



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« Σεισμική ανάκλαση για τον εντοπισμό αρχαιολογικών ευρημάτων σε αβαθές
θαλάσσιο περιβάλλον»

Σωτήρχος Παναγιώτης

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης (Επιβλέπων Καθηγητής)

Παρτσινέβελος Παναγιώτης, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης

Παπαδόπουλος Νικόλαος, Ερευνητής (ΙΤΕ)

Χανιά 2025

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	4
Περίληψη	5
Κεφάλαιο 1^ο - Εισαγωγή	6
1.1 Εισαγωγή στην μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης.....	6
1.2 Ποια είναι η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης ;.....	7
1.2.1 Ακουστική εμπέδηση και συντελεστής ανάκλασης	9
1.2.2 Ποιος είναι ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στην μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης.	10
1.2.3 Ποιες είναι η θαλάσσιες εφαρμογές της σεισμικής ανάκλασης.	12
Κεφάλαιο 2^ο – Σύστημα Chirp (Chirp- SBP).....	14
2.1 Ποιο είναι το σύστημα Chirp Sub-Bottom Profiler.....	14
2.1.1 Ποια είναι η κυματομορφή Klauder	18
2.1.2 Τι προσδίδει η κυματομορφή Klauder στο Chirp SBP.....	18
Κεφάλαιο 3^ο – Επιφανειακές θαλάσσιες διασκοπήσεις με την μέθοδο σεισμικής ανάκλασης για την εύρεση αρχαιολογικών ευρημάτων.	19
3.1 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με χρήση σεισμικής ανάκλασης στις περιοχές του Ισραήλ, Δανίας και Γερμανίας.....	19
3.2 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με χρήση σεισμικής ανάκλασης στο Southampton στο Ηνωμένο Βασίλειο.	23
3.3 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με χρήση σεισμικής ανάκλασης στην Μεθώνη.	26
3.4 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με την μέθοδο σεισμικής ανάκλασης στο Yarmouth της Σκωτίας.....	28
3.5 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με την χρήση σεισμικής ανάκλασης στο Schlei της Γερμανίας.....	31
3.6 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με χρήση σεισμικής ανάκλασης στο Salerno της Ιταλίας.....	34
3.7 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με χρήση σεισμικής ανάκλασης στο Ηνωμένο Βασίλειο για την εύρεση του ναυαγίου Grace Dieu.....	36
Κεφάλαιο 4^ο - Προσομοίωση 2D μοντέλου για την ανίχνευση θαμμένων αντικειμένων με την χρήση του προγράμματος reflex.....	39
4.1 Τι είναι το ReflexW	39
4.2 Αρχή της 2D διαδικασίας μοντελοποίησης των προσομοιώσεων.....	40
4.3 Εισαγωγή της γεωμετρίας του μοντέλου	41
Κεφάλαιο 5^ο - Επεξεργασία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του 2D μοντέλου.	57
5.1 Διάταξη κοινής πηγής (Common shot gather).....	61
5.2 Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου (Common Mid-Point Gather).....	65
5.3 Διάταξη σταθερής απόστασης πηγής- δέκτη (Common-Offset gather).....	67

5.4 Διεργασία Ανάλυση ταχυτήτων (<i>Velocity analysis</i>) και διόρθωση NMO	69
5.4.1 Διεργασία Ανάλυσης Ταχυτήτων (<i>Velocity analysis</i>).....	69
5.4.2 Διόρθωση NMO από την Ανάλυση Ταχυτήτων (<i>Velocity Analysis</i>).....	72
5.4.3 Διόρθωση NMO με σταθερή ταχύτητα	74
5.5 Επεξεργασία με χρήση Μέσης τετραγωνικής Ταχύτητας V_{rms}	76
5.5.1 Stacking και χρήση AGC Gain.....	78
5.5.2 Επεξεργασία με χρήση σταθερής ταχύτητας.....	87
Κεφάλαιο 6^ο – Συμπεράσματα.....	90
Βιβλιογραφία:	91
Κατάλογος Σχημάτων :.....	93
Κατάλογος Εικόνων:	93

Πρόλογος

Όπως είναι γνωστό, τα τελευταία χρόνια η επιστήμη της Αρχαιολογίας και όχι μόνο εμπλουτίζεται με νέες τεχνολογίες που αποσκοπούν στην εύρεση και μελέτη αρχαιολογικών ευρημάτων με μεγαλύτερη ακρίβεια και λιγότερο περίπλοκους τρόπους. Μία από τις πλέον σύγχρονες μεθόδους που λαμβάνει χώρα, αλλά και αναλύεται στην παρούσα διπλωματική, για την αναζήτηση αρχαιολογικών στοιχείων σε ρηχά νερά είναι η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης με τη χρήση Chirp Sub-Bottom Profiler (SBP). Η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει την δυνατότητα στον μελετητή να διερευνήσει τόσο την λειτουργικότητα της συγκεκριμένης μεθόδου, όσο και το θαλάσσιο υπέδαφος μέσω της ανάλυσης των σεισμικών ανακλάσεων αντλώντας έτσι σημαντικές πληροφορίες για την παρουσία και τη σύσταση αρχαιολογικών αντικειμένων κάτω από αυτό.

Η πρόταση του κυρίου Βαφείδη για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής με βρήκε απόλυτα σύμφωνο καθώς συνδέει δύο πολύ ενδιαφέρουσες επιστήμες αυτές της αρχαιολογίας αλλά και των γεωφυσικών επιστημών. Προσωπική μου άποψη είναι ότι η ένωση αυτών των δύο επιστημών με την κατάλληλη μεθοδολογία και με σωστά βήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χώρες οι οποίες έχουν μεγάλη ιστορία και συνάμα μεγάλο θαλάσσιο αρχαιολογικό πλούτο, όπως είναι και η χώρα μας, αφού ανά τόσες χιλιάδες χρόνια έχουν διαδραματιστεί μεγάλος αριθμός ναυμαχιών και άρα ναυαγίων και έχει χτιστεί μεγάλος αριθμός λιμανιών κ.α.

Επιπλέον, δεν θα ήθελα να παραλείψω πως η ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη συνδρομή και την υποστήριξη ορισμένων ατόμων στους οποίους οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες.

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αντώνη Βαφείδη και τον Κύριο Γεώργιο Κρητικάκη του οποίου η βοήθεια ήταν καταλυτική.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην έρευνα αρχαιολογικών στόχων σε ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον με την χρήση της σεισμικής ανάκλασης. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται εισαγωγική αναφορά στην μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης, με την σεισμική πηγή Chirp Sub-Bottom Profiler. Αναφέρονται διασκοπήσεις σεισμικής ανάκλασης στο Ισραήλ, την Ελλάδα, την Γερμανία και τη Σκωτία για την εύρεση αρχαιολογικών στόχων σε ρηχά νερά. Για τον έλεγχο της λειτουργικότητας της μεθόδου πραγματοποιήθηκαν πειράματα προσομοίωσης με την χρήση του προγράμματος ReflexW για υψίσυχη σεισμική πηγή, όπου έδειξαν ότι καταγράφονται ανακλώμενα κύματα τόσο από τους ανακλαστήρες όσο και από τους υπό μελέτη στόχους. Από τα παραπάνω συνθετικά δεδομένα, επιλέχθηκε ένα σετ δεδομένων για την καλύτερη κατανόηση των ανακλαστήρων και των στόχων. Συγκεντρώθηκαν δευτερογενή δεδομένα με τη χρήση της διάταξης σταθερής απόστασης πηγή-δέκτη, εμπνευσμένη από τον εξοπλισμό που υλοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο του Southampton. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση ταχυτήτων χρησιμοποιώντας τον χάρτη συνάφειας και εκτιμήθηκαν οι μέσες τετραγωνικές ταχύτητες σε περιβάλλον MATLAB. Στην συνέχεια εφαρμόστηκε διόρθωση για την κανονική χρονική απόκλιση. Σεισμικές τομές υπέρθεσης δημιουργήθηκαν με τις μέσες τετραγωνικές ταχύτητες (V_{rms}) καθώς επίσης και με σταθερή ταχύτητα. Στην σεισμική τομή υπέρθεσης οι ανακλαστήρες και τα όρια των στόχων απεικονίζονται πολύ ικανοποιητικά.

Κεφάλαιο 1^ο - Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στην μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης

Αρχικά, πρέπει να τονιστεί πως οι γεωφυσικές μέθοδοι μελετούν τη δομή των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης με βάση τις μετρήσεις διάφορων γεωφυσικών μεγεθών καθώς επίσης και με την εφαρμογή θεμελιωδών φυσικών νόμων.

Με λίγα λόγια, ο σκοπός των γεωφυσικών μεθόδων είναι ο εντοπισμός δομών οικονομικού ή άλλου ενδιαφέροντος και εφαρμόζονται στην:

- Γεωλογική έρευνα
- Υδρογεωλογία
- Εντοπισμό κοιτασμάτων
- Γεωτεχνικές μελέτες
- Περιβαλλοντικές μελέτες
- Αρχαιολογικές Μελέτες

Έτσι, οι γεωφυσικές μέθοδοι είναι οι εξής:

- Σεισμικές
- Βαρυτικές
- Μαγνητικές
- Ηλεκτρικές
- Ηλεκτρομαγνητικές

Βέβαια, στην παρούσα διπλωματική θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο όπου εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που έχουν ως στόχο την ερμηνεία των καταγεγραμμένων γεωλογικών φαινομένων στην εκάστοτε περιοχή μελέτης. Η αρχή της συγκεκριμένης μεθόδου στηρίζεται στην διάδοση σεισμικού κύματος το οποίο έχει δημιουργηθεί από μία ακουστική πηγή και αντανακλάται ή διαθλάται στο υπέδαφος ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του με σχηματισμούς διαφορετικών φυσικών ιδιοτήτων. Έτσι, τα δεδομένα τα οποία αντλούνται από τις ανακλάσεις-διαθλάσεις των κυμάτων, επεξεργάζονται και προκύπτουν σημαντικές πληροφορίες για την στρωματογραφία της περιοχής, την ύπαρξη υπόγειων αντικειμένων, την ύπαρξη κοιτασμάτων καθώς επίσης και για τις φυσικές ιδιότητες των σχηματισμών.

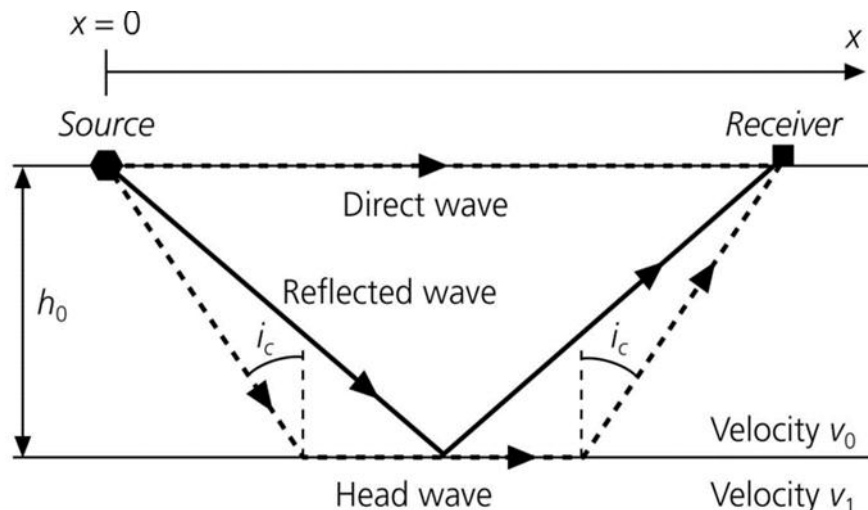
Είναι γνωστό πως οι σεισμικές διασκοπήσεις χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην βιομηχανία πετρελαίου για την αναζήτηση κοιτασμάτων σε μεγάλα αλλά και μικρά βάθη. Αξίζει να αναφερθεί πως οι πρώτες εφαρμογές της σεισμικής ανάκλασης στις θαλάσσιες διασκοπήσεις χρονολογούνται από το 1914 όπου ο Καναδός εφευρέτης Rignald Fessenden έχοντας επηρεαστεί από το διάσημο ατύχημα του τιτανικού, έγινε η αφορμή να ασχοληθεί με τη διάδοση ακουστικών κυμάτων στο υδάτινο μέσο[9]. Στη βιβλιογραφία γίνεται αναφορά στην εφαρμογή της μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης για την εύρεση αρχαιολογικών αντικειμένων στον πυθμένα της θάλασσας σε ρηχά νερά.

1.2 Ποια είναι η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης ;

Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιείται κυρίως για την παροχή σημαντικών πληροφοριών για την γεωλογική δομή της γης. Πιο συγκεκριμένα, βασίζεται στους νόμους διάδοσης των ελαστικών κυμάτων τα οποία παράγονται στην επιφάνεια της γης όταν πρόκειται για χερσαίες μελέτες, ή σε βάθη κοντά στην επιφάνεια της γης όταν πρόκειται για μελέτες που αφορούν ερευνητικές γεωτρήσεις, εξέταση του θαλάσσιου πυθμένα κ.α. Τα ελαστικά κύματα παράγονται μέσω σεισμικών πηγών και τα οποία καταγράφονται με τη χρήση ειδικών οργάνων-δεκτών όπου ονομάζονται γεώφωνα (χερσαία χρήση) ή υδρόφωνα (χρήση σε υδάτινο περιβάλλον). Τα ανακλώμενα κύματα που προέρχονται από την αντανάκλαση τους με τις διαχωριστικές επιφάνειες των στρωμάτων του υπεδάφους οδηγούνται σε κατάλληλη επεξεργασία με σκοπό την λεπτομερή περιγραφή της γεωλογικής δομής της περιοχής μελέτης [8].

Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα όπου αποδεικνύουν την χρησιμότητα της [23]:

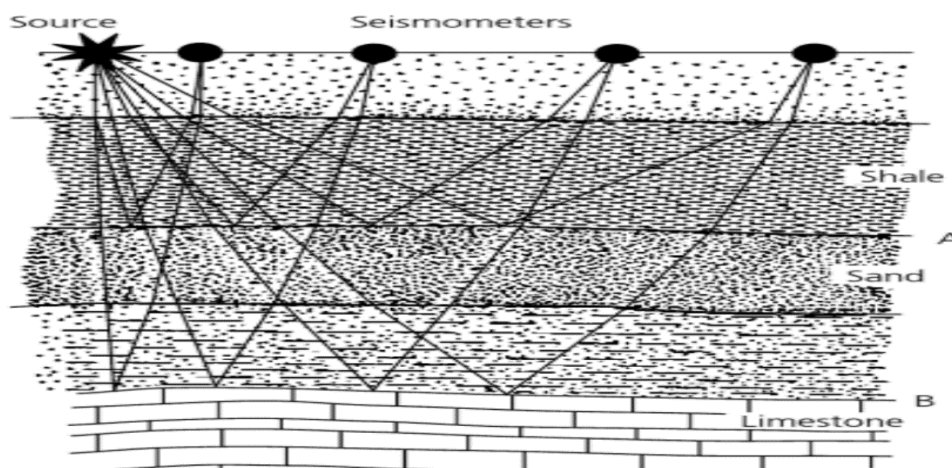
1. Οι σεισμικές καταγραφές συλλέγονται σε μικρές αποστάσεις πηγής-δέκτη.
2. Οι σεισμικές καταγραφές εμφανίζουν υψηλή ανάλυση παρά τη δυσκολία ερμηνείας του γεωλογικού μοντέλου της υπό μελέτης περιοχής.
3. Δεν προϋποθέτει αύξηση της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων συναρτήσει του βάθους.
4. Από τις καταγραφές της μεθόδου εξάγεται μια τομή του υπεδάφους ή του πυθμένα.



Σχήμα 1.1: Πορεία των διαφόρων κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα φαίνονται τα απευθείας κύματα (Direct Waves), τα ανακλώμενα (reflected), καθώς επίσης και τα διαθλώμενα κύματα (Head Waves) [14].

Βέβαια, η συγκεκριμένη μέθοδος διαθέτει και κάποια μειονεκτήματα όπου χρειάζεται να τονιστούν [23]:

1. Τεράστιος όγκος δεδομένων σε μια έρευνα
2. Η απόκτηση δεδομένων καθώς και η επεξεργασία τους είναι πιο δαπανηρή από άλλες γεωφυσικές μεθόδους.
3. Η επεξεργασία δεδομένων απαιτεί πολύ χρόνο καθώς επίσης και εξελιγμένο υπολογιστικό πρόγραμμα.
4. Ο εξοπλισμός για την απόκτηση σεισμικών δεδομένων είναι γενικά πιο ακριβός σε σχέση με άλλες γεωφυσικές μεθόδους.



Σχήμα 1.2: Παράδειγμα ανακλάσεων σεισμικών ακτινών σε διαχωριστικές επιφάνειες γεωλογικών σχηματισμών [14].

1.2.1 Ακουστική εμπέδηση και συντελεστής ανάκλασης.

Κατά την πρόσπτωση ενός ακουστικού κύματος στο όριο μέσου με διαφορετικές ακουστικές ιδιότητες από το μέσο που προέρχεται ένα μέρος της ακουστικής του ενέργειας ανακλάται, ενώ ένα άλλο μέρος συνεχίζει τη διέλευση του στο επόμενο στρώμα του εδάφους. Ο συντελεστής όπου περιγράφει την σχέση μεταξύ των ακουστικών ιδιοτήτων του μέσου και των χαρακτηριστικών του ακουστικού κύματος που προέρχεται από την πηγή ονομάζεται ακουστική εμπέδηση και συμβολίζεται με το γράμμα Z . Ως ακουστική εμπέδηση (Z) ορίζεται το γινόμενο της πυκνότητας του μέσου διάδοσης (ρ) με την ταχύτητα διάδοσης του ακουστικού κύματος (c). Ο συντελεστής αυτός περιγράφεται από την σχέση [18]:

$$Z = \rho \cdot c \quad (i)$$

Έτσι, για ένα ηχητικό κύμα το οποίο διαδίδεται σε ένα υλικό μέσο ακουστικής εμπέδησης Z_1 και προσπίπτει κάθετα σε ένα άλλο ακουστικής εμπέδησης Z_2 , το ποσοστό το οποίο ανακλάται δίνεται από τον συντελεστή ανάκλασης (R) ή αλλιώς μο σύμφωνα με την παρακάτω σχέση[18]:

$$R = \mu_0 = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (ii)$$

Επιπλέον, το ποσοστό που διαπερνά το δεύτερο μέσο δίνεται από τον συντελεστή διάδοσης (T) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση η οποία βασίζεται στην αρχή συνέχειας της ηχητικής πίεσης [20].

$$T = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (iii)$$

Για παράδειγμα, εάν δύο υλικά έχουν την ίδια ακουστική εμπέδηση ,τότε έχουμε $R=0$ και $T=1$, δηλαδή όλη η ενέργεια που μεταφέρει το ηχητικό κύμα περνάει από το ένα υλικό στο άλλο.

Βέβαια, ο συντελεστής ανάκλασης στις θαλάσσιες σεισμικές διασκοπήσεις επηρεάζεται από την τραχύτητα του πυθμένα, αφού κατά την πρόσπτωση του ακουστικού κύματος σε αυτόν προκαλείται σκέδαση. Έτσι, ο συντελεστής ανάκλασης περιγράφεται ως εξής [8]:

$$\mu = \mu_0 \cdot \exp\left(\frac{-4 \cdot \pi \cdot h \cdot \sin(\theta)}{\lambda}\right)^2 = \mu_0 \cdot e^{-Rw^2} \quad (\text{iv})$$

Όπου, οι παραπάνω μεταβλητές σχετίζονται με:

- Το μ_0 ορίζεται ο συντελεστής ανάκλασης σε λεία επιφάνεια
- Το μ ορίζεται ο συντελεστής ανάκλασης σε τραχεία επιφάνεια
- Το h ορίζεται ως η υψομετρική διαφορά των ανωμαλιών λόγω τραχύτητας του πυθμένα σε σχέση με τη μέση τοπογραφική επιφάνεια του πυθμένα.
- Το θ ορίζεται ως η γωνία πρόσπτωσης του ακουστικού κύματος
- Το λ ορίζεται ως το μήκος κύματος
- Το Rw ορίζεται ως η παράμετρος του Rayleigh

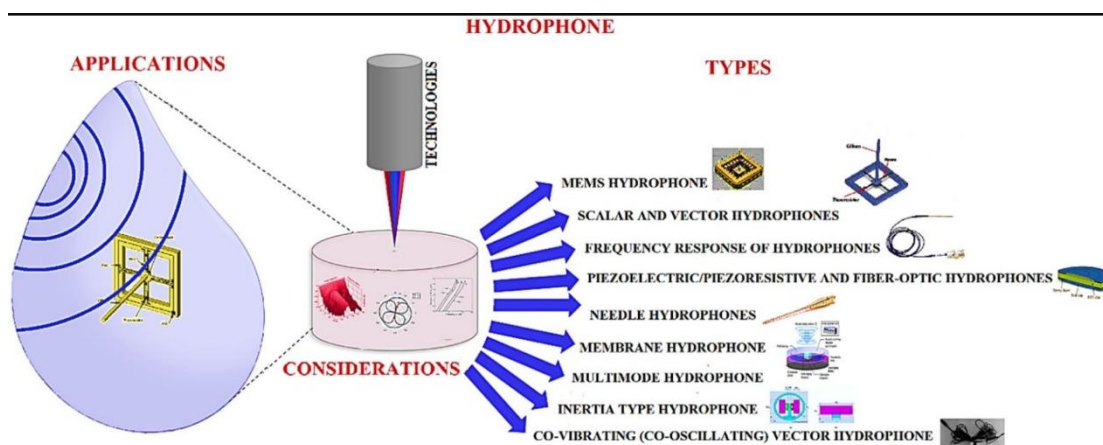
1.2.2 Ποιος είναι ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στην μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης.

Ο κύριος εξοπλισμός σε έρευνες σεισμικής ανάκλασης αποτελείται από τα εξής [20]:

1. **Σεισμική Πηγή**: Είναι η συσκευή η οποία μεταφέρει σεισμική ενέργεια στο υπό μελέτη μέσο. Ως σεισμική πηγή μπορεί να χρησιμοποιηθούν εκρηκτικά μέσα, ειδικά αεροβόλα αλλά και υδραυλικοί και χειροκίνητοι ταλαντωτές.
2. **Γεώφωνα-Υδρόφωνα** : Αποτελούν τις συσκευές ανίχνευσης της κίνησης του εδάφους λόγω σεισμικών δονήσεων-κυμάτων τα οποία παράγονται από την σεισμική πηγή. Τα γεώφωνα είναι οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται για έρευνες στην ξηρά ενώ τα υδρόφωνα χρησιμοποιούνται στις θαλάσσιες διασκοπήσεις.
3. **Ειδικό πρόγραμμα καταγραφής**: Καταγράφει και αποθηκεύει τα δεδομένα τα οποία λαμβάνει από τους δέκτες και έπειτα αναλύονται.

Πιο συγκεκριμένα, τα γεώφωνα είναι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση της διέγερσης που δημιουργείται από τις ταλαντώσεις των σωματιδίων του εδάφους, μετατρέποντας έτσι την ανιχνευόμενη κίνηση σε ηλεκτρική τάση σύμφωνα με τον νόμο του Faraday περί ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής [1].

Από την άλλη πλευρά βέβαια οι σεισμικές μελέτες στις θαλάσσιες διασκοπήσεις διαφέρουν ελάχιστα από τις σεισμικές έρευνες που πραγματοποιούνται στην επιφάνεια του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, τα υδροφώνω σαν συσκευές εφευρέθηκαν το 1929 από τον канаδό εφευρέτη Reginal Fessenden ενώ παλαιότερα ήταν γνωστά ως ταλαντωτές Fessenden. Η αρχή λειτουργίας τους είναι απλή, το νερό είναι μέσο και οποιαδήποτε διαταραχή σε αυτό διαδίδεται ως κύμα με πυκνώματα και αραιώματα. Όταν τα μόρια του νερού ωθούνται, εφαρμόζουν μία δύναμη επαναφοράς που αντιστέκεται στην κίνηση. Η δύναμη αυτή γίνεται αισθητή ως πίεση και έτσι φτάνει στη συστοιχία των υδροφώνων μετατρέποντας την σε ηλεκτρικά-οπτικά σήματα [13].



Σχήμα 1.3: Διάφοροι τύποι υδροφώνων [13]

Κάθε μέθοδος σεισμικής ανάκλασης απαιτεί διαφορετικές αποστάσεις πηγών-δεκτών ή και δεκτών-δεκτών. Όμως, η πιο κατάλληλη θέση των δεκτών είναι σε μικρή απόσταση από την σεισμική πηγή. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους και σε αποστάσεις με την πηγή ανάλογα με το επιθυμητό βάθος διασκόπησης. Η συγκεκριμένη διάταξη είναι πολύ χρήσιμη για την απεικόνιση των γεωλογικών τομών του εδάφους σε μεγάλα αλλά και μικρά βάθη [17].

1.2.3 Ποιες είναι η θαλάσσιες εφαρμογές της σεισμικής ανάκλασης.

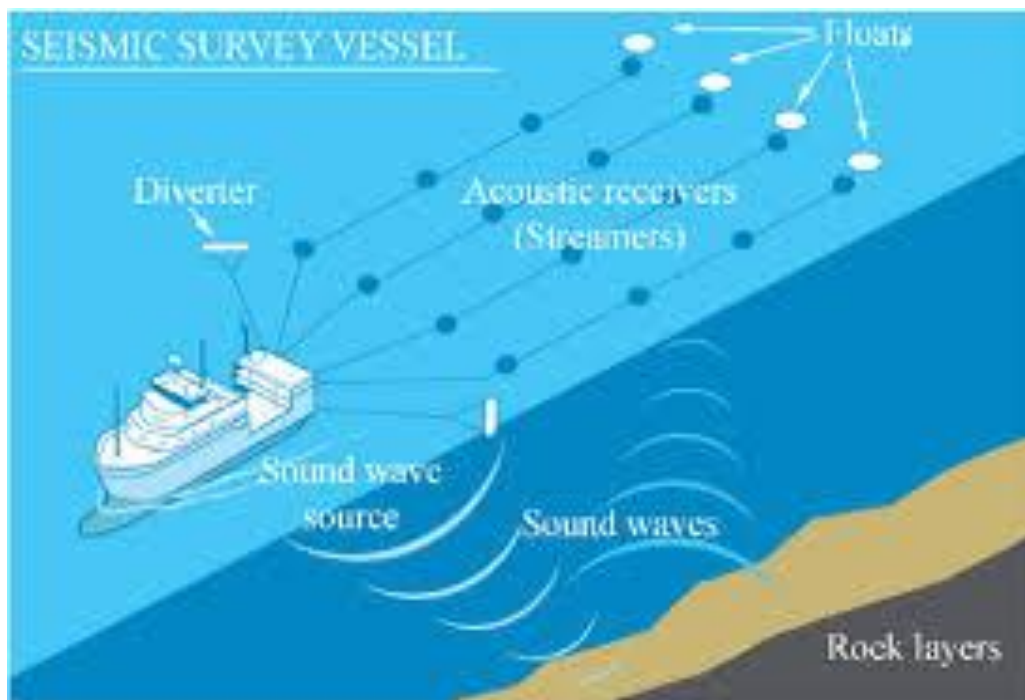
Σημαντικό είναι να αναφερθεί , λόγω του ότι η συγκεκριμένη εργασία αφορά στις θαλάσσιες έρευνες σεισμικής ανάκλασης , ποιες ακριβώς είναι και οι θαλάσσιες εφαρμογές της.

Η σεισμική ανάκλαση τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στις θαλάσσιες έρευνες. Ο κύριος σκοπός της χρήσης της μεθόδου είναι η χαρτογράφηση των σχηματισμών της περιοχής μελέτης και η δημιουργία γεωλογικού μοντέλου. Παρακάτω αναφέρονται ορισμένα παραδείγματα εφαρμογών της χρήσης της σεισμικής ανάκλασης στις θαλάσσιες διασκοπήσεις [24].

- Γεωφυσικές διασκοπήσεις
- Έρευνα για εξόρυξη ορυκτών πόρων
- Χαρτογράφηση πυθμένα
- Αναζήτηση ανθρωπογενών στόχων (ναυάγια,αγωγοί,ογκόλιθοι)
- Αρχαιολογική έρευνα
- Μελέτη των σχηματισμών του πυθμένα
- Εγκατάσταση υποθαλάσσιων αγωγών

Βέβαια, η χρήση της μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης σε πολύ ρηχά νερά με την χρήση ενός *ring*, *boomer* και *chirp* δημιουργεί ορισμένες δυσκολίες που οφείλονται κυρίως στην ύπαρξη μεγάλου αριθμού πολλαπλών ανακλάσεων. Όμως η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης σε περιοχές με πολύ ρηχά νερά είναι απαραίτητη για μια μεγάλη ποικιλία ερευνών όπως [24]:

- Σε ποτάμια και λιμάνια
- Σε παράκτιες περιοχές
- Για παρουσία θαμμένων αγωγών και καλωδίων
- Για αρχαιολογικά ευρήματα



Σχήμα 1. 4: Παράδειγμα διασκόπησης με την μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης [22].

Για να λάβουν χώρα οι εφαρμογές που προαναφέρθηκαν χρησιμοποιείται παρόμοιος εξοπλισμός με τον εξοπλισμό που φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα (1.4). Βέβαια, η μέθοδος ή ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το βάθος της θάλασσας και τον σκοπό της εκάστοτε έρευνας.

Κεφάλαιο 2^ο – Σύστημα Chirp (Chirp- SBP)

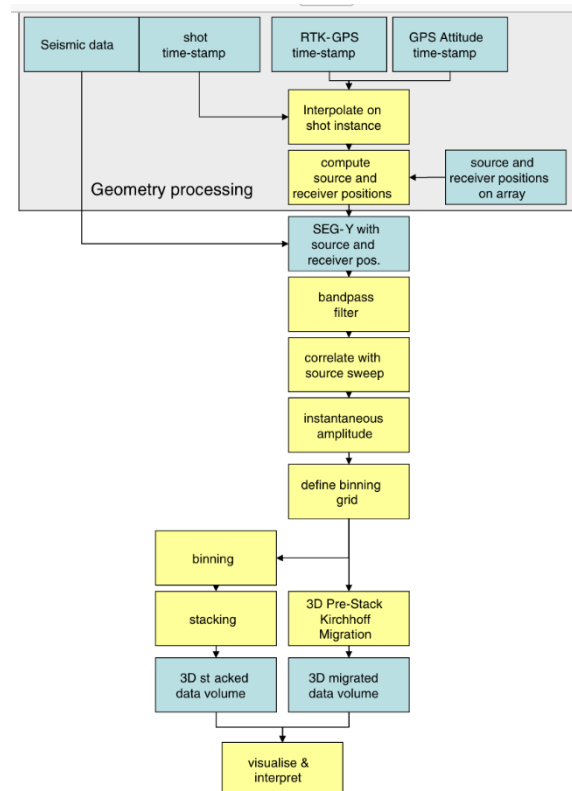
2.1 Ποιο είναι το σύστημα Chirp Sub-Bottom Profiler

Τα chirp sub Bottom profilers χαρακτηρίζονται λανθασμένα πολλές φορές ως απλά ηχοβολιστικά ή βαθύμετρα αλλά είναι πολύ πιο ισχυρά και περίπλοκα. Τα ηχοβολιστικά συνήθως χρησιμοποιούν κύμα συχνότητας 3.5- 12 kHz μετρώντας τον διπλό κατακόρυφο χρόνο που χρειάζεται το σήμα να φτάσει από τον βυθό πίσω στο δέκτη και μερικές φορές να τον διαπεράσει. Τα σύγχρονα chirp sub-bottom profilers εκπέμπουν σήμα συνήθως μερικών kilohertz με δυνατότητα διείσδυσης πυθμένα έως και παραπάνω από 100m .

Στο παρελθόν η χρήση του chirp sub bottom Profiler πραγματοποιούνταν μόνο από ειδικά καταρτισμένους επιστήμονες καθώς ήταν αρκετά πολύπλοκη .

Αξίζει να αναφερθεί επίσης ότι τα chirp Sub-bottom profilers μπορούν να διεισδύσουν σε μεγάλα βάθη εκπέμποντας κύμα χαμηλότερης συχνότητας με την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη κεντρική συχνότητα να είναι τα 3.5kHz. Επιπλέον, αρκετές παράμετροι στην εκπομπή αλλά και λήψη σημάτων μεταξύ των chirp και των παλαιών ηχοβολιστικών είναι παρόμοιοι. Στα παλαιά ηχοβολιστικά η απεικόνιση των δεδομένων πραγματοποιούνταν σε θερμογραφικό χαρτί. Στους σύγχρονους chirp sub bottom profilers η απεικόνιση γίνεται με την δημιουργία διαγραμμάτων σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

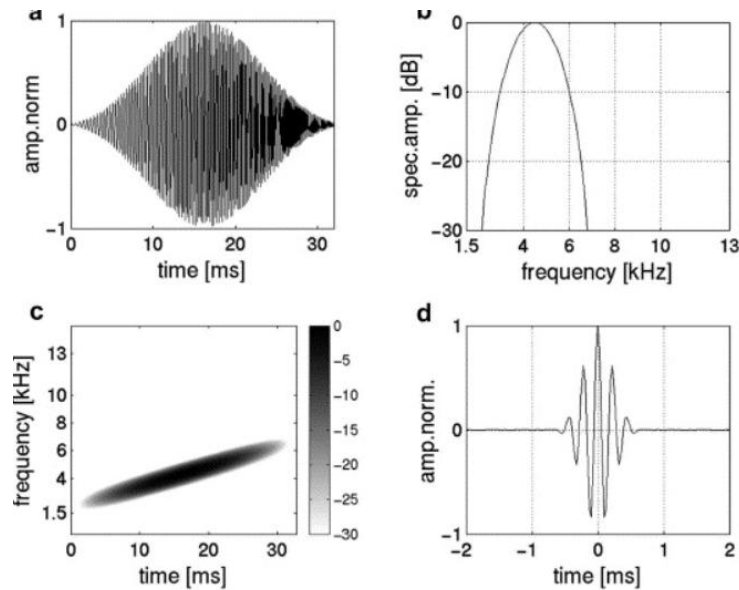
Οι σύγχρονοι sub bottom profilers έχουν εκπομπή chirp (ηχητικού παλμού) με διάρκεια 20-50 milliseconds και σε αυτόν τον χρόνο παράγει εύρος συχνοτήτων 3-4 kHz. Σε ρυμουλκόμενες κατασκευές χρησιμοποιείται 4 kHz εύρος σήματος με κεντρική συχνότητα τα 3.5 kHz (δηλαδή παράγει σήμα (sweep) με εύρος συχνοτήτων από 1.5- 5.5 kHz) , ενώ σε άλλες περιπτώσεις παράγει σήμα εύρους 3-6 kHz με κεντρική συχνότητα τα 4.5kHz. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι όσο αυξάνεται η διάρκεια του ηχητικού παλμού, το σήμα που στέλνεται κάτω από το νερό γίνεται πιο ισχυρό. Με μεγαλύτερη διάρκεια, περισσότερη ενέργεια μεταφέρεται στο σήμα γεγονός που επιτρέπει καλύτερη διείσδυση και ανίχνευση διαφόρων στόχων και στρωμάτων [6].



Σχήμα 2.1: Ενδεικτικά βήματα πλήρους επεξεργασίας δεδομένων με τη μέθοδο chirp Sub-Bottom Profiler [4].

Μερικοί από τους λόγους για τους οποίους η συγκεκριμένη μέθοδος έχει μεγάλο εύρος εφαρμογών είναι οι εξής [18]:

- Λόγω της υψηλής μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας σε ακουστική αυξάνεται η αποδοτικότητα της χαρτογράφησης του πυθμένα
- Αύξηση του λόγου σήματος προς θόρυβο για εφαρμογές σε μεγάλες γραμμές μελέτης και μείωση της απαιτούμενης ενέργειας λειτουργίας του συστήματος
- Ύπαρξη πηγής σταθερής ακουστικής ενέργειας



Σχήμα 2.2: Γραμμική σάρωση πηγής Chirp χαμηλής συχνότητας με λειτουργία φακέλου Blackmann-Harris. Πιο συγκεκριμένα, το (a) αναφέρεται στην κυματομορφή γραμμικά μεταβαλλόμενης συχνότητας Chirp, το (b) στο φάσμα ισχύος με συχνότητες από 2kHz έως 8kHz και με μέση συχνότητα τα 4.5 kHz, το (c) στο φασματογράφημα που δείχνει τη συνάρτηση γραμμικής στιγμιαίας συχνότητας και το (d) στο κυματίδιο Klauder, δηλαδή η κανονικοποιημένη συνάρτηση αυτόσυσχέτισης της σάρωσης [4].

Οι εφαρμογές στις οποίες λαμβάνει χώρα η χρήση του συστήματος Chirp Sub-Bottom Profiler είναι οι εξής [17]:

- **Χαρτογράφηση Πυθμένα και Κατηγοριοποίηση Ιζημάτων:** Το σύστημα βοηθά στην ακριβή απεικόνιση και ανάλυση των στρωμάτων ιζημάτων στον πυθμένα της θάλασσας, επιτρέποντας την ταξινόμηση και μελέτη τους.
- **Κατασκευή Λιμένων και Πλατφορμών:** Χρησιμοποιείται για την προετοιμασία και τον σχεδιασμό κατασκευαστικών έργων σε θαλάσσιες περιοχές, όπως λιμένες και υπεράκτιες πλατφόρμες.
- **Υποθαλάσσια Τοποθέτηση Αγωγών και Σωλήνων:** Το Chirp Sub-Bottom Profiler βοηθά στον εντοπισμό των κατάλληλων θέσεων και στη μελέτη του υποστρώματος για την ασφαλή τοποθέτηση υποθαλάσσιων αγωγών και σωλήνων.
- **Αρχαιολογία:** Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην υποθαλάσσια αρχαιολογία για την ανίχνευση και την τεκμηρίωση αρχαιολογικών ευρημάτων κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα.
- **Κατανόηση και Ανίχνευση Πυθμένα και Υποθαλάσσιων Στρωμάτων:** Γενικά χρησιμοποιείται σε οποιαδήποτε κατάσταση όπου είναι αναγκαία η λεπτομερής χαρτογράφηση και κατανόηση των υποθαλάσσιων στρωμάτων.

Σημαντικό ρόλο βέβαια στην αξιοπιστία των σεισμικών ανακλάσεων που προκύπτουν από την μέθοδο του chirp SBP έχει και ο τύπος των ιζημάτων που καταγράφονται στον πυθμένα. Διακρίνονται λοιπόν σε δύο περιπτώσεις [5]:

- Η πρώτη περίπτωση είναι εάν ο πυθμένας αποτελείται από σκληρά και συμπαγή ιζήματα ,τότε η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων είναι μεγάλη και έτσι μέρος της ακουστικής ενέργειας ανακλάται προς την επιφάνεια χωρίς να είναι δυνατή η δημιουργία προφίλ της στρωματογραφίας του πυθμένα.
- Η δεύτερη περίπτωση είναι εάν ο πυθμένας αποτελείται από μαλακά και χαλαρά ιζήματα τότε είναι πιο εύκολη η διεύθυνση της ακουστικής ενέργειας και συνάμα πιο εύκολη η δημιουργία προφίλ.

Τέλος, ο λόγος που τα συστήματα αυτά έχουν τόσο μεγάλη εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα αναγκών όσον αναφορά τις θαλάσσιες διασκοπήσεις είναι διότι διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα, μερικά από αυτά είναι τα εξής [17]:

- **Υψηλή Οριζόντια και Κατακόρυφη Ανάλυση:** Παρέχει λεπτομερή και ακριβή απεικόνιση των υποθαλάσσιων στρωμάτων.
- **Εφαρμογή σε Θαλάσσιες Έρευνες Μέσου και Ρηχού Πυθμένα:** Είναι κατάλληλο για χρήση σε διάφορα βάθη, από ρηχές περιοχές μέχρι μεγαλύτερα βάθη.
- **Δυνατότητα Εντοπισμού Αντικειμένων Υπό τον Πυθμένα:** Μπορεί να εντοπίζει αντικείμενα έως και μερικά dm κάτω από τον πυθμένα.
- **Εύκολη Χρήση από Μικρά Πλεούμενα:** Η ευκολία χρήσης του το καθιστά ιδανικό για μικρότερα πλεούμενα.
- **Ευελιξία στη Μεταβολή της Συχνότητας Συναρτήσεως του Χρόνου:** Η δυνατότητα προσαρμογής της συχνότητας επιτρέπει την καλύτερη ανάλυση ανάλογα με τις ανάγκες της έρευνας.

2.1.1 Ποια είναι η κυματομορφή Klauder

Όπως θα παρατηρηθεί και στα επόμενα κεφάλαια, στην μοντελοποίηση που έλαβε χώρα, χρησιμοποιήθηκε η κυματομορφή Klauder η οποία πήρε την ονομασία της από τον Αμερικάνο μαθηματικό John rider Klauder. Η κυματομορφή Klauder μπορεί να κατανοηθεί καλύτερα μέσω ενός παραδείγματος.

Έστω ότι χρειάζεται να πραγματοποιηθεί μία σεισμική διασκόπηση για την εύρεση θαμμένων αντικειμένων σε διάφορα γεωλογικά στρώματα. Για αυτόν το σκοπό χρησιμοποιείται ένα σύστημα Vibroseis (πηγή), με δυνατότητα μεταβαλλόμενης συχνότητας, στέλνοντας κύματα στο έδαφος. Το συγκεκριμένο κύμα όταν φτάνει στα εκάστοτε στρώματα ένα μέρος από αυτό ανακλάται εμπεριέχοντας σημαντικές πληροφορίες για τα διάφορα γεωλογικά στρώματα. Για να δημιουργηθεί η κυματομορφή Klauder (Σχήμα 2.2, (d)) πρέπει να συσχετιστεί το σήμα που στάλθηκε στην αρχή με το σήμα όπου ανακλάστηκε από τα στρώματα. Έτσι, η κυματομορφή Klauder λειτουργεί σαν «πηγή» του σεισμικού σήματος και με αυτόν τον τρόπο οι σεισμικές καταγραφές γίνονται πιο ευκρινείς και οι ανακλάσεις από διαφορετικά στρώματα γίνονται πιο διακριτές [7].

2.1.2 Τι προσδίδει η κυματομορφή Klauder στο Chirp SBP

Τα χαρακτηριστικά που προσδίδει η κυματομορφή Klauder στο chirp SBP είναι τα εξής [7]:

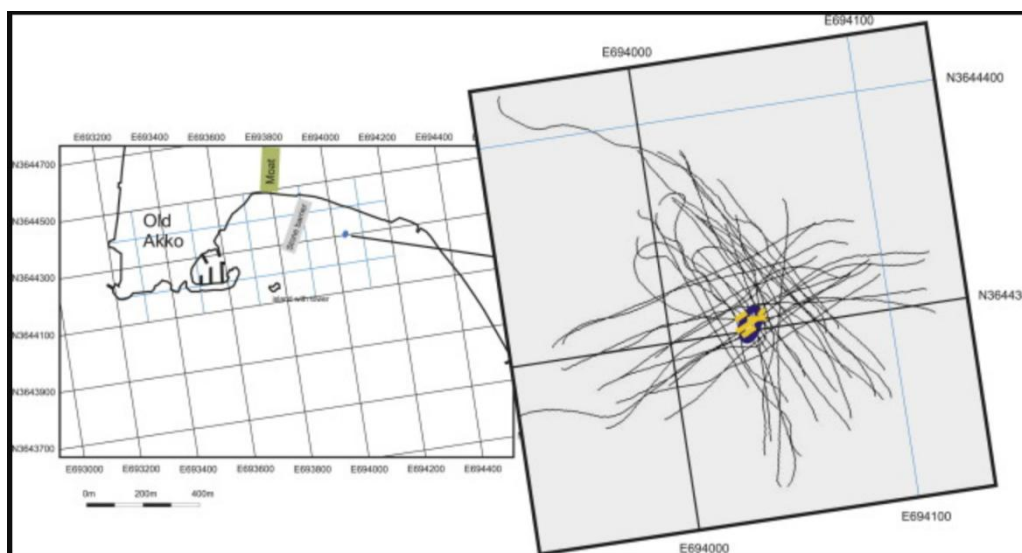
- Καλύτερη διείσδυση: Η κυματομορφή Klauder επιτρέπει την καλύτερη διείσδυση του σήματος σε πιο βαθιά στρώματα, η οποία εξαρτάται από την ελάχιστη συχνότητα της σεισμικής πηγής.
- Υψηλή ανάλυση: Ο εντοπισμός των ανακλάσεων από διαφορετικά στρώματα αυξάνεται εξ αιτίας του αυξημένου και ελεγχόμενου εύρους συχνοτήτων.
- Αύξηση της SNR (Signal-to-Noise Ratio): Αυξάνει την ακρίβεια και την διακριτότητα των στρωμάτων σε μέρη με αρκετό θόρυβο.

