



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

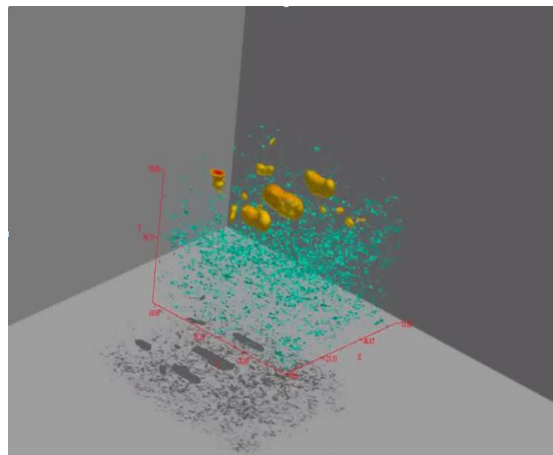
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ GPR ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ  
ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ 3D-KIRCHHOFF. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ  
ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΕ SANDBOX

---



### ΡΩΣΙΟΣ ΗΡΩΔΙΩΝ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, Καθηγητής, Π.Κ (επιβλέπων)

ΣΟΥΠΙΟΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ, Καθηγητής, Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Δρ. ΣΠΑΝΟΥΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Ε.ΔΙ.Π., Π.Κ

Χανιά, Ιούνιος 2017

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε στην Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Πραγματοεύεται την επεξεργασία και την αξιολόγηση των δεδομένων γεωραντάρ με τη μέθοδο τρισδιάστατης χωροθέτησης Kirchhoff.

Επιβλέπον της εργασίας διετέλεσε ο Καθηγητής κ. Αντώνης Βαφείδης. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά, αφενός για την συμβολή και τη συνεχή καθοδήγηση του σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, και αφετέρου για την ευκαιρία που μου έδωσε να παρουσιάσω την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία σε ημερίδα γεωφυσικών εργαστηρίων στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της επιτροπής κ. Παντελή Σουπιό και κ. Νικόλαο Σπανουδάκη για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή. Ειδικότερα τον κ. Νικόλαο Σπανουδάκη, ο οποίος με τις γνώσεις του και τις καίριες παρεμβάσεις του βοήθησε σημαντικά στην υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Νικόλαο Οικονόμου, που ήταν πάντα πρόθυμος να βοηθήσει, παρέχοντας πολύτιμες συμβουλές και χρόνο, συντελώντας στην πραγματοποίηση της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Ανδρονικίδη για την συνολική βοήθεια και την αρίστη συνεργασία που είχαμε.

Τέλος, αφιερώνω την διπλωματική εργασία στους γονείς μου και τον αδερφό μου. Τους ευχαριστώ θερμά, τόσο για την οικονομική όσο και την ηθική υποστήριξη που προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, και με βοήθησαν να φτάσω μέχρι εδώ που βρίσκομαι.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η αξιολόγηση της επεξεργασίας δεδομένων γεωραντάρ με τη μέθοδο χωροθέτησης 3D-Kirchhoff, καθώς και η σύγκριση της τρισδιάστατης με την δισδιάστατη μέθοδο χωροθέτησης.

Τα δεδομένα του γεωραντάρ συλλέχθηκαν σε δεξαμενή γεμάτη με άμμο, και μέσα στην άμμο τοποθετήθηκαν διάφορα αντικείμενα. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κατά μήκος 71 παράλληλων γραμμών μελέτης. Πρώτα, διασκοπήθηκε η δεξαμενή χωρίς νερό, στην συνέχεια επαναλήφθηκε το πείραμα με την στάθμη του νερού στα 72cm και 48cm.

Αρχικά έγινε απεικόνιση των τριών σετ δεδομένων και υπολογίστηκε η χαρακτηριστική ταχύτητα διάδοσης των Η/Μ κυμάτων με το πρόγραμμα `matgpr`. Για καλύτερη απεικόνιση των τομών, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα `rockworks`, δημιουργώντας τρισδιάστατη εικόνα. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε χωροθέτηση χρησιμοποιώντας αλγόριθμους Kirchhoff για δύο και τρεις διαστάσεις. Αυτή η μέθοδος ανέδειξε στόχους οι οποίοι δεν ήταν ορατοί. Στο τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα `transform 3D` για την τρισδιάστατη αναπαράσταση του όγκου των χωροθετημένων δεδομένων. Το μιγαδικό χαρακτηριστικό στιγμιαίου πλάτους σε κλίμακα dB (dB based Reflection Strength) ανέδειξε τον υδροφόρο ορίζοντα.

Η 3D χωροθέτηση πλεονεκτεί της 2D καθώς αναδεικνύει με καλύτερη ανάλυση τους θαμμένους στόχους συγκεντρώνοντας την ενέργεια των περιθλώμενων από αυτούς κυμάτων στη θέση του στόχου.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	6
1.1 Ιστορία του γεωραντάρ .....	6
1.2 Εφαρμογές.....	7
1.3 Αρχή λειτουργίας του γεωραντάρ .....	7
1.4 Ηλεκτρομαγνητικά κύματα .....	8
1.5 Γεωμετρία ηλεκτρομαγνητικού κύματος .....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ .....	11
2.1 Γενικά.....	11
2.2 Φίλτρο διόρθωσης Dewow.....	11
2.3 Εκθετική ενίσχυση σήματος λόγω απωλειών διασποράς SEC .....	12
2.4 Φίλτρο του μέσου ίχνους.....	12
2.5 Φίλτρο διαφοράς ιχνών .....	13
2.6 Στιγμιαία μιγαδικά χαρακτηριστικά των σημάτων .....	13
2.7 Στιγμιαίο πλάτος σε κλίμακα ‘decibel’ .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	15
3.1 Γενικά.....	15
3.2 Αρχές χωροθέτησης .....	16
3.3 Χωροθέτηση σε καμπυλωμένους ανακλαστήρες.....	19
3.4 Χωροθέτηση με τη μέθοδο Kirchhoff.....	20
3.5 Εύρος χωροθέτησης .....	25
3.6 Περιγραφή 3D χωροθέτησης.....	26
3.6.2 Πίνακας tdc .....	28



3.6.3 Διάνυσμα χρόνου $t$ .....	29
3.6.4 Διανύσματα $x, y$ .....	29
3.6.5 Τετραγωνική ταχύτητα $V_{rms}$ .....	30
3.6.6 Διάνυσμα $params$ .....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	33
4.1 Περιγραφή πειράματος.....	33
4.2 Απεικόνιση και επεξεργασία των τομών με το πρόγραμμα <code>matgpr</code> .....	35
4.2.1 Πείραμα σε ξηρή άμμο.....	36
4.2.2 Πείραμα με νερό σε βάθος 72cm .....	38
4.2.3 Πείραμα με νερό σε βάθος 48cm .....	39
4.3 Υπολογισμός ταχυτήτων με το πρόγραμμα <code>matgpr</code> .....	41
4.3.1 Πείραμα σε ξηρή άμμο.....	41
4.3.2 Πείραμα με νερό σε βάθος 72cm .....	42
4.3.3 Πείραμα με νερό σε βάθος 48cm .....	43
4.4 Τρισδιάστατη απεικόνιση με το πρόγραμμα <code>Rockworks</code> .....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ KIRCHHOFF.....	47
5.1 Δισδιάστατη και τρισδιάστατη χωροθέτηση.....	47
5.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση όγκου για το πείραμα χωρίς νερό.....	51
5.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση όγκου για το πείραμα με νερό σε βάθος 72cm ..	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	57
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	59
Τομές 1-12, για πείραμα με ξηρή άμμο .....	59
Τομές 13-24, για πείραμα με ξηρή άμμο .....	60
Τομές 25-36, για πείραμα με ξηρή άμμο .....	61
Τομές 37-48, για πείραμα με ξηρή άμμο .....	62

Τομές 49-60, για πείραμα με ξηρή άμμο .....	63
Τομές 50-71, για πείραμα με ξηρή άμμο .....	64
Τομές T0, TA, TP, για πείραμα με ξηρή άμμο .....	65
Τομές 1-12, για πείραμα με νερό σε βάθος.....	66
Τομές 13-24, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm .....	67
Τομές 25-36, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm .....	68
Τομές 37-49, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm .....	69
Τομές 50-61, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm .....	70
Τομές 62-71, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm .....	71
Τομές 1-12, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm .....	72
Τομές 13-24, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm .....	73
Τομές 25-36, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm .....	74
Τομές 37-49, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm .....	75
Τομές 50-61, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm .....	76
Τομές 62-71, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm .....	77
Τομές T0, TA, TP, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm .....	78

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Ιστορία του γεωραντάρ

Η δυνατότητα ανίχνευσης θαμμένων αντικειμένων από απόσταση έχει συναρπάσει την ανθρωπότητα ανά τους αιώνες. Ο σχεδιασμός τεχνικής η οποία θα μπορούσε να καταστήσει το έδαφος και το περιεχόμενο του ευδιάκριτα, είναι τόσο ελκυστικός, ώστε σημαντικές επιστημονικές ομάδες προσπαθούν να βρουν κατάλληλες μεθόδους εξερεύνησης. Μέχρι τώρα, δεν έχει βρεθεί μία μοναδική μέθοδος που να παρέχει ολοκληρωμένα αποτελέσματα, το υπεδάφειο ραντάρ έχει αποδειχθεί μία εξαιρετική επιλογή.

Το φάσμα των εφαρμογών της μεθόδου του γεωραντάρ είναι ευρύ και οι τεχνικές ανάκτησης σήματος, το hardware και οι πρακτικές λειτουργίας βελτιώνονται καθώς η τεχνολογία αναπτύσσεται.

Η πρώτη χρήση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για τον προσδιορισμό της παρουσίας των απομακρυσμένων επίγειων μεταλλικών αντικειμένων αποδίδεται στον Hiilsmeyer το 1904, αλλά η πρώτη περιγραφή της χρήσης τους για τη θέση των θαμμένων αντικειμένων εμφανίστηκε έξι χρόνια αργότερα, σε ένα γερμανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Leimbach και τον Lowy. Η βελτίωση μίας εναλλακτικής τεχνικής οδήγησε στην ένδειξη του βάθους υπόγειας διεπιφάνειας. Στην έρευνα του Hiilsenbeck το 1926 φαίνεται να γίνεται η πρώτη εφαρμογή Η/Μ παλμών για τον προσδιορισμό της δομής των θαμμένων στόχων. Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε περαιτέρω από το 1930 και έπειτα, ως μέσο ανίχνευσης σε σχετικά μεγάλα βάθη στον πάγο, σε γλυκό νερό, σε αποθέσεις αλάτων, σε άμμο της ερήμου και βραχώδης σχηματισμούς. Η εφαρμογή σε βραχώδεις σχηματισμούς ερευνήθηκε επίσης από τους Cook, Roe και Ellerbruch. Το ενδιαφέρον για την εξέλιξη του γεωραντάρ αναζωπυρώθηκε τις αρχές του 1970, την περίοδο των εξερευνήσεων της σελήνης και τις προσεδαφίσεις σε αυτή. Από το 1970 έως και σήμερα, το εύρος των εφαρμογών αυξάνεται με σταθερό ρυθμό, και συμπεριλαμβάνει την αρχαιολογία, τη μηχανική και τη γεωλογία. Το γεωραντάρ έχει απεριόριστες εφαρμογές, και μόνο η έλλειψη κατάλληλων οργάνων μπορεί θέσει όρια σε αυτές.

## 1.2 Εφαρμογές

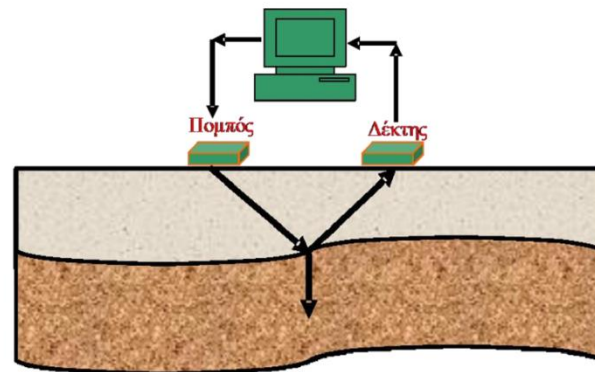
Η μέθοδος του γεωραντάρ άρχισε να γίνεται ευρέως γνωστή ως μία μέθοδος για διερεύνηση σε μικρά βάθη και το γεωραντάρ ως ένα γεωφυσικό όργανο απεικόνισης, λόγω της ευκολίας χρήσης και φορητότητας για την καταγραφή με υψηλή ανάλυση. Η ραγδαία εξέλιξη στην ηλεκτρονική τεχνολογία έδωσε σημαντική ανάπτυξη στο γεωραντάρ, έτσι ώστε σήμερα να κατατάσσεται στις σύγχρονες μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης με συνεχώς αυξανόμενο πλήθος εφαρμογών.

Η υψηλή ακρίβεια με την οποία ανιχνεύει ασυνέχειες στην κατανομή των ηλεκτρομαγνητικών ιδιοτήτων, δίνει λύσεις σε πολλά πρακτικά προβλήματα. Έτσι το γεωραντάρ χρησιμοποιείται στον καθορισμό πάχους γεωλογικών στρωμάτων και βάθους υδροφόρου ορίζοντα, σε αρχαιολογικές έρευνες, στη χαρτογράφηση των πάγων και στο διαχωρισμό γεωλογικών στρωμάτων διαφορετικών εποχών, στον έλεγχο γεωτρήσεων, στην αξιολόγηση κατάστασης κτιρίων και γεφυρών, στον έλεγχο της ασφάλτου των δρόμων, στην ανίχνευση ρυπασμένων εδαφών, στην ανίχνευση θαμμένων ναρκών, στον εντοπισμό θαμμένων σωλήνων και καλωδίων, σε πλανητικές εξερευνηήσεις κ.α.

## 1.3 Αρχή λειτουργίας του γεωραντάρ

Η μέθοδος του γεωραντάρ εφαρμόζεται στην έρευνα δομών μικρού βάθους και χρησιμοποιεί ραδιοκύματα εύρους συχνότητας από 1 έως 2500 MHz. Η λειτουργία του στηρίζεται στην ανάκλαση των ραδιοκυμάτων. Το γεωραντάρ χρησιμοποιεί, μικρής διάρκειας μερικών νανοδευτερολέπτων, ( $10^{-9}$ sec) ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς για αποκάλυψη πληροφοριών στο υπέδαφος. Το ηλεκτρομαγνητικό σήμα (παλμός) παράγεται από έναν πομπό και διοχετεύεται στο υπέδαφος με ταχύτητα που εξαρτάται κυρίως από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού. Κατά την καθοδική πορεία και όταν ο παλμός συναντήσει διεπιφάνεια υλικών με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται ή διαχέεται πίσω στην επιφάνεια (όπου και ανιχνεύεται και καταγράφεται από έναν δέκτη στην επιφάνεια του εδάφους) ενώ η υπολειπόμενη ενέργεια του παλμού διοχετεύεται

βαθύτερα. Το σήμα που λαμβάνει η κεραία του δέκτη προωθείται στην μονάδα ελέγχου, όπου καταγράφεται ο χρόνος διαδρομής και το πλάτος του κύματος. Η διάδοση του κύματος εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπό μελέτη υλικού καθώς και από τη συχνότητα εκπομπής της κεραίας του πομπού.

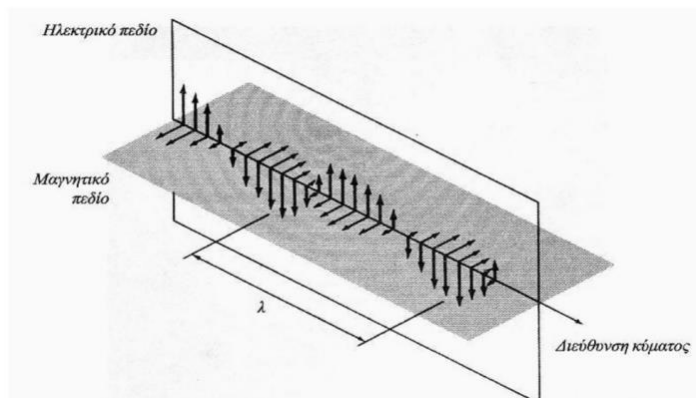


Εικόνα 1.1: Αρχή λειτουργίας γεωραντάρ

## 1.4 Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Από τα πρώτα πειράματα του Θαλή τον 6<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. μέχρι τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ., οι επιστήμονες μελετούσαν τον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό, ως δύο διαφορετικές και ασύνδετες μεταξύ τους θεωρίες. Ο J. C. Maxwell, δημοσίευσε το 1873 την πρώτη ενοποιημένη θεωρία ηλεκτρισμού και μαγνητισμού και θεμελίωσε την επιστήμη του ηλεκτρομαγνητισμού.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι συζευγμένα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία κινούνται στον αέρα με την ταχύτητα του φωτός και παρουσιάζουν τυπική κυματική συμπεριφορά. Αν τα φορτία ταλαντώνονται περιοδικά οι διαταραχές αυτές είναι κύματα, των οποίων οι ηλεκτρικές και μαγνητικές συνιστώσες είναι κάθετες η μία στην άλλη και κάθετες επίσης προς τη διεύθυνση διάδοσης.



**Εικόνα 1.2:** Το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετα μεταξύ τους και στη διεύθυνση του κύματος

## 1.5 Γεωμετρία ηλεκτρομαγνητικού κύματος

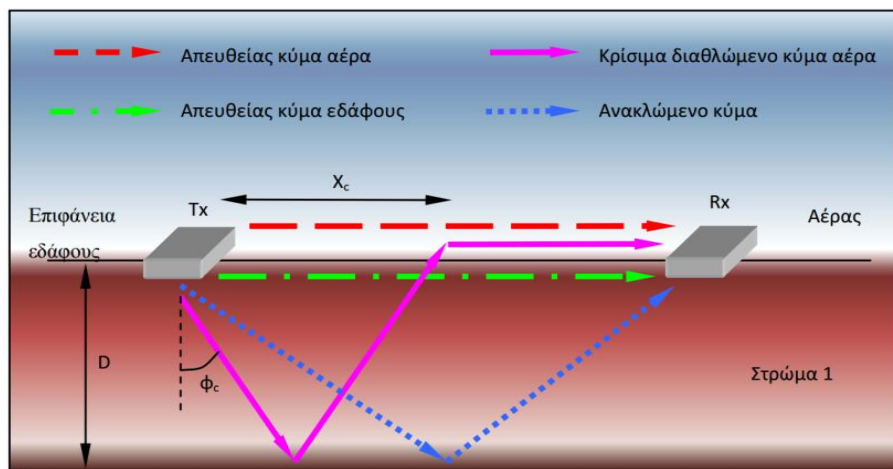
Ο τρόπος με τον οποίο διαδίδονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, σε γεωφυσικές διασκοπήσεις, καθορίζεται από τις φυσικές ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών. Στους περισσότερους γεωλογικούς σχηματισμούς οι ηλεκτρικές ιδιότητες είναι αυτές που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα κατά τη διάδοση του είναι δυνατό να συναντήσει επιφάνεια υλικού που έχει διαφορετικές ιδιότητες από αυτές του μέσου διάδοσης, διαφορετική διηλεκτρική σταθερά και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Όταν η αντίθεση στις ηλεκτρικές ιδιότητες είναι σημαντική, τότε μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται στην διεπιφάνεια.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και προηγουμένως η μονάδα ελέγχου του γεωραντάρ μετράει το πλάτος του παλμού και το χρόνο που κάνει από τον πομπό στον δέκτη. Ο δέκτης κατοπτρεύει τρία είδη κυμάτων

- Ανακλώμενα κύματα. Τα κύματα αυτά εκπέμπονται από τον πομπό, διαδίδονται στο μέσο μέχρι να συναντήσουν κάποιο εμπόδιο όπου ανακλώνται και επιστρέφουν στο δέκτη.
- Απ' ευθείας κύματα. Τα κύματα αυτά διαδίδονται από τον πομπό στο δέκτη χωρίς να ανακλαστούν σε κάποια επιφάνεια και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: απ' ευθείας κύματα αέρα και εδάφους. Τα απ' ευθείας κύματα

του αέρα φτάνουν πρώτα στο δέκτη επειδή η ταχύτητα διάδοσης στον αέρα είναι η μέγιστη δυνατή. Αμέσως μετά φτάνουν τα απ' ευθείας κύματα εδάφους.

- Κρίσιμα διαθλώμενα κύματα. Όταν σε μία διασκόπηση κοινού ενδιαμέσου σημείου ή σταθερού πομπού 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.



Εικόνα 1.3: Γεωμετρία διάδοσης των κυριότερων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ**

### **2.1 Γενικά**

Ο βασικός σκοπός της επεξεργασίας του σήματος στη μέθοδο του γεωραντάρ είναι η απαλλαγή από τις πρώτες αφίξεις και η ενίσχυση του, με αντίστοιχη μείωση του θορύβου, έτσι ώστε το σήμα να είναι αντιπροσωπευτικό της δομής του υπεδάφους. Συνήθως χρησιμοποιούνται τεχνικές της στατιστικής όπου συνήθως υπολογίζεται ο μέσος όρος μεταξύ κάποιων γειτονικών εικονοστοιχείων και έπειτα είτε αυτός αντικαθιστά το κεντρικό εικονοστοιχείο είτε αφαιρείται από αυτό. Με τα φίλτρα και τις τεχνικές που περιγράφονται παρακάτω επιτυγχάνεται ο τονισμός των οριζόντιων και των κεκλιμένων ανακλαστήρων, του αποτελέσματος των κυμάτων περίθλασης, η απομάκρυνση του θορύβου και η βελτίωση της ποιότητας της εικόνας γενικότερα.

### **2.2 Φίλτρο διόρθωσης Dewow**

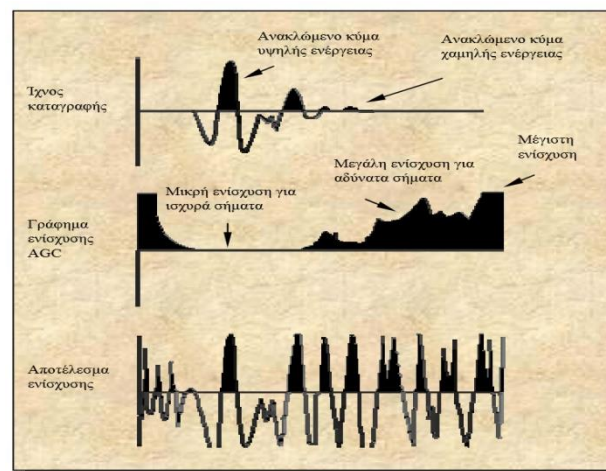
Πρόκειται για την αρχική και βασική επεξεργασία, είναι φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων κάθε ίχνους ξεχωριστά. Πολύ χαμηλής συχνότητας σήμα στα δεδομένα σχετίζεται με το επαγωγικό φαινόμενο. Η εφαρμογή του φίλτρου επιτρέπει τη διέλευση του φάσματος ακτινοβολίας συγκεκριμένης κεντρικής συχνότητας εκπομπής με μεγάλη πιστότητα, ενώ αντίθετα απαγορεύει τη διέλευση σημάτων χαμηλής συχνότητας. Η λειτουργία του φίλτρου στηρίζεται στη δημιουργία νοητού παραθύρου σε κάθε σημείο του ίχνους. Κατόπιν, υπολογίζεται η μέση τιμή των σημείων που ανήκουν στο παράθυρο η οποία αφαιρείται από την τιμή του κεντρικού σημείου. Στη συνέχεια το παράθυρο μετατοπίζεται κατά ένα σημείο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.



## 2.3 Εκθετική ενίσχυση σήματος λόγω απωλειών διασποράς SEC

Η ενίσχυση εφαρμόζεται στα δεδομένα για την καλύτερη παρουσίαση ισχυρών και ασθενικών ανακλάσεων, που λόγω της απορρόφησης των κυμάτων δεν διακρίνονται καθαρά στα αρχικά δεδομένα. Καθώς ο χρόνος της καταγραφής αυξάνει, η ενέργεια του σήματος εξασθενεί και το πλάτος μειώνεται .

Η ενίσχυση SEC (Spreading and Exponential Compensation) αποτελεί σύνθεση γραμμικής και εκθετικής ενίσχυσης που εξαρτάται από το χρόνο. Ο σκοπός της



Εικόνα 2.1: Η ενίσχυση SEC (Πουλιούδης 1999)

ενίσχυσης αυτής είναι η αναπλήρωση της ενέργειας από απώλειες που οφείλονται στην γεωμετρική διασπορά και την εκθετική εξασθένιση των κυμάτων. Η ενίσχυση SEC μέχρι να προσεγγίσει την μέγιστη τιμή της πραγματοποιείται με εκθετικούς ρυθμούς, ενώ στη συνέχεια παραμένει σταθερή. Το εκθετικό μέρος της ενίσχυσης έχει σαν αφετηρία την σταθερά εκκίνησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι κατάλληλη μία σταθερά εκκίνησης ίση με ένα. Όταν όμως απαιτείται μεγαλύτερη ενίσχυση στους μικρούς χρόνους της καταγραφής, η σταθερά πρέπει να αυξηθεί ανάλογα.

## 2.4 Φίλτρο του μέσου ίχνους

Το φίλτρο του μέσου ίχνους τονίζει οριζόντιους ή μικρής κλίσης ανακλαστήρες και παράλληλα μειώνει τον τυχαίο θόρυβο και τις απότομες μεταβολές στα ίχνη όπως οι υπερβολές που σχηματίζουν τα κύματα περίθλασης.

Το φίλτρο του μέσου ίχνους προσθέτει δύο ή περισσότερα ίχνη για τη δημιουργία ενός μέσου ίχνους. Ο αριθμός των ιχνών που θα προστεθούν καθορίζεται από τον χρήστη.

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος που λειτουργεί το φίλτρο θεωρούμε παράδειγμα με αριθμό ιχνών τρία. Εάν βρισκόμαστε στο πέμπτο ίχνος τότε οι τιμές των σημείων των ιχνών 4,5 και 6 που αντιστοιχούν στον ίδιο χρόνο αθροίζονται και υπολογίζεται η μέση τιμή τους. Έτσι προκύπτει ένα νέο ίχνος, το μέσο ίχνος, το οποίο αντικαθιστά το ίχνος 5. Στην συνέχεια η συγκεκριμένη διαδικασία εφαρμόζεται για το ίχνος 6 λαμβάνοντας υπόψη στους υπολογισμούς τα ίχνη 5,6 και 7 κ.ο.κ.

## **2.5 Φίλτρο διαφοράς ιχνών**

Το φίλτρο αυτό δεν έχει καμία παράμετρο αλλά ένα διακόπτη που θέτει το φίλτρο σε λειτουργία ή όχι. Όταν το φίλτρο είναι ενεργοποιημένο, κάθε ίχνος της τομής αντικαθίσταται από την διαφορά του με το προηγούμενο ίχνος .

Το φίλτρο χρησιμοποιείται στην ανάδειξη μορφών που μεταβάλλονται ραγδαία στις τομές ανάκλασης. Τέτοιες μορφές είναι οι υπερβολές των κυμάτων περιθλάσης και σημειακών ανακλαστήρων, όπως σωλήνες, καλώδια και άλλα μικρά αντικείμενα. Συγχρόνως, η εφαρμογή του φίλτρου καταστρέφει πληροφορίες που προέρχονται από οριζόντιους ή μικρής κλίσης ανακλαστήρες. Η χρήση του φίλτρου δεν ενδείκνυται για την χαρτογράφηση των γεωλογικών σχηματισμών. (Πουλιούδης ,1999)

## **2.6 Στιγμιαία μιγαδικά χαρακτηριστικά των σημάτων**

Το σήμα που στέλνει και λαμβάνει το γεωραντάρ είναι πραγματικός αριθμός. Για μεγαλύτερη όμως ακρίβεια και ευκολία στους υπολογισμούς, το σήμα μετατρέπεται σε μιγαδικό αριθμό (complex trace) . Από το αναλυτικό σύνθετο σήμα (Σπανουδάκης, 2002), ανακτώνται επιπλέον πληροφορίες στην εικόνα του αρχικού σήματος, πολύ χρήσιμες για την αξιολόγηση και ερμηνεία των δεδομένων.

Τα στιγμιαία μιγαδικά χαρακτηριστικά των σημάτων (instantaneous attributes) εκφράζουν τις στιγμιαίες μεταβολές ποικίλων παραμέτρων. Οι στιγμιαίες τιμές των μιγαδικών χαρακτηριστικών (όπως το στιγμιαίο πλάτος και οι παράγωγες του, η στιγμιαία φάση και η στιγμιαία συχνότητα) μπορούν να προσδιοριστούν από το αναλυτικό σύνθετο σήμα (Taner et al., 1992-2001).

