



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΜΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



***«ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΙΟΝΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ»***

ΤΗΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ - ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ ΚΑΠΑΚΤΣΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, Καθηγητής, Π.Κ (επιβλέπων)

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

ΚΡΗΤΙΚΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Ε.ΔΙ.Π., Π.Κ.

Χανιά, Μάρτιος 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε στη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Αντώνιου Βαφείδη. Η συγκεκριμένη εργασία με τίτλο “ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΙΟΝΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ ” έχει ως κύριο σκοπό τη σχεδίαση πειράματος σεισμικής ανάκλασης για την αναζήτηση κοιτασμάτων υδρογοναθράκων στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

Στην ολοκλήρωση της εργασίας σημαντικό ρόλο έπαιξε ο επιβλέπων Καθηγητής, Βαφείδης Αντώνιος, ο οποίος με την καθοδήγησή του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του διευκόλυνε το ξεπέρασμα όλων των δυσκολιών που παρουσιάστηκαν. Για τη συμβολή του, αλλά και για την αμέριστη συμπαράσταση του τον ευχαριστώ θερμά.

Ειδικότερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον βοηθό του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, δρ. Κρητικάκη Γεώργιο για την συνεχή παρακολούθηση της εξέλιξης της εργασίας καθώς και για τις εύστοχες παρατηρήσεις του και την αμέριστη βοήθεια του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα επίσης να εκφράσω προς τον Καθ. κ. Παντελή Σουπιό για την αποδοχή αξιολόγησης της παρούσας εργασίας και την τιμή που μου έκανε ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για όλη την υποστήριξη που είχα τόσα χρόνια κατά την παραμονή μου στα Χανιά, όπως επίσης τους φίλους μου αλλά και τους ανθρώπους που βρέθηκαν κοντά μου και με οδήγησαν σ’ αυτό που έχω φτάσει σήμερα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας σχετίζεται με την επεξεργασία των συνθετικών σεισμικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης για την περιοχή του Β. Ιονίου πελάγους. Προκειμένου να δημιουργηθούν συνθετικά σεισμικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος προσομοίωσης διάδοσης σεισμικών κυμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να σχεδιασθεί το πείραμα σεισμικής ανάκλασης στη συγκεκριμένη περιοχή δημιουργήθηκαν συνθετικά δεδομένα από λογισμικό σε περιβάλλον της Matlab. Τα δεδομένα, τα οποία προκύπτουν από αυτή την διαδικασία είναι ταξινομημένα σε διάταξη κοινής πηγής.

Στο επόμενο στάδιο τα συνθετικά δεδομένα κοινής πηγής ταξινομούνται σε δεδομένα κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP) και ακολουθεί η διαδικασία της δυναμικής διόρθωσης (NMO). Ο κύριος σκοπός της είναι η αφαίρεση χρόνου από τον χρόνο διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων, ο οποίος στην ουσία είναι ίσος με την κανονική χρονική απόκλιση. Πιο συγκεκριμένα με αυτή την διαδικασία απαλλάσσεται το ανακλώμενο κύμα από τον επιπλέον χρόνο που αυτό χρειάζεται για να διαδοθεί, καθώς η απόσταση πηγής - υδροφώνου αλλάζει συνεχώς.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η διαδικασία της σεισμικής υπέρθεσης. Κατά την διάρκεια αυτού του σταδίου αθροίζονται όλα τα σειсмоγράμματα της διάταξης του κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP). Αυτή η διαδικασία της άθροισης έχει ως αποτέλεσμα να ενισχυθούν τα πλάτη των ανακλώμενων κυμάτων, όπως επίσης να ενισχυθεί το σήμα των σεισμικών ανακλάσεων και να μειωθεί ο τυχαίος θόρυβος.

Το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων επικεντρώνεται στην διαδικασία της σεισμικής χωροθέτησης. Με αυτή την διαδικασία εξασφαλίζεται κατά κύριο λόγο η ανακατασκευή των ανακλαστήρων, καθώς και η σωστή τοποθέτησή τους.