Κεφάλαιο 3^ο– Επιφανειακές θαλάσσιες διασκοπήσεις με την μέθοδο σεισμικής ανάκλασης για την εύρεση αρχαιολογικών ευρημάτων.

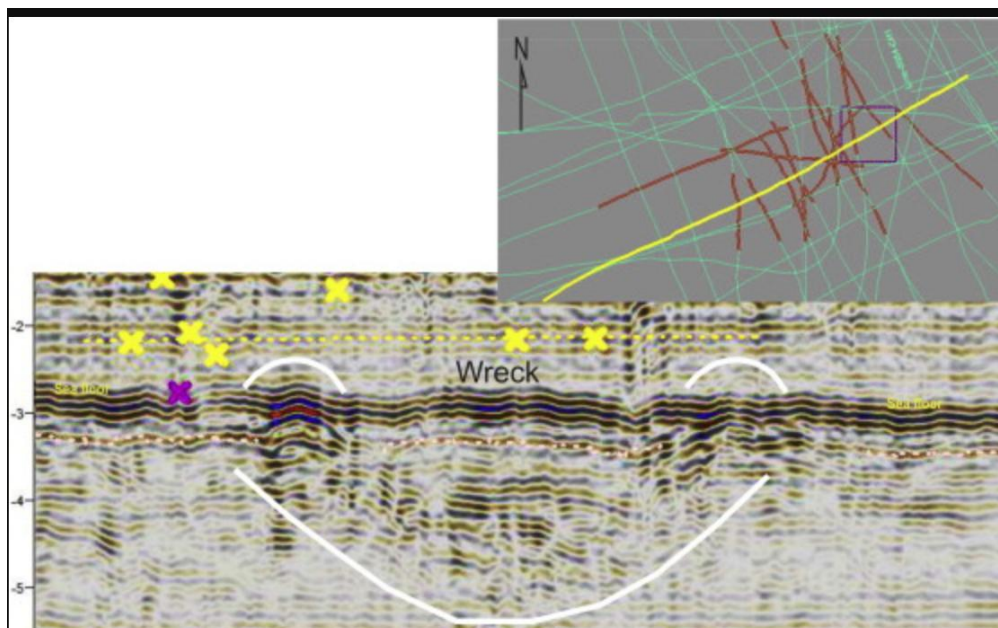
3.1 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με χρήση σεισμικής ανάκλασης στις περιοχές του Ισραήλ, Δανίας και Γερμανίας

Akko 4, Israel

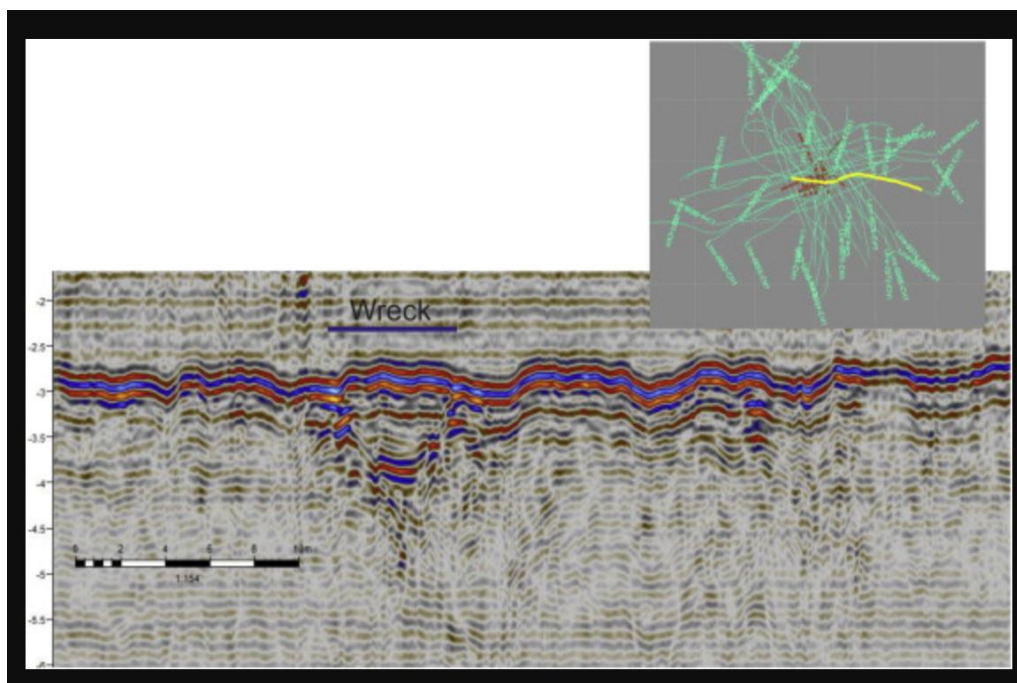
Τον Μάρτιο του 2014 πραγματοποιήθηκε μια δοκιμή στο Akko 4, γνωστό ναυάγιο της οθωμανικής περιόδου σε λιμάνι του Ισραήλ κοντά στη Χάιφα. Το ναυάγιο ανακαλύφθηκε από μια υποβρύχια έρευνα που έλαβε χώρα από την Αρχή Αρχαιοτήτων του Ισραήλ με κύριο στόχο να τεκμηριωθούν τα αρχαιολογικά ευρήματα. Επιπροσθέτως το Akko 4 απέχει 100 m από την ακτή και βρίσκεται σε βάθος νερού 2,5 m. Η εγγραφή του Akko 4 πραγματοποιήθηκε με ένα Chirp Sub-bottom profiler της Teledyne TTV-170 Series Dual Channel Chirp όπου σε συνδυασμό με πομποδέκτη και έναν φορητό υπολογιστή λήφθηκαν τα απαιτούμενα δεδομένα. Στα αποτελέσματα που λήφθηκαν το 2014 είναι εμφανής η παρουσία του ναυαγίου ενταφιασμένου στο πυθμένα της θάλασσας και από το προφίλ και έχει δημιουργηθεί δίνει μια ικανοποιητική εικόνα του σχήματος του ναυαγίου [3].



Εικόνα 3.1: Η θέση του ναυαγίου Άκκο 4 σε σχέση με το παλιό οχυρό Άκκο. Οι γραμμές έρευνας εμφανίζονται στα δεξιά. Οι γραμμές που δείχνουν την ύπαρξη ναυαγίου σημειώνονται με κίτρινο χρώμα. Το ίδιο το ναυάγιο εμφανίζεται ως μπλε οβάλ [3].



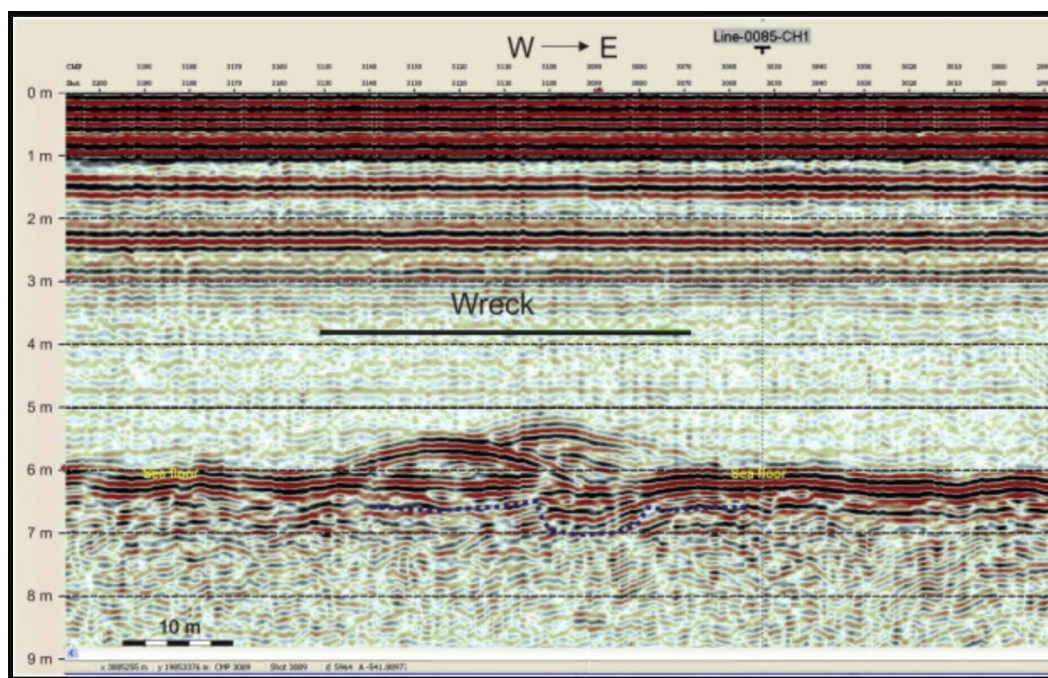
Εικόνα 3.2: Αποτελέσματα της γραμμής έρευνας με κατεύθυνση ανατολή-δύση του ναυαγίου Akko 4, που δείχνει ότι είναι ένα στοιχείο πλάτους περίπου 7 m ενσωματωμένο σχεδόν 2 m στον πυθμένα της θάλασσας. Μια ανωμαλία που μπορεί να παρατηρηθεί στα δεξιά σε αυτό το τμήμα μπορεί να είναι ένα άλλο ναυάγιο ή ένα θραύσμα του Akko 4. Επιπλέον, στην πάνω δεξιά γωνία απεικονίζονται οι γραμμές έρευνας γύρω από το Akko 4 [3].



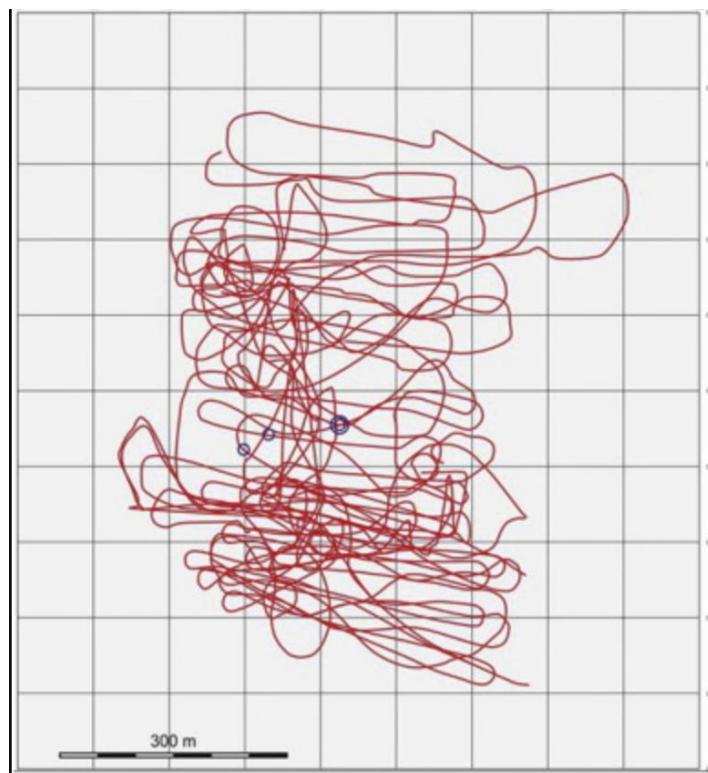
Εικόνα 3.3: Αποτελέσματα από την γραμμή έρευνας με κατεύθυνση δυτικά/βορειοδυτικά-ανατολικά/νοτιοανατολικά. Επάνω δεξιά γωνία είναι οι γραμμές έρευνας γύρω από το Akko 4 [3].

Lundeborg 1, Denmark

Το ναυάγιο του «Lundeborg 1» στην Δανία ανακαλύφθηκε στο Lundeborg ανατολικά του Funen το 1973 και είναι ένα πλοίο μήκους 16 m το οποίο είχε βύθισμα μικρότερο από 1,5 m. Το 2012 πραγματοποιήθηκε έρευνα με την χρήση του Chirp Sub-bottom Profiler και με τον ίδιο εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε στο Akko 4. Ο στόχος ήταν να δοκιμαστεί πόσος χρόνος και ποια απόσταση μεταξύ των γραμμών έρευνας θα χρειαζόταν για να εντοπιστεί ένα συγκεκριμένο ναυάγιο. Επιπλέον ήταν γνωστή η θέση του ναυαγίου σε μια ορθογώνια περιοχή περίπου 500 -700 m. Τέλος, από την έρευνα που έλαβε χώρα ανακαλύφθηκαν 3 σημεία ενδιαφέροντος όπου το κύριο εύρημα ήταν το wreck 1 Lundeborg , το 2^ο ονομάστηκε wreck 2 Lundeborg όπου αντιπροσωπεύει το μισό άλλου μεσαιωνικού πλοίου και το 3^ο ίσως αντιπροσωπεύει μέρος του wreck 2 ή άλλο ναυάγιο.



Εικόνα 3.4: Αποτελέσματα των διαδικασιών ανάλυσης στο Lundeborg της Δανίας όπου είναι εμφανή η παρουσία ανωμαλίας και η οποία αντιπροσωπεύει το 1^ο ναυάγιο[5].



Εικόνα 3.5: Γραμμές έρευνας από μια πειραματική χαρτογράφηση του Wreck 1 Lundeborg (μπλε διπλός κύκλος), για την οποία ήταν γνωστή μόνο μια κατά προσέγγιση θέση. Παρατηρήθηκαν δύο άλλα χαρακτηριστικά ναυαγίου (μπλε μονοί κύκλοι). Το πιο δυτικό είναι πιθανότατα το Wreck 2 Lundeborg, το οποίο αντιπροσωπεύει το ένα μισό άλλου μεσαιωνικού πλοίου, το άλλο μπορεί να αντιπροσωπεύει το «χαμένο» μισό του Wreck 2 ή ένα τρίτο ναυάγιο[5].

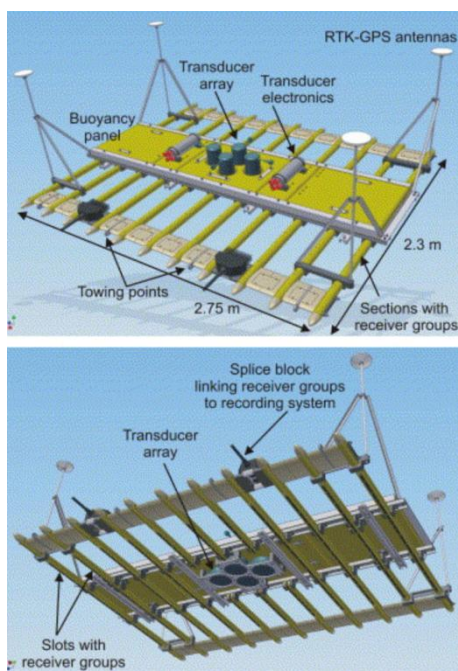
Haithabu 4, German

Η περιοχή του λιμανιού στο Χαιταμπού στη βόρεια Γερμανία ήταν από τα πρώτα μέρη στον κόσμο όπου το Chirp Sub-bottom Profiler χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για θαλάσσια αρχαιολογική έρευνα. Από τη σεισμική έρευνα που έλαβε χώρα (1978-1981) ανακαλύφθηκαν αρχαιολογικά ευρήματα από την εποχή των Βίκινγκς στα ιζήματα του λιμανιού. Στις νέες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν (1995-96) χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα Datasonics CAP 6000 Chirp-II που σαρώνει σε συχνότητες 2-23 kHz. Για την πλοήγηση χρησιμοποιήθηκαν 2 σταθμοί Ashtech GPS Receiver XII ο ένας τοποθετήθηκε στην ξηρά για να διορθώσει τη θέση που έλαβε ο άλλος μέσω δορυφόρου. Η συγκεκριμένη έρευνα οδήγησε στην ανακάλυψη μιας φορτηγίδας δηλαδή μέσω των σεισμικών προφίλ γίνεται εμφανής η ανωμαλία που υποδηλώνει την πιθανή ύπαρξη της (95 % πιθανότητα ύπαρξης ναυαγίου). Τέλος τα αρχαιολογικά στοιχεία επαληθευτήκαν επιτυχώς με επιθεώρηση δύτη και το ναυάγιο βρέθηκε ενταφιασμένο σε 1,5 m λάσπης και σε βάθη νερού από 2-3m[5].

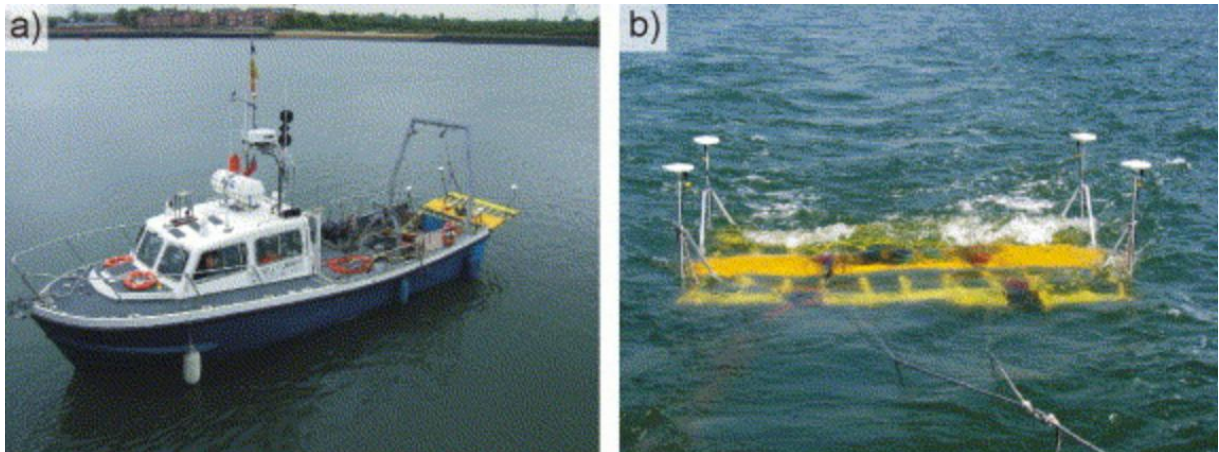
3.2 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με χρήση σεισμικής ανάκλασης στο Southampton στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Στο Southampton του Ηνωμένου Βασιλείου πραγματοποιήθηκε διασκόπηση για την εύρεση ενός φράγματος με την χρήση του Chirp Sub bottom Profiler το οποίο κατασκευάστηκε προσωρινά για γεωτεχνικές και λιγότερο βέβαια για αρχαιολογικές μελέτες. Σχετίζεται με την κατασκευή των τειχών του λιμανιού του τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων του Πρίγκιπα Κάρολου. Το αντικείμενο αυτό κατασκευάστηκε από ατσάλινα φύλλα με ξύλινες ενισχύσεις, με τετραγωνική διατομή 4,6μ X 4,6μ και έπειτα από την ολοκλήρωση των ερευνών το αντικείμενο ανατράπηκε σε μία προδιαγραφόμενη τάφρο και θάφτηκε με βάθος νερού μικρότερο από τα 20 m [4].

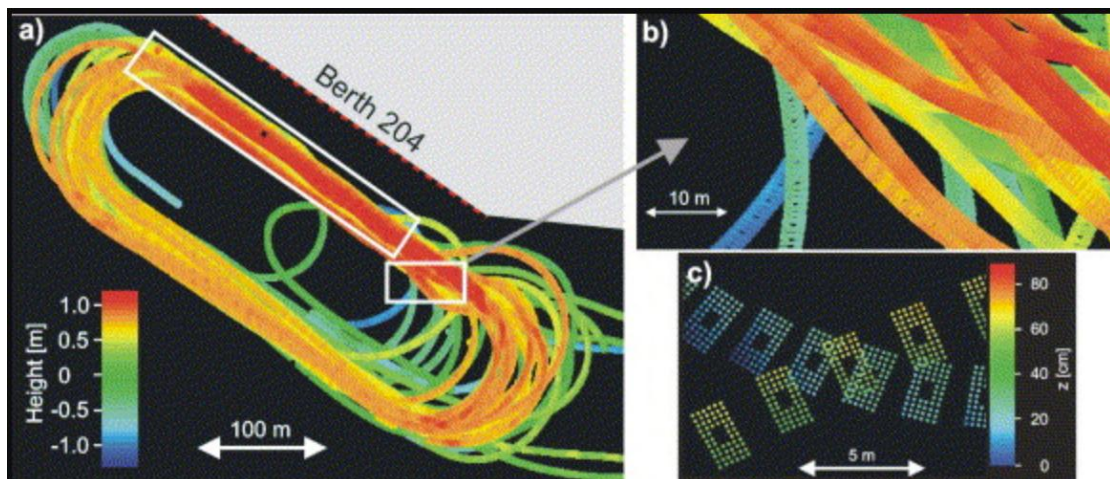
Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα chirp που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από μία επιφανειακή ρυμουλκούμενη συστοιχία πηγών και δεκτών κατασκευασμένη από 11 διαμήκεις δοκούς με μήκος 2 m οι οποίοι χωρούν συνολικά 60 ομάδες δεκτών σε απόσταση περίπου 25cm. Η ακουστική πηγή που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από τέσσερις μορφοτροπείς chirp σε διαμόρφωση μαλτέζικου σταυρού τοποθετημένοι στο κέντρο της συστοιχίας και εκπέμπουν ένα εύρος συχνοτήτων 1,5-13 kHz. Επιπλέον, στη συστοιχία χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία RTK -GPS που βασίζεται κυρίως στην αρχή λειτουργίας των GPS τοποθετώντας 4 κεραίες GPS στις γωνίες σε ράβδους μήκους 0,9m οι οποίες διασφαλίζουν την προστασία τους από το νερό (Εικόνα 3.6) [4].



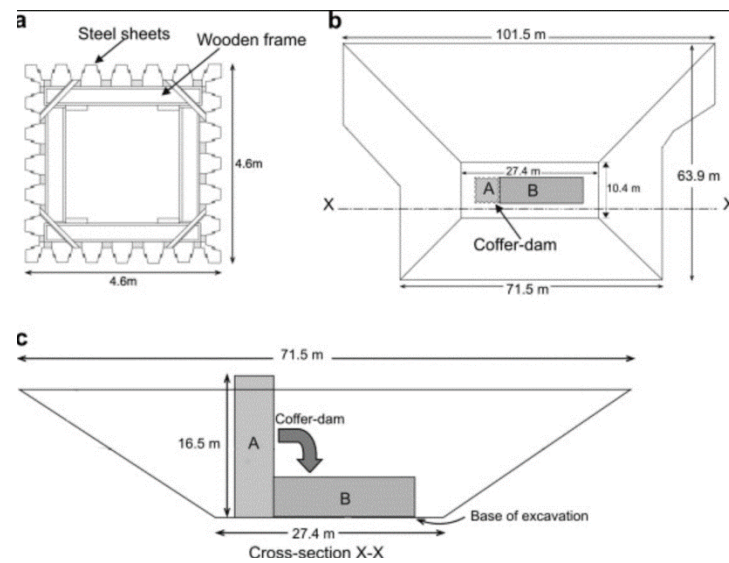
Εικόνα 3.6: Συστοιχία μεθόδου Chirp που χρησιμοποιήθηκε σε λιμάνι του Southampton [4].



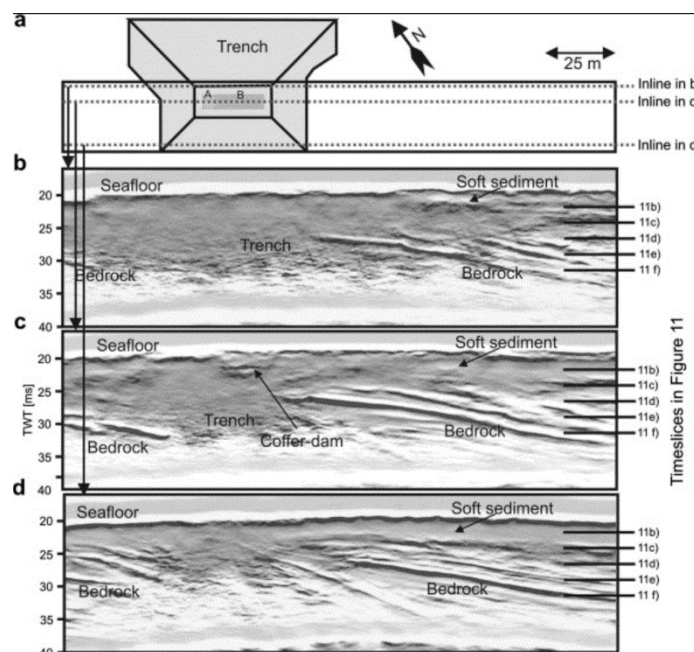
Εικόνα 3.7: Στην παρούσα εικόνα παρουσιάζεται: α) Το ρυμουλκούμενο μέσο με την συστοιχία, β) Η συστοιχία εν ώρα έρευνας [4].



Εικόνα 3.8: Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η γραμμή Μελέτης στο λιμάνι του Southampton πάνω από τον στόχο [4].



Εικόνα 3.9: Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει την γεωμετρία του φράγματος αλλά και τον τρόπο εναπόθεσης αυτού στην τάφρο [4].



Εικόνα 3.10: Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μέσω της μεθόδου chirp. Πιο συγκεκριμένα είναι ορατό το φράγμα (Coffer-Dam) το οποίο είναι θαμμένο στην τάφρο [4].

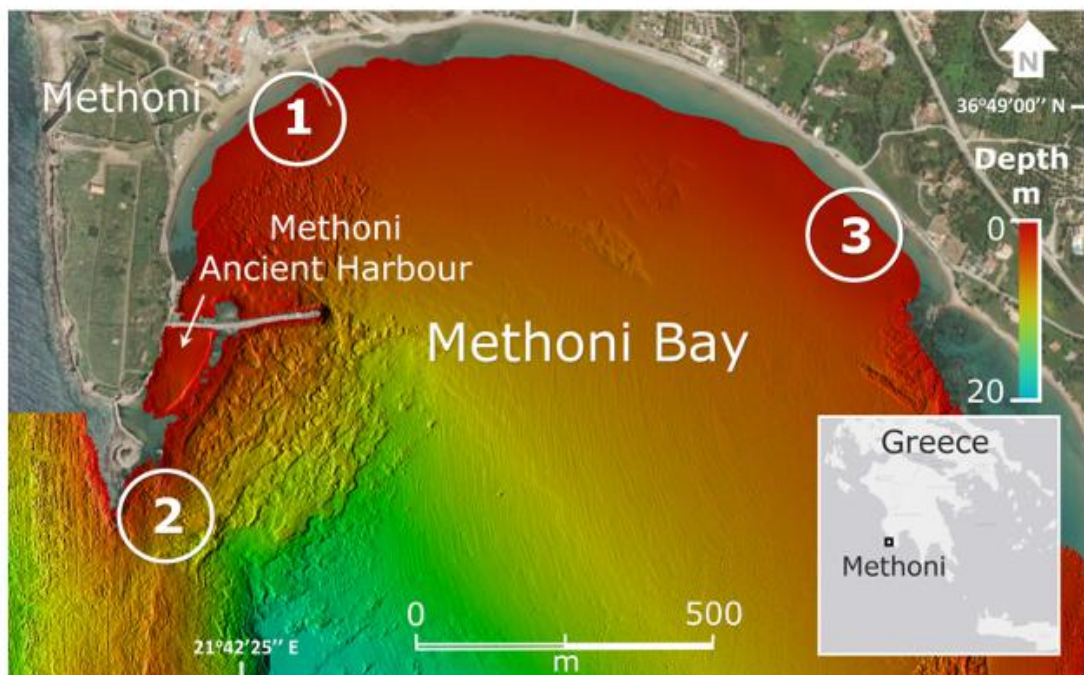
Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα του chirp sub bottom profiler λειτούργησε με επιτυχία καθώς απεικόνισε πολύ ικανοποιητικά το θαμμένο αντικείμενο στο λιμάνι του Southampton. Τέλος, η ικανότητα του του συστήματος chirp να απεικονίζει σύνθετες γεωμετρίες και υπόγεια μικρά αντικείμενα με υψηλή ανάλυση καθιστά αυτή την μέθοδο ενθαρρυντική για διάφορες θαλάσσιες μελέτες στην αρχαιολογία, την μηχανική κ.α. [4].

3.3 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με χρήση σεισμικής ανάκλασης στην Μεθώνη.

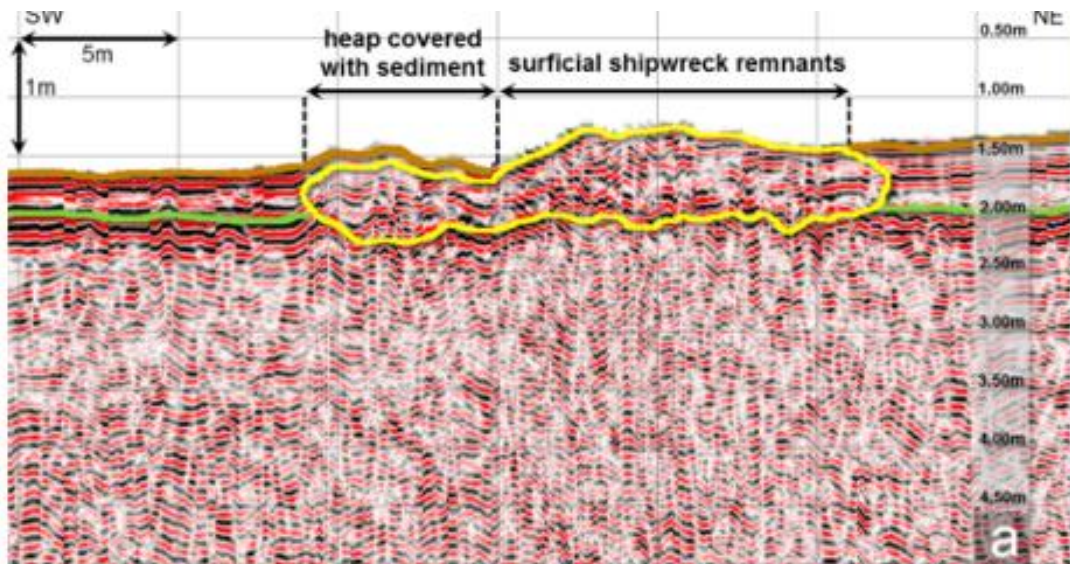
Methoni, Greece

Η συγκεκριμένη έρευνα εστιάζει στις σεισμικές έρευνες σε 3 ναυάγια στην Μεθώνη (Ελλάδα) και παρουσιάζει τα οφέλη της τρισδιάστατης και 4D σύνθεσης θαλάσσιων γεωφυσικών δεδομένων για την ανάλυση και απεικόνιση των ναυαγίων. Η έρευνα έλαβε χώρα σε όλη την έκταση του κόλπου και σε βάθη νερού έως και 15 m [2].

Επιπλέον, η έρευνα χωρίστηκε σε 2 φάσεις. Στην πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε θαλάσσια γεωφυσική έρευνα με την χρήση φουσκωτού σκάφους άκαμπτης κατασκευής στο οποίο συμπεριλαμβανόταν ένα σόναρ πλευρικής σάρωσης, μαγνητόμετρο, βαθύμετρο καθώς επίσης και Sub-bottom Profiler. Στην δεύτερη φάση έλαβε χώρα χαρτογράφηση της ακτογραμμής. Το 1^ο ναυάγιο βρίσκεται λίγα μέτρα μακριά από την ακτή της Μεθώνης σε βάθος νερού μεταξύ 0,5 και 2,5 m. Το 2^ο ναυάγιο βρίσκεται 100 μέτρα νοτιοανατολικά του ακρωτηρίου της Μεθώνης σε βάθος νερού μεταξύ 5 και 15 m και το 3^ο ναυάγιο βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του κόλπου της Μεθώνης σε βάθος νερού 2- 2,5 m. Τέλος, για την λήψη και την ανάλυση των δεδομένων έγινε χρήση πολλών γεωφυσικών διαδικασιών (π.χ. βαθυμετρία, σεισμική ανάκλαση) όπου με συνδυασμό αυτών απεικονίστηκαν σε 2D, 3D και 4D τα δεδομένα των ναυαγίων [2].



Εικόνα 3.11: Σε αυτή την εικόνα απεικονίζονται οι θέσεις των ναυαγίων [2].

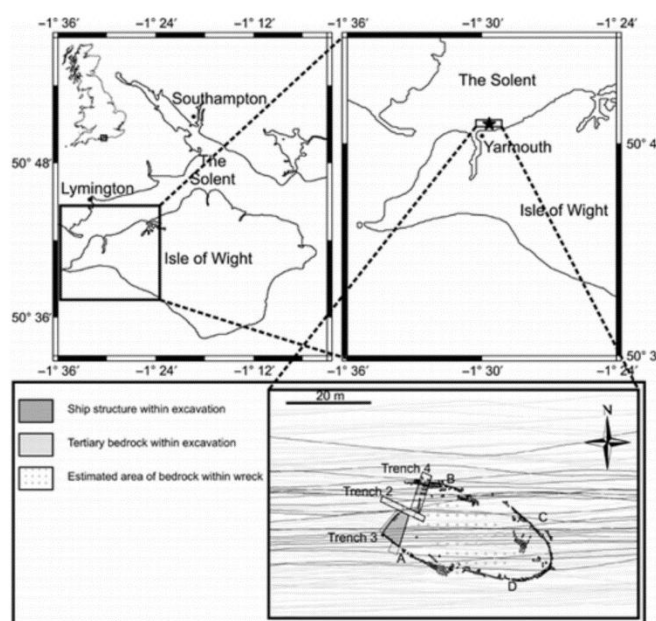


Εικόνα 3.12: Αποτελέσματα από την αναζήτηση του πρώτου ναυαγίου [2].

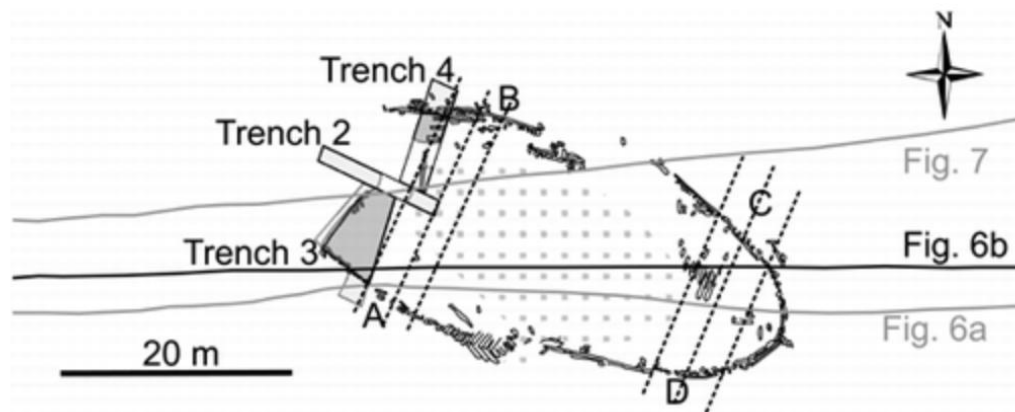
3.4 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με την μέθοδο σεισμικής ανάκλασης στο Yarmouth της Σκωτίας.

Yarmouth Roads

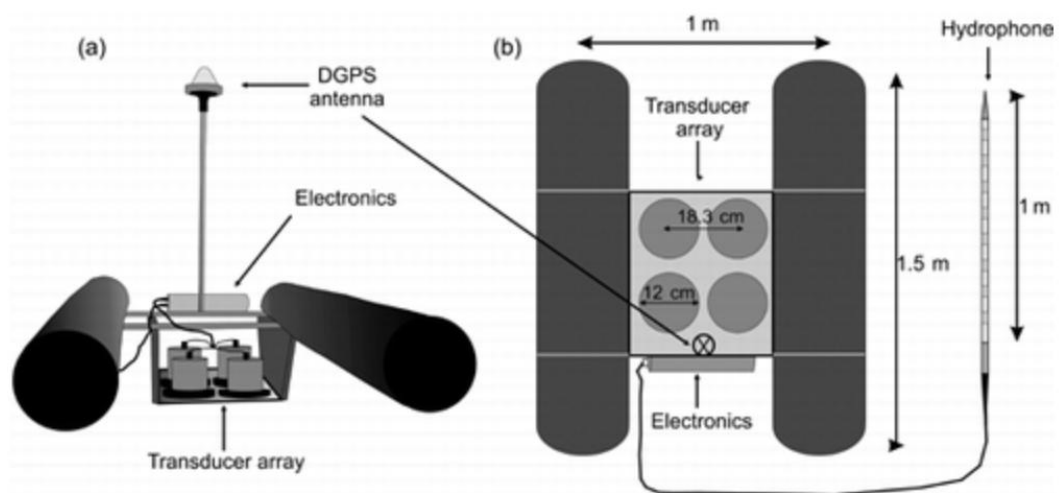
Το 1984 εντοπίστηκε ναυάγιο σε απόσταση μικρότερη από 200 m από την ακτή του Yarmouth σε βάθη νερού μεταξύ 4-8 m. Το ναυάγιο το οποίο εντοπίστηκε ήταν ένα μεσογειακό πλοίο του 16^{ου} αιώνα το οποίο μετέφερε κεραμικά. Η έρευνα έλαβε χώρα από το πανεπιστήμιο του Southampton και χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Chirp Sub-bottom profiler που αποτελείται από μία τετράγωνης μορφής σχεδία με 4 μορφοτροπείς Chirp, GPS κεραίες με ακρίβεια $\pm 1\text{m}$ τα οποία είναι τοποθετημένα σε ένα καταμαράν και ρυμουλκούνται από σκάφος έρευνας το οποίο ονομάζεται Xplorer. Επιπροσθέτως, για την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν 8 υδρόφωνα τα οποία κατέγραφαν δεδομένα. Για την εν λόγω έρευνα χρησιμοποιήθηκαν επίσης 2 συχνότητες σάρωσης, η πρώτη ήταν 1.5-13 kHz διάρκειας 16 ms και ημιτονοειδής κυματομορφή και η δεύτερη μεταξύ 1.5-11.5 kHz διάρκειας 16 ms μήκος και Blackmann-Harris κυματομορφή, και τα 2 εκτέμπανε με ρυθμό 8 κύματα το λεπτό. Τέλος, κύριος στόχος της μεθόδου σε αυτή για την συγκεκριμένη έρευνα ήταν να δοθεί μία καλύτερη εικόνα για οριζόντια και κατακόρυφη κατανομή για τα αρχαιολογικά ευρήματα τα οποία εκτιμώνται ότι καλύπτουν περιοχή 40m X 16m και αποτελούν το κύτος αλλά και το περιεχόμενό του [11].



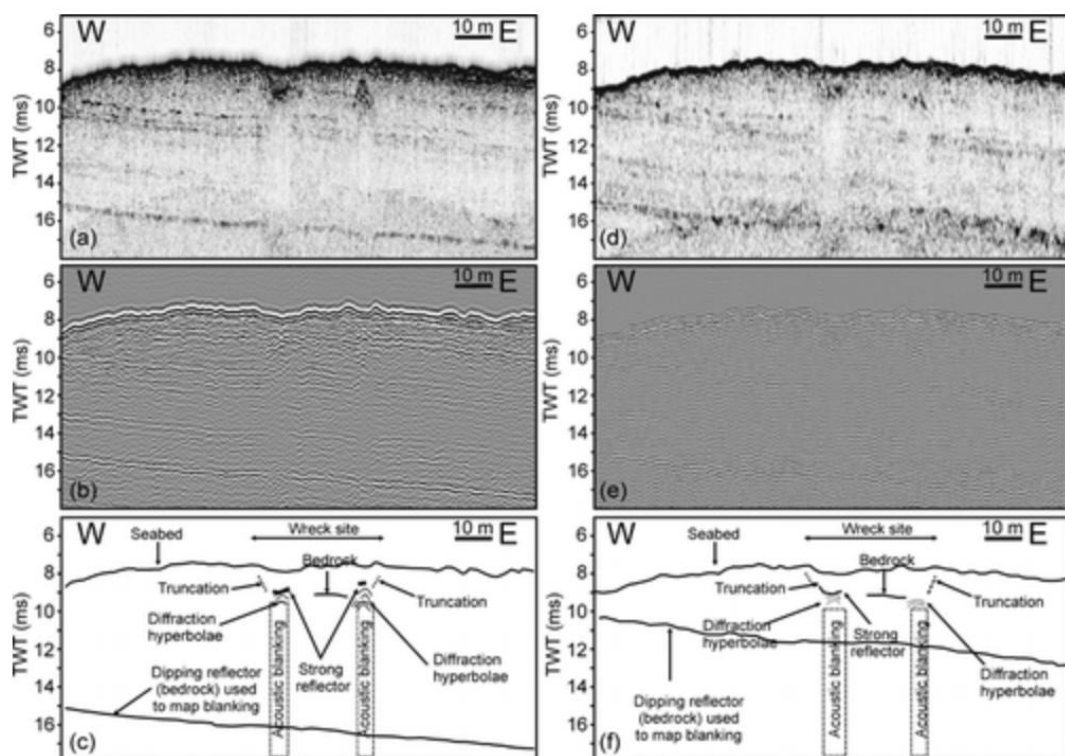
Εικόνα 3.13: Θέση τοποθεσίας ναυαγίου [11].



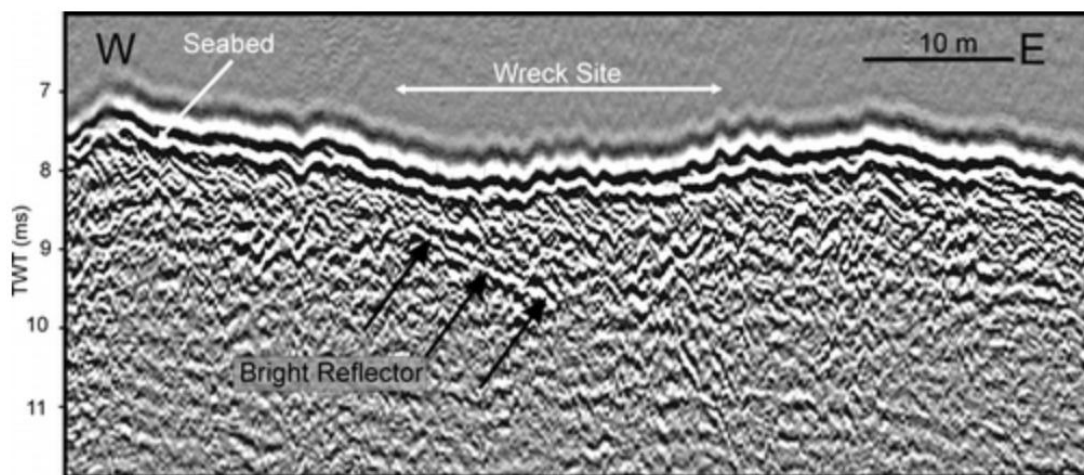
Εικόνα 3.14: Γραμμές έρευνας ολόκληρες και διακεκομμένες [11].



Εικόνα 3.15: Ο εξοπλισμός της έρευνας πλάγια και κάτω όψη [11].



Εικόνα 3.16: Σεισμική τομή που αποκτήθηκε με τη σάρωση 1: α) envelope correlated data. β) raw correlated data. γ) σεισμική ερμηνεία. (δ-ε) Σεισμική τομή που αποκτήθηκε με τη σάρωση 2: δ) envelope correlated data. ε) raw correlated data. ς) σεισμική ερμηνεία [11].



Εικόνα 3.17: Λεπτομερής σεισμική τομή που αποκτήθηκε με τη σάρωση 1, που δείχνει έναν φωτεινό ανακλαστήρα εντός της περιοχής του ναυαγίου [11].

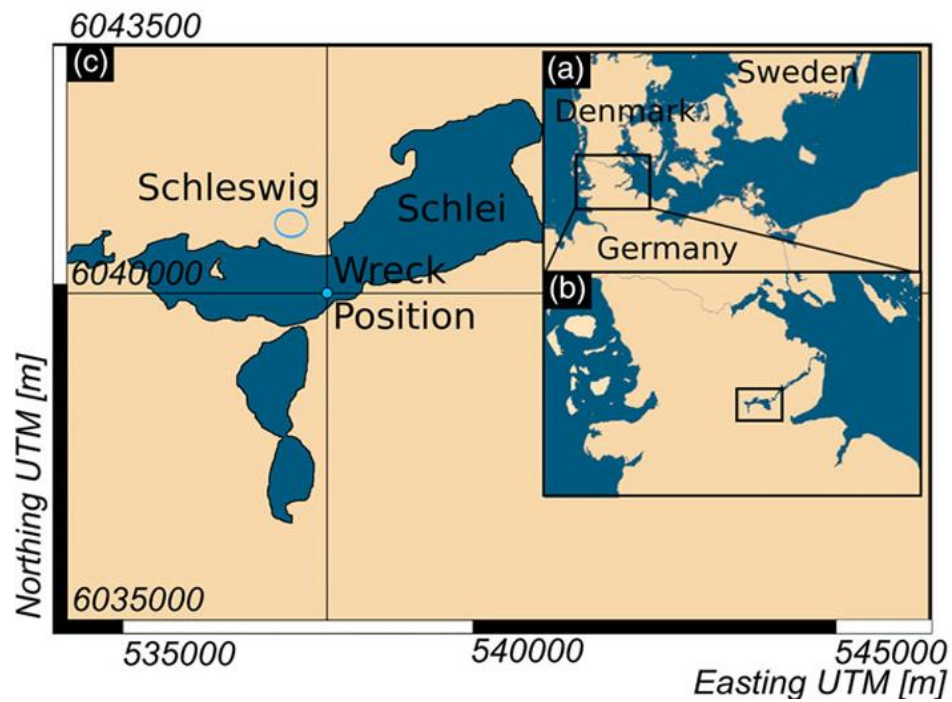
3.5 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με την χρήση σεισμικής ανάκλασης στο Schlei της Γερμανίας.