## **2.7 Στιγμιαίο πλάτος σε κλίμακα ‘decibel’**

Το στιγμιαίο πλάτος σε κλίμακα ‘decibel’ δίδεται από τη σχέση:  $20\log E(t)$ . Η κλίμακα dB χρησιμοποιείται συνήθως στο πεδίο των συχνοτήτων για τη απεικόνιση του φάσματος ισχύος (power spectrum). Αυτό το μιγαδικό χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται για τη μελέτη της μεταβολής του στιγμιαίου πλάτους σε κλίμακα dB.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

### 3.1 Γενικά

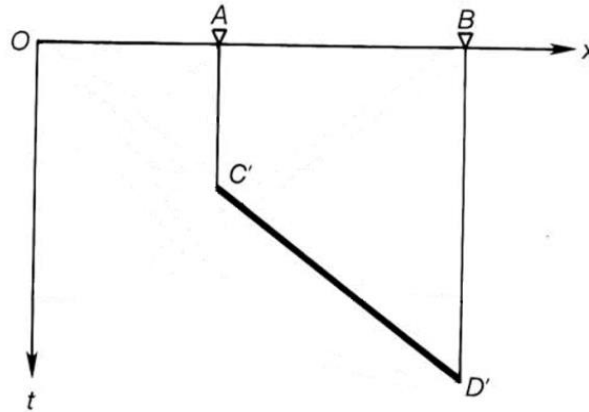
Η χωροθέτηση είναι εξαιρετικά χρήσιμη και αναδιαμορφώνει την τομή του γεωραντάρ σε μία μορφή που πλησιάζει περισσότερο στη δομή του υπεδάφους. Η διαδικασία της χωροθέτησης ουσιαστικά ανακατασκευάζει την επιφάνεια του στοχευόμενου ανακλαστήρα. Είναι πολύ συνηθισμένο φαινόμενο, οι ορίζοντες που εμφανίζονται σε μία τέτοια τομή να παρουσιάζουν μικρότερη κλίση και μεγαλύτερο μήκος σε σχέση με τους αντίστοιχους ορίζοντες στη γεωλογική τομή. Η διαδικασία της χωροθέτησης θεωρείται σήμερα αναντικατάστατη στην επεξεργασία σημάτων, αφού συμβάλλει στη βελτίωση της χωρικής διακριτικής ικανότητας των τομών.

Στην σεισμική χωροθέτηση, γίνεται συνήθως δεκτό ότι τα δεδομένα είναι μηδενικής απόστασης (zero-offset section) δηλαδή πομπός και δέκτης βρίσκονται στην ίδια θέση. Η χωροθέτηση, βελτιώνει τη τομή γεωραντάρ σε περιοχές με ρήγματα ή με θαμμένα αντικείμενα (εμπόδια). Κατά την πρόσπτωση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στα άκρα ρηγματωμένων στρωμάτων ή εμποδίων, εμφανίζεται το φαινόμενο της περίθλασης. Η σεισμική χωροθέτηση επανατοποθετεί όλες τις αφίξεις που προέρχονται από περίθλαση στη σωστή τους θέση επιτυγχάνοντας έτσι ακριβέστερη εικόνα των τεκτονικά ρηγματωμένων περιοχών.

Στην ιδανική περίπτωση χωροθέτησης προκύπτει τομή γεωραντάρ σε συνάρτηση με το βάθος. Συνήθως όμως η απεικόνιση γίνεται στην κλίμακα του χρόνου, και αυτό συμβαίνει, διότι αφενός η χωροθέτηση βάθους είναι χρονοβόρα και αφετέρου η ακρίβεια προσδιορισμού των ταχυτήτων περιορισμένη. Ένας άλλος λόγος είναι ότι οι ερμηνευτές ελέγχουν την αξιοπιστία των τομών χωροθέτησης, με τα δεδομένα πριν από αυτήν, γεγονός που απαιτεί οι τομές να απεικονίζονται στην κλίμακα του χρόνου. Το είδος της χωροθέτησης που παράγει τομή σε συνάρτηση με το χρόνο ονομάζεται χρονική χωροθέτηση (time migration) και συνιστάται σε περιπτώσεις, όπου οι πλευρικές μεταβολές της ταχύτητας δεν είναι έντονες. Όταν όμως συμβαίνει αυτό, τότε προτιμότερη είναι η χωροθέτηση βάθους.

### 3.2 Αρχές χωροθέτησης

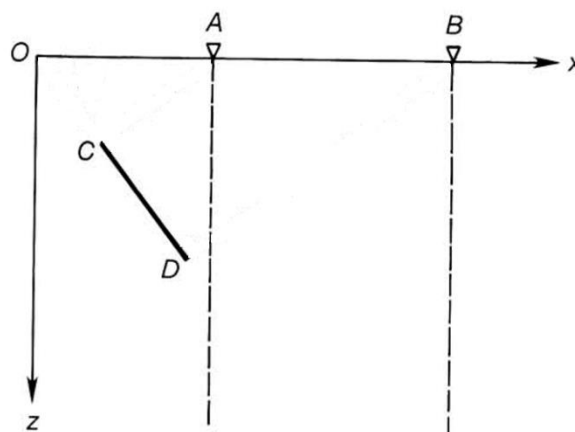
Ας υποθέσουμε κεκλιμένο ανακλαστήρα  $CD$  στο υπέδαφος, όπως στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3.1: Σχηματική αναπαράσταση κεκλιμένου ανακλαστήρα πριν τη χωροθέτηση

Η πρώτη άφιξη ανάκλασης από την άκρη  $C'$  του ανακλαστήρα  $C'D'$  αντιστοιχεί στο σημείο  $A$  στη γραμμή διασκόπησης  $Ox$ , και η τελευταία άφιξη ανάκλασης από την άκρη  $D'$  αντιστοιχεί στο σημείο  $B$  (σε αυτό το παράδειγμα έχουν παραληφθεί οι περιθλάσεις από τις άκρες του ανακλαστήρα  $CD$ ).

Η πραγματική θέση του ανακλαστήρα  $CD$  αναπαρίσταται παρακάτω συναρτήσεως του βάθους.



Εικόνα 3.2: Σχηματική αναπαράσταση κεκλιμένου ανακλαστήρα μετά τη χωροθέτηση

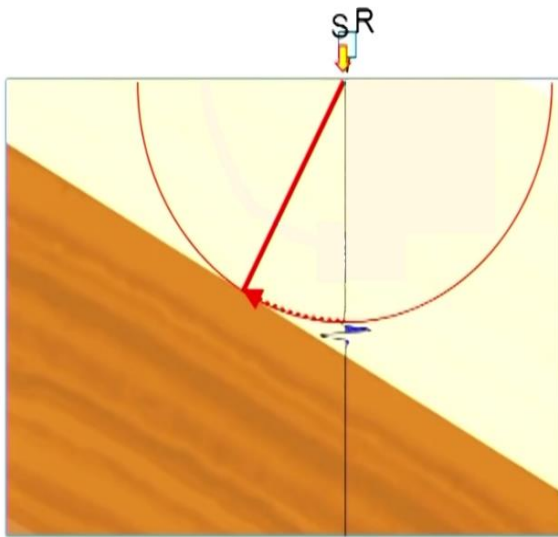
Είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι η πραγματική θέση του κεκλιμένου ανακλαστήρα  $CD$  διαφέρει από τη θέση που δίνουν οι ανακλάσεις για τον ανακλαστήρα  $C'D'$ . Επομένως κρίνεται απαραίτητη η χωροθέτηση για την εμφάνιση του ανακλαστήρα στην πραγματική του θέση.

Από τα γεωμετρικά σχήματα που προηγήθηκαν, τα συμπεράσματα που προκύπτουν για τη χωροθέτηση είναι τα εξής:

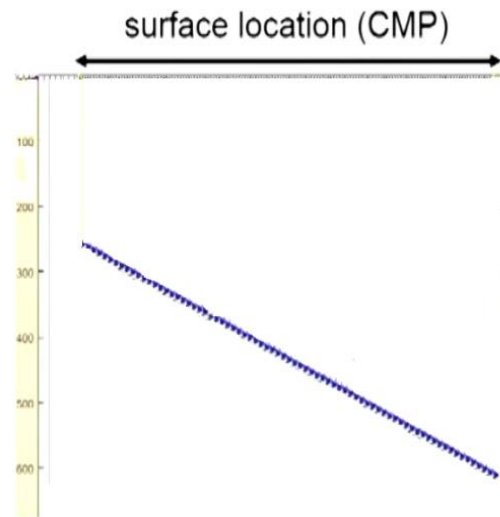
1. Η γωνία του κεκλιμένου ανακλαστήρα είναι στην πραγματικότητα πιο μεγάλη από την γωνία που απεικονίζεται από τις ανακλάσεις. Επομένως η χωροθέτηση αυξάνει αυτή γωνία.
2. Το μήκος του πραγματικού ανακλαστήρα είναι μικρότερο από αυτό που εμφανίζεται από τις ανακλάσεις. Συνεπώς, η χωροθέτηση μειώνει το μήκος των ανακλαστήρων.
3. Η χωροθέτηση τοποθετεί τον ανακλαστήρα σε μικρότερο βάθος και μετατοπισμένο προς την πλευρά κλίσης του.

Το ζήτημα είναι πως γίνεται χωροθέτηση έχοντας μόνο τα δεδομένα, δηλαδή τιμές από πλάτη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και τους χρόνους αυτών. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές χωροθέτησης. Η παλαιότερη από αυτές αναφέρεται ως υπέρθεση κατά μήκος των ημικυκλίων (semicircle superposition method), η οποία εφαρμόζοταν πριν τη χρήση υπολογιστών.

Σε ένα κεκλιμένο ανακλαστήρα, καταγράφοντας τις πρώτες αφίξεις των ανακλώμενων κυμάτων το ίχνος του πομπού-δέκτη θα βρίσκεται σε διαφορετικό σημείο από την καταγεγραμμένη ανάκλαση, όπως στο παρακάτω σχήμα, επομένως δε γνωρίζουμε από ποιο σημείο προέρχεται. Στο σχήμα 3.3 απεικονίζεται ο ανακλαστήρας των καταγραφών μας.

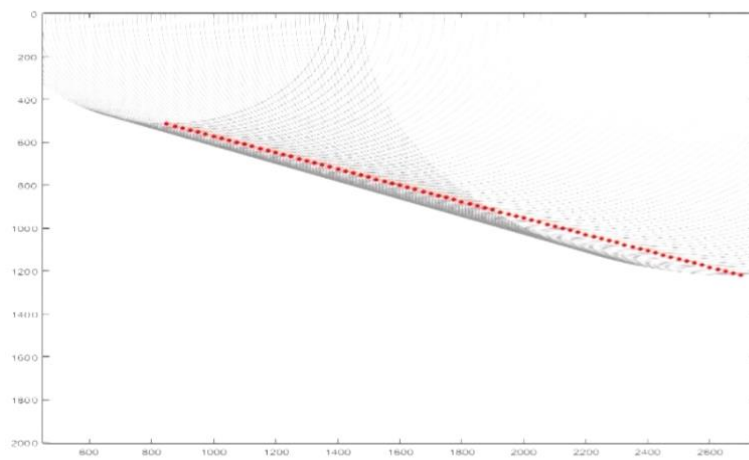


**Εικόνα 3.3:** Καταγραφή σήματος από την επιφάνεια ανακλαστήρα



**Εικόνα 3.4:** Επιφάνεια καταγεγραμμένου ανακλαστήρα

Παρατηρώντας τις καταγραφές, όταν διακρίνεται ανακλώμενο κύμα για παράδειγμα σε χρόνο ενός δευτερόλεπτο, μπορεί να προέρχεται από οποιοδήποτε σημείο, που απέχει ίση απόσταση από τον δέκτη. Δημιουργείται έτσι μία κυκλική επιφάνεια που απαρτίζεται από τα πιθανά σημεία. Στον προηγούμενο ανακλαστήρα, εάν παραταχθούν όλες οι κυκλικές επιφάνειες με τα πιθανά σημεία του ανακλαστήρα στο χώρο για συγκεκριμένους χρόνους, ο ανακλαστήρας είναι η κοινή εφαπτομένη των κυκλικών επιφανειών, δημιουργώντας την επιφάνεια του ανακλαστήρα στην πραγματική του θέση.

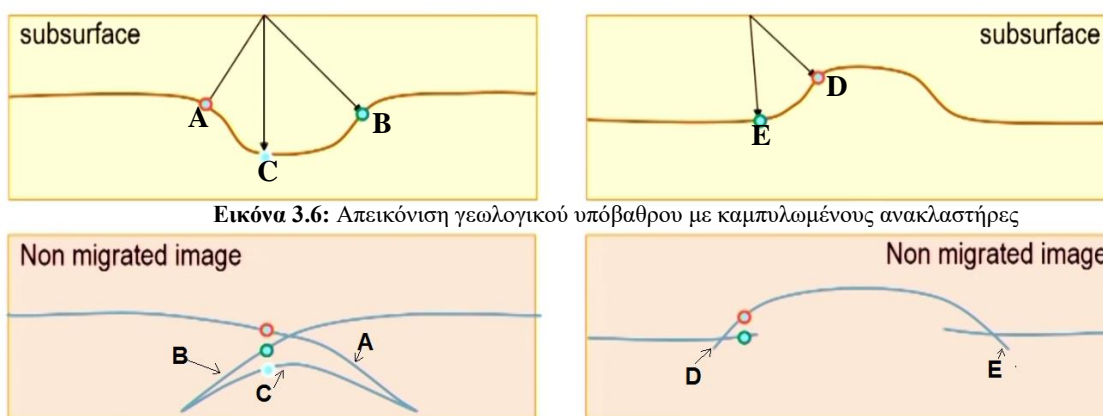


**Εικόνα 3.5:** Απεικόνιση πραγματικής θέσης ανακλαστήρα

Παρατηρείται ότι μετά την χωροθέτηση, ο κεκλιμένος ανακλαστήρας, έχει μετακινηθεί προς τα αριστερά, σε μικρότερο βάθος, με μεγαλύτερη κλίση και μικρότερο μήκος.

### 3.3 Χωροθέτηση σε καμπυλωμένους ανακλαστήρες

Σε πιο ρεαλιστικό γεωλογικό υπόβαθρο, περιλαμβάνονται καμπυλωμένες επιφάνειες ανακλαστήρων, όπως στο σχήμα.



Εικόνα 3.6: Απεικόνιση γεωλογικού υπόβαθρου με καμπυλωμένους ανακλαστήρες

Εικόνα 3.7: Εικόνα καμπυλωμένων ανακλαστήρων πριν την επεξεργασία με τη μέθοδο της χωροθέτησης

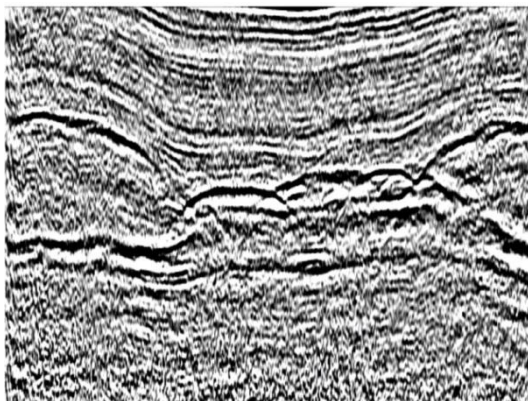
Η χωροθέτηση και σε αυτή τη περίπτωση είναι σημαντική, καθώς στην τομή γεωραντάρ οι καμπυλωμένοι ανακλαστήρες δεν απεικονίζονται σωστά. Στο σχήμα φαίνεται, πριν γίνει χωροθέτηση, ένα μικρό τμήμα με τα κοίλα προς τα πάνω, και μπλεγμένες ανακλάσεις. Για την χωροθέτηση αυτών των τμημάτων A, B, C, D, E χρησιμοποιούνται οι αρχές που ισχύουν και για τους επίπεδους ανακλαστήρες.

Για τον ανακλαστήρα με τα κοίλα προς τα πάνω, στο τμήμα A παρατηρείται ότι έχει αυξηθεί η κλίση του, έχει μειωθεί το μήκος του και έχει μετακινηθεί προς τα αριστερά και σε μικρότερο βάθος. Το ίδιο ισχύει και για το B, μόνο που έχει μετακινηθεί προς τα δεξιά. Στο C τμήμα, έχουν απομακρυνθεί οι περιθλάσεις και δεν έχει αλλάξει η θέση του. Επομένως τα καμπυλωμένα τμήματα με τα κοίλα προς τα πάνω μετά τη χωροθέτηση διευρύνονται.

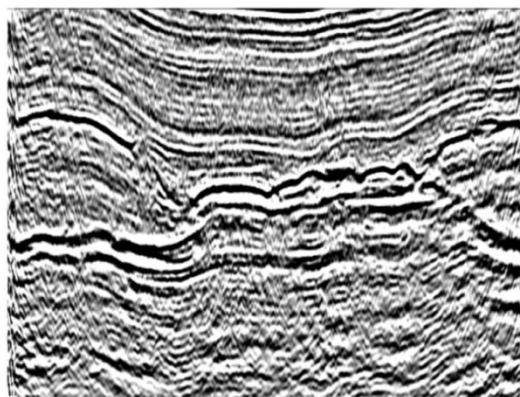


Αντιθέτως, τα καμπυλωμένα τμήματα με τα κοίλα προς τα κάτω, περιορίζονται σε πλάτος σε σχέση με τη μη χωροθετημένη τομή. Το τμήμα D μετατοπίζεται προς τα δεξιά και το E προς τα αριστερά, έχουν μικρότερο μήκος και μεγαλύτερη κλίση.

Με το ακόλουθο σύνθετο παράδειγμα, οι αρχές της χωροθέτησης είναι πιο ευδιάκριτες.



Εικόνα 3.8: Παράδειγμα πριν τη χωροθέτηση



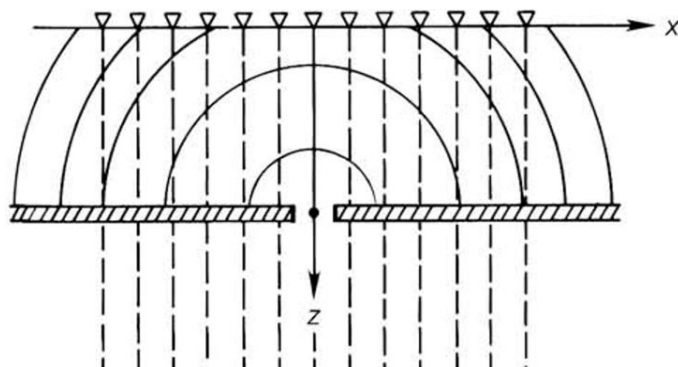
Εικόνα 3.9: Παράδειγμα μετά τη χωροθέτηση

Οι περιθλάσεις έχουν εξαφανιστεί, τα στρώματα έχουν πιο απότομη κλίση, και οι καμπυλωμένες επιφάνειες παρουσιάζουν τις αλλαγές που προαναφέρθηκαν.

### 3.4 Χωροθέτηση με τη μέθοδο Kirchhoff

Η μέθοδος χωροθέτησης που υλοποιήθηκε, γνωστή ως αθροιστική μέθοδος περίθλασης, ήταν η πρώτη χωροθέτηση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για να γίνει κατανοητή η αρχή της χωροθέτησης χρησιμοποιείται το επόμενο παράδειγμα.

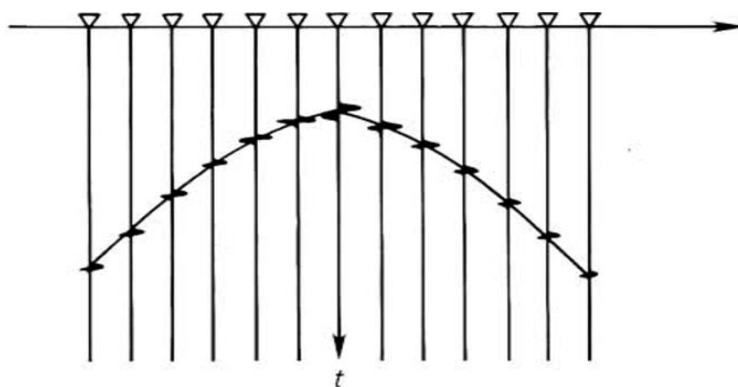
Ας υποθέσουμε κυματοθραύστη σε απόσταση  $z$  από παραλία, και σε ένα σημείο του κυματοθραύστη υπάρχει άνοιγμα. Εάν προσκρούσει ένα κύμα με μέτωπο παράλληλο στο κυματοθραύστη, τότε το άνοιγμα θα λειτουργήσει σαν δευτερεύουσα πηγή, η οποία ονομάζεται δευτερεύουσα πηγή Huygen, και θα παραχθούν και θα διαδοθούν προς την παραλία τα ημικυκλικά κύματα που διακρίνονται και στην εικόνα 3.10.



**Εικόνα 3.10:** Καταγραφή κυμάτων που έχουν παραχθεί από δευτερεύουσα πηγή Huygen σε διάγραμμα  $x-z$

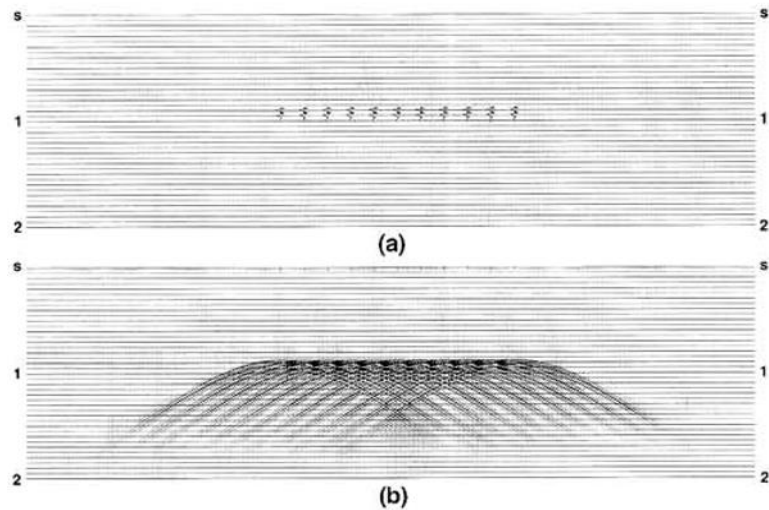
Από αυτό το πείραμα, διαπιστώνεται ότι η δευτερεύουσα πηγή Huygen, με την πρόσπτωση κύματος, παράγει ημικυκλικά μέτωπα κύματος αναλύοντας τα σε άξονες  $x-z$ .

Σε άξονες  $x-t$  παρατηρείται η υπερβολή περίθλασης, όπως στην εικόνα 3.11.



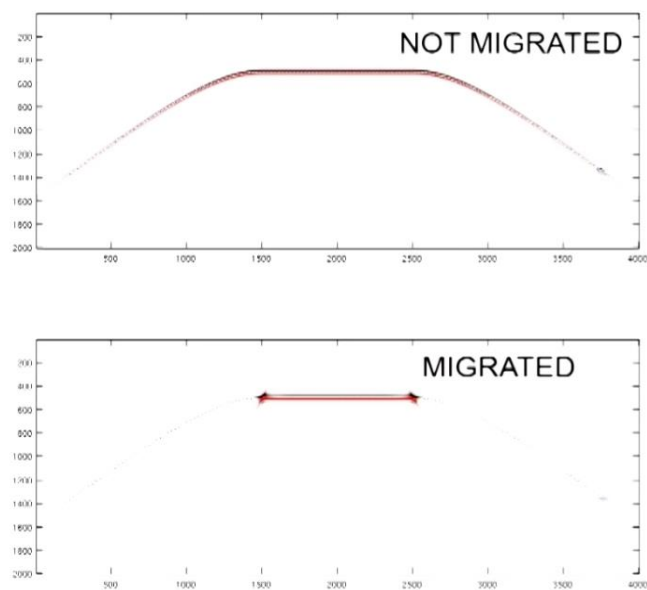
**Εικόνα 3.11:** Καταγραφή κυμάτων που έχουν παραχθεί από δευτερεύουσα πηγή Huygens μεσε διάγραμμα  $x-t$

Αν φανταστούμε ότι στο υπέδαφος κάθε ανακλαστήρας αποτελείται από σημεία τα οποία λειτουργούν όπως το άνοιγμα στον κυματοθραύστη, αυτά τα σημεία δρουν σαν δευτερεύουσες πηγές Huygen και παράγουν υπερβολές περίθλασης. Όσο πιο κοντά είναι αυτά τα σημεία μεταξύ τους, με την παράθεση των υπερβολών τους, δημιουργείται η επιφάνεια του ανακλαστήρα όπως στην εικόνα 3.12. Οι καμπύλες περίθλασης από τα σημεία του ανακλαστήρα δεν εμφανίζονται, καθώς αλληλοαναιρούνται. Μόνο οι άκρες του ανακλαστήρα εμφανίζουν περίθλαση.



**Εικόνα 3.12:** Απεικόνιση καμπυλών περίθλασης σημειακών ανακλαστήρων

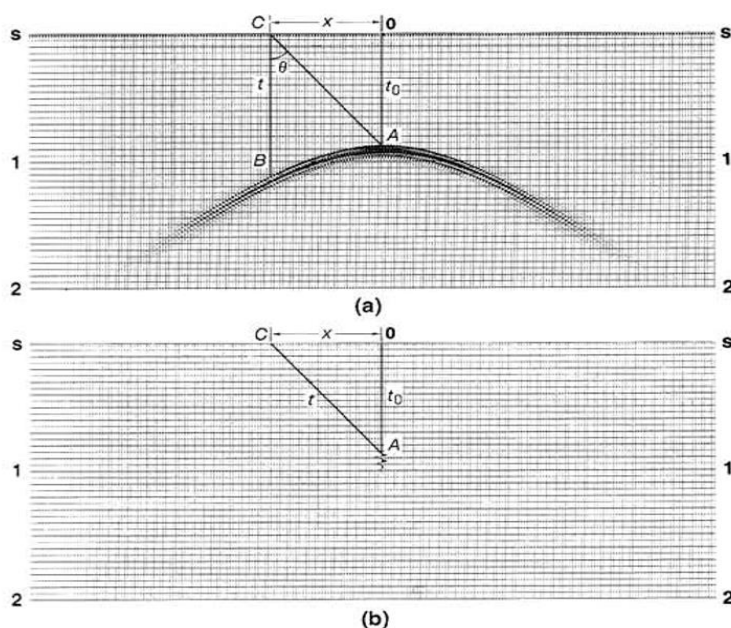
Στην περίπτωση ενός σημειακού εμποδίου, εμφανίζονται περιθλώμενα κύματα. Οι άκρες του εμποδίου συμπεριφέρονται ως δευτερεύουσες πηγές. Μπορούμε να δούμε τις ουρές περίθλασης από τις άκρες του εμποδίου στη μη χωροθετημένη τομή, και το πώς έχουν εξαλειφθεί μετά τη χωροθέτηση. Με τη χωροθέτηση τα περιθλώμενα κύματα από τα άκρα του εμποδίου συγκεντρώνονται και τοποθετούνται στο σωστό σημείο. Είναι ευδιάκριτη η επίδραση αυτής της ενέργειας στις άκρες του ανακλαστήρα.



**Εικόνα 3.13:** Ουρές περίθλασης πριν και μετά τη χωροθέτηση

Συνοψίζοντας, οι ανακλαστήρες στο υπέδαφος μπορούν να απεικονιστούν από πολλά σημεία που δρουν ως δευτερεύουσες πηγές Huygen, και όπου υπάρχουν ασυνέχειες κατά μήκος των ανακλαστήρων εμφανίζονται καμπύλες περίθλασης.

Η χωροθέτηση κατά Kirchhoff, προσθέτει τα πλάτη κατά μήκος της καμπύλης περίθλασης, στο  $x-t$ , η οποία αντιστοιχεί σε δευτερεύουσα πηγή Huygen. Το αποτέλεσμα της άθροισης, αποτυπώνεται στο αντίστοιχο σημείο σε άξονες  $x-t$ .



**Εικόνα 3.14:** Αρχή της χωροθέτησης βασισμένη στην άθροιση των περιθλώμενων πλατών

Η καμπυλότητα της υπερβολής καθορίζεται από την ταχύτητα. Η ταχύτητα που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο χρόνος διαδρομής, για την κορυφή της υπερβολής σε χρόνο  $t(0)$  είναι η μέση τετραγωνική  $V_{rms}$ . Από τη γεωμετρία του παραπάνω σχήματος, έχουμε την παρακάτω εξίσωση, σύμφωνα με το τρίγωνο COA :

$$t^2(x) = t^2(0) + 4x^2/U_{rms}^2$$

Γνωρίζοντας την ταχύτητα  $V_{rms}$ , και το χρόνο  $t(0)$  στην κορυφή της υπερβολής, για οποιοδήποτε απόσταση  $x$  από το σημείο μηδέν βρίσκουμε το χρόνο  $t(x)$ . Συνεπώς σχηματίζεται μία υπερβολή στις δύο διαστάσεις, με την κορυφή της στο χρόνο  $t(0)$ .

Επομένως , υπολογίζοντας το  $t(x)$ , γίνεται γνωστό και το πλάτος στο σημείο B, που θα τοποθετηθεί στην κορυφή της υπερβολής σημείου A, εικόνα 3.14.

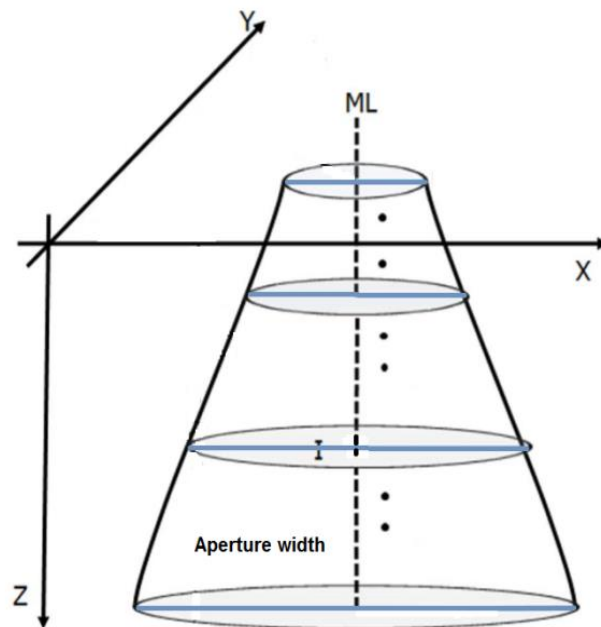
Ωστόσο, υπάρχουν κάποιοι παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται με το πλάτος του κύματος κατά μήκος της υπερβολής περίθλασης. Πριν την άθροιση των πλατών, πρέπει να ληφθούν υπόψη, οι παρακάτω τρεις παράγοντες:

- 1) Ο κατευθυντικός παράγοντας, ο οποίος εκφράζει την εξάρτηση του πλάτους με τη γωνία διεύθυνσης του κύματος. Δίνεται από το συνημίτονο της γωνίας που δημιουργείται μεταξύ της κατεύθυνσης διάδοσης και του κατακόρυφου άξονα z.
- 2) Γεωμετρικός παράγοντας. Το πλάτος των H/M κυμάτων που διαδίδονται στις δύο διαστάσεις είναι ανάλογο του  $(1/vr)^2$ , και στις τρεις διαστάσεις ανάλογο του  $(1/vr)$ . Όπου r, η απόσταση του κύματος από την πηγή και v η μέση τετραγωνική ταχύτητα.
- 3) Ο παράγοντας της διαμόρφωσης του κύματος. Το εύρος των τιμών των συχνοτήτων δεν είναι σταθερό, οπότε τα πλάτη δεν έχουν σταθερές τιμές. Για αυτό το λόγο, για χωροθέτηση στις δύο διαστάσεις πολλαπλασιάζουμε τα πλάτη με την τετραγωνική ρίζα της συχνότητας και στις τρεις διαστάσεις πολλαπλασιάζονται με τη συχνότητα. Επίσης, τα κύματα δε διαδίδονται με σταθερή φάση, για την χωροθέτηση όμως χρειάζεται ίδια φάση. Επομένως στις δύο διαστάσεις διαμορφώνονται τα κύματα να διαδίδονται με φάση 45 μοιρών και στις τρεις διαστάσεις με 90 μοιρών.