Στο τελικό στάδιο της επεξεργασίας πραγματοποιήθηκε η χωροθέτηση κατά Kirchhoff σε δεδομένα κοινής πηγής πριν την υπέρθεση. Στο πρώτο μέρος της διεργασίας χωροθετήθηκαν τα δεδομένα κοινής πηγής για κάθε πηγή ξεχωριστά και στη συνέχεια έπρεπε να αθροιστούν τα χωροθετημένα δεδομένα από όλες τις πηγές προκειμένου να οδηγήσουν στην διαμόρφωση της χωροθετημένης σεισμικής τομής. Έτσι λοιπόν, προκειμένου να πραγματοποιηθεί όλη αυτή η διαδικασία δημιουργήθηκε ο κατάλληλος αλγόριθμος στο περιβάλλον της Matlab. Αυτό που προκύπτει τελικά

είναι οι χωροθετημένες τομές με την μέθοδο επεξεργασίας της χωροθέτησης κατά Kirchhoff.

Έπειτα από όλη αυτή την επεξεργασία που ακολουθήθηκε πρόεκυψαν κάποια συμπεράσματα για την περιοχή του ενδιαφέροντος. Το κύριο συμπέρασμα είναι πως η σεισμική τομή της χωροθέτησης αναδεικνύει με καλύτερο τρόπο τους κύριους ανακλαστήρες του μοντέλου σε σχέση με τη σεισμική τομή της υπέρθεσης, στην οποία εμφανίζονται αρκετές πολλαπλές ανακλάσεις. Επιπλέον, προκύπτει ότι η μέθοδος χωροθέτησης κατά Kirchhoff πριν από την υπέρθεση αποτελεί την πλέον κατάλληλη μέθοδο για την ανάδειξη των κύριων ανακλαστήρων. Τέλος, παρουσιάζονται διάφορες προτάσεις για την περαιτέρω μελέτη και επεξεργασία του μοντέλου με σκοπό την καλύτερη και πιο λεπτομερή ανάλυση της περιοχής μελέτης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	1
1.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ	1
1.3 ΤΥΠΟΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	3
1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	7
1.5 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ	
ΚΥΜΑΤΩΝ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	19
3.1 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ (NMO)	19
3.2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΥΠΕΡΘΕΣΗ (STACKING)	21
3.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ (MIGRATION).....	22
3.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	22
3.3.2 Χωροθέτηση Kirchhoff (Kirchhoff migration)	23
3.3.3 Matlab κώδικας για τη σεισμική χωροθέτηση κατά Kirchhoff πριν	
την υπέρθεση.....	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	
ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	32
4.1 ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	32
4.2 ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	
ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ	35
4.3 ΧΩΡΟΘΕΤΗΜΕΝΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΗ	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	57
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	57
5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ	
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	57
5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.3.1: Απεικόνιση των επιφανειακών και των κυμάτων χώρου (πηγή: διαδικτυο).

Σχήμα 1.3.2: Απεικόνιση των εγκάρσιων και των διαμηκών κυμάτων (πηγή: διαδικτυο).

Σχήμα 1.3.3: Απεικόνιση των κυμάτων love (πηγή: διαδικτυο).

Σχήμα 1.3.4: Απεικόνιση των κυμάτων Rayleigh (πηγή: διαδικτυο).

Σχήμα 1.4.1: Γραφική απεικόνιση της σεισμικής ανάκλασης (πηγή: διαδικτυο).

Σχήμα 1.5.1: Σχηματική απεικόνιση διαφόρων διατάξεων πηγής-δέκτη.

Σχήμα 1.5.2.: Σχηματική απεικόνιση αναδιάταξης καταγραφής κοινής πηγής (α) σε καταγραφή κοινού ενδιαμέσου σημείου (β) (πηγή: διαδικτυο).

Σχήμα 2.1: Διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP). (α) Σχηματική αναπαράσταση της απόκτησης των σεισμικών δεδομένων ανάκλασης με την διάταξη κοινής πηγής (β) Ζεύγη πηγών - γεωφώνων στα οποία καταγράφεται ανάκλαση από το ίδιο κοινό σημείο βάθους (CDP) (Sodbinow, 1989).

Σχήμα 3.1.1: Διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου CMP. Σεισμογράμματα πριν και μετά την δυναμική διόρθωση NMO.

Σχήμα 3.2.1.: Απεικόνιση δυναμικά διορθωμένων (NMO) σεισμικών δεδομένων έπειτα από την διαδικασία της υπέρθεσης (stacking).