Schlei, Germany

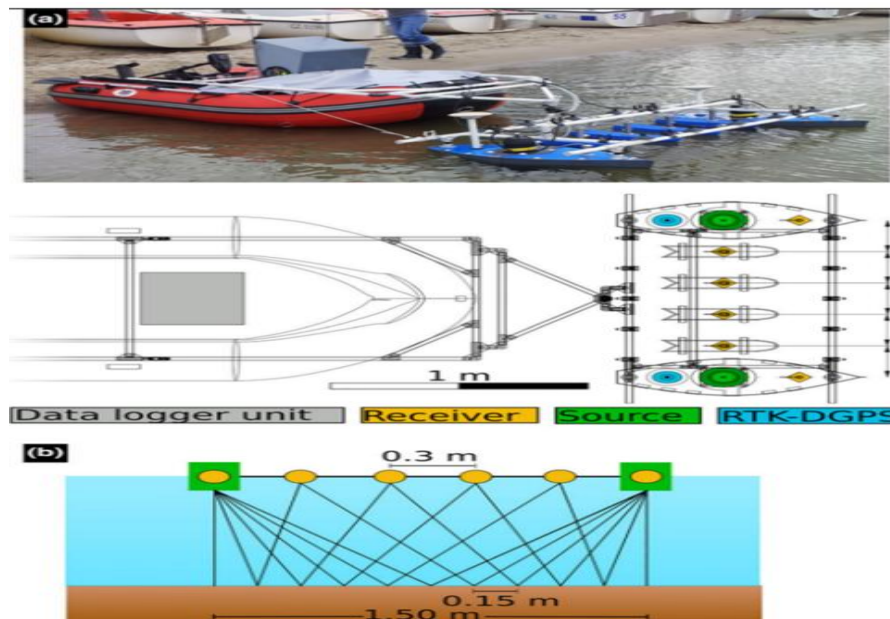
Στο παρόν άρθρο γίνεται αναφορά στην χρήση μεθόδων σεισμικής ανάκλασης όπως για παράδειγμα το Chirp Sub-Bottom profiler, για ενταφιασμένα αρχαιολογικά στοιχεία (ναυάγια) τα οποία βρίσκονται σε ρηχά νερά και στα πλεονεκτήματα αυτών. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η έρευνα αφορούσε ένα ναυάγιο (Fahrdorf-wreck) σε ύδατα στο Schlei της Γερμανίας σε βάθος λίγων μέτρων σε παγετώδη περιοχή. Το σύστημα σεισμικής ανάκλασης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το σύστημα Ping Pong με διαστάσεις 1,2mX2m [15].

Το παρόν σύστημα αποτελείται από 2 πιεζοηλεκτρικές πηγές οι οποίες δημιουργούν κύμα με κεντρική συχνότητα τα 4kHz, 6 υδρόφωνα και GPS πραγματικού χρόνου τοποθετημένα σε σχεδία και ρυμουλκούμενα από μικρή βάρκα. Καθώς κινείται η βάρκα σε καθορισμένη γραμμή έρευνας τα υδρόφωνα τα οποία είναι τοποθετημένα σε απόσταση 30 cm από τις πηγές, δέχονται τα σήματα που αντανακλώνται και έτσι προκύπτουν τα δεδομένα για το βυθό και την πιθανή ύπαρξη του ναυαγίου. Δεν πρέπει να παραληφθεί επιπλέον, ότι το συγκεκριμένο σύστημα λειτουργεί καλά και σε στάσιμα νερά καθώς επίσης μπορεί να καλύπτει περίπου ένα εκτάριο ανά μέρα (10.000 m²) [15].

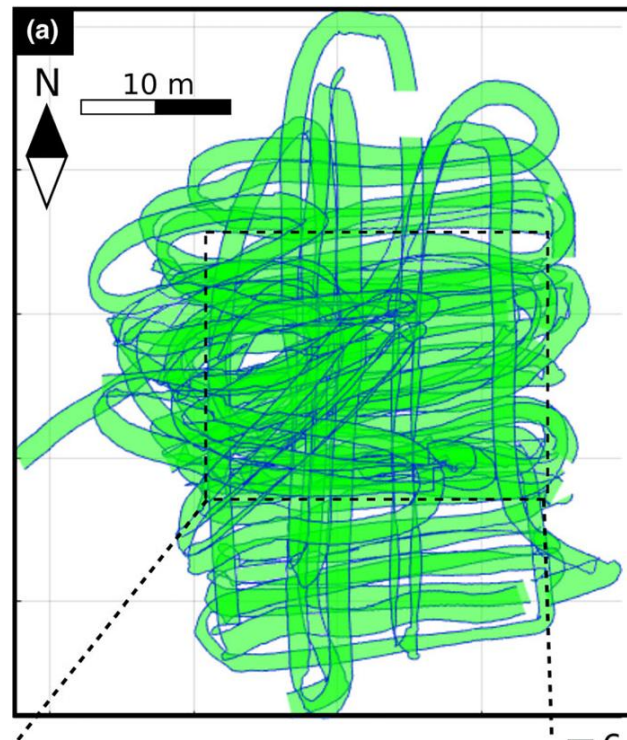
Τέλος λήφθηκε το συμπέρασμα ότι το σκανδιναβικό πλοίο μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί από τα δεδομένα που πάρθηκαν καθώς επίσης παρατηρείται ότι ένα κομμάτι του ναυαγίου έχει μια ελαφριά κλίση. Επιπλέον, από τα δεδομένα της σεισμικής ανάκλασης γίνεται αντιληπτό το μέγεθος και ο προσανατολισμός του ναυαγίου [15].



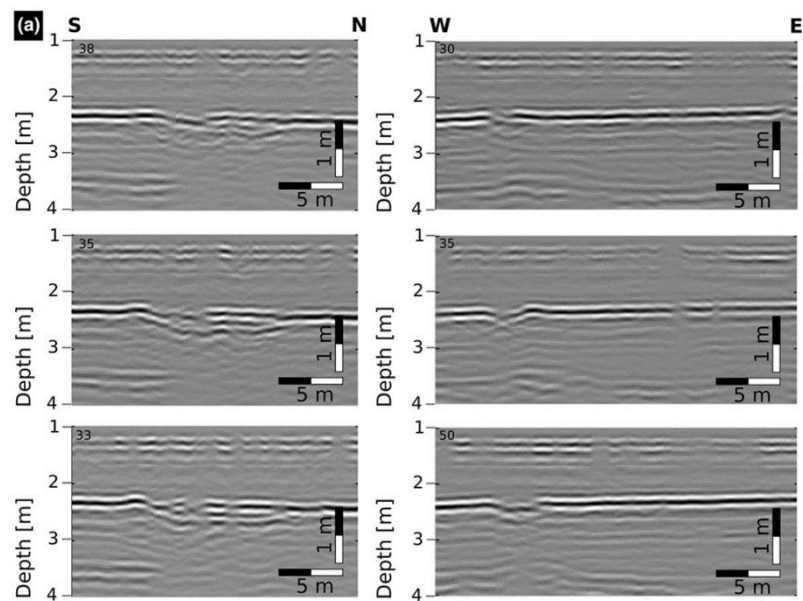
Εικόνα 3.18: Περιοχή Μελέτη [15].



Εικόνα 3.19: Απεικόνιση του συστήματος και της διάταξης της μεθόδου Ping-Pong [15].



Εικόνα 3.20: Οι γραμμές ανίχνευσης [15].



Εικόνα 3.21: Αποτελέσματα στα οποία φαίνεται η ύπαρξη ανωμαλίας και πιο συγκεκριμένα του ναυαγίου και τα οποία ελήφθησαν από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε κατευθύνσεις βορρά-νότου και ανατολής δύσης [15].



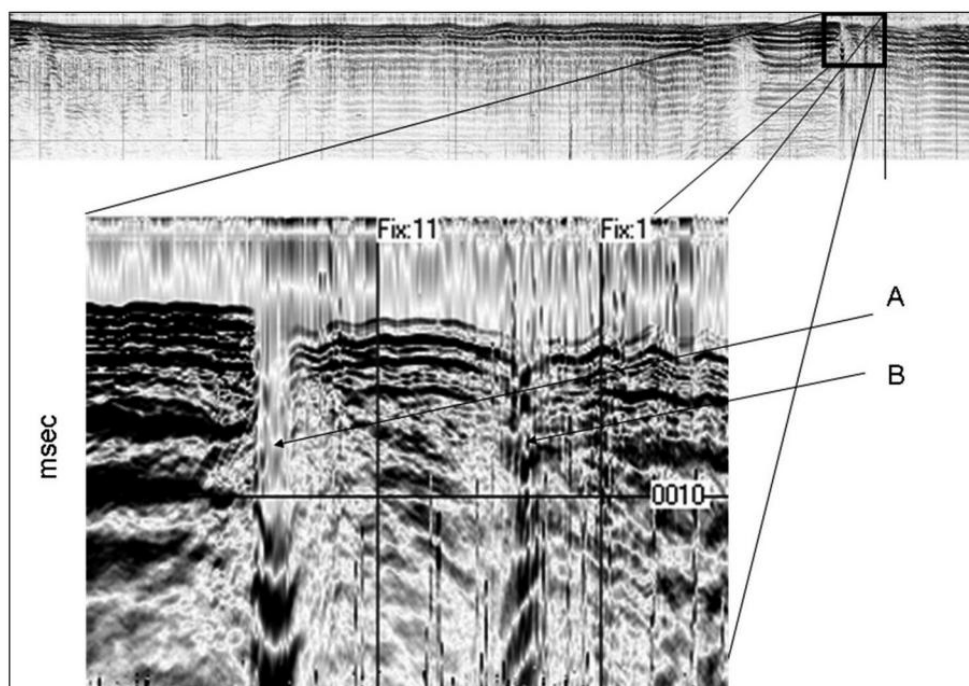
Εικόνα 3.22: Φωτογραφία δύτε καταγράφοντας την προεξοχή ενός μέρους του ναυαγίου [15].

3.6 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με χρήση σεισμικής ανάκλασης στο Salerno της Ιταλίας

Salerno Italy

Στο άρθρο γίνεται αναφορά σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε ακτή της Αγρόπολης (Salerno Italy) για την αναζήτηση θαμμένων αντικειμένων στο βυθό της θάλασσας με τον συνδυασμό αρκετών γεωφυσικών μεθόδων. Επιπλέον η έρευνα υπέδειξε την παρουσία ενός ναυαγίου το οποίο βυθίστηκε στον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Πιο συγκεκριμένα έγινε χρήση μορφοβαθυμετρικής (MBES) έρευνας, σεισμικής έρευνας υψηλής ευκρίνειας (chirp Sub bottom Profiler), μαγνητικής έρευνας και έρευνας ηλεκτρικής αντίστασης. Το σύστημα σεισμικής ανάκλασης ήταν τύπου SES 1000 και SES 2000 της Innomar διότι δίνει λύση σε αρκετά προβλήματα που δημιουργούνται αφού έχει μικρό αποτύπωμα, χαμηλό επίπεδο αντήχησης και υψηλή οριζόντια ανάλυση, γρήγορη μετάδοσης του σήματος, υψηλή κατακόρυφη ανάλυση και επιπλέον έχει την δυνατότητα να εντοπίζει μικρούς και αδύναμους ανακλάστές. Τέλος από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των ερευνών στην περιοχή προκύπτει το συμπέρασμα ότι λόγω της μορφολογίας του βυθού, των ιζημάτων και του μέσου βάθους του νερού φανερώνουν πιθανούς ανθρωπογενείς στόχους [10].



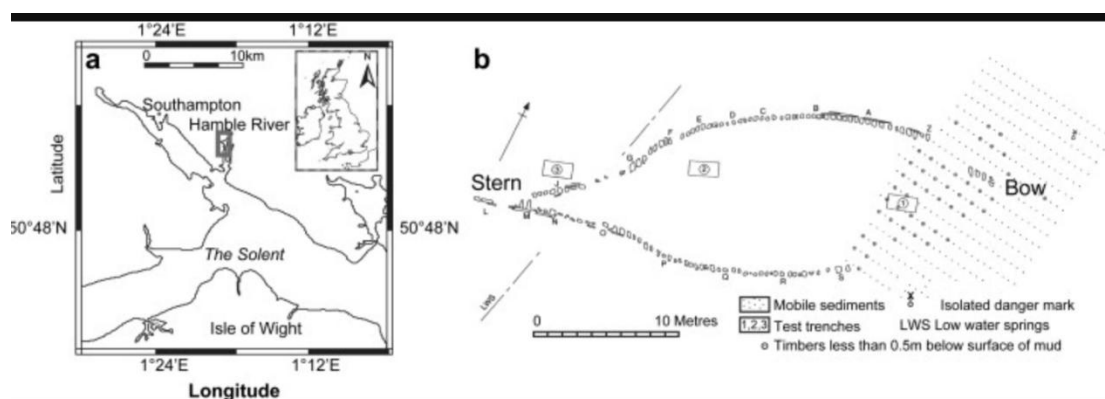
Εικόνα 3.23: Ανωμαλίες οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε αρχαιολογικά ευρήματα [10].

Investigation technique	Characteristics	Use encouraged in presence of:	Use discouraged in presence of:
High resolution MBES	Frequencies (f): 500-250 kHz	outcropping bodies and less than 50 metres of water column depth	more than 50 metres of water column depth (use side scan sonar)
Side scan sonar	f of about 400-100 kHz	outcropping bodies	less than 50 metres of water column depth the use of multibeam is equivalent
Sub-bottom profiler	20 kHz > f > 1 kHz	fine sediments (clays or silts)	coarse sediments (sands, gravels)
Frequency modulated "Chirp" Sub-bottom profilers	20 kHz > f > 1 kHz	fine sediments (clays or silts)	coarse sediments (sands, gravels); poor or null penetration
Dual frequency parametric sub-bottom	35-45 khz (primary frequency) 1-10 kHz (secondary frequency)	coarse and fine sediments	
Uniboom	Frequency: 0.2-1 kHz Energy: 0.5-1 kJ	coarse sediments	fine sediments (traditional, chirp or parametric systems preferable)
Magnetic	Gradiometers or magnetometers with sensitivity of 0.1 nT	highly susceptible targets expected; clearance from magnetometer to seafloor not exceeding 20-30 m	volcanic sectors and/or highly anthropized sectors
Magnetic	Gradiometers or magnetometers	highly susceptible targets expected	Volcanic sectors and/or highly anthropized sectors
Geoelectric	5 metres step cable	investigation depth range of 0-7m	investigation depth>10m

Εικόνα 3.24: Ενδεικτικά στην παραπάνω εικόνα φαίνονται τα χαρακτηριστικά της κάθε γεωφυσικής μελέτης που χρησιμοποιήθηκε καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μίας [10].

3.7 Θαλάσσιες αρχαιολογικές διασκοπήσεις με χρήση σεισμικής ανάκλασης στο Ηνωμένο Βασίλειο για την εύρεση του ναυαγίου Grace Dieu.

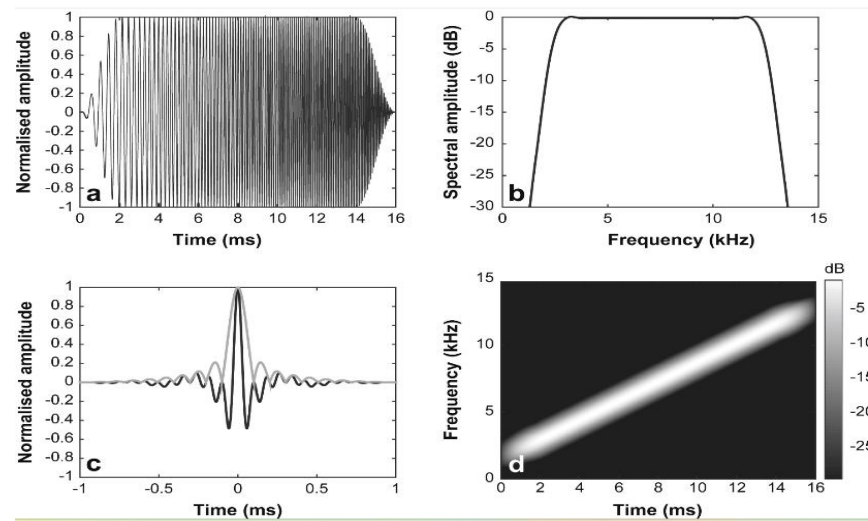
Τα λείψανα της ναυαρχίδας του Ερρίκου V, της Grace Dieu βρίσκονται θαμμένα στον ποταμό Humble (Νότια Αγγλία) και αυτή η μελέτη στοχεύει στην απεικόνιση και τον χαρακτηρισμό των θαμμένων υπολειμμάτων του πλοίου με την χρήση του chirp sub bottom profiler με δυνατότητα εντοπισμού θέσης RTK-GPS [12].



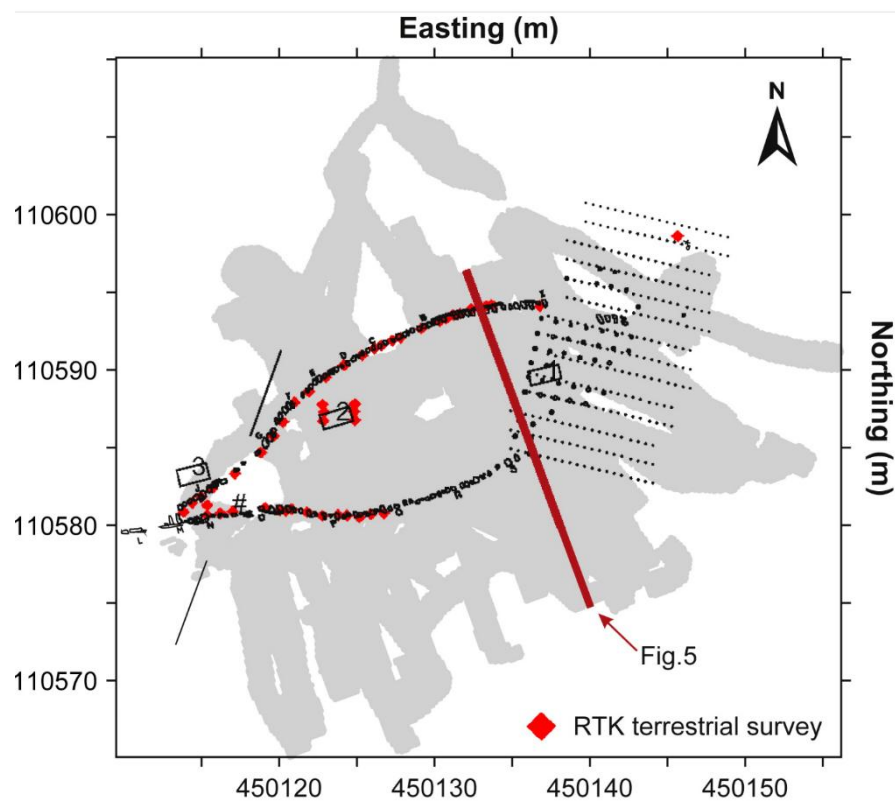
Εικόνα 3.25: α) Θέση της τοποθεσίας του ναυαγίου και β) δημοσιευμένο σχέδιο τοποθεσίας [12].

Η πρώτη καταγεγραμμένη αναγνώριση του ναυαγίου ήταν από τους ντόπιους κατοίκους του Bursledon τη δεκαετία του 1820, οι οποίοι νόμιζαν ότι ήταν μία δανική γαλέρα που χρονολογείται περίπου στο 900 μ.Χ. . Μία προσπάθεια διάσωσης το 1875 είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή μερικών από τα ξύλα και μόλις τη δεκαετία του 1930 αναγνωρίστηκε ως το Grace Dieu. Το 1970, πανεπιστήμιο του Southampton το αγόρασε για 5 λίρες από το Υπουργείο άμυνας. Σήμερα, το ναυάγιο εξακολουθεί να είναι θαμμένο σε λασπώδη ιζήματα με βάθος νερού 2-5m, ενώ σε εξαιρετικά χαμηλές παλίρροιες είναι δυνατή η όψη ορισμένων ξύλων όπου προεξέχουν [12].

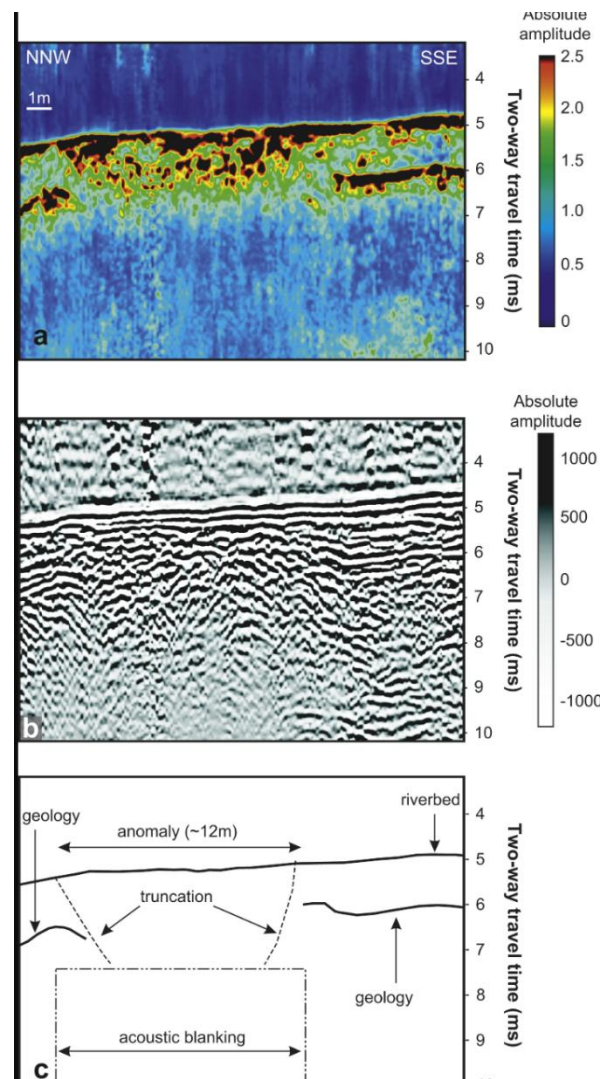
Το σύστημα chirp είναι όμοιο με του Southampton για την εύρεση του φράγματος που ήταν θαμμένο σε μία τάφρο (Εικόνα 3.6). Το σύστημα chirp είναι κατασκευασμένο από ένα άκαμπτο πλαίσιο 2,2Χ2,5 m, που περιέχει μία σειρά τεσσάρων μορφοτροπών chirp , σε διαμόρφωση μαλτέζικου σταυρού, 60 ομάδες δεκτών με οριζόντια απόσταση 25cm , σύστημα εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο RTK-GPS. Επιπλέον, οι μετατροπείς chirp μετέδωσαν παλμό γραμμικής σάρωσης διάρκειας 16ms με συχνότητα 1,5-13kHz [12].



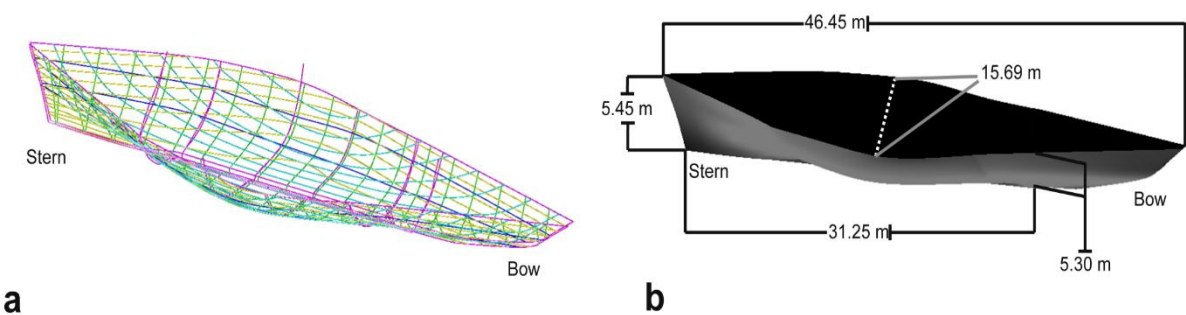
Εικόνα 3.26: Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται : α) Το κυματίδιο που εκπέμπεται ,β) φάσμα ισχύος παλμού, γ) Κυματίδιο Klauder δ) Φασματογράφημα που δείχνει συνάρτηση γραμμικής συχνότητας [12].



Εικόνα 3.27: Γραμμή σάρωσης που ακολουθήθηκε για τη συγκεκριμένη μέθοδο [12].



Εικόνα 3.28: Ενδεικτικά αποτελέσματα της μεθόδου chirp και απεικόνιση του ναυαγίου [12].



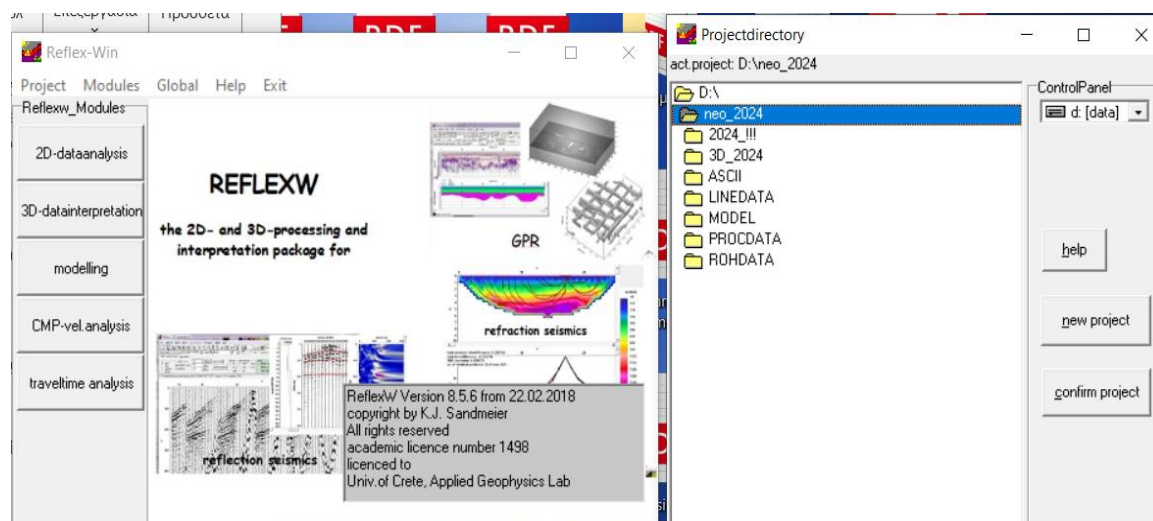
Εικόνα 3.29: Τρισδιάστατη απεικόνιση μέρους του Grace Dieu με την βοήθεια του λογισμικού Shipshape [12].

Κεφάλαιο 4^ο - Προσομοίωση 2D μοντέλου για την ανίχνευση θαμμένων αντικειμένων με την χρήση του προγράμματος reflexW.

4.1 Τι είναι το ReflexW

Χρησιμοποιήθηκε το reflexW για την εύρεση της κατάλληλης γεωμετρίας . Το συγκεκριμένο πρόγραμμα δημιουργεί 2D μοντέλα και τα αντίστοιχα συνθετικά δεδομένα καθώς και χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αυτών. Για την δημιουργία συνθετικών δεδομένων επιλύεται η κυματική εξίσωση με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών. Ανάλογα με τον στόχο της μοντελοποίησης χρησιμοποιείται η ακουστική, η ηλεκτρομαγνητική ή σεισμική κυματική εξίσωση. Αυτό αποσκοπεί στην προσπάθεια προσομοιώσεων που προσεγγίζουν τις πραγματικές συνθήκες.

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης και η ακουστική κυματική εξίσωση.



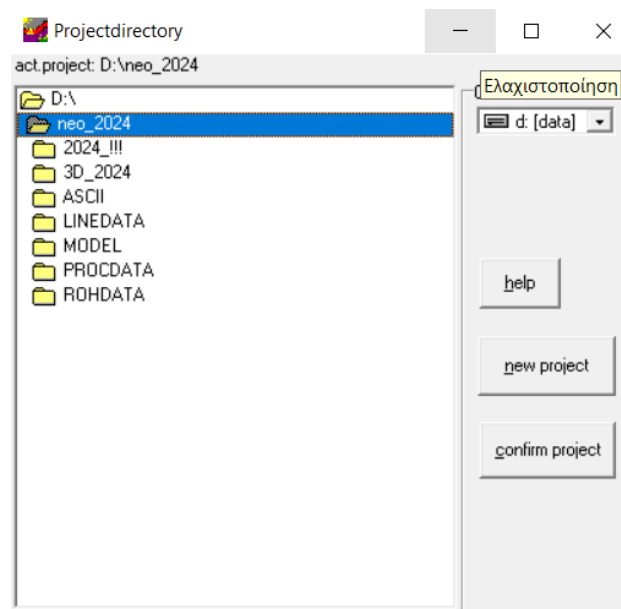
Εικόνα 4.1: Το αρχικό Menu του προγράμματος reflexW.

Με το παραπάνω πρόγραμμα, έλαβαν χώρα διάφορες προσομοιώσεις με την παρουσία ανακλαστήρων οι οποίοι αποσκοπούν στην ύπαρξη υποτιθέμενων

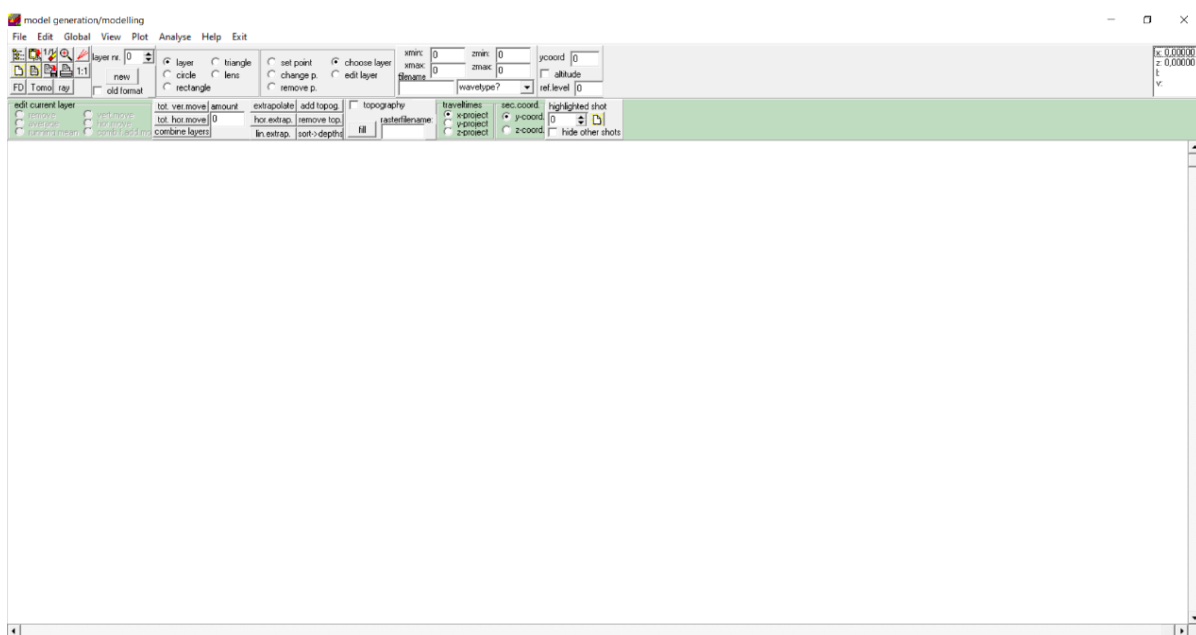
στρωμάτων κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας καθώς και τα υπό μελέτη θαμμένα αντικείμενα.

4.2 Αρχή της 2D διαδικασίας προσομοιώσεων.

Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης, αρχικά δημιουργείται ένα νέο project (επιλογή new project) και σε αυτό το αρχείο αποθηκεύεται η εν λόγω εργασία. Σε αυτό το αρχείο υπάρχει η δυνατότητα να αποθηκευτεί το μοντέλο και να διορθωθεί μελλοντικά με την επιλογή του ονόματος του αρχείου και με την μετέπειτα επιλογή του confirm project. Έπειτα, από το Menu του προγράμματος επιλέγεται η επιλογή modeling για την εισαγωγή του μοντέλου.



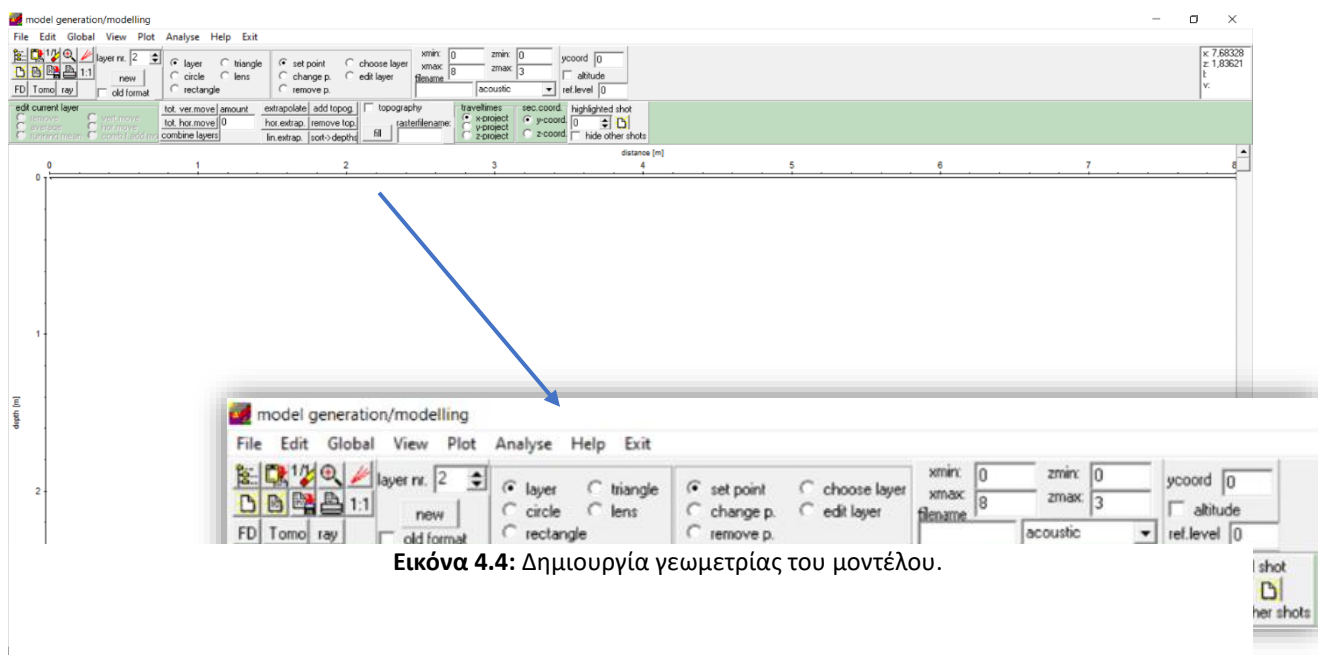
Εικόνα 4.2: Επιλογή αρχείου προς επεξεργασία.



Εικόνα 4.3: Εμφάνιση παραθύρου έπειτα από την επιλογή modeling.

4.3 Εισαγωγή της γεωμετρίας του μοντέλου

Η γεωμετρία του που έλαβε χώρα για την δημιουργία των προσομοιώσεων είναι εμπνευσμένη από το σύστημα διάταξης της μεθόδου Ping Pong που χρησιμοποιήθηκε στο Schlei της Γερμανίας (βλ.κεφ 3.5).



Εικόνα 4.4: Δημιουργία γεωμετρίας του μοντέλου.

Από την παραπάνω εικόνα (4.4) γίνεται κατανοητό το μοντέλο. Το μήκος του μοντέλου που λαμβάνει χώρα η προσομοίωση στον άξονα X είναι 8m ξεκινώντας από τα 0m. Το βάθος του μοντέλου (άξονας Z) είναι στα 3m ενώ ο άξονας Y θεωρείται αμελητέος.

Αρχικά, οι παράμετροι οι οποίες ορίστηκαν για αυτή την γεωμετρία της διάταξης καταγραφής αναγράφονται στην παρακάτω εικόνα:

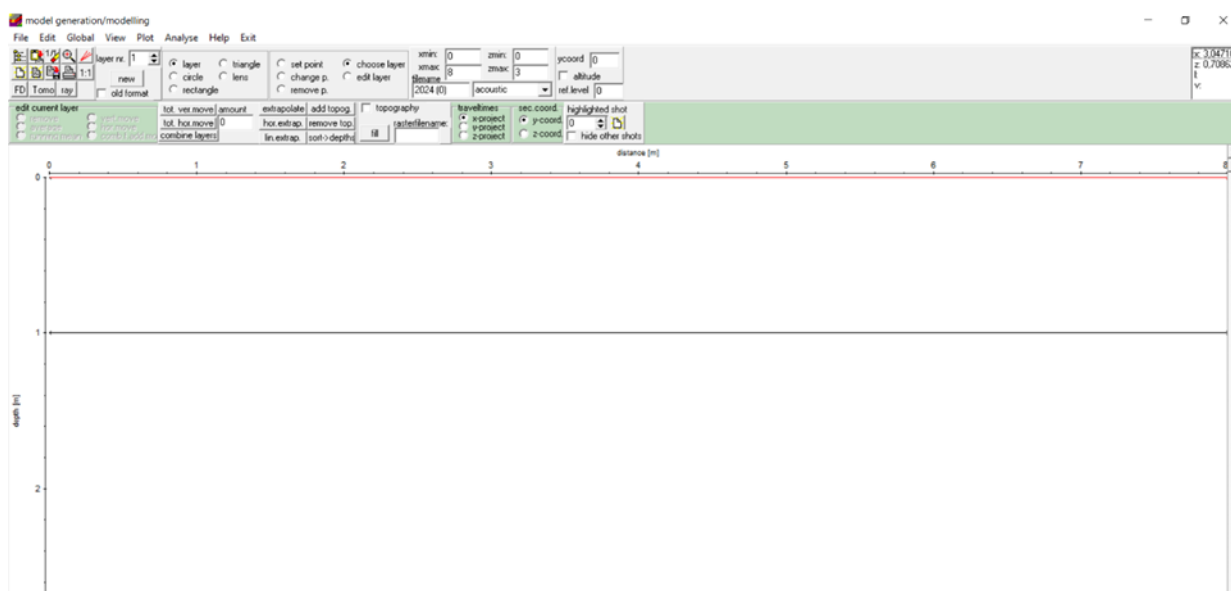
Εικόνα 4.5: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των γεωμετρίας της προσομοίωσης.

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα (4.5), η επιλογή fixed line δίνει την δυνατότητα μελέτης με σταθερή γεωμετρία δηλαδή πηγή και γεώφωνο είναι σταθερά στο χώρο σε αντίθεση με την επιλογή moving line η οποία δίνει την δυνατότητα στους δέκτες να μετακινούνται μαζί με την πηγή.

Επιπροσθέτως, η επιλογή «source x start» είναι η αφετηρία από την οποία ξεκινάει η πηγή στον άξονα X και η επιλογή «source x end» είναι η θέση στην οποία τερματίζει. Οι επιλογές «source Z start» και «source Z end» είναι οι θέσεις πηγής – Δέκτη στον άξονα Z (αντίστοιχα δηλαδή και τα «rec Z start» και «rec Z end»), ενώ το «source increment» είναι το βήμα που ακολουθεί η πηγή κατά την διάρκεια της σάρωσης.

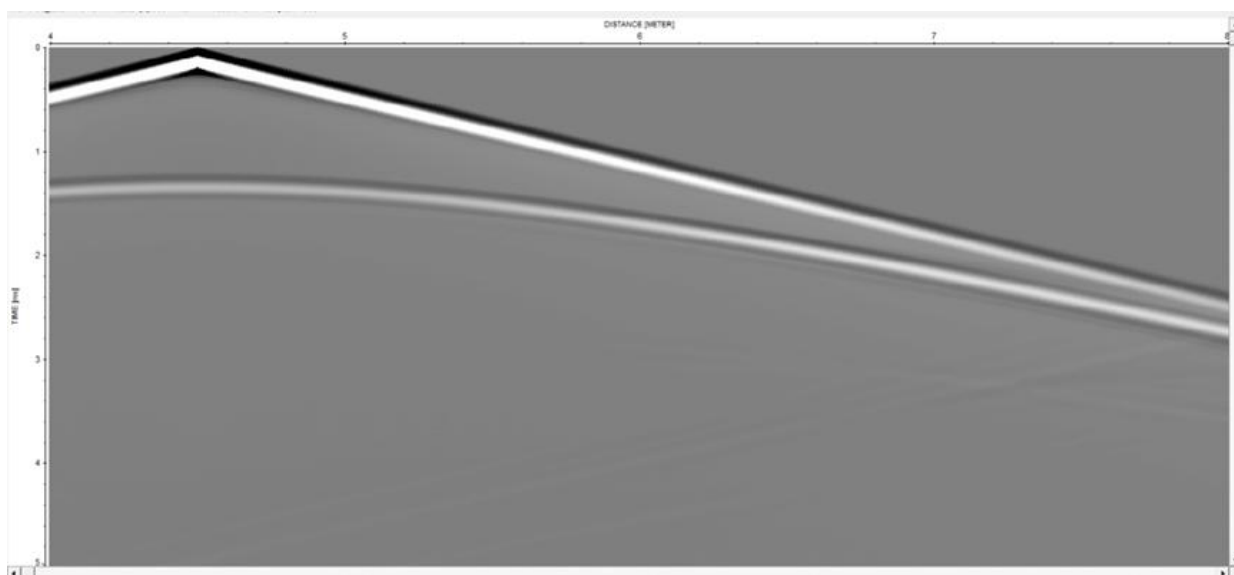
Επιπλέον, οι παράμετροι «Delta X» και «Delta T» καθορίζουν την δειγματοληψία στον χώρο και στον χρόνο αντίστοιχα. Αυτές οι δύο παράμετροι είναι σημαντικές διότι όσο μικρότερες είναι, τόσο υψηλότερη είναι η χωρική και η χρονική ανάλυση στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα που αποσκοπεί σε καλύτερα αποτελέσματα.

Η κύρια συχνότητα που χρησιμοποιήθηκε είναι τα 4000 Hz , και για τα boundary conditions χρησιμοποιήθηκε η επιλογή «absorbing Bound.Ray» η οποία εφαρμόζεται κυρίως στα ακουστικά κύματα. Ο μέγιστος διπλός κατακόρυφος χρόνος είναι $T_{max} = 5 \text{ ms}$, ο τύπος της πηγής είναι «point source» και το «signal type» είναι το κυματίδιο Klauder. Η συγκεκριμένη κυματομορφή δίνει την δυνατότητα στο να προσομοιάσουμε το σήμα της πηγής όσο πιο κοντά στην μέθοδο chirp , καθώς μας δίνει την δυνατότητα ενός εύρους συχνοτήτων $\text{min frequency} = 1500 \text{ Hz}$ και $\text{max frequency} = 8000 \text{ Hz}$.



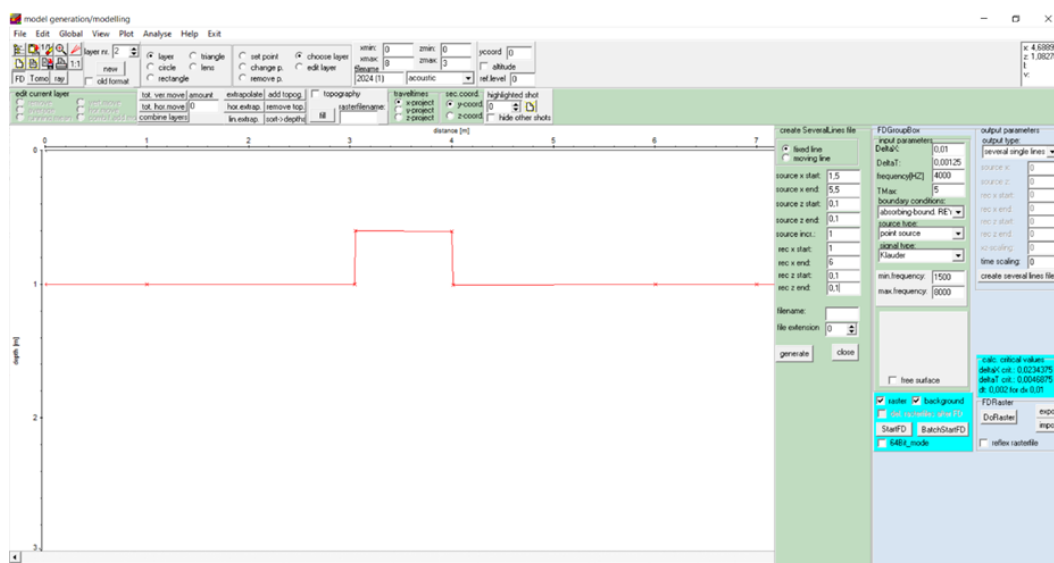
Εικόνα 4.6: Μοντέλο δύο στρωμάτων όπου το πρώτο στρώμα βρίσκεται στα 0m με ταχύτητα 1500m/s και πυκνότητα 1g/cm^3 (θάλασσα) και το άλλο στο 1m με ταχύτητα 2500 m/s και πυκνότητα $1,7\text{ g/cm}^3$ (άμμοι). Ο ανακλαστήρας εκτείνεται από τα 0-8m και έχει βάθος 1m.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο ανακλαστήρας ο οποίος γίνεται εμφανής με διπλό κατακόρυφο χρόνο 1,3ms. Πρέπει να τονιστεί ότι τα πρώτα κύματα τα οποία φτάνουν πρώτα στα υδρόφωνα είναι τα απευθείας.