Η μέθοδος χωροθέτησης της άθροισης των περιθλάσεων, η οποία συνδυάζει τους τρεις αυτούς παράγοντες, ορίζεται ως χωροθέτηση Kirchhoff. Τα δεδομένα εισόδου πολλαπλασιάζονται με τον κατευθυντικό παράγοντα και τον γεωμετρικό. Στην συνέχεια εφαρμόζεται η κατάλληλη διαμόρφωση του κύματος. Μετά γίνεται η άθροιση των πλατών κατά μήκος της υπερβολής, η οποία καθορίζεται από την εξίσωση της σελίδας 23.

### 3.5 Εύρος χωροθέτησης

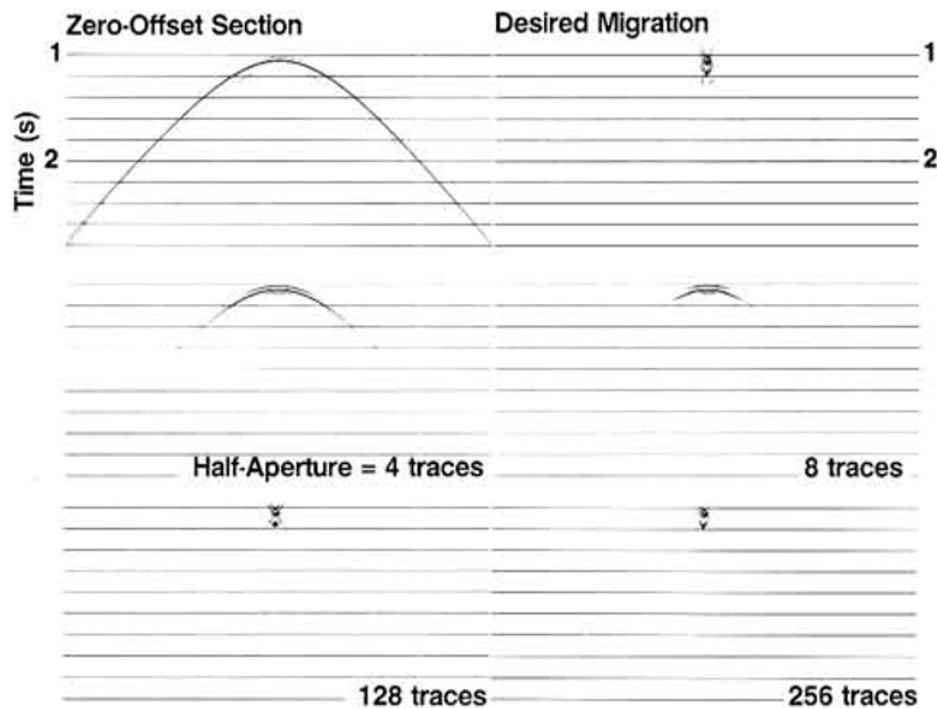
Ο αριθμός των ιχνών τα οποία χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η χωροθέτηση ονομάζεται εύρος χωροθέτησης (migration aperture), και το όριο της έκτασης αυτής είναι ανάλογα του αριθμού των ιχνών της υπερβολής. Επομένως, μία καθοριστική παράμετρος για την εκτέλεση της χωροθέτησης Kirchhoff είναι το εύρος της οπής (aperture width) που θα επιλέξουμε. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος, η χωροθέτηση θα είναι πιο αναποτελεσματική στην εξάλειψη των περιθλάσεων της υπερβολής. Συνεπώς, η επιλογή του εύρους οπής που αντιστοιχεί σε όλα τα ίχνη της υπερβολής, δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Στο επόμενο σχήμα, παρουσιάζεται το εύρος οπής για διαφορετικές τιμές.



Εικόνα 3.15: Εύρος οπής για τέσσερις διαφορετικές τιμές

Το παρακάτω σχήμα, είναι το αποτέλεσμα της εφαρμογής χωροθέτησης (zero offset section), για τέσσερις διαφορετικές τιμές του εύρους οπής.





Εικόνα 3.16: Χωροθέτηση για τέσσερις διαφορετικές τιμές του εύρους οπής

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιώντας το μέγιστο εύρος οπής (aperture width), αποδίδει το καλύτερο αποτέλεσμα.

### 3.6 Περιγραφή 3D χωροθέτησης

#### 3.6.1 Γενικά

Η χρησιμότητα της χωροθέτησης έχει γίνει αντιληπτή από τα πρώτα χρόνια αναζήτησης ορυκτών πόρων με τη μέθοδο σεισμικής ανάκλασης. Αλγόριθμοι χωροθέτησης είναι διαθέσιμοι εδώ και πολλά χρόνια αλλά μόνο τα τελευταία 20 χρόνια έχουν ευρεία χρήση. Η χωροθέτηση μπορεί να οδηγήσει σε μία πολύ σημαντική αναδιαμόρφωση της ποιότητας της τομής, με συνέπεια οι αλγόριθμοι να αποτελούν μείζον θέμα προς έρευνα για τη γεωφυσική. Μία από τις εδραιωμένες μεθόδους χωροθέτησης είναι η τρισδιάστατη μέθοδος χωροθέτησης του Kirchhoff (Hagedoorn, 1954). Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται σε αυτή τη μέθοδο, διακρίνεται για τις υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις του.

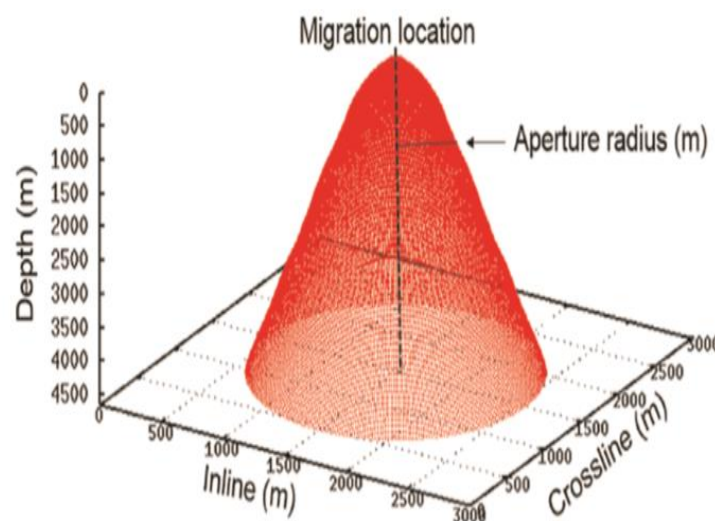
Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία στο τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας εφαρμόστηκε η μέθοδος της χωροθέτησης Kirchhoff στις τρεις διαστάσεις.

Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα kirk stack 3d. Αυτό το πρόγραμμα έχει δημιουργηθεί αρχικώς για σεισμική χωροθέτηση αλλά καθώς ισχύουν οι ίδιες αρχές για το γεωραντάρ και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εφαρμόστηκε και στη δικιά μας περίπτωση.

Το πρόγραμμα kirk stack 3d κάνει χωροθέτηση σε τρισδιάστατα δεδομένα υπέρθεσης τα οποία αποθηκεύονται σε ένα μεγάλο πίνακα (big matrix). Η υπολογιστική μέθοδος που ακολουθείται, στηρίζεται στην άθροιση των πλατών των περιθλωμένων κυμάτων, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του γεωραντάρ. Γίνεται επεξεργασία όλων των ιχνών από τα δεδομένα, καθοδηγούμενα από τη λειτουργία οπής (aperture function). Τα πλάτη που αθροίζονται, εάν δεν αντιστοιχούν σε καμπύλες περίθλασης τότε αλληλοαναιρούνται και το αποτέλεσμα είναι μηδέν, σε διαφορετική περίπτωση το αποτέλεσμα από την άθροιση γίνεται σημειακό στην κορυφή της καμπύλης περίθλασης. Ο σκοπός είναι να γίνει απεικόνιση ενός μοναδικού σημείου στο τρισδιάστατο μοντέλο.

Η τρισδιάστατη λειτουργία οπής (3D aperture function) ορίζει την έκταση στην οποία θα λάβει χώρα η μέθοδος της χωροθέτησης (aperture function). Επομένως όλα τα ίχνη τα οποία βρίσκονται πάνω στον κώνο σε διαφορετικά βάθη επιλέγονται για άθροισμα.

Το παρακάτω σχήμα αναπαριστά την επιφάνεια υπέρθεσης πλατών στις τρεις διαστάσεις με μέθοδο Kirchhoff.



Εικόνα 3.17: Επιφάνεια υπέρθεσης πλατών στις τρεις διαστάσεις



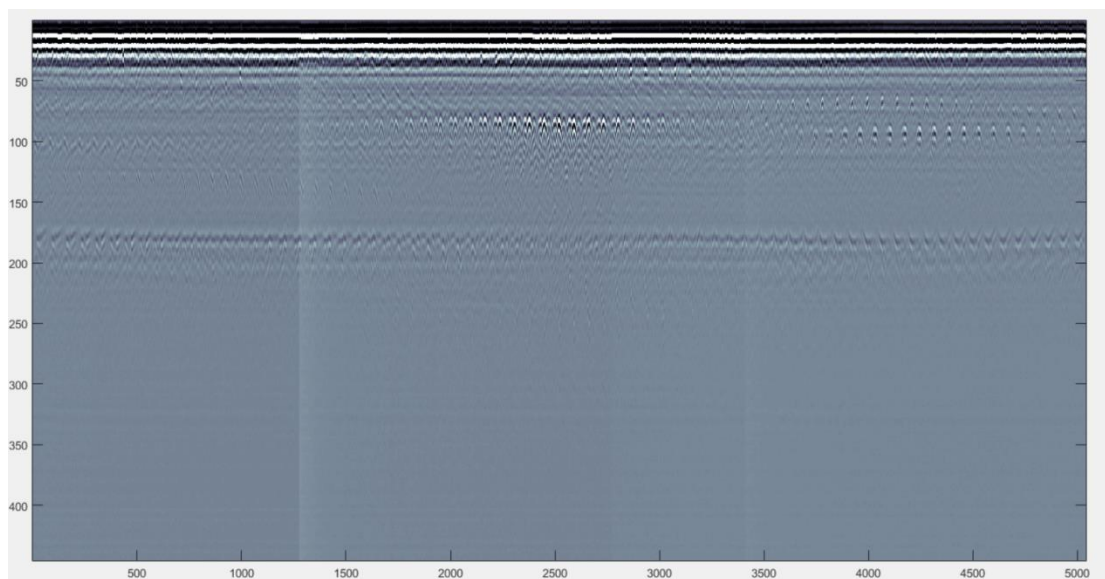
Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε για να τρέξει ο αλγόριθμος της χωροθέτησης είναι ο παρακάτω:

```
[seismig,zmig,xmig,ymig,xgrid,ygrid]=kirk_stack3d(tdc,t,x,y,vrms,(t48(:,1:280))',  
params);
```

Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στον αλγόριθμο kirc stack 3d είναι τα εξής: tdc,t,x,y,vrms

### 3.6.2 Πίνακας tdc

Ο tdc είναι ένας πίνακας (big matrix), των δεδομένων π.χ. για τις 71 γραμμές διασκόπησης του sandbox. Απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 3.18:** Απεικόνιση του πίνακα όλων των δεδομένων του sandbox

Στον άξονα y είναι ο χρόνος και στον x είναι ο αριθμός των ιχνών και για τις 71 τομές. Σε κάθε τομή αντιστοιχούν 71 ίχνη. Αυτά είναι τα δεδομένα στα οποία θα εφαρμοστεί η χωροθέτηση.

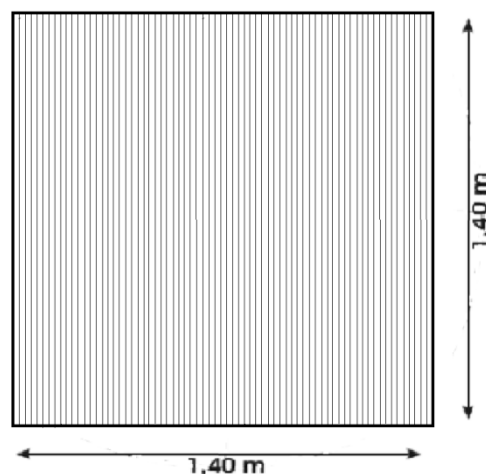
### 3.6.3 Διάνυσμα χρόνου $t$

Το επόμενο δεδομένο εισόδου είναι το διάνυσμα του χρόνου  $t$ , το οποίο πρέπει να αντιστοιχεί με το χρόνο του πίνακα  $t_{dc}$ . Οι τιμές του διανύσματος ορίστηκαν με βάση την καταγραφή των δεδομένων. Το βήμα δειγματοληψίας είναι  $0,1 \text{ ns}$ . Στα δεδομένα για ξηρό περιβάλλον η καταγραφή διήρκεσε  $44,4 \text{ ns}$ , με νερό σε βάθος  $72 \text{ cm}$  διήρκεσε  $45,2 \text{ ns}$  και με νερό σε βάθος  $48 \text{ cm}$  διήρκεσε  $44,6 \text{ ns}$ . Βέβαια χωροθέτηση δεν έγινε σε όλο το μήκος του χρόνου, αλλά μόνο μέχρι τον χρόνο στον οποίο βλέπουμε τις ανακλάσεις του πυθμένα. Για παράδειγμα στο ξηρό περιβάλλον, και με βάση την προηγούμενη εικόνα, η ανάκλαση του πυθμένα εμφανίζεται περίπου στα  $17,5 \text{ ns}$ , επομένως χωροθέτηση θα γίνει μόνο μέχρι τα  $17,5 \text{ ns}$ .

### 3.6.4 Διανύσματα $x, y$

Τα δεδομένα εισόδου  $x, y$  ορίζουν τις συντεταγμένες της θέσης του ίχνους. Το διάνυσμα  $x$  αντιστοιχεί στα ίχνη που ανήκουν σε κάθε γραμμής διασκόπησης, οι οποίες αντιπροσωπεύονται από το διάνυσμα  $y$ . Κάθε γραμμή διασκόπησης έχει μήκος  $1,4 \text{ m}$  και το βήμα κάθε ίχνους είναι  $0,02 \text{ m}$ . Επομένως το διάνυσμα  $x$  αποτελείται από 71 τιμές  $x$ , βήματος  $0,02 \text{ m}$ , για 71 γραμμές διασκόπησης  $y$  επίσης ισαπόστασης  $0,02 \text{ m}$ .

Εικονική αναπαράσταση των γραμμών διασκόπησης και των ιχνών. 71 γραμμές διασκόπησης και 71 ίχνη κατά μήκος κάθε γραμμής διασκόπησης.



Εικόνα 3.19: Αναπαράσταση των γραμμών διασκόπησης

### 3.6.5 Τετραγωνική ταχύτητα $V_{rms}$

Ακόμη ένα δεδομένο εισόδου είναι το διάνυσμα της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας  $v_{rms}$ . Η μέση τετραγωνική ταχύτητα είναι αναγκαία στην αλλαγή στρώματος. Μετά την επιφάνεια του νερού η ταχύτητα  $V_{rms}$  του ηλεκτρομαγνητικού κύματος μειώνεται συναρτήσει του χρόνου. Όσο δεν υπάρχει νερό αλλά μόνο ξηρή άμμος, υπάρχει μόνο ένα στρώμα, έτσι η ταχύτητα παραμένει σταθερή σε όλους τους χρόνους. Στις άλλες δύο περιπτώσεις όμως που υπάρχει νερό η ταχύτητα μειώνεται σταδιακά. Με το διάνυσμα της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας μπορούμε να γνωρίζουμε σε κάθε στρώμα και σε όλους τους χρόνους την ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Η ποσότητα,  $V_{rms}$ , ονομάζεται μέση τετραγωνική ταχύτητα. Η εξίσωση υπολογίστηκε από τους Dix (1955), Durbaum (1954), Kerry (1951) και αποτελεί την κυριότερη εξίσωση στη διαδικασία υπολογισμού των σεισμικών ταχυτήτων.

Η  $V_{rms}$  μέχρι τον ανακλαστήρα σε βάθος  $D$  υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$U_{rms}^2 = \frac{1}{t(0)} \sum_{i=1}^N U_i^2 \Delta t_i (0)$$

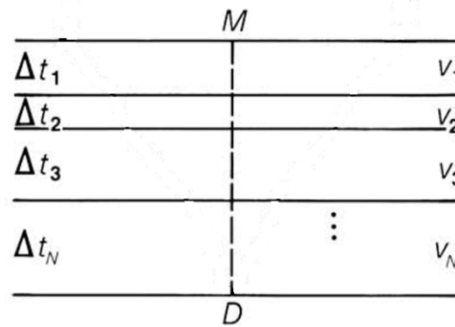
$\Delta t_i$  είναι ο κατακόρυφος διπλός χρόνος διαδρομής σε κάθε στρώμα και  $t(0)$  ο συνολικός χρόνος

$$t(0) = \sum_{k=1}^i \Delta t_k$$

$$t_k = \frac{2d_i}{U_i}$$

Ο χρόνος  $t(0)$  είναι ο χρόνος διαδρομής από τον πομπό στον δέκτη, που συνήθως βρίσκονται στο ίδιο σημείο. Ο χρόνος διαδρομής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, είναι ο MD.

Ο χρόνος  $t_k$  εξαρτάται από το βάθος του ανακλαστήρα και την τμηματική ταχύτητα  $V_i$ .



**Εικόνα 3.20:** Χρόνος διαδρομής συναρτήσει βάθους και τμηματικής ταχύτητας

Η  $v$  interval, είναι η χαρακτηριστική σεισμική ταχύτητα του μέσου μεταξύ δύο ανακλαστήρων. Η χαρακτηριστική ταχύτητα επηρεάζεται από διαφορετικούς παράγοντες του εκάστοτε στρώματος ανάλογα με τη λιθολογική του σύσταση και το ποσοστό υγρασίας:

1. Πορώδες
2. Πίεση πόρων
3. Βαθμό κορεσμού σε υγρά των πόρων
4. Εγκλωβισμένη πίεση στο σχηματισμό
5. Θερμοκρασία

### 3.6.6 Διάνυσμα params

Τελευταίο δεδομένο εισόδου είναι το διάνυσμα params. Με αυτό το διάνυσμα ορίζονται οι διαστάσεις του κώνου, στην επιφάνεια του οποίου γίνεται η χωροθέτηση. Καθορίστηκαν τρεις παράμετροι:

Η πρώτη παράμετρος, στην οποία ορίζεται το εύρος οπής (aperture width). Το μέγιστο πλάτος του κώνου που βάλαμε είναι 1,6m.

Η δεύτερη παράμετρος, είναι το εύρος μεταβατικής ζώνης απομείωσης των πλατών. Αυτή η παράμετρος ορίζεται για να δημιουργείται μία μεταβατική ζώνη χωροθέτησης πάνω στο κώνο. Στο πλάτος του taper, τα πλάτη που θα χρησιμοποιηθούν για την άθροιση είναι μειωμένα. Θέσαμε ως πλάτος του taper, 0,08m.

Η τρίτη παράμετρος, σχετίζεται με τη δεύτερη. Το κομμάτι του κώνου, που ανήκει στο πλάτος του taper, προσδιορίζεται ως γραμμικό, και τα πλάτη επίσης μειώνονται γραμμικά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

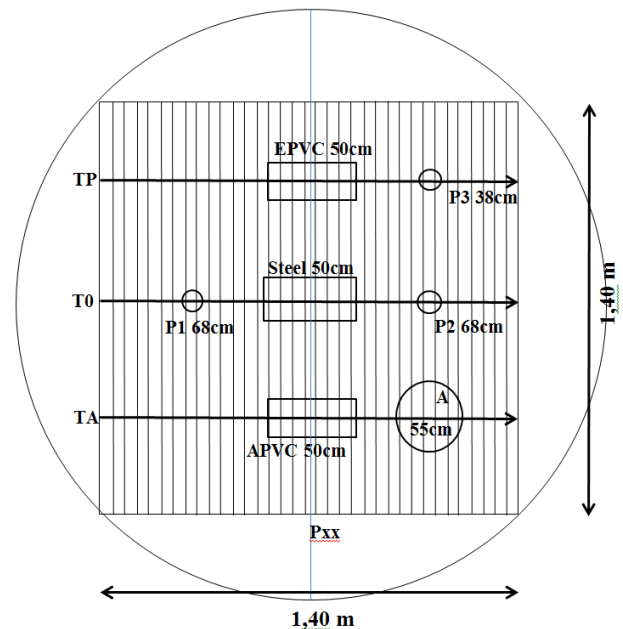
### 4.1 Περιγραφή πειράματος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία στηρίχθηκε στην εργασία των Loeffler και Bano με τίτλο, Ground Penetrating Radar Measurements in a Controlled Vadose Zone: Influence of the Water Content.

Η δεξαμενή είχε διάμετρο 2m και ύψος 0,98m (σχήμα 4.1). Μία οπή ανοίχτηκε στο πλάι της δεξαμενής, 5cm από τον πυθμένα της, επιτρέποντας έτσι την πλήρωση και την αποστράγγιση της με νερό. Η εισαγωγή του νερού επετεύχθη με τη βοήθεια διαφοράς υδραυλικού φορτίου.



Εικόνα 4.1: Φωτογραφία δεξαμενής



Εικόνα 4.2: Κάτοψη δεξαμενής

Η δεξαμενή ήταν γεμάτη με λεπτή διαβαθμισμένη άμμο διαμέτρου από 0,3 έως 0,5 mm. Μέσα στην άμμο δεξαμενής τοποθετήθηκαν: ένας σωλήνας PVC κορεσμένος σε νερό (WPVC στο σχήμα 3.1), ένας μεταλλικός σωλήνας, ένας σωλήνας PVC γεμάτος με αέρα (APVC), 3 μεταλλικές σφαίρες (P1,P2,P3) και ένα κομμάτι πηλού (A). Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κάθε αντικειμένου δίνονται στον πίνακα 1.

αντικείμενα	Μήκος	Διάμετρος	Βάθος
	mm		cm
Σιδερένιος σωλήνας	316	140	50
PVC σωλήνες (WPVC και APVC)	298	126	50
Σιδερένιες σφαίρες (P1,P2,P3)		74	38 και 68
Κομμάτι από πηλό (Α)	80 (ύψος)	230	55

Πίνακας 1: Διαστάσεις όλων των θαμμένων εμποδίων

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με κεραίες των 900 και 1200MHz και μετά από σύγκριση αυτών των δυο επιλέχτηκε η κεραία εκπομπής των 1200 MHz. Αυτή η κεραία είχε την καλύτερη ανάλυση και αρκετή διεύθυνση σήματος ώστε να προσεγγίσει τον πυθμένα της δεξαμενής (τουλάχιστον στο ξηρό περιβάλλον). Ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται στην ίδια θέση, δηλαδή τα δεδομένα που λαμβάνονται είναι μηδενικής απόστασης (zero-offset section). Η κεραία μετακινούνταν χειροκίνητα. Εκτελέστηκαν 71 παράλληλες γραμμές μελέτης (Ρxx στο σχ. 4.2), με απόσταση μεταξύ τους 2cm, ενώ και το βήμα δειγματοληψίας ήταν 2cm.

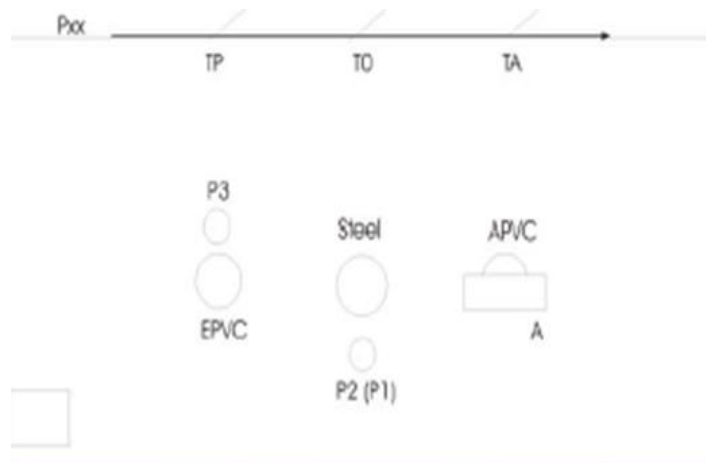
Η απόκτηση δεδομένων με το γεωραντάρ ξεκίνησε εκτελώντας μετρήσεις στην αρχική κατάσταση της άμμου, δηλαδή σε ξηρό περιβάλλον.

Οι γραμμές μελέτης είναι παράλληλες στο άξονα x. Επίσης παρατηρήθηκε ότι κατά τις πρώτες αφίξεις είχαν μετακινηθεί ελάχιστα κατά μήκος του άξονα y. Αυτό οφείλεται στην χρονική μετατόπιση του συστήματος. Ακόμα είναι ορατές οι ανακλάσεις και οι διαθλάσεις λόγω των θαμμένων αντικειμένων στη ξηρή άμμο.

Στη συνέχεια προστέθηκαν 340L νερού, έως το επίπεδο των 26cm από τον πυθμένα της δεξαμενής ( υδροφόρος ορίζοντας σε βάθος 72cm ) και συλλέχθηκε το δεύτερο σετ δεδομένων. Προσθέτοντας ακόμα 240L νερού, ακολούθως αυξήθηκε και το επίπεδο του νερού στα 48cm από τον πυθμένα της δεξαμενής αποκτώντας το τελευταίο σετ δεδομένων. Όλες οι μετρήσεις του γεωραντάρ εκτελούνταν πάντα σε υδροστατική ισορροπία, καθώς πραγματοποιούνταν μετά από 2 εβδομάδες της πρόσθεσης νερού. Μετά το πέρας αυτών των διεργασιών, το νερό αποστραγγίστηκε για αρκετές μέρες και εκτελέστηκαν κάποιες τελευταίες μετρήσεις. Επομένως το αποτέλεσμα ήταν η απόκτηση τεσσάρων σετ δεδομένων. Για κάθε σετ δεδομένων πραγματοποιήθηκαν επίσης μετρήσεις στις γραμμές μελέτης TA,TP και T0 όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2.

Κατά τη διάρκεια της πρόσθεσης νερού και της αποστράγγισης, η άμμος συμπίεστηκε δύο φορές. Μετά τη δεύτερη προσθήκη νερού και την άνοδο του

υδροφόρου ορίζοντα, παρατηρήθηκε συμπίεση της τάξεως των 2cm. Το ίδιο συνέβη και κατά την αποστράγγιση. Η ολική αλλαγή που παρατηρήθηκε συνολικά κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν 3cm.



**Εικόνα 4.3:** Τομή της δεξαμενής που καταδεικνύει τα θαμμένα αντικείμενα

## 4.2 Απεικόνιση και επεξεργασία των τομών με το πρόγραμμα matgpr

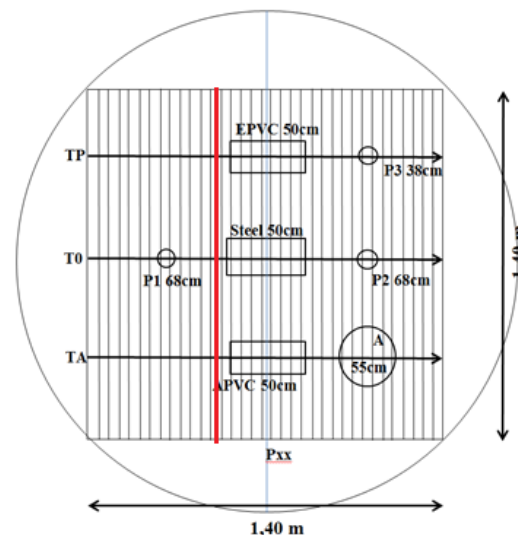
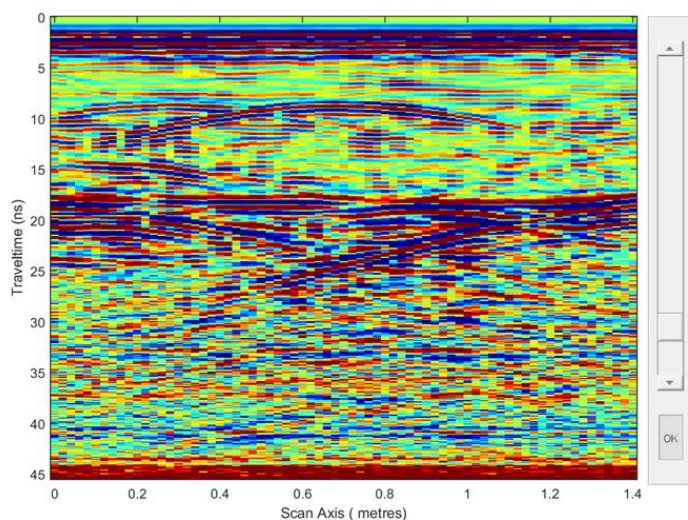
Το πρόγραμμα matgpr (Tzanis 2004) χρησιμοποιείται για την προβολή και επεξεργασία δεδομένων του γεωραντάρ. Παρέχει ένα σχετικά ευρύ και λειτουργικό σύστημα εργαλείων και εντολών. Για την ανάλυση δεδομένων μηδενικής απόστασης πομπού-δέκτη συλλέχθηκαν τρία σετ δεδομένων, για ξηρή άμμο, με προσθήκη νερού σε βάθος 72cm και 48cm. Στο πρώτο βήμα έγινε απεικόνιση για όλες στις γραμμές διασκόπησης, με το πρόγραμμα matgpr.

