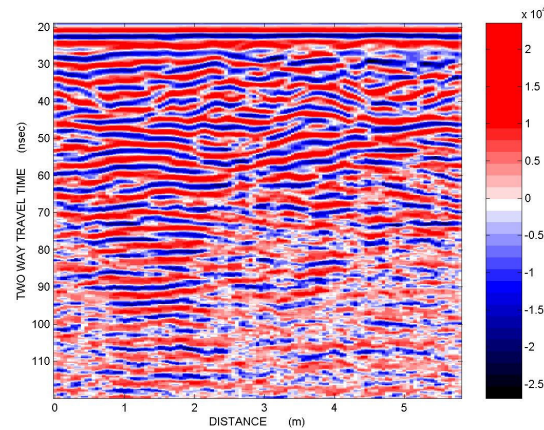
Γραμμή μελέτης 22 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



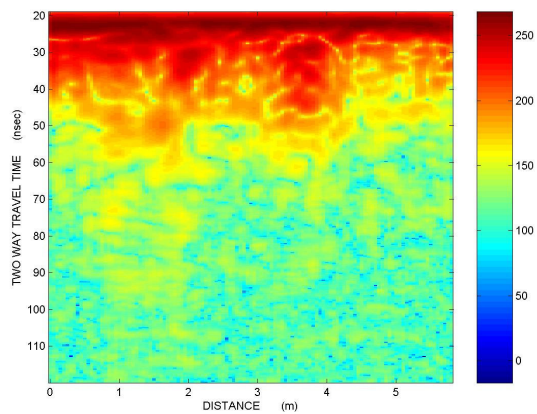
Γραμμή μελέτης 22, ακατέργαστη εικόνα



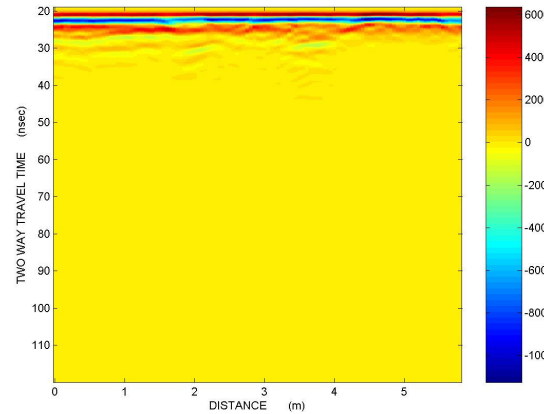
Γραμμή μελέτης 23 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



Γραμμή μελέτης 23 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase

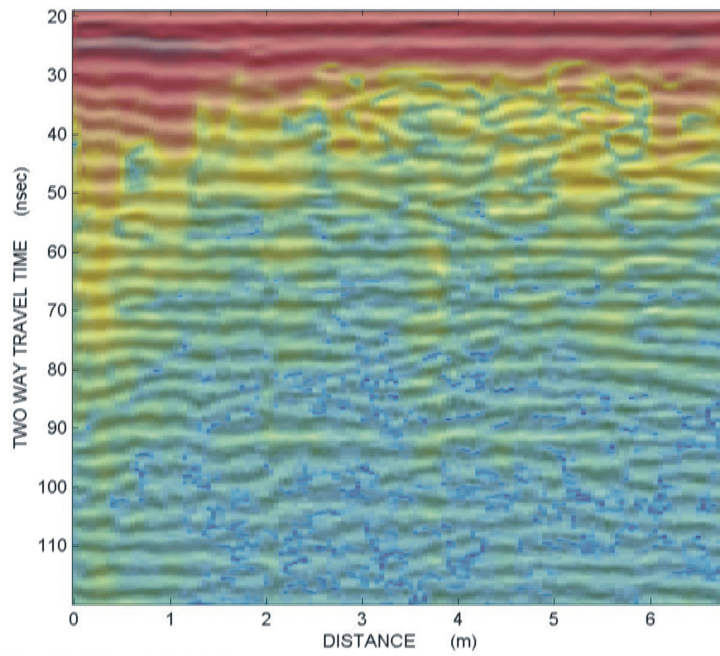


Γραμμή μελέτης 23 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope

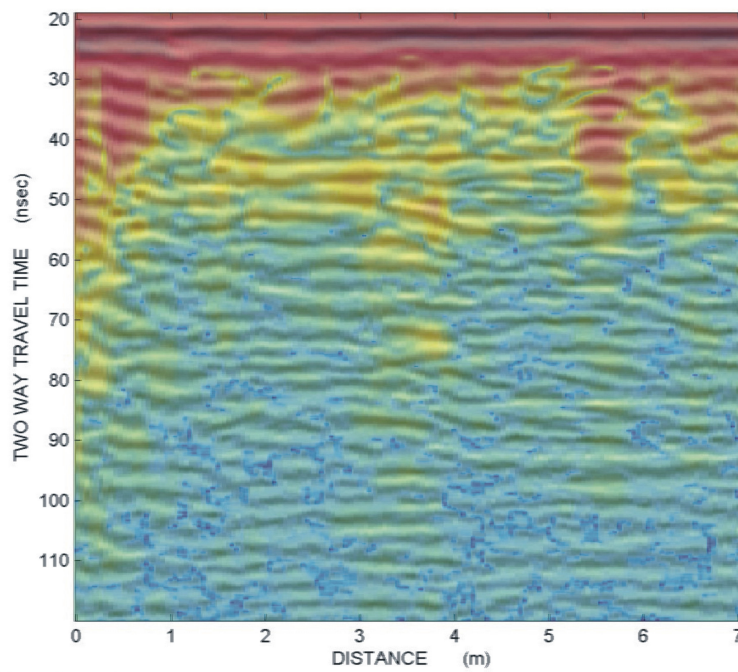


Γραμμή μελέτης 23, ακατέργαστη εικόνα

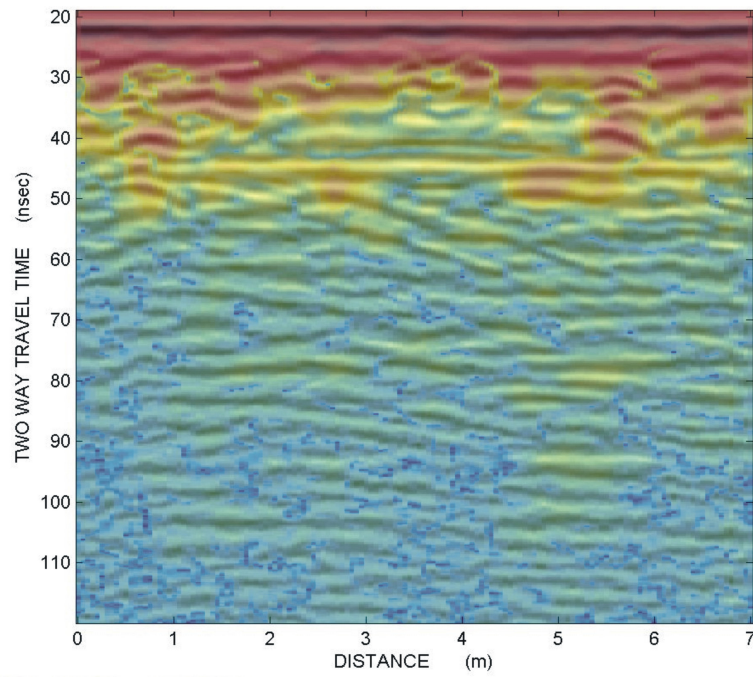
Πρώτη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων



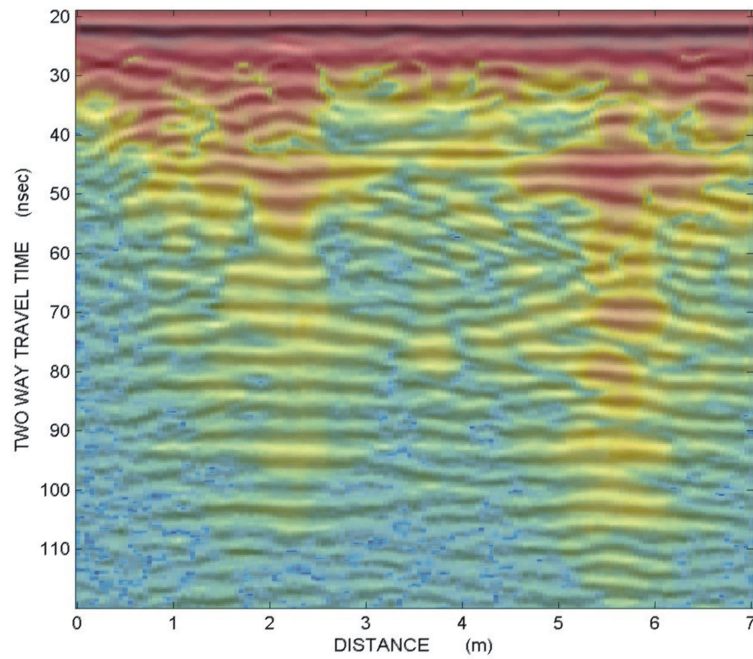
Γραμμή μελέτης 1, υπερτιθεμένη εικόνα



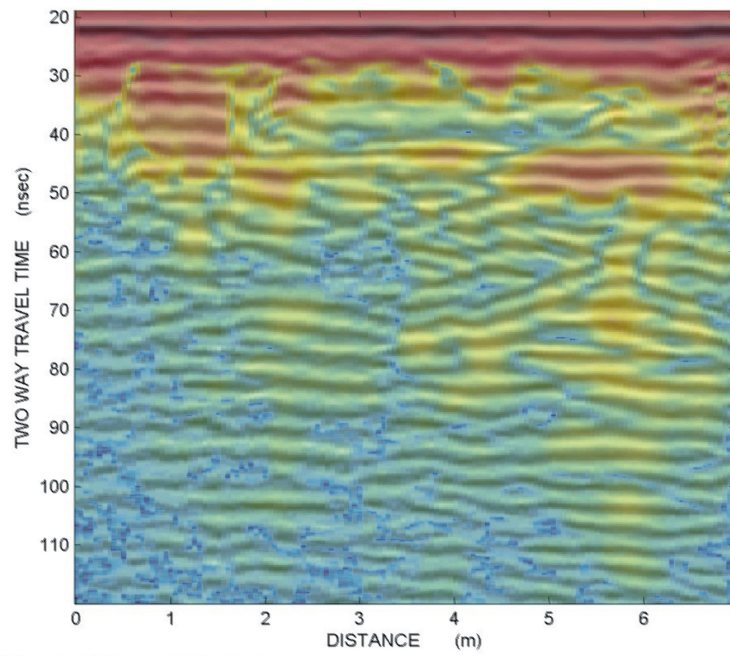
Γραμμή μελέτης 2, υπερτιθεμένη εικόνα



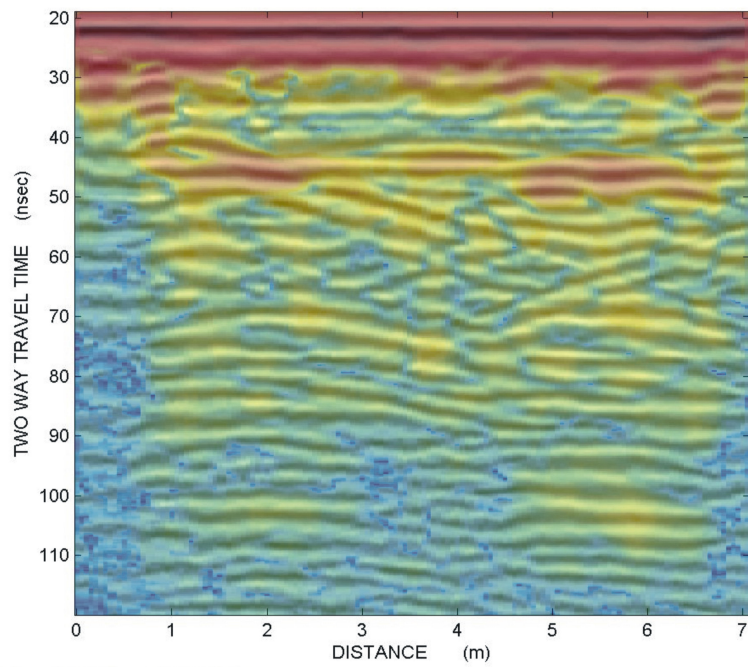
Γραμμή μελέτης 3, υπερτιθεμένη εικόνα



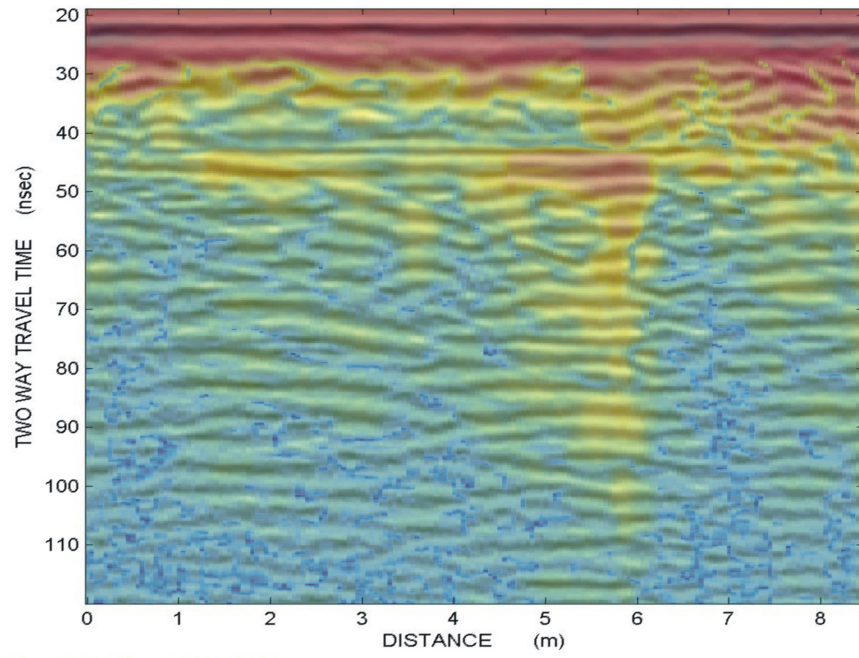
Γραμμή μελέτης 4, υπερτιθεμένη εικόνα



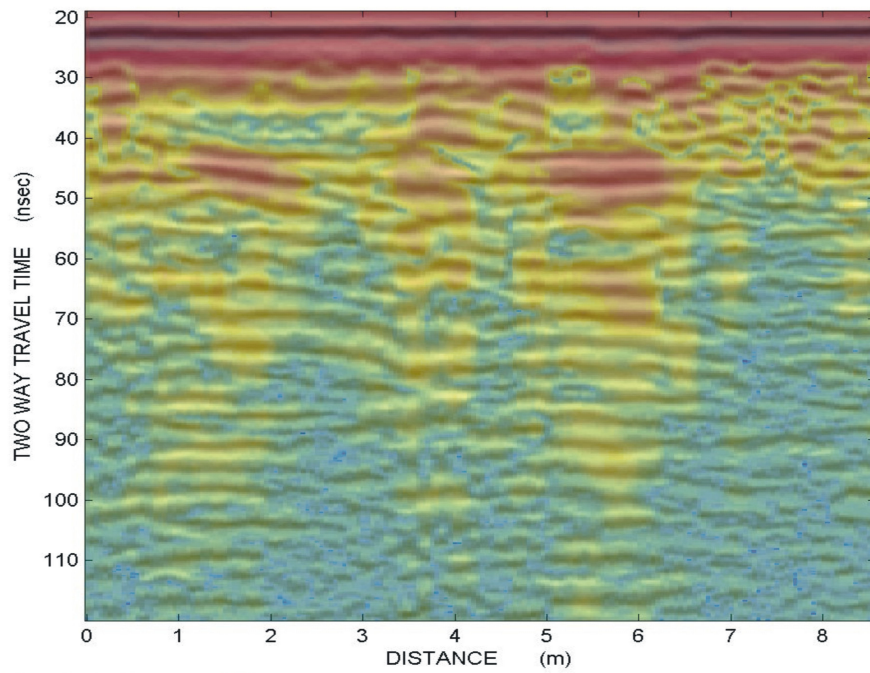
Γραμμή μελέτης 5, υπερτιθεμένη εικόνα



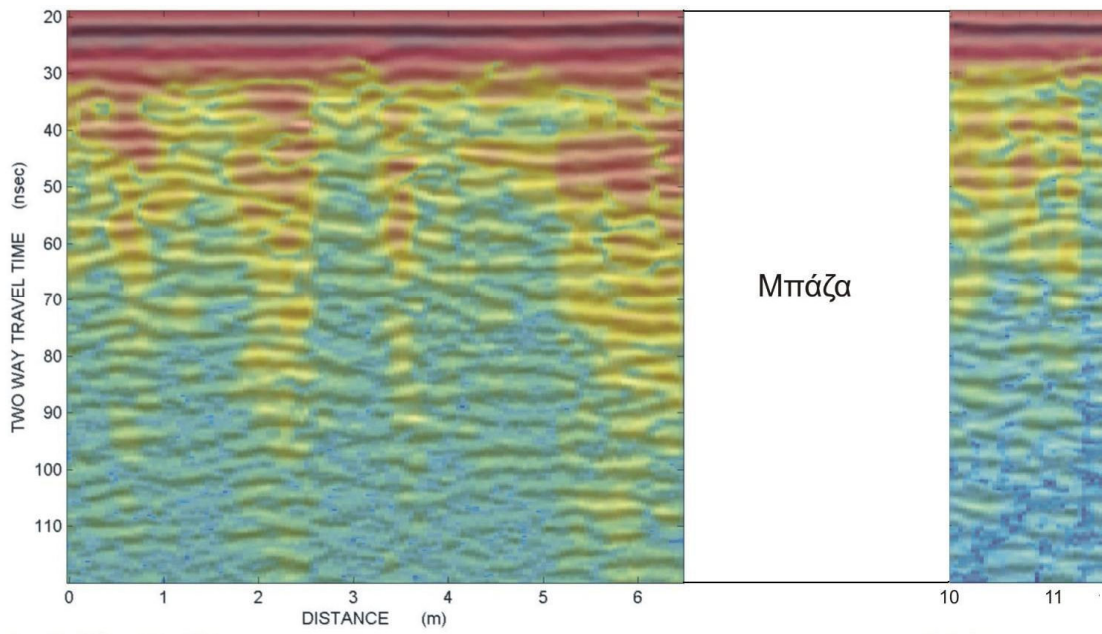
Γραμμή μελέτης 6, υπερτιθεμένη εικόνα



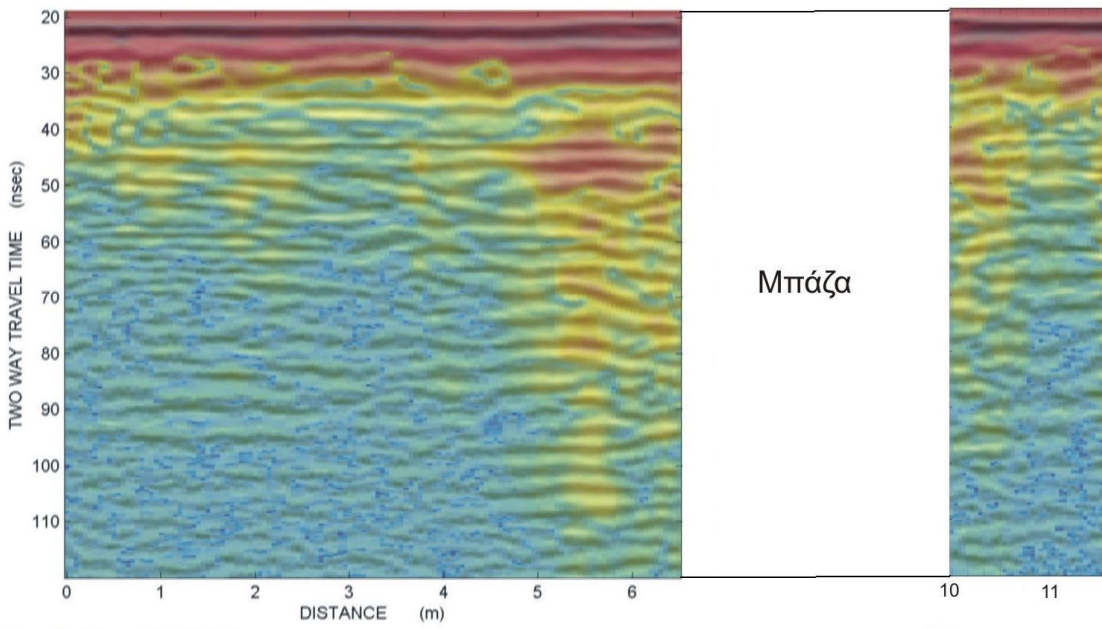
Γραμμή μελέτης 7, υπερτιθεμένη εικόνα



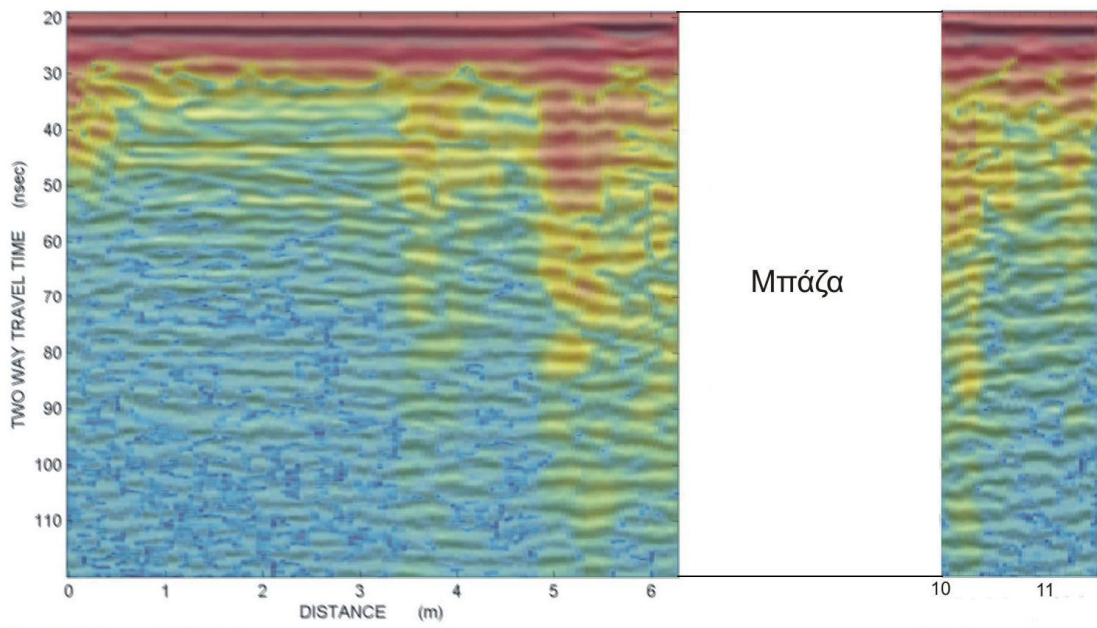
Γραμμή μελέτης 8, υπερτιθεμένη εικόνα



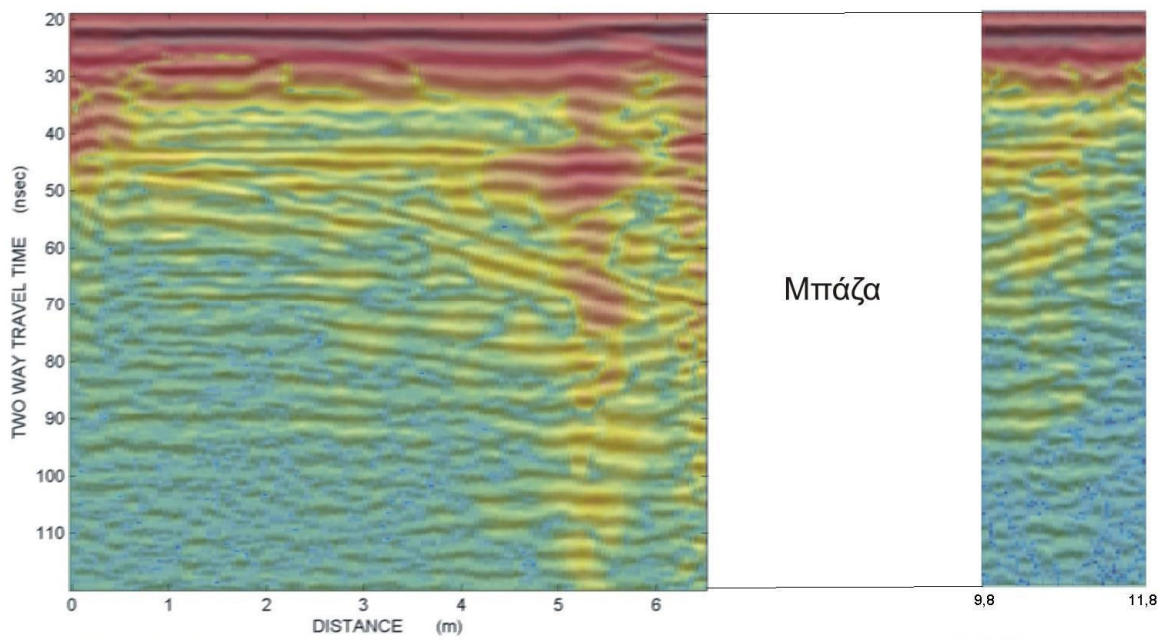
Γραμμή μελέτης 9, υπερτιθεμένη εικόνα



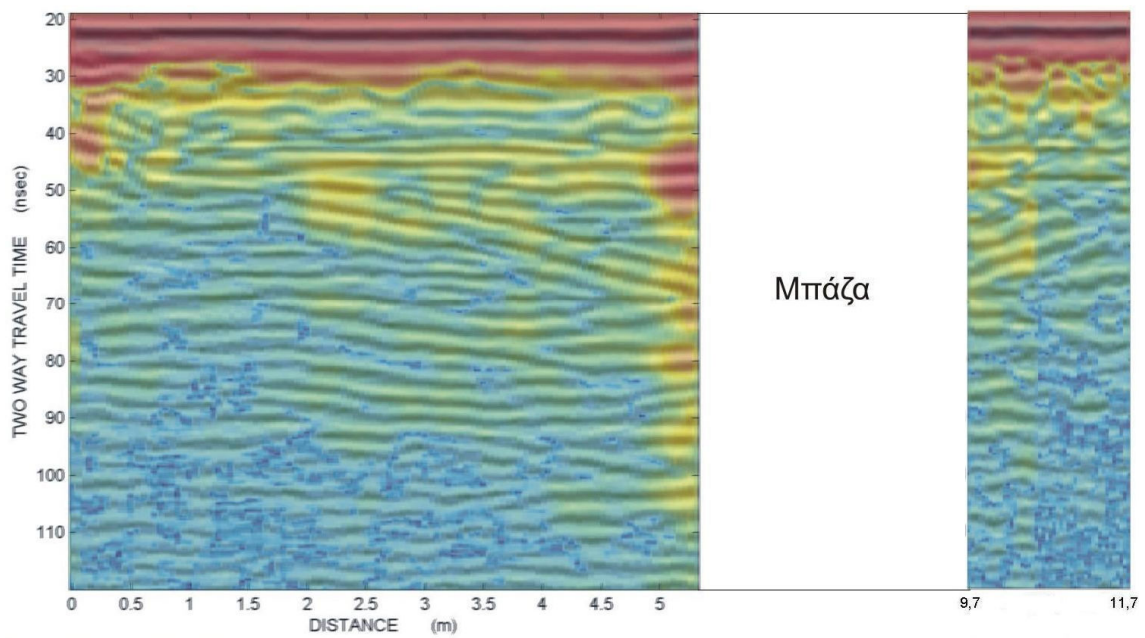
Γραμμή μελέτης 10, υπερτιθεμένη εικόνα



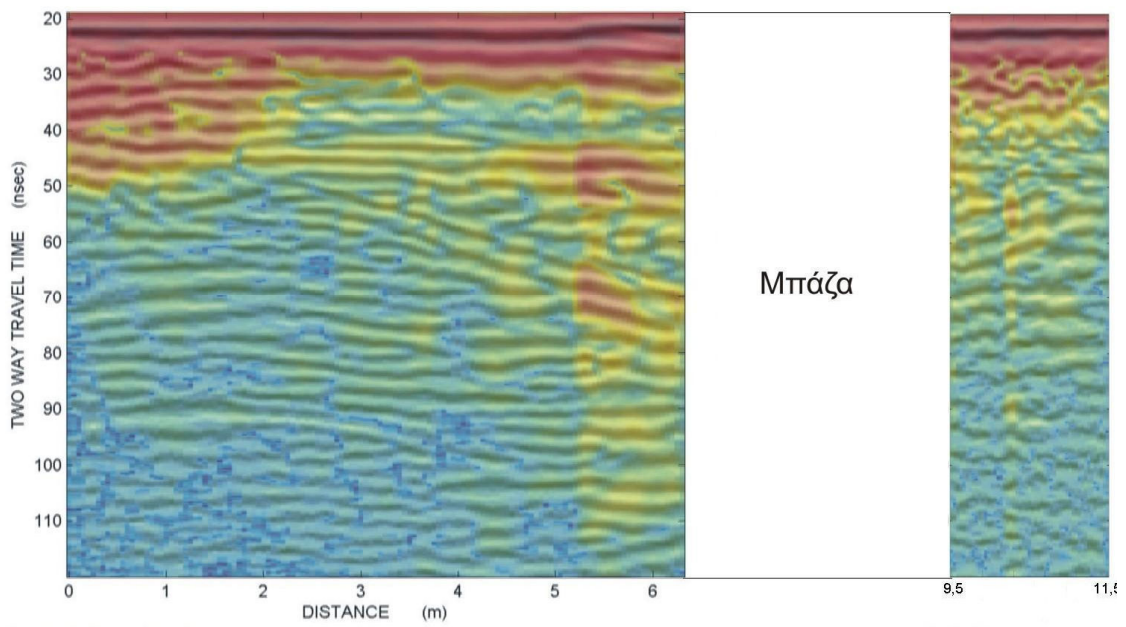
Γραμμή μελέτης 11, υπερτιθεμένη εικόνα



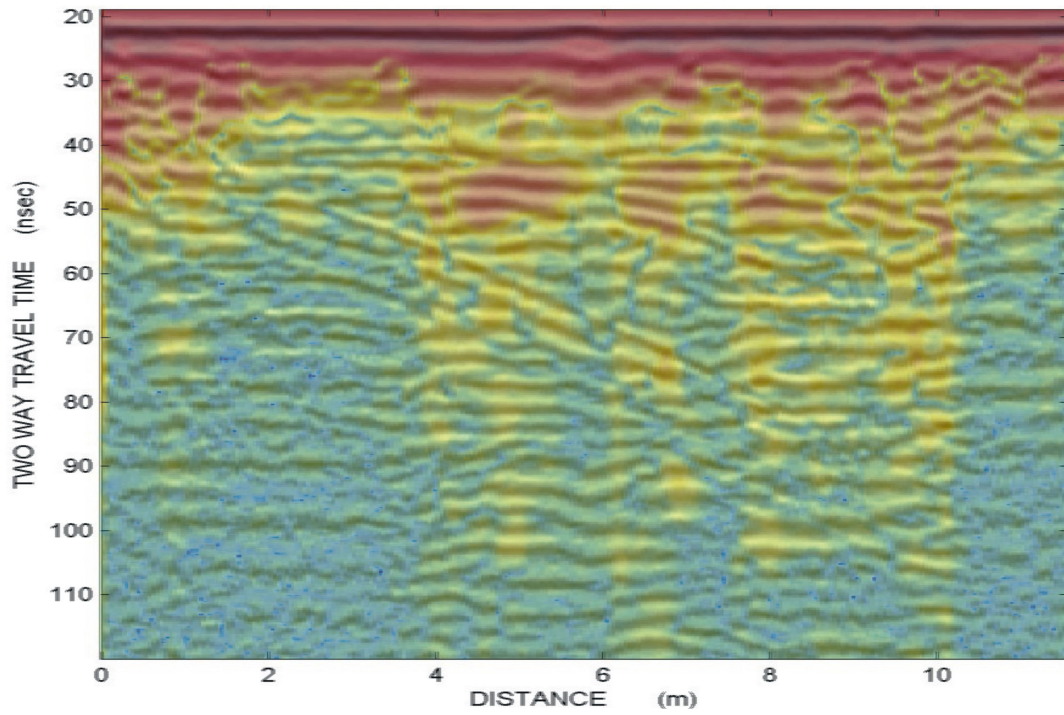
Γραμμή μελέτης 12, υπερτιθεμένη εικόνα



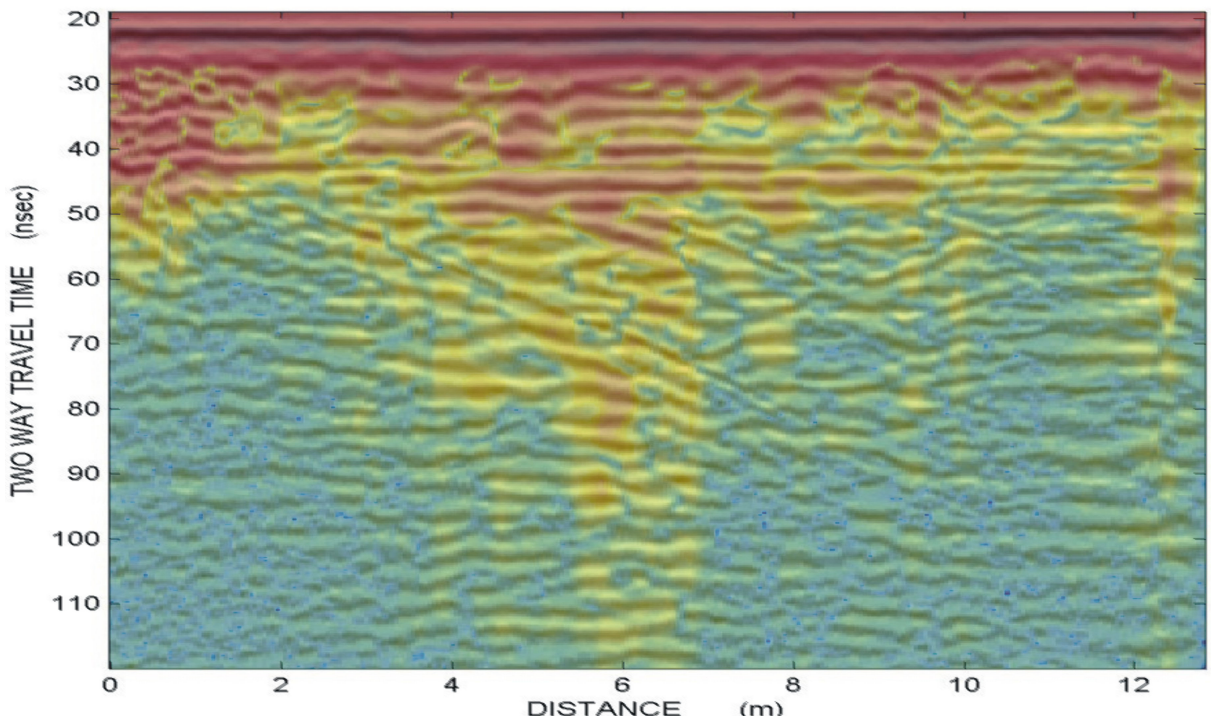
Γραμμή μελέτης 13, υπερτιθεμένη εικόνα



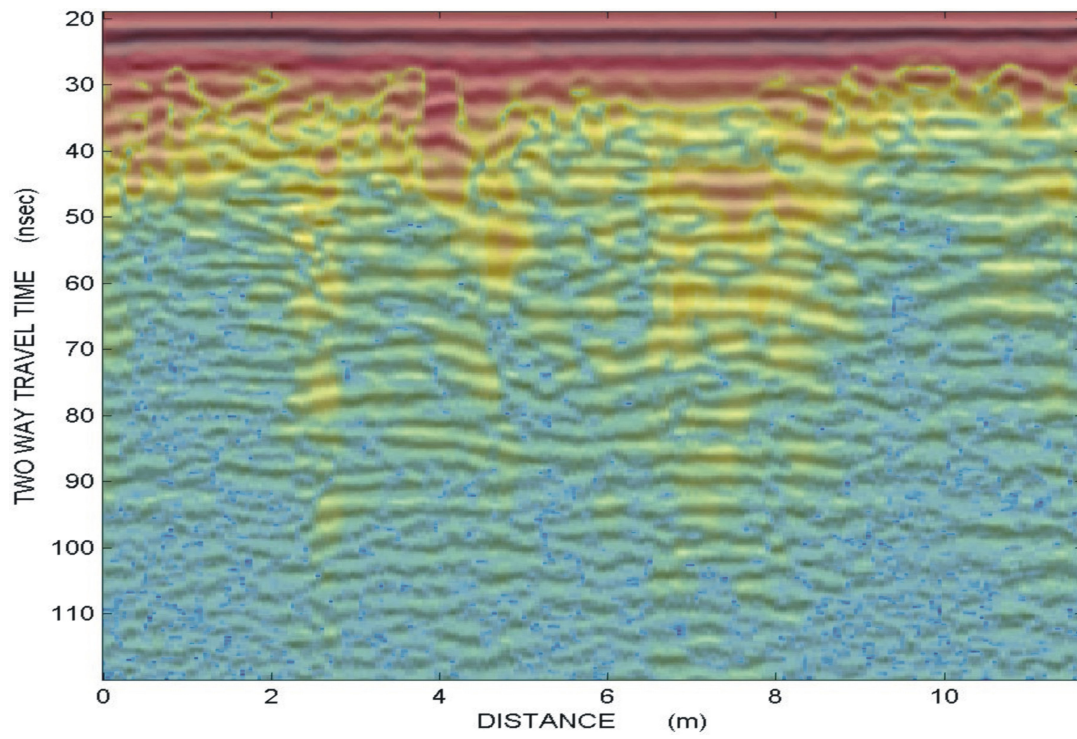
Γραμμή μελέτης 14, υπερτιθεμένη εικόνα



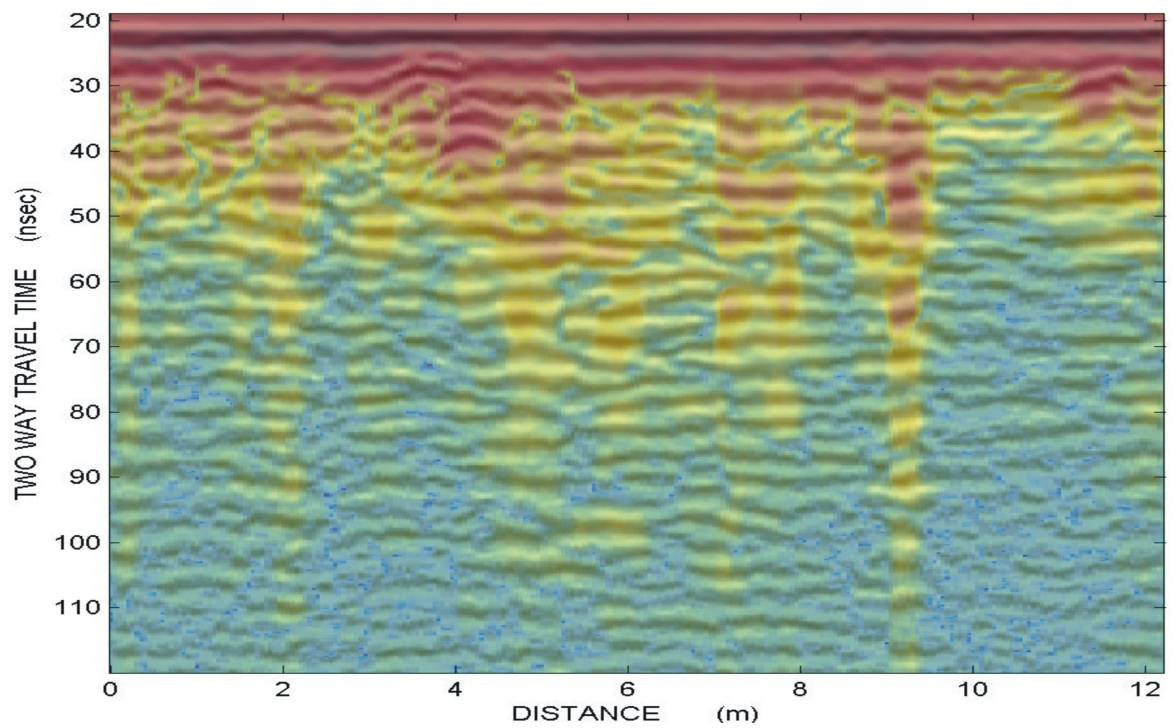
Γραμμή μελέτης 15, υπερτιθεμένη εικόνα