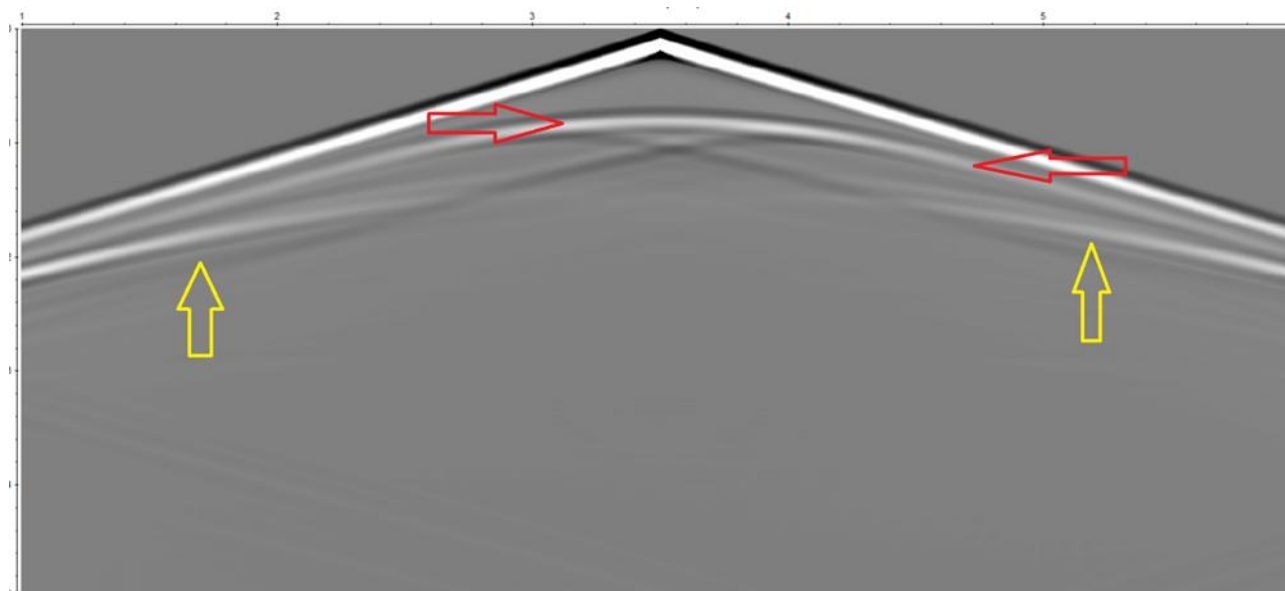
Εικόνα 4.7: Συνθετικά δεδομένα για το μοντέλο της εικόνας (4.6). Ο άξονας X (distance) εκτείνεται από 0-8 m ενώ ο άξονας Z (time) από 0-5 ms και παραμένει ίδιο για όλα τα συνθετικά δεδομένα. Σε αυτή την περίπτωση η πηγή βρίσκεται στη θέση 4.5m.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται ένα άλλο μοντέλο στο οποίο υπάρχει ένα αντικείμενο προς μελέτη με την ίδια ταχύτητα διάδοσης κύματος στα 2500m/s και πυκνότητα στα 1,7 g/cm³ το οποίο είναι εμφανές στην παρακάτω εικόνα.



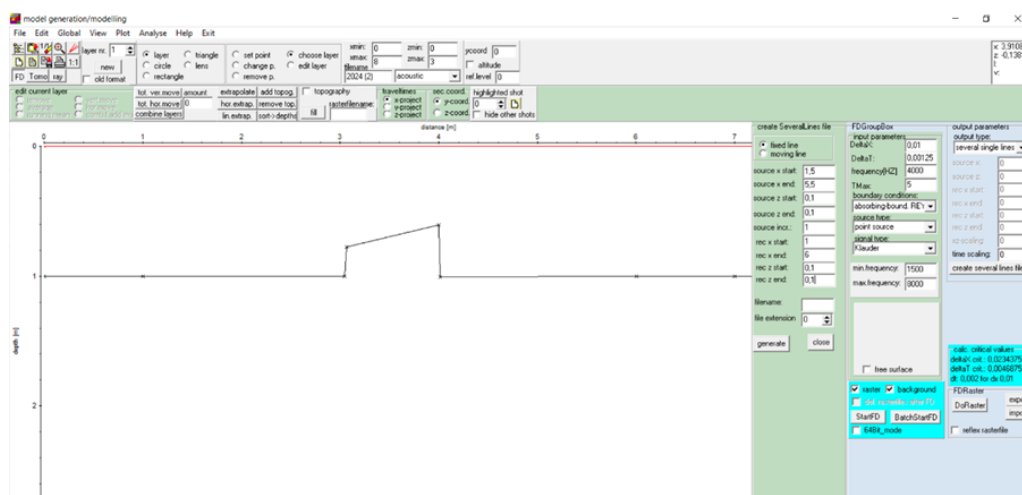
Εικόνα 4.8: Μοντέλο 2 στρωμάτων με παραμέτρους ίδιες με αυτές των εικόνων (4.5) και (4.6) .

Με βάση την παραπάνω εικόνα (4.8) τα αποτελέσματα που ελήφθησαν είναι τα εξής:



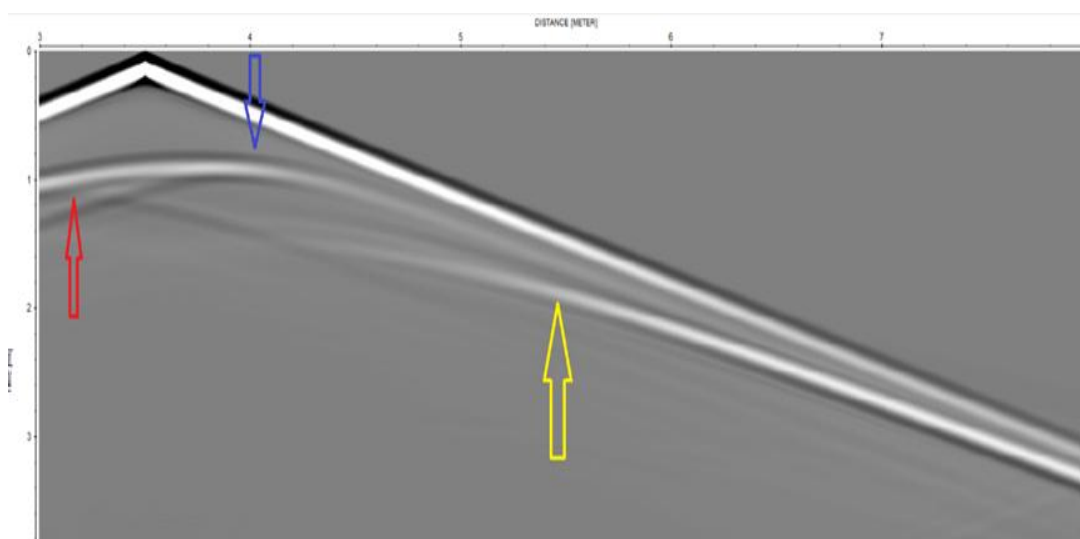
Εικόνα 4.9: Συνθετικά δεδομένα για το μοντέλο της εικόνας (4.8). Τα κόκκινα βέλη δείχνουν τα καταγεγραμμένα σεισμικά κύματα από την ανάκλαση του υπό μελέτη αντικειμένου ενώ, τα κίτρινα δείχνουν τον υπόλοιπο ανακλαστήρα. Επιπλέον, σε αυτή την περίπτωση η πηγή βρίσκεται ακριβώς πάνω από το αντικείμενο για αυτό και προκύπτει η παρούσα καταγραφή. Σε αυτή την περίπτωση η πηγή βρίσκεται στη θέση 3.5m.

Στην παρακάτω εικόνα (4.10) παρουσιάζεται παρόμοιο μοντέλο με το προηγούμενο, όμως το αντικείμενο έχει μια κλίση προς το αριστερά. Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος στο αντικείμενο αλλά και στον ανακλαστήρα είναι 2500ms και πυκνότητα 1,7g/cm³.



Εικόνα 4.10: Μοντέλο με ίδιες παραμέτρους με αυτό της εικόνας (4.8) με την διαφορά ότι το αντικείμενο έχει μία κλίση προς τα αριστερά.

Τα δεδομένα που ελήφθησαν με την ανάλυση του μοντέλου είναι τα εξής:

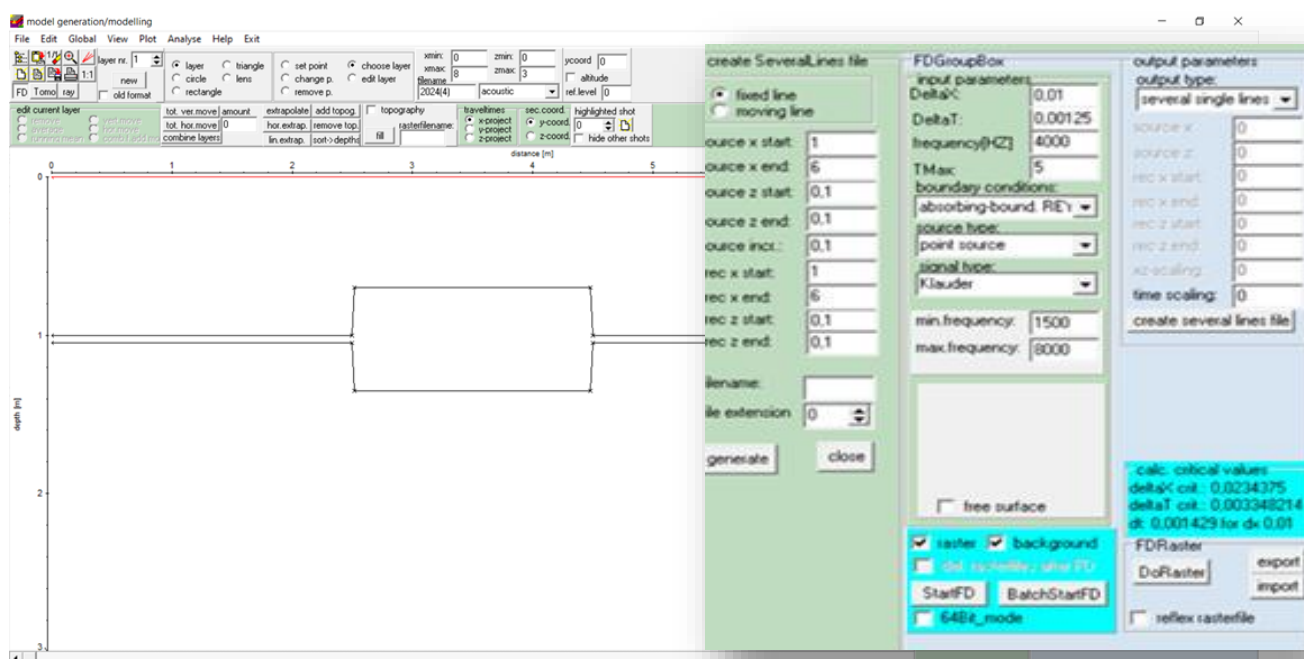


Εικόνα 4.11 Συνθετικά δεδομένα για το μοντέλο της εικόνας (4.8). Το κόκκινο βέλος δείχνει τα καταγεγραμμένα σεισμικά κύματα από την ανάκλαση του υπό μελέτη αντικειμένου ενώ, τα κίτρινα δείχνουν τον υπόλοιπο ανακλαστήρα.

Πιο συγκεκριμένα, από την εικόνα (4.11) συμπεραίνεται ότι, το κόκκινο βέλος δείχνει την ανάκλαση του αντικειμένου στην αρχή της γωνίας της κλίσης, ενώ το μπλε

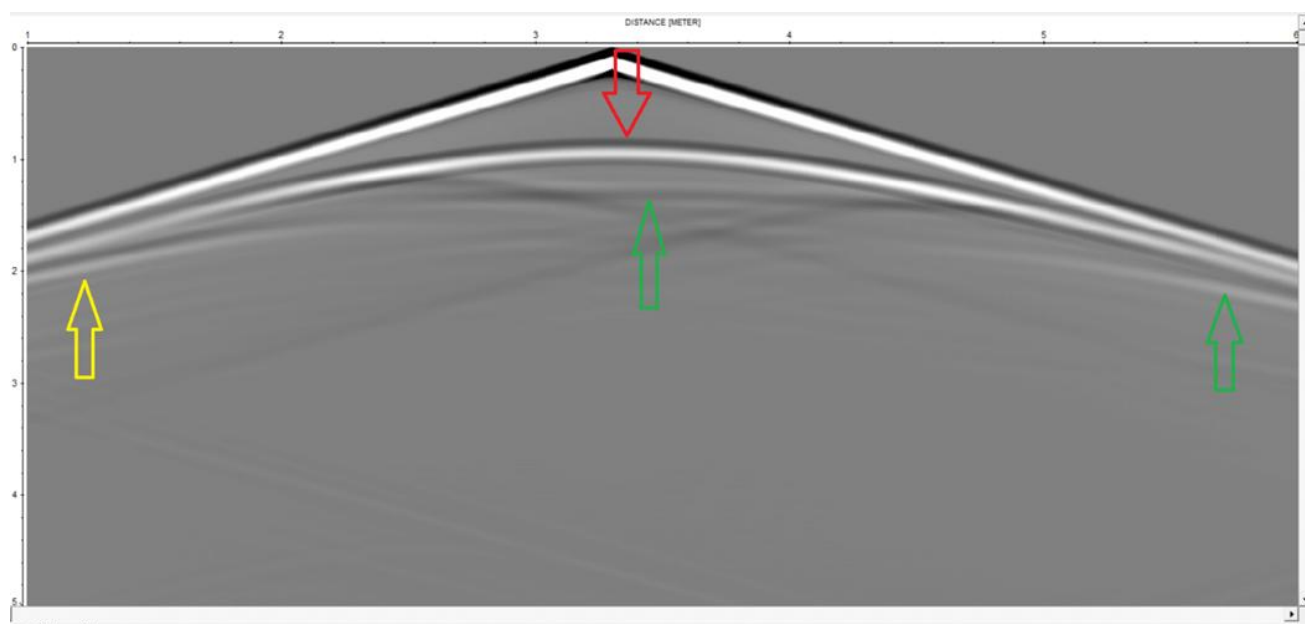
βέλος δείχνει την ανάκλαση της δεξιάς γωνίας του αντικειμένου όπου, όπως είναι φυσικό τα κύματα καταφτάνουν γρηγορότερα σε σχέση με την γωνία στα αριστερά. Το κίτρινο βέλος, όπως και πριν δείχνει τον υπόλοιπο ανακλαστήρα. Τέλος, η πηγή βρίσκεται ακριβώς πάνω από το αντικείμενο σε αυτή τη περίπτωση. Τέλος, οι παράμετροι παραμένουν ίδιοι με της εικόνας (4.7).

Το παρακάτω μοντέλο (εικόνα 4.12) είναι άλλη μία προσομοίωση μεγάλου θαμμένου αντικειμένου σε ένα στρώμα. Αυτή τη φορά η ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων μέσα στο αντικείμενο είναι 3500ms με πυκνότητα $2g/cm^3$ ενώ στον υπόλοιπο ανακλαστήρα είναι 2500ms και $1,7g/cm^3$ αντίστοιχα.



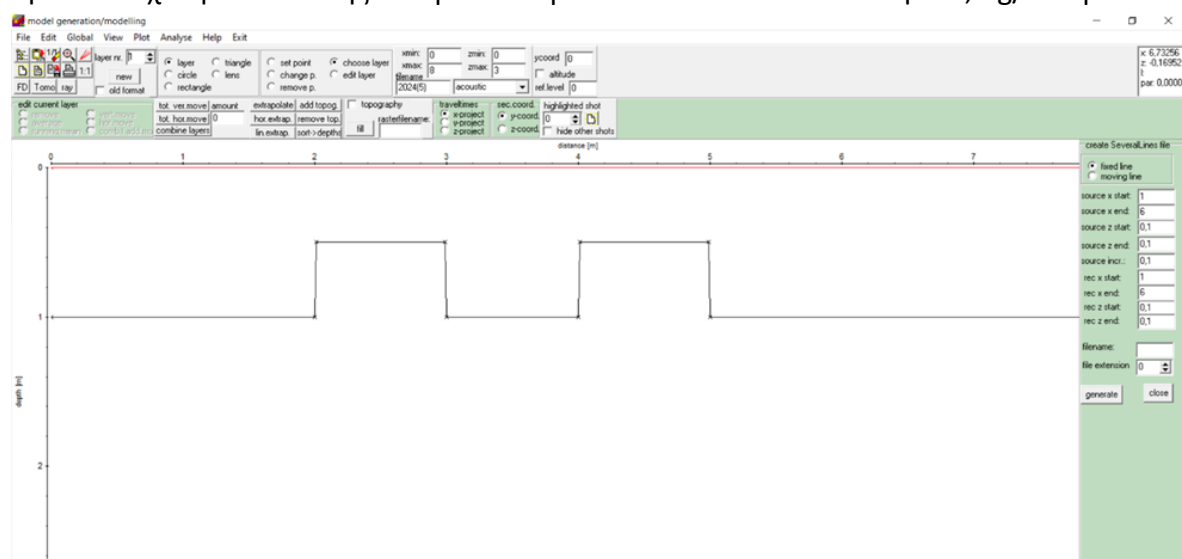
Εικόνα 4.12: Μοντέλο με μεγαλύτερο στόχο και με μικρές παραλλαγές στις παραμέτρους.

Ακολουθούν τα δεδομένα έπειτα από την ανάλυση που έλαβε χώρα και είναι η εξής:



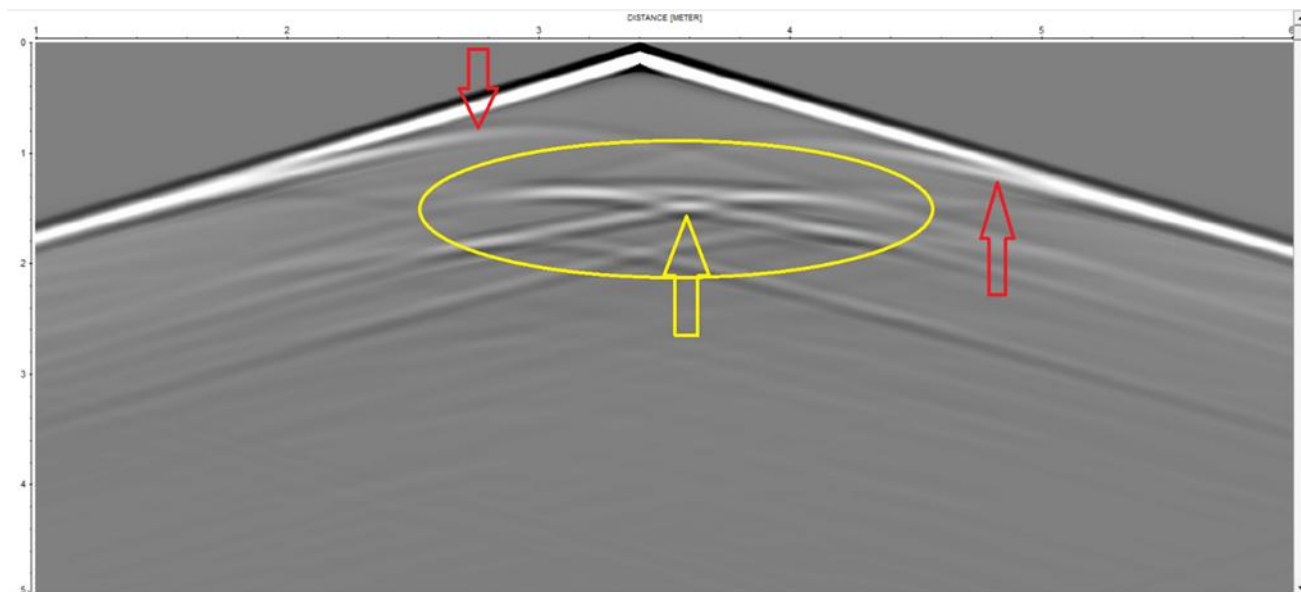
Εικόνα 4.13: Το κίτρινο και το πράσινο βέλος στα άκρα των αποτελεσμάτων αναφέρονται στο στρώμα που βρίσκεται το αντικείμενο. Στο κόκκινο βέλος αντιστοιχεί το υπό μελέτη αντικείμενο. Παρατηρούνται επίσης πολλαπλές ανακλάσεις στο εσωτερικό του στόχου λόγω της ύπαρξης του κατώτερου επιπέδου (πράσινο βέλος στη μέση της εικόνας). Να σημειωθεί επιπλέον, ότι τα αποτελέσματα αλλάζουν με βάση τη θέση της πηγής. Σε αυτή την περίπτωση η πηγή βρίσκεται ακριβώς πάνω από το αντικείμενο (θέση 3,30m).

Το επόμενο μοντέλο προσομοίωσης απεικονίζει 2 αντικείμενα τα οποία έχουν την ίδια ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων 2500ms και πυκνότητα 1,7 g/cm³ με



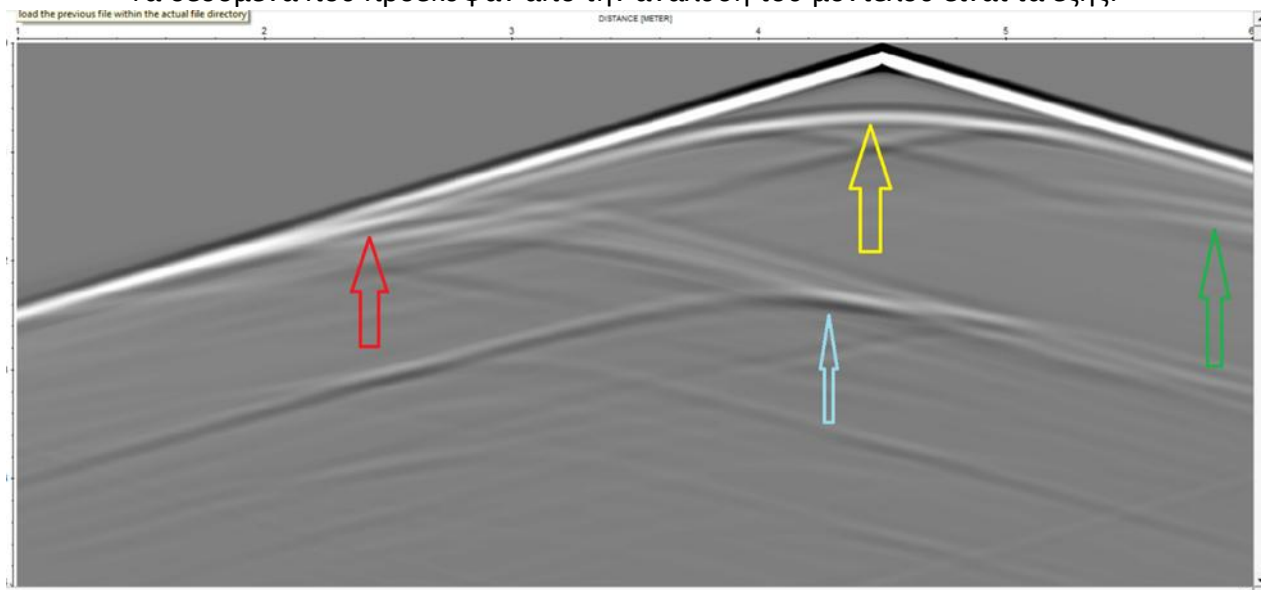
Εικόνα 4.14: Μοντέλο με δύο στόχους.

το στρώμα στο οποίο βρίσκονται με παραμέτρους όμοιους με της εικόνας (4.12) . Το μοντέλο είναι το εξής:



Εικόνα 4.15: Συνθετικά δεδομένα με θέση της πηγής στα 3,4m.

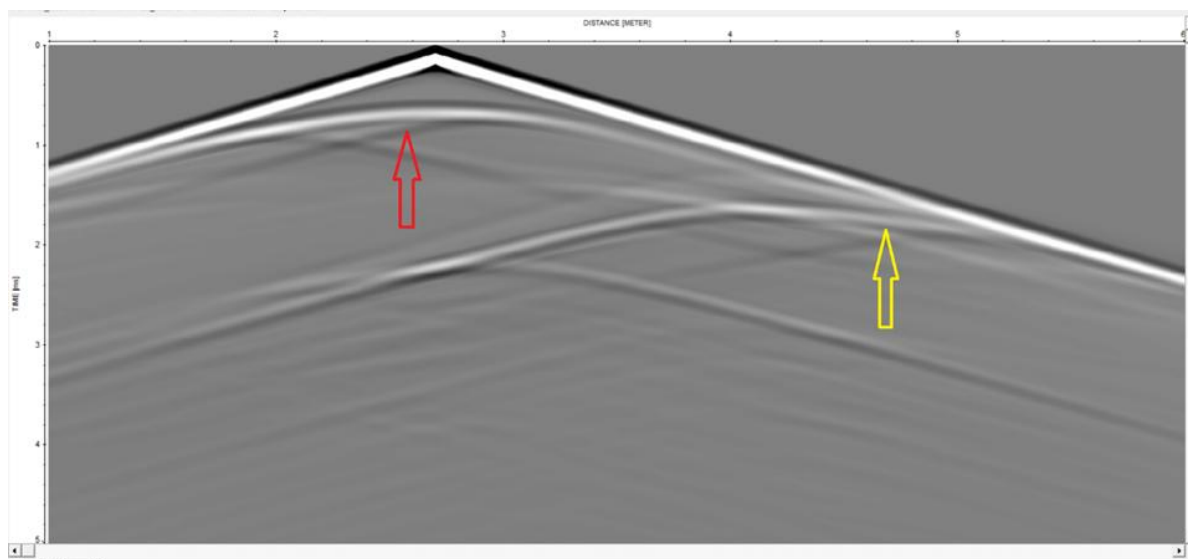
Τα δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση του μοντέλου είναι τα εξής:



Εικόνα 4.16: Στο κίτρινο βέλος αντιστοιχεί η σεισμική ανάκλαση του αντικειμένου που βρίσκεται στα δεξιά του μοντέλου. Επιπλέον, στο κόκκινο βέλος αντιστοιχεί η σεισμική ανάκλαση του στρώματος – Ανακλαστήρα και τέλος στο μπλε βέλος αντιστοιχούν λοιπές σεισμικές ανακλάσεις που λαμβάνουν χώρα στο μοντέλο. Πρέπει να επισημανθεί πως σε αυτή την περίπτωση η πηγή είναι πάνω από το αντικείμενα στα δεξιά του μοντέλου. Τέλος, η θέση της πηγής βρίσκεται στη θέση 4,5m.

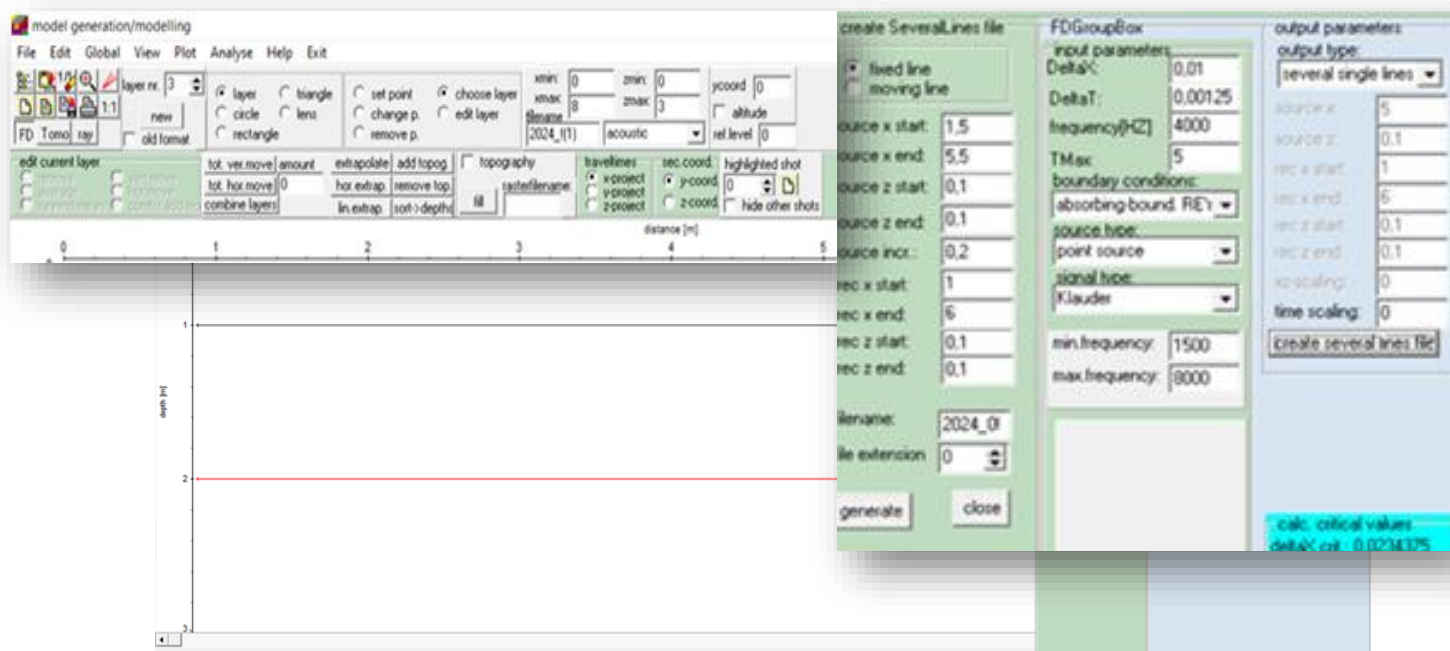
Στο ίδιο ακριβώς μοντέλο έχουμε και την παραπάνω εικόνα (4.16) στην οποία απεικονίζεται στο κίτρινο κύκλο οι σεισμικές ανακλάσεις που δημιουργούνται ανάμεσα στα υπό μελέτη αντικείμενα τα οποία γίνονται αντιληπτά και απεικονίζονται με τα δύο κόκκινα βέλη. Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι σε αυτή την περίπτωση η πηγή βρίσκεται πάνω από τον ανακλαστήρα που βρίσκεται μεταξύ των αντικειμένων.

Τέλος , στην παρακάτω εικόνα (4.17) στο ίδιο μοντέλο, με το κόκκινο βέλος απεικονίζεται το αντικείμενο που βρίσκεται στα αριστερά και με κίτρινο βέλος απεικονίζεται ο ανακλαστήρας που βρίσκεται στα δεξιά.



Εικόνα 4.17 Συνθετικά δεδομένα με την πηγή να βρίσκεται στη θέση 2,7m.

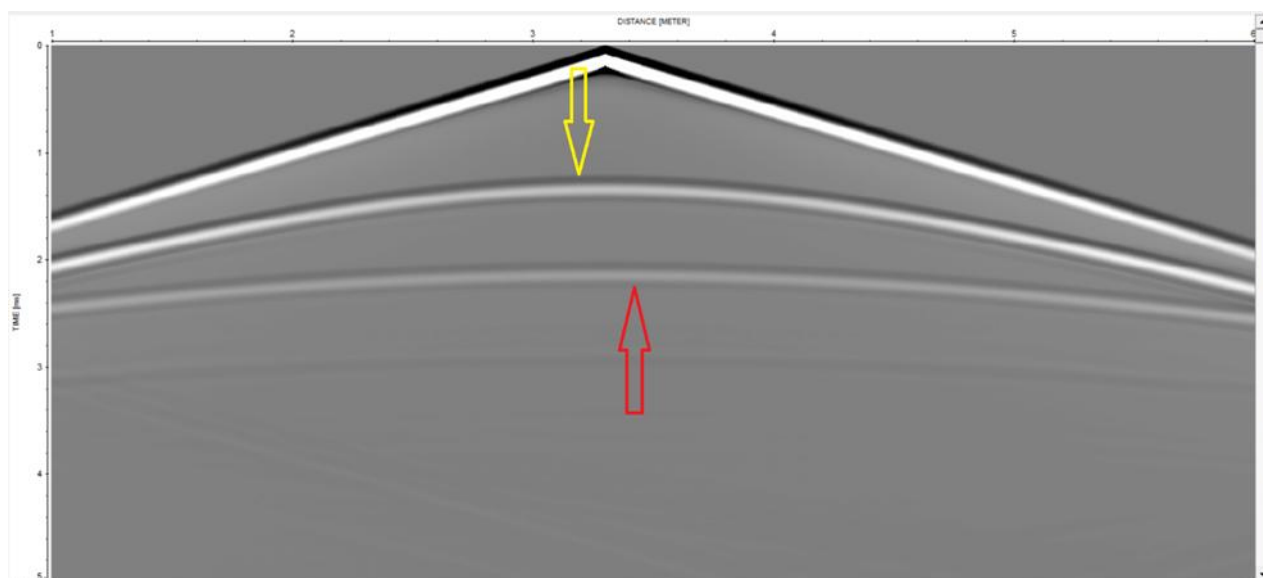
Εκτός βέβαια από την προσομοίωση ενός μοντέλου σε δύο στρώματα και την εύρεση αντικειμένων σε αυτά, έλαβε χώρα και προσομοίωση αναζήτησης αντικειμένων σε τρία στρώματα.



Εικόνα 4.18: Μοντέλο με 3 ανακλαστήρες.

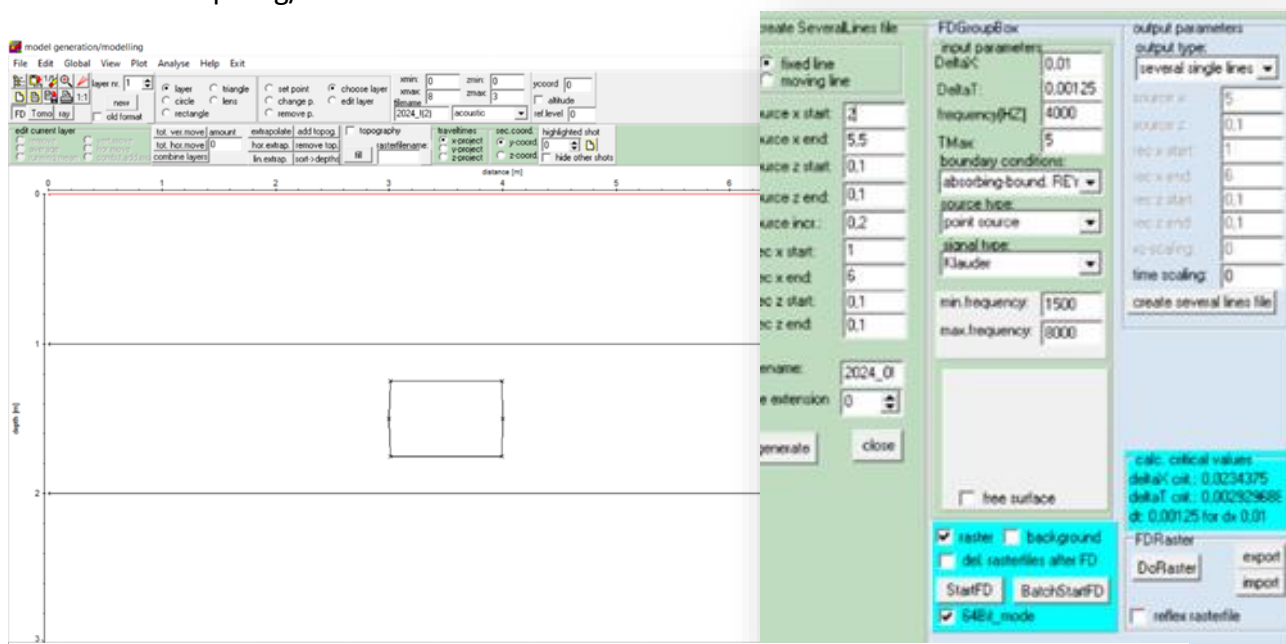
Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα (4.18), τα στρώματα τα οποία διασχίζει το σεισμικό κύμα είναι τρία. Το πρώτο στρώμα όπως έχει προαναφερθεί προσομοιάζει την επιφάνεια της θάλασσας με ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων 1500 ms και πυκνότητα 1g/cm^3 . Το δεύτερο στρώμα προσομοιάζει τον πυθμένα της θάλασσας με ότι αυτός περιέχει με ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων 2500 ms και πυκνότητα $1,7\text{g/cm}^3$ και το τρίτο είναι ένα στρώμα το οποίο είναι υποκείμενο του πυθμένα της θάλασσας με ταχύτητα διάδοσης κυμάτων 4000ms και πυκνότητα $2,4\text{g/cm}^3$.

Τα δεδομένα που προκύπτουν από την μοντελοποίηση είναι τα εξής:

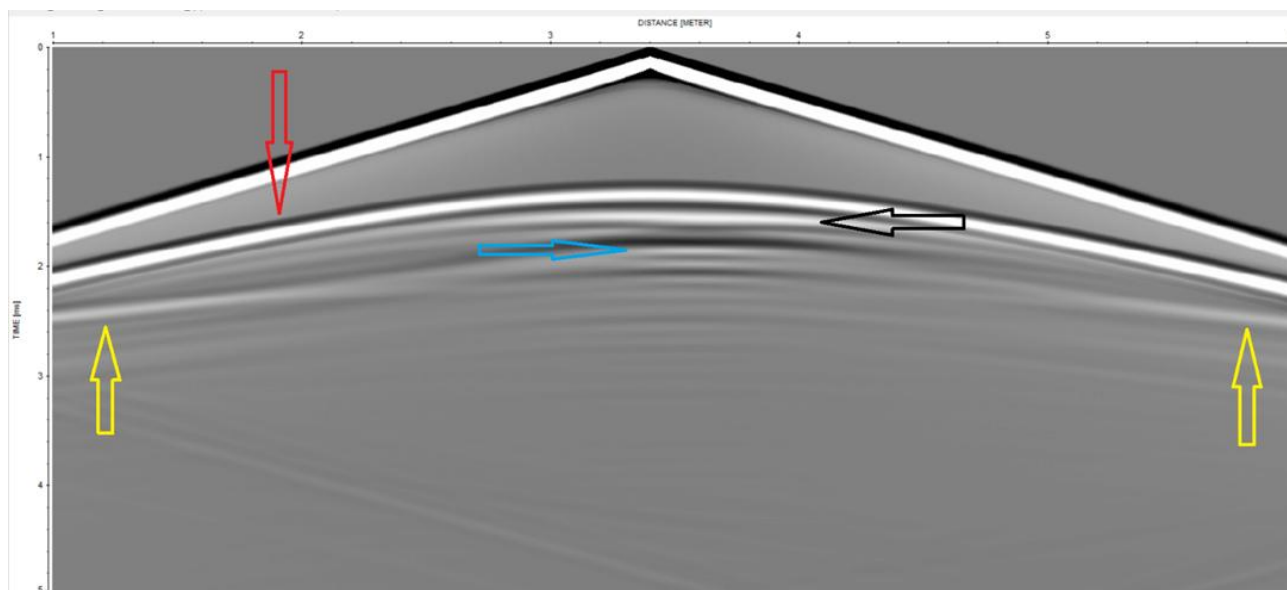


Εικόνα 4.19: Στο κόκκινο βέλος αντιστοιχεί ο τρίτος ανακλαστήρας και ο διπλός κατακόρυφος χρόνος είναι περίπου στα 2,3ms. Και στο κίτρινο βέλος αντιστοιχεί ο δεύτερος ανακλαστήρας και ο διπλός κατακόρυφος χρόνος είναι περίπου 1,4ms. Δεν πρέπει να παραληφθεί ότι η πηγή σε αυτήν την περίπτωση βρίσκεται περίπου στην μέση του μοντέλου (θέση 3,25m).

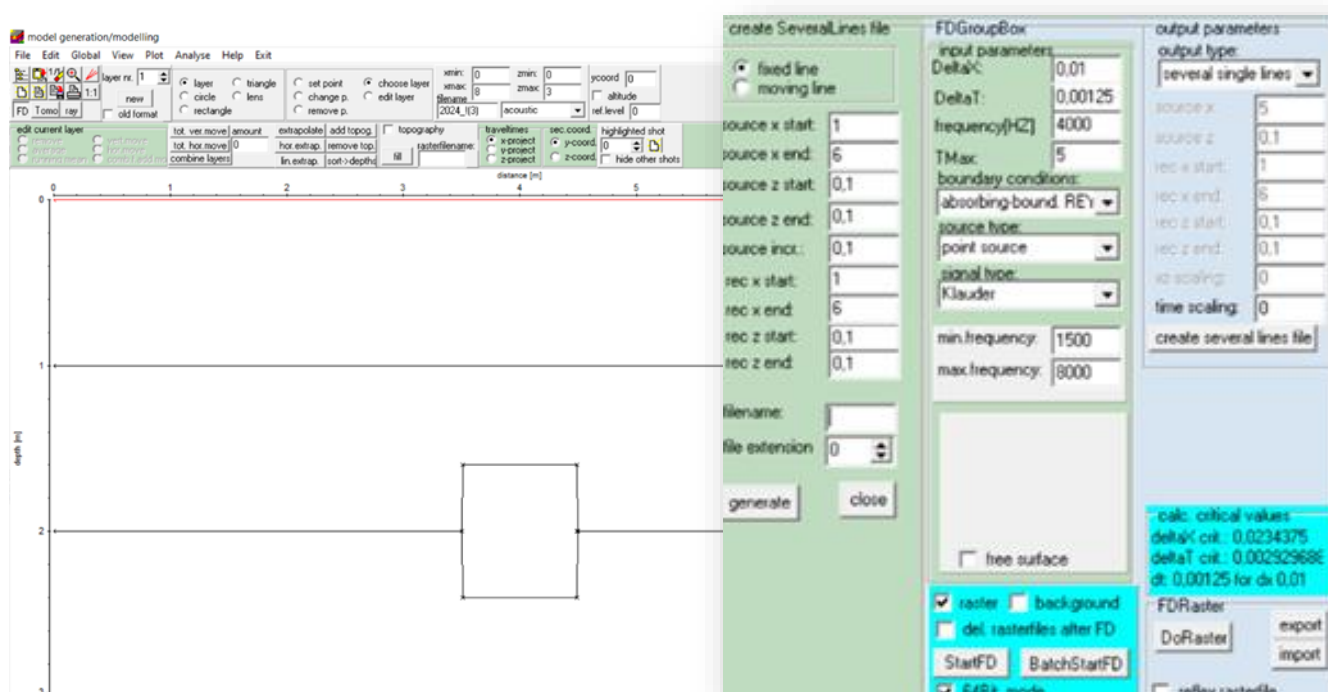
Στην παρακάτω γεωμετρία του μοντέλου υπάρχει ένα αντικείμενο μέσα στο δεύτερο ανακλαστήρα με ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων 4000ms και πυκνότητα 2,4 g/cm³ ενώ το κατώτερο στρώμα έχει ταχύτητα διάδοσης κυμάτων 3500 ms και πυκνότητα 2g/cm³.



Εικόνα 4.20: Μοντέλο με στόχο μεταξύ 2^{ου} και 3^{ου} ανακλαστήρα.