Παρακάτω γίνεται παράθεση των τομών για τα τρία σετ δεδομένων για τις γραμμές διασκόπησης 16, 25, 36, 55. Κάθε τομή έχει στον άξονα y το διπλό χρόνο διαδρομής σε ns του H/M κύματος και στον άξονα x τη θέση πάνω στην γραμμή διασκόπησης σε m. Επίσης, τα χρώματα στις τομές υποδεικνύουν το πλάτος των H/M κυμάτων.



## 4.2.1 Πείραμα σε ξηρή άμμο

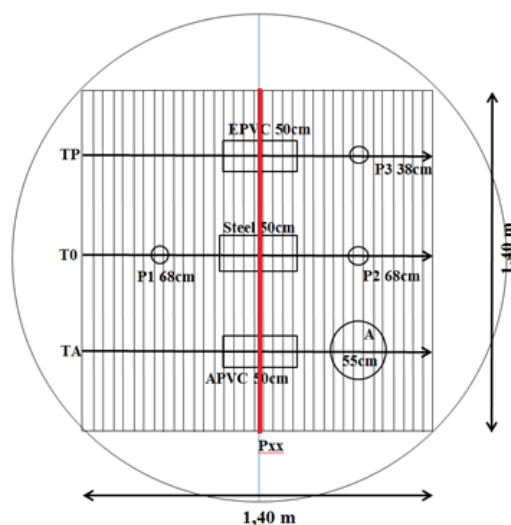
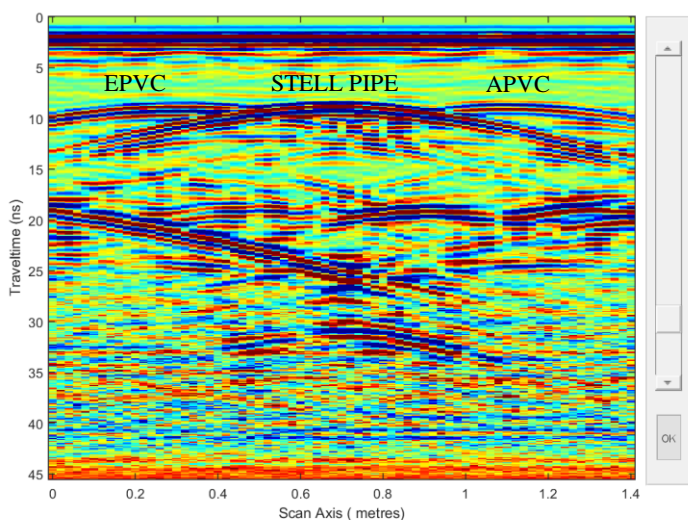
### Τομή 25



**Εικόνα 4.3:** Τομή 25 με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και inverse decay amplitude. Στα δεξιά η κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση της γραμμής διασκόπησης 25.

Στην τομή 25 είναι ορατές οι περιθλάσεις των σωλήνων, όμως αυτή η γραμμή διασκόπησης δε τέμνει κανένα στόχο. Επίσης, εμφανίζονται οι περιθλάσεις από τον πυθμένα της δεξαμενής και τις άκρες της.

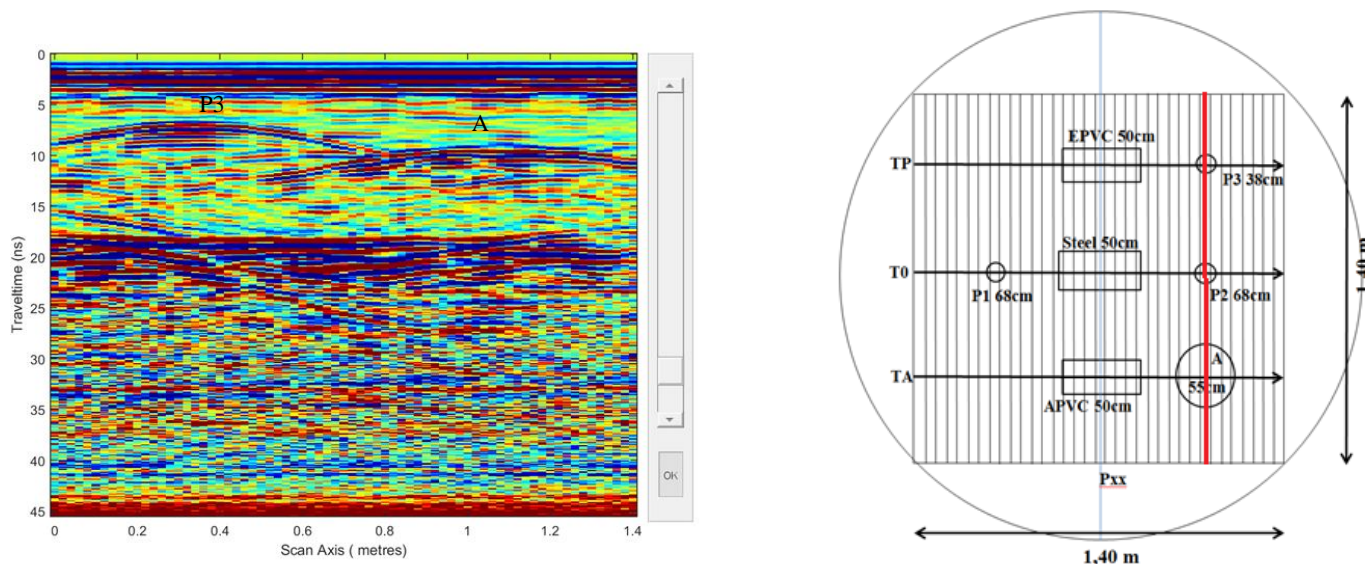
### Τομή 36



**Εικόνα 4.4:** Τομή 36 με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους. Στα δεξιά η κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση της γραμμής διασκόπησης 36.

Στην τομή 36, η γραμμή διασκόπησης τέμνει κάθετα τους τρεις σωλήνες. Οι περιθλάσεις είναι εμφανείς. Έχοντας από τα αριστερά προς τα δεξιά, τον πλαστικό σωλήνα πληρωμένο με νερό, τον μεταλλικό σωλήνα στο κέντρο και τον πλαστικό σωλήνα γεμάτο με αέρα. Ακόμα, τα περιθλώμενα κύματα από τον πυθμένα του κουτιού είναι καταγεγραμμένα περίπου στα 18ns, όπως και η επικλινής περίθλαση που οφείλεται στις άκρες τα δεξαμενής, η οποία εμφανίζεται από τα 20ns έως τα 30ns.

### Τομή 55



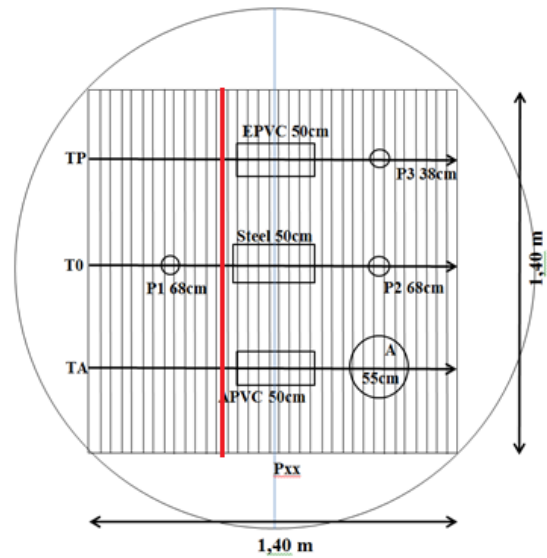
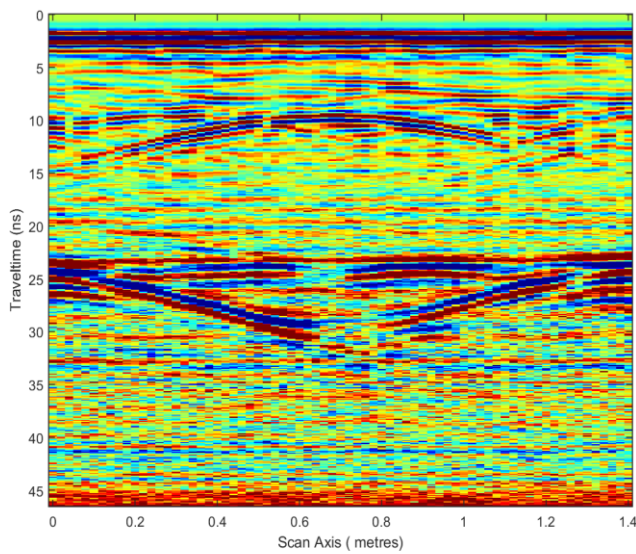
**Εικόνα 4.5:** Τομή 55 με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενου φίλτρου ενίσχυσης του πλάτους. Στα δεξιά η κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση της γραμμής διασκόπησης 55.

Στη συνέχεια η γραμμή 55 τέμνει τις δύο μεταλλικές σφαίρες P2, P3 και το κομμάτι από πηλό A. Η τομή 55 δείχνει περιθλώμενα κύματα από την μεταλλική σφαίρα P3 όπως και από το κομμάτι πηλού.

Τα περιθλώμενα κύματα από τη μεταλλική σφαίρα P2 δεν είναι ορατά. Πιθανώς, γιατί καλύπτεται η περίθλαση της από τις περιθλάσεις του πηλού.



## Τομή 25

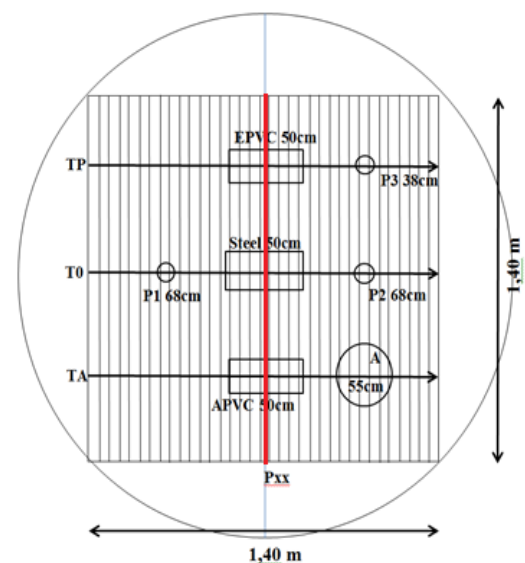
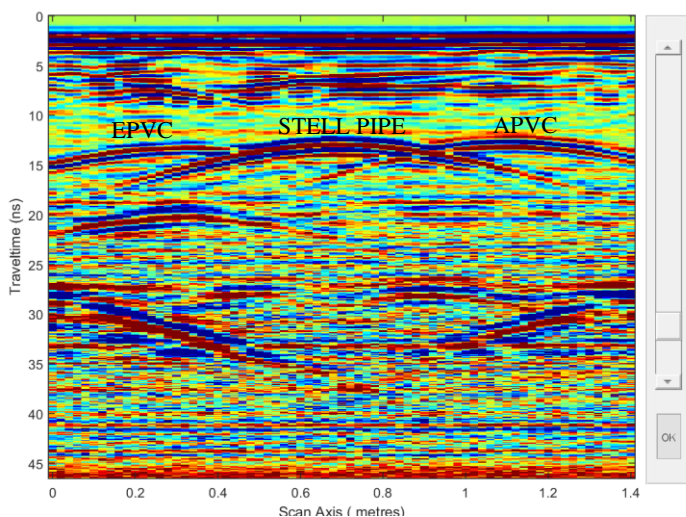


**Εικόνα 4.7:** Τομή 25, με νερό σε βάθος 72cm, εφαρμόζοντας φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους. Στα δεξιά η κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση της γραμμής διασκόπησης 25.

Παρόμοιες παρατηρήσεις και στην τομή 25, όσον αναφορά την καθυστέρηση στους χρόνους άφιξης των ανακλάσεων του πυθμένα της δεξαμενής. Ακόμα εμφανείς είναι οι περιθλάσεις των σωλήνων, χωρίς να τέμνει κανένα η γραμμή διασκόπησης 25, όπως φαίνεται και στην κάτοψη.

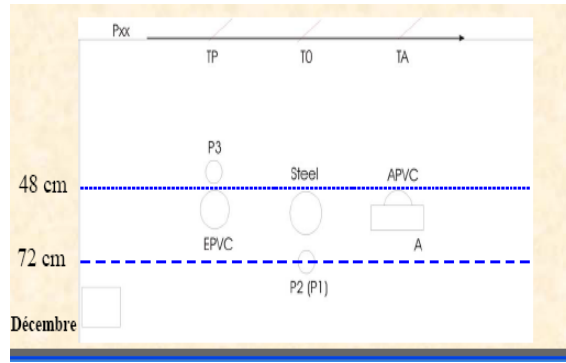
## 4.2.3 Πείραμα με νερό σε βάθος 48cm

### Τομή 36



**Εικόνα 4.18:** Τομή 36, με νερό σε βάθος 48cm, εφαρμόζοντας φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους. Στα δεξιά η κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση της γραμμής διασκόπησης 36.

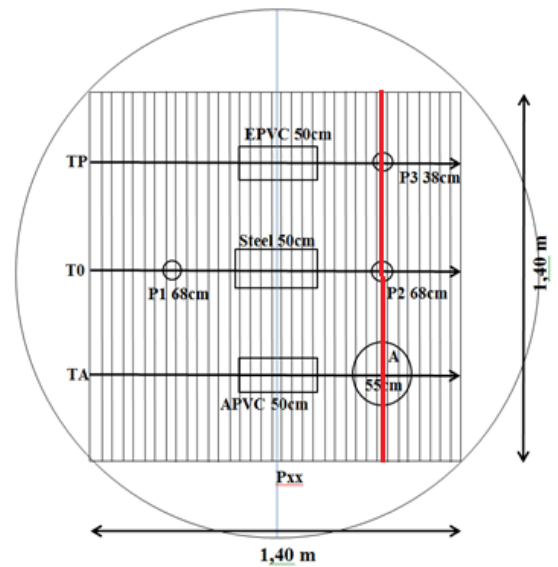
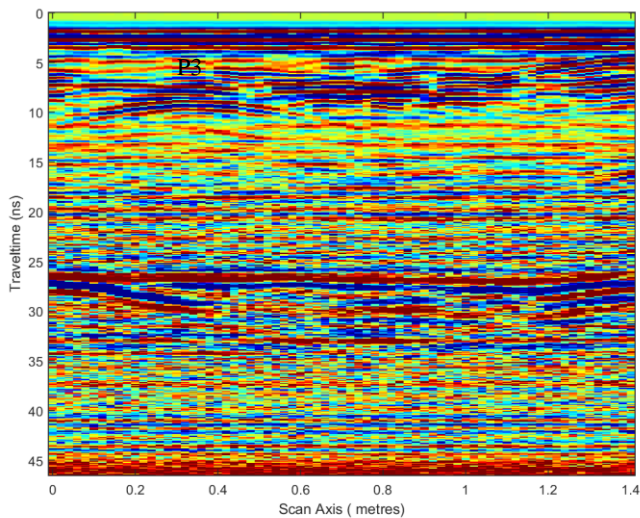




**Εικόνα 4.9:** Σκαρίφημα τομής της δεξαμενής με τις διακεκομμένες γραμμές να δείχνουν τις επιφάνειες του νερού σε βάθη 48cm και 72cm

Στη συνέχεια προστέθηκαν ακόμα 240L νερού, με συνέπεια η επιφάνεια του νερού να ανέβει σε βάθος 48cm. Στην τομή 36 οι περιθλάσεις των σωλήνων είναι ορατές με καθυστερημένο χρόνο άφιξης, καθώς καλύπτονται από το νερό.

## Τομή 55



**Εικόνα 4.10:** Τομή 5 , με νερό σε βάθος 48cm, εφαρμόζοντας φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους. Στα δεξιά η κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση της γραμμής διασκόπησης 55.

Στην τελευταία τομή 55, μόνο οι περιθλάσεις από την μεταλλική σφαίρα P3 είναι εμφανείς, καθώς η σφαίρα P2 και το κομμάτι πηλού A καλύπτονται από το νερό.

### 4.3 Υπολογισμός ταχυτήτων με το πρόγραμμα matgrpr

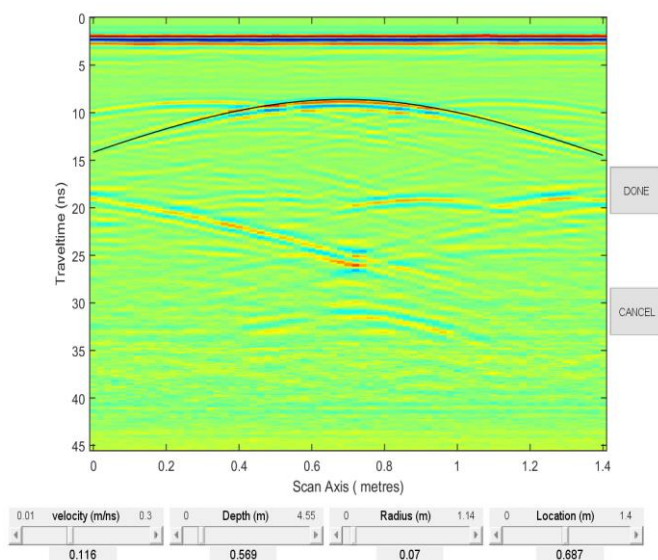
Το πρόγραμμα matgrpr (Tzanis 2004), έχει την δυνατότητα εύρεσης της ταχύτητας των H/M κυμάτων, προσαρμόζοντας μία καμπύλη στις καμπύλες περίθλασης. Μπορεί να εφαρμοστεί σε σημειακούς στόχους και σε στόχους κυκλικής διατομής. Οι παράμετροι για την προσαρμογή της καμπύλης είναι, η ταχύτητα, η ακτίνα του στόχου και οι συντεταγμένες του (το βάθος στο οποίο βρίσκεται και η θέση στη γραμμή διασκόπησης).

Γνωρίζοντας την ακτίνα του στόχου και τις συντεταγμένες του, με την προσαρμογή της καμπύλης πάνω στην περίθλαση του στόχου υπολογίζεται η ταχύτητα. Με αυτό τον τρόπο βρέθηκε η ταχύτητα μέχρι τους θαμμένους σωλήνες και στα τρία πειράματα.

#### 4.3.1 Πείραμα σε ξηρή άμμο

##### Μεταλλικός σωλήνας

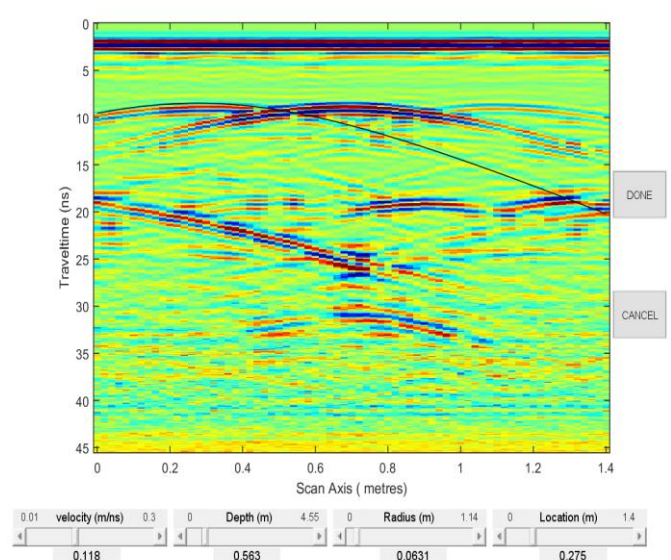
$$v = 0.116\text{m/ns}$$



**Εικόνα 4.11:** Προσαρμογή καμπύλης στην περίθλαση του μεταλλικού σωλήνα για εύρεση ταχύτητας, σε ξηρή άμμο.

##### Πλαστικός σωλήνας με νερό

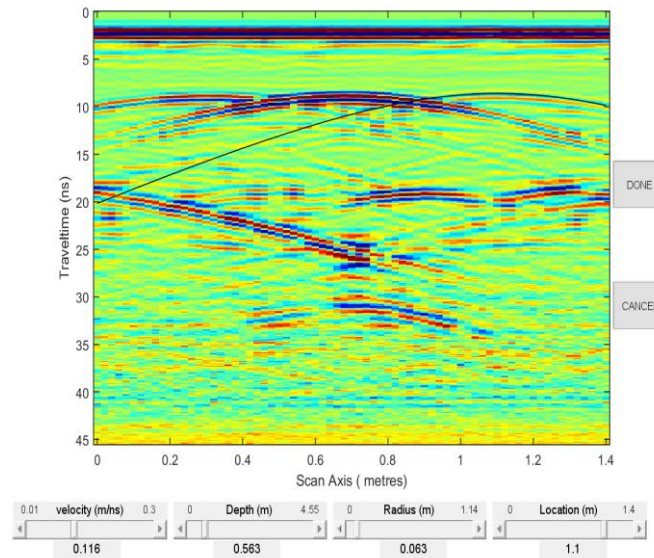
$$v = 0.118\text{m/ns}$$



**Εικόνα 4.12** Προσαρμογή καμπύλης στην περίθλαση του πλαστικού σωλήνα με νερό για εύρεση ταχύτητας, σε ξηρή άμμο.

### Πλαστικός σωλήνας με αέρα

$$v = 0.116\text{m/ns}$$

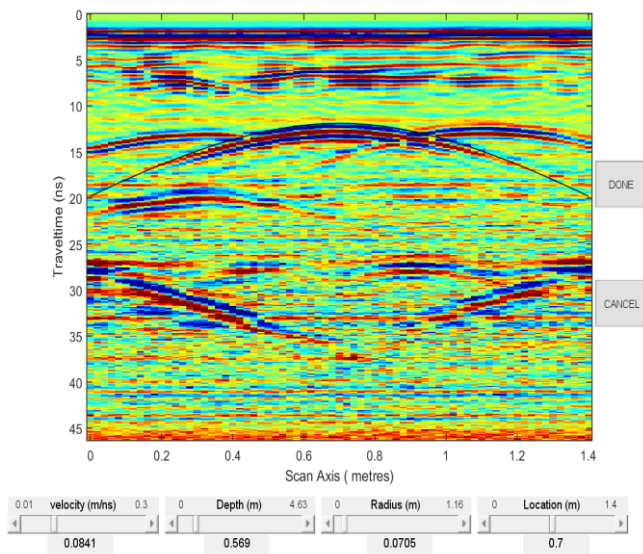


**Εικόνα 4.13:** Προσαρμογή καμπύλης στην περίθλαση του πλαστικού σωλήνα με αέρα για εύρεση ταχύτητας, σε ξηρή άμμο.

### 4.3.2 Πείραμα με νερό σε βάθος 72cm

#### Μεταλλικός σωλήνας

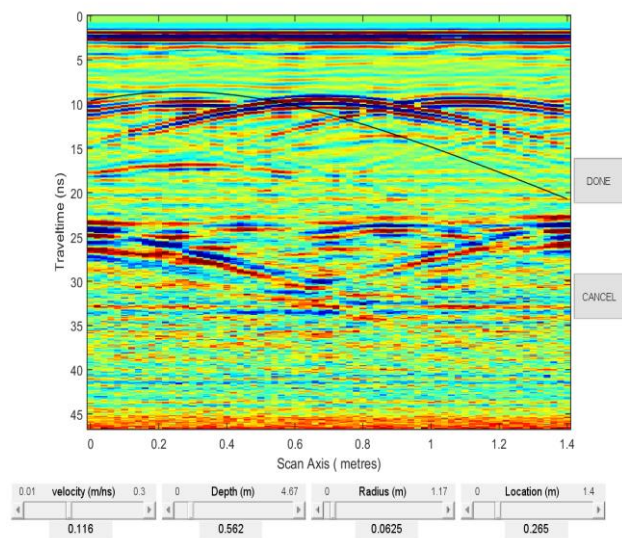
$$v = 0.114\text{m/ns}$$



**Εικόνα 4.14** Προσαρμογή καμπύλης στην περίθλαση του μεταλλικού σωλήνα για εύρεση ταχύτητας, στο πείραμα με νερό σε βάθος 72cm.

#### Πλαστικός σωλήνας με νερό

$$v = 0.116\text{m/ns}$$

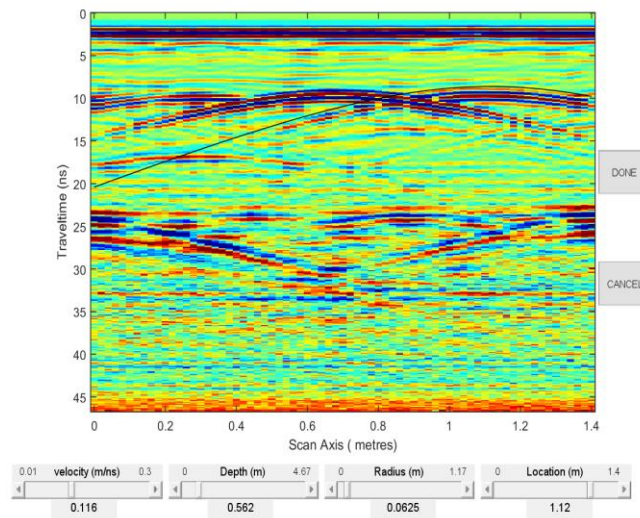


**Εικόνα 4.15:** Προσαρμογή καμπύλης στην περίθλαση του πλαστικού σωλήνα με νερό για εύρεση ταχύτητας στο πείραμα με νερό σε βάθος 72cm.



### Πλαστικός σωλήνας με αέρα

$$v = 0.116\text{m/ns}$$

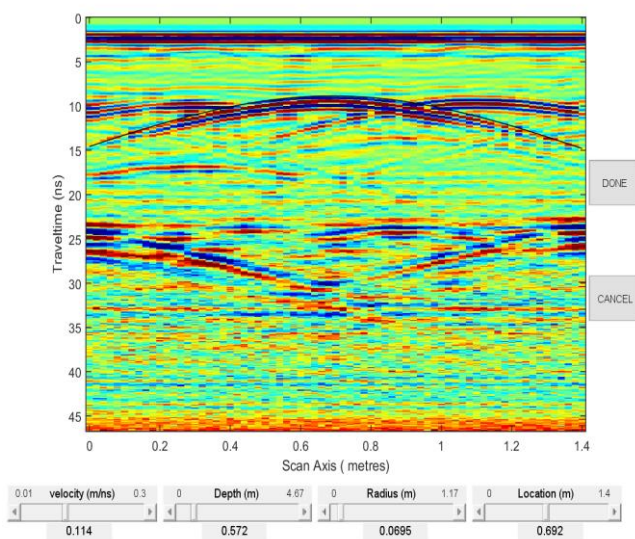


**Εικόνα 4.16:** Προσαρμογή καμπύλης στην περίθλαση του πλαστικού σωλήνα με αέρα για εύρεση ταχύτητας, στο πείραμα με νερό σε βάθος 72cm.

### 4.3.3 Πείραμα με νερό σε βάθος 48cm

#### Μεταλλικός σωλήνας

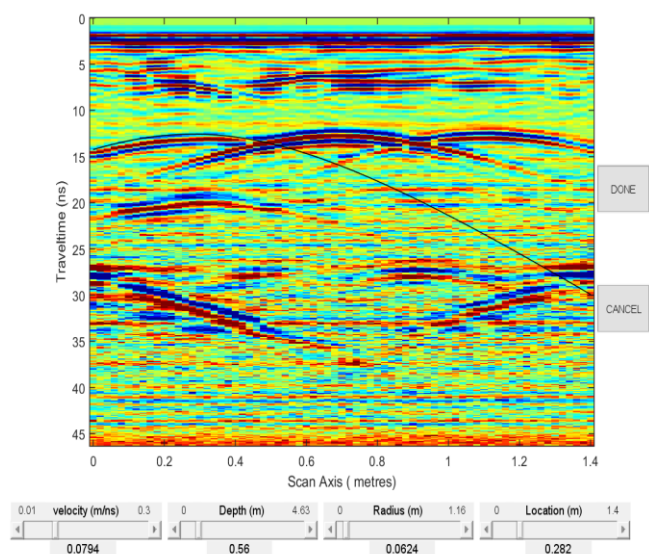
$$v = 0.0841\text{m/ns}$$



**Εικόνα 4.17:** Προσαρμογή καμπύλης στην περίθλαση του μεταλλικού σωλήνα για εύρεση ταχύτητας, στο πείραμα με νερό σε βάθος 48cm.