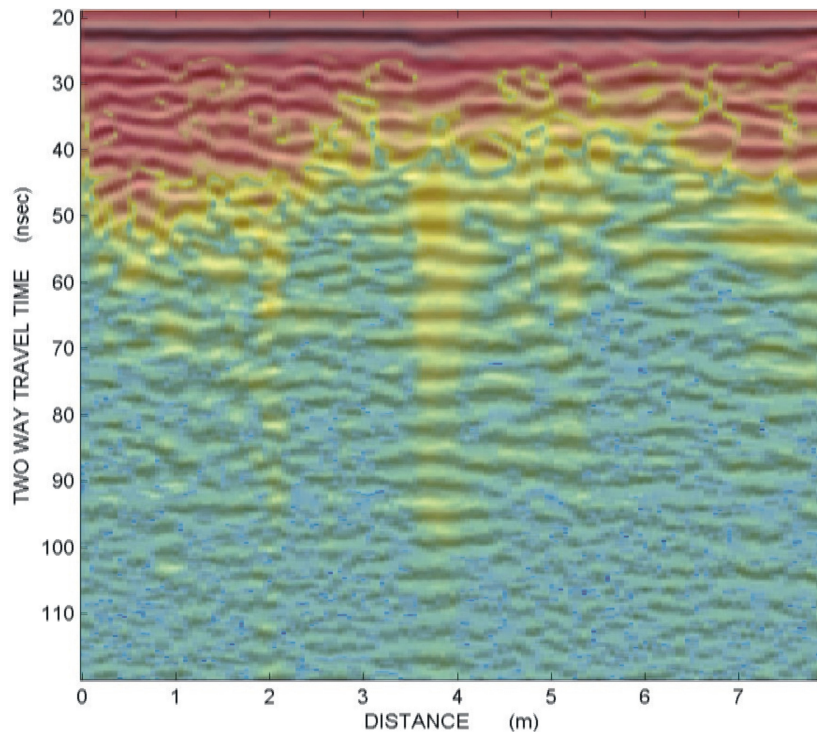
Γραμμή μελέτης 16, υπερτιθεμένη εικόνα



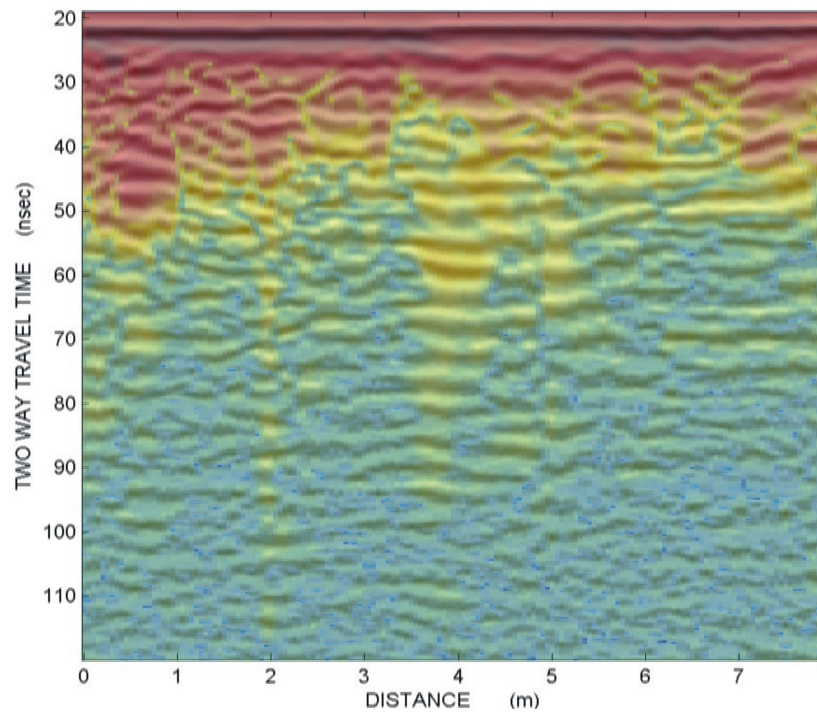
Γραμμή μελέτης 17, υπερτιθεμένη εικόνα



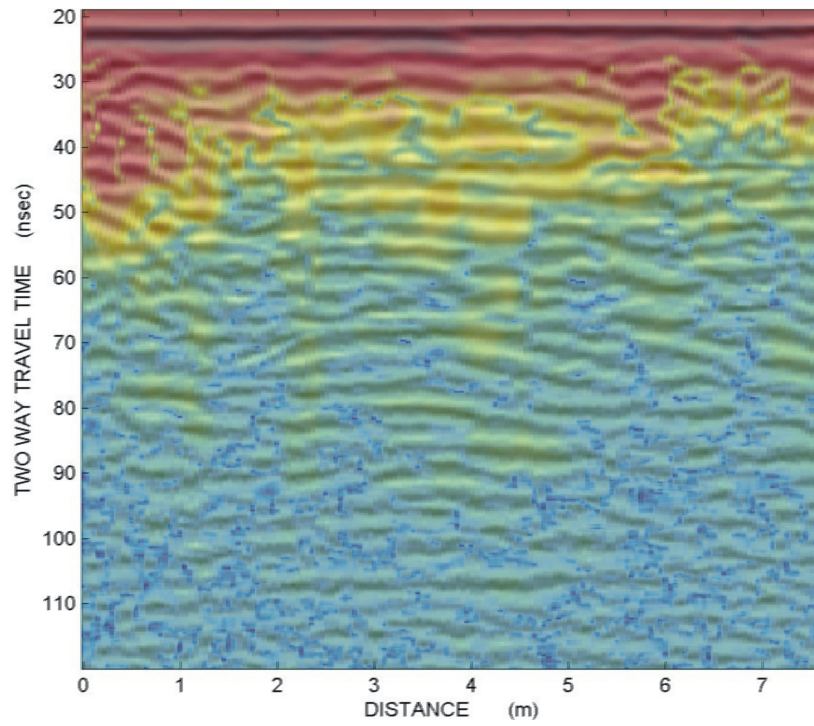
Γραμμή μελέτης 18, υπερτιθεμένη εικόνα



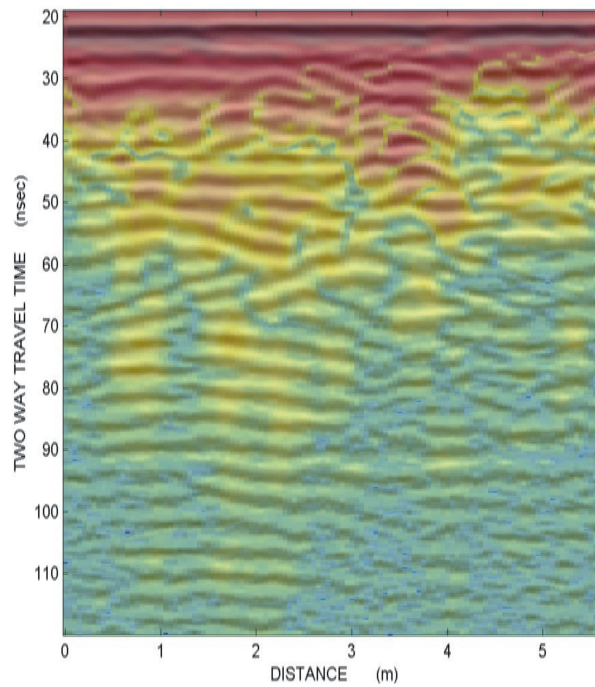
Γραμμή μελέτης 19, υπερτιθεμένη εικόνα



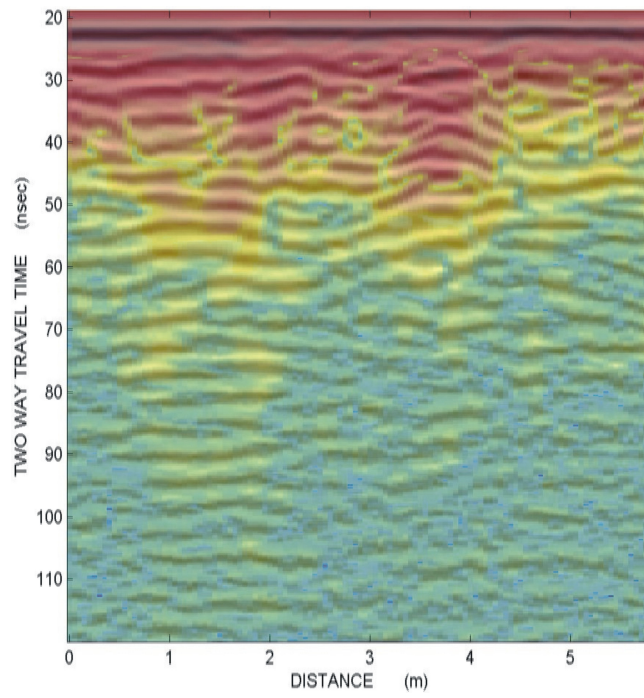
Γραμμή μελέτης 20, υπερτιθεμένη εικόνα



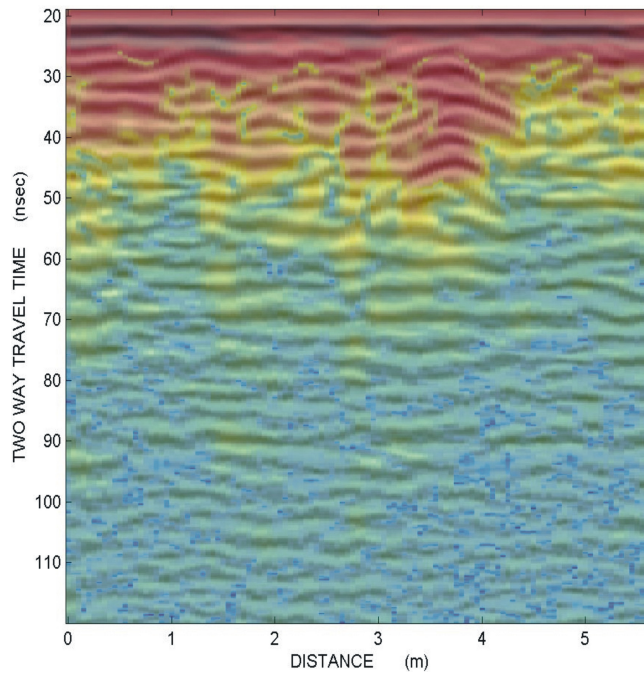
Γραμμή μελέτης 21, υπερτιθεμένη εικόνα



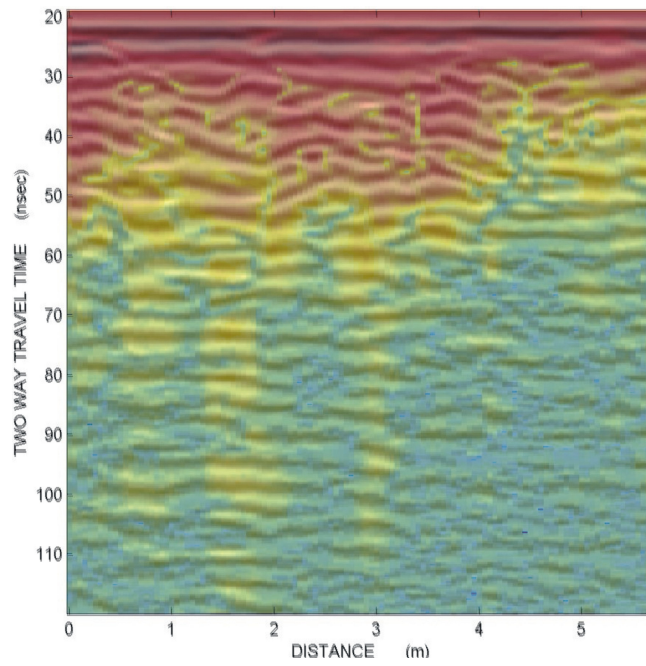
Γραμμή μελέτης 22, υπερτιθεμένη εικόνα



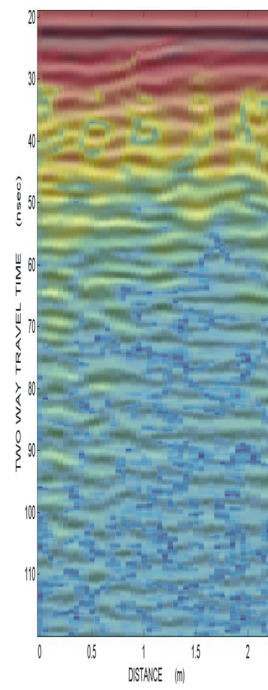
Γραμμή μελέτης 23, υπερτιθεμένη εικόνα



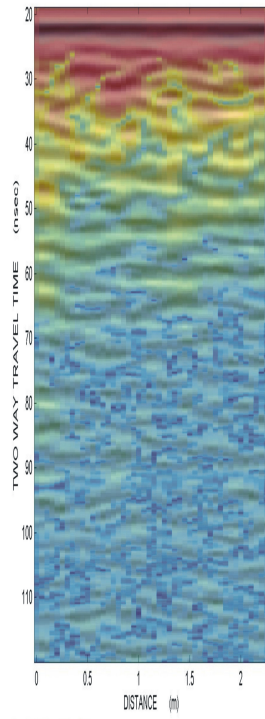
Γραμμή μελέτης 24, υπερτιθεμένη εικόνα



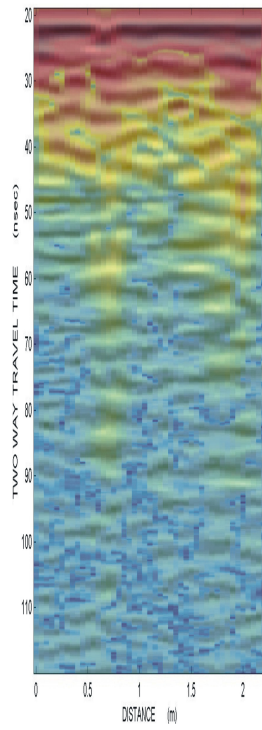
Γραμμή μελέτης 25, υπερτιθεμένη εικόνα



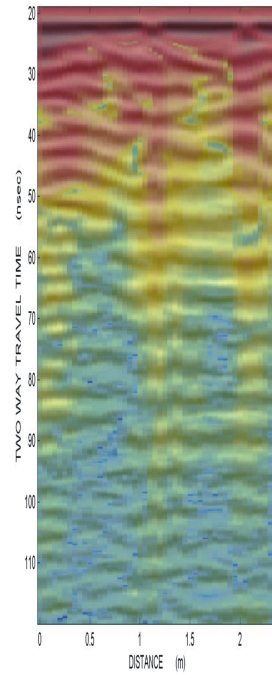
Γραμμή μελέτης 26, υπερτιθεμένη εικόνα



Γραμμή μελέτης 27, υπερτιθεμένη εικόνα

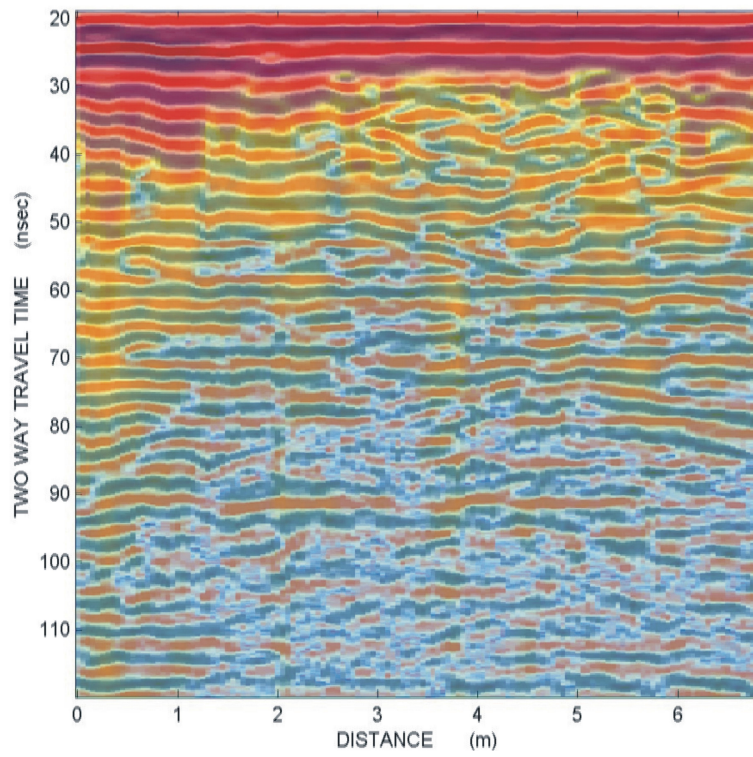


Γραμμή μελέτης 28, υπερτιθεμένη εικόνα

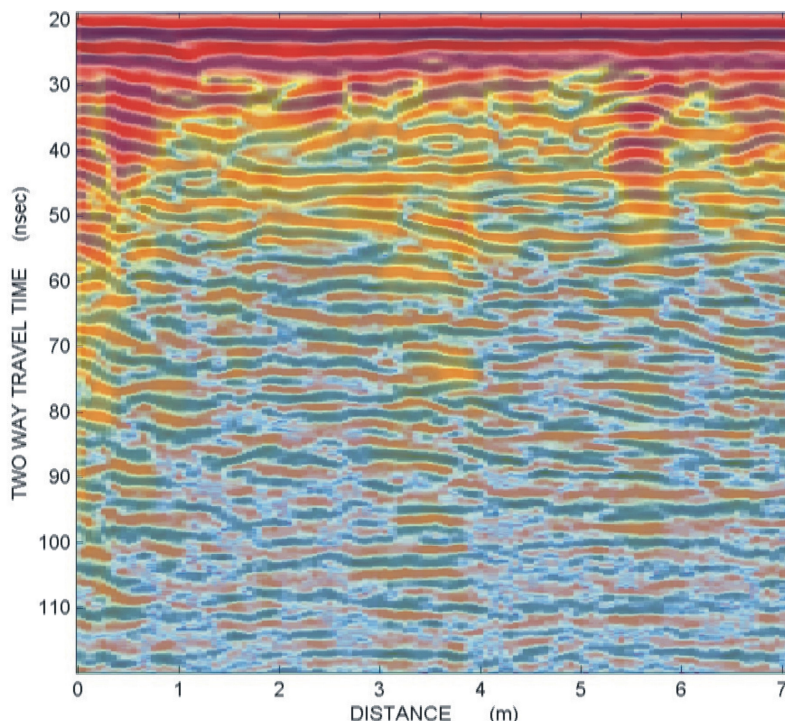


Γραμμή μελέτης 29, υπερτιθεμένη εικόνα

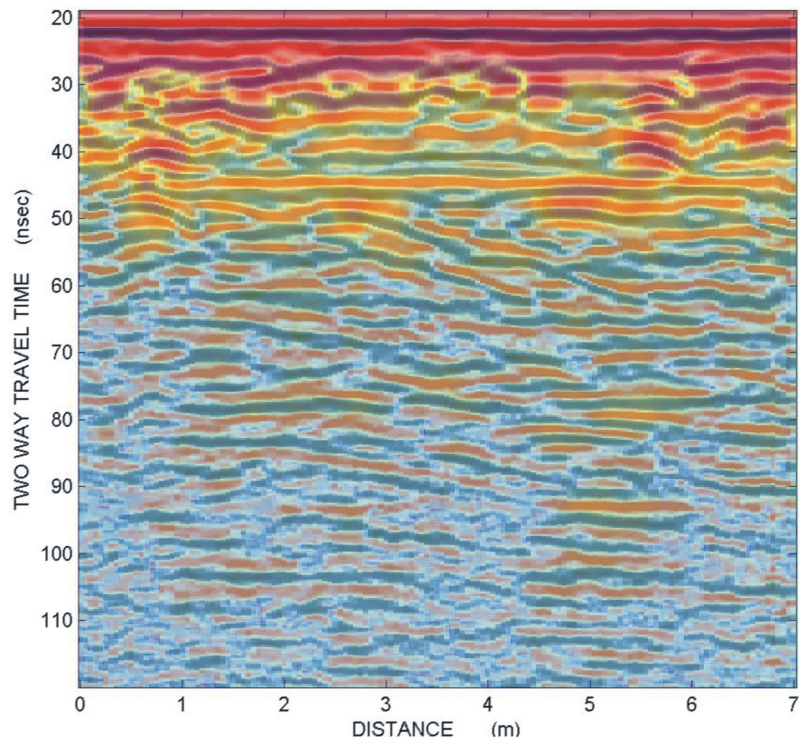
Δεύτερη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων