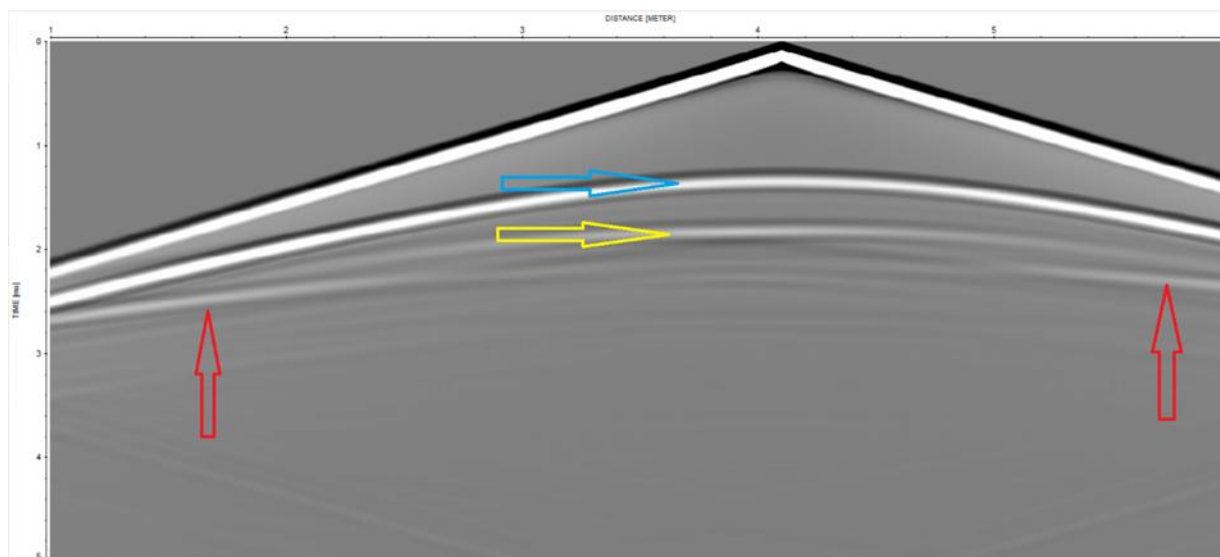


Εικόνα 4.21: Σε αυτή την περίπτωση όπου η πηγή είναι περίπου πάνω από το αντικείμενο (θέση 3.4m), το κόκκινο βέλος αντιστοιχεί στον δεύτερο ανακλαστήρα, τα δύο κίτρινα βέλη αντιστοιχούν στον τρίτο ανακλαστήρα και το μαύρο και μπλε βέλος αντιστοιχεί στο πάνω και κάτω όριο αντίστοιχα του υπό μελέτη αντικειμένου. Επιπλέον, η συγκεκριμένη γεωμετρία στην συνέχεια της εργασίας θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή δευτερογενών δεδομένων.

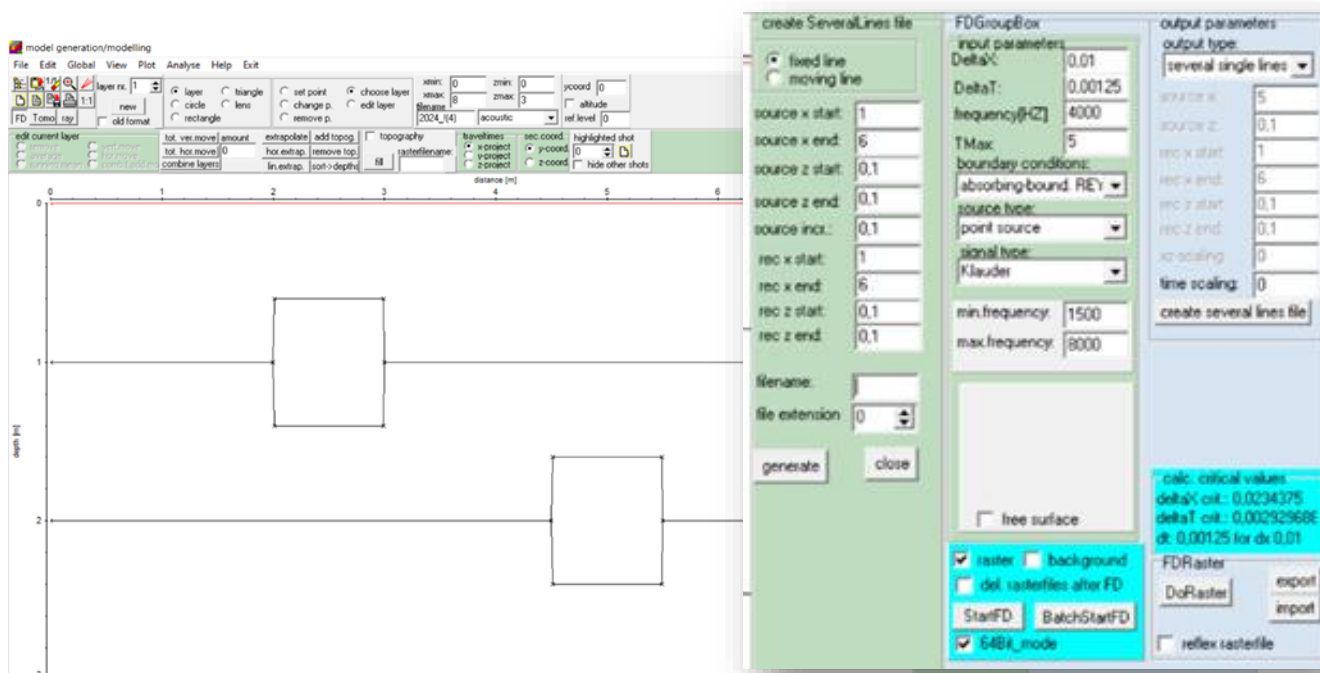


Εικόνα 4.22: Στην παραπάνω προσομοίωση του μοντέλου το αντικείμενο βρίσκεται μεταξύ του δεύτερου και τρίτου ανακλαστήρα με τις ίδιες ταχύτητες και πυκνότητες όπως και στο προηγούμενο μοντέλο της εικόνας (4.20).

Τα δεδομένα που ελήφθησαν είναι τα εξής:

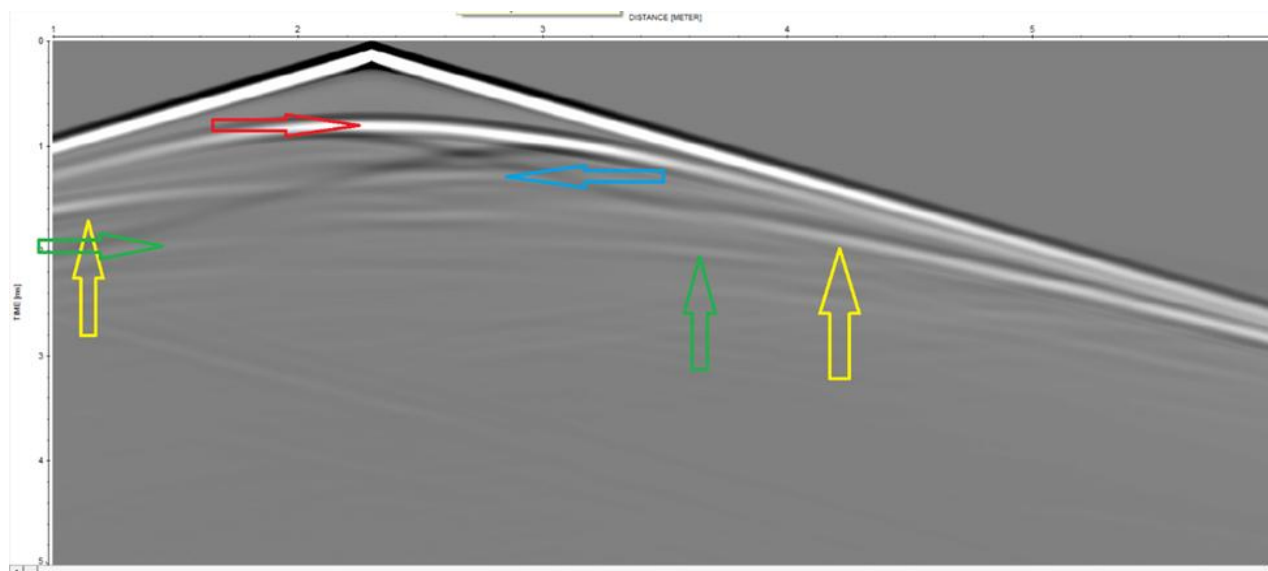


Εικόνα 4.23: Εδώ, η θέση της πηγής βρίσκεται στα 4.15m και τα δύο κόκκινα βέλη αντιστοιχούν στον τρίτο ανακλαστήρα, το μπλε βέλος αντιστοιχεί στον δεύτερο και το κίτρινο βέλος στο πάνω όριο του αντικειμένου. Παρατηρείται όμως ότι το κάτω όριο του αντικειμένου δεν είναι ορατό. Αυτό, ίσως οφείλεται από την πολυπλοκότητα του μοντέλου ή από τον συνδυασμό του μεγάλου βάθους που βρίσκεται και την μικρή διαφορά της ταχύτητας διάδοσης κυμάτων μεταξύ του αντικειμένου και του τρίτου στρώματος.

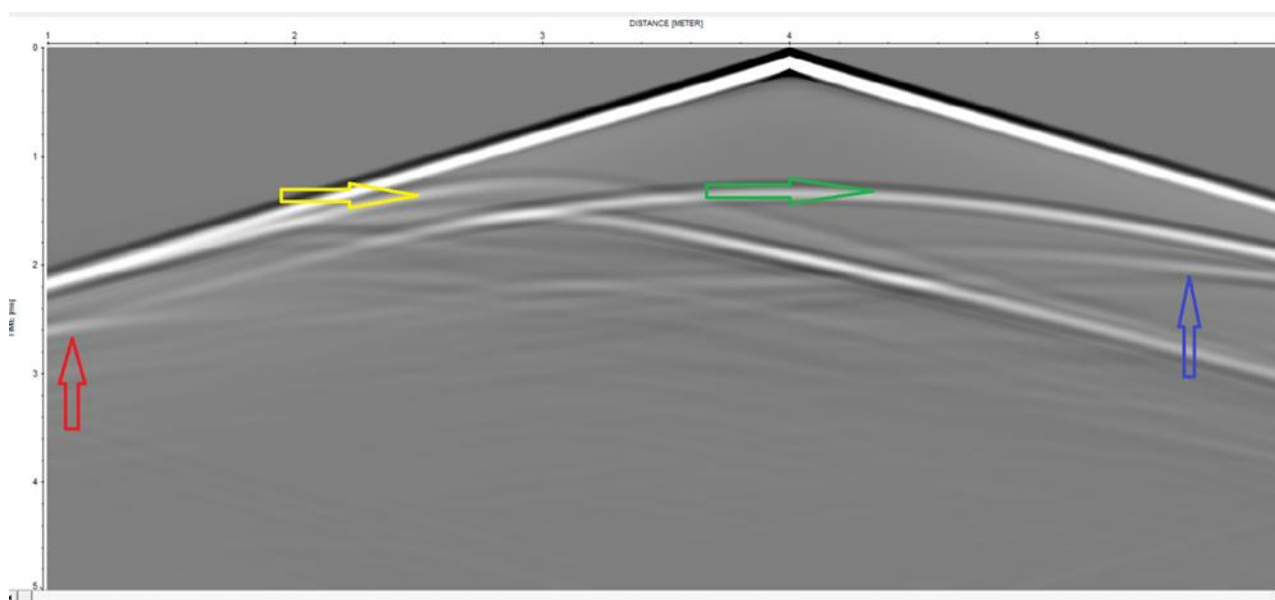


Εικόνα 4.24: Μοντέλο με 2 στόχους μεταξύ των ανακλαστήρων.

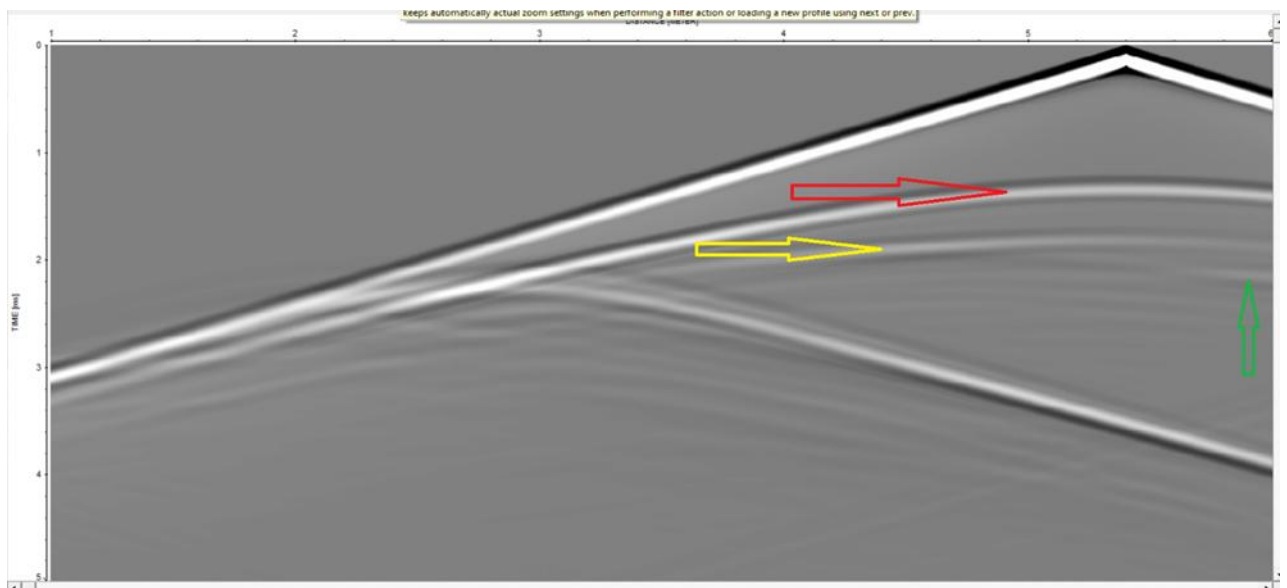
Στο παραπάνω μοντέλο της εικόνας (4.24) υπάρχουν δύο αντικείμενα προς μελέτη, γεγονός που το καθιστά αρκετά πολύπλοκο. Το πρώτο αντικείμενο βρίσκεται μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου ανακλαστήρα ενώ, το δεύτερο αντικείμενο βρίσκεται μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου ανακλαστήρα.



Εικόνα 4.25: Αρχικά σε αυτή την περίπτωση η θέση της πηγής είναι στα 2.15m , τα δύο κίτρινα βέλη αναφέρονται στο δεύτερο ανακλαστήρα. Το κόκκινο και μπλε βέλος αντιστοιχεί στο πάνω και κάτω όριο του πρώτου αντικειμένου όπως αναγράφεται στο στη γεωμετρία του μοντέλου. Τέλος τα πράσινα βέλη αντιστοιχούν στο τρίτο στρώμα ενώ η συγκεκριμένη εικόνα αφορά τα δεδομένα με την πηγή να βρίσκεται πάνω από το πρώτο στόχο.



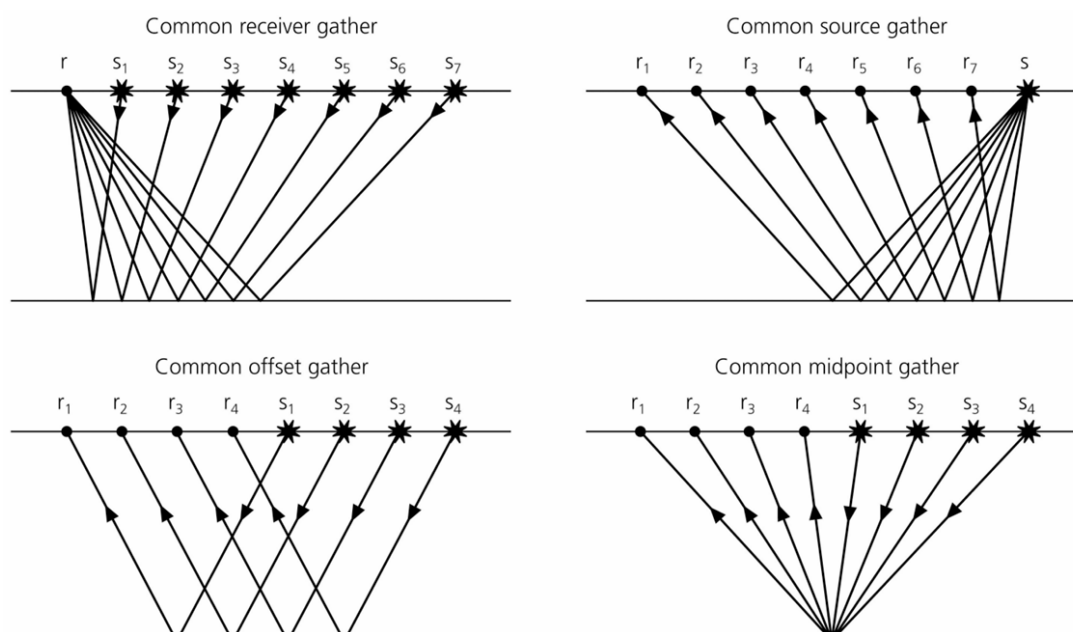
Εικόνα 4.26: Η θέση της πηγής μεταφέρθηκε προς τα δεξιά (θέση 4m) και λαμβάνεται το παραπάνω στιγμιότυπο. Εδώ, φαίνεται με κόκκινο βέλος το τρίτο στρώμα, με πράσινο το δεύτερο στρώμα, το κίτρινο βέλος ίσως αντιστοιχεί στον 1^ο στόχο και με μπλε βέλος αρχίζει να φαίνεται το αντικείμενο που βρίσκεται στο τρίτο ανακλαστήρα στα δεξιά.



Εικόνα 4.27: Η πηγή εδώ έχει μεταφερθεί στα δεξιά (θέση 5.2m) και με βάση αυτού του στιγμιότυπου με κόκκινο βέλος απεικονίζεται ο δεύτερος ανακλαστήρας, με το πράσινο βέλος απεικονίζεται ο τρίτος ανακλαστήρας και τέλος με κίτρινο βέλος απεικονίζεται το υπό μελέτη αντικείμενο που βρίσκεται στα δεξιά του μοντέλου.

Κεφάλαιο 5^ο - Επεξεργασία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του 2D μοντέλου.

Στο παρόν κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων ενός μοντέλου που επιλέχτηκε ανάμεσα στα υπόλοιπα. Οι διαδικασίες όπου έλαβαν χώρα είναι η απεικόνιση της διάταξη κοινής πηγής, της διάταξης κοινού ενδιαμέσου σημείου και διάταξης σταθερής απόστασης πηγής δέκτη. Επιπλέον, έλαβε χώρα η διαδικασία της Ανάλυσης ταχυτήτων, της Δυναμικής διόρθωσης (NMO), της άθροισης των ιχνών καθώς και της εισαγωγής του AGC gain.

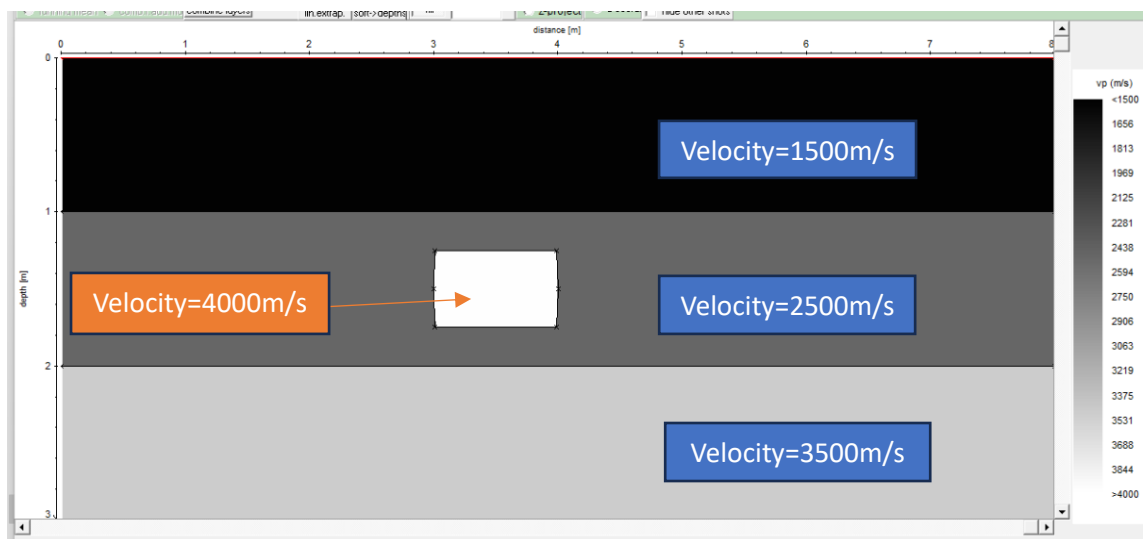


Εικόνα 5.1: Απεικόνιση παραδείγματος του Common-offset και common-Mid-Point όπου τα αστεράκια είναι οι πηγές και οι κύκλοι είναι οι δέκτες και τα βελάκια οι κατευθύνσεις των κυμάτων [14].

Πιο συγκεκριμένα, οι παραπάνω έννοιες αναλύονται ως εξής [21]:

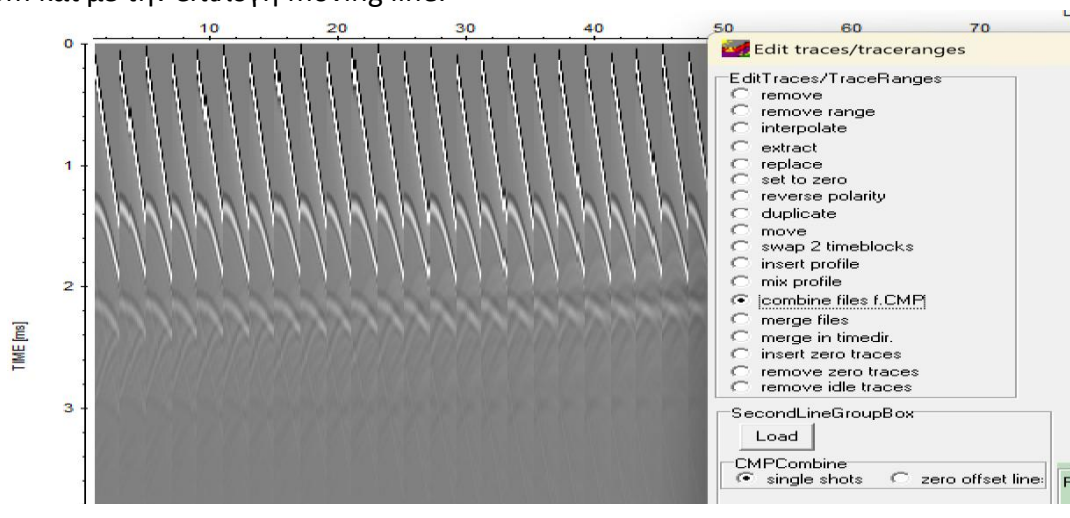
- **Διάταξη κοινής πηγής (Common shot Gather):** Είναι ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για την ποιοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που ελήφθησαν από το πεδίο. Πιο συγκεκριμένα, όταν τα ίχνη δημιουργούνται από μία και μόνο πηγή με πολλούς δέκτες ονομάζεται Common shot gather.
- **Διάταξη σταθερής απόστασης πηγής δέκτη (Common Offset Gather):** Όμοια, και σε αυτή την περίπτωση τα ίχνη τα οποία δημιουργούνται, προέρχονται από πηγή-δέκτη με το ίδιο offset (απόσταση μεταξύ πηγή δέκτη).

- **Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου (Common Mid-Point Gather):** Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα ίχνη δημιουργούνται από ένα κοινό ενδιάμεσο σημείο το οποίο είναι η μέση γεωμετρική απόσταση ανάμεσα στην πηγή και τον δέκτη.



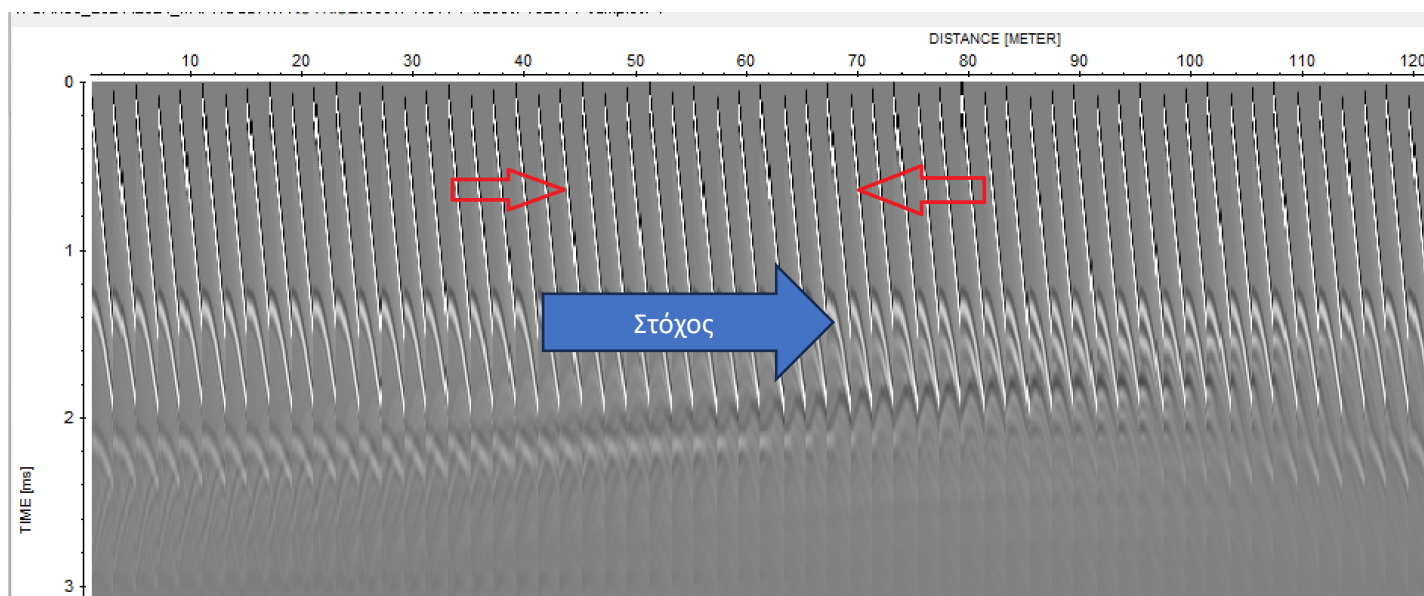
Εικόνα 5.2: Επιλεγμένο μοντέλο προς επεξεργασία

Στην παραπάνω εικόνα (5.2) απεικονίζεται το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των διεργασιών που προαναφέρθηκαν παραπάνω. Επιλέχτηκε το συγκεκριμένο διότι απεικονίζει μία απλή κατάσταση ενός και μόνο στόχο (Βλ. κεφ. 4^ο και εικόνα 4.20) ο οποίος όμως είναι ενταφιασμένος μεταξύ δύο στρωμάτων των οποίων η ταχύτητα διάδοσης του σεισμικού κύματος είναι διαφορετική. Τέλος, το μοντέλο έτρεξε με πηγές από τα 1m έως 5m με βήμα 0,05m και με δέκτες από 1m έως 3m και με την επιλογή moving line.



Εικόνα 5.3: Διαδικασία Combine files για CMPs

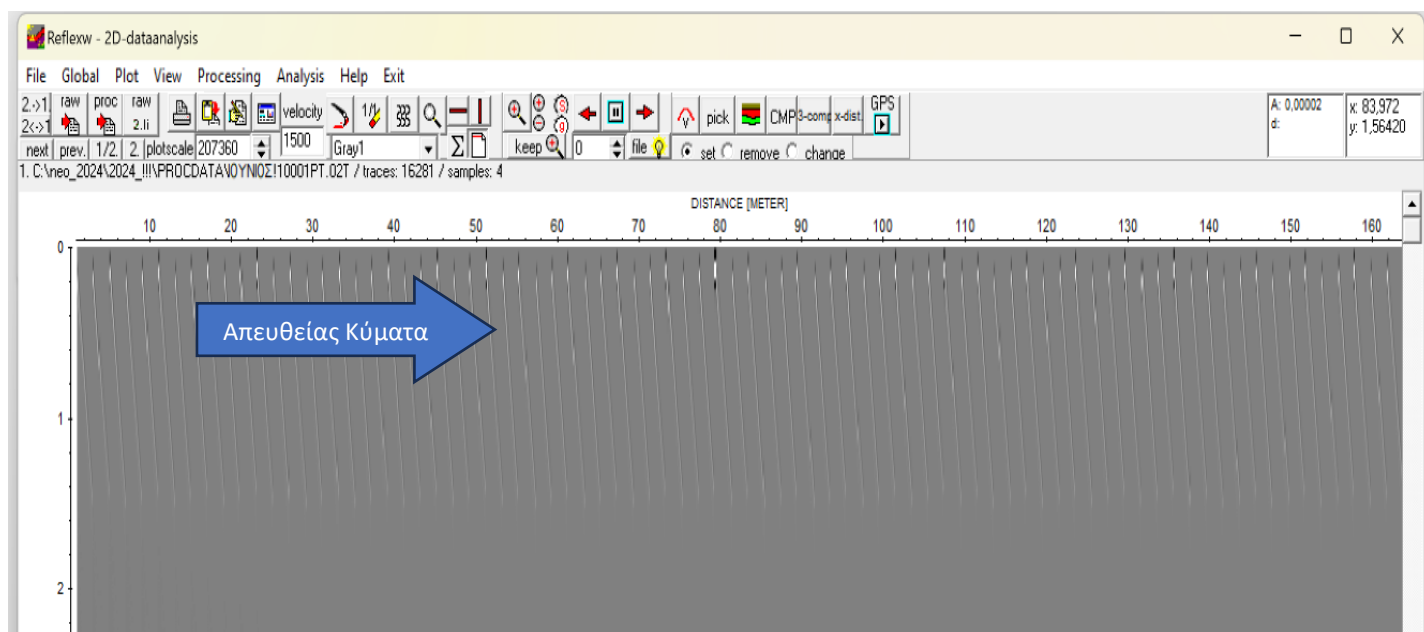
Αφού λοιπόν έτρεξε ο προσομοιωτής για το παραπάνω μοντέλο δημιουργήθηκαν 81 αρχεία που περιέχουν 81 πηγές και 201 traces το καθ' ένα. Έτσι, αυτά τα 81 αρχεία συμπύχθηκαν σε ένα με την επιλογή combine files for CMP όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (5.4).



Εικόνα 5.4: Σύμπτυξη όλων των συνθετικών δεδομένων

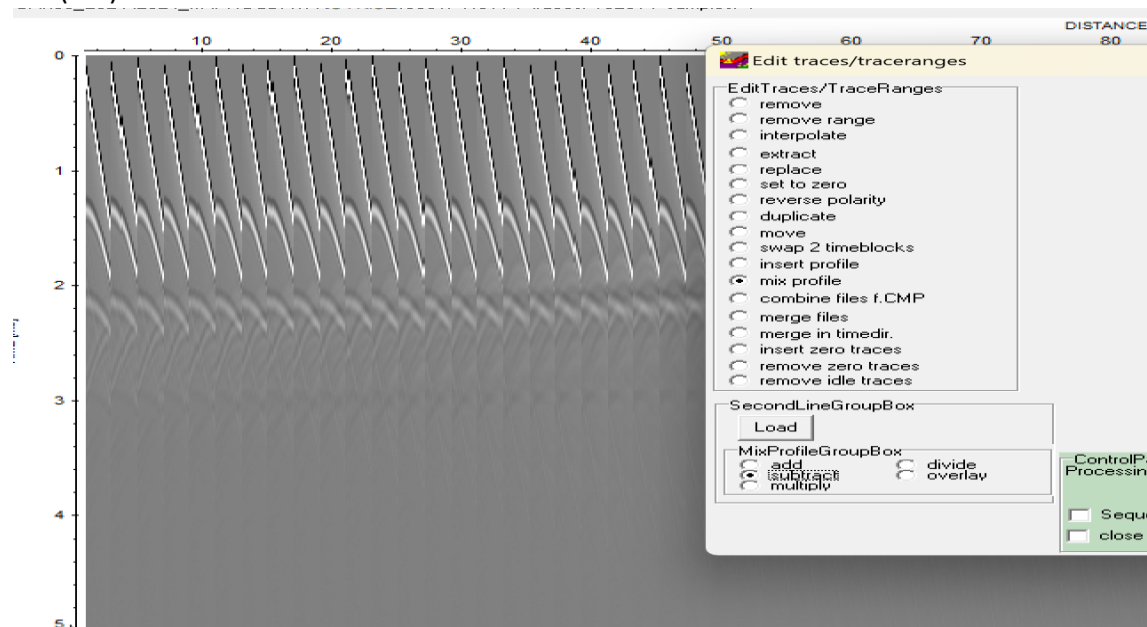
Βέβαια, για την καλύτερη απεικόνιση των ανακλαστήρων πρέπει να αφαιρεθούν τα απευθείας κύματα από την σεισμική ανάκλαση τα οποία απεικονίζονται στην παραπάνω εικόνα (5.4).

Για να αφαιρεθούν λοιπόν τα απευθείας κύματα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο με ένα στρώμα μόνο αυτό της θάλασσας με ταχύτητα διάδοσης κύματος 1500m/s και με τις ίδιες παραμέτρους έτσι ώστε να εμφανιστούν μόνο τα απευθείας και έπειτα χρησιμοποιήθηκε πάλι η διεργασία combine files for CMP όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (5.5).



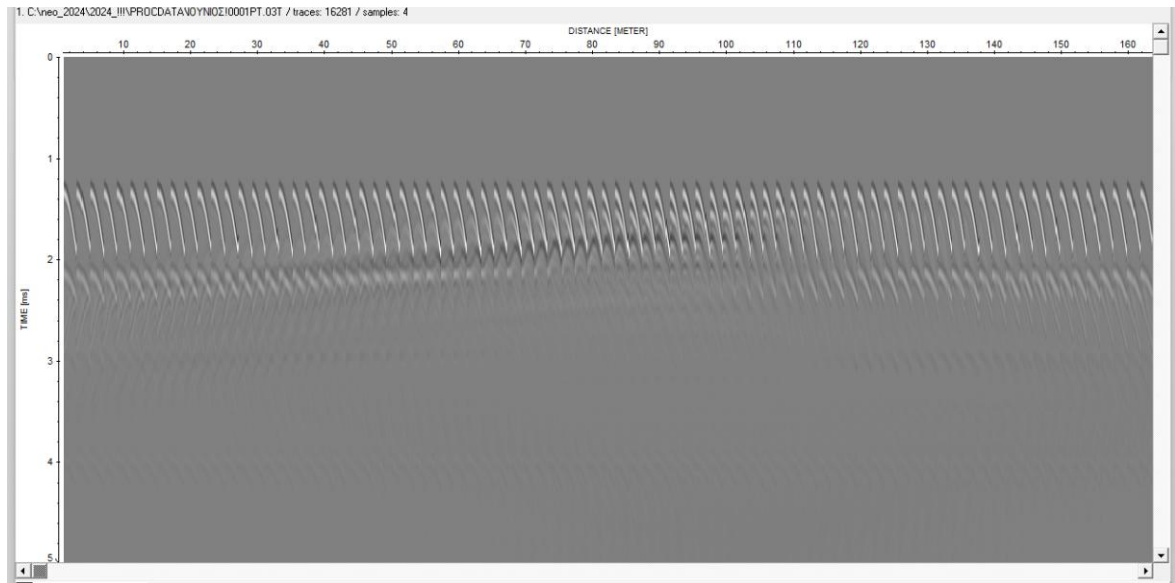
Εικόνα 5.5: Απευθείας κύματα.

Τέλος, για να πραγματοποιηθεί η αφαίρεση επιλέγεται η εντολή mix Profile και έπειτα subtract (Εικόνα 5.6) και στην επιλογή load φορτώνονται οι εικόνες (5.4) και (5.5).



Εικόνα 5.6: Διαδικασία mix Profile

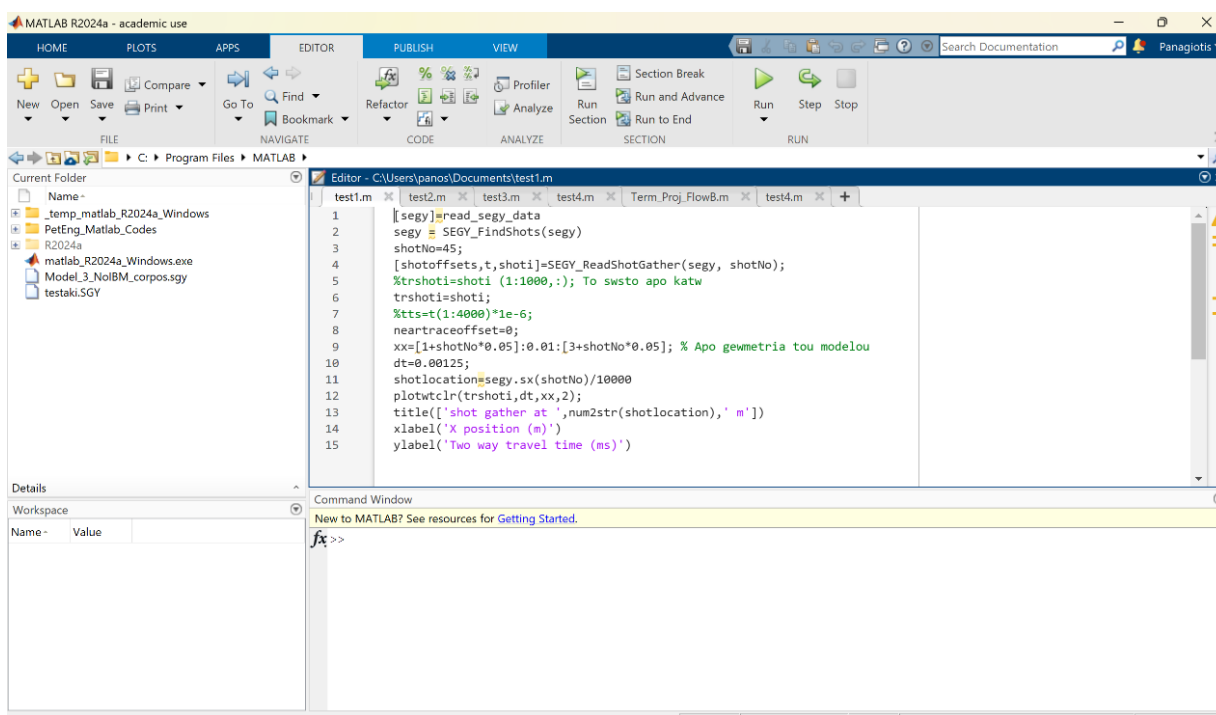
Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω τα προκύπτοντα συνθετικά δεδομένα είναι απαλλαγμένα από τα απευθείας κύματα και είναι έτοιμα για επεξεργασία (εικόνα 5.7).



Εικόνα 5.7: Υπέρθεση των παραμέτρων από την εικόνα 5.6.

5.1 Διάταξη κοινής πηγής (Common shot gather)

Για να γίνει η διεργασία της διάταξης κοινής πηγής όπως και οι υπόλοιπες διεργασίες χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MATLAB και όχι το ReflexW . Έτσι, πραγματοποιήθηκε εξαγωγή των δεδομένων της εικόνας (5.7) σε μορφή SEG-Y και φόρτωσης τους στη MATLAB.



Εικόνα 5.8: Περιβάλλον MATLAB.

Στην παραπάνω εικόνα (5.8) παρουσιάζεται το περιβάλλον της MATLAB καθώς έχουν φορτωθεί στο current folder το αρχείο SEGY, το οποίο έχει υποστεί κάποιες μετατροπές στις συντεταγμένες και έχει ονομαστεί Model_3_No IBM_corpos.segy και διάφορες συναρτήσεις η οποίες βοήθησε στην διαδικασία για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

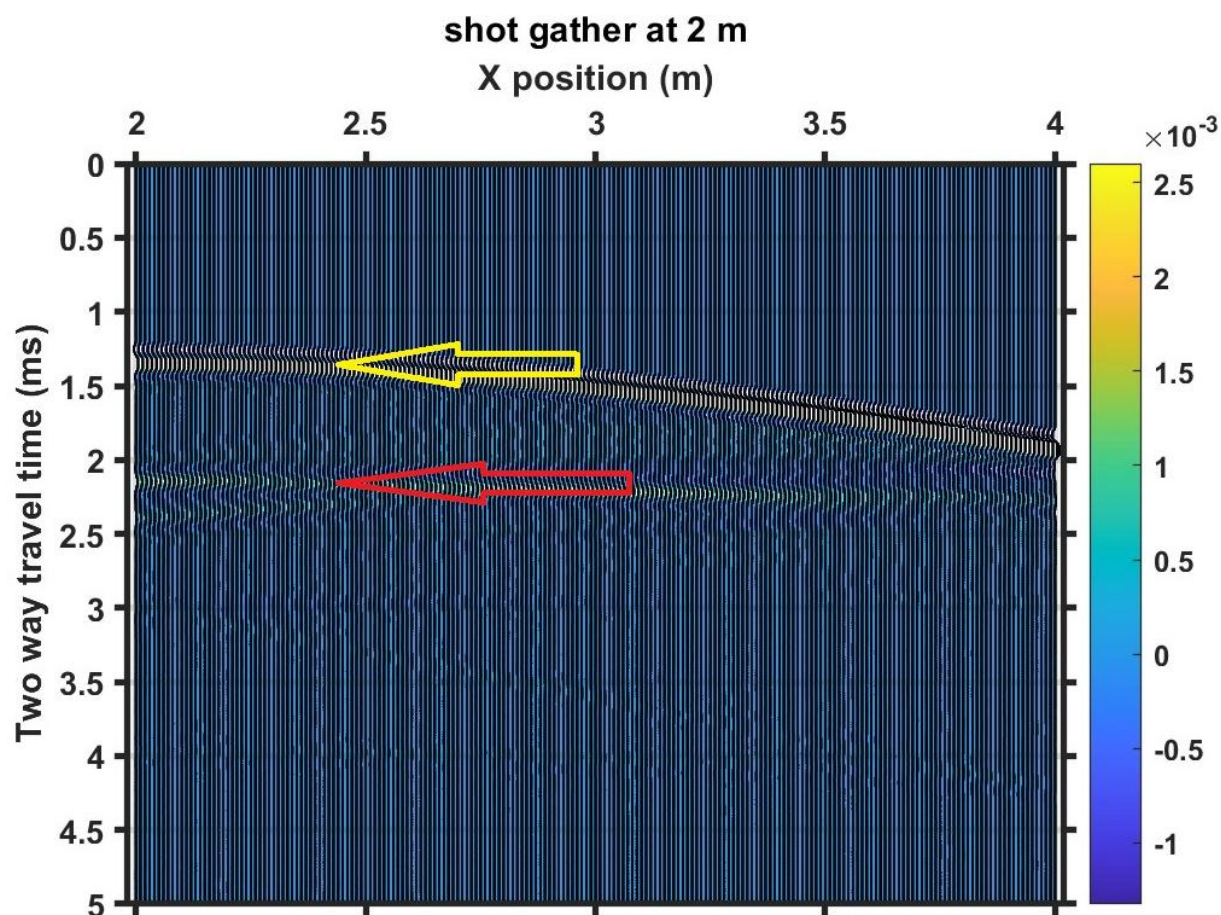
```

1 [seggy]=read_seggy_data
2 seggy = SEGY_FindShots(seggy)
3 shotNo=50;
4 [shotoffsets,t,shoti]=SEGY_ReadShotGather(seggy, shotNo);
5 trshoti=shoti (1:1000,:);
6 trshoti=shoti;
7 tts=t(1:4000)*1e-6;
8 neartraceoffset=0;
9 xx=[1+shotNo*0.05]:0.01:[3+shotNo*0.05]; % Apo gewmetria tou modelou
10 dt=0.00125;
11 shotlocation=seggy.sx(shotNo)/10000
12 plotwtclr(trshoti,dt,xx,5);
13 title(['shot gather at ',num2str(shotlocation),' m'])
14 xlabel('X position (m)')
15 ylabel('Two way travel time (ms)')

```

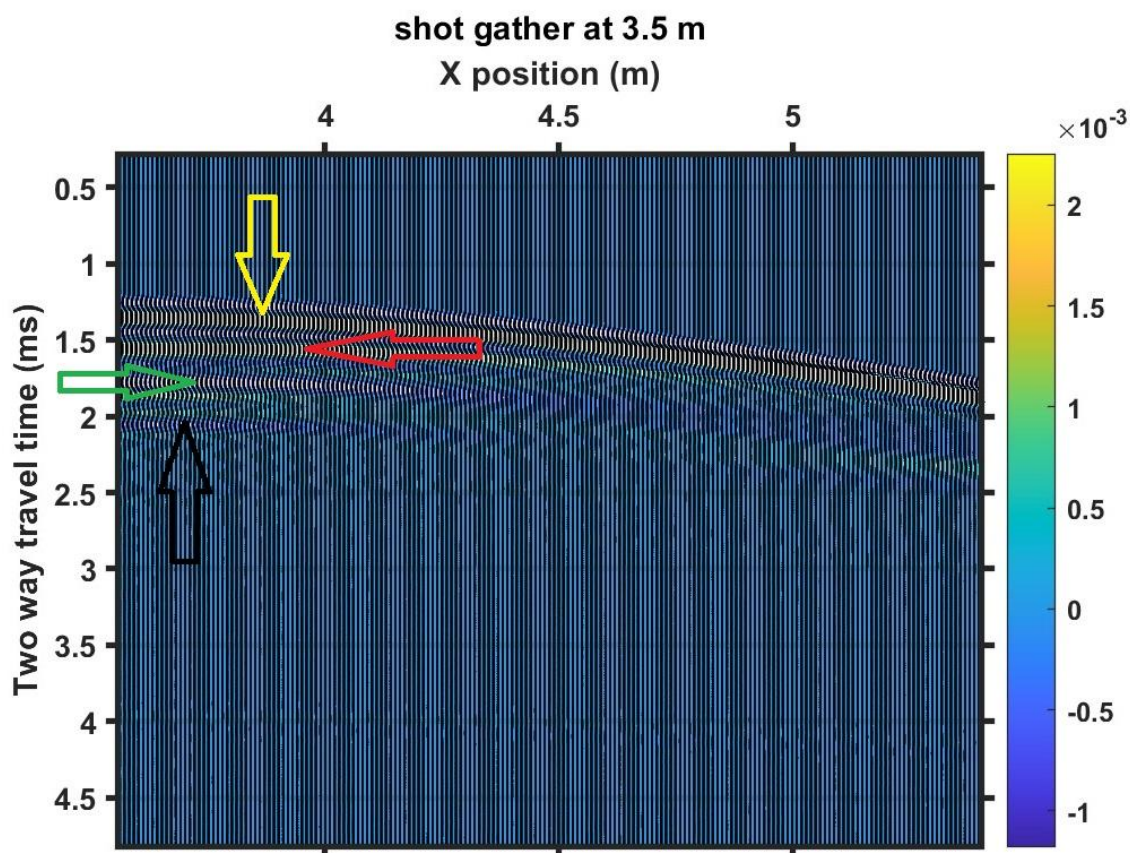
Εικόνα 5.9: Κώδικας για Common Shot gather.