#### Πλαστικός σωλήνας με νερό

$$v = 0.0794\text{m/ns}$$

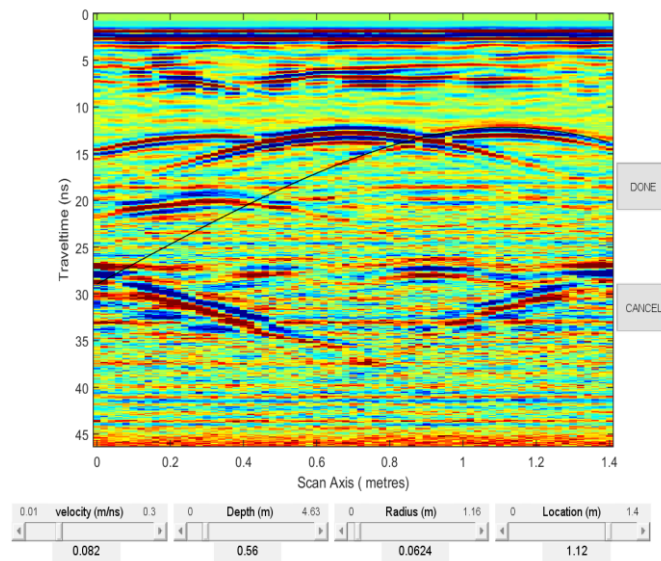


**Εικόνα 4.18:** Προσαρμογή καμπύλης στην περίθλαση του πλαστικού σωλήνα με νερό για εύρεση ταχύτητας, στο πείραμα με νερό σε βάθος 48cm.



### Πλαστικός σωλήνας με αέρα

$$v = 0.082\text{m/ns}$$

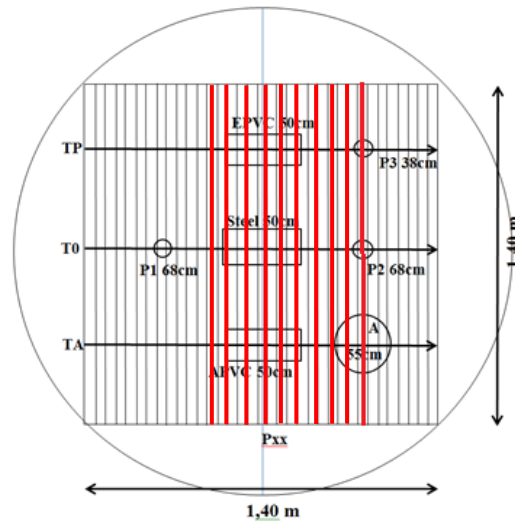


**Εικόνα 4.20:** Προσαρμογή καμπύλης στην περίθλαση του πλαστικού σωλήνα με νερό για εύρεση ταχύτητας, στο πείραμα με νερό σε βάθος 48cm.

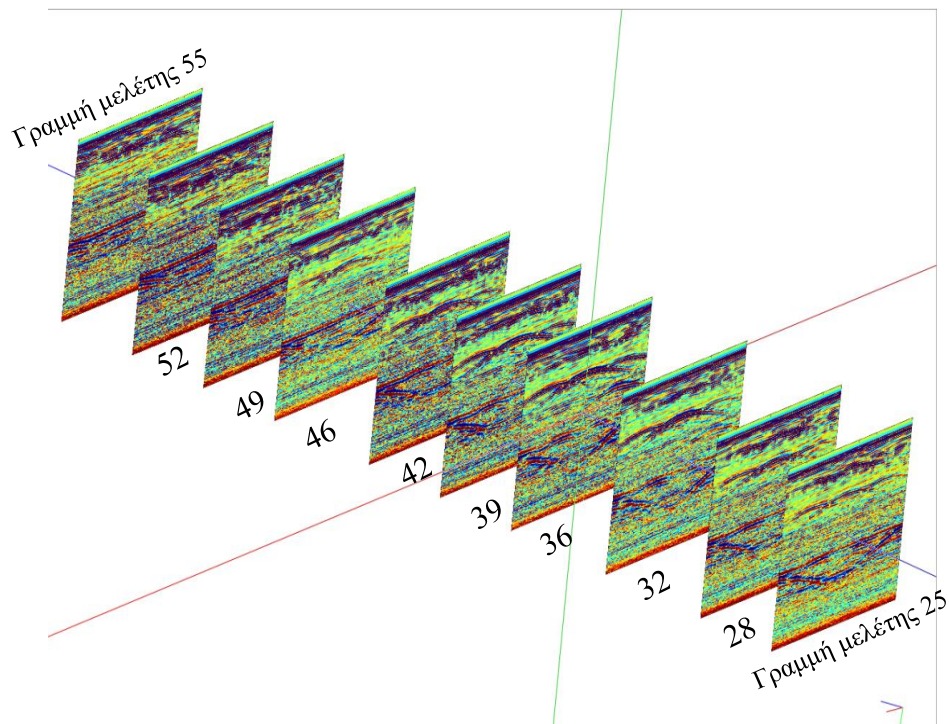
Η ταχύτητα αυτή είναι η χαρακτηριστική ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Για το πείραμα με νερό σε βάθος 48cm η ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε ήταν 0,082m/ns και με νερό σε βάθος 72cm η ταχύτητα ήταν 0,1107m/ns, ενώ για ξηρή άμμο 0,116m/ns.

## 4.4 Τρισδιάστατη απεικόνιση με το πρόγραμμα Rockworks

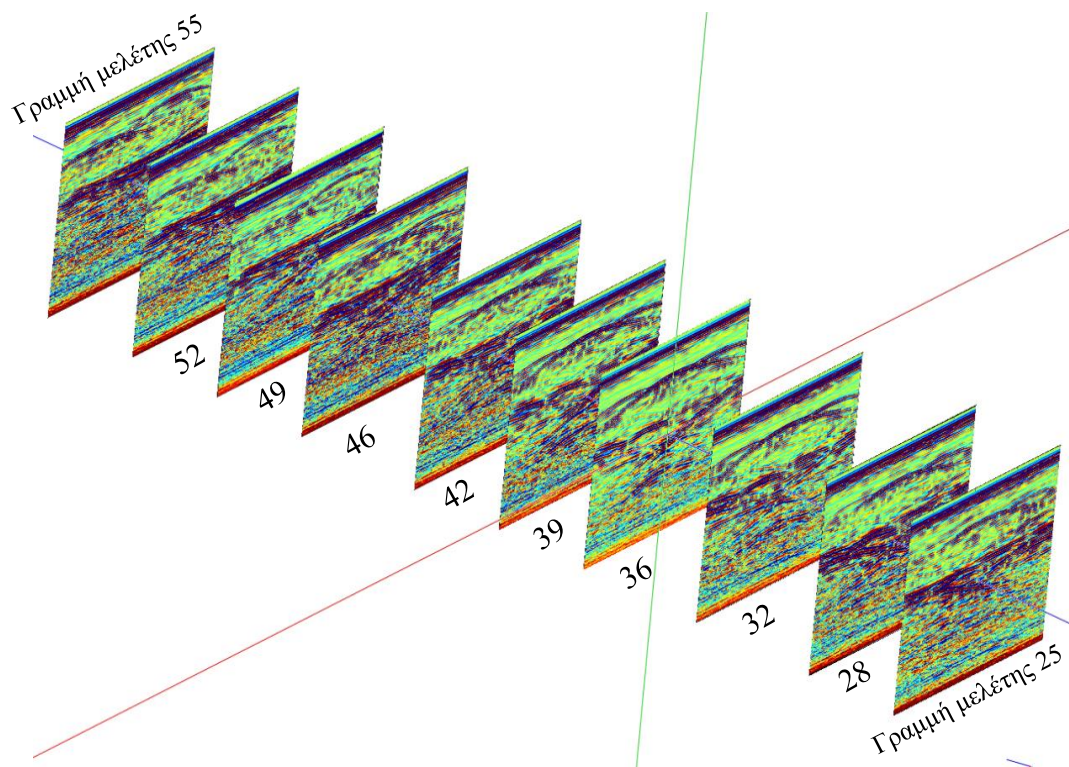
Έγινε τρισδιάστατη απεικόνιση με το πρόγραμμα Rockworks για τις τομές 25, 28, 32, 36, 39, 42, 46, 49, 52, 55. Η επόμενη κάτοψη δείχνει τις γραμμές μελέτης υπογραμμισμένες με κόκκινο, που αντιστοιχούν σε αυτές τις τομές.



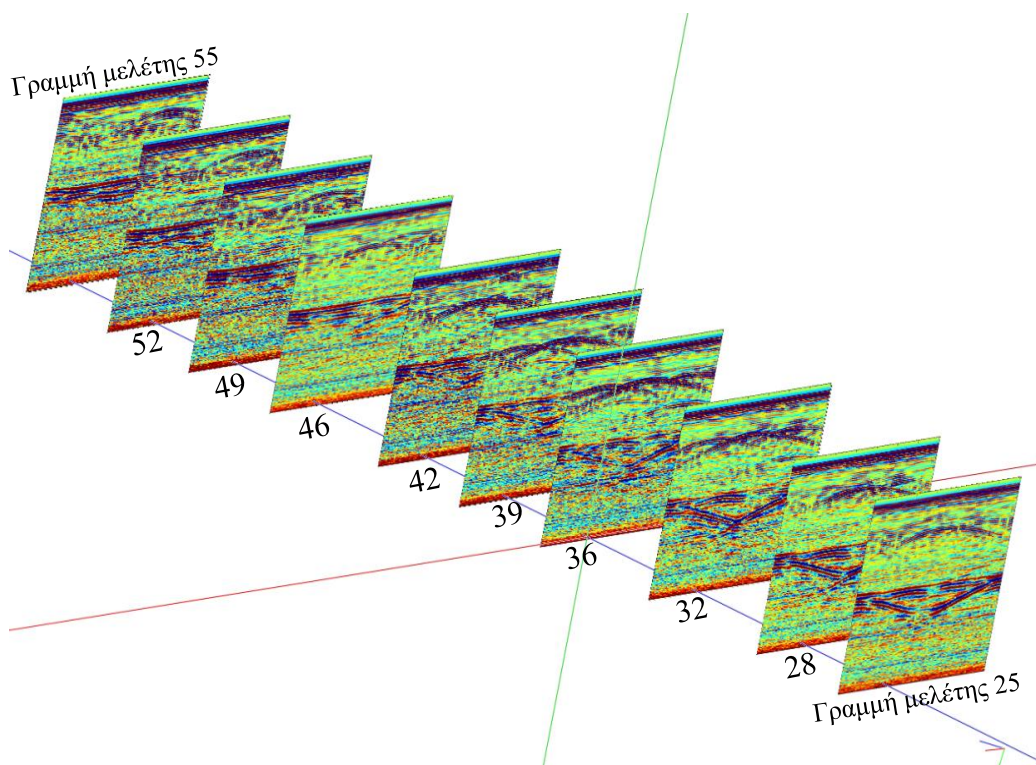
**Εικόνα 4.21:** Κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση των γραμμών μελέτης 25, 28, 32, 36, 39, 42, 46, 49, 52, 55.



**Εικόνα 4.22:** Τρισδιάστατη απεικόνιση στο πρόγραμμα rockworks για πείραμα με νερό σε βάθος 48m των γραμμών μελέτης 25, 28, 32, 36, 39, 42, 46, 49, 52, 55.



**Εικόνα 4.23:** Τρισδιάστατη απεικόνιση στο πρόγραμμα rockworks για πείραμα σε ξηρή άμμο των γραμμών μελέτης 25, 28, 32, 36, 39, 42, 46, 49, 52, 55.



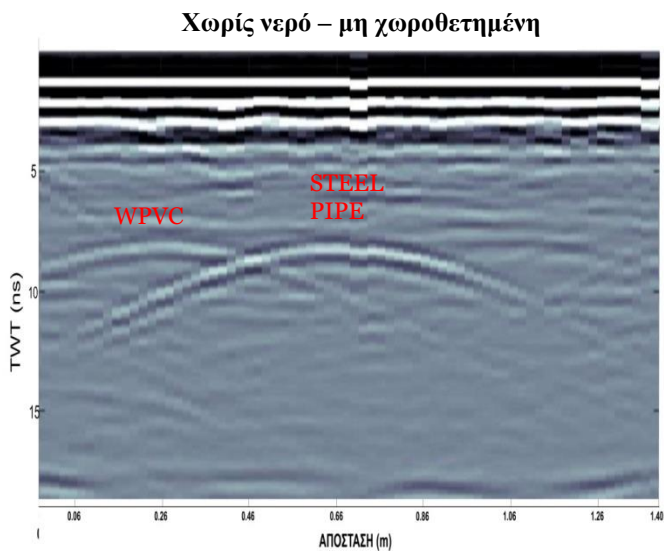
**Εικόνα 4.24:** Τρισδιάστατη απεικόνιση στο πρόγραμμα rockworks για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm των γραμμών μελέτης 25, 28, 32, 36, 39, 42, 46, 49, 52, 55.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ KIRCHHOFF

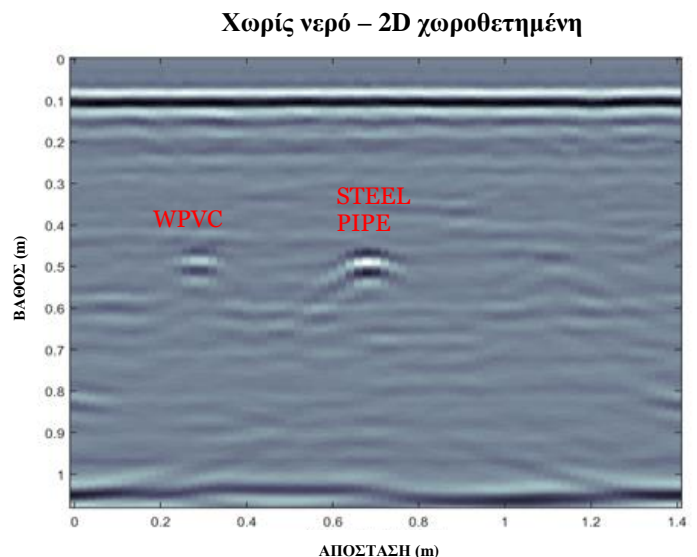
## 5.1 Δισδιάστατη και τρισδιάστατη χωροθέτηση

Έγινε σύγκριση των δισδιάστατων χωροθετημένων τομών με τις τρισδιάστατες χωροθετημένες τομές. Η χωροθέτηση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας αλγόριθμους Kirchhoff για δύο και τρεις διαστάσεις, και σταθερή ταχύτητα 0,13 m/ns για το πείραμα χωρίς νερό, 0,127m/ns για το πείραμα με νερό σε βάθος 72cm, και 0,1m/ns για το πείραμα με νερό σε βάθος 48cm.

### Τομή 25 , χωρίς νερό

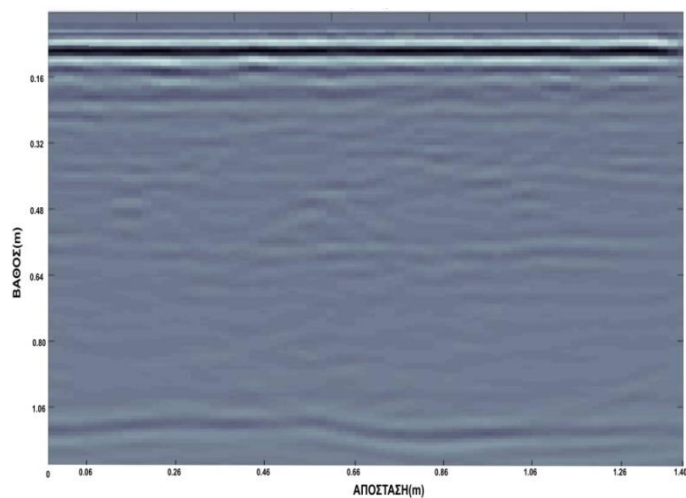


Εικόνα 4.25: Μη χωροθετημένη τομή 25, για ξηρή άμμο.

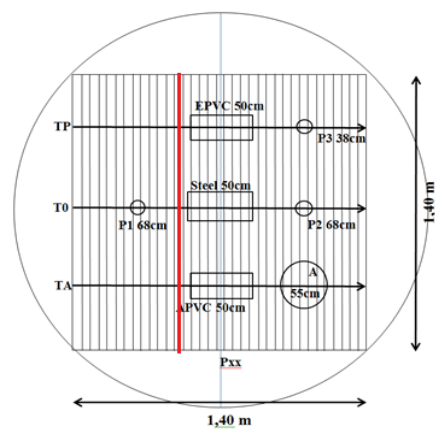


Εικόνα 4.26: 2D χωροθετημένη τομή 25, για ξηρή άμμο.

### Χωρίς νερό – 3D Χωροθετημένη



**Εικόνα 4.27:** 3D χωροθετημένη τομή 25, για ξηρή άμμο.



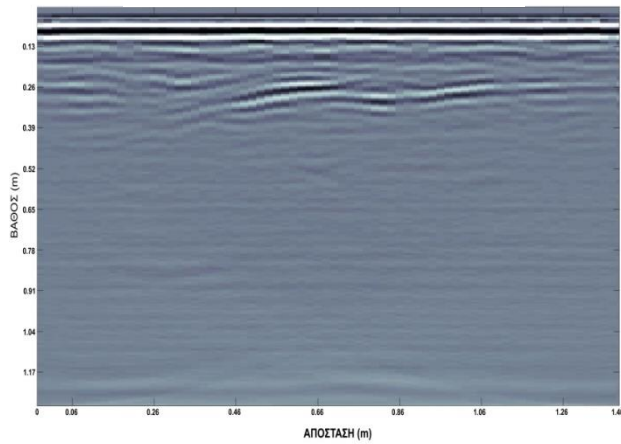
**Εικόνα 4.28:** Κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση της γραμμής διασκόπησης 25.

Στην τομή 25 βλέπουμε ότι μετά την 3D χωροθέτηση, οι περιθλάσεις των σωλήνων οι οποίες δεν αντιστοιχούν σε αυτή τη γραμμή διασκόπησης έχουν εξαφανιστεί, συγκρίνοντας με την μη χωροθετημένη τομή. Ενώ μετά την χωροθέτηση 2D, η εικόνα δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Χωροθετείται σαν να υπάρχουν σωλήνες κάτω από τη γραμμή διασκόπησης 25.



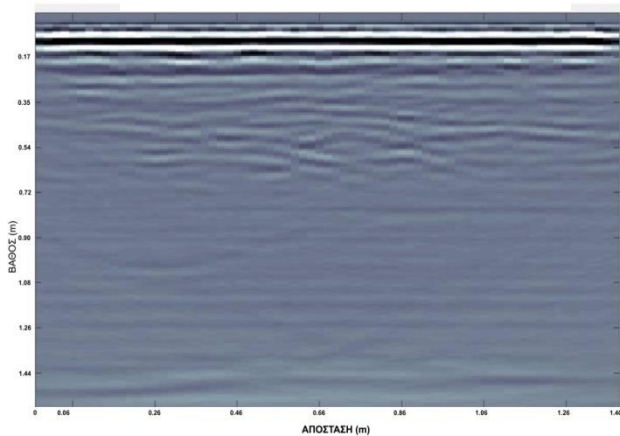
## Τομή 25 με νερό σε βάθος 72cm και 48cm

48cm-3D χωροθετημένη

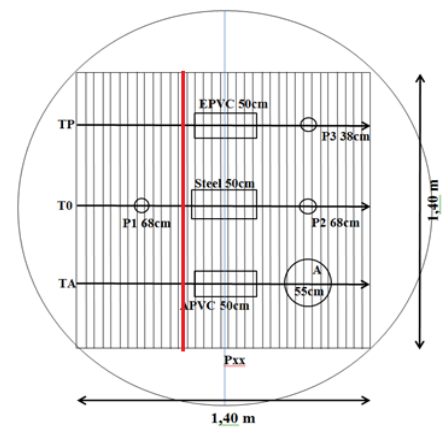


Εικόνα 4.29: 3D χωροθετημένη τομή 25, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm.

72cm-3D χωροθετημένη



Εικόνα 4.30: 3D χωροθετημένη τομή 25, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm.

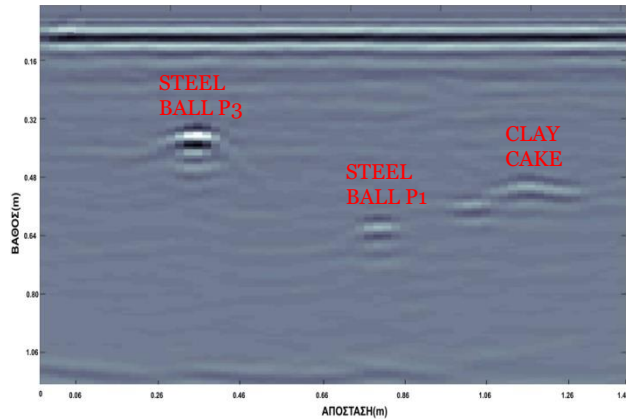


Εικόνα 4.31: Κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση της γραμμής διασκόπησης 25.

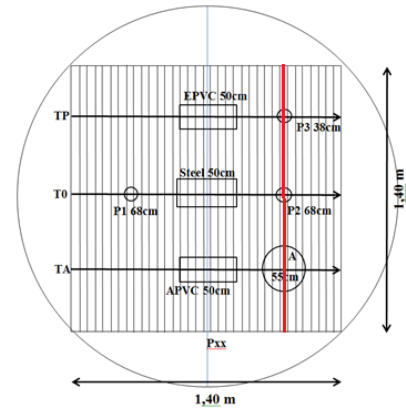
Εφαρμόζοντας τρισδιάστατη χωροθέτηση στα δεδομένα των πειραμάτων με νερό, οι περιθλάσεις των σωλήνων στην τομή 25 έχουν σωστά αφαιρεθεί, αφού βρίσκονται εκτός γραμμής.

## Τομές P55 και P36, χωρίς νερό

### Τομή 55, χωρίς νερό – 3D χωροθετημένη

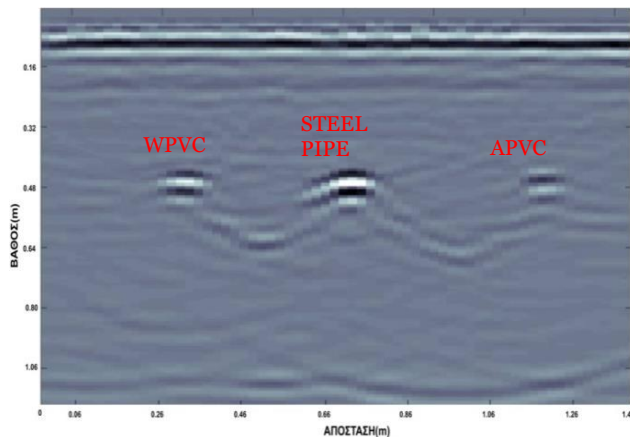


Εικόνα 4.32: 3D χωροθετημένη τομή 55, για ξηρή άμμο.

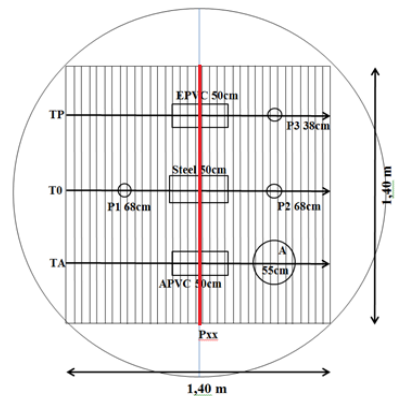


Εικόνα 4.33: Κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση της γραμμής διασκόπησης 55.

### Τομή 36, χωρίς νερό– 3D χωροθετημένη



Εικόνα 4.34: 3D χωροθετημένη τομή 36, για ξηρή άμμο.

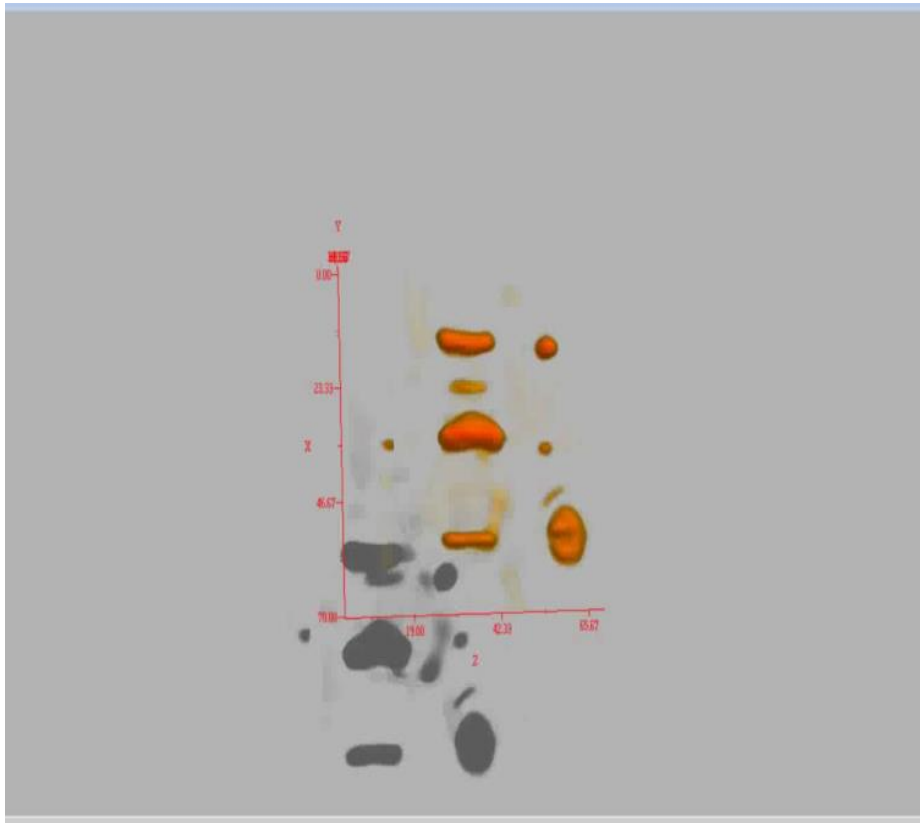


Εικόνα 4.35: Κάτοψη της δεξαμενής με επισήμανση της γραμμής διασκόπησης 36.

Οι χωροθετημένες τομές 55 και 36 για το πείραμα πριν την εισαγωγή νερού, απεικονίζουν σωστά τα αντικείμενα τα οποία είναι τοποθετημένα κάτω από αυτές τις γραμμές. Ακόμα, η μεταλλική μπάλα P1 η περιθλάση της οποίας ήταν καλυμμένη από τις περιθλάσεις του πηλού, μετά την εφαρμογή της 3D χωροθέτησης Kirchhoff είναι ορατή.

## 5.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση όγκου για το πείραμα χωρίς νερό

Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα transform 3D για την τρισδιάστατη αναπαράσταση του όγκου των δεδομένων. Εφαρμόστηκε χωροθέτηση Kirchhoff 3D και το μιγαδικό χαρακτηριστικό στιγμιαίου πλάτος σε κλίμακα dB (dB based Reflection Strength).

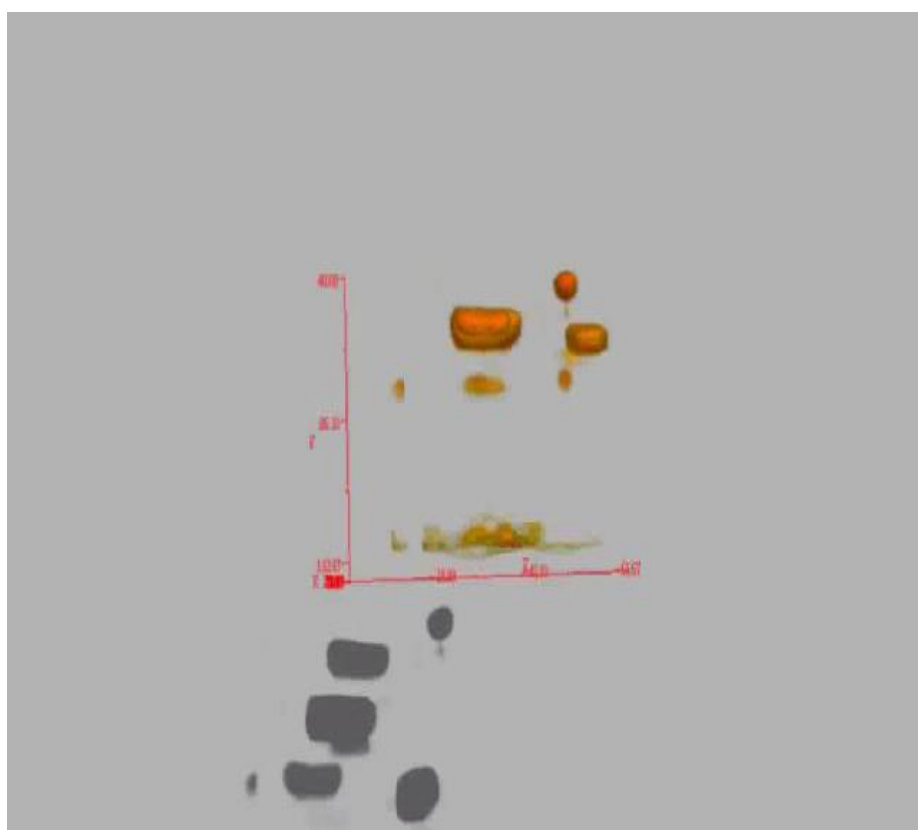


Εικόνα 4.36 Κάτοψη τρισδιάστατου όγκου, για πείραμα χωρίς νερό.