Σχήμα 3.3.2.1: Επιρροή της παραμέτρου της κλίσης ανακλαστήρα στην απόκριση της χωροθέτησης σημειακού ανακλαστήρα κατά Kirchhoff. Η ιδεατή απόκριση είναι ημικύκλιο και παρατηρείται για κλίση μικρότερη των 8 ms/trace (Yilmaz, 1987).

Σχήμα 3.3.2.2: (α) Τομή βάθους (β) Τομή υπέρθεσης. Ο ανακλαστήρας C'D' όταν χωροθετείται εμφανίζεται πιο ρηχά, με μεγαλύτερη κλίση και με μικρότερο μήκος (Chun and Jacewitz, 1981).

Σχήμα 3.3.2.3: Διάγραμμα της διαδικασίας της χωροθέτησης μετά από την υπέρθεση.

Σχήμα 3.3.2.4: Διάγραμμα της διαδικασίας της χωροθέτησης πριν από την υπέρθεση με χρήση της εξίσωσης DSR.

Σχήμα 3.3.2.5: Διάγραμμα ροής για την δημιουργία της χωροθετημένης σεισμικής τομής.

Σχήμα 4.1.1: Σχηματική απεικόνιση της περιοχής μελέτης, (Casero, 2004).

Σχήμα 4.2.1: Διάγραμμα οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)

Σχήμα 4.2.2: Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου (Casero, 2004).

Σχήμα 4.2.3: Σχηματική απεικόνιση της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας για το μοντέλο του σχήματος 4.2.2.

Σχήμα 4.2.4: Σχηματική απεικόνιση των ιχνών CMPs στα 11000m πριν την δυναμικά διόρθωση (NMO).

Σχήμα 4.2.5: Σχηματική απεικόνιση των ιχνών CMPs στα 11000m μετά την δυναμικά διόρθωση (NMO).

Σχήμα 4.2.6: Σεισμική τομή σταθερής απόστασης πηγής -δέκτη (0 m) για την συνιστώσα Vx. Οι άξονες στο διάγραμμα είναι time (ms) – source_position (m).

Σχήμα 4.2.7: Σεισμική τομή σταθερής απόστασης πηγής -δέκτη (50 m) για την συνιστώσα Vx. Οι άξονες στο διάγραμμα είναι time (ms) – source_position (m).

Σχήμα 4.2.8: Σεισμική τομή σταθερής απόστασης πηγής -δέκτη (0 m) για την συνιστώσα Vz. Οι άξονες στο διάγραμμα είναι time (ms) – source_position (m). (1^{ος} ανακλαστήρας με κίτρινο χρώμα, 2^{ος} ανακλαστήρας με πράσινο χρώμα, 3^{ος} ανακλαστήρας με μωβ χρώμα).

Σχήμα 4.2.9: Σεισμική τομή σταθερής απόστασης πηγής -δέκτη (50 m) για την συνιστώσα Vz. Οι άξονες στο διάγραμμα είναι time (ms) – source_position (m). (1^{ος} ανακλαστήρας με κίτρινο χρώμα, 2^{ος} ανακλαστήρας με πράσινο χρώμα, 3^{ος} ανακλαστήρας με μωβ χρώμα).

Σχήμα 4.2.10: Απεικόνιση των κυμάτων CMPs σε σχέση με την υπεδιαφική κάλυψη (fold).

Σχήμα 4.2.11: Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου της σεισμικής υπέρθεσης των κυμάτων (1^{ος} ανακλαστήρας με κόκκινο χρώμα, 2^{ος} ανακλαστήρας με μπορντό χρώμα, 3^{ος} ανακλαστήρας με γκρι χρώμα).

Σχήμα 4.2.12: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση.

Σχήμα 4.3.1: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 5000m.

Σχήμα 4.3.2: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 7400m.

Σχήμα 4.3.3: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 8600m.

Σχήμα 4.3.4: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 9800m.

Σχήμα 4.3.5: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 11600m.

Σχήμα 4.3.6: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 13400m.

Σχήμα 4.3.7: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 15200m.

Σχήμα 4.3.8: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 17000m.

Σχήμα 4.3.9: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 18200m.

Σχήμα 4.3.10: Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 19400m.