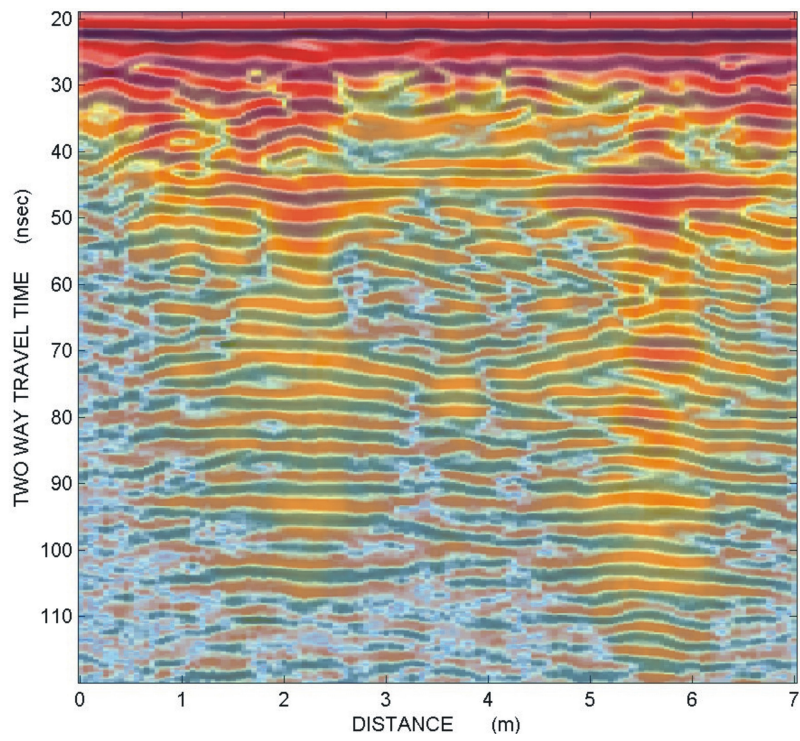
Γραμμή μελέτης 1, υπερτιθεμένη εικόνα



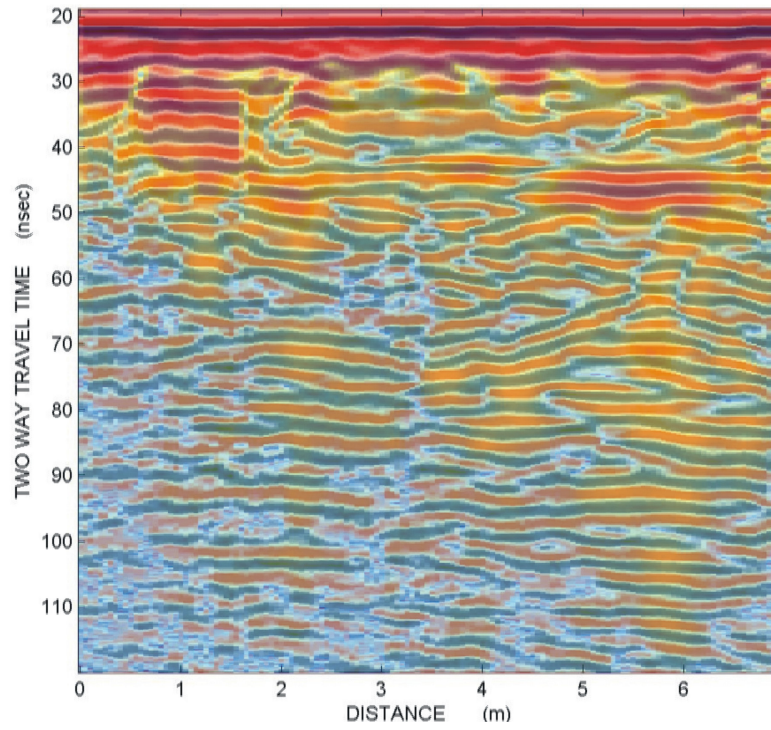
Γραμμή μελέτης 2, υπερτιθεμένη εικόνα



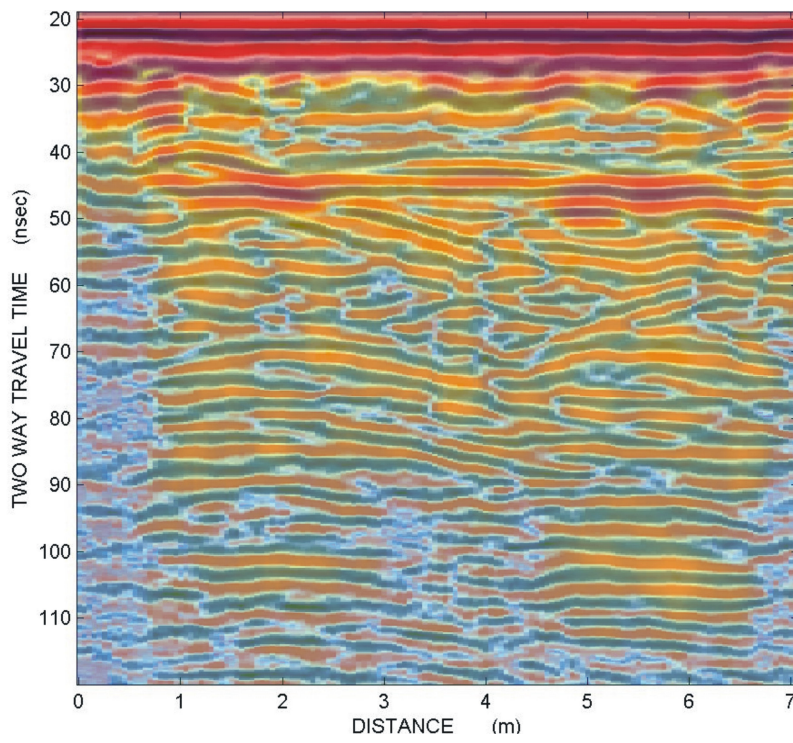
Γραμμή μελέτης 3, υπερτιθεμένη εικόνα



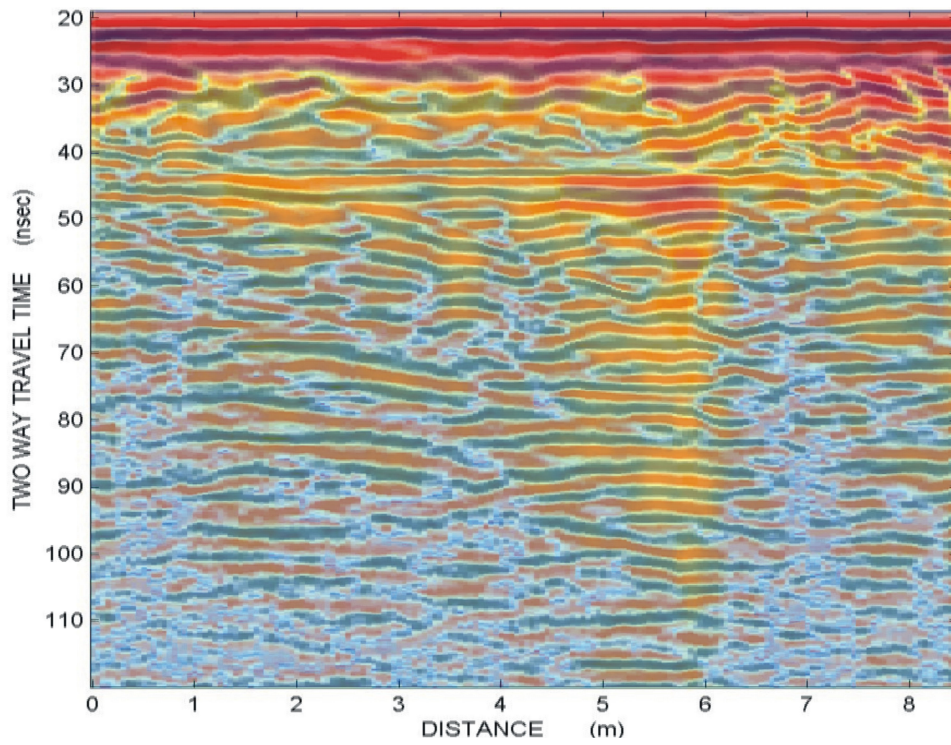
Γραμμή μελέτης 4, υπερτιθεμένη εικόνα



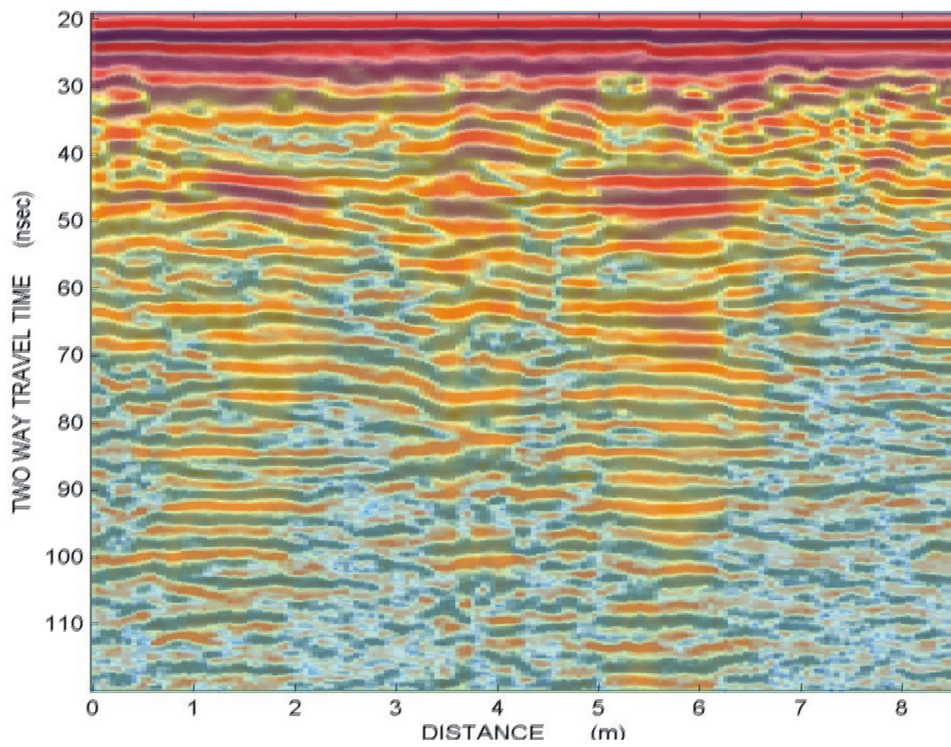
Γραμμή μελέτης 5, υπερτιθεμένη εικόνα



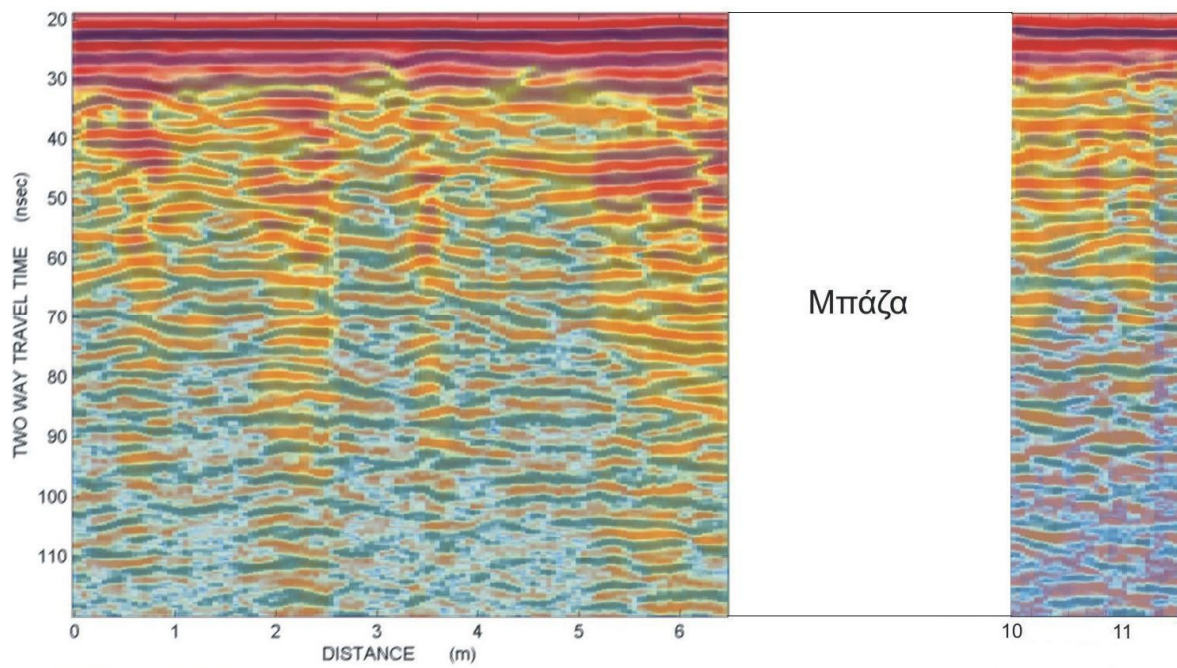
Γραμμή μελέτης 6, υπερτιθεμένη εικόνα



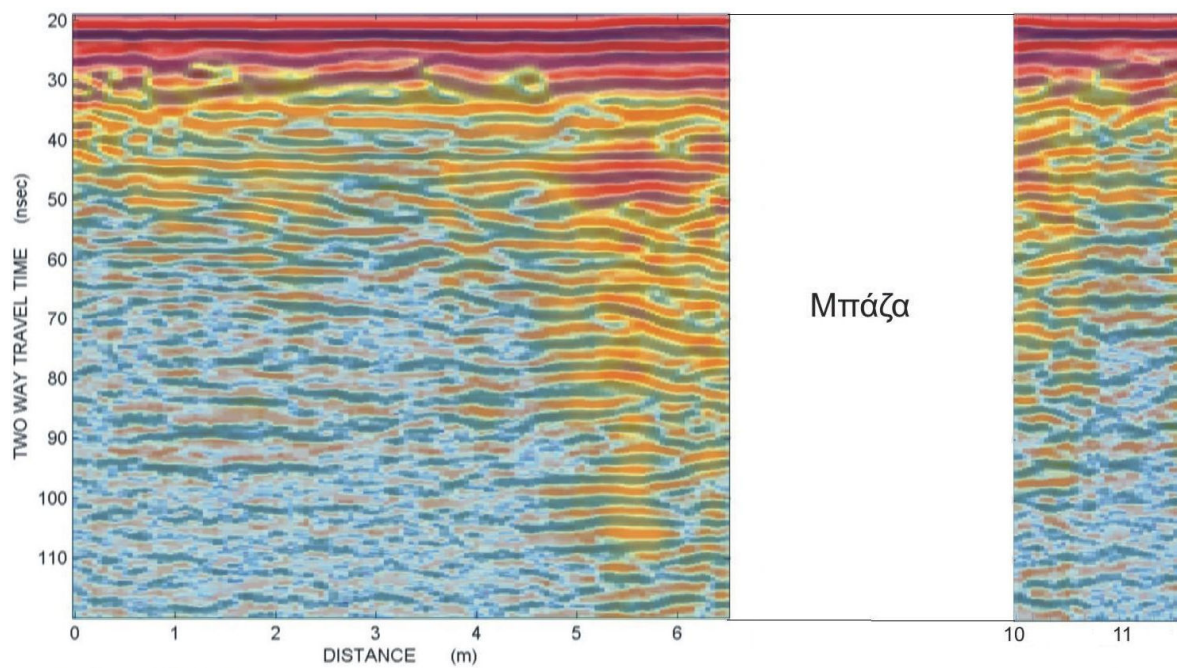
Γραμμή μελέτης 7, υπερτιθεμένη εικόνα



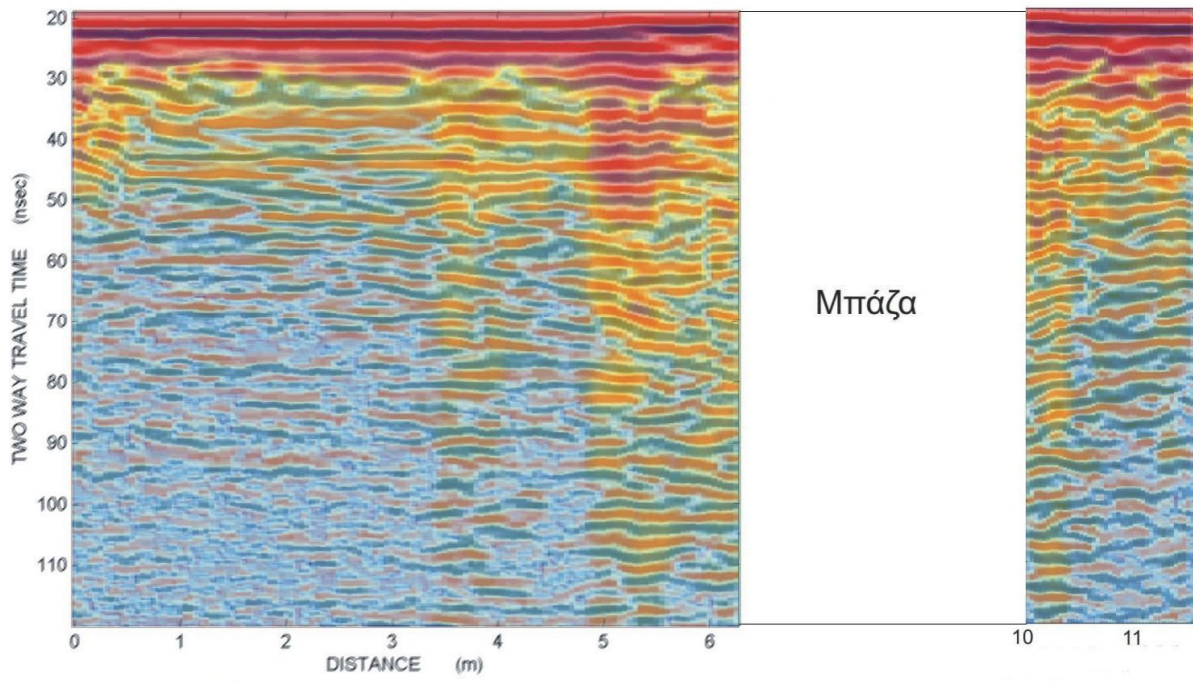
Γραμμή μελέτης 8, υπερτιθεμένη εικόνα



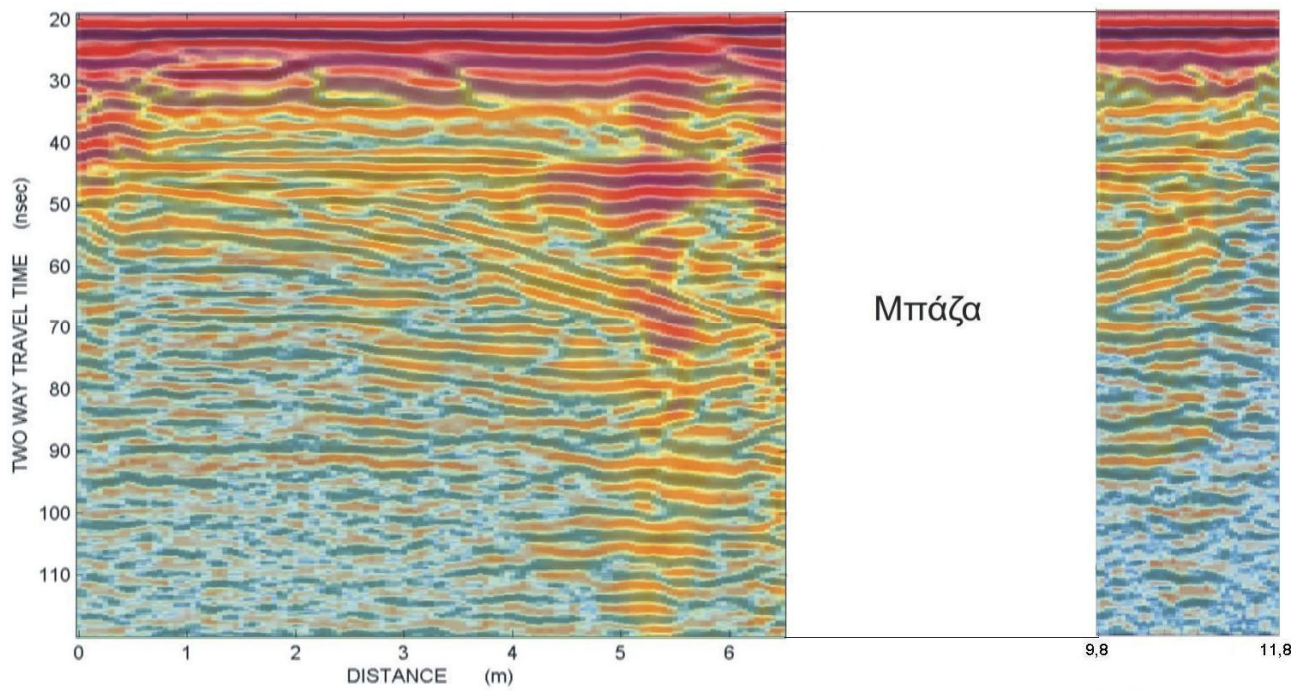
Γραμμή μελέτης 9, υπερτιθεμένη εικόνα



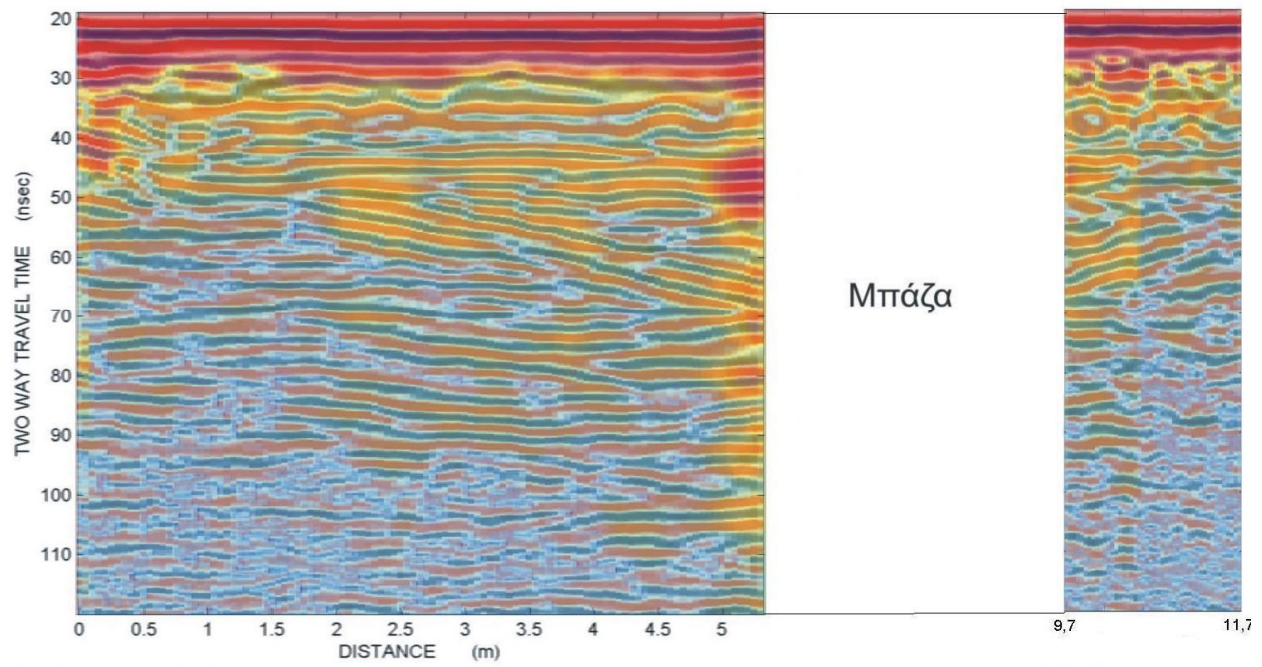
Γραμμή μελέτης 10, υπερτιθεμένη εικόνα



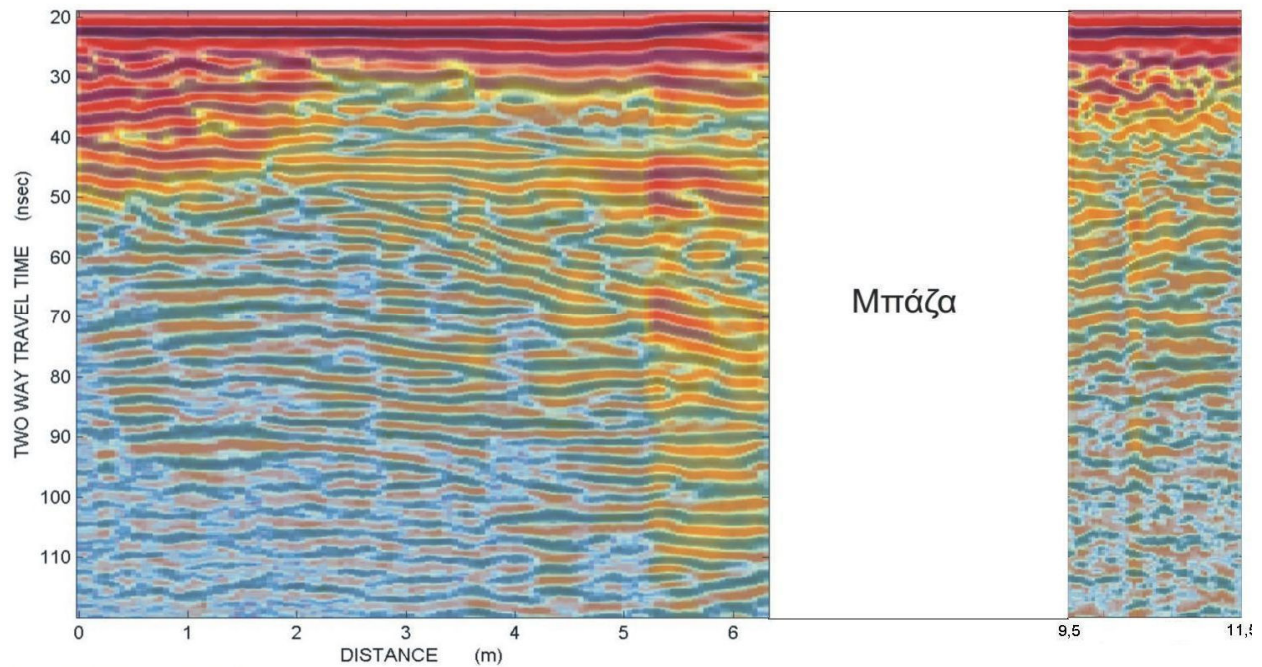
Γραμμή μελέτης 11, υπερτιθεμένη εικόνα



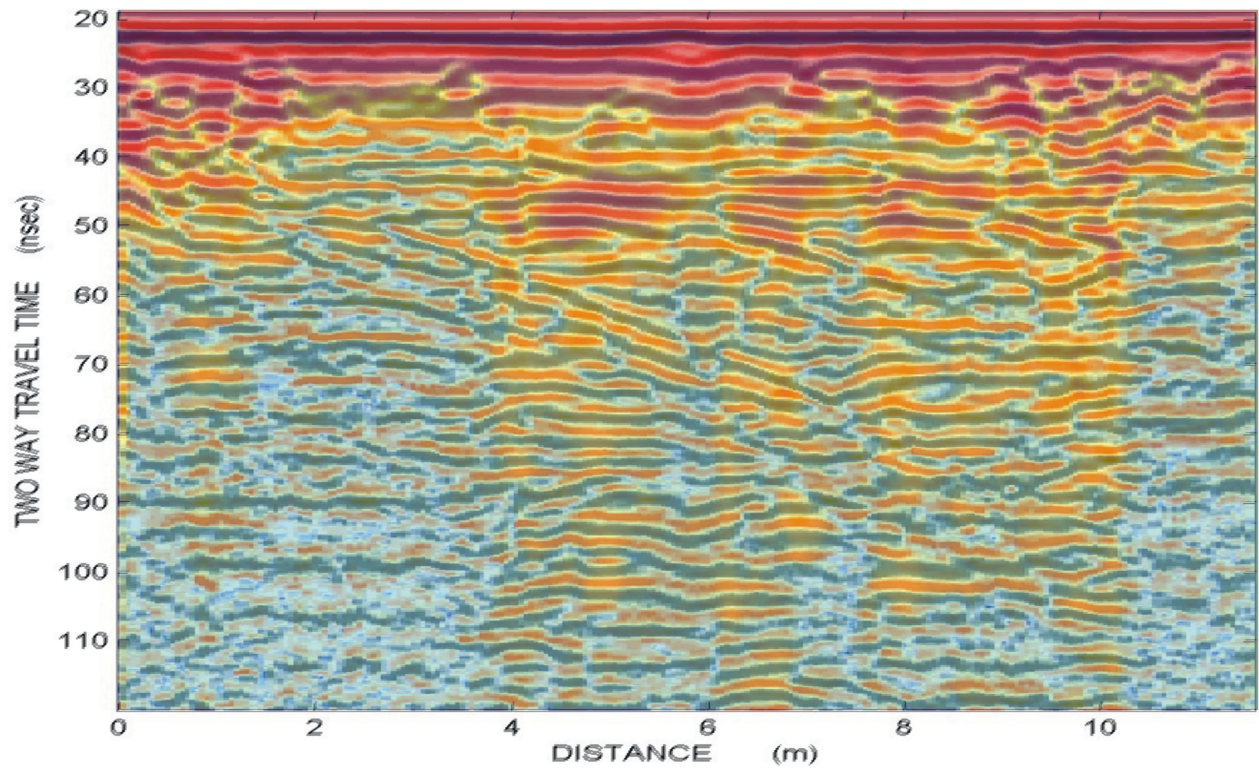
Γραμμή μελέτης 12, υπερτιθεμένη εικόνα



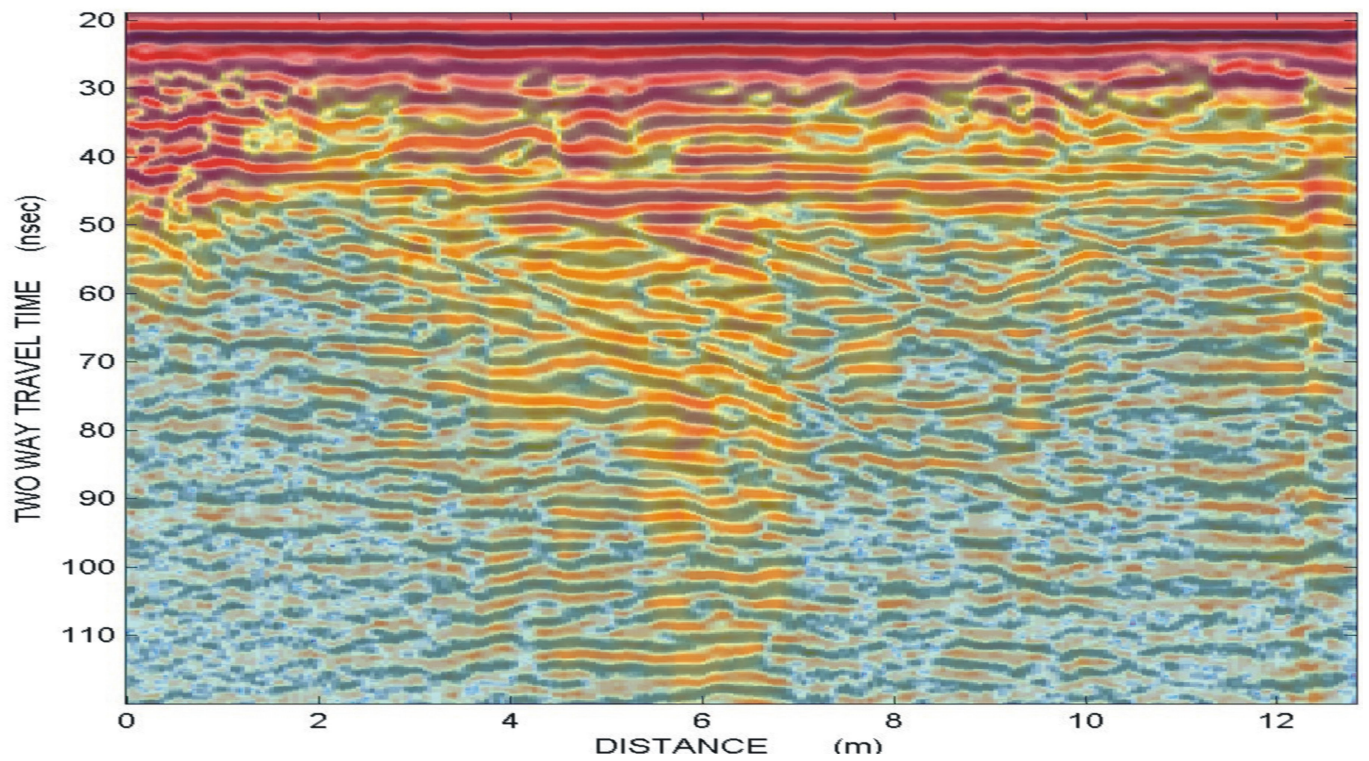
Γραμμή μελέτης 13, υπερτιθεμένη εικόνα



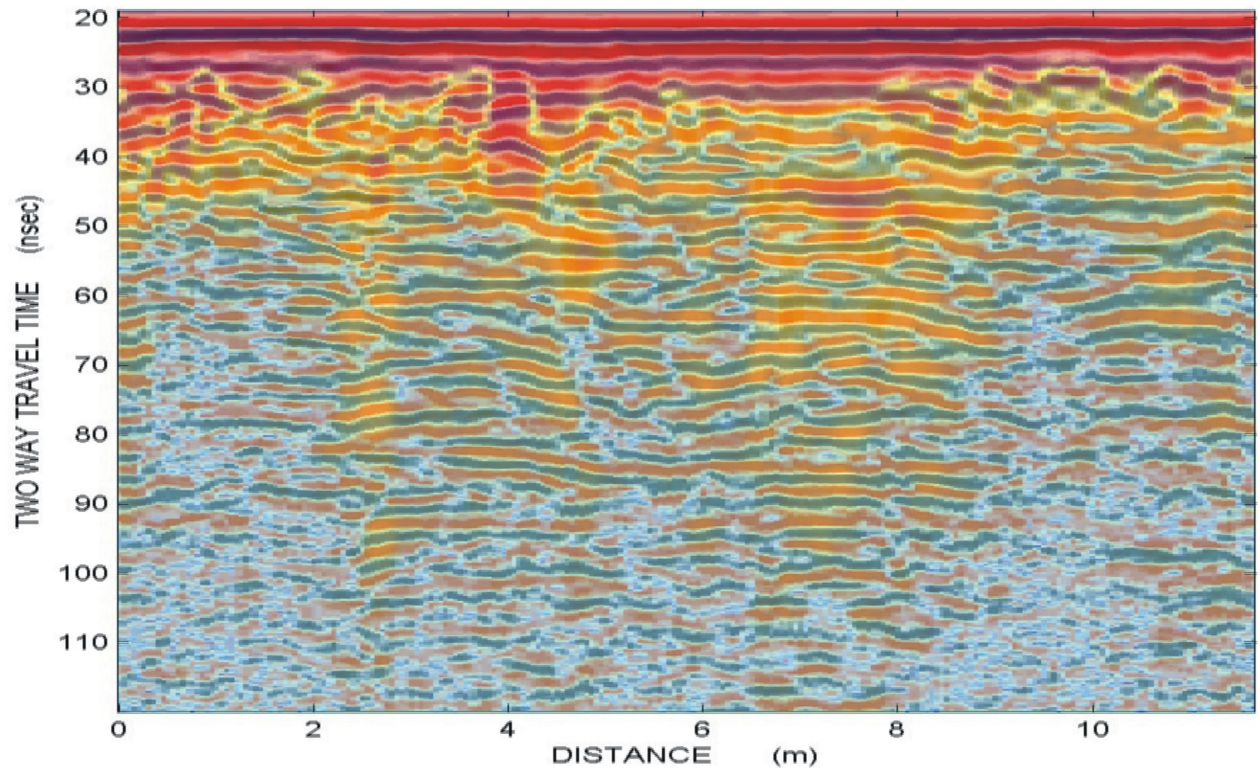
Γραμμή μελέτης 14, υπερτιθεμένη εικόνα



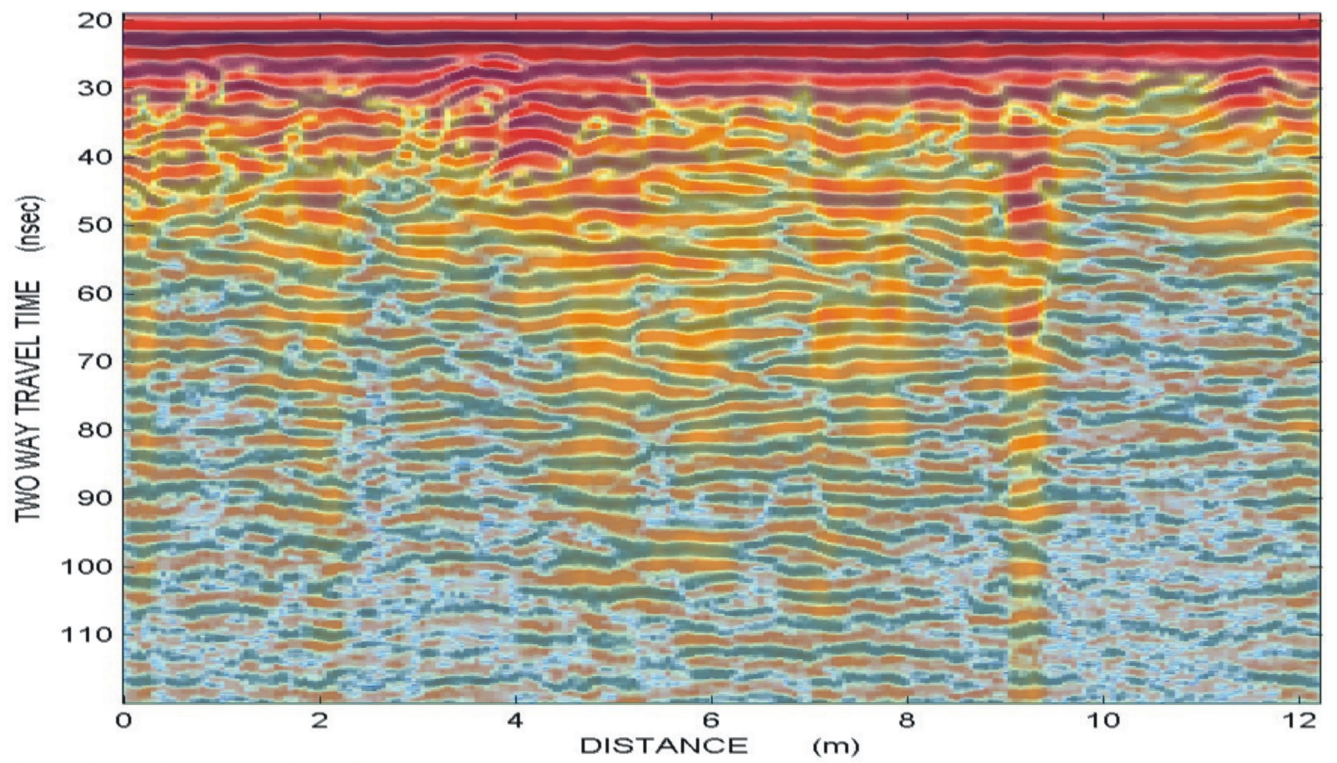
Γραμμή μελέτης 15, υπερτιθεμένη εικόνα



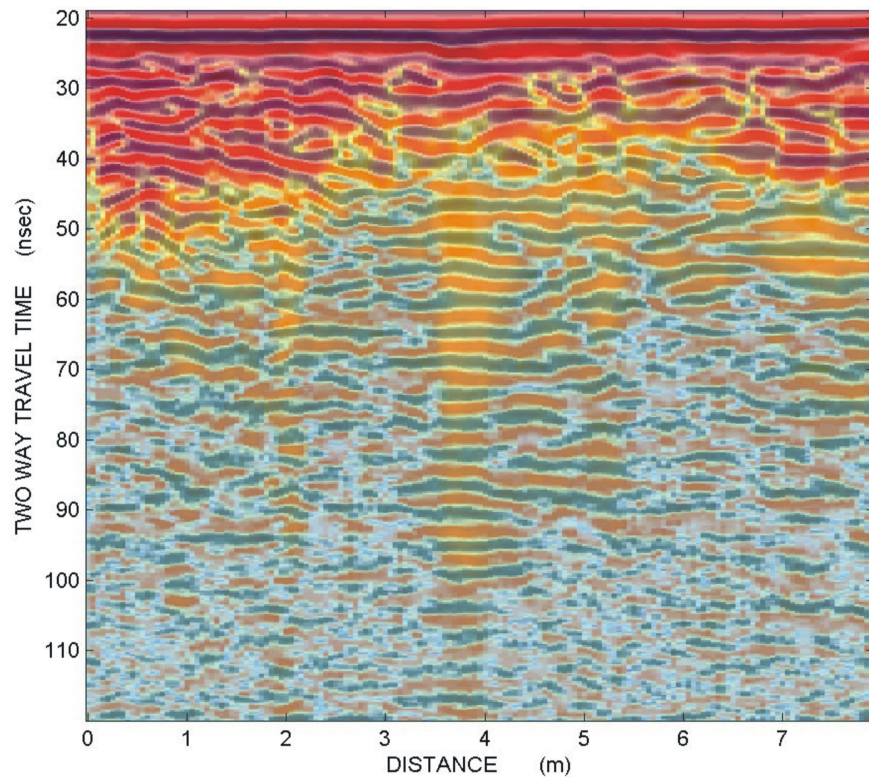
Γραμμή μελέτης 16, υπερτιθεμένη εικόνα



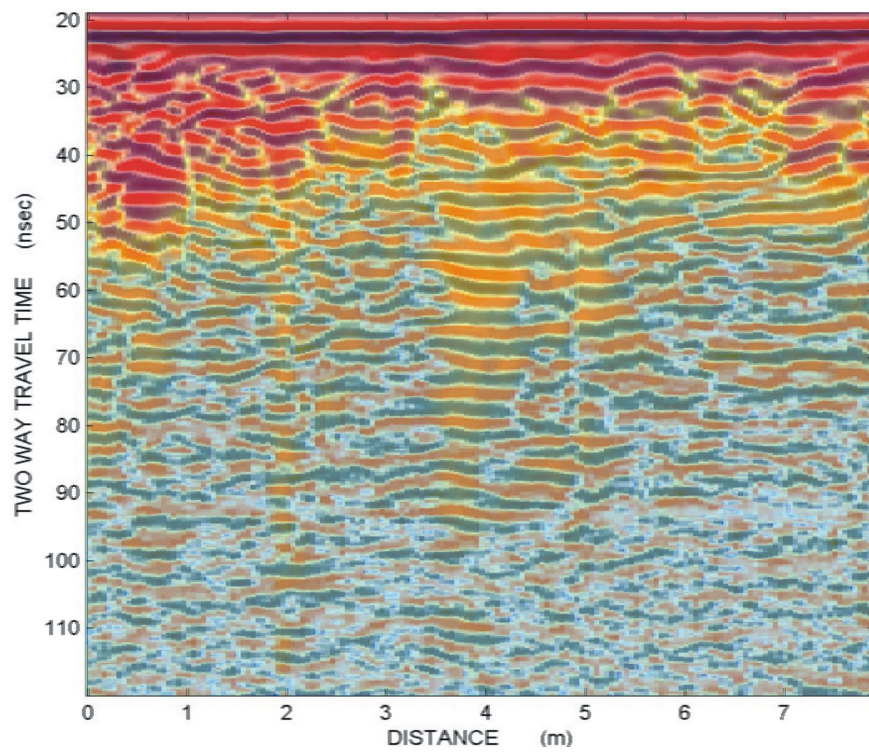
Γραμμή μελέτης 17, υπερτιθεμένη εικόνα.