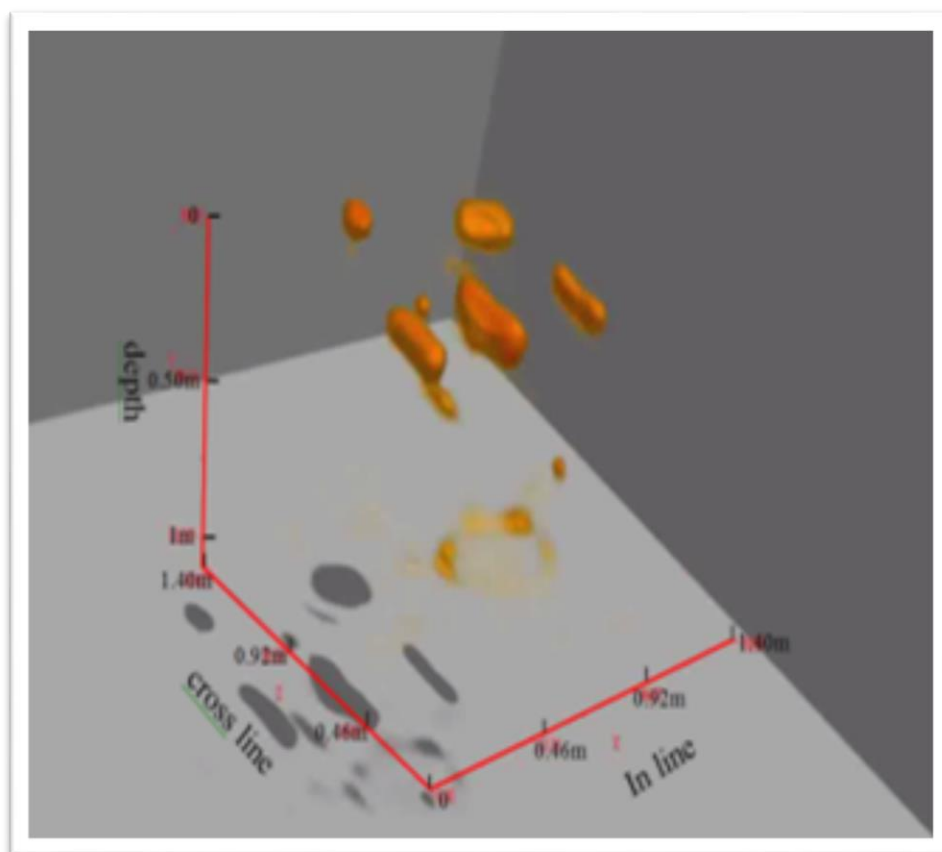




**Εικόνα 4.37:** Πλαϊνή όψη παράλληλη με τις γραμμές μελέτης του τρισδιάστατου όγκου, για πείραμα χωρίς νερό.

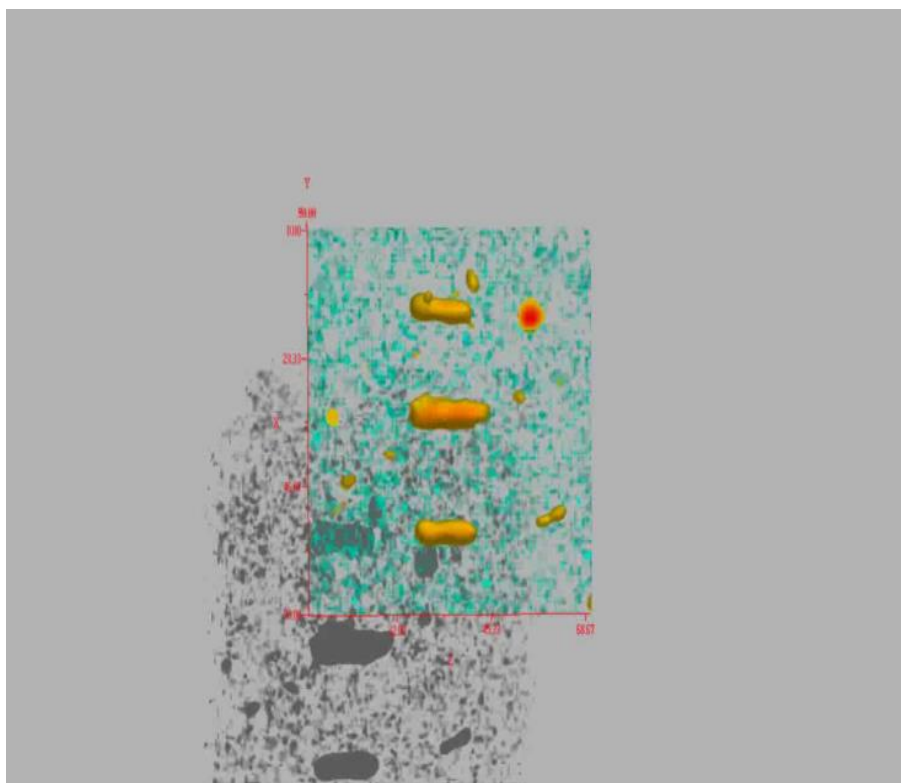


**Εικόνα 4.38:** Πλαϊνή όψη κάθετη στις γραμμές μελέτης του τρισδιάστατου όγκου, για πείραμα χωρίς νερό.

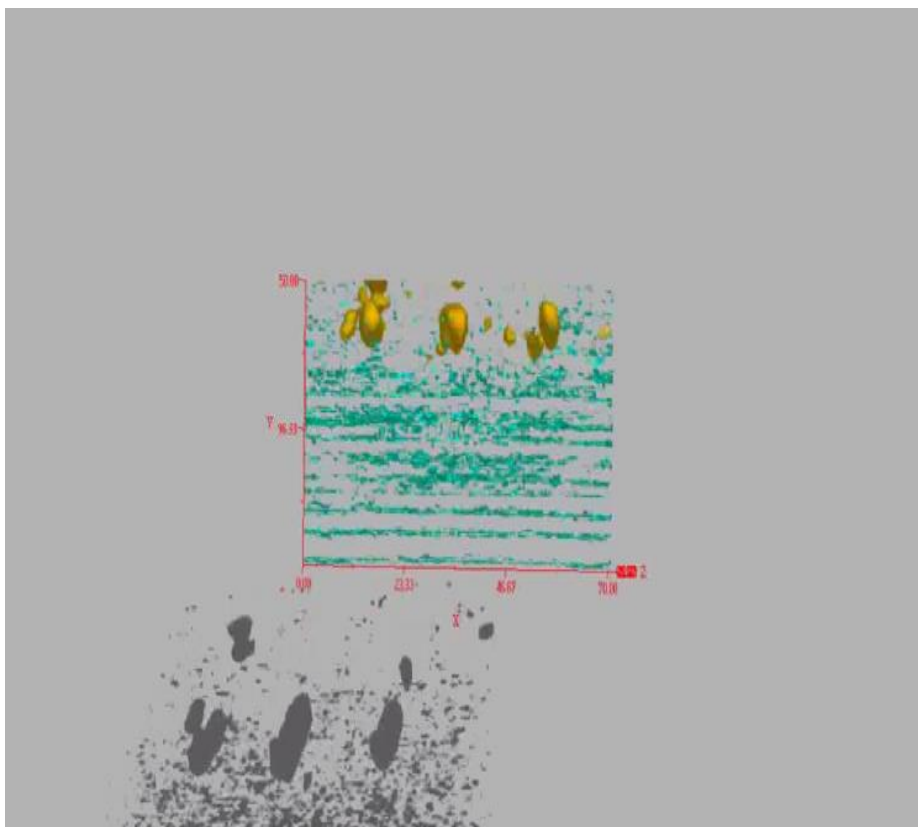


Εικόνα 4.39: Τρισδιάστατη απεικόνιση τρισδιάστατου όγκου, για πείραμα χωρίς νερό.

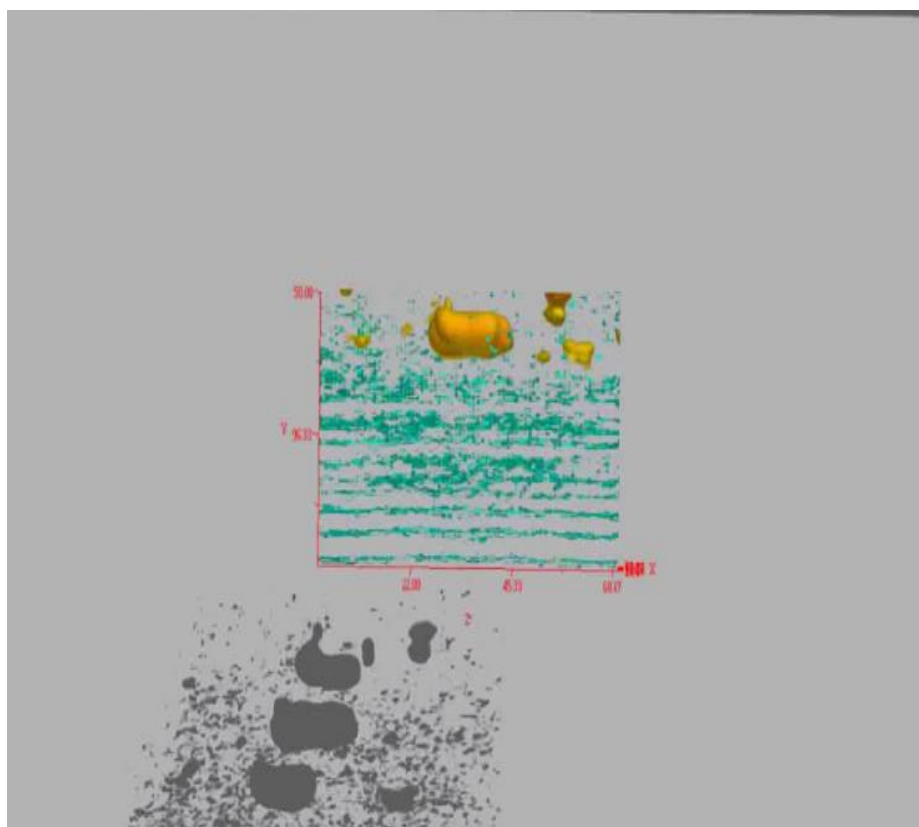
### 5.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση όγκου για το πείραμα με νερό σε βάθος 72cm



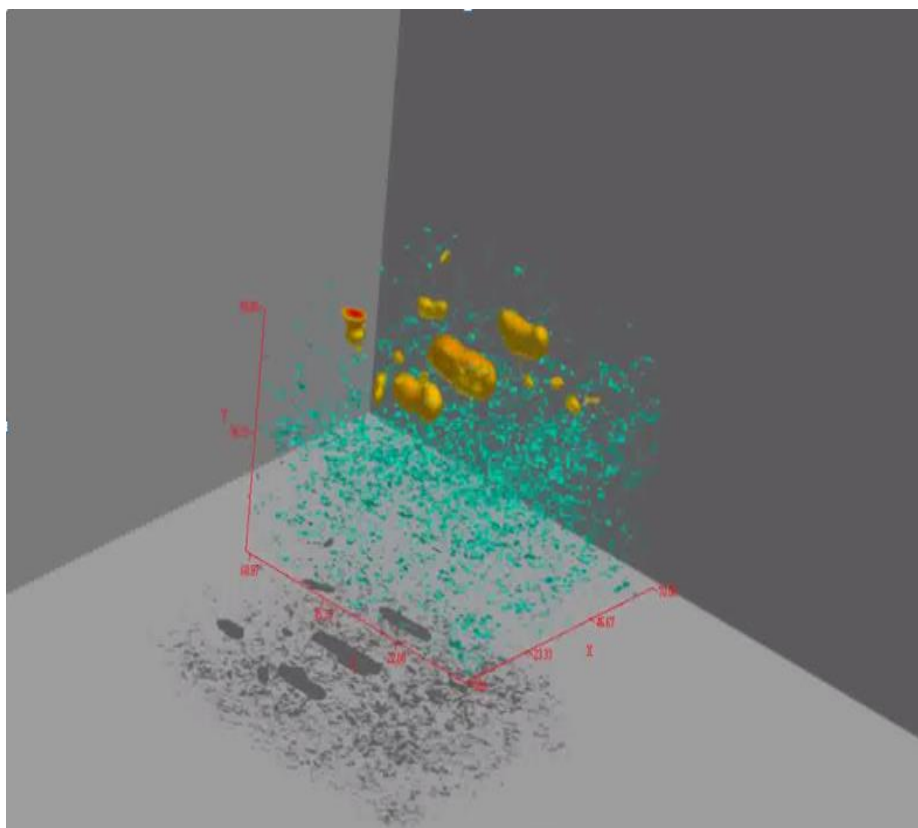
Εικόνα 4.40: Κάτοψη τρισδιάστατου όγκου, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm.



**Εικόνα 4.41:** Πλαϊνή όψη παράλληλη με τις γραμμές μελέτης του τρισδιάστατου όγκου, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm.



**Εικόνα 4.42:** Πλαϊνή όψη κάθετη στις γραμμές μελέτης του τρισδιάστατου όγκου, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm.



**Εικόνα 4.43:** Προοπτική τρισδιάστατου όγκου, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm

Εφαρμόζοντας το μιγαδικό χαρακτηριστικό στιγμιαίου πλάτος σε κλίμακα dB (dB based Reflection Strength), για την αναπαράσταση στις τρεις διαστάσεις, εμφανίστηκε το κορεσμένο σε υγρό στρώμα της άμμου. Είναι ορατή η ύπαρξη του στρώματος αυτού, παρατηρώντας τη διαφορά στην υφή που παρουσιάζει με την ξηρή άμμο ακριβώς από πάνω. Το κορεσμένο σε νερό στρώμα είναι κάτω από τους σωλήνες, και στην εικόνα 4.43 απεικονίζεται με γαλαζοπράσινο χρώμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την περάτωση της διπλωματικής εργασίας, προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με τη συμβολή της επεξεργασίας με τη μέθοδο της χωροθέτησης. Η εφαρμογή της χωροθέτησης με τη μέθοδο Kirchhoff αναδιαμόρφωσε τις τομές και απεικόνισε στόχους οι οποίοι δεν ήταν πριν ορατοί.

Με την εφαρμογή 3D χωροθέτησης Kirchhoff, περιθλάσεις στόχων οι οποίοι βρίσκονται εκτός γραμμής μελέτης, έχουν απομακρυνθεί σε αντίθεση με την 2D χωροθέτηση, η οποία αδυνατεί να τις απομακρύνει. Τέλος, η τρισδιάστατη χωροθέτηση με τη μέθοδο Kirchhoff απεικόνισε τη στάθμη του νερού και τη μεταλλική σφαίρα P2.

Συμπερασματικά, μελετώντας και συγκρίνοντας την επεξεργασία των δεδομένων γεωραντάρ με τη μέθοδο χωροθέτησης Kirchhoff στις δύο διαστάσεις και στις τρεις, προκύπτει πως η τρισδιάστατη χωροθέτηση έχει πιο καλά αποτελέσματα και μεγαλύτερη ακρίβεια στην αποτύπωση θαμμένων αντικειμένων σε σχέση με την 2D.

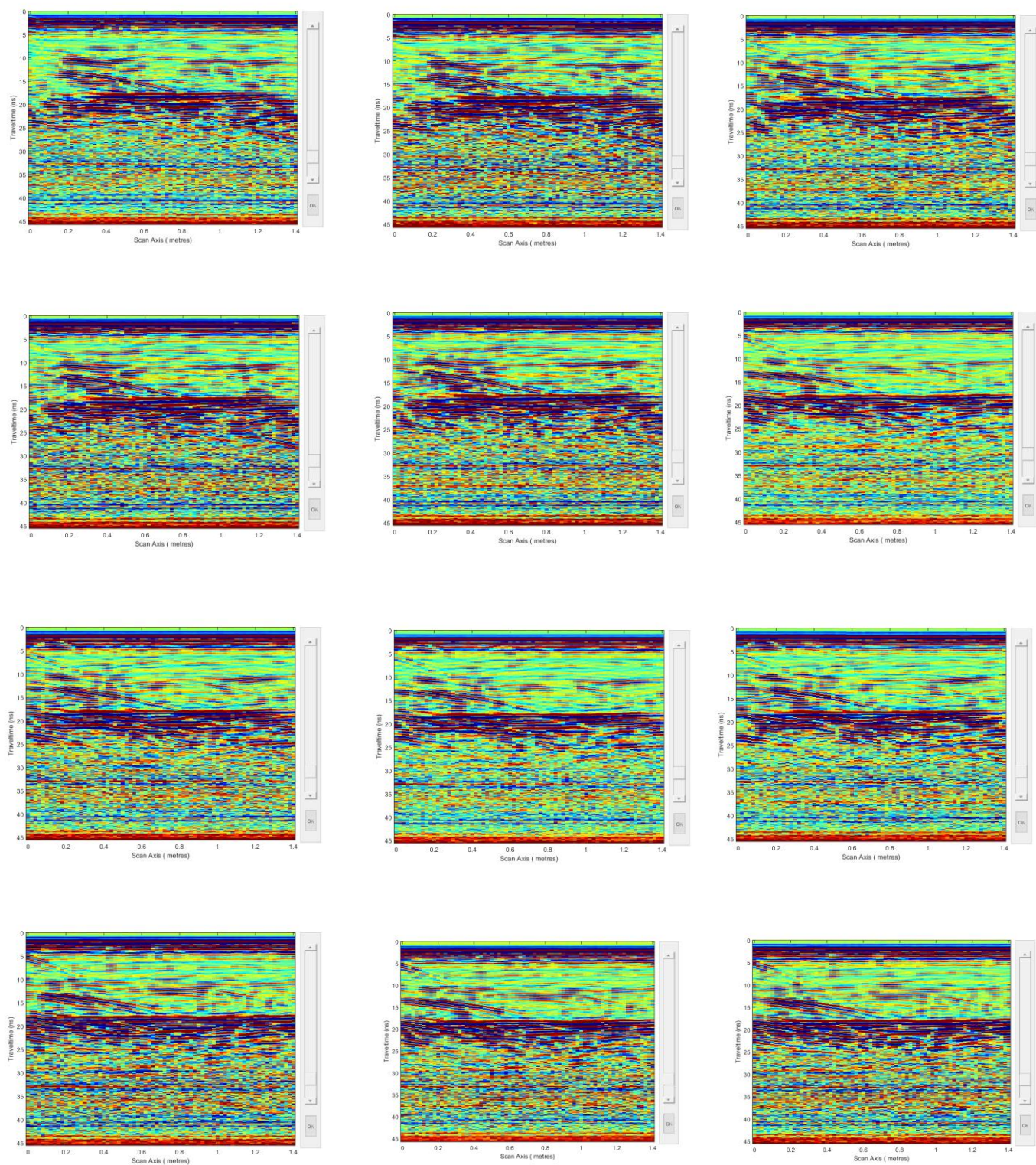
## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βαφείδης Α. (2001) , *Εφαρμοσμένη Γεωφυσική II* , Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
2. Loeffler & Bano (2004), “*Ground Penetrating Radar Measurements in a Controlled Vadose Zone: Influence of the Water Content* ”, reproduced from Vadose Zone Journal, published by Soil Science Society of America, vol. 3, pp. 1082-1092.
3. Σπανουδάκης Νικόλαος Σ. (2002). “*Ανάπτυξη μεθόδων επεξεργασίας γεωραντάρ και εφαρμογή σε περιβαλλοντικά προβλήματα*”. Μεταπτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά .
4. Πουλιούδης Γ. (1999) ,“*Γεωφυσική διασκόπηση στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου με τη μέθοδο του υπεδάφειου ραντάρ*”, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
5. Ozdogan Yilmaz, *Seismic Data Processing, Investigations in geophysics*, Society of exploration geophysics.
6. Xiaoxian Zeng\* and George A. McMechan\* (1997), “*GPR characterization of buried tanks and pipes*”, GEOPHYSICS, vol. 62, p. 797–806.
7. Annan A.P. (September 2001), “*Ground Penetrating Radar Workshop Notes* .
8. David J. Daniels, *Ground Penetrating Radar - 2nd Edition*”. The Institution of Electrical Engineers .
9. <https://www.ceid.upatras.gr> , “*Εκπομπή και διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων*” .
10. Richa Rastogi\*, Ashutosh Londhe, Abhishek Srivastava, Kirannmayi M. Sirasala, Kiran Khonde. “*Research paper 3D Kirchhoff depth migration algorithm: A new scalable approach for parallelization on multicore CPU, Centre for Development of Advanced Computing*”. Savitribai Phule Pune University campus, Pune 411 007, India.
11. Richa Rastogi n, Abhishek Srivastava, Kiran Khonde, Kirannmayi M. Sirasala, Ashutosh Londhe, Hitesh Chavhan (2015). “*An efficient parallel algorithm: Poststack and prestack Kirchhoff 3Ddepth migration using flexi-depth iterations*”. Centre for Development of Advanced Computing, Pune University campus, Pune 411 007, India

12. Rastogi R. and Phadke S. (2017). “*Optimal aperture width selection and parallel implementation of Kirchhoff migration algorithm*”. Centre for Development of Advanced Computing, Pune University Campus, Pune 411007, India.
13. Hamran S.E., Gjessing D.T., Hjelmstad J., Aarholt E. (1995). “*Ground penetrating synthetic pulse radar: dynamic range and modes of operation*”. Journal of Applied Geophysics, vol. 33.
14. Mellett J.S. (1995). “*Ground penetrating radar applications in engineering, environmental management and geology*”. Journal of Applied Geophysics, vol. 33, p. 157-166.

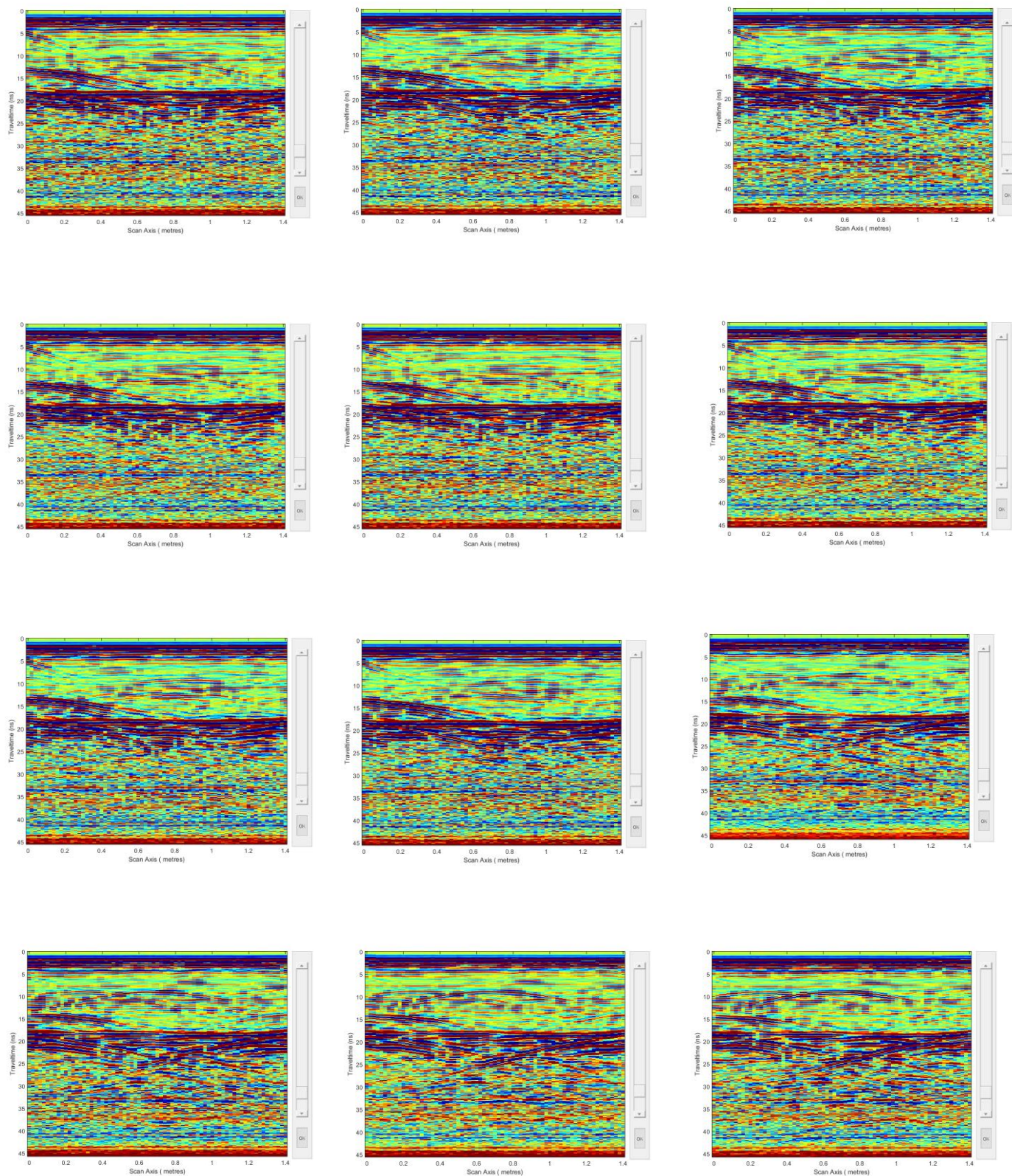


# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



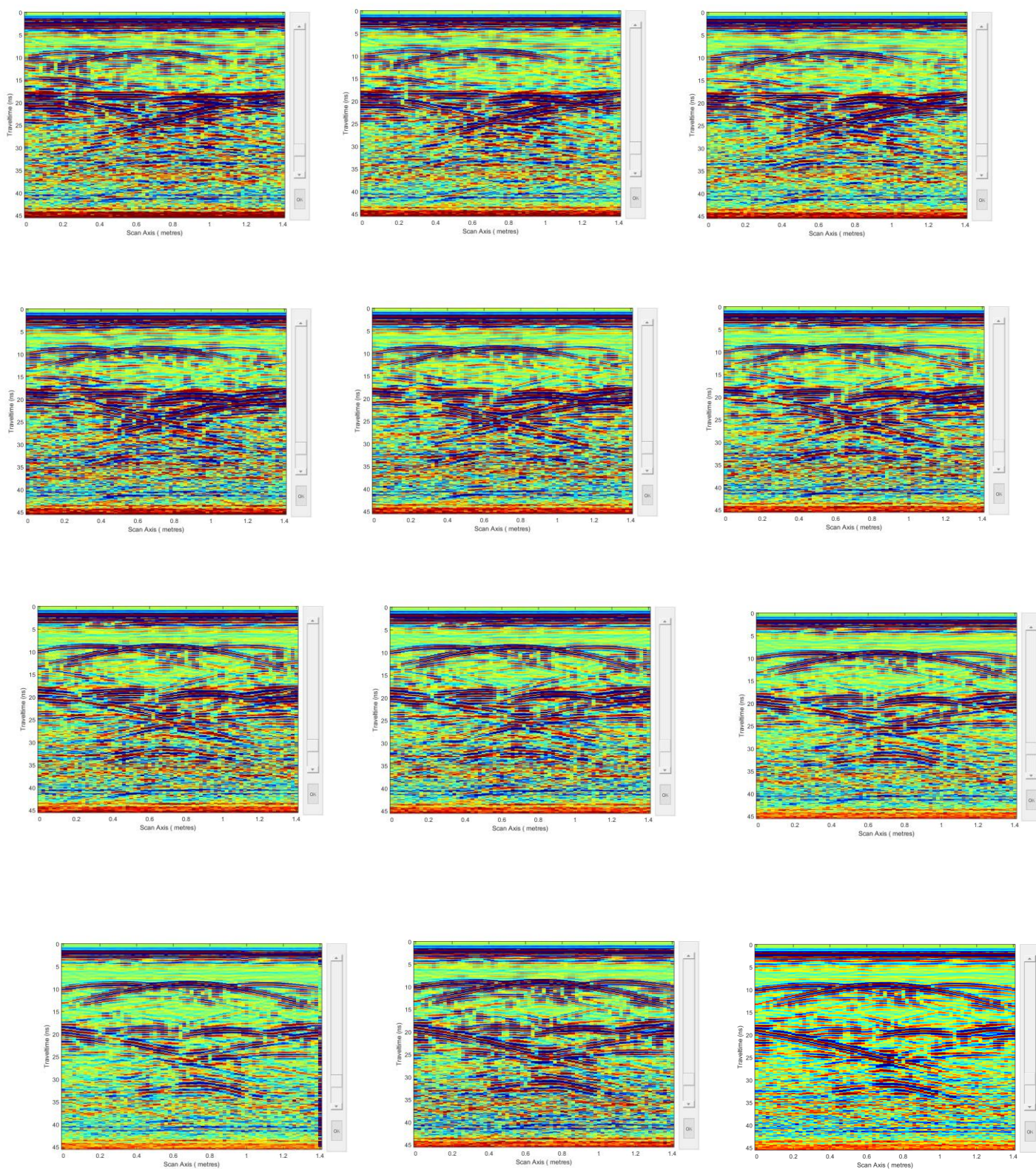
Τομές 1-12, για πείραμα με ξηρή άμμο από πρόγραμμα matgrt, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους.