Τρέχοντας τον παραπάνω κώδικα προκύπτει η εξής εικόνα:



Εικόνα 5.10: Δεδομένα από διάταξη κοινής πηγής στη θέση 2m.

Η παραπάνω εικόνα (5.10) παρουσιάζει τα δεδομένα για συγκεκριμένη θέση της πηγής. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει ζητηθεί από το λογισμικό να παρουσιάσει την 20^η πηγή του μοντέλου και σύμφωνα με την εικόνα βρίσκεται στη θέση 2m. Το κίτρινο βέλος παρουσιάζει τον δεύτερο ανακλαστήρα ενώ το κόκκινο παρουσιάζει τον τρίτο.



Εικόνα 5.11: Δεδομένα από διάταξη κοινής πηγής στη θέση 3.5m.

Η παραπάνω εικόνα (5.11) παρουσιάζει τα δεδομένα για συγκεκριμένη θέση της πηγής. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει ζητηθεί από το λογισμικό να παρουσιάσει την 50^η πηγή του μοντέλου και σύμφωνα με την εικόνα βρίσκεται στη θέση 3,5m. Το κίτρινο βέλος παρουσιάζει τον δεύτερο ανακλαστήρα, το κόκκινο το πάνω μέρος του στόχου ενώ το πράσινο το κάτω μέρος. Τέλος, το μαύρο παρουσιάζει τον τρίτο ανακλαστήρα.

5.2 Διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου (Common Mid-Point Gather)

Για την διεργασία των CMP gathers χρησιμοποιήθηκε ο εξής κώδικας στο περιβάλλον MATLAB όπως φαίνεται και στην εικόνα (5.12).

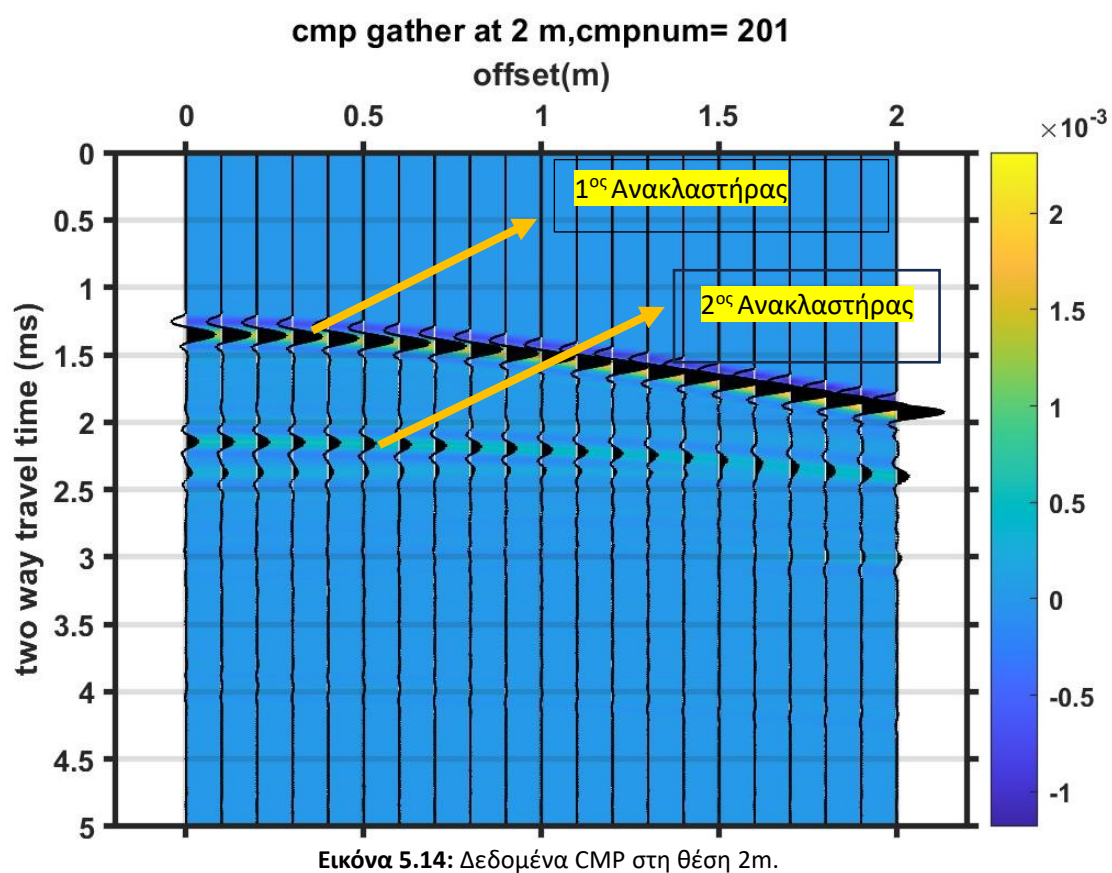
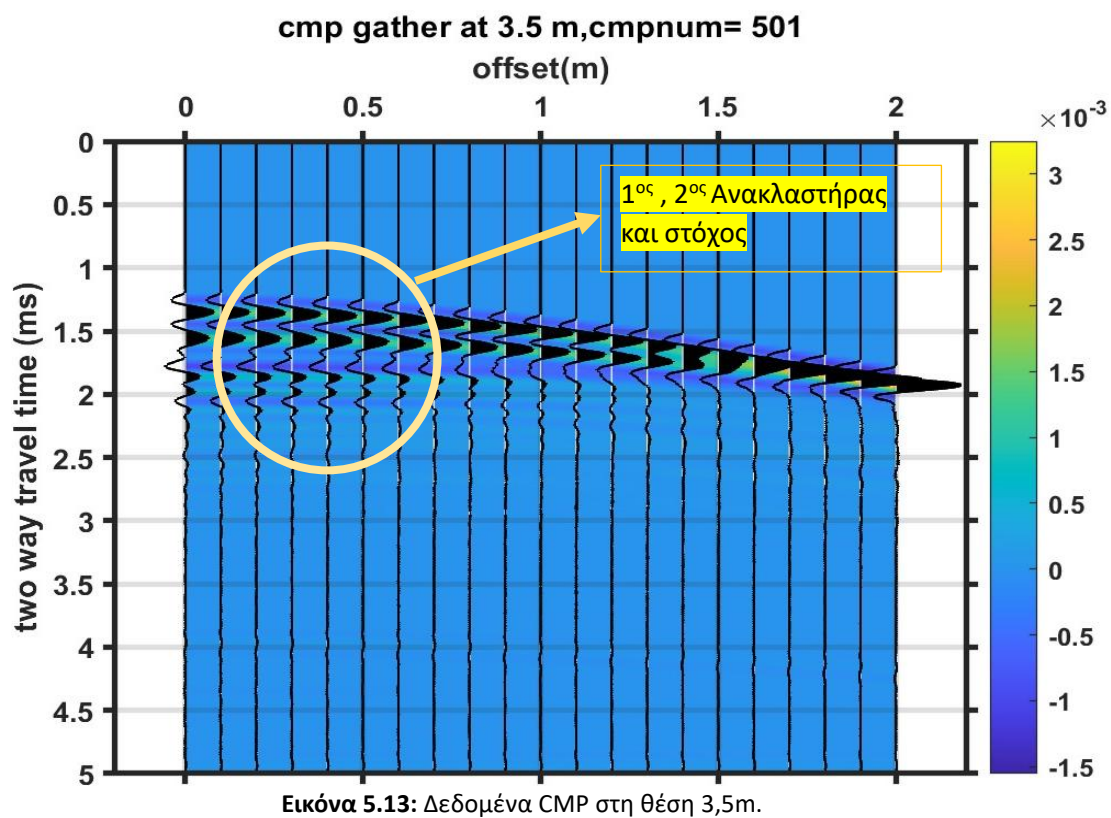
```

1  [segy]=read_segy_data
2  segy=SEGY_FindCMPs(segy,1);
3  segy = SEGY_FindShots(segy);
4  hh=h./10000;
5  dt=0.00125;
6  cmpNo=201;
7  [h,t,cmpi]=SEGY_ReadCMPGather(segy, cmpNo,1);
8  [SCMPx, IX]=sort(segy.cmps);
9  trcmpi=cmpi;
10 ttc=t(1:1000)*1e-6;
11 cmpNo=IX(cmpNo);
12 % SCMPx vector is CMPx sorted and IX contains the original column numbers
13 CMPx=segy.cmps./10000+1;
14 cmplocation=CMPx(cmpNo);
15 plotwtclr(trcmpi,dt,hh,4);
16 title(['cmp gather at ',num2str(cmplocation),' m,cmpnum= ',num2str(cmpNo)])
17 xlabel('offset(m)')
18 ylabel('two way travel time (ms)')

```

Εικόνα 5.12: Κώδικας MATLAB.

Δεν πρέπει να παραληφθεί ότι σε αυτή την περίπτωση το λογισμικό υπολόγισε με βάση το αρχείο segy ότι υπάρχουν 1001 κοινά ενδιάμεσα σημεία (CMP locations). Έτσι οι εικόνες που δημιουργούνται είναι οι εξής:



Στις παραπάνω εικόνες (5.13 και 5.14) απεικονίζεται ο αριθμός του (CMP 21 ίχνη) καθώς και η θέση στην οποία βρίσκεται. Στην πρώτη εικόνα (5.13) για το 201° CMP στη θέση 2m είναι εμφανής μόνο δύο ανακλαστήρες ενώ, στην δεύτερη εικόνα (5.14) για το 501° CMP στην θέση 3,5m είναι εμφανής και ο στόχος εκτός των στρωμάτων.

5.3 Διάταξη σταθερής απόστασης πηγής- δέκτη (Common-Offset gather)

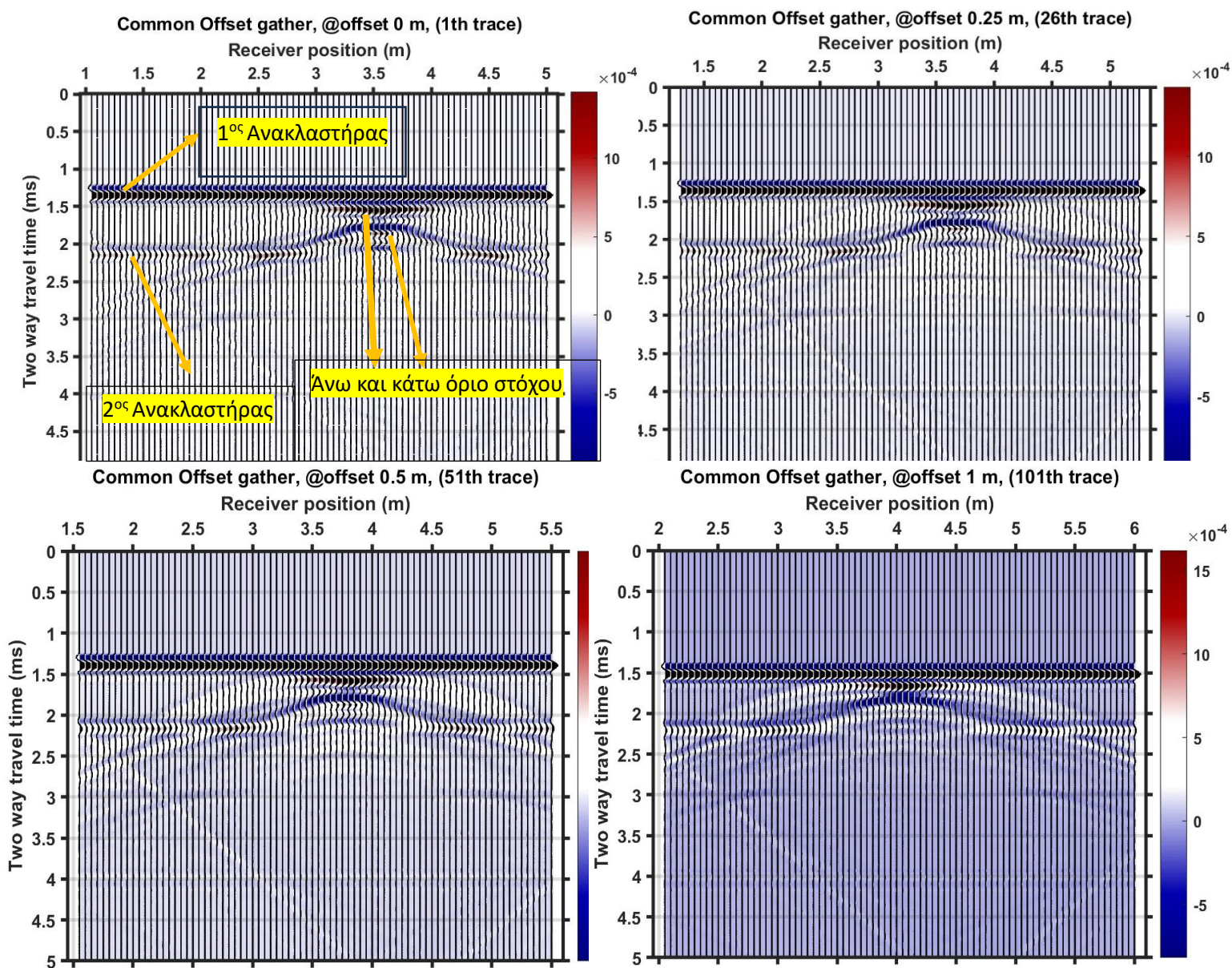
Για την διεργασία του Common-Offset gather χρησιμοποιήθηκε ο εξής κώδικας στο περιβάλλον MATLAB όπως φαίνεται και στην εικόνα (5.15).

```
[segy]=read_segy_data
segy = SEGY_FindShots(segy)
numsources=length(segy.sx);
neartraceoffset=0;
xx=0:0.01:2;%offset μεταξύ πηγής και δέκτη
groupinterval=0.01;

offsettrace=1;

offset1=neartraceoffset+(offsettrace-1)*groupinterval;
count1=0;
everyshot=1;
for k=1:everyshot:numsources
    count1=count1+1;
    [x,t,shot]=SEGY_ReadShotGather(segy, k);
    common_offset(:,count1)=shot(:,offsettrace);
    sx1(count1)=segy.sx(k)/10000+xx(offsettrace);
    disp(['trace from shot ',num2str(k),' of ',num2str(numsources),' acquired'])
end
trcog=common_offset;
ttcog=t(1:1000)*1e-6;
dt=0.00125;
plotwtclr(trcog,dt,sx1,3);
title(['Common Offset gather, @offset ',num2str(offset1),' m, (' ,num2str(offsettrace),'th trace)'])
xlabel('Receiver position (m)')
ylabel('Two way travel time (ms)')
```

Εικόνα 5.15: Κώδικας MATLAB



Εικόνα 5.16: Απεικόνιση διάταξης με διαφορετικές σταθερές απόστασεις πηγή-δέκτη.

Στην παραπάνω εικόνα (5.16) απεικονίζονται τα αποτελέσματα από την διάταξη με διαφορετικές σταθερές αποστάσεις. Οι συγκεκριμένες αποστάσεις χρησιμοποιήθηκαν, καθώς εμπνεύστηκαν από την γεωμετρία της συστοιχίας της εικόνας (3.6), (Βλ. κεφ. 3^ο). Πιο συγκεκριμένα στην παραπάνω εικόνα είναι εμφανή η επιλογή των αποστάσεων (Offset) 0m, όπου πηγή και δέκτης βρίσκονται στην ίδια

θέση, 0,25m , 0,50m καθώς και 1m. Επιπλέον, μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί , πως όσο η απόσταση πηγής- δέκτη αυξάνεται, τόσο η διακριτότητα του στόχου μειώνεται.

5.4 Διεργασία Ανάλυση ταχυτήτων (Velocity analysis) και διόρθωση NMO

Στο ίδιο σεισμικό μοντέλο που προαναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε χρήση της ανάλυσης ταχυτήτων καθώς και της διόρθωσης NMO. Αρχικά, πρέπει να γίνει κατανοητό πως η ανάλυση ταχύτητας είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα προς μελέτη στρώματα του υπεδάφους. Με την συγκεκριμένη ανάλυση γίνεται εφικτός ο υπολογισμός των ταχυτήτων των στρωμάτων και αυτό αποσκοπεί στην καλύτερη επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων .

Επιπλέον, η Δυναμική διόρθωση (NMO correction) *«ανάγει όλα τα ίχνη που ανήκουν σε διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP) σε ίχνη μηδενικής απόστασης πηγής-γεωφώνου και για να εφαρμοστεί η NMO χρειάζεται να είναι γνωστή η ταχύτητα .Η διαφορά μεταξύ του χρόνου διαδρομής για συγκεκριμένη απόσταση πηγής-δέκτη και του διπλού κατακόρυφου χρόνου (offset=0) ονομάζεται Δυναμική Διόρθωση NMO»* » (Βαφειδής., 2023).

5.4.1 Διεργασία Ανάλυσης Ταχυτήτων (Velocity analysis)

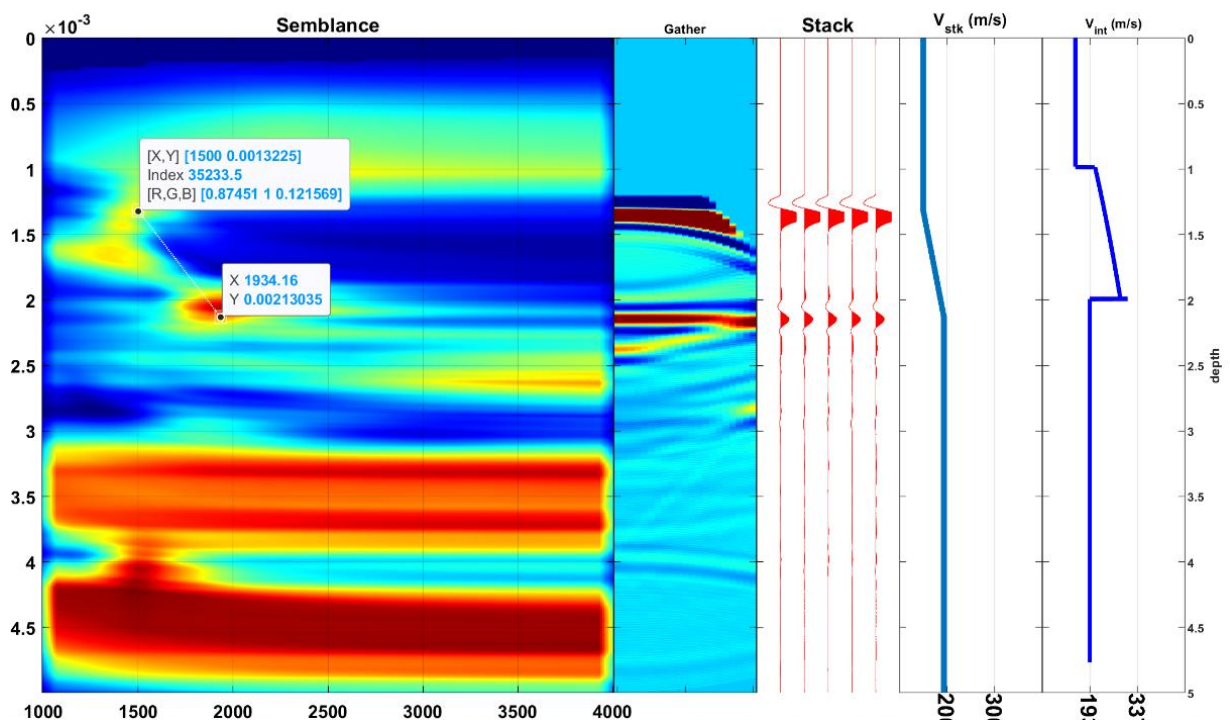
Όπως και οι προηγούμενες διεργασίες έτσι και η συγκεκριμένη πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού MATLAB. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 5.17) παρουσιάζεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την χρήση της μεθόδου ανάλυση ταχύτητας (velocity analysis) και της διόρθωσης για την κανονική χρονική διόρθωση NMO. Πρέπει επίσης να αναφερθεί πως η ανάλυση ταχύτητας (velocity analysis) και η διόρθωση NMO πραγματοποιήθηκαν στις θέσεις 2 m και 3.5m και για την κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους του μοντέλου.

```

test4.m
[segy]=read_segy_data %open data file
%setup some known data parameters
dt = 0.00125; %Sampling interval in milliseconds
neartraceoffset=0;% Nearest offset in m
cmpinterval=0.005;% CMP interval (in m). Is the half of receiver interval
segy = SEG_Y_FindShots(segy); %get the information of Shot positions (to calculate CMP positions)
segy = SEG_Y_FindCMPs(segy,1);% find CMPs
cmpNo=[201];
[h,t,cmpi]=SEG_Y_ReadCMPGather(segy, cmpNo,1);
trcmpi=cmpi;
hh=h./10000
[SCMPx, IX]=sort(segy.cmps);% SCMPx vector is CMPx sorted and IX contains the original column numbers
CMPx=segy.cmps./10000+1;
%find the indices that corresponds to the sorted CMPNo
cmpNo=IX(cmpNo);
disp(['The new sorted CMPNo array is: ',num2str(cmpNo)])
cmplocation=CMPx(cmpNo);
% perform velocity analysis
Vmin=1000;%minimum velocity in m/s to be examined
Vmax=4000;%maximum velocity in m/s to be examined
Vstep=10;%velocity steps in m/s to be examined
tt=0:dt/1000:0.005-dt/1000;
VelocityAnalysisNew(trcmpi,tt',hh,Vmin,Vmax,Vstep);%Velocity analysis on semblance value
[Vnmo,T0]= GetData(gcf);
[T0sort,ix]=sort(T0);%sort T(0) values in case that picks are not in time incremental order
T0sort
Vnmo=Vnmo(ix) %sort Vnmo values in case that picks are not in time incremental order
Vint=zeros(size(Vnmo));%No of layers
Vint(1)=Vnmo(1);%Vrms1=Vint1
dtVT=diff(Vnmo.^2.*T0sort);%Vn^2*Tn(0)-Vn-1^2*Tn-1(0)
dT0=diff(T0sort);%Tn(0)-Tn-1(0)
Vint(2:end)=sqrt(dtVT./dT0);

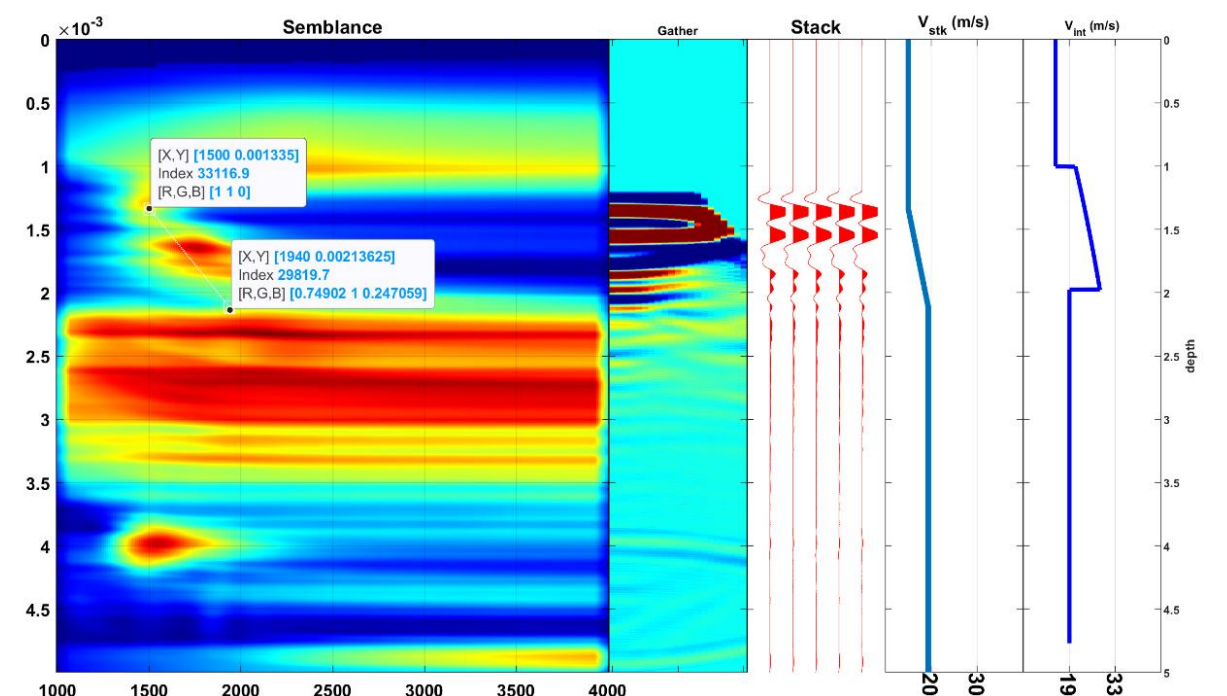
```

Εικόνα 5.17: Κώδικας για την ανάλυση ταχύτητας.



Εικόνα 5.18: Χάρτης συνάφειας με CMP στη θέση 2m, όπου στον άξονα X παρουσιάζονται οι ταχύτητες ενώ στην άξονα Y παρουσιάζεται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος.

Σύμφωνα με την εικόνα (εικόνα 5.18) τα αποτελέσματα από την ανάλυση ταχυτήτων απεικονίζονται με την μορφή του χάρτη συνάφειας και παρουσιάζουν τις σεισμικές ταχύτητες. Επιπλέον, η παραπάνω διαδικασία έγινε για το 201° CMP το οποίο βρίσκεται στη θέση 2m. Έτσι, έχοντας το μοντέλο και υπολογίζοντας τους διπλούς κατακόρυφους χρόνους πραγματοποιήθηκε picking τιμών $T_{01}=1,33\text{ms}$ και $V_{rms1}=1500\text{m/s}$ καθώς και $T_0=2,13\text{ms}$ και $V_{rms}=1936.5\text{m/s}$.

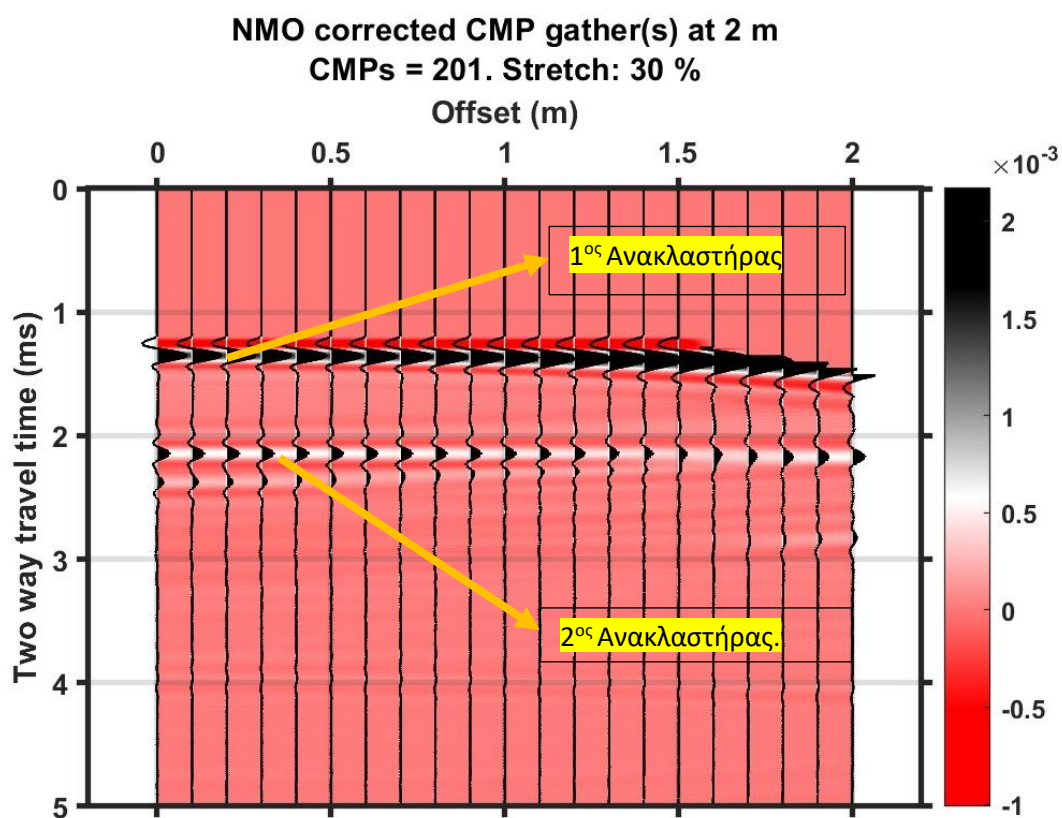


Εικόνα 5.19: Χάρτης συνάφειας με CMP στη θέση 3,5m, όπου στον άξονα X παρουσιάζονται οι ταχύτητες ενώ στην άξονα Y παρουσιάζεται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος.

Με τον ίδιο τρόπο έγινε και για το κοινό ενδιαμέσο σημείο στη θέση 3.5m ακριβώς πάνω από τον υπό μελέτη στόχο 501° CMP. Πρέπει να τονιστεί βέβαια ότι, για θέσεις δεξιά του μοντέλου όπως στη θέση 6m (βλ. εικόνα 5.2) τα αποτελέσματα είναι όμοια με αυτά της διάταξης κοινού ενδιαμέσου σημείου με θέση 2m αφού υπάρχουν μόνο οι ανακλαστήρες.

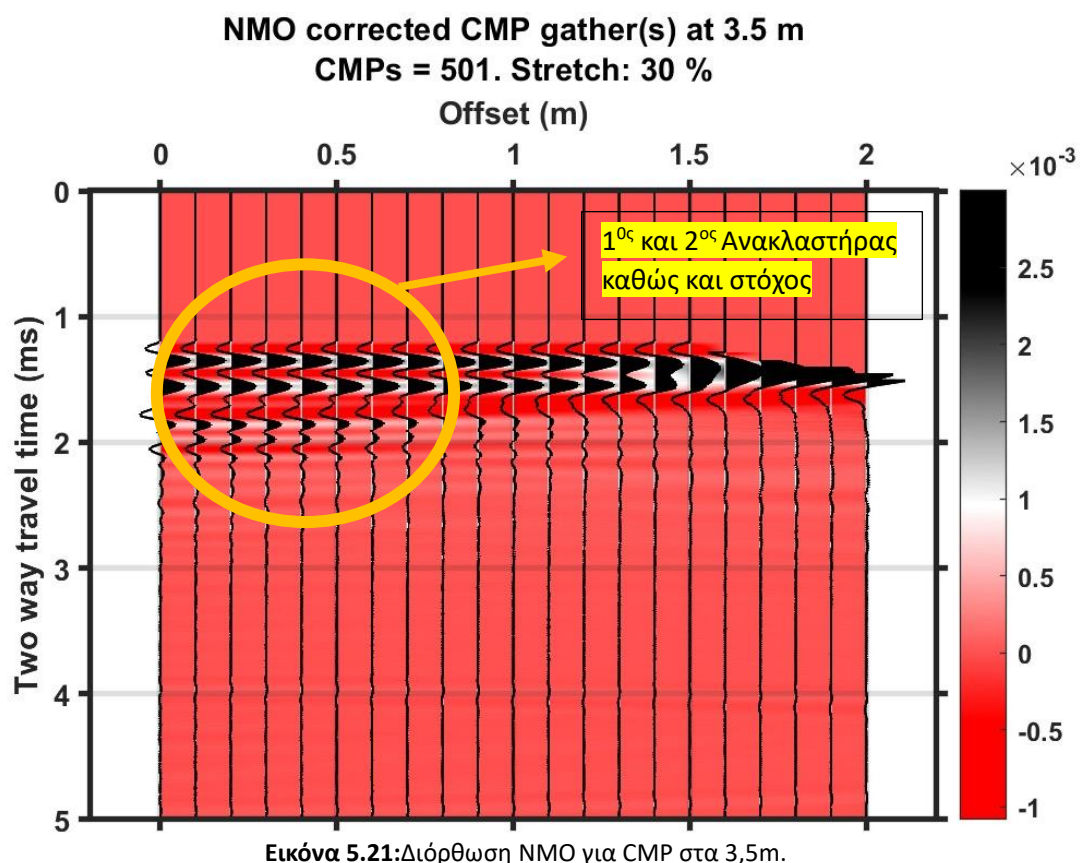
5.4.2 Διόρθωση NMO από την Ανάλυση Ταχυτήτων (Velocity Analysis)

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα αποτελέσματα από την διόρθωση NMO στα 2m με αριθμό CMP 201° και στα 3.5 m με αριθμό CMP 501°.



Εικόνα 5.20: Διόρθωση NMO για CMP στα 2 m.

Στην παραπάνω εικόνα (5.20) παρουσιάζεται το 201° CMP που βρίσκεται στην θέση 2m. Τα ίχνη που παρουσιάζονται είναι 21 (fold) και απεικονίζουν τον πρώτο ανακλαστήρα με διπλό κατακόρυφο χρόνο 1,33ms και τον δεύτερο ανακλαστήρα με διπλό κατακόρυφο χρόνο στα 2,13 ms. Πρέπει να τονιστεί ότι, τα αποτελέσματα της διόρθωσης NMO στη θέση 2m είναι όμοια και με τα αποτελέσματα στη θέση των 6m.

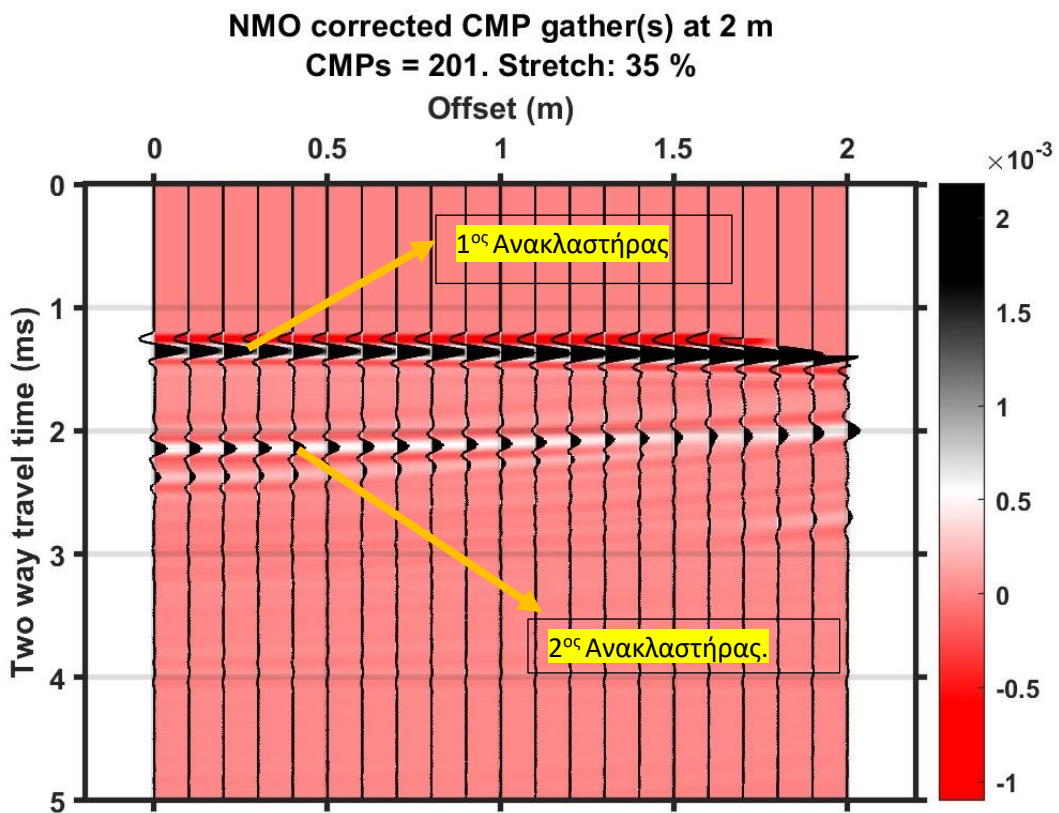


Στην παραπάνω εικόνα (5.21) παρουσιάζεται το 501^ο CMP που βρίσκεται στην θέση 3,5m. Τα ίχνη που παρουσιάζονται είναι 21(fold) και απεικονίζουν τον πρώτο ανακλαστήρα με διπλό κατακόρυφο χρόνο 1,33ms , τον δεύτερο ανακλαστήρα με διπλό κατακόρυφο χρόνο στα 2,13 ms καθώς και τον προς μελέτη στόχο αφού το εν λόγω CMP βρίσκεται πάνω από αυτόν. Επιπροσθέτως , το πάνω όριο του στόχου έχει διπλό κατακόρυφο χρόνο περίπου 1.53ms και το κάτω όριο περίπου 1,78ms.

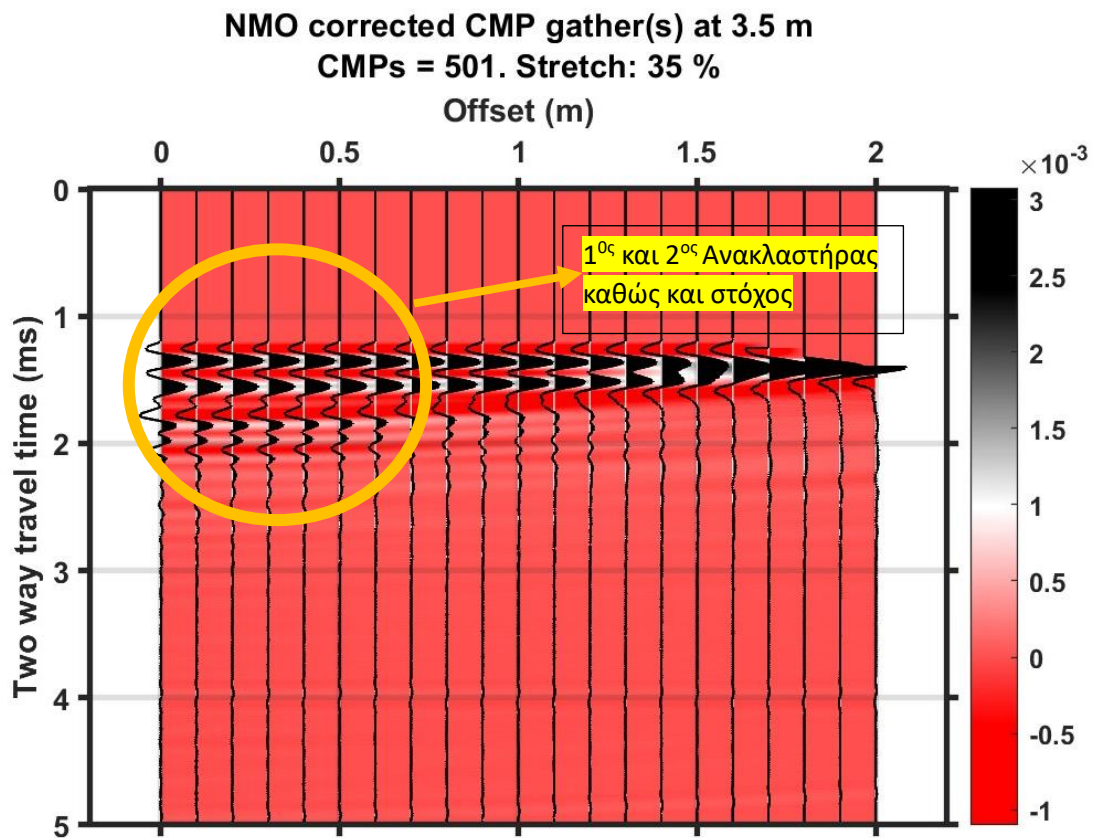
5.4.3 Διόρθωση NMO με σταθερή ταχύτητα

Πρώτα, χρειάζεται να επισημανθεί ο λόγος για την χρησιμοποίηση μιας σταθερής ταχύτητας για την διεργασία της NMO correction. Αρχικά, η χρήση μιας σταθερής ταχύτητας καθιστά της διαδικασία της διόρθωσης πιο απλή και πιο γρήγορη καθώς γίνεται με έναν μόνο συντελεστή ταχύτητας. Επιπλέον, διαθέτει καλή προσέγγιση αποτελεσμάτων σε ρηχές δομές ή μικρά offset με ομοιογενές γεωλογικό υπόβαθρο. Τέλος, λόγω της εύκολης χρήσης στην διεργασία NMO correction ο έλεγχος και η εκτίμηση της είναι λιγότερο περίπλοκη.

Στον αντίποδα βέβαια, πρέπει να αναφερθεί ότι, η χρήση του velocity analysis είναι πιο ακριβής καθώς οι ταχύτητες αντιπροσωπεύουν με μεγάλη ακρίβεια τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στις γεωλογικές δομές, συναρτήσει και του βάθους. Έτσι η διόρθωση NMO με την χρήση του velocity analysis είναι καλύτερη και ακριβέστερη.



Εικόνα 5.22: NMO correction με σταθερή ταχύτητα 1500m/s και θέση CMP στα 2m .

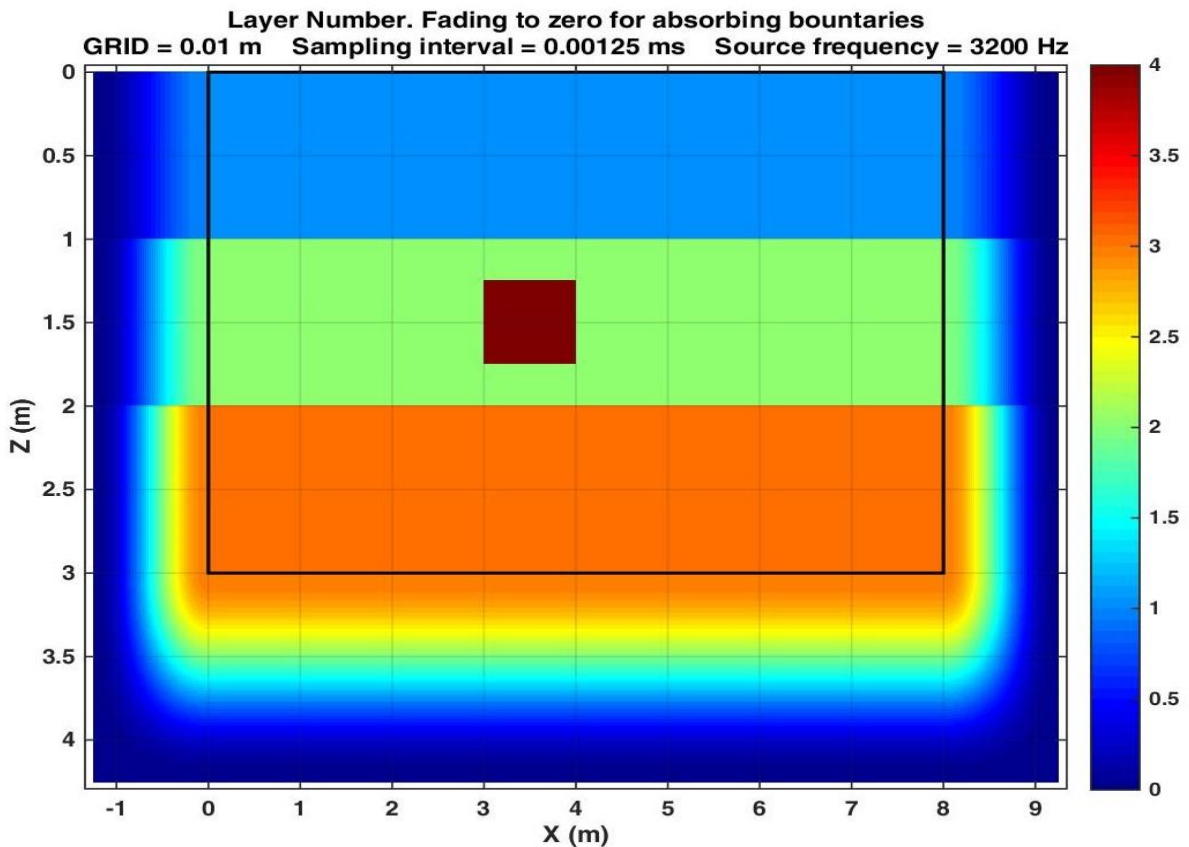


Εικόνα 5.23: NMO correction με σταθερή ταχύτητα και θέση CMP στα 3.5 m.