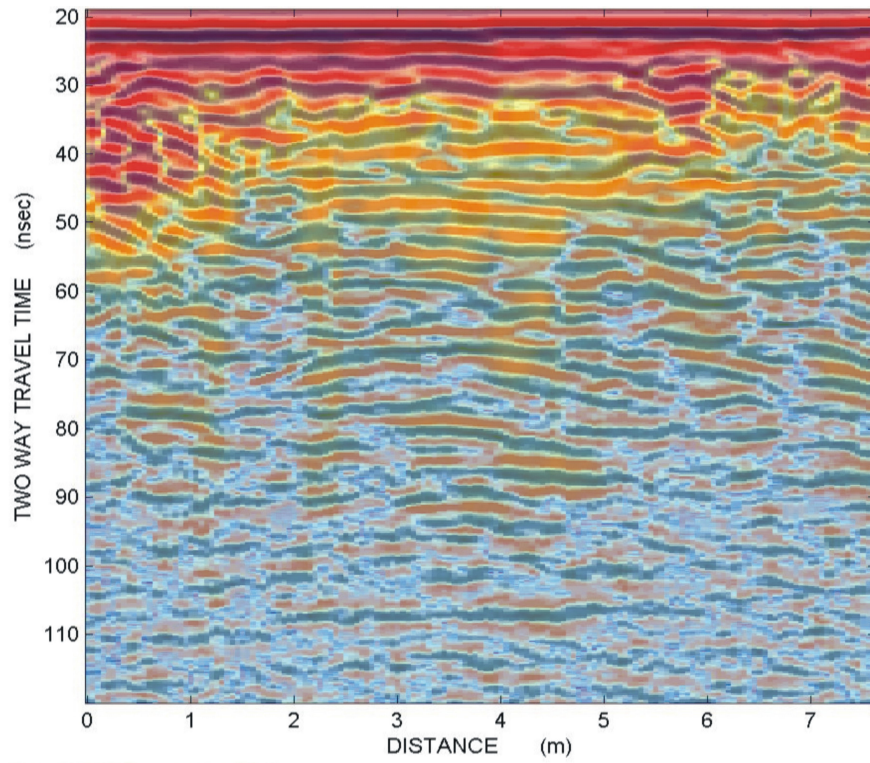
Γραμμή μελέτης 18, υπερτιθεμένη εικόνα.



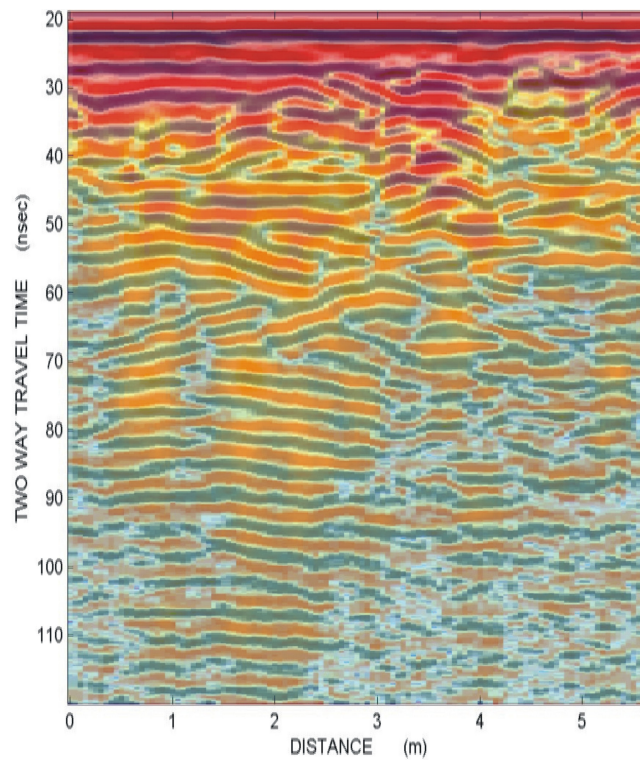
Γραμμή μελέτης 19, υπερτιθεμένη εικόνα



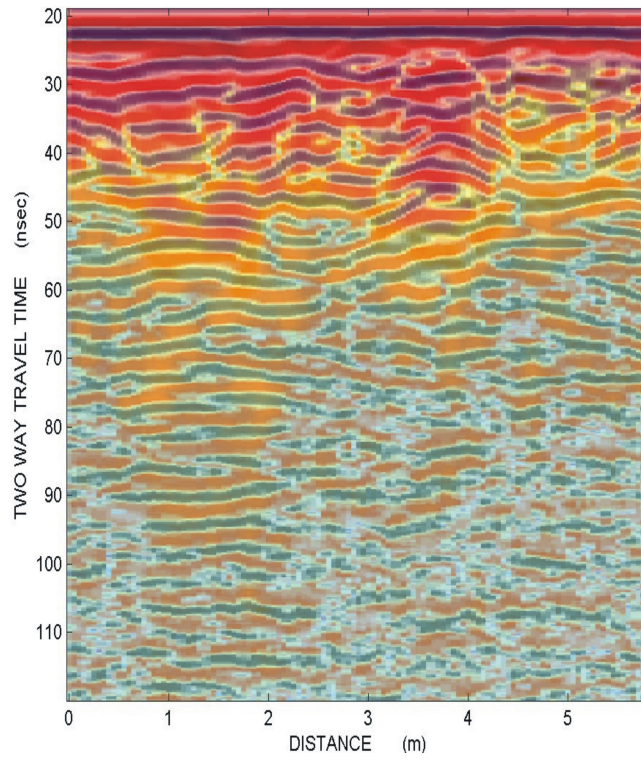
Γραμμή μελέτης 20, υπερτιθεμένη εικόνα



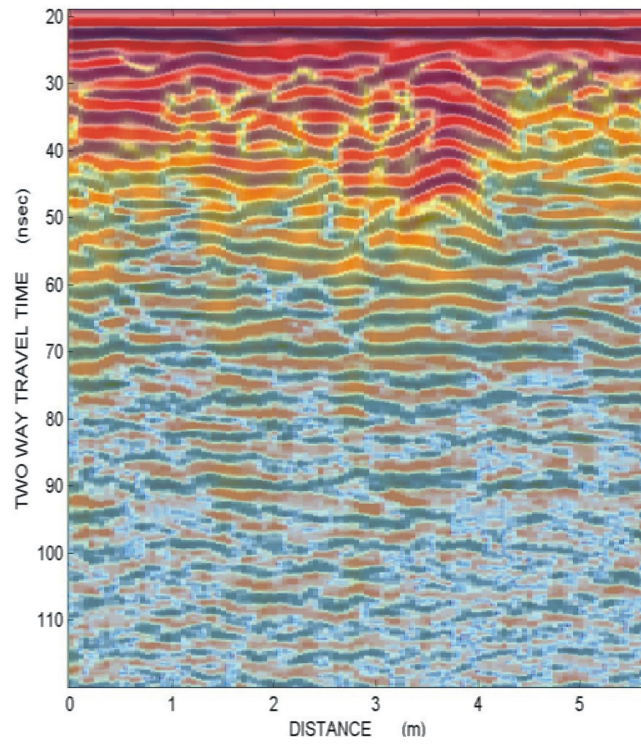
Γραμμή μελέτης 21, υπερτιθεμένη εικόνα



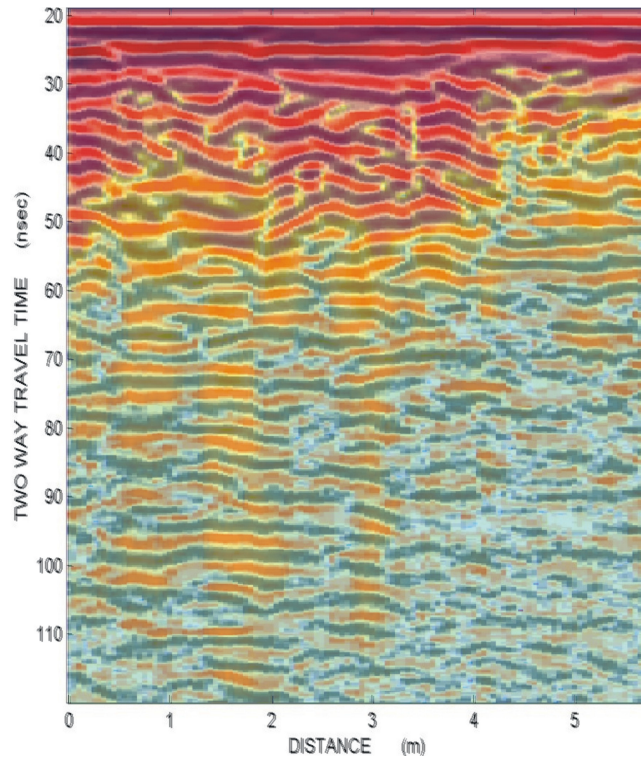
Γραμμή μελέτης 22, υπερτιθεμένη εικόνα



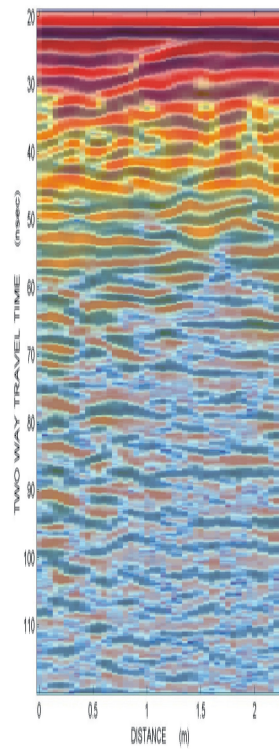
Γραμμή μελέτης 23, υπερτιθεμένη εικόνα



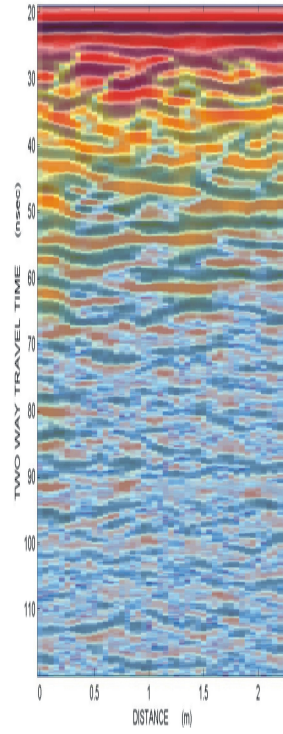
Γραμμή μελέτης 24, υπερτιθεμένη εικόνα



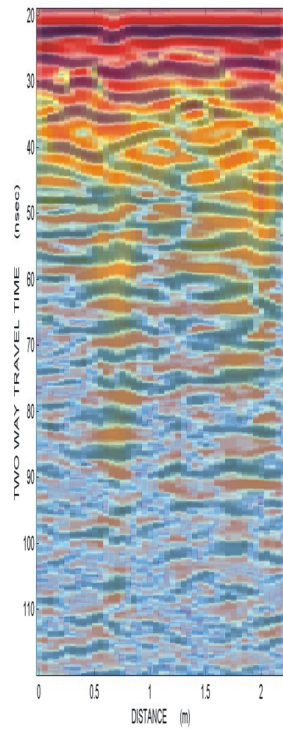
Γραμμή μελέτης 25, υπερτιθεμένη εικόνα



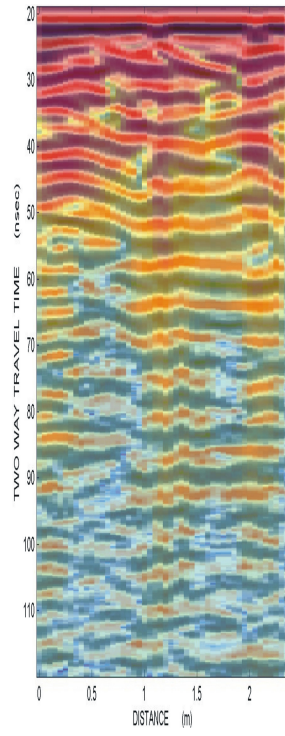
Γραμμή μελέτης 26, υπερτιθεμένη εικόνα



Γραμμή μελέτης 27, υπερτιθεμένη εικόνα

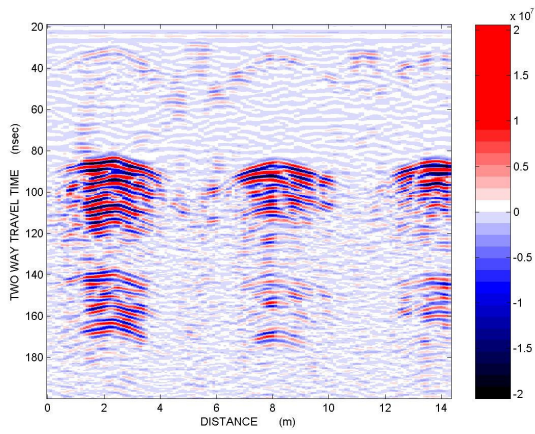


Γραμμή μελέτης 28, υπερτιθεμένη εικόνα

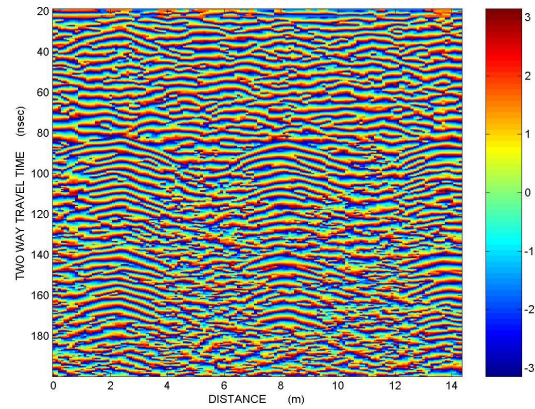


Γραμμή μελέτης 29, υπερτιθεμένη εικόνα

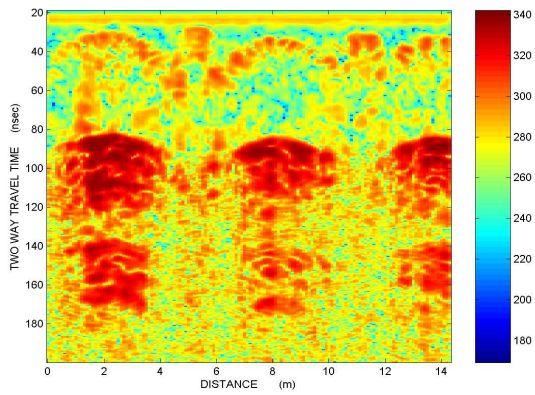
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΠΤΕΡΑ



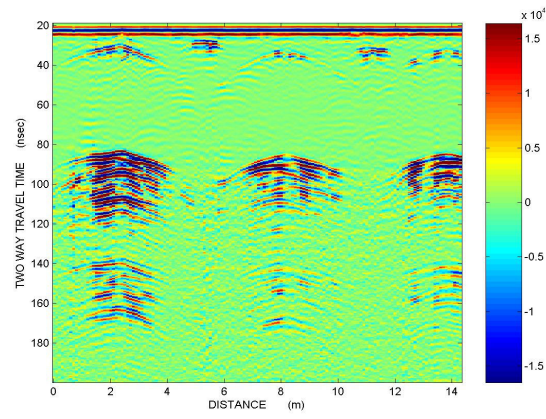
Γραμμή μελέτης 1 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



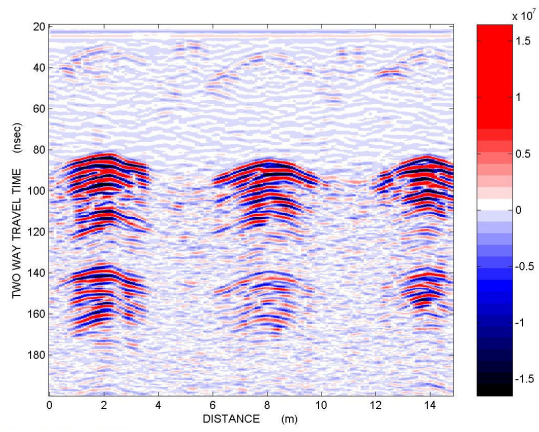
Γραμμή μελέτης 1 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



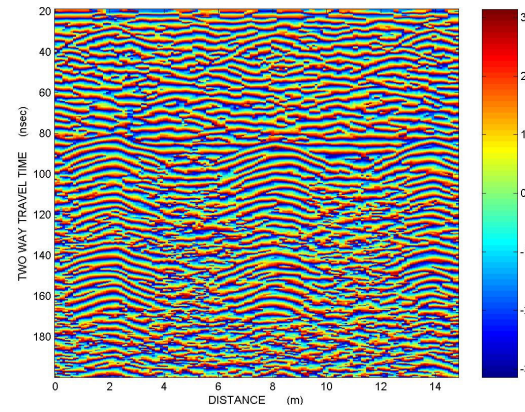
Γραμμή μελέτης 1 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



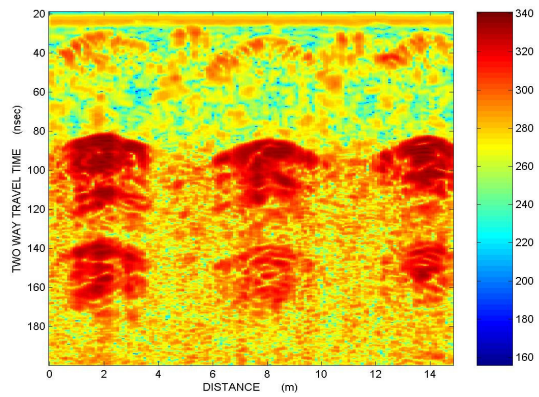
Γραμμή μελέτης 1, ακατέργαστη εικόνα



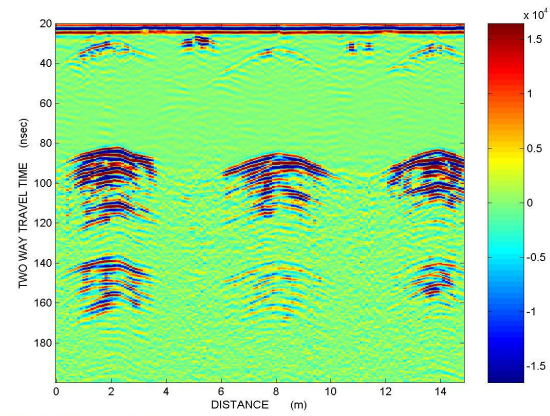
Γραμμή μελέτης 2 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



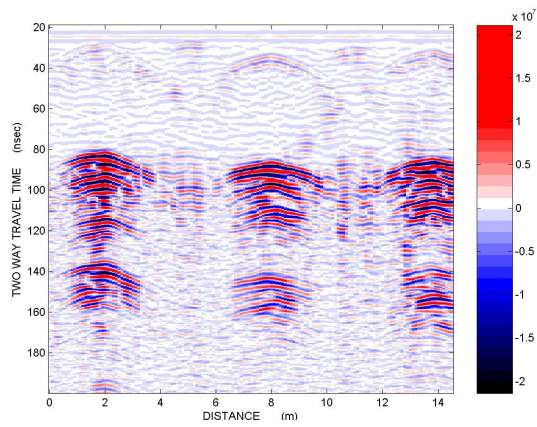
Γραμμή μελέτης 2 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



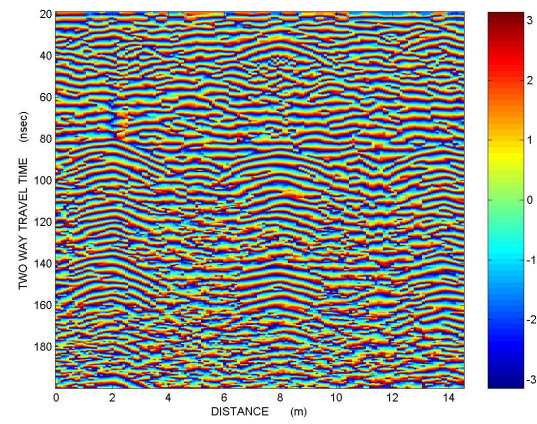
Γραμμή μελέτης 2 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



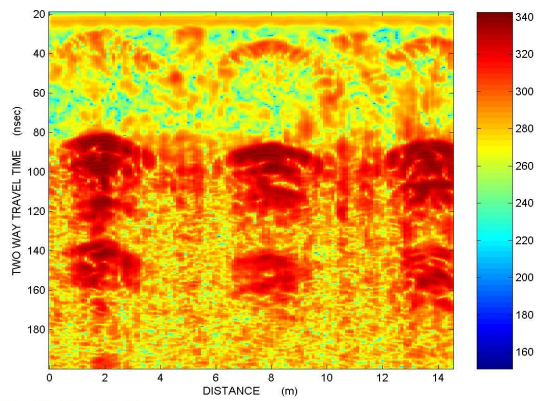
Γραμμή μελέτης 2, ακατέργαστη εικόνα



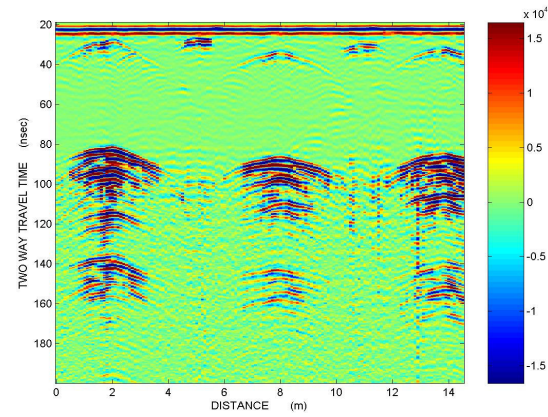
Γραμμή μελέτης 3 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



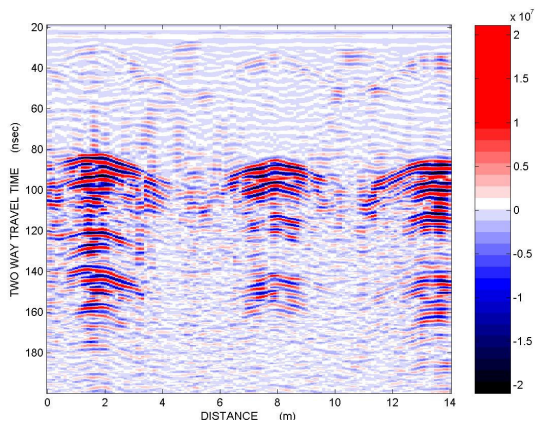
Γραμμή μελέτης 3 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



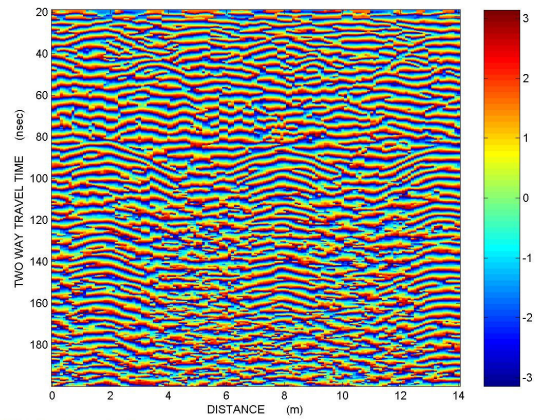
Γραμμή μελέτης 3 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