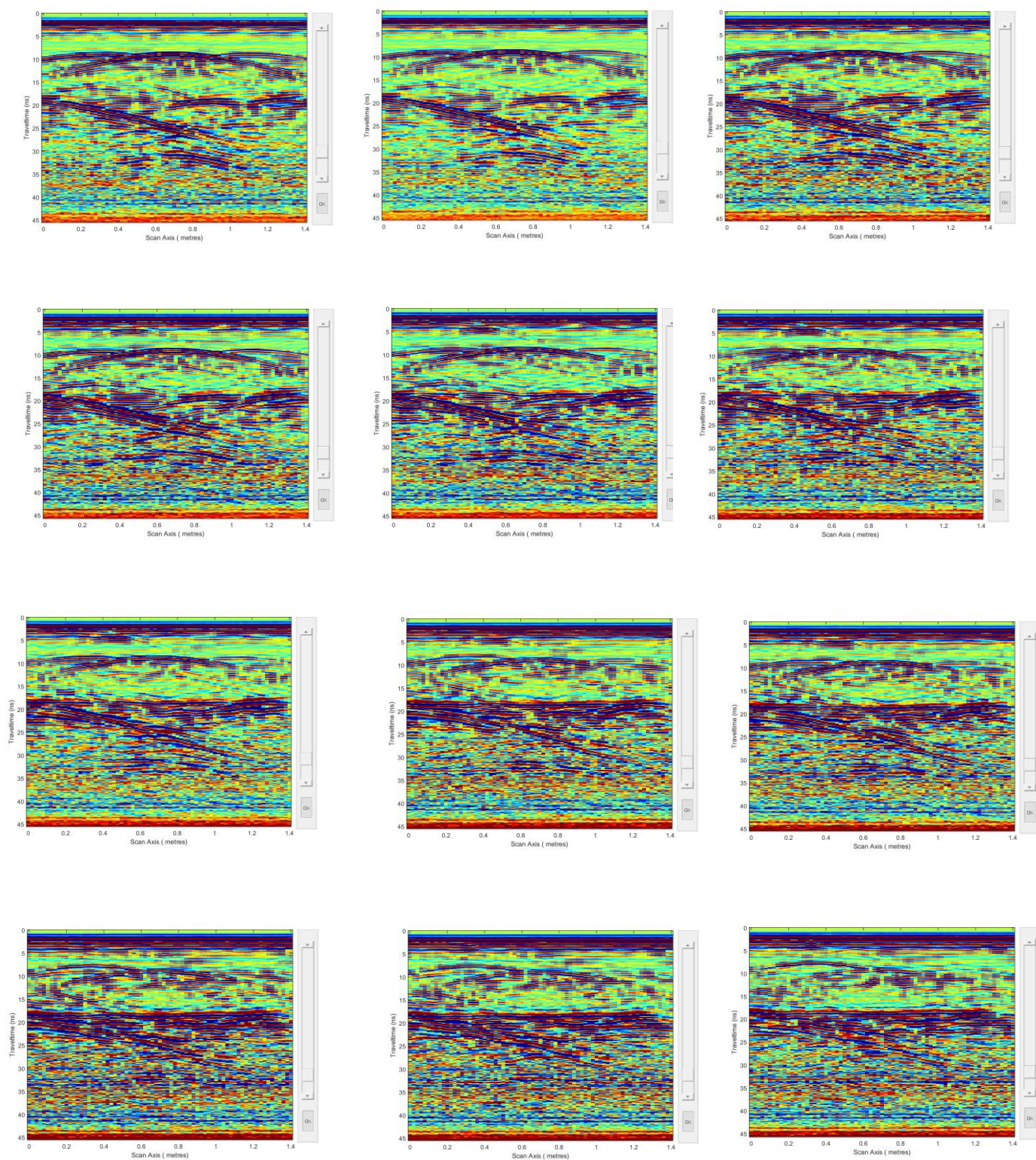
Τομές 13-24, για πείραμα με ξηρή άμμο από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους.





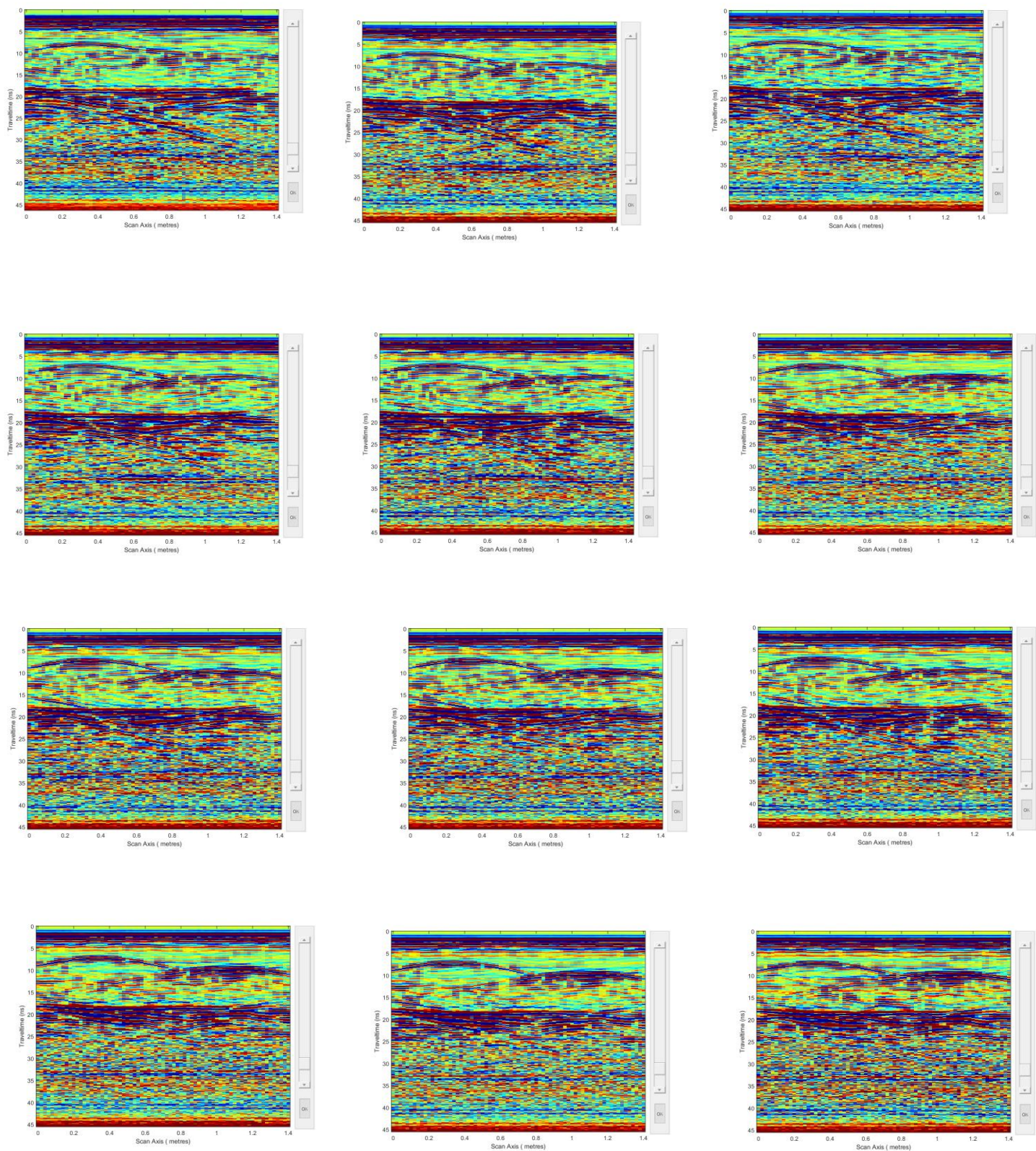
Τομές 25-36, για πείραμα με ξηρή άμμο από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους.





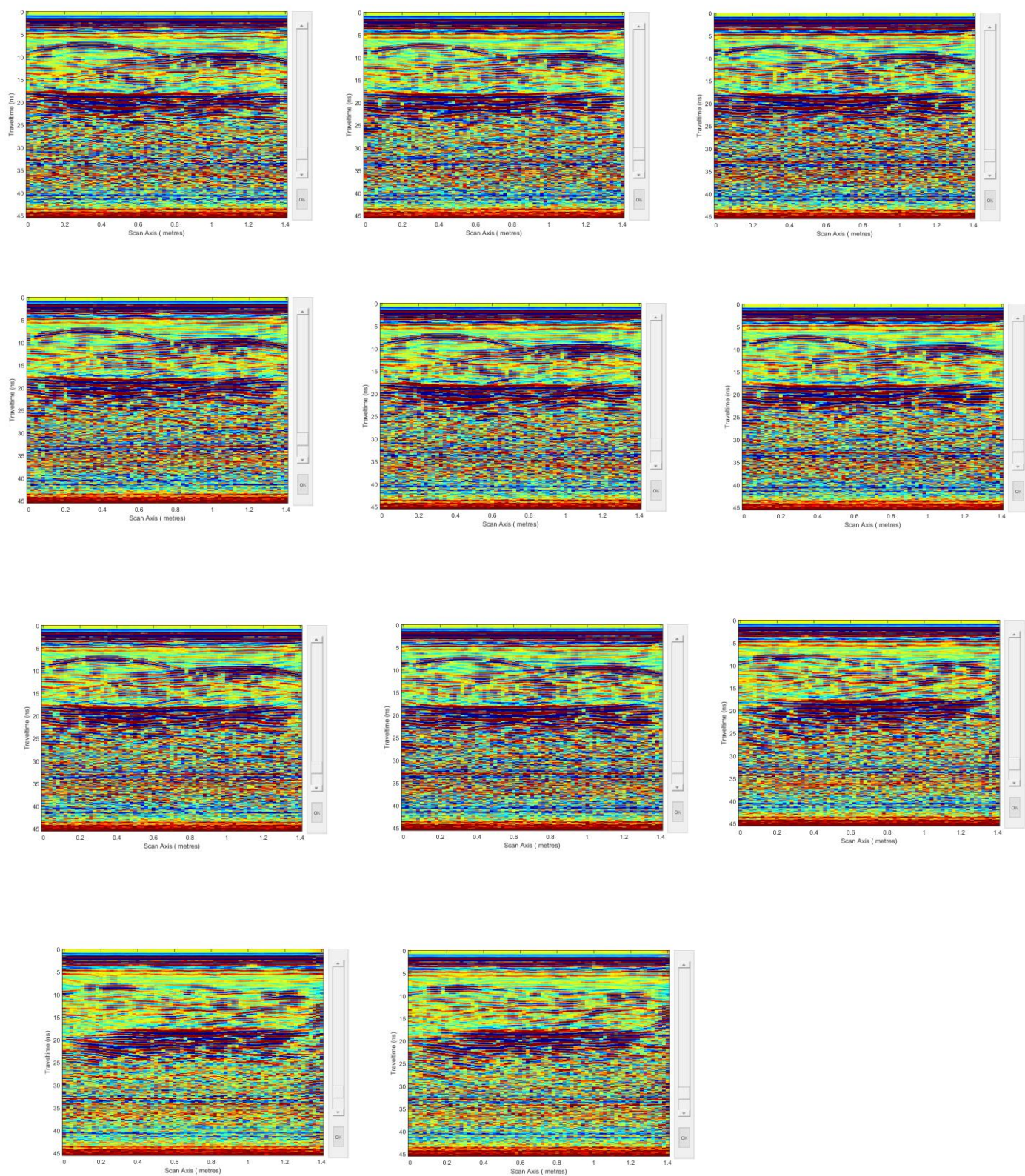
Τομές 37-48, για πείραμα με ξηρή άμμο από πρόγραμμα matgr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους.



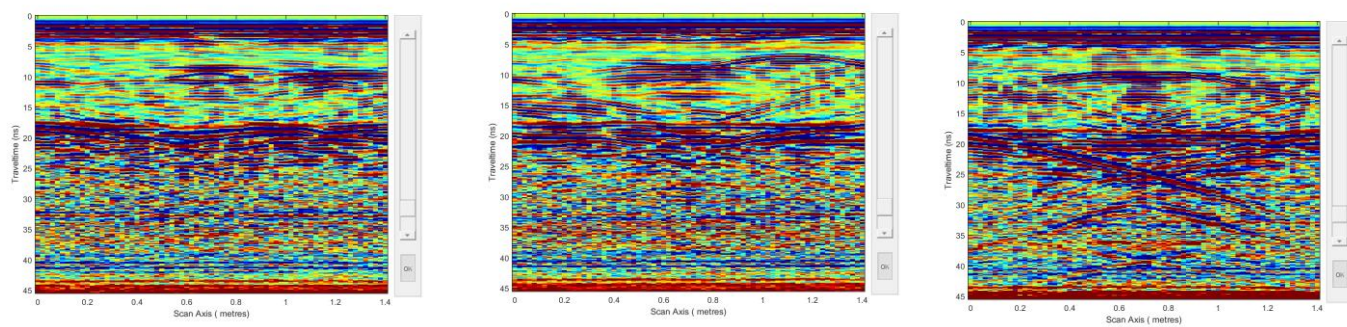


Τομές 49-60, για πείραμα με ξηρή άμμο από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους.



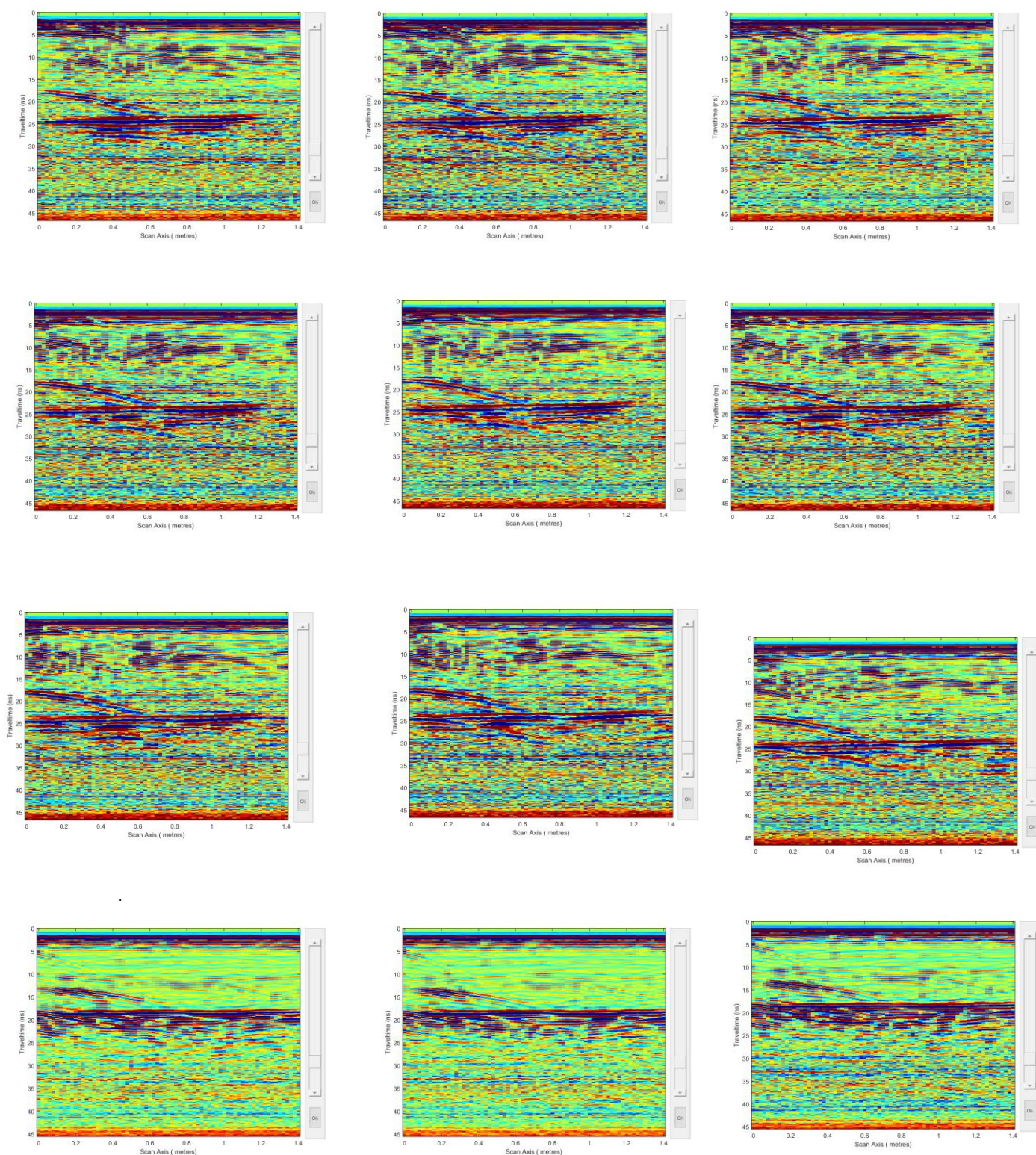


Τομές 50-71, για πείραμα με ξηρή άμμο από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους.



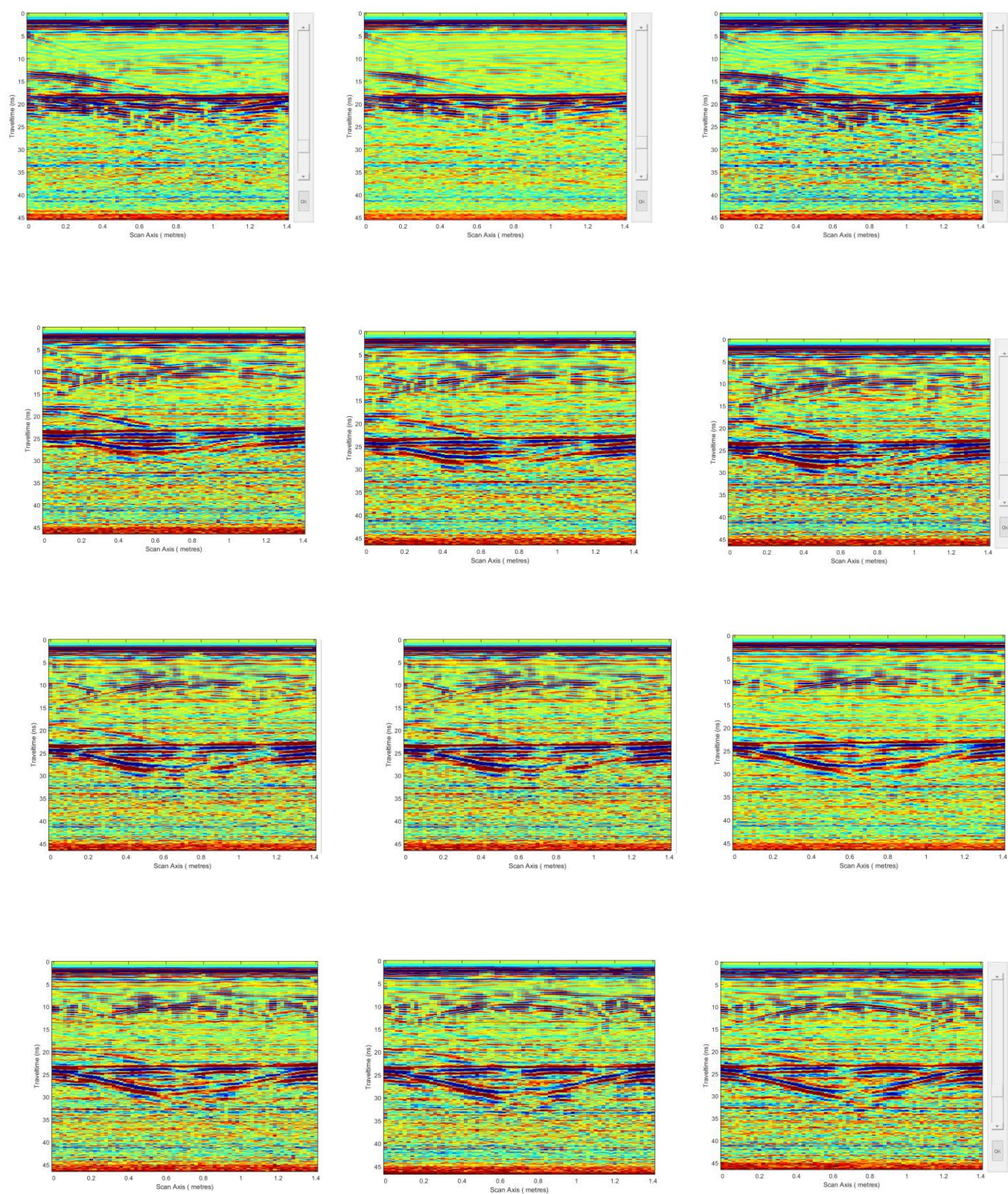
Τομές T0, TA, TP, για πείραμα με ξηρή άμμο από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους.





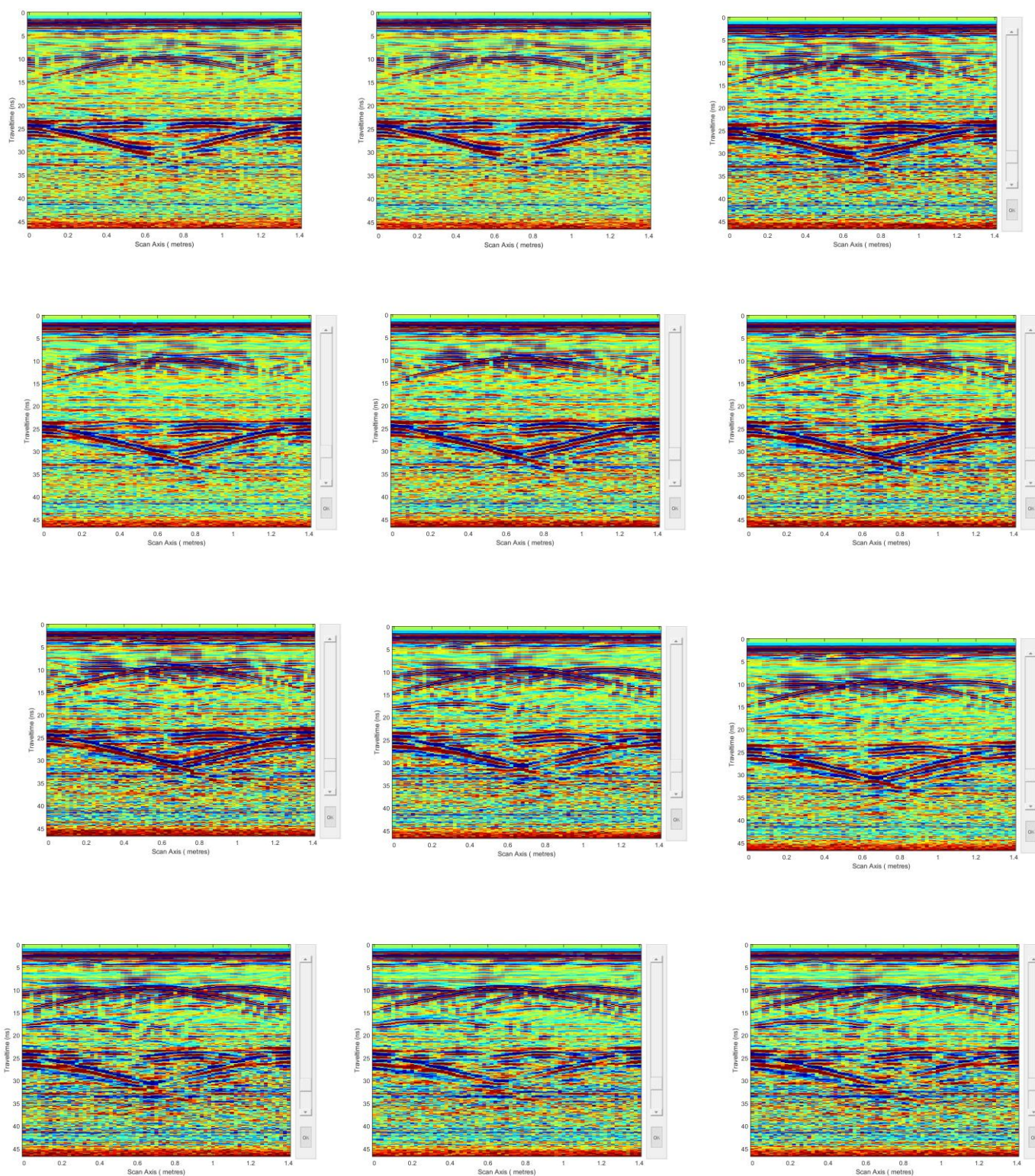
Τομές 1-12, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους





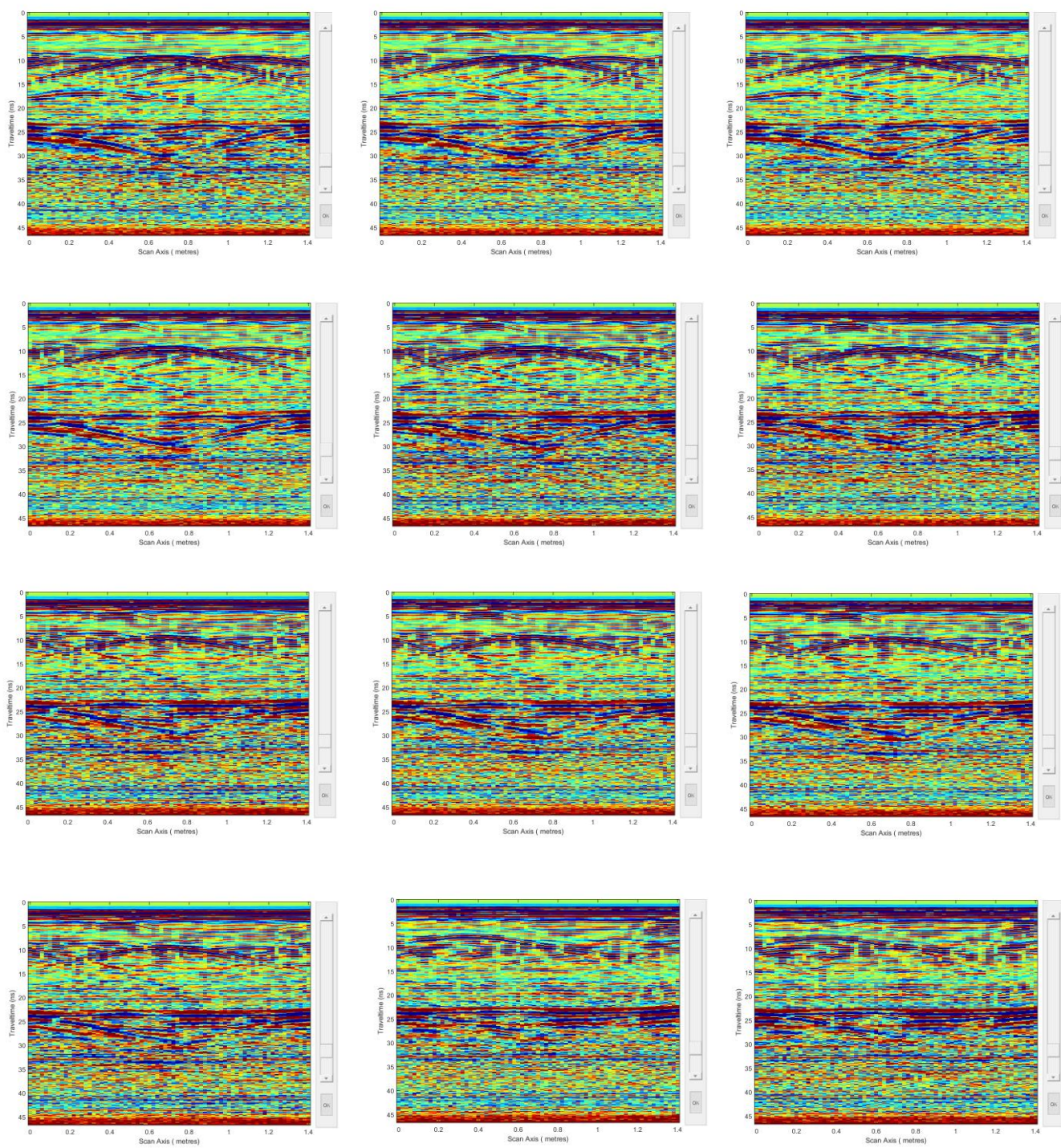
Τομές 13-24, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους





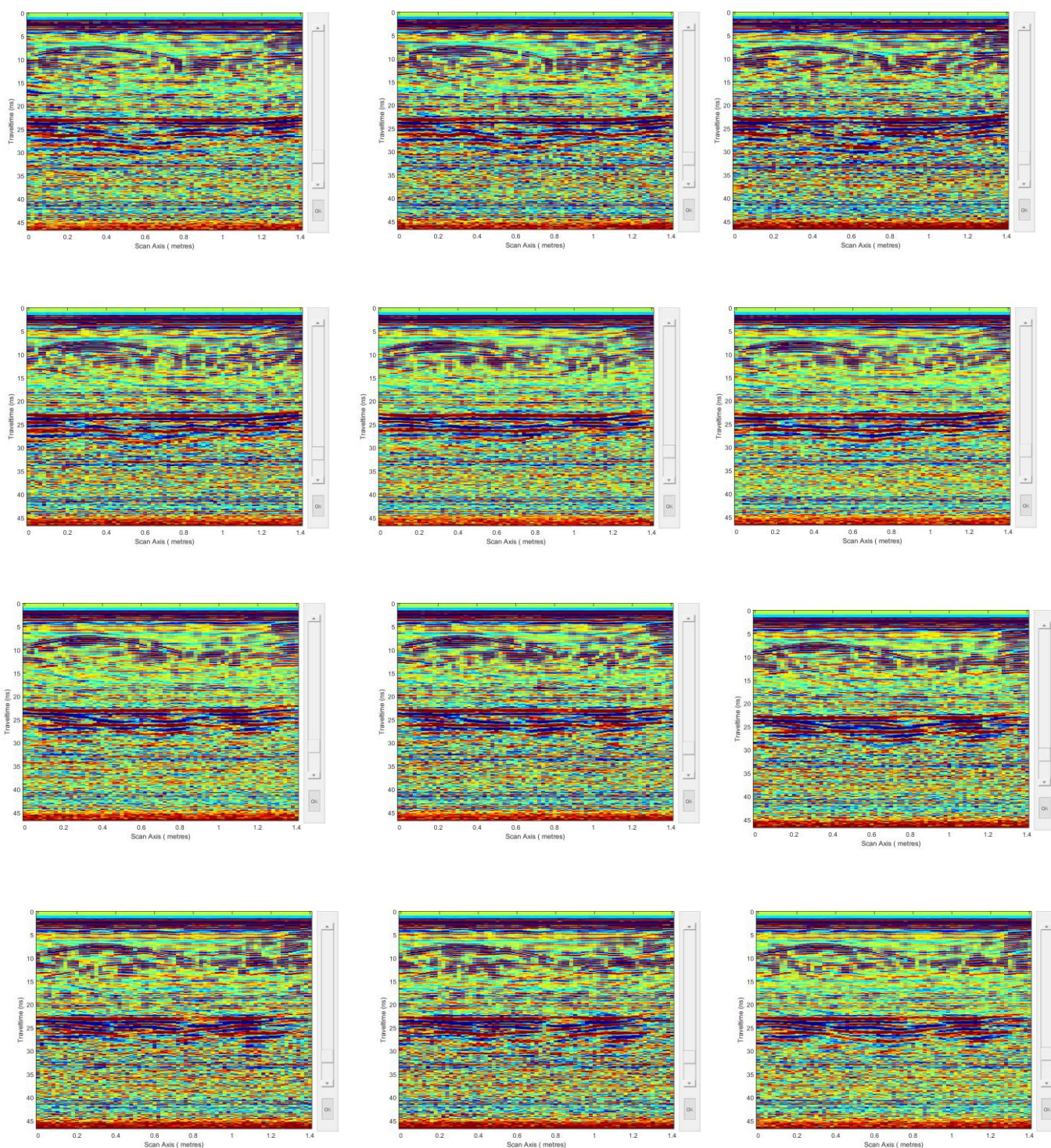
Τομές 25-36, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους