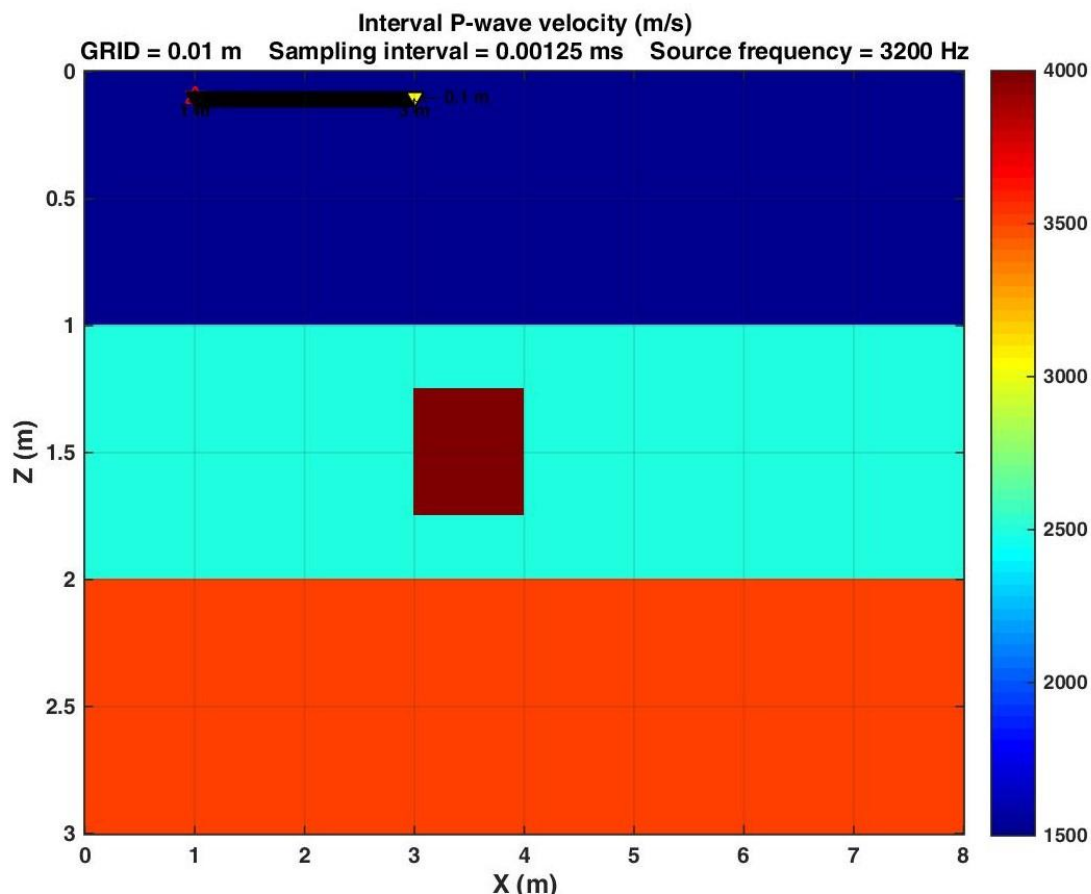
Όπως στην διόρθωση NMO με την χρήση της ανάλυσης ταχυτήτων έτσι και στην διόρθωση NMO με σταθερή ταχύτητα στα 2m απεικονίζεται ο πρώτος και δεύτερος ανακλαστήρας με διπλό κατακόρυφο χρόνο 1.33ms και 2.13 ms αντίστοιχα. Στα 3.5 m όπου το 501^ο CMP βρίσκεται πάνω από τον στόχο το ανώτερο όριο του στόχου έχει διπλό κατακόρυφο χρόνο 1.53ms και το κατώτερο όριο έχει 1.78ms. Επιπλέον , και στην περίπτωση της διόρθωσης NMO με σταθερή ταχύτητα τα αποτελέσματα της εικόνας (5.22) είναι παρόμοια με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την διόρθωση NMO στη θέση 6m όπου βρίσκεται και το 1001^ο CMP.

5.5 Επεξεργασία με χρήση Μέσης τετραγωνικής Ταχύτητας V_{rms}

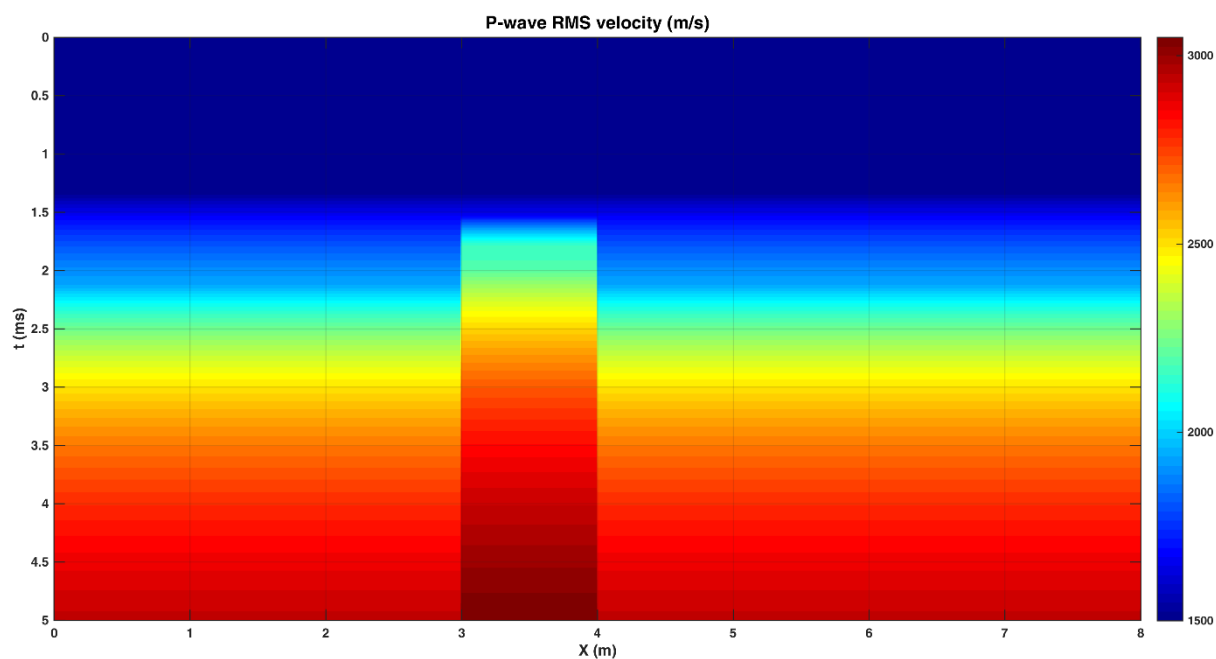
Αρχικά, η μέση τετραγωνική ταχύτητα (V_{rms}) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε γεωλογικά περιβάλλοντα με μεγάλο αριθμό στρωμάτων. Απλουστευμένα, είναι ένας μέσος όρος των ταχυτήτων των σεισμικών κυμάτων με την χρήση των $V_{interval}$ ταχυτήτων, δηλαδή των ταχυτήτων οι οποίες βρίσκονται σε κάθε στρώμα ξεχωριστά και χρησιμοποιείται κυρίως για την μετατροπή του χρόνου σε βάθος. Τέλος, υπολογίζεται με τρόπους όπως η μέθοδος t^2-x^2 καθώς και με την μέθοδο της συνάφειας.



Εικόνα 5.24: Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζονται οι ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα στρώματα. Βέβαια η συχνότητα της πηγής δεν είναι 3200Hz αλλά 4000Hz όπως και την έχουμε ορίσει.



Εικόνα 5.25: Με την βοήθεια του λογισμικού MATLAB υπολογίσθηκαν οι τμηματικές ταχύτητες V_{int} για τον προσδιορισμό των V_{rms} ταχυτήτων. Βέβαια, η συχνότητα του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι 3200 Hz αλλά 4000 Hz.



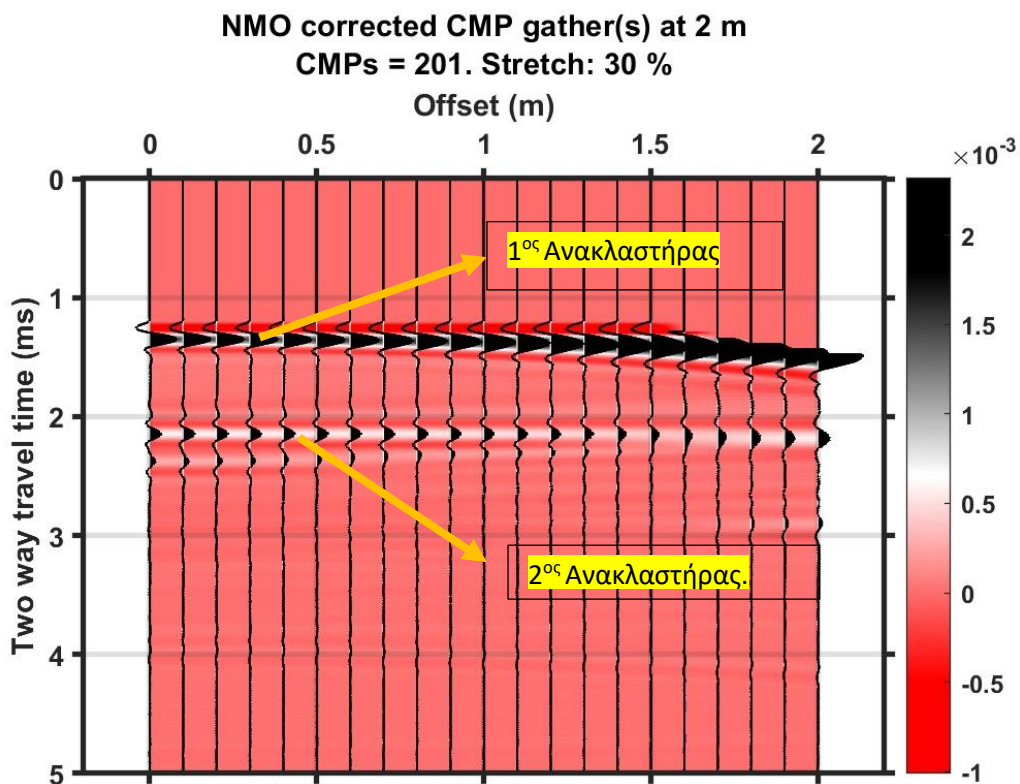
Εικόνα 5.26: Έπειτα από τον υπολογισμό των V_{int} υπολογίσθηκαν και οι V_{rms} ταχύτητες όπως παρουσιάζεται και παραπάνω.

5.5.1 Stacking και χρήση AGC Gain.

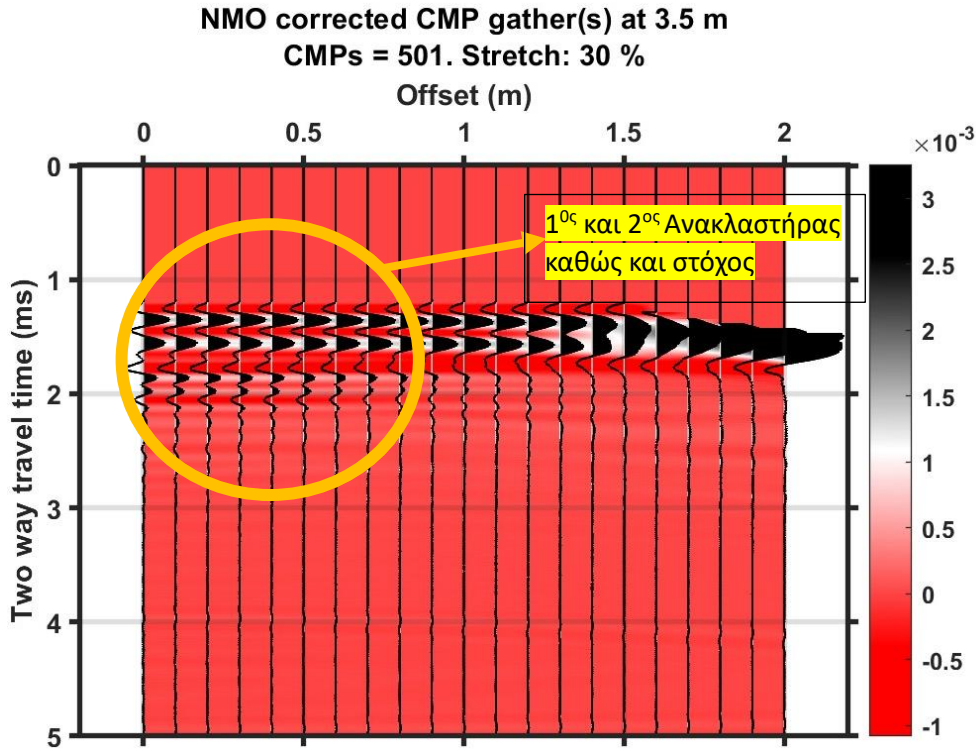
Έπειτα από την NMO correction διεργασία, για κάθε ένα CMP γίνεται άθροιση των ιχνών και προκύπτει ένα ίχνος. Έτσι, το κάθε ίχνος που προκύπτει αθροίζεται με τα υπόλοιπα ίχνη των CMP και δημιουργεί μία τομή υπέρθεσης (Stack section).

Επιπλέον, στην τομή υπέρθεσης υπάρχει η δυνατότητα της χρήσης του AGC gain (Automatic Gain Control) και χρησιμοποιείται κυρίως για την βελτίωση της ποιότητας των σεισμικών δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, μετά από κάποια σεισμική ανάκλαση το σήμα το οποίο απομακρύνεται από την πηγή και κατευθύνεται σε στρώματα με μεγαλύτερο βάθος εξασθενεί λόγω απόσβεσης και εξάπλωσης. Για αυτό το λόγο η χρήση του AGC gain αποσκοπεί στην διόρθωση αυτής της εξασθένησης και ενισχύει τα αδύναμα σήματα.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε διόρθωση NMO με V_{rms} ταχύτητες και παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 5.27: Διόρθωση NMO με V_{rms} ταχύτητες στη θέση 2m.



Σε αυτή την περίπτωση αξίζει να αναφερθεί ότι, πραγματοποιήθηκε αφαίρεση των αποτελεσμάτων της εικόνας (5.27) , με τα αποτελέσματα της εικόνας (5.28) για καλύτερη ερμηνεία. Έτσι, προκύπτουν τα εξής:

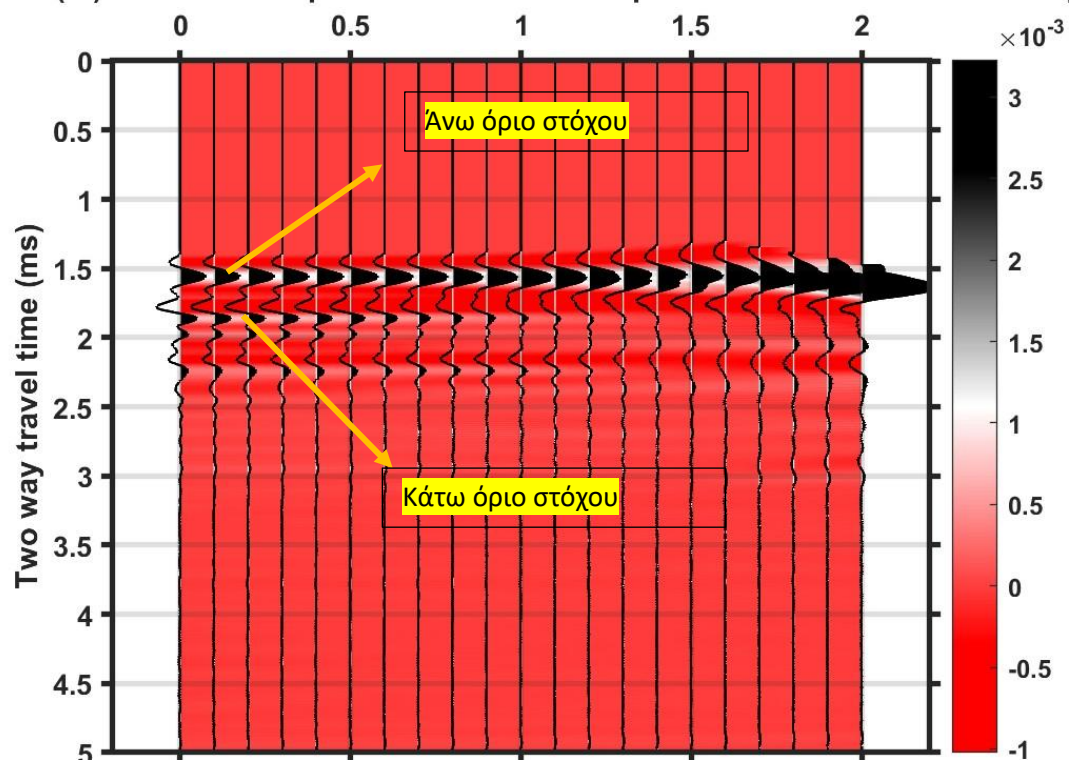
```

1  [segym]=read_segym_data %open data file
2  %setup some known data parameters
3  dt = 0.00125; %Sampling interval in milliseconds
4  nearestoffset=0;% Nearest offset in m
5  cmpinterval=0.005;% CMP interval (in m). Is the half of receiver interval
6  c1=b-a;
7  c2=[b(1:1601,:)-a(1:1601,:);b(1602:end,:)];
8
9  plotwtclr(c1,dt,hh,2);
10 xlabel('Offset (m) Subtract cmpnmo at 3.5 m and cmpnmo at 2m with Vrms velocity')
11 ylabel('Two way travel time (ms)')
12 plotwtclr(c2,dt,hh,2);
13 xlabel('Offset (m), Subtract cmpnmo at 3.5m and cmpnmo at 2m with Vrms Velocity with 2ms')
14 ylabel('Two way travel time (ms)')
15

```

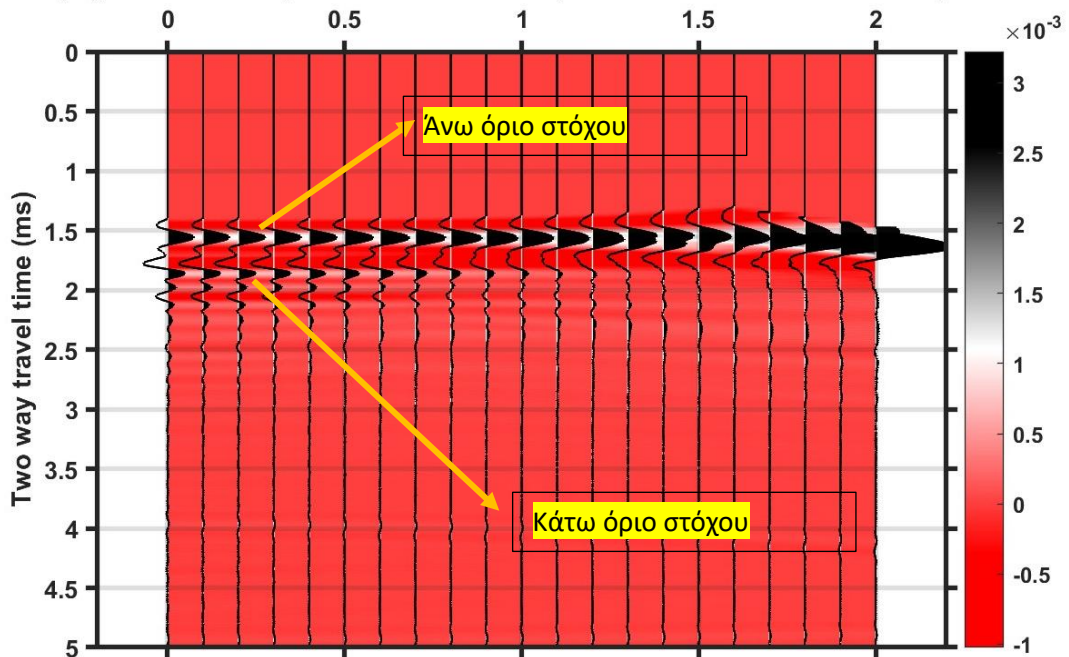
Εικόνα 5.29: Κώδικας MATLAB που χρησιμοποιήθηκε για την αφαίρεση των εικόνων (5.27) και (5.28).

Offset (m) Subtract cmpnmo at 3.5 m and cmpnmo at 2m with Vrms velocity



Εικόνα 5.30: Αφαίρεση διόρθωσης NMO στη θέση 3,5m με την θέση στα 2 m.

Offset (m), Subtract cmpnmo at 3.5m and cmpnmo at 2m with Vrms Velocity with 2ms



Εικόνα 5.31: Αφαίρεση διόρθωσης NMO έως τα 2ms.

Πρέπει να τονιστεί βέβαια, ότι ο λόγος της αφαίρεσης που πραγματοποιήθηκε, είναι για να αφαιρεθούν οι ανακλαστές πάνω και κάτω από τον στόχο, έτσι ώστε το πάνω και κάτω όριο του στόχου να είναι πιο εμφανή.

```
%function segy=Term_Proj_FlowC(CMPNo);

%%
%if ~exist('segy')
    [segy]=read_segy_data % open data file
%end

%% setup some known data parameters
dt = 0.00125/1000; %Sampling interval in seconds
neartraceoffset=0;% Nearest offset in m
cmpinterval=0.005;% CMP interval (in m). Is the half of receiver interval
[h,t,cmpi]=SEGY_ReadCMPGather(segy, CMPNo,1);
trcmpi=cmpi;
CMPx=refx+segy.cmps./10000;
CMPx=segy.cmps./10000+1;
refx=segy.sx(1)./10000-neartraceoffset/2;
hh=h./10000;

%% load velocity model
load Vrmscut;

%Plot the velfine array (Vrms values)
xCMP=1:1:1001;%CMP No array
tt=0:dt:0.005-dt;

figure;imagesc(xCMP,tcmp,velfine);colorbar;grid on
set(gca,'FontWeight','Bold');
xlabel('CMP No','FontWeight','Bold');
ylabel('Time (s)','FontWeight','Bold');
title('RMS Velocity for CMP No 100-1960');
```

Εικόνα 5.32: Κώδικας MATLAB για την επεξεργασία Stacking .

```

%% Find shots and CMPs

if isnan(segy.sx)
    segy = SEGY_FindShots(segy); %get the information of Shot positions (to calculate CMP positions)
end
if isnan(segy.cmps)
    segy = SEGY_FindCMPs(segy,1);% find CMPs
end

%define the requested CMP gathers
if nargin < 1
    CMPNoor=[1:1001];
end

%sort CMPs because are not sorted sequentially
[SCMPx, IX]=sort(segy.cmps);% SCMPx vector is CMPx sorted and IX contains the initial column numbers
%find the indices that corresponds to the sorted CMPNo
CMPNo=IX(CMPNoor);
stsection=zeros(segy.bhead.hns,length(CMPNo));

disp(['The new sorted CMPNo array is: ',num2str(CMPNo)])
end

%% Iterate for all CMP positions
tic
for jj=1:length(CMPNo)

```

Εικόνα 5.33: Κώδικας MATLAB για την επεξεργασία Stacking.

```

% %Take notice that column 1 of velfine matrix corresponds to NMO velocity of the 100th CMP position

%Apply NMO correction with the given velocity
max_stretch=30;%maximum allowed stretch
[cmpnmoVnmo1500,M,ti,vi] = NMOcorr(trcmpi,dt,hh,tt',Vnmo1500,max_stretch);%

%Display NMO corrected CMP
plotwtclr(cmpnmo1500,dt,hh,2); %plot truncated data both in wiggle traces and colorscale No3. Try the different (0-4) color-scales!
title(['NMO corrected using given Vel. CMP gather at ', num2str(sumcmploc), ' m, CMPnum = ', num2str(centCMP) ])
xlabel('Offset (m)')
ylabel('Two way travel time (s)')

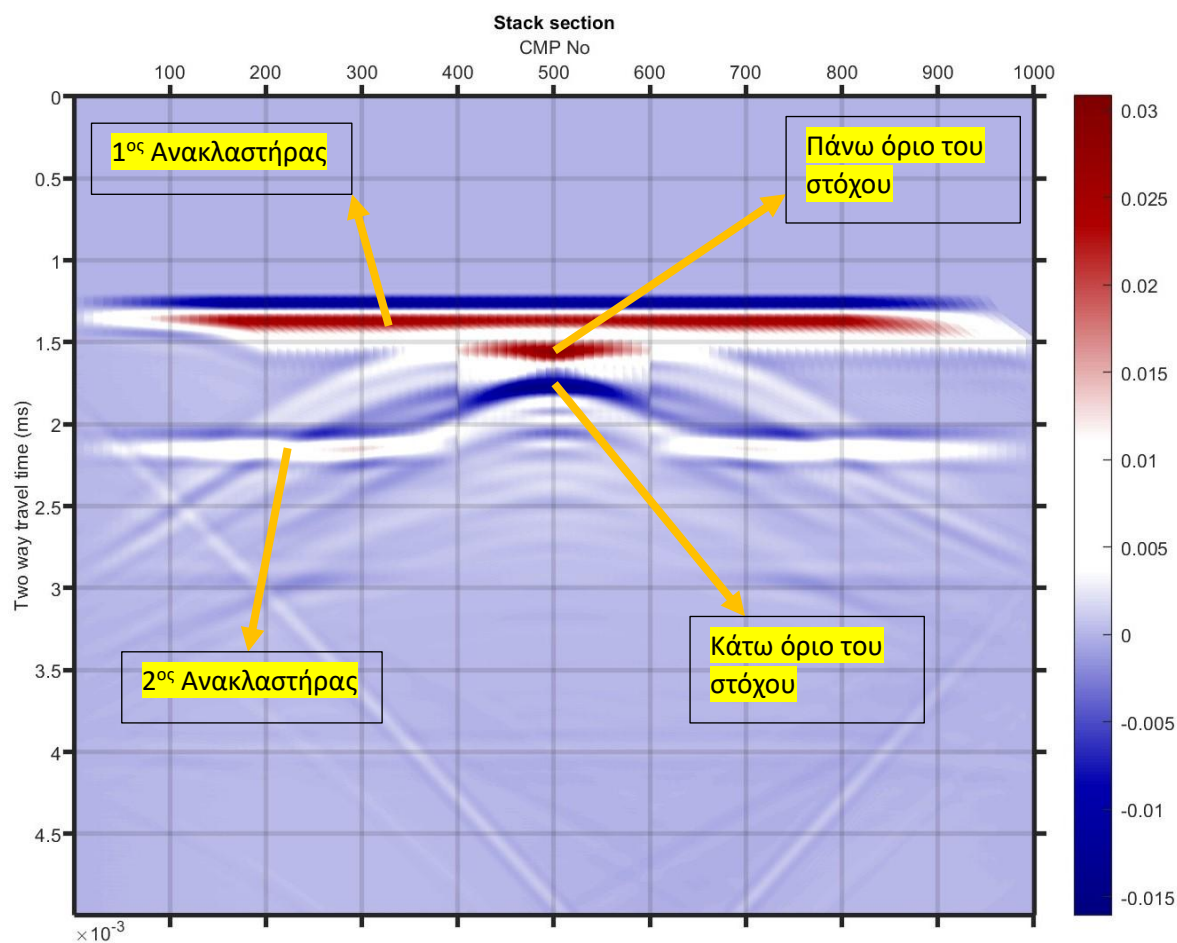
%Stacking
CMPstack1=sum(cmpnmoVnmo1500,2);%sum all CMP traces of NMO corrected (with the given velocity) CMP gather

%Display stacked trace comparatively to NMO corrected CMP traces
hhnew=hh;
hhnew(end+1)=0;%augment the offset vector. stacked trace has 0 offset
CMPnmystack=[CMPnmonev CMPstack]; %augment the nmo corrected CMP matrix with stacked trace
%Display NMO corrected CMP
plotwtclr(CMPnmystack,dt,hhnew,2); %plot truncated data both in wiggle traces and colorscale No2. Try the different (0-4) color-scales!
title(['NMO corrected CMP gather and stacked trace at ', num2str(sumcmploc), ' m, CMPnum = ', num2str(centCMP) ])
xlabel('Offset (m)')
ylabel('Two way travel time (s)')
stsection(:,jj)=CMPstack1;

end

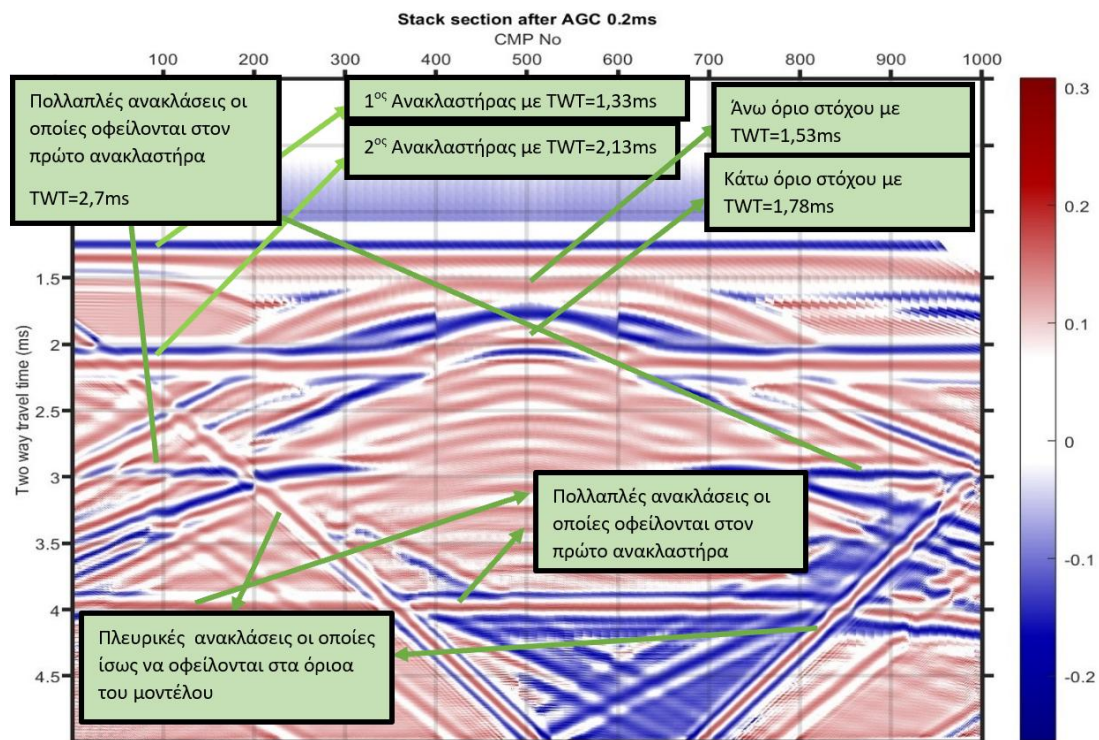
```

Εικόνα 5.34: Κώδικας MATLAB για την επεξεργασία Stacking.

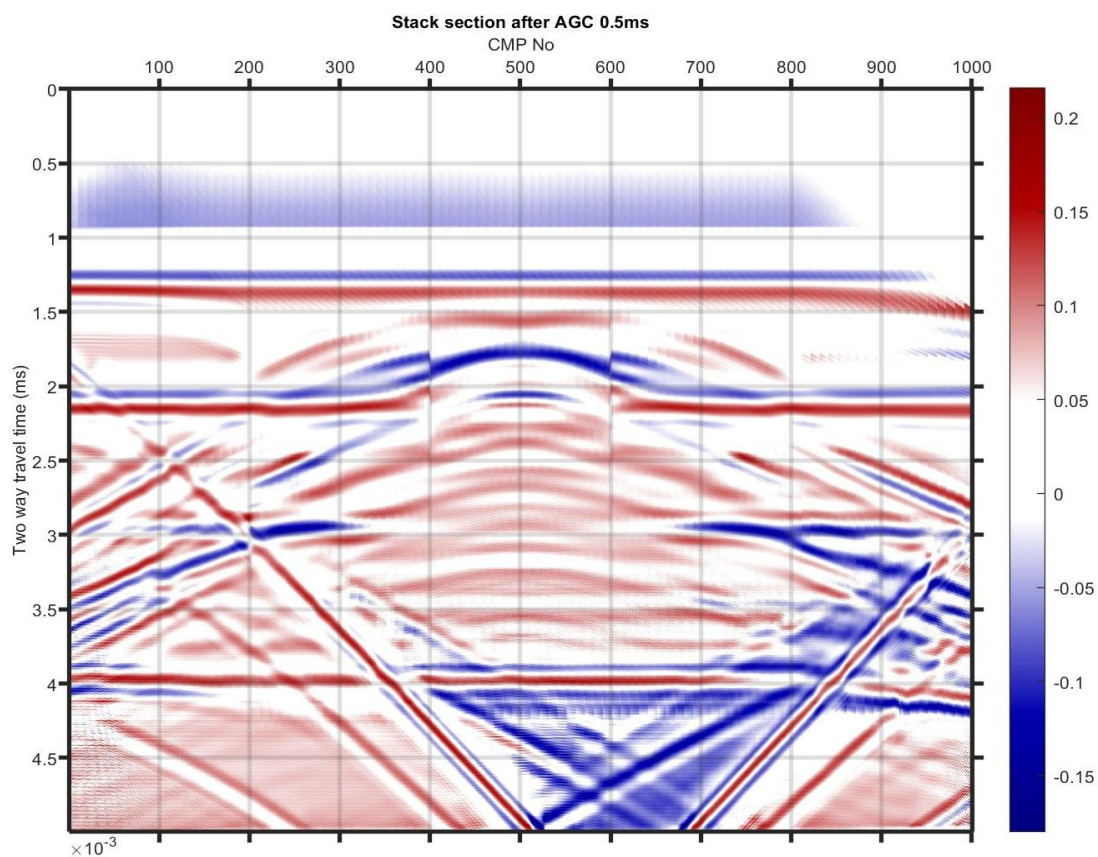


Εικόνα 5.35: Τομή υπέρθεσης.

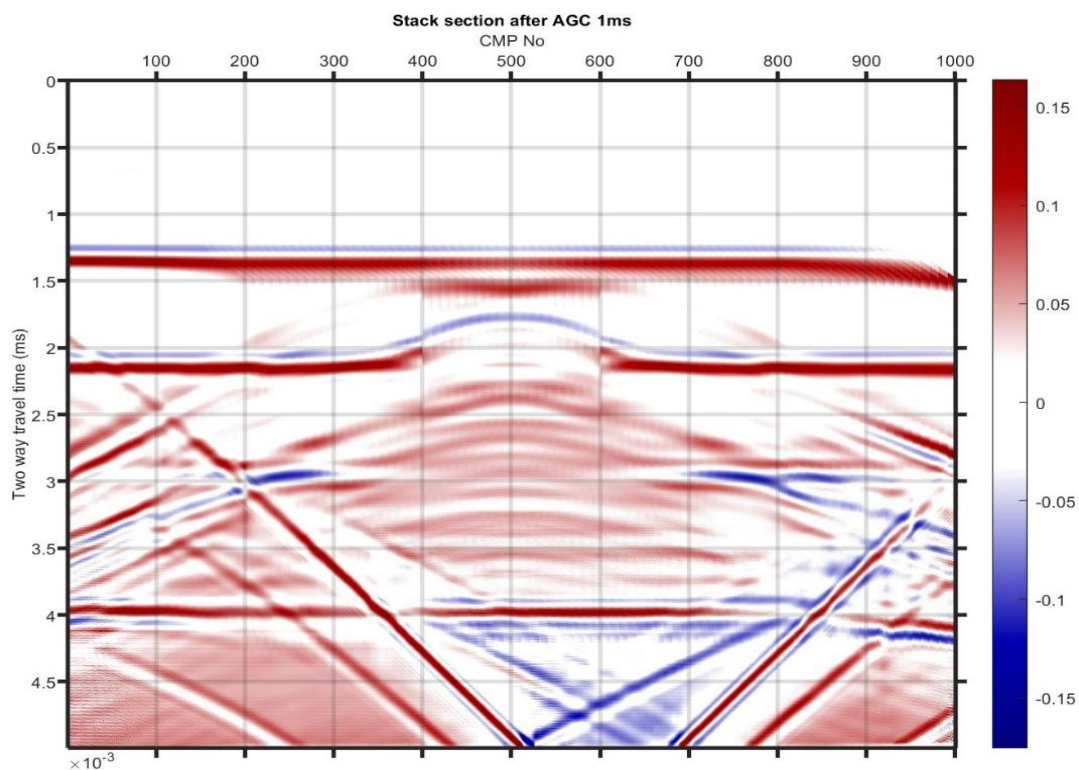
Έπειτα από την διαδικασία του stacking section ακολουθήθηκε η διαδικασία του AGC Gain για την ενίσχυση της έντασης του σήματος. Το μέγεθος της ενίσχυσης που έλαβε χώρα τόσο για stacking με V_{rms} ταχύτητες όσο και με σταθερή ταχύτητα ήταν 0.2ms, 0.5 ms και 1 ms όπου, όπως είναι γνωστό, όσο μικρότερος είναι ο χρόνος στον οποίο το AGC ενισχύει το σήμα τόσο τα αποτελέσματα είναι πιο ακριβής.



Εικόνα 5.36: Διεργασία AGC gain με χρόνο ενίσχυσης σήματος 0.2ms.



Εικόνα 5.37: Διεργασία AGC gain με χρόνο ενίσχυσης σήματος 0.5ms.



Εικόνα 5.38: Διεργασία AGC gain με χρόνο ενίσχυσης σήματος 1ms.

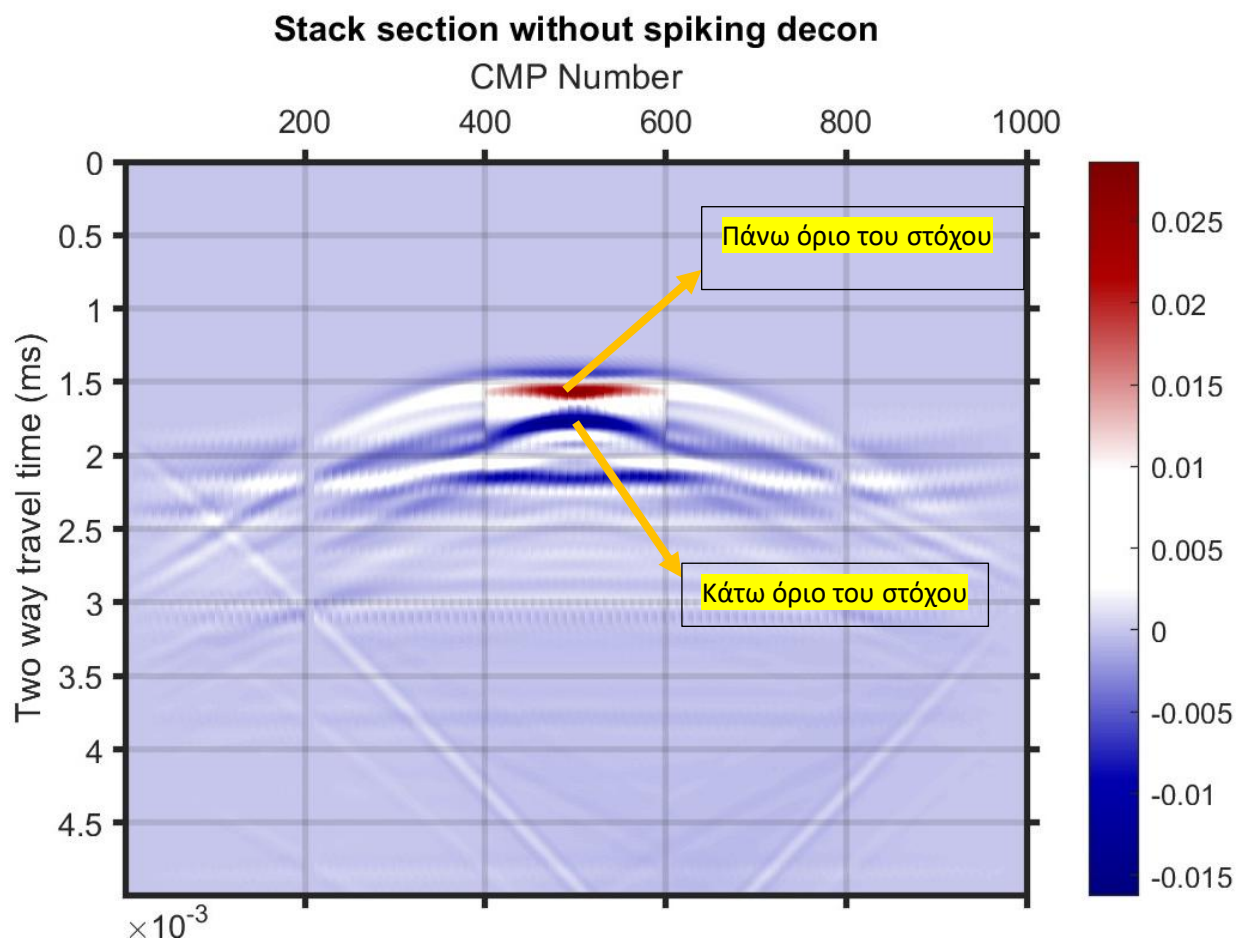
Βέβαια, εκτός από την τομή υπέρθεσης που πραγματοποιήθηκε προηγούμενος (εικόνα 5.35) η οποία απεικονίζει τον στόχο και τους ανακλαστήρες, δημιουργήθηκε νέα τομή υπέρθεσης έχοντας αφαιρέσει τον πάνω ανακλαστήρα, έτσι ώστε να είναι πιο εμφανής ο στόχος. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν είναι τα εξής:

```

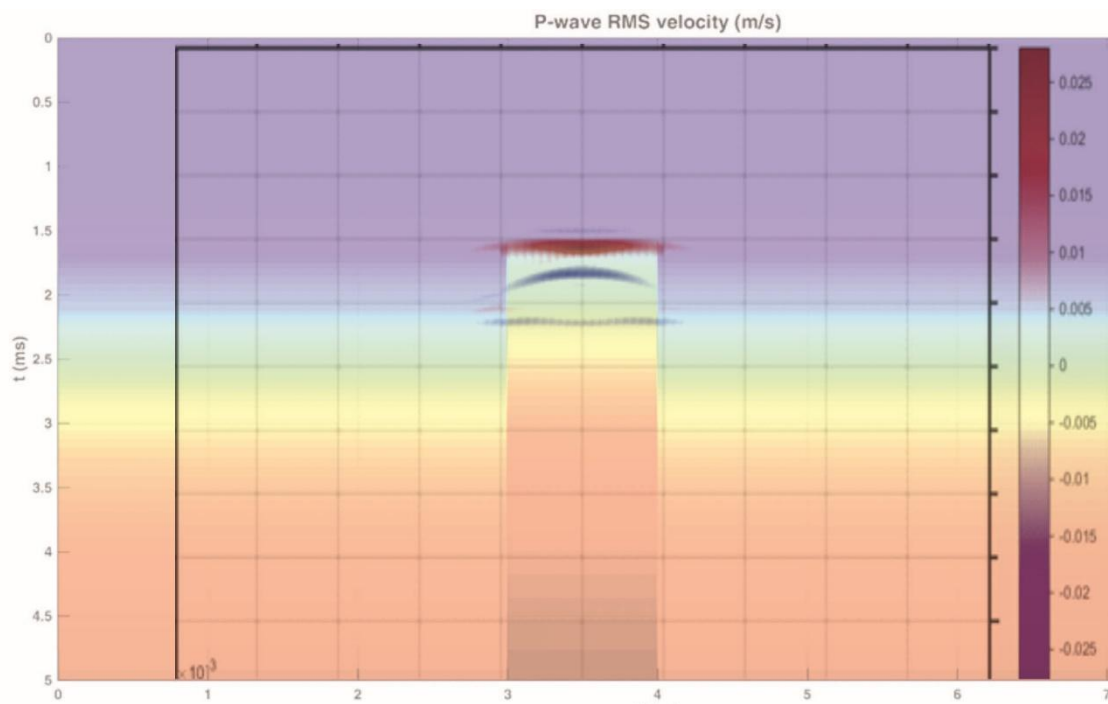
48 cnd=0;
49 tic
50 for jj=1:length(CMPNo)
51     cnd=cnd+1;
52
53     [cmpH,ttH,hhH,centCMPH,sumcmplocationH]=readsumCMPs(segycmpNo(200+cnd),neartraceoffset,cmpinterval);
54     hhH=hhH/1000;
55
56     [cmp,tt,hh,centCMP,sumcmplocation]=readsumCMPs(segycmpNo(jj),neartraceoffset,cmpinterval);
57     hh=hh/1000;
58
59     %Apply NMO correction with the given velocity
60
61     [cmpnmo,M,ti,vi] = NMOcorr(cmpH,dt,hhH,ttH',Vrmscut(:,200+cnd),max_stretch);%
62
63     [cmpnmo,M,ti,vi] = NMOcorr(cmp,dt,hh,tt',Vrmscut(:,jj),max_stretch);%
64
65     c=ismember(hhH,hh);
66     idx=find(c);
67
68     cmpS=cmpnmo-cmpnmoH(:,idx);
69
70
71     %Stacking
72     CMPstack1=sum(cmpS,2);%sum all CMP traces of NMO corrected (with the given velocity) CMP gather
73
74     et=et+1; if et==CMPstack1

```

Εικόνα 5.39: Κώδικας MATLAB για τομή υπέρθεσης χωρίς τον ανακλαστήρα πάνω από τον στόχο.