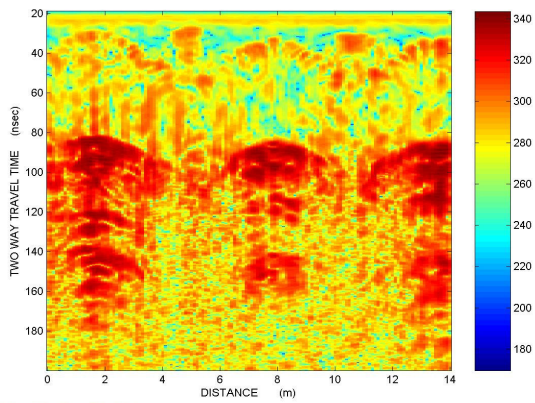
Γραμμή μελέτης 3, ακατέργαστη εικόνα



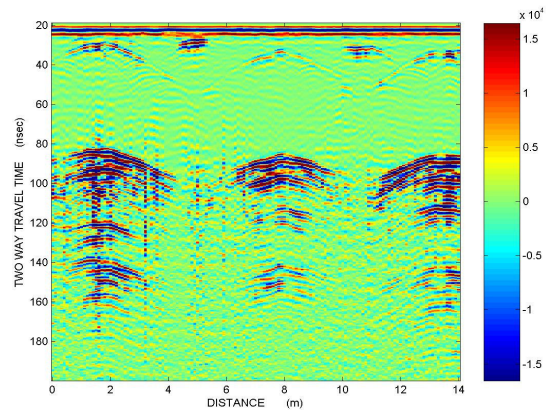
Γραμμή μελέτης 4 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



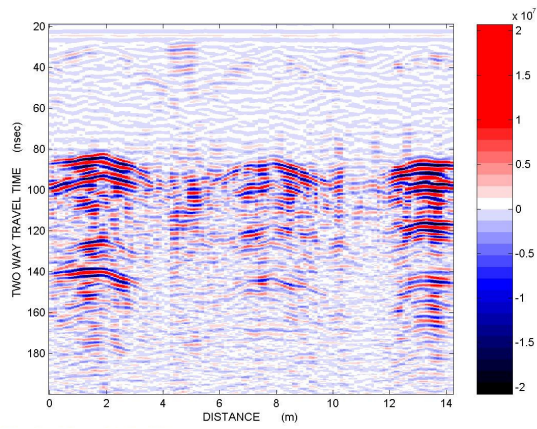
Γραμμή μελέτης 4 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



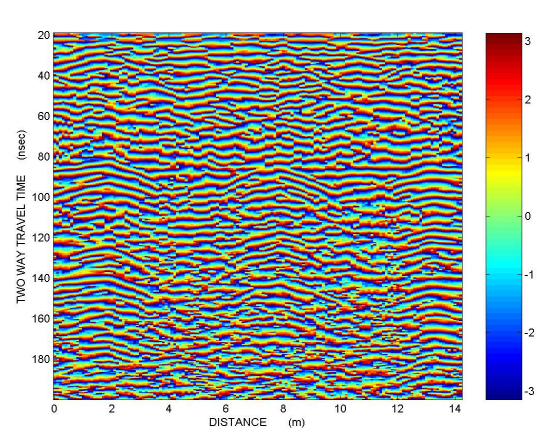
Γραμμή μελέτης 4 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



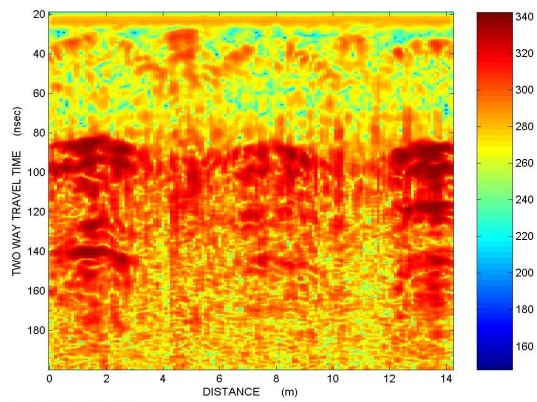
Γραμμή μελέτης 4, ακατέργαστη εικόνα



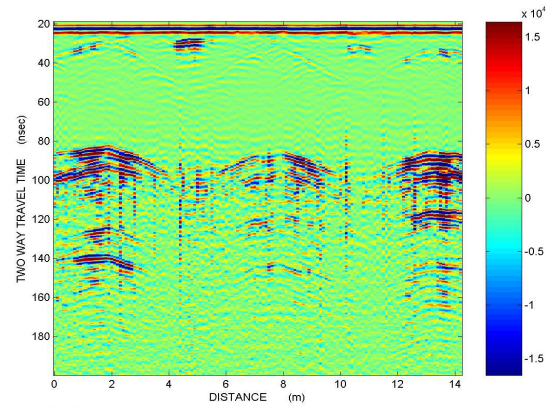
Γραμμή μελέτης 5 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



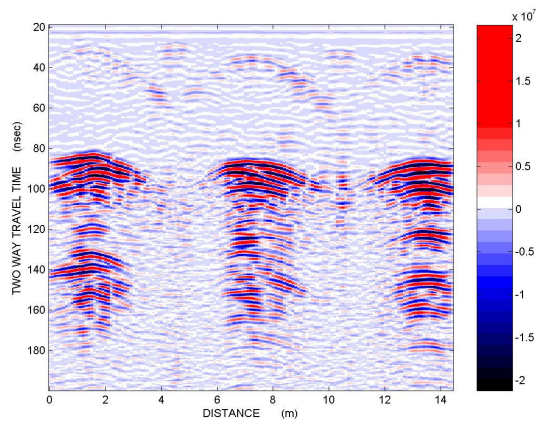
Γραμμή μελέτης 5 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



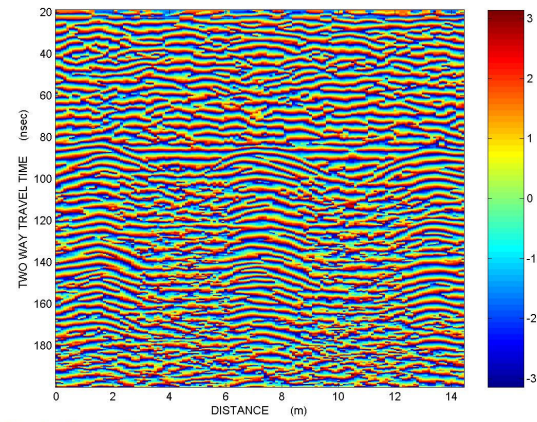
Γραμμή μελέτης 5 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



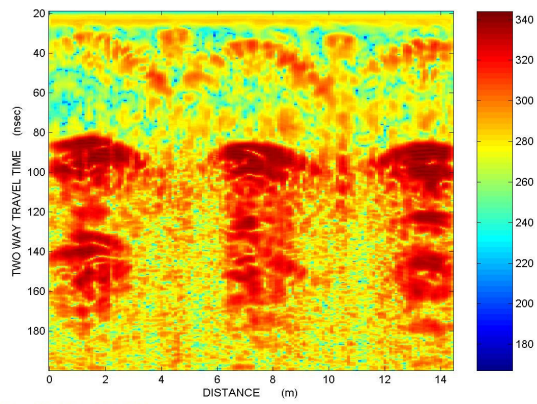
Γραμμή μελέτης 5, ακατέργαστη εικόνα



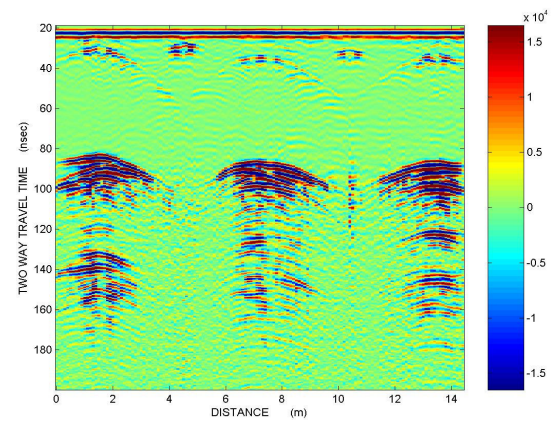
Γραμμή μελέτης 6 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



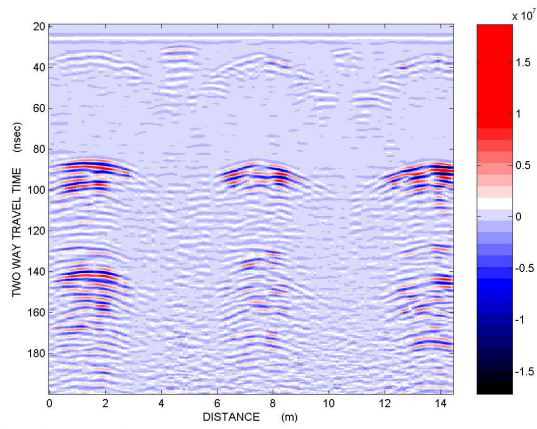
Γραμμή μελέτης 6 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



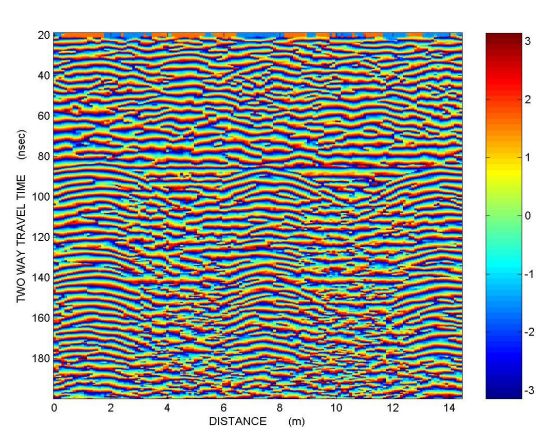
Γραμμή μελέτης 6 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



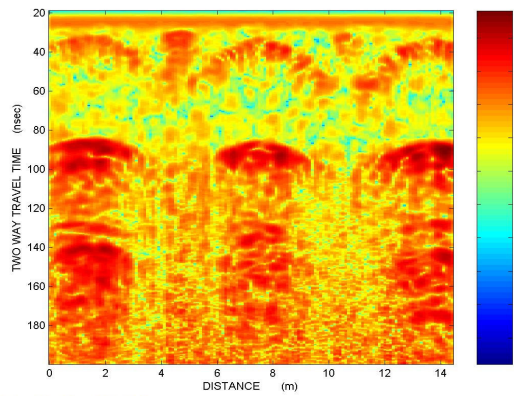
Γραμμή μελέτης 6, ακατέργαστη εικόνα



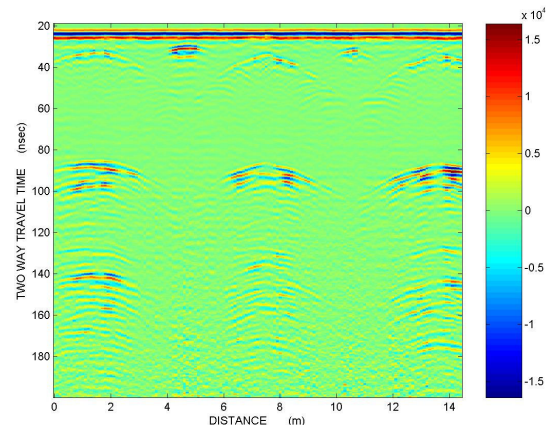
Γραμμή μελέτης 7 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



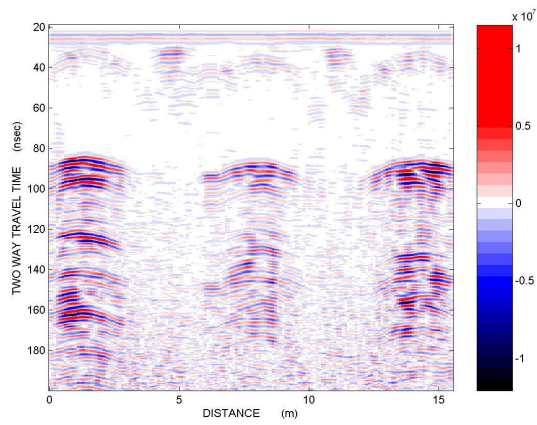
Γραμμή μελέτης 7 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



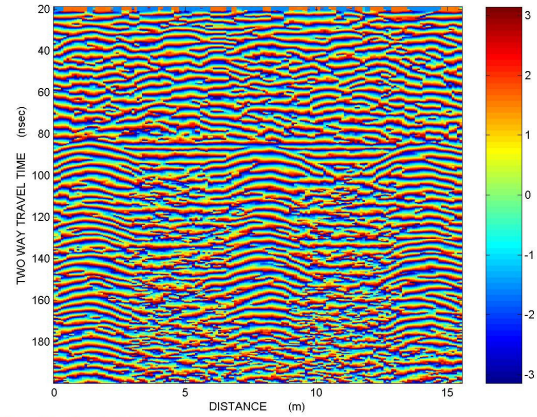
Γραμμή μελέτης 7 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



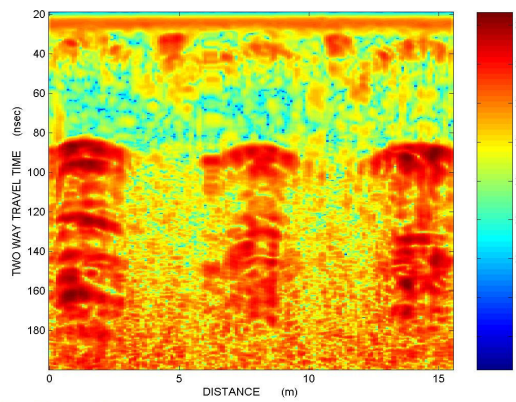
Γραμμή μελέτης 7, ακατέργαστη εικόνα



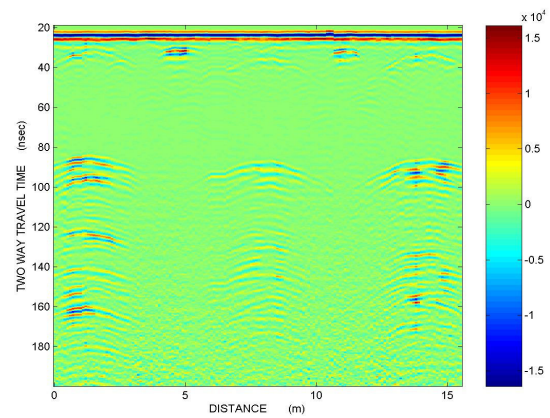
Γραμμή μελέτης 8 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



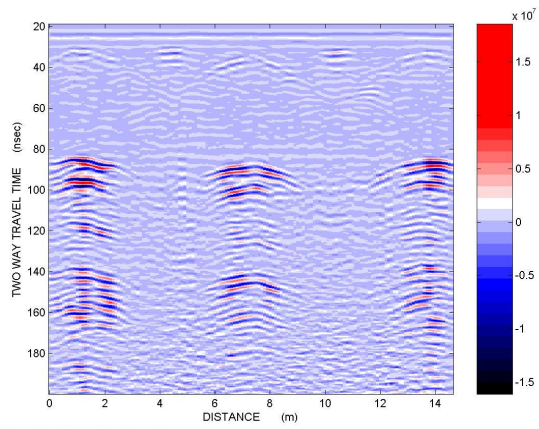
Γραμμή μελέτης 8 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



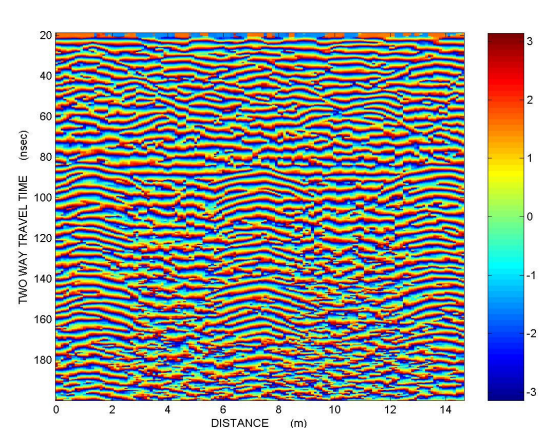
Γραμμή μελέτης 8 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



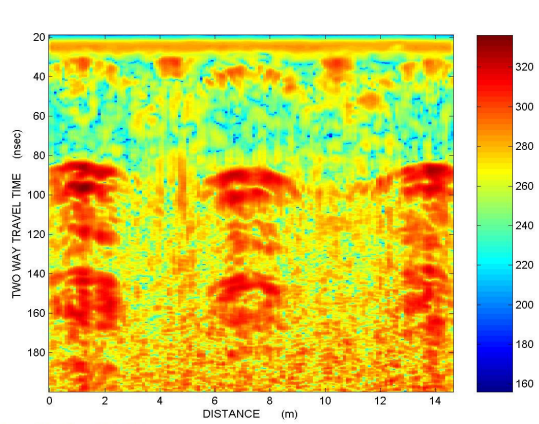
Γραμμή μελέτης 8, ακατέργαστη εικόνα



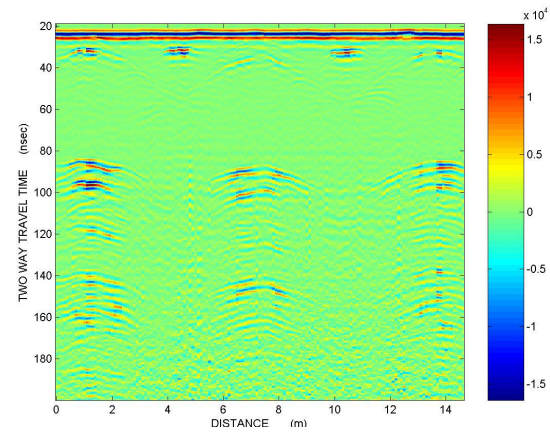
Γραμμή μελέτης 9 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



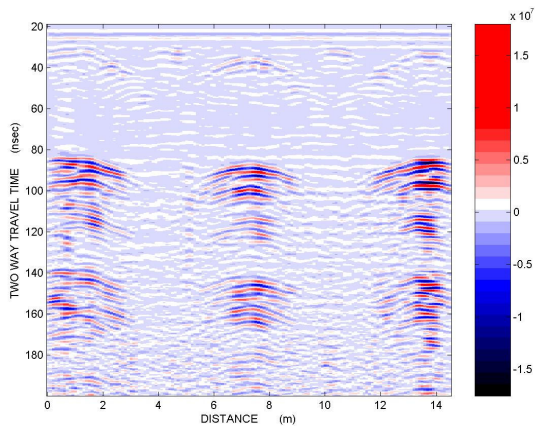
Γραμμή μελέτης 9 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



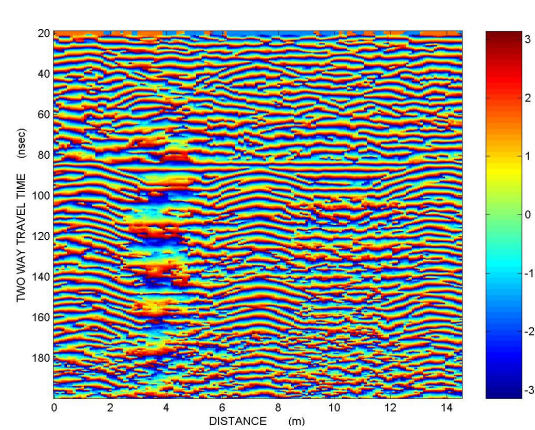
Γραμμή μελέτης 9 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



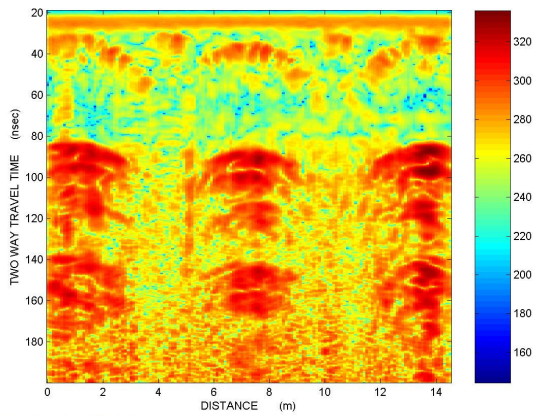
Γραμμή μελέτης 9, ακατέργαστη εικόνα



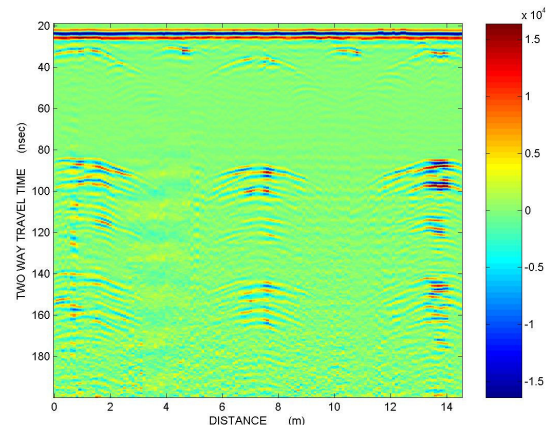
Γραμμή μελέτης 10 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



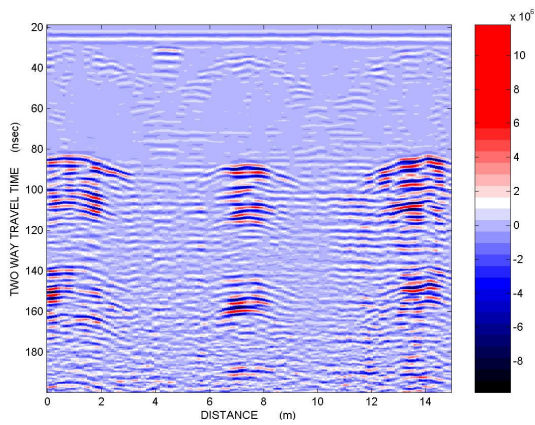
Γραμμή μελέτης 10 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase



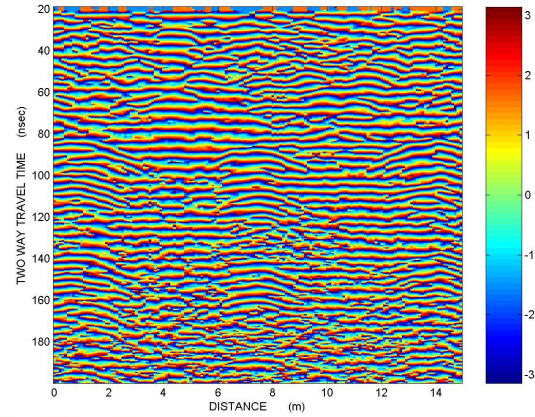
Γραμμή μελέτης 10 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope



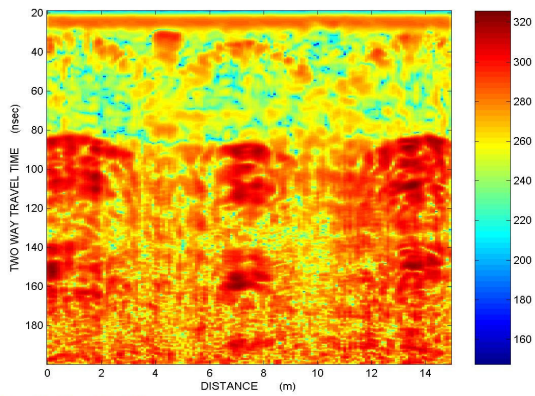
Γραμμή μελέτης 10, ακατέργαστη εικόνα



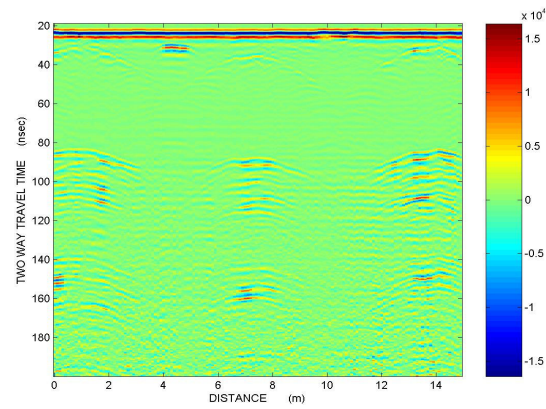
Γραμμή μελέτης 11 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, κλίμακα Seismic



Γραμμή μελέτης 11 με φίλτρα BNR, SEC, Average Filter, Instantaneous Phase

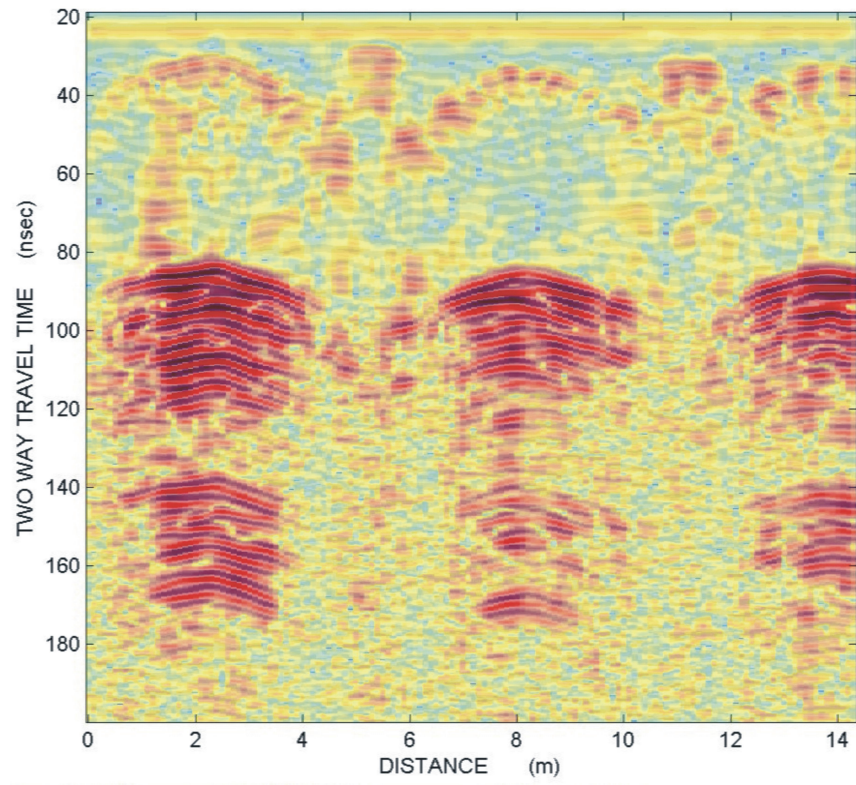


Γραμμή μελέτης 11 με φίλτρα Dewow, SEC, Average Filter, DB Instantaneous Envelope