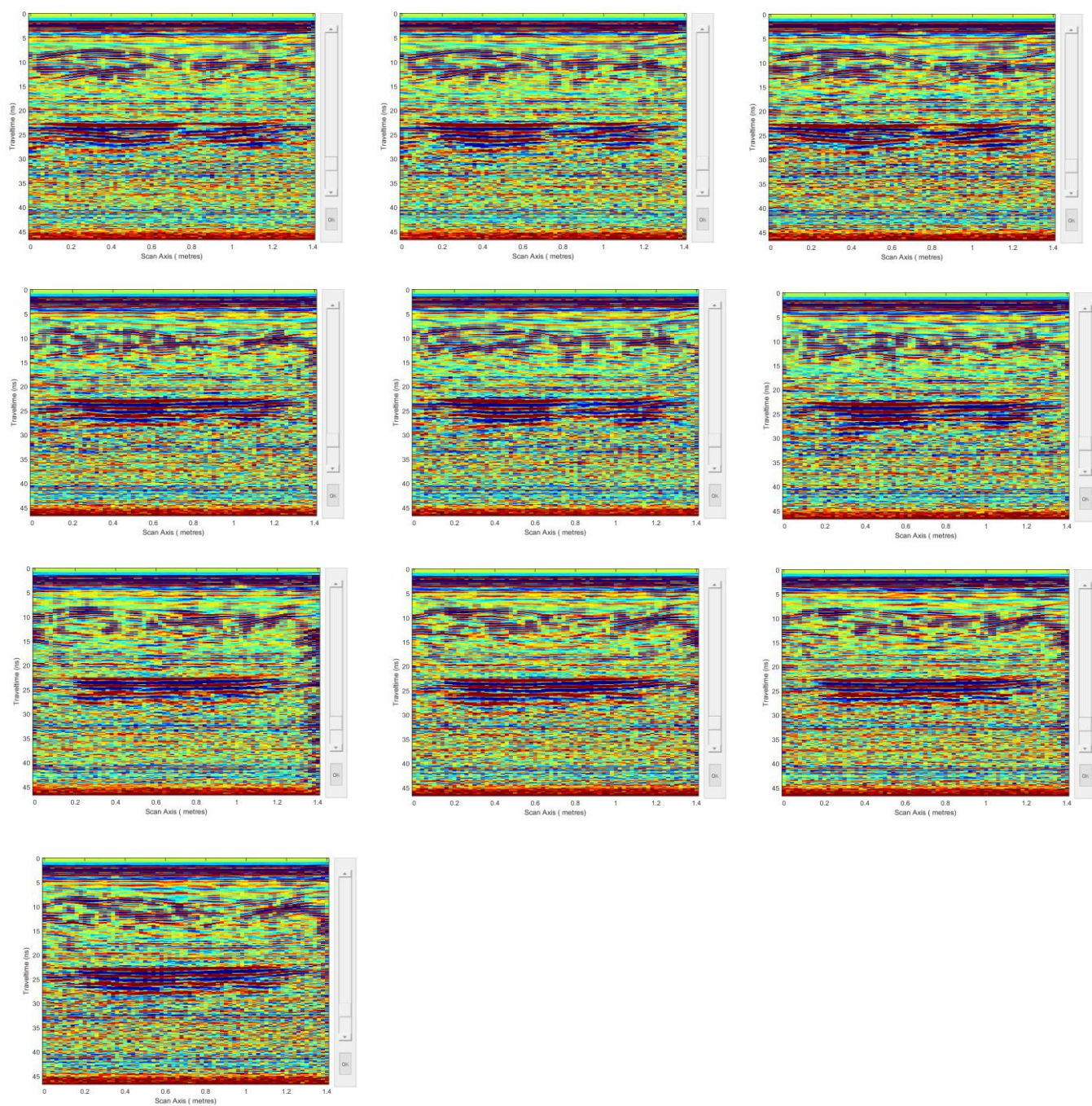
Τομές 37-49, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewon και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους





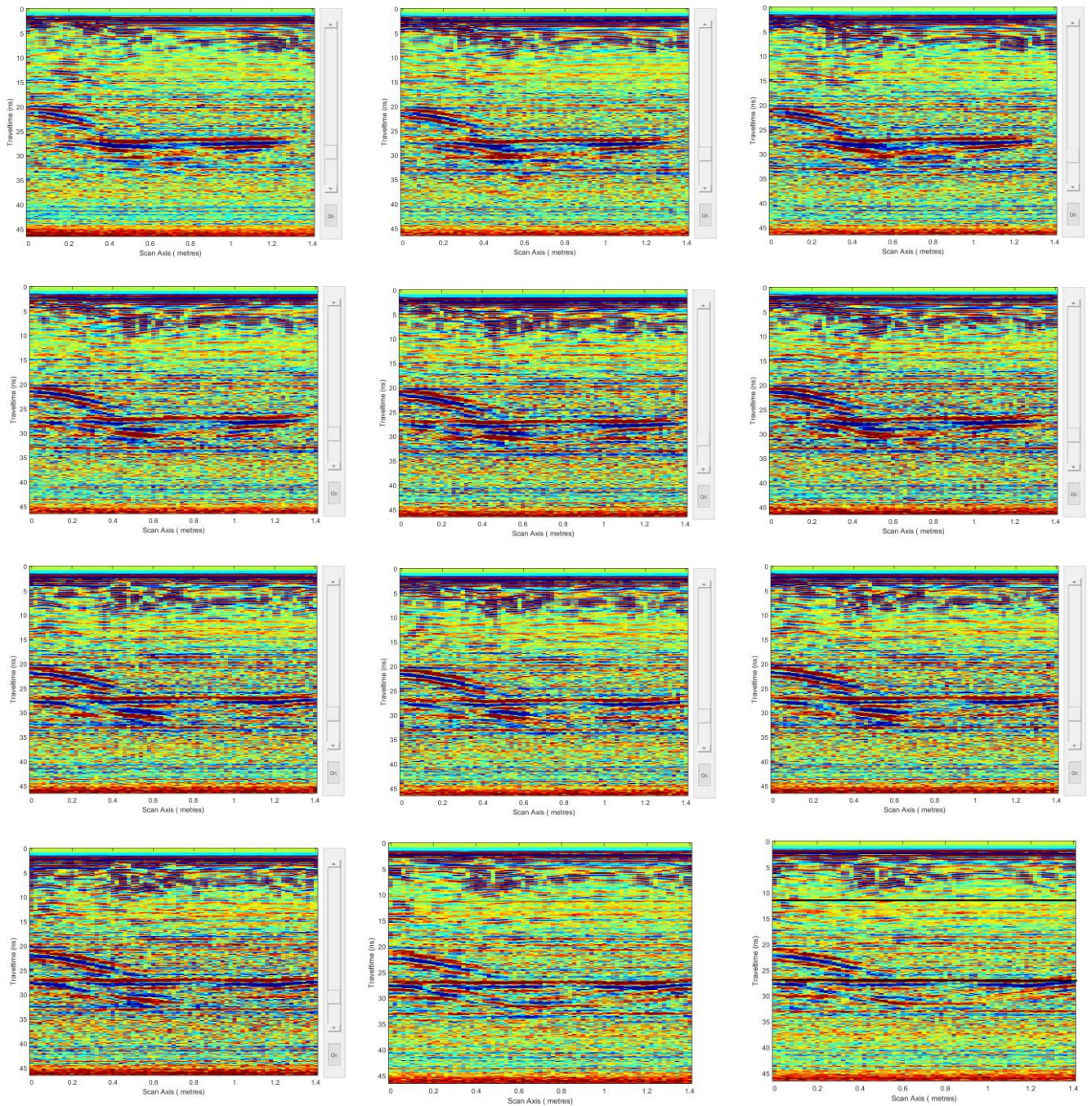
Τομές 50-61, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους





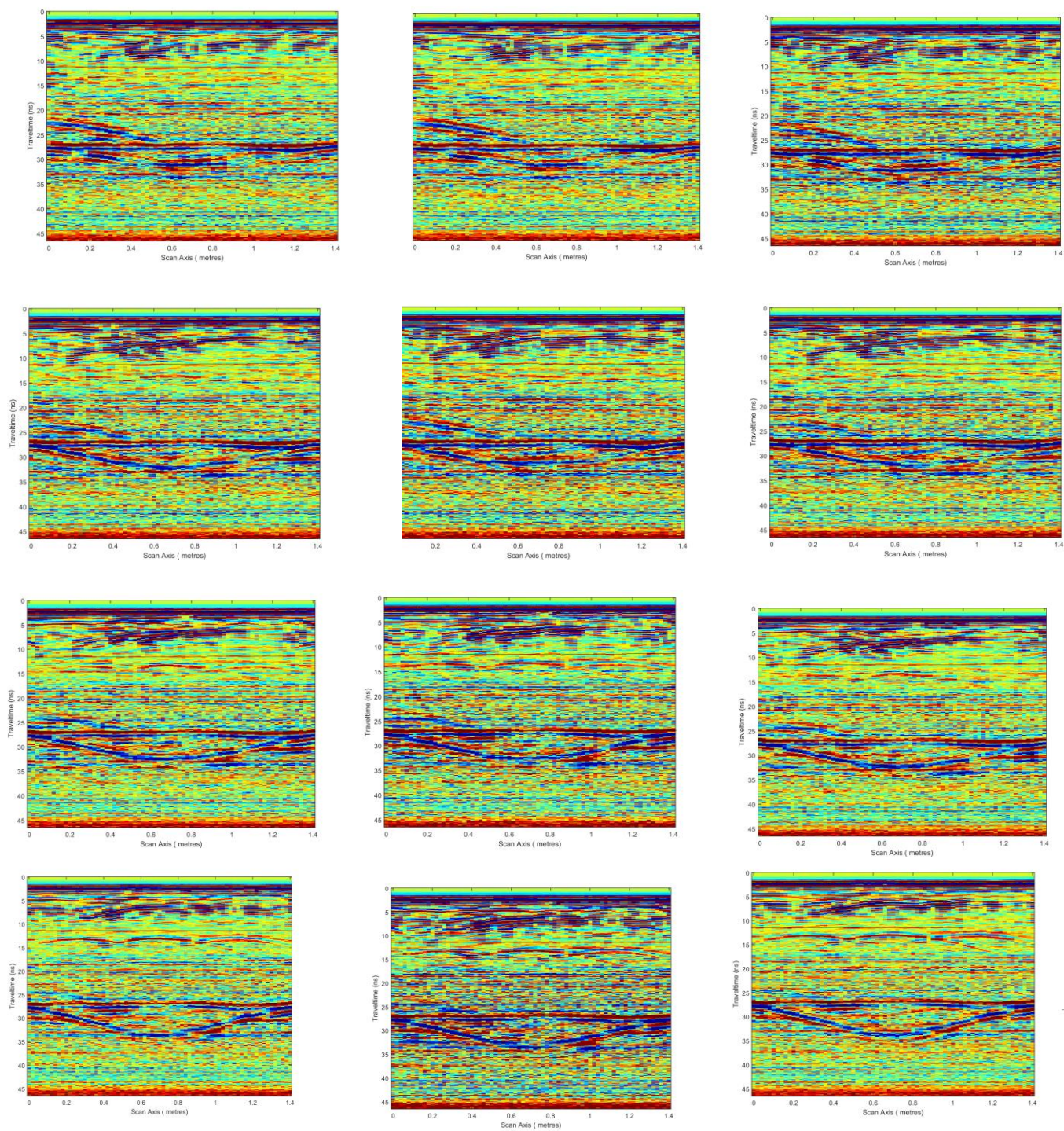
Τομές 62-71, για πείραμα με νερό σε βάθος 72cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewon και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους





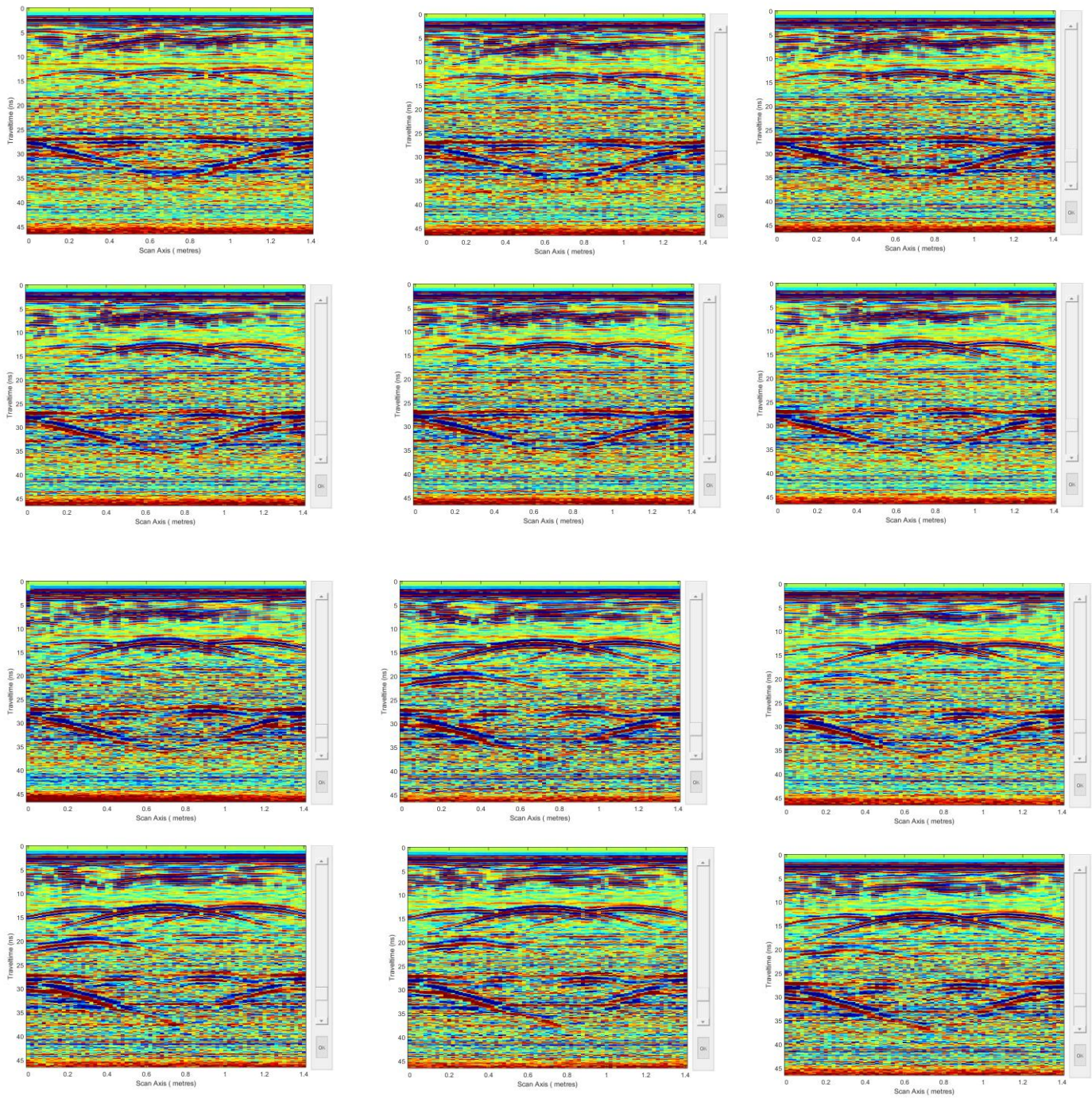
Τομές 1-12, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewon και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους





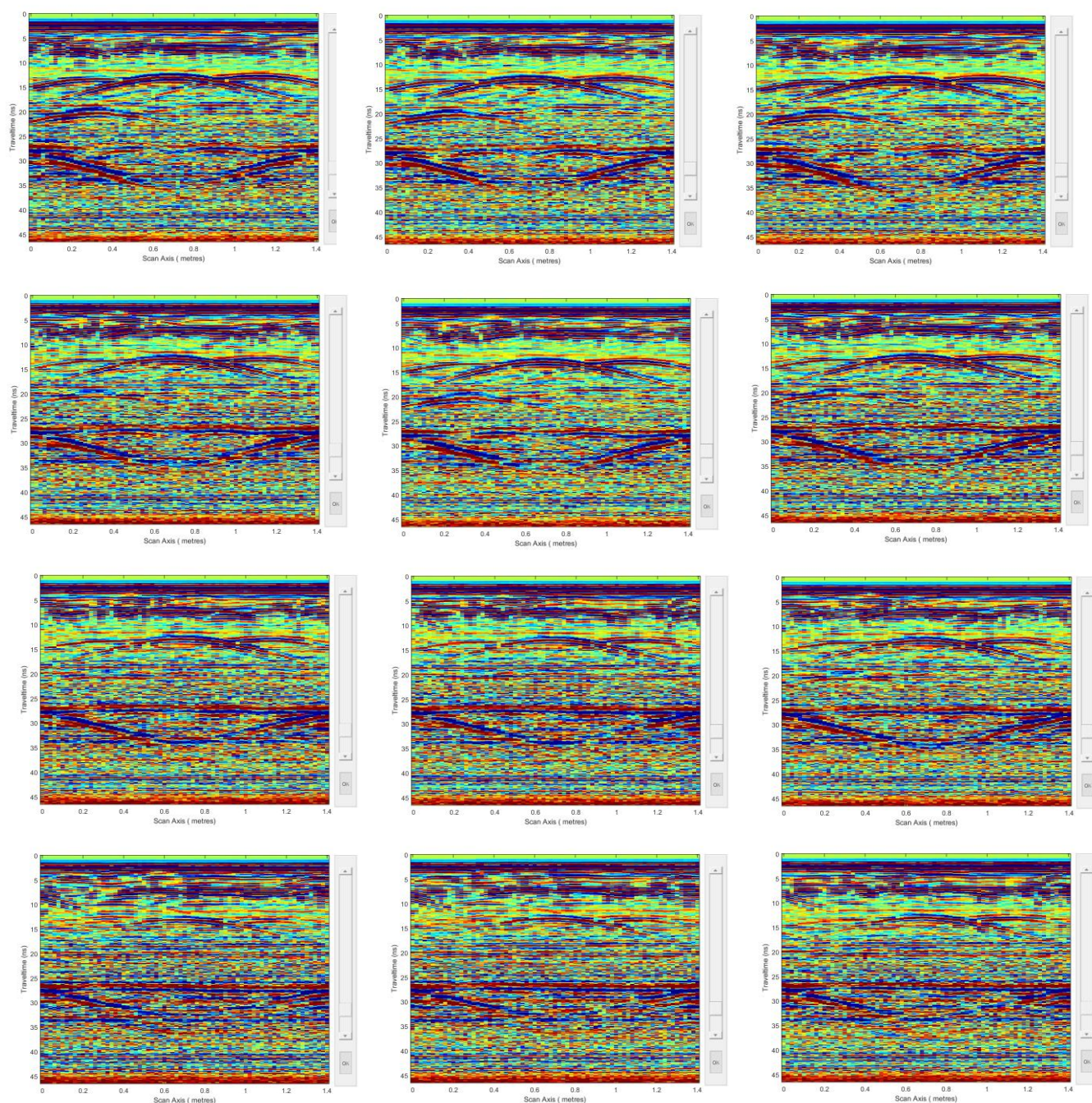
Τομές 13-24, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου δόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους





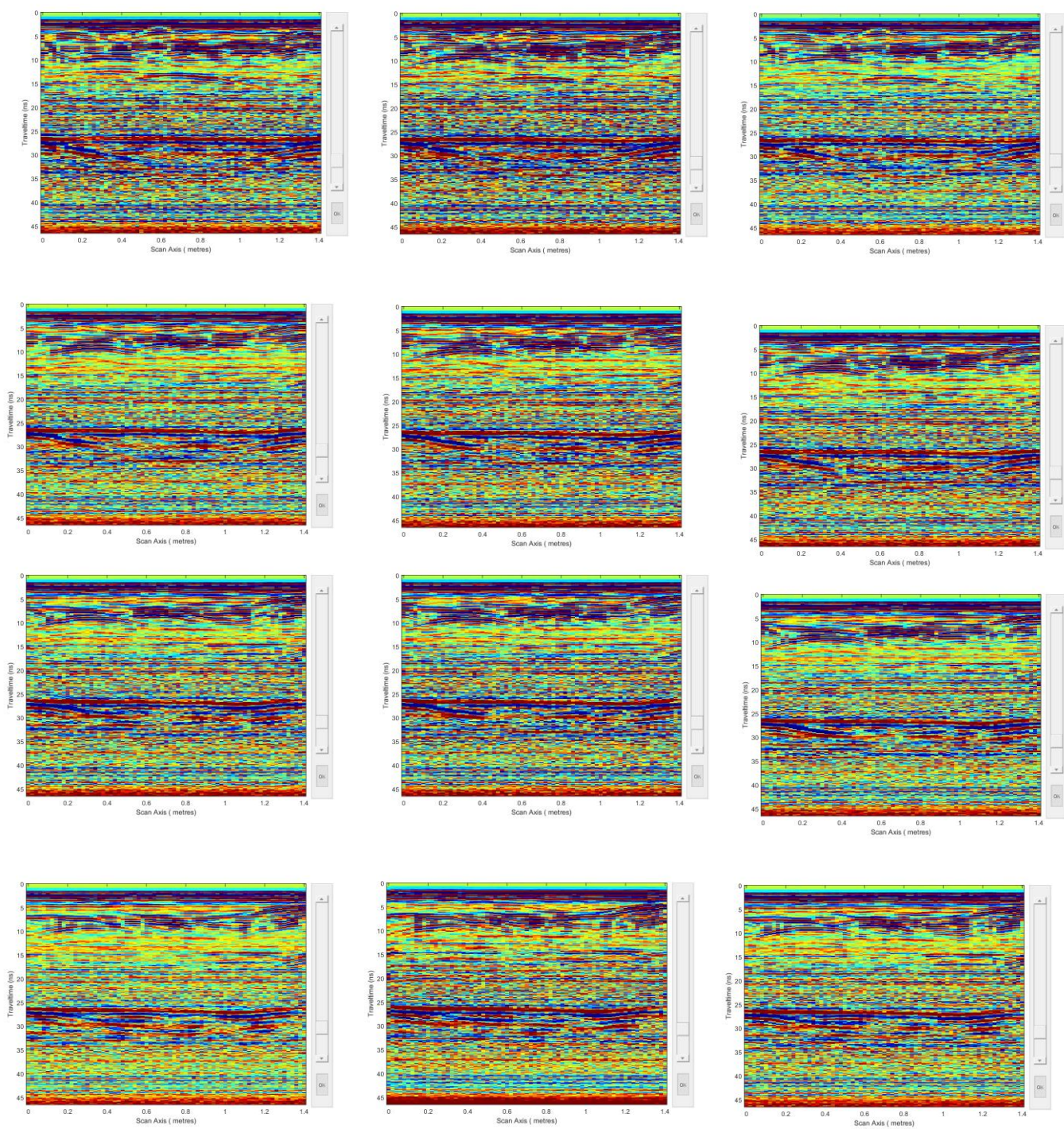
Τομές 25-36, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους





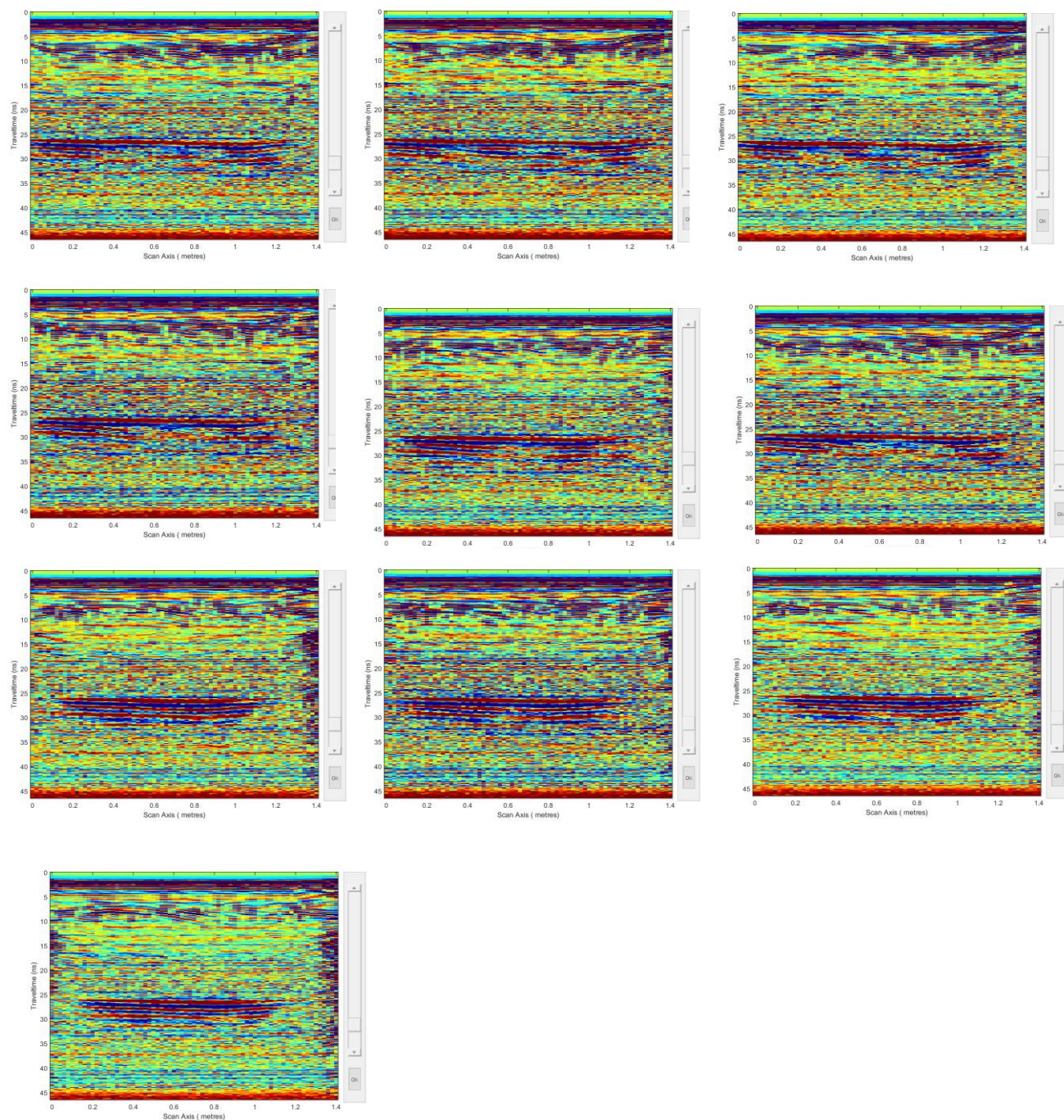
Τομές 37-49, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewon και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους



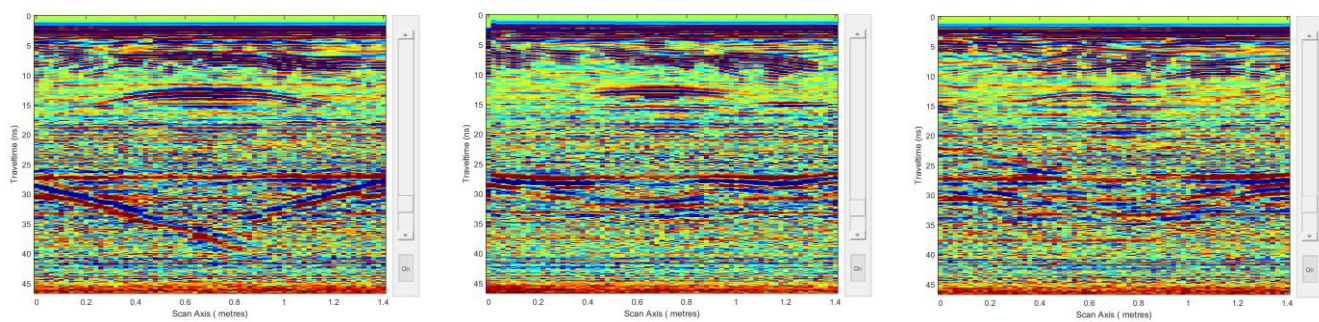


Τομές 50-61, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους





Τομές 62-71, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewow και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους



Τομές T0, TA, TP, για πείραμα με νερό σε βάθος 48cm από πρόγραμμα matgpr, με εφαρμογή φίλτρου διόρθωσης Dewon και χρονικά μεταβαλλόμενο φίλτρο ενίσχυσης του πλάτους