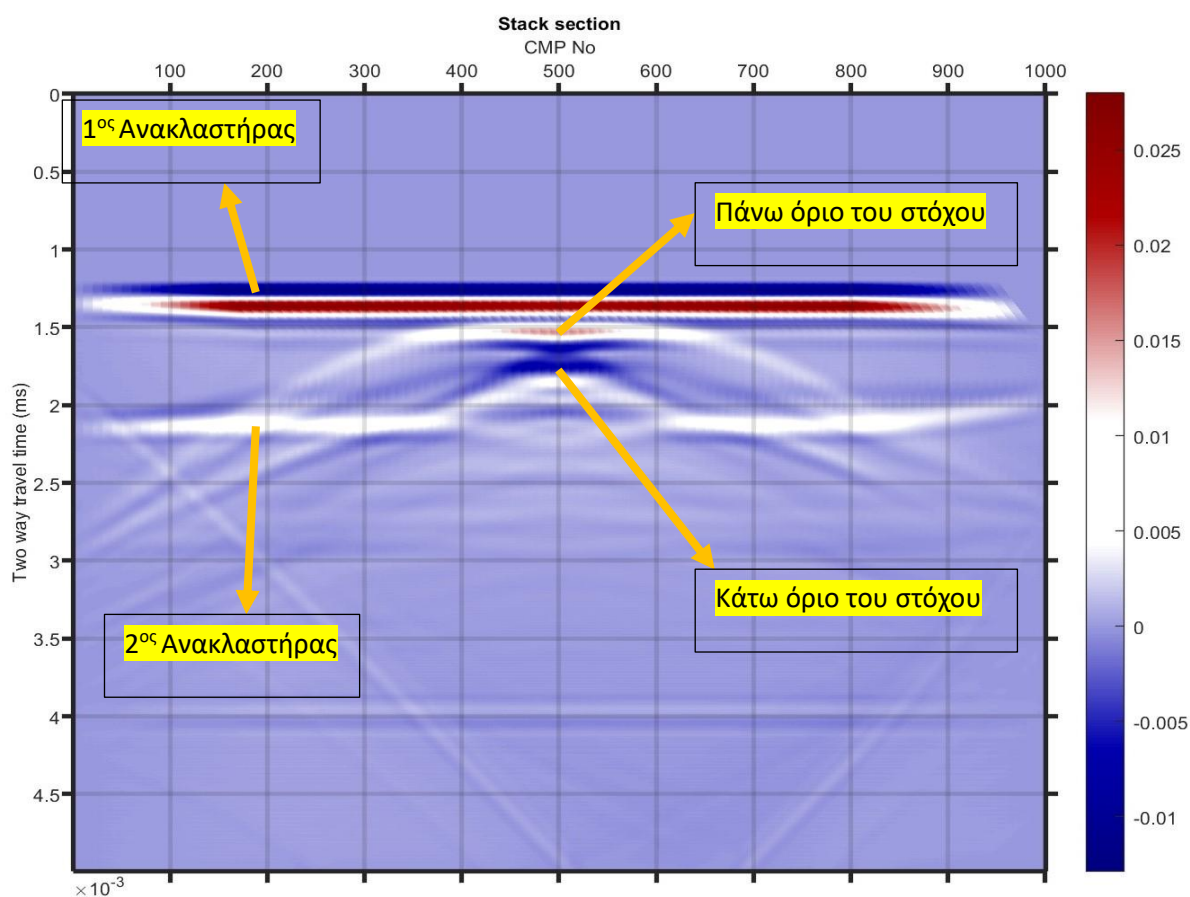
Εικόνα 5.40: Τομή υπέρθεσης έχοντας αφαιρεθεί ο ανακλαστήρας πάνω από τον στόχο



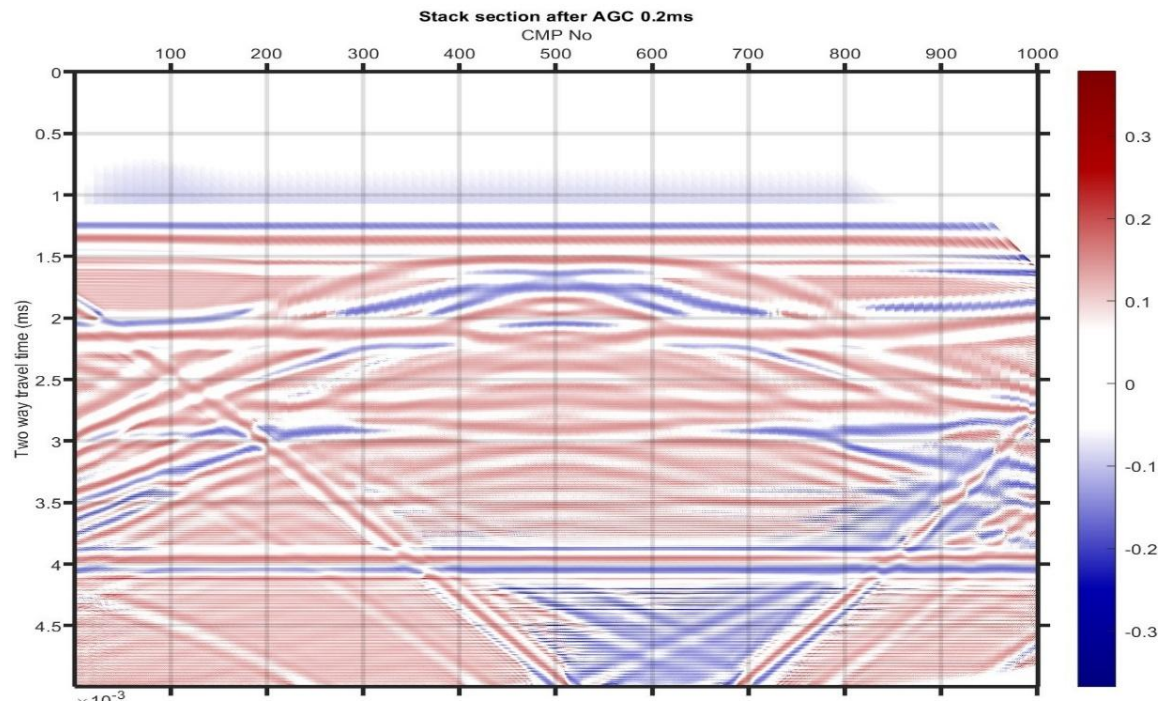
Εικόνα 5.41: Τομή έχοντας υπερθέσει τις εικόνες 5.40 και 5.26

5.5.2 Επεξεργασία με χρήση σταθερής ταχύτητας

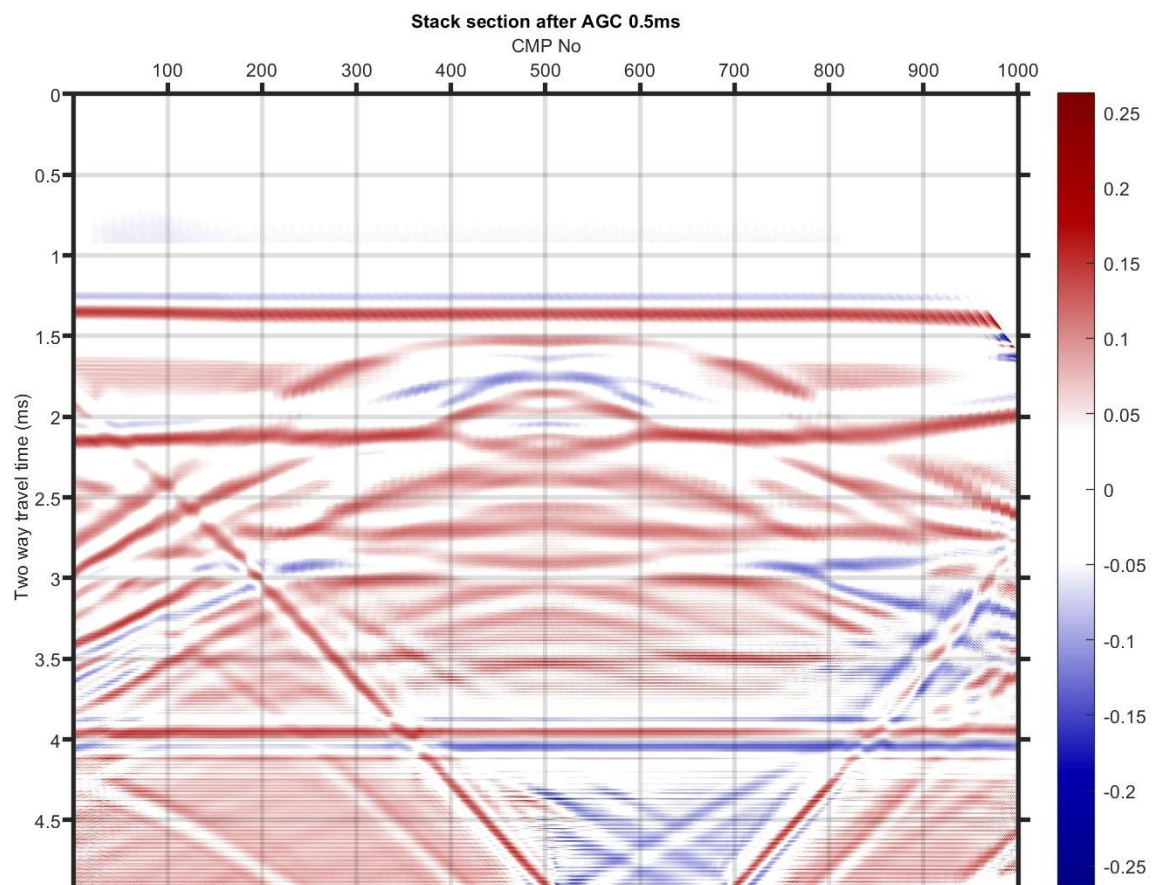
Με όμοιο τρόπο όπως πραγματοποιήθηκε και με τις ταχύτητες V_{rms} έτσι και με την σταθερή ταχύτητα των 1500 m/s η διαδικασία των stacking section και AGC Gain παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες.



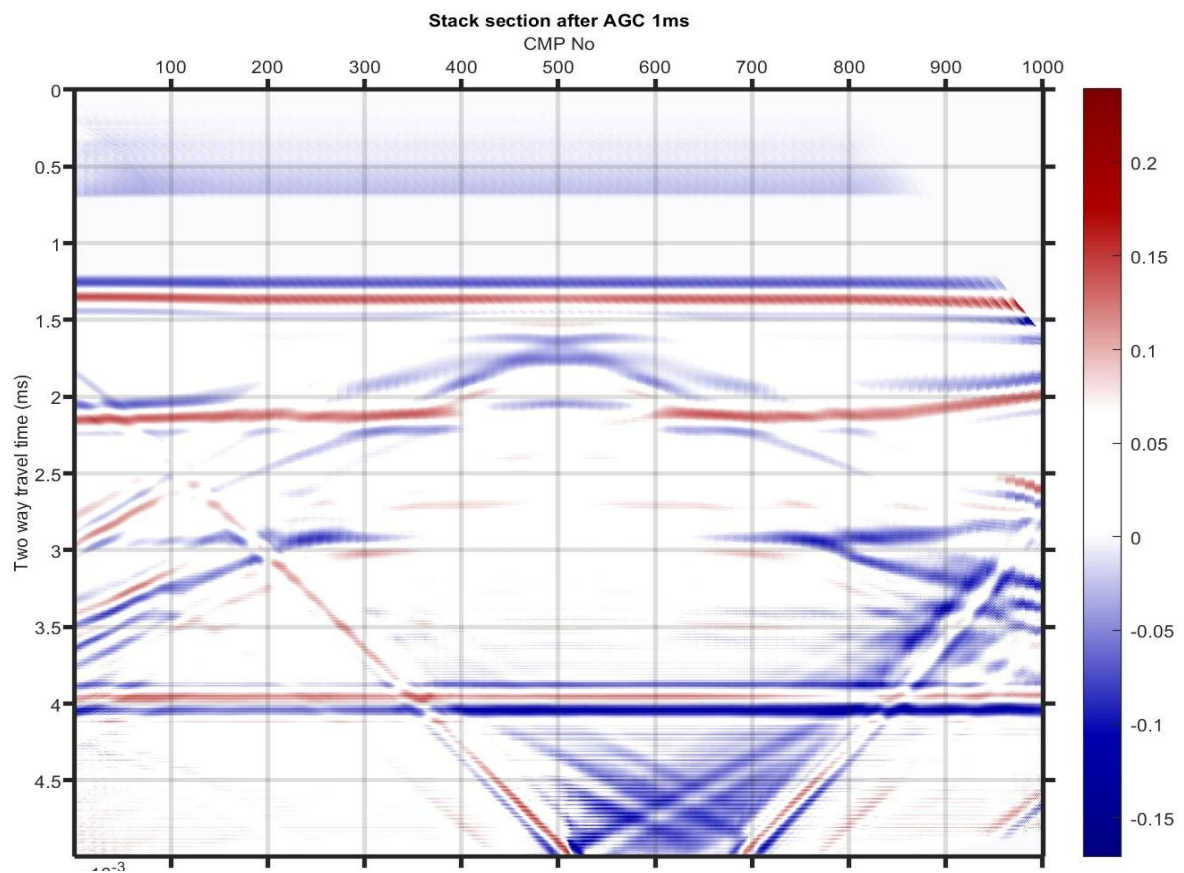
Εικόνα 5.42: Stacking section με σταθερή ταχύτητα 1500m/s.



Εικόνα 5.43: Stacking section με σταθερή ταχύτητα 1500m/s με ενίσχυση AGC με 0.2 ms.



Εικόνα 5.44: Stacking section με σταθερή ταχύτητα 1500m/s με ενίσχυση AGC με 0.5 ms.



Εικόνα 5.45: Stacking section με σταθερή ταχύτητα 1500m/s με ενίσχυση AGC με 1 ms.

Κεφάλαιο 6^ο – Συμπεράσματα

Για την διερεύνηση της απεικόνισης αρχαιολογικών και άλλων στόχων σε ρηχό και θαλάσσιο περιβάλλον με την χρήση σεισμικών μεθόδων, μελετήθηκε η χρησιμότητα της σεισμικής ανάκλασης. Σε προηγούμενη μελέτη εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι της σεισμικής διάθλασης και της ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων οι οποίες παρουσιάζουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα στην αναζήτηση των προαναφερθέντων στόχων, αλλά δεν ήταν δυνατή η λεπτομερής απεικόνιση των ορίων των στόχων [19].

Για αυτό τον σκοπό δημιουργήθηκαν συνθετικά δεδομένα για διαφορετικού μεγέθους στόχους θαμμένους ή όχι σε χαλαρά ιζήματα του πυθμένα. Στα πρωτογενή δεδομένα από την προσομοίωση πειράματος κοινής πηγής με την χρήση υψίσυχνης σεισμικής πηγής διακρίνονται ανακλώμενα κύματα τόσο από τους ανακλαστήρες όσο και από τους υπό μελέτη στόχους. Για επιλεγμένο σετ δεδομένων δημιουργήθηκαν σεισμικές τομές σταθερής απόστασης πηγής- δέκτη σύμφωνα με τις οποίες το σύστημα συλλογής θαλάσσιων σεισμικών δεδομένων το οποίο σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο του Southampton είναι κατάλληλο για την απεικόνιση αυτών των στόχων.

Προκειμένου να εκτιμηθούν οι διαστάσεις και το σχήμα του στόχου, εκτιμήθηκε η σεισμική ταχύτητα από τον χάρτη συνάφειας δεδομένων κοινού ενδιαμέσου σημείου. Με βάση το πεδίο ταχύτητας εφαρμόστηκε σε αυτά τα δεδομένα διόρθωση για την κανονική χρονική απόκλιση. Η σεισμική τομή υπέρθεσης για V_{rms} ταχύτητες είναι περισσότερο ακριβής έναντι της σεισμικής τομής για σταθερή ταχύτητα. Η ανάλυση ταχυτήτων μέσω του χάρτη συνάφειας δεν προτείνεται, καθώς θεωρήθηκε χρονοβόρα.

Συμπερασματικά, η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης προσδίδει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην εύρεση αρχαιολογικών στόχων σε ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική λύση ή σε συνδυασμό με τις μεθόδους της ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (MASW) και της σεισμικής διάθλασης τομογραφίας (SRT).

Εν κατακλείδι, προτείνεται να διερευνηθεί περαιτέρω η εφαρμογή της σεισμικής ανάκλασης με συνθετικά δεδομένα για μοντέλα με περισσότερους ανακλαστήρες, διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης κυμάτων ή ανακλαστήρες υπό κλίση ή ακόμα και με περισσότερους υπό μελέτη στόχους οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται και αυτοί υπό κλίση ή μπορεί να έχουν διαφορετικό μέγεθος.

Βιβλιογραφία:

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:

1. Brincker R, Lagö T, Andersen P, Ventura C. Improving the classical geophone sensor element by digital correction. In: IMAC-XXIII: A Conference & Exposition on Structural Dynamics. Society for Experimental Mechanics; 2005.
2. Gkionis P, Papatheodorou G, Geraga M. The benefits of 3D and 4D synthesis of marine geophysical datasets for analysis and visualisation of shipwrecks, and for interpretation of physical processes over shipwreck sites: a case study off Methoni, Greece. *Marine Science and Engineering*. Patras, Greece; 2021 Nov 12.
3. Grøn O, Boldreel L O, Cvikel D, Kahanov Y, Galili E, Hermand J-P, Nævestad D, Reitan M. Detection and mapping of shipwrecks embedded in sea-floor sediments. *J Archaeol Sci: Reports*. 2015; 4:242-51.
4. Gutowski J M, Bull J K, Dix T J, Henstock P, Hogarth T, Hiller T G, Leighton T G, White P R. 3D high-resolution acoustic imaging of the sub-seabed. *Appl Acoust*. 2006;63(3):262-71.
5. Gutowski M, Bull J, Henstock T, Dix J, Hogarth P, Leighton T, White P. Chirp sub-bottom profiler source signature design and field testing. *Marine Geophysical Research*. 2002;23.
6. Henkart P. Chirp sub-Bottom Profiler Processing - A review. California: Scripps Institution of Oceanography; 2006.
7. Kim SB, Park HL. Optimizing source wavelets extracted from the Chirp sub-bottom profiler using an adaptive filter with machine learning. *J Mar Sci Eng*. 2022;10(4):449.
8. Mosher D, Simpkin P. Status and trends of marine high-resolution seismic reflection profiling: Data acquisition. *Environmental Marine Geoscience*. Geoscience Canada. 1999;26(4):174-188.
9. Muir TG, Bradley DL. Underwater acoustics: A brief historical overview through World War II. *J Acoust Soc Am*. 2016;12(3):1-9.
10. Passaro S, Budillon F, Ruggieri S, Bilotti G, Cipriani M, Di Maio R, D'Isanto C, Giordano F, Leggieri C, Marsella E, Soldovieri M. Integrated geophysical investigation applied to the definition of buried and outcropping targets of archaeological relevance in very shallow water. *Il Quaternario - Italian Journal of Quaternary Sciences*. 2009;22(1):33-38.
11. Plets RMK, Dix JK, Best AI. Mapping of the Buried Yarmouth Roads Wreck, Isle of Wight, UK, using a Chirp Sub-Bottom Profiler. *Int J Nautical Archaeol*. 2008;37(2):360-73.
12. Plets RMK, Dix JK, Adams JR, Bull JM, Henstock TJ, Gutowski M, Best AI. The use of a high-resolution 3D Chirp sub-bottom profiler for the reconstruction of the shallow water archaeological site of the Grace Dieu (1439), River Hamble, UK. *Archaeological Science*. 2009; 36(2): 408-418.
13. Saheban H, Kordrostami Z. Hydrophones, fundamental features, design considerations, and various structures: A review. *Sensors and Actuators*. 2021.
14. Stein S, Wyssession M. An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure. Oxford: Blackwell Publishing; 2003. 498 p.

15. Wilken D, Wunderlich T, Hollmann H, Schwardt M, Rabbel W, Mohr C, Schulte-Kortnack D, Nakoinz O, Enzmann J, Jürgens F, Wilkes F. Imaging a medieval shipwreck with the new PingPong 3D marine reflection seismic system. *Archaeol Prospect*. 2019;26(3):211-23.

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία:

16. Βαφείδης Α. Εφαρμοσμένη γεωφυσική Ι – Σεισμικές μέθοδοι. Διαλέξεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Πολυτεχνείο Κρήτης; 2021.
17. Kanellopoulos I. Επεξεργασία δεδομένων σεισμικής ανάκλασης ακουστικού συστήματος CHIRP στη θάλασσα Chukchi βορειοδυτικά της Αλάσκας [Διπλωματική εργασία]. Χανιά: 2021.
18. Κουή Μ, Χειλάκου Ε, Θεοδωρακάς Π, Δράτσα Β, Αβδελίδης Ν. Μη καταστρεπτικές και φασματοσκοπικές μέθοδοι εξέτασης των υλικών. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών; 2015.
19. Μαρκασιώτη Μπίλιω-Πελαγία. Απεικόνιση ρηχών υπεδάφειων δομών σε θαλάσσιο περιβάλλον με την μέθοδο πολυκαναλικής ανάλυσης επιφανειακών σεισμικών κυμάτων [διπλωματική διατριβή στο Διαδίκτυο]. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης; 2024 Μάρτιος [πρόσβαση από: Αποθετήριο Πολυτεχνείου Κρήτης].

Πηγές από το διαδίκτυο:

20. Βαφείδης Α. Σεισμικές Μέθοδοι - Θεωρία και Τεχνικές στην εξερεύνηση του υπεδάφους. Αθήνα: Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις; 2023. Διαθέσιμο από: <http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-172>
21. Bianco E. G is for gather. Agile Scientific Blog. 2011 Sep 14. Available from: <https://agilescientific.com/blog/2011/9/14/g-is-for-gather.html>
22. Buchanan C. Seismic survey vessel [Internet]. USA: Content Graphics; 2016. Available from: <http://www.contentgraphics.com/category/>.
23. Chaubey A. Seismic reflection and refraction methods [Internet]. 2007. Available from: http://drs.nio.org/drs/bitstream/handle/2264/749/Refresher_Course_Mar_Geol_Geophysics_2007_Lecture_Notes_214.pdf?sequence=2
24. INNOMAR Technologie GmbH. Applications/User benefits [Internet]. Available from: <https://www.innomar.com/applications.php>.

Κατάλογος Σχημάτων :

Σχήμα 1.1: Πορεία των διαφόρων κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα φαίνονται τα απευθείας κύματα (Direct Waves) , τα ανακλώμενα (reflected), καθώς επίσης και τα διαθλώμενα κύματα (Head Waves) [14].	8
Σχήμα 1.2: Παράδειγμα ανακλάσεων σεισμικών ακτινών σε διαχωριστικές επιφάνειες γεωλογικών σχηματισμών [14].	8
Σχήμα 1.3: Διάφοροι τύποι υδροφώνων [13].....	11
Σχήμα 1.4: Παράδειγμα διασκόπησης με την μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης	13
Σχήμα 2.1: Ενδεικτικά βήματα πλήρους επεξεργασίας δεδομένων με τη μέθοδο chirp Sub-Bottom Profiler [4].....	15
Σχήμα 2.2: Σήμα πηγής Chirp	16

Κατάλογος Εικόνων:

Εικόνα 3.1: Η θέση του ναυαγίου Άκκο 4 σε σχέση με το παλιό οχυρό Άκκο. Οι γραμμές έρευνας εμφανίζονται στα δεξιά. Οι γραμμές που δείχνουν την ύπαρξη ναυαγίου σημειώνονται με κίτρινο χρώμα. Το ίδιο το ναυάγιο εμφανίζεται ως μπλε οβάλ [3].	19
Εικόνα 3.2: Αποτελέσματα της γραμμής έρευνας με κατεύθυνση ανατολή-δύση του ναυαγίου Akko 4, που δείχνει ότι είναι ένα στοιχείο πλάτους περίπου 7 m ενσωματωμένο σχεδόν 2 m στον πυθμένα της θάλασσας. Μια ανωμαλία που μπορεί να παρατηρηθεί στα δεξιά σε αυτό το τμήμα μπορεί να είναι ένα άλλο ναυάγιο ή ένα θραύσμα του Akko 4. Επιπλέον, στην πάνω δεξιά γωνία απεικονίζονται οι γραμμές έρευνας γύρω από το Akko 4 [3].	20
Εικόνα 3.3: Αποτελέσματα από την γραμμή έρευνας με κατεύθυνση δυτικά/βορειοδυτικά-ανατολικά/νοτιοανατολικά. Επάνω δεξιά γωνία είναι οι γραμμές έρευνας γύρω από το Akko 4 [3].....	20
Εικόνα 3.4: Αποτελέσματα των διαδικασιών ανάλυσης στο Lundeborg της Δανίας όπου είναι εμφανή η παρουσία ανωμαλίας και η οποία αντιπροσωπεύει το 1 ^ο ναυάγιο[5].....	21
Εικόνα 3.5: Γραμμές έρευνας από μια πειραματική χαρτογράφηση του Wreck 1 Lundeborg (μπλε διπλός κύκλος), για την οποία ήταν γνωστή μόνο μια κατά προσέγγιση θέση. Παρατηρήθηκαν δύο άλλα χαρακτηριστικά ναυαγίου (μπλε μονοί κύκλοι). Το πιο δυτικό είναι πιθανότατα το Wreck 2 Lundeborg, το οποίο αντιπροσωπεύει το ένα μισό άλλου μεσαιωνικού πλοίου, το άλλο μπορεί να αντιπροσωπεύει το «χαμένο» μισό του Wreck 2 ή ένα τρίτο ναυάγιο[5].	22
Εικόνα 3.6: Συχοιχία μεθόδου Chirp που χρησιμοποιήθηκε σε λιμάνι του Southampton [4].	23
Εικόνα 3.7: Στην παρούσα εικόνα παρουσιάζεται: α) Το ρυμουλκούμενο μέσο με την συστοιχία,β) Η συστοιχία εν ώρα έρευνας [4].....	24
Εικόνα 3.8: Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η γραμμή Μελέτης στο λιμάνι του Southampton πάνω από τον στόχο [4].	24
Εικόνα 3.9: Η παραπάνω εικόνα απεικονίζει την γεωμετρία του φράγματος αλλά και τον τρόπο εναπόθεσης αυτού στην τάφρο [4].....	25

Εικόνα 3.10: Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μέσω της μεθόδου chirp. Πιο συγκεκριμένα είναι ορατό το φράγμα (Coffer-Dam) το οποίο είναι θαμμένο στην τάφρο [4].	25
Εικόνα 3.11: Σε αυτή την εικόνα απεικονίζονται οι θέσεις των ναυαγίων [2].	27
Εικόνα 3.12: Αποτελέσματα από την αναζήτηση του πρώτου ναυαγίου [2].	27
Εικόνα 3.13: Θέση τοποθεσίας ναυαγίου [11].	28
Εικόνα 3.14: Γραμμές έρευνας ολόκληρες και διακεκομμένες [11].	29
Εικόνα 3.15: Ο εξοπλισμός της έρευνας πλάγια και κάτω όψη [11].	29
Εικόνα 3.16: Σεισμική τομή που αποκτήθηκε με τη σάρωση 1: a) envelope correlated data. b) raw correlated data. c) σεισμική ερμηνεία. (d-f) Σεισμική τομή που αποκτήθηκε με τη σάρωση 2: d) envelope correlated data. e) raw correlated data. f) σεισμική ερμηνεία [11].	30
Εικόνα 3.17: Λεπτομερής σεισμική τομή που αποκτήθηκε με τη σάρωση 1, που δείχνει έναν φωτεινό ανακλαστήρα εντός της περιοχής του ναυαγίου [11].	30
Εικόνα 3.18: Περιοχή Μελέτη [15].	32
Εικόνα 3.19: Απεικόνιση του συστήματος και της διάταξης της μεθόδου Ping-Pong [15].	32
Εικόνα 3.20: Οι γραμμές ανίχνευσης [15].	33
Εικόνα 3.21: Αποτελέσματα στα οποία φαίνεται η ύπαρξη ανωμαλίας και πιο συγκεκριμένα του ναυαγίου και τα οποία ελήφθησαν από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε κατευθύνσεις βορρά-Νότου και ανατολής δύσης [15].	33
Εικόνα 3.22: Φωτογραφία δύτη καταγράφοντας την προεξοχή ενός μέρους του ναυαγίου [15].	34
Εικόνα 3.23: Ανωμαλίες οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε αρχαιολογικά ευρήματα [10].	35
Εικόνα 3.24: Ενδεικτικά στην παραπάνω εικόνα φαίνονται τα χαρακτηριστικά της κάθε γεωφυσικής μελέτης που χρησιμοποιήθηκε καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μίας [10].	35
Εικόνα 3.25: α) Θέση της τοποθεσίας του ναυαγίου και β) δημοσιευμένο σχέδιο τοποθεσίας [12].	36
Εικόνα 3.26: Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται : a) Το κυματίδιο που εκπέμπεται, b) φάσμα ισχύος παλμού, c) Κυματίδιο Klauder d) Φασματογράφημα που δείχνει συνάρτηση γραμμικής συχνότητας [12].	37
Εικόνα 3.27: Γραμμή σάρωσης που ακολουθήθηκε για τη συγκεκριμένη μέθοδο [12].	37
Εικόνα 3.28: Ενδεικτικά αποτελέσματα της μεθόδου chirp και απεικόνιση του ναυαγίου [12].	38
Εικόνα 3.29: Τρισδιάστατη απεικόνιση μέρους του Grace Dieu με την βοήθεια του λογισμικού Shipshape [12].	38
Εικόνα 4.1: Το αρχικό Menu του προγράμματος reflexW.	39
Εικόνα 4.2: Επιλογή αρχείου προς επεξεργασία.	41
Εικόνα 4.3: Εμφάνιση παραθύρου έπειτα από την επιλογή modeling.	40
Εικόνα 4.4: Δημιουργία γεωμετρίας του μοντέλου.	41
Εικόνα 4.5: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των γεωμετρίας της προσομοίωσης.	42
Εικόνα 4.6: Μοντέλο δύο στρωμάτων όπου το πρώτο στρώμα βρίσκεται στα 0m με ταχύτητα 1500m/s και πυκνότητα 1g/cm ³ (θάλασσα) και το άλλο στο 1m με ταχύτητα 2500 m/s και πυκνότητα 1,7 g/cm ³ (άμμοι). Ο ανακλαστήρας εκτείνεται από τα 0-8m και έχει βάθος 1m.	43

Εικόνα 4.7: Συνθετικά δεδομένα για το μοντέλο της εικόνας (4.6). Ο άξονας X (distance) εκτείνεται από 0-8 m ενώ ο άξονας Z (time) από 0-5 ms και παραμένει ίδιο για όλα τα συνθετικά δεδομένα. Σε αυτή την περίπτωση η πηγή βρίσκεται στη θέση 4.5m.....	44
Εικόνα 4.8: Μοντέλο 2 στρωμάτων με παραμέτρους ίδιες με αυτές των εικόνων (4.5) και (4.6)	45
Εικόνα 4.9: Συνθετικά δεδομένα για το μοντέλο της εικόνας (4.8). Τα κόκκινα βέλη δείχνουν τα καταγεγραμμένα σεισμικά κύματα από την ανάκλαση του υπό μελέτη αντικειμένου ενώ, τα κίτρινα δείχνουν τον υπόλοιπο ανακλαστήρα. Επιπλέον, σε αυτή την περίπτωση η πηγή βρίσκεται ακριβώς πάνω από το αντικείμενο για αυτό και προκύπτει η παρούσα καταγραφή. Σε αυτή την περίπτωση η πηγή βρίσκεται στη θέση 3.5m.	45
Εικόνα 4.10: Μοντέλο με ίδιες παραμέτρους με αυτό της εικόνας (4.8) με την διαφορά ότι το αντικείμενο έχει μία κλίση προς τα αριστερά.	46
Εικόνα 4.11: Συνθετικά δεδομένα για το μοντέλο της εικόνας (4.8). Το κόκκινο βέλος δείχνει τα καταγεγραμμένα σεισμικά κύματα από την ανάκλαση του υπό μελέτη αντικειμένου ενώ, τα κίτρινα δείχνουν τον υπόλοιπο ανακλαστήρα.	46
Εικόνα 4.12: Μοντέλο με μεγαλύτερο στόχο και με μικρές παραλλαγές στις παραμέτρους.	47
Εικόνα 4.13: Το κίτρινο και το πράσινο βέλος στα άκρα των αποτελεσμάτων αναφέρονται στο στρώμα που βρίσκεται το αντικείμενο. Στο κόκκινο βέλος αντιστοιχεί το υπό μελέτη αντικείμενο. Παρατηρούνται επίσης πολλαπλές ανακλάσεις στο εσωτερικό του στόχου λόγω της ύπαρξης του κατώτερου επιπέδου (πράσινο βέλος στη μέση της εικόνας). Να σημειωθεί επιπλέον, ότι τα αποτελέσματα αλλάζουν με βάση τη θέση της πηγής. Σε αυτή την περίπτωση η πηγή βρίσκεται ακριβώς πάνω από το αντικείμενο (θέση 3,30m).	48
Εικόνα 4.14: Μοντέλο με δύο στόχους.....	48
Εικόνα 4.15: Συνθετικά δεδομένα με θέση της πηγής στα 3,4m.	49
Εικόνα 4.16: Στο κίτρινο βέλος αντιστοιχεί η σεισμική ανάκλαση του αντικειμένου που βρίσκεται στα δεξιά του μοντέλου. Επιπλέον, στο κόκκινο βέλος αντιστοιχεί η σεισμική ανάκλαση του στρώματος – Ανακλαστήρα και τέλος στο μπλε βέλος αντιστοιχούν λοιπές σεισμικές ανακλάσεις που λαμβάνουν χώρα στο μοντέλο. Πρέπει να επισημανθεί πως σε αυτή την περίπτωση η πηγή είναι πάνω από το αντικείμενο στα δεξιά του μοντέλου. Τέλος, η θέση της πηγής βρίσκεται στη θέση 4,5m.	49
Εικόνα 4.17: Συνθετικά δεδομένα με την πηγή να βρίσκεται στη θέση 2,7m.	50
Εικόνα 4.18: Μοντέλο με 3 ανακλαστήρες.	51
Εικόνα 4.19: Στο κόκκινο βέλος αντιστοιχεί ο τρίτος ανακλαστήρας και ο διπλός κατακόρυφος χρόνος είναι περίπου στα 2,3ms. Και στο κίτρινο βέλος αντιστοιχεί ο δεύτερος ανακλαστήρας και ο διπλός κατακόρυφος χρόνος είναι περίπου 1,4ms. Δεν πρέπει να παραληφθεί ότι η πηγή σε αυτήν την περίπτωση βρίσκεται περίπου στην μέση του μοντέλου (θέση 3,25m).	52
Εικόνα 4.20: Μοντέλο με στόχο μεταξύ 2 ^{ου} και 3 ^{ου} ανακλαστήρα.	52
Εικόνα 4.21: Σε αυτή την περίπτωση όπου η πηγή είναι περίπου πάνω από το αντικείμενο (θέση 3.4m), το κόκκινο βέλος αντιστοιχεί στον δεύτερο ανακλαστήρα, τα δύο κίτρινα βέλη αντιστοιχούν στον τρίτο ανακλαστήρα και το μαύρο και μπλε βέλος αντιστοιχεί στο πάνω και κάτω όριο αντίστοιχα του υπό μελέτη αντικειμένου. Επιπλέον, η συγκεκριμένη γεωμετρία στην συνέχεια της εργασίας θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή δευτερογενών δεδομένων.....	53
Εικόνα 4.22: Στην παραπάνω προσομοίωση του μοντέλου το αντικείμενο βρίσκεται μεταξύ του δεύτερου και τρίτου ανακλαστήρα με τις ίδιες ταχύτητες και πυκνότητες όπως και στο προηγούμενο μοντέλο της εικόνας (4.20).	53

Εικόνα 4.23: Εδώ, η θέση της πηγής βρίσκεται στα 4.15m και τα δύο κόκκινα βέλη αντιστοιχούν στον τρίτο ανακλαστήρα, το μπλε βέλος αντιστοιχεί στον δεύτερο και το κίτρινο βέλος στο πάνω όριο του αντικειμένου. Παρατηρείται όμως ότι το κάτω όριο του αντικειμένου δεν είναι ορατό. Αυτό, ίσως οφείλεται από την πολυπλοκότητα του μοντέλου ή από τον συνδυασμό του μεγάλου βάθους που βρίσκεται και την μικρή διαφορά της ταχύτητας διάδοσης κυμάτων μεταξύ του αντικειμένου και του τρίτου στρώματος.	54
Εικόνα 4.24: Μοντέλο με 2 στόχους μεταξύ των ανακλαστήρων.	54
Εικόνα 4.25: Αρχικά σε αυτή την περίπτωση η θέση της πηγής είναι στα 2.15m, τα δύο κίτρινα βέλη αναφέρονται στο δεύτερο ανακλαστήρα. Το κόκκινο και μπλε βέλος αντιστοιχεί στο πάνω και κάτω όριο του πρώτου αντικειμένου όπως αναγράφεται στο στη γεωμετρία του μοντέλου. Τέλος τα πράσινα βέλη αντιστοιχούν στο τρίτο στρώμα ενώ η συγκεκριμένη εικόνα αφορά τα δεδομένα με την πηγή να βρίσκεται πάνω από το πρώτο στόχο.	55
Εικόνα 4.26: Η θέση της πηγής μεταφέρθηκε προς τα δεξιά (θέση 4m) και λαμβάνεται το παραπάνω στιγμιότυπο. Εδώ, φαίνεται με κόκκινο βέλος το τρίτο στρώμα, με πράσινο το δεύτερο στρώμα, το κίτρινο βέλος ίσως αντιστοιχεί στον 1 ^ο στόχο και με μπλε βέλος αρχίζει να φαίνεται το αντικείμενο που βρίσκεται στο τρίτο ανακλαστήρα στα δεξιά.	55
Εικόνα 4.27: Η πηγή εδώ έχει μεταφερθεί στα δεξιά (θέση 5.2m) και με βάση αυτού του στιγμιότυπου με κόκκινο βέλος απεικονίζεται ο δεύτερος ανακλαστήρας, με το πράσινο βέλος απεικονίζεται ο τρίτος ανακλαστήρας και τέλος με κίτρινο βέλος απεικονίζεται το υπό μελέτη αντικείμενο που βρίσκεται στα δεξιά του μοντέλου.	56
 Εικόνα 5.1: Απεικόνιση παραδείγματος του Common-offset και common-Mid-Point όπου τα αστεράκια είναι οι πηγές και οι κύκλοι είναι οι δέκτες και τα βελάκια οι κατευθύνσεις των κυμάτων [14].	57
Εικόνα 5.2: Επιλεγμένο μοντέλο προς επεξεργασία	58
Εικόνα 5.3: Διαδικασία Combine files για CMPs.	58
Εικόνα 5.4: Σύμπτυξη όλων των συνθετικών δεδομένων.	59
Εικόνα 5.5: Απευθείας κύματα.	60
Εικόνα 5.6: Διαδικασία mix Profile	60
Εικόνα 5.7: Υπέρθεση των παραμέτρων από την εικόνα 5.6.	61
Εικόνα 5.8: Περιβάλλον MATLAB.	62
Εικόνα 5.9: Κώδικας για Common Shot gather.	62
Εικόνα 5.10: Δεδομένα από διάταξη κοινής πηγής στη θέση 2m.	63
Εικόνα 5.11: Δεδομένα από διάταξη κοινής πηγής στη θέση 3.5m.	64
Εικόνα 5.12: Κώδικας MATLAB.	65
Εικόνα 5.13: Δεδομένα CMP στη θέση 3,5m.	65
Εικόνα 5.14: Δεδομένα CMP στη θέση 2m.	65
Εικόνα 5.15: Κώδικας MATLAB.	67
Εικόνα 5.16: Απεικόνιση διάταξης με διαφορετικές σταθερές απόστασεις πηγή-δέκτη.	68
Εικόνα 5.17: Κώδικας για την ανάλυση ταχύτητας.	69
Εικόνα 5.18: Χάρτης συνάφειας με CMP στη θέση 2m, όπου στον άξονα X παρουσιάζονται οι ταχύτητες ενώ στον άξονα Y παρουσιάζεται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος.	69
Εικόνα 5.19: Χάρτης συνάφειας με CMP στη θέση 3,5m, όπου στον άξονα X παρουσιάζονται οι ταχύτητες ενώ στην άξονα Y παρουσιάζεται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος.	71
Εικόνα 5.20: Διόρθωση NMO για CMP στα 2 m.	72

Εικόνα 5.21: Διόρθωση NMO για CMP στα 3,5m.	73
Εικόνα 5.22: NMO correction με σταθερή ταχύτητα 1500m/s και θέση CMP στα 2m	74
Εικόνα 5.23: NMO correction με σταθερή ταχύτητα και θέση CMP στα 3.5 m.	75
Εικόνα 5.24: Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζονται οι ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα στρώματα. Βέβαια η συχνότητα της πηγής δεν είναι 3200Hz αλλά 4000Hz όπως και την έχουμε ορίσει.	76
Εικόνα 5.25: Με την βοήθεια του λογισμικού MATLAB υπολογίσθηκαν οι τμηματικές ταχύτητες V_{int} για τον προσδιορισμό των V_{rms} ταχυτήτων. Βέβαια, η συχνότητα του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι 3200Hz αλλά 4000 Hz.....	76
Εικόνα 5.26: Έπειτα από τον υπολογισμό των V_{int} υπολογίσθηκαν και οι V_{rms} ταχύτητες όπως παρουσιάζεται και παραπάνω.....	76
Εικόνα 5.27: Διόρθωση NMO με V_{rms} ταχύτητες στη θέση 2m.....	78
Εικόνα 5.28: Διόρθωση NMO με V_{rms} ταχύτητες στην θέση 3,5m.	79
Εικόνα 5.29: Κώδικας MATLAB που χρησιμοποιήθηκε για την αφαίρεση των εικόνων (5.27) και (5.28).	79
Εικόνα 5.30: Αφαίρεση διόρθωσης NMO στη θέση 3,5m με την θέση στα 2 m.....	80
Εικόνα 5.31: Αφαίρεση διόρθωσης NMO έως τα 2ms.	80
Εικόνα 5.32: Κώδικας MATLAB για την επεξεργασία Stacking	81
Εικόνα 5.33: Κώδικας MATLAB για την επεξεργασία Stacking.	82
Εικόνα 5.34: Κώδικας MATLAB για την επεξεργασία Stacking.	82
Εικόνα 5.35: Τομή υπέρθεσης.....	82
Εικόνα 5.36: Διεργασία AGC Gain με χρόνο ενίσχυσης σήματος 0.2ms.....	83
Εικόνα 5.37: Διεργασία AGC Gain με χρόνο ενίσχυσης σήματος 0.5ms.....	83
Εικόνα 5.38: Διεργασία AGC Gain με χρόνο ενίσχυσης σήματος 1ms.....	84
Εικόνα 5.39: Κώδικας MATLAB για τομή υπέρθεσης χωρίς τον ανακλαστήρα πάνω από τον στόχο.....	84
Εικόνα 5.40: Τομή υπέρθεσης έχοντας αφαιρεθεί ο ανακλαστήρας πάνω από τον στόχο ..	85
Εικόνα 5.41: Τομή έχοντας υπερθέσει τις εικόνες 5.40 και 5.26.....	85
Εικόνα 5.42: Stacking section με σταθερή ταχύτητα 1500m/s.....	86
Εικόνα 5.43: Stacking section με σταθερή ταχύτητα 1500m/s με ενίσχυση AGC με 0.2 ms..	87
Εικόνα 5.44: Stacking section με σταθερή ταχύτητα 1500m/s με ενίσχυση AGC με 0.5 ms..	87
Εικόνα 5.45: Stacking section με σταθερή ταχύτητα 1500m/s με ενίσχυση AGC με 1 ms.....	88