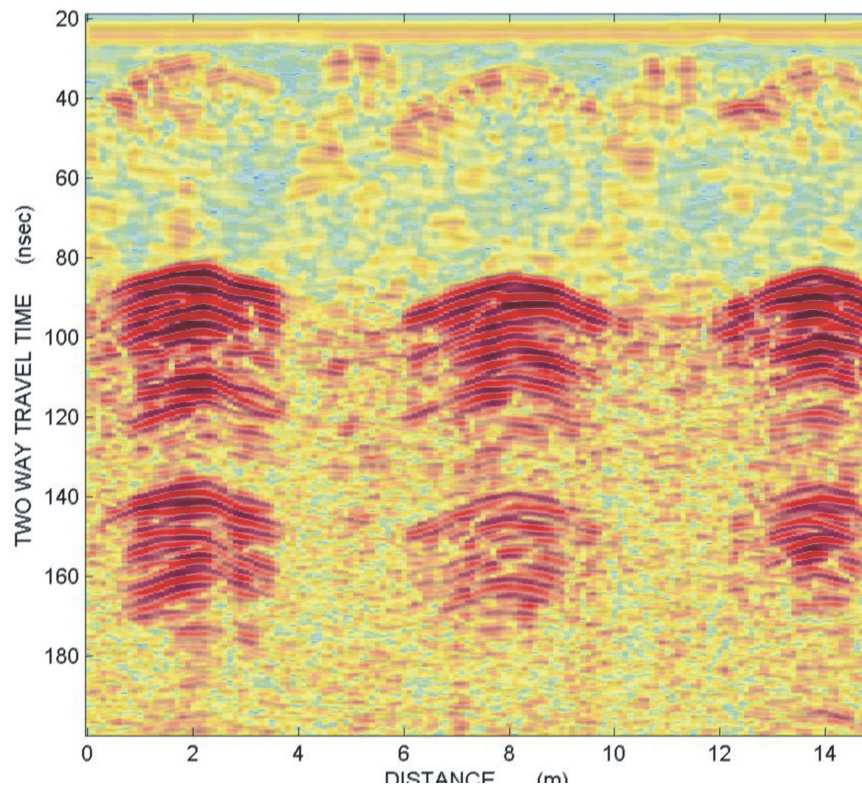


Γραμμή μελέτης 11, ακατέργαστη εικόνα

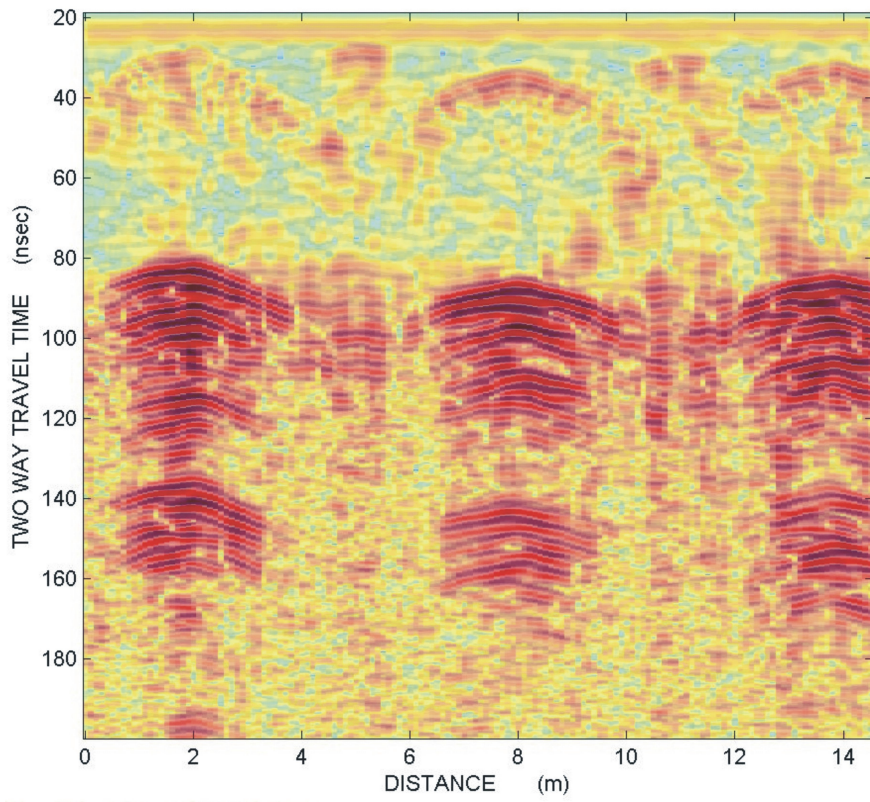
Πρώτη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων



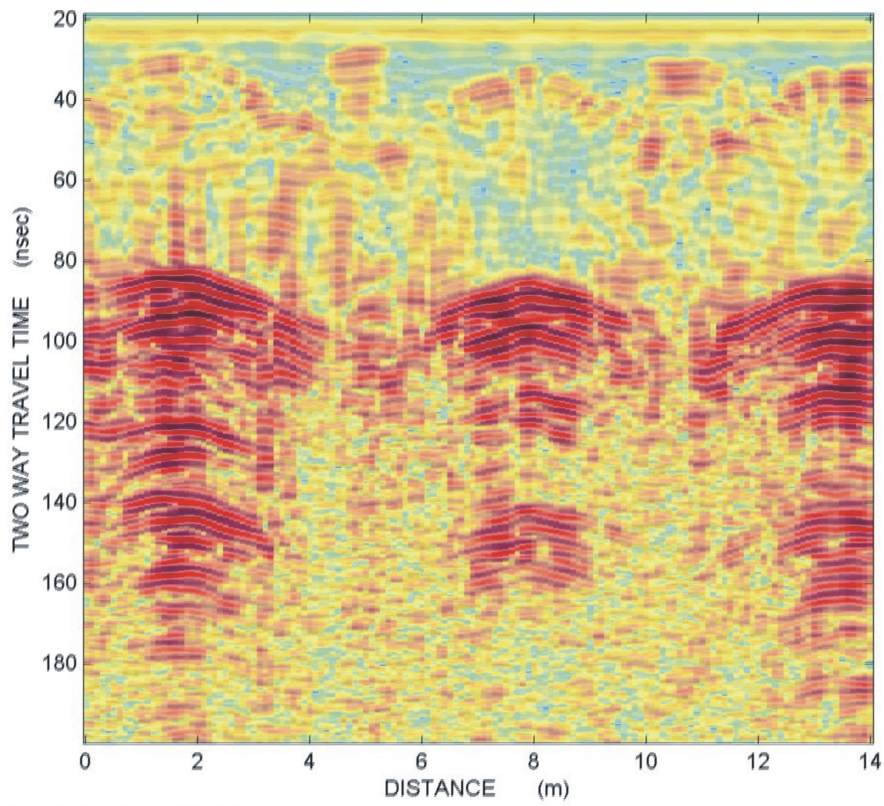
Γραμμή μελέτης 1, υπερτιθεμένη εικόνα



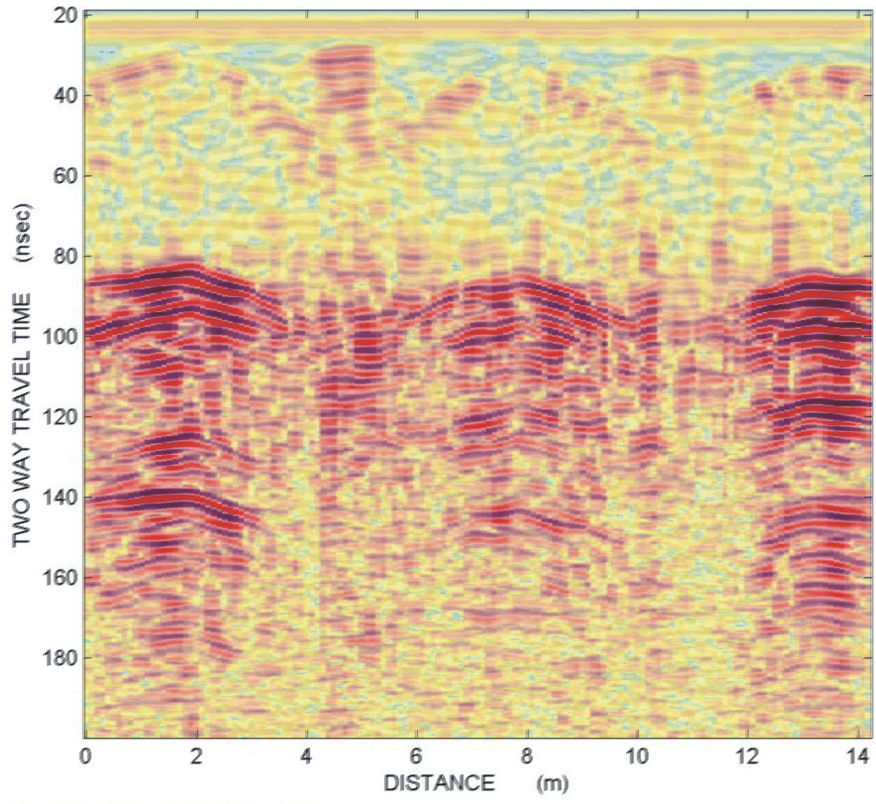
Γραμμή μελέτης 2, υπερτιθεμένη εικόνα



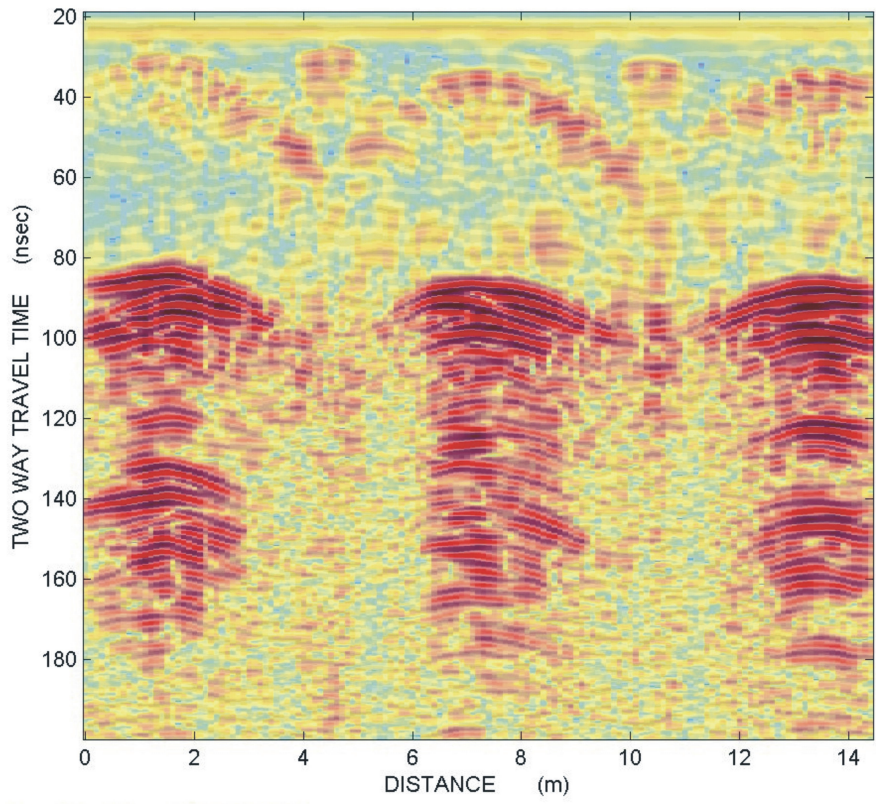
Γραμμή μελέτης 3, υπερτιθεμένη εικόνα



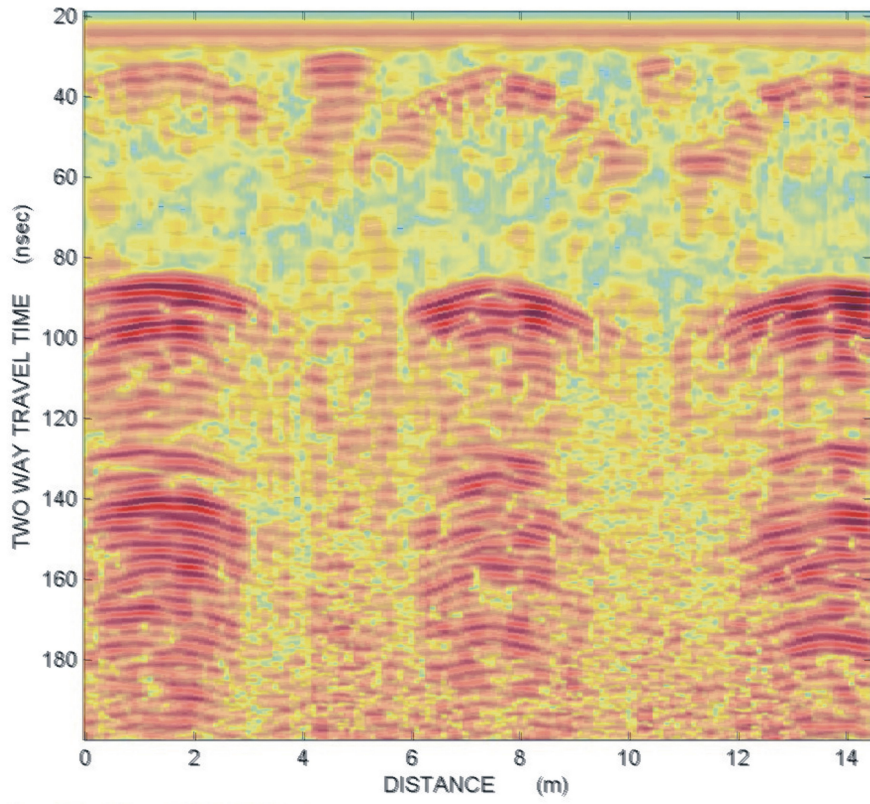
Γραμμή μελέτης 4, υπερτιθεμένη εικόνα



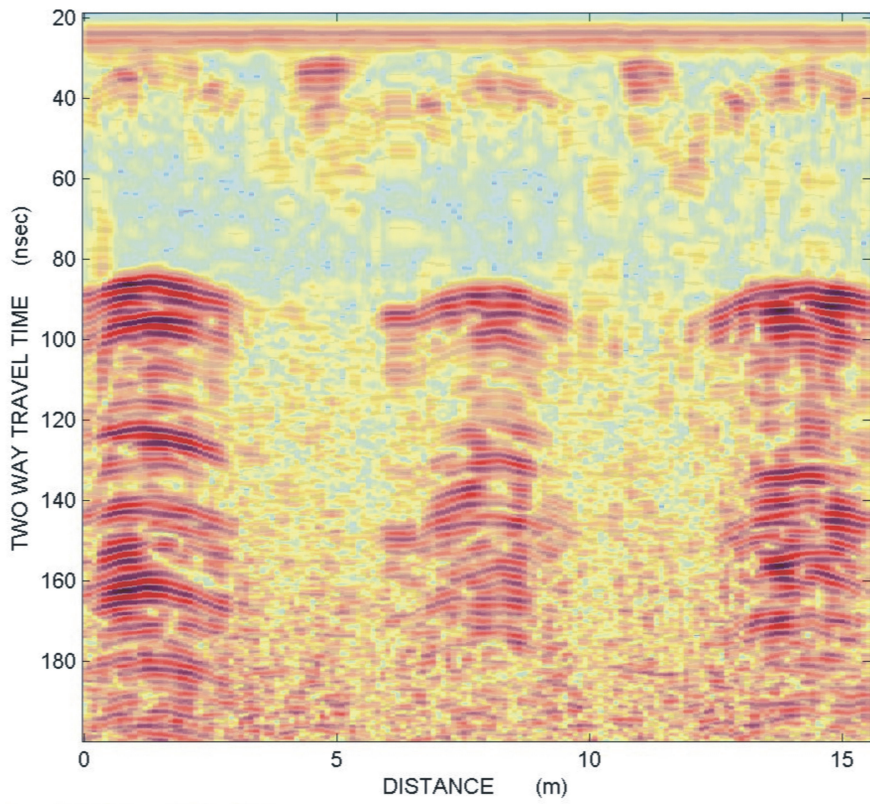
Γραμμή μελέτης 5, υπερτιθεμένη εικόνα



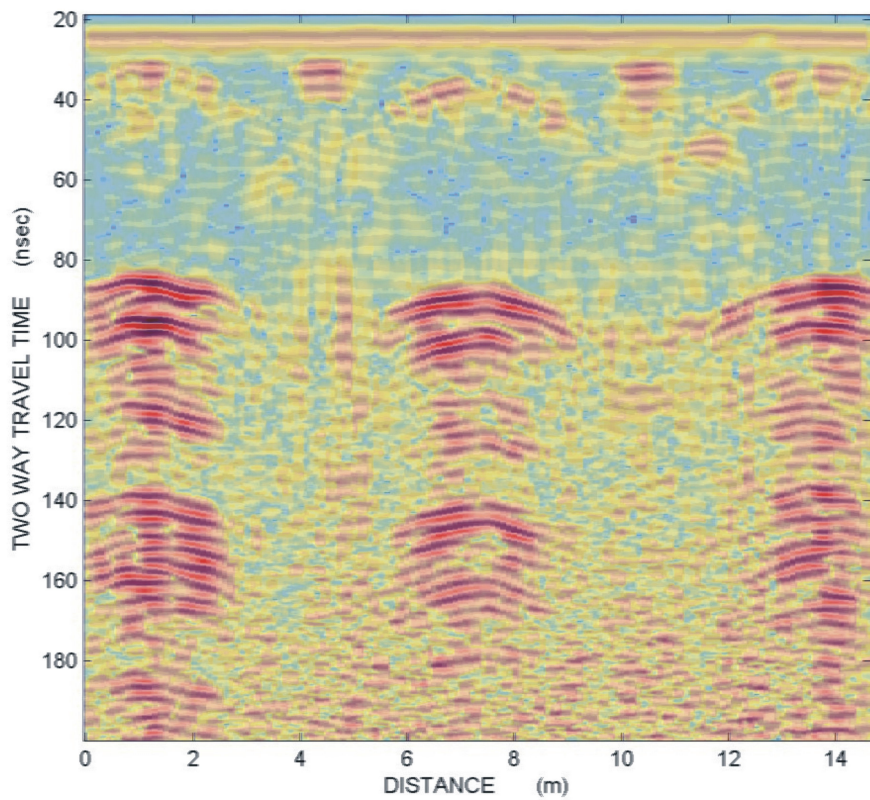
Γραμμή μελέτης 6, υπερτιθεμένη εικόνα



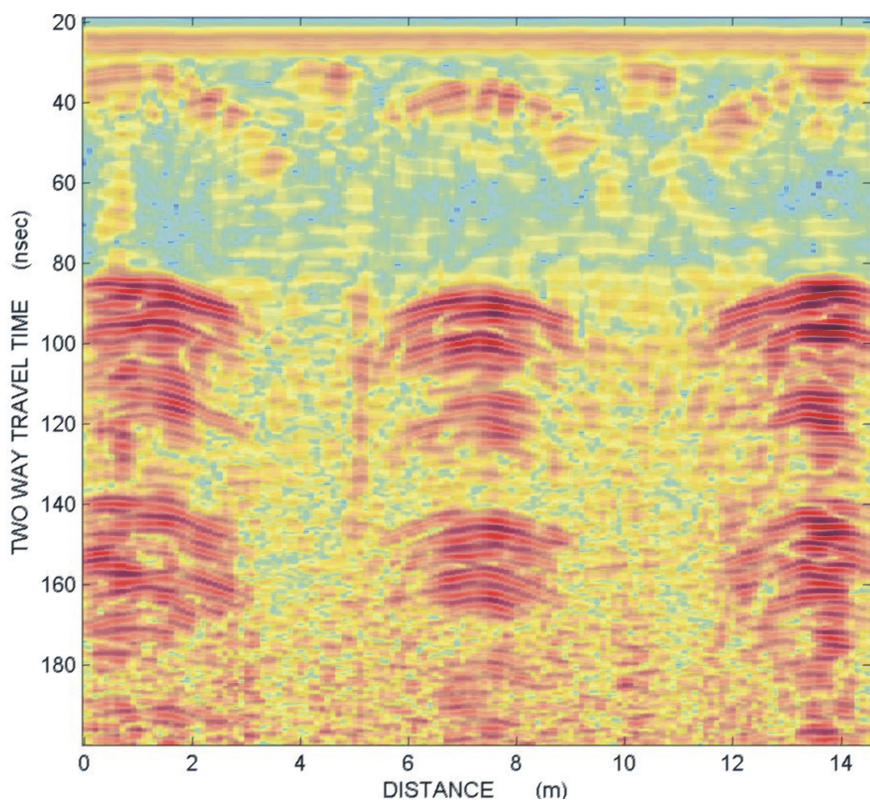
Γραμμή μελέτης 7, υπερτιθεμένη εικόνα



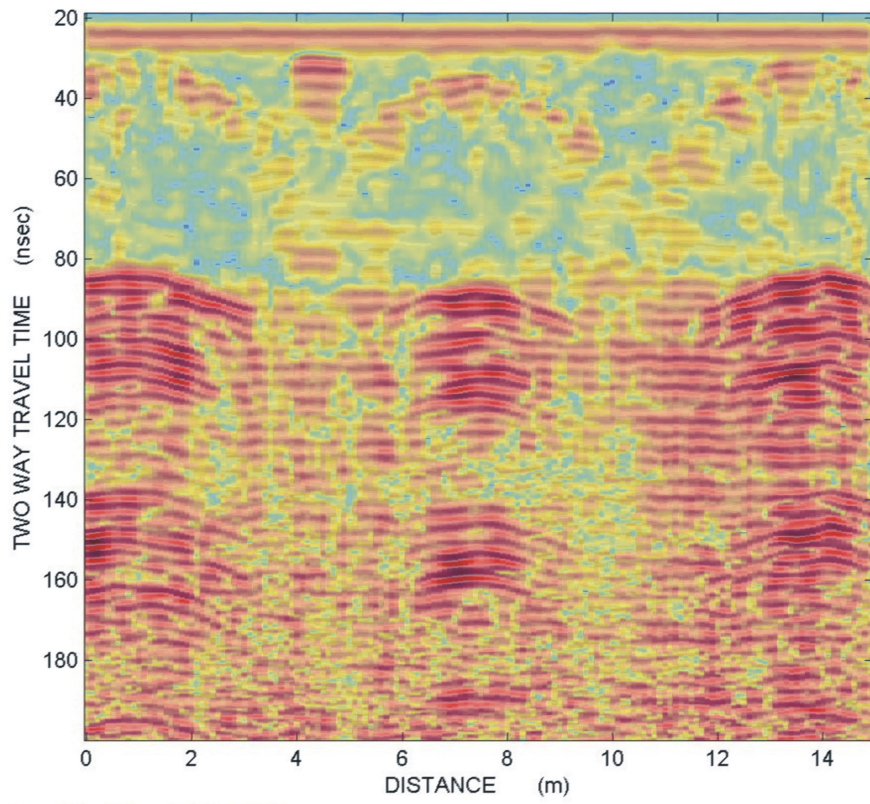
Γραμμή μελέτης 8, υπερτιθεμένη εικόνα



Γραμμή μελέτης 9, υπερτιθεμένη εικόνα

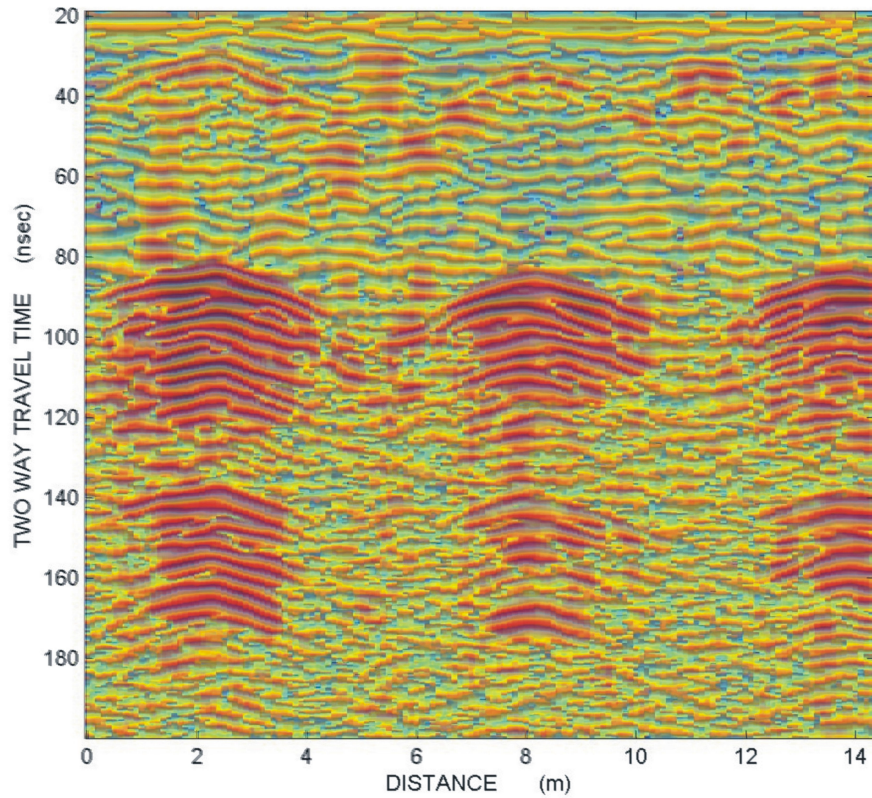


Γραμμή μελέτης 10, υπερτιθεμένη εικόνα

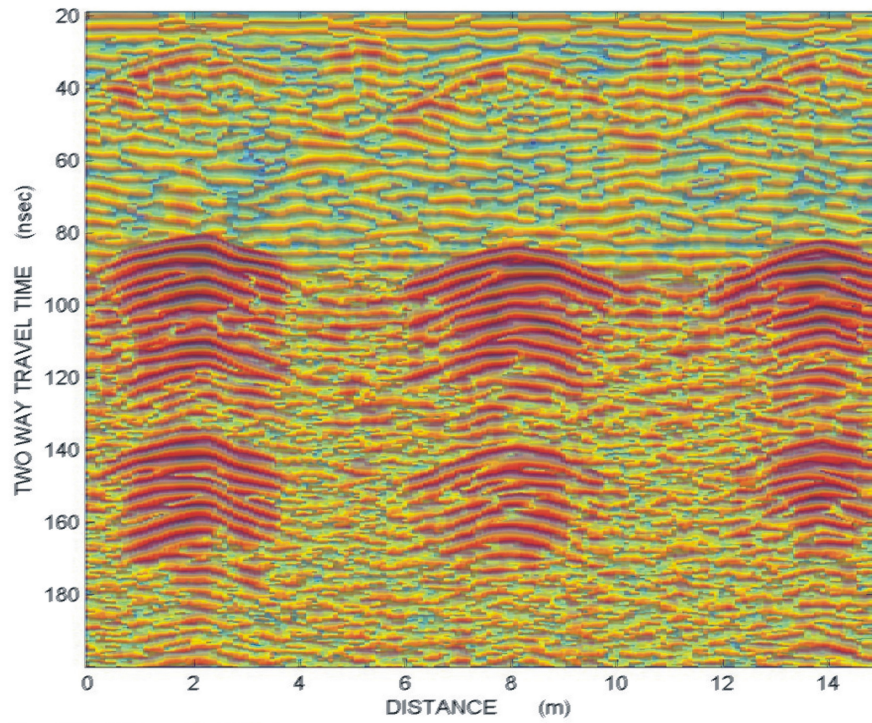


Γραμμή μελέτης 11, υπερτιθεμένη εικόνα

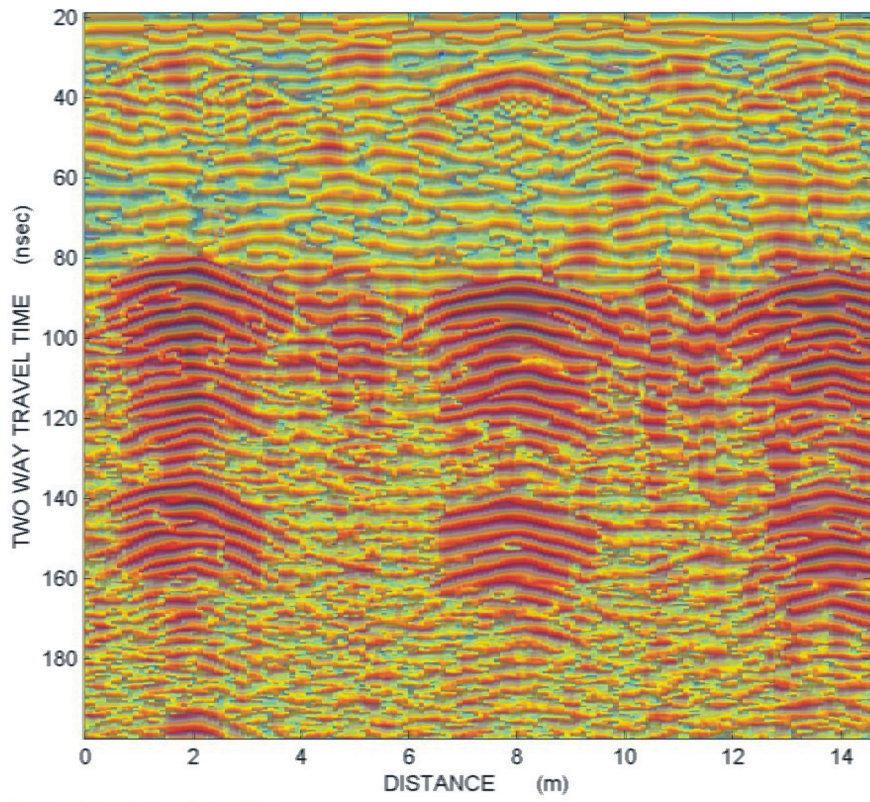
Δεύτερη ομάδα υπερτιθεμένων εικόνων



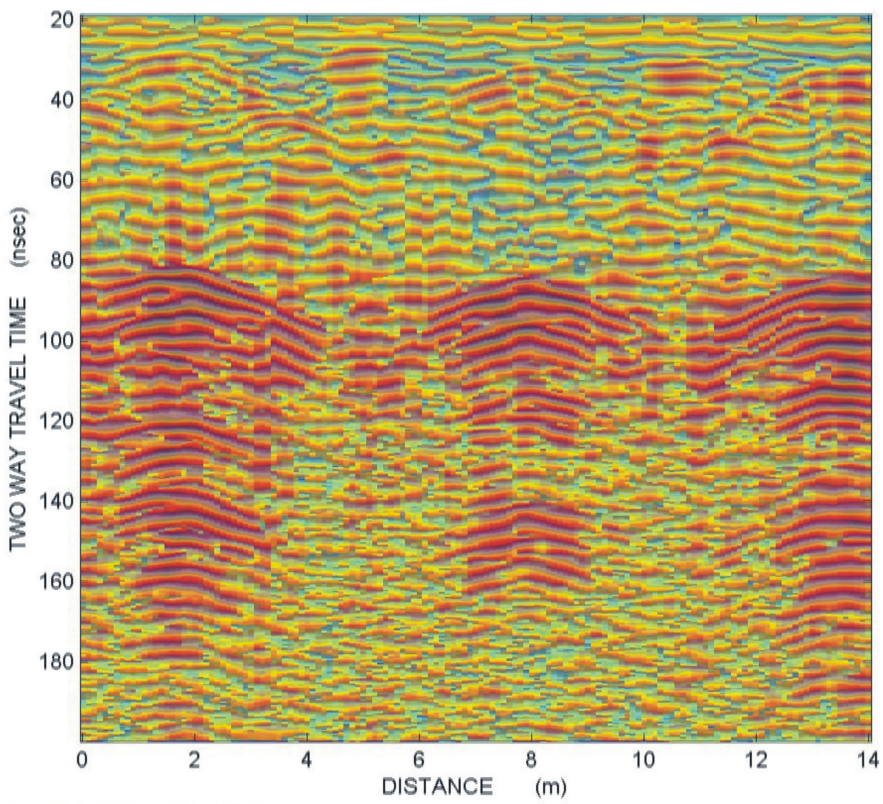
Γραμμή μελέτης 1, υπερτιθεμένη εικόνα



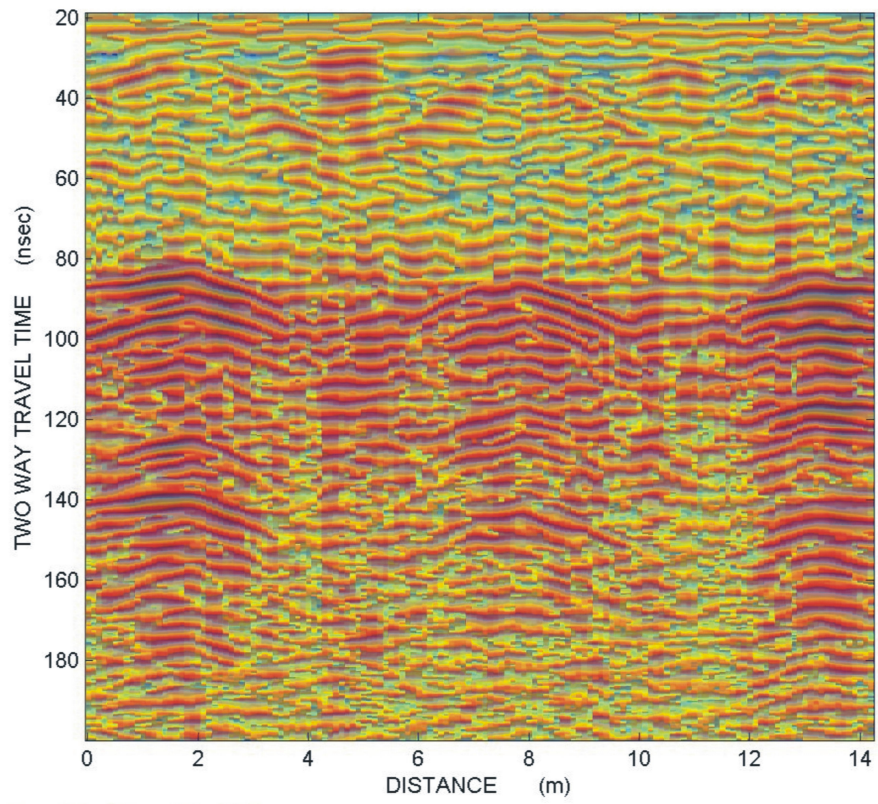
Γραμμή μελέτης 2, υπερτιθεμένη εικόνα



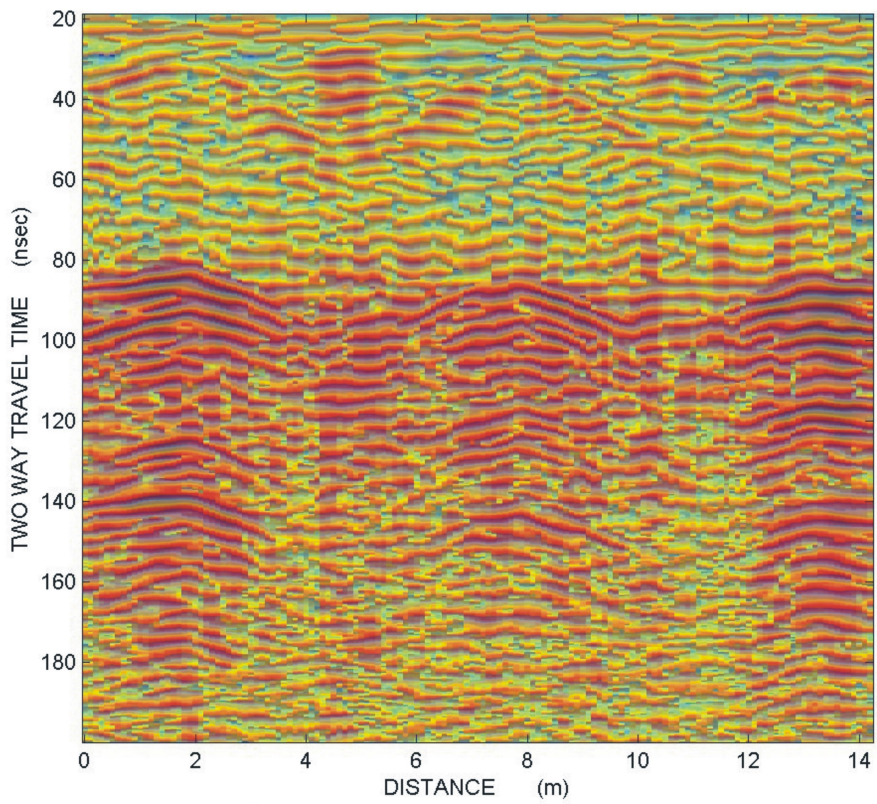
Γραμμή μελέτης 3, υπερτιθεμένη εικόνα



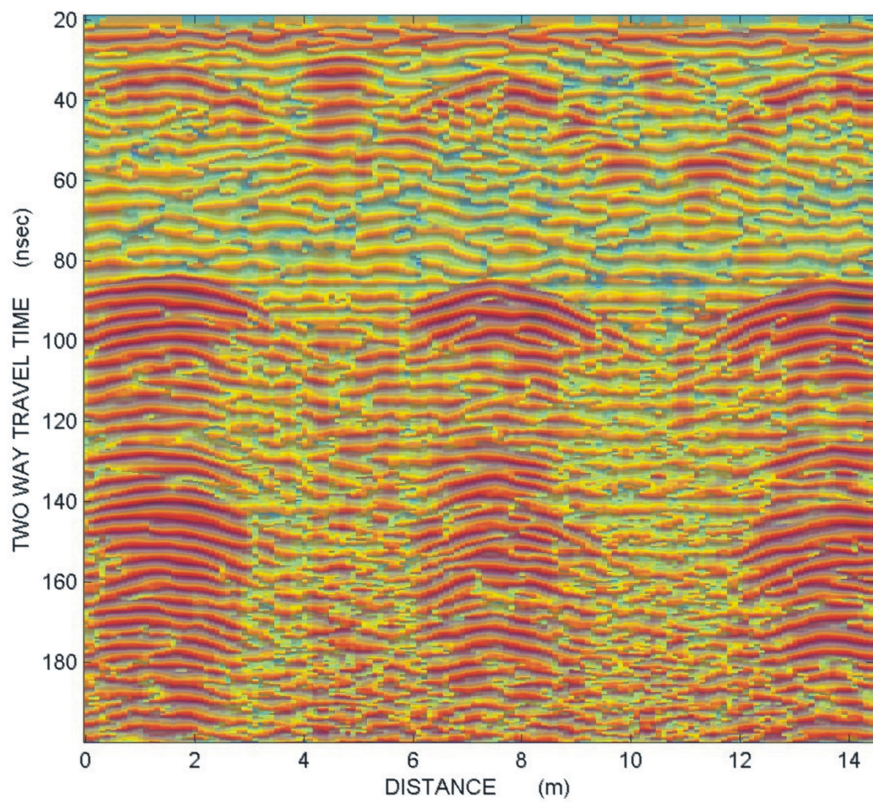
Γραμμή μελέτης 4, υπερτιθεμένη εικόνα



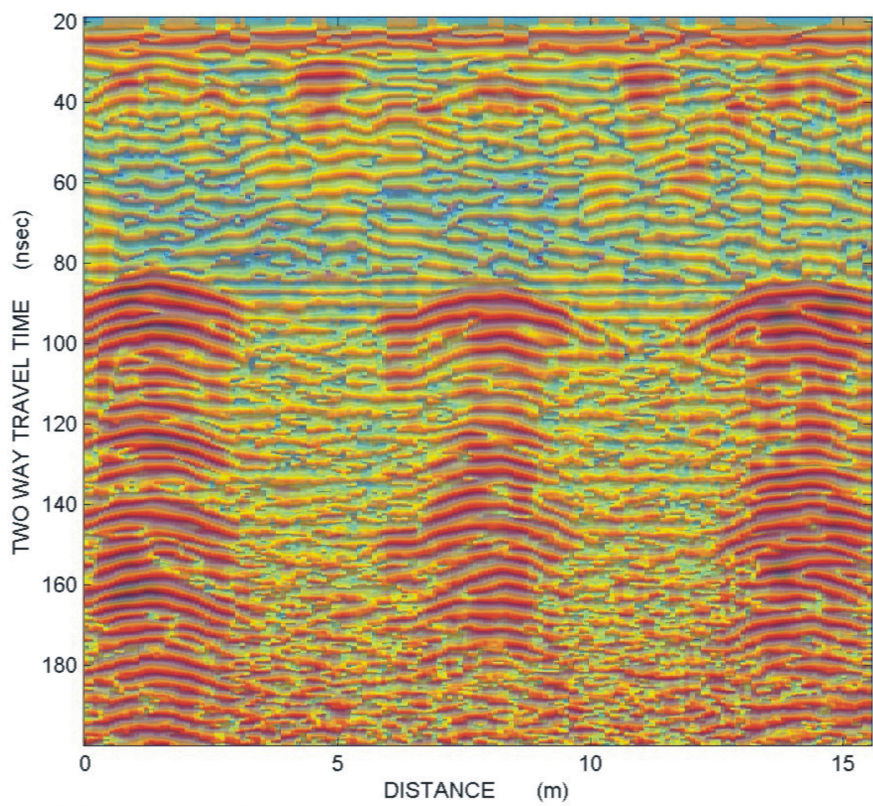
Γραμμή μελέτης 5, υπερτιθεμένη εικόνα



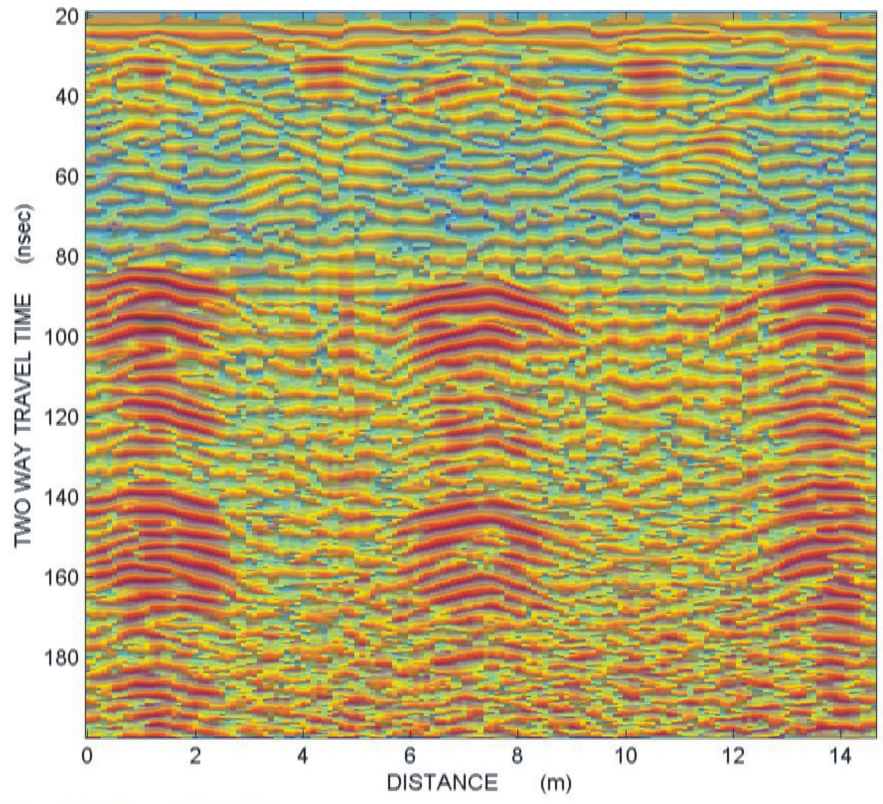
Γραμμή μελέτης 6, υπερτιθεμένη εικόνα



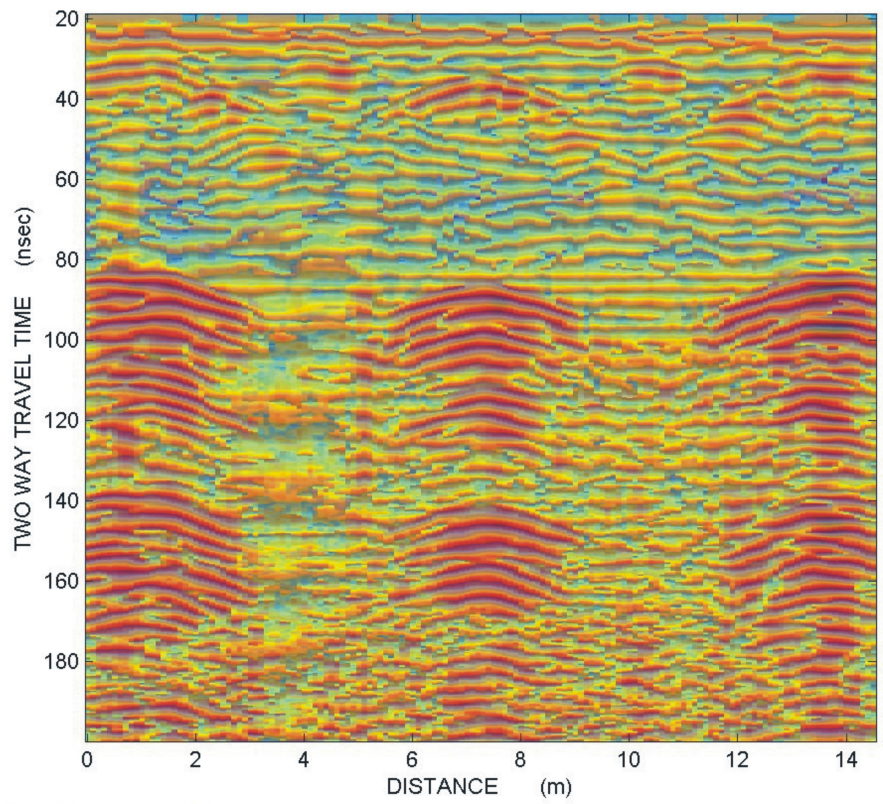
Γραμμή μελέτης 7, υπερτιθεμένη εικόνα



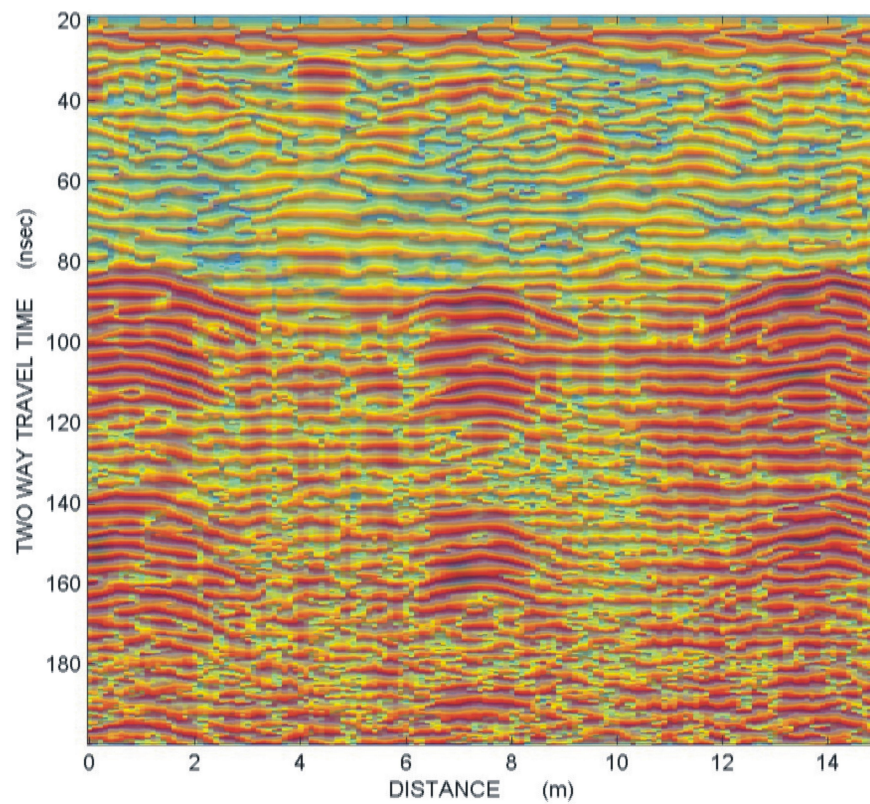
Γραμμή μελέτης 8, υπερτιθεμένη εικόνα



Γραμμή μελέτης 9, υπερτιθεμένη εικόνα



Γραμμή μελέτης 10, υπερτιθεμένη εικόνα



Γραμμή μελέτης 11, υπερτιθεμένη εικόνα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. D. J. Daniels, 1996, *Surface–Penetrating Radar*, Institution of Electrical Engineers
2. Hamdan H., 2004, *Ανάπτυξη μεθόδου εξασθένησης πολλαπλά ανακλώμενων κυμάτων σε καταγραφές γεωραντάρ και εφαρμογές σε περιβαλλοντικά προβλήματα*, διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.
3. Σπανουδάκης Ν., 2001, *Συμβολή του υπεδάφειου ραντάρ στην ανίχνευση στόχων μικρών διαστάσεων*, διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.
4. Σηφακάκης Ε.Π., 1999, *Μελέτη του μνημείου του Οκταβιανού με τη χρήση του υπεδάφειου ραντάρ στον αρχαιολογικό χώρο της Νικόπολης*, διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.
5. Χορευτάκη Γ.Ε., 2006, *Ανάπτυξη μεθόδου επεξεργασίας δεδομένων γεωραντάρ για τον εντοπισμό διακένων και εγκοίλων σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. Εφαρμογή σε δεδομένα από το λατομείο Ζωφόρων, Ν. Ηρακλείου*, μεταπτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.
6. Παπαβασιλείου Α., 2004, *Ανάπτυξη μεθόδων επεξεργασίας δεδομένων γεωραντάρ με την χρήση νευρωνικών δικτύων - Εφαρμογές σε περιβαλλοντικά προβλήματα*, διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.