Σχήμα 4.3.11: Σχηματική απεικόνιση της χωροθέτησης του Kirchhoff (1^{ος} ανακλαστήρας με μωβ χρώμα, 2^{ος} ανακλαστήρας με πορτοκαλί χρώμα, 3^{ος} ανακλαστήρας με μπλε χρώμα).

Σχήμα 4.3.12: Σχηματική απεικόνιση της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας (πιο συγκεκριμένα απεικονίζεται το τμήμα εκείνο της τομής που αφορά κυρίως για τη σύγκριση των τομών).

Σχήμα 4.3.13: Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου της σεισμικής υπέρθεσης των κυμάτων.

Σχήμα 4.3.14: Σχηματική απεικόνιση της χωροθέτησης του Kirchhoff.

Σχήμα 4.3.15: Απεικόνιση του 2_{ov} και του 3_{ov} ανακλαστήρα από τη σεισμική τομή της χωροθέτησης του Kirchhoff.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ταχύτητα διαμηκών κυμάτων, εγκάρσια ταχύτητα εγκάρσιων κυμάτων και πυκνότητα για κάθε στρώμα.

Πίνακας 2: Απεικόνιση των αρχικών παραμέτρων του μοντέλου.

Πίνακας 3: Απεικόνιση των παραμέτρων του πρώτου στρώματος (τεταρτογενή – νεογενή).

Πίνακας 4: Απεικόνιση παραμέτρων για τις πηγές.

Πίνακας 5: Απεικόνιση παραμέτρων για τα υδρόφωνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Στις μέρες μας οι γεωφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρέως και σε πολλούς τομείς, μερικοί από τους οποίους αναφέρονται παρακάτω:

- Ανεύρεση παγίδων φυσικού αερίου ή πετρελαίου.
- Μεταλλευτική έρευνα.
- Προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους σε γεωτεχνικά έργα.
- Αναζήτηση γεωθερμικών πεδίων, υδροφόρων οριζόντων κτλ.

Επίσης, οι γεωφυσικές μέθοδοι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και για την δημιουργία χαρτών των θαμμένων αρχαιολογικών δομών.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες - μεθόδους:

- Ηλεκτρικές
- Ηλεκτρομαγνητικές
- Μαγνητικές
- Βαρυτικές
- Σεισμικές

1.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Οι σεισμικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο με σκοπό να επιλύσουν διάφορα προβλήματα της σύγχρονης εποχής, όπως την αντιμετώπιση του σεισμικού κινδύνου και το ενεργειακό πρόβλημα, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την αναζήτηση εκμεταλλεύσιμων ταμιευτήρων υδρογονανθράκων.

Οι μέθοδοι αυτές παρέχουν διάφορες πληροφορίες για τις σεισμικές ταχύτητες, καθώς και για την στρωματογραφία του φλοιού της Γης. Χαρακτηριστικά αξίζει να αναφερθεί πως για την εκτίμηση του πάχους του φλοιού και της σεισμικής ταχύτητας στον ανώτερο μανδύα της Γης χρησιμοποιείται η μέθοδος της σεισμικής διάθλασης. Επίσης, για την πλήρη απεικόνιση της στρωματογραφικής δομής των ιζηματογενών λεκανών, καθώς και της δομής του βαθύτερου φλοιού της Γης χρησιμοποιείται η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης.

Οι σεισμικές μέθοδοι παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες γεωφυσικές μεθόδους.

Πλεονεκτήματα:

- i. Μπορούν να περιγράψουν με λεπτομέρεια όλα τα δομικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους σε διάφορες απεικονίσεις.
- ii. Μπορούν να ανιχνεύσουν τόσο τις πλευρικές μεταβολές, όσο και τις μεταβολές οι οποίες σχετίζονται με το βάθος, χρησιμοποιώντας ως εργαλείο την σεισμική ταχύτητα.
- iii. Χρησιμοποιούνται με σκοπό την απεικόνιση στρωματογραφικών χαρακτηριστικών.
- iv. Έχουν την δυνατότητα να απεικονίζουν οποιαδήποτε μεταβολή σχετίζεται με το πορώδες, την διαπερατότητα, τη συμπίεση κτλ., η οποία επηρεάζει την σεισμική ταχύτητα.
- v. Επιπλέον, έχουν την ικανότητα να εντοπίζουν απευθείας κοιτάσματα φυσικού αερίου/πετρελαίου με αυξημένη διακριτική ικανότητα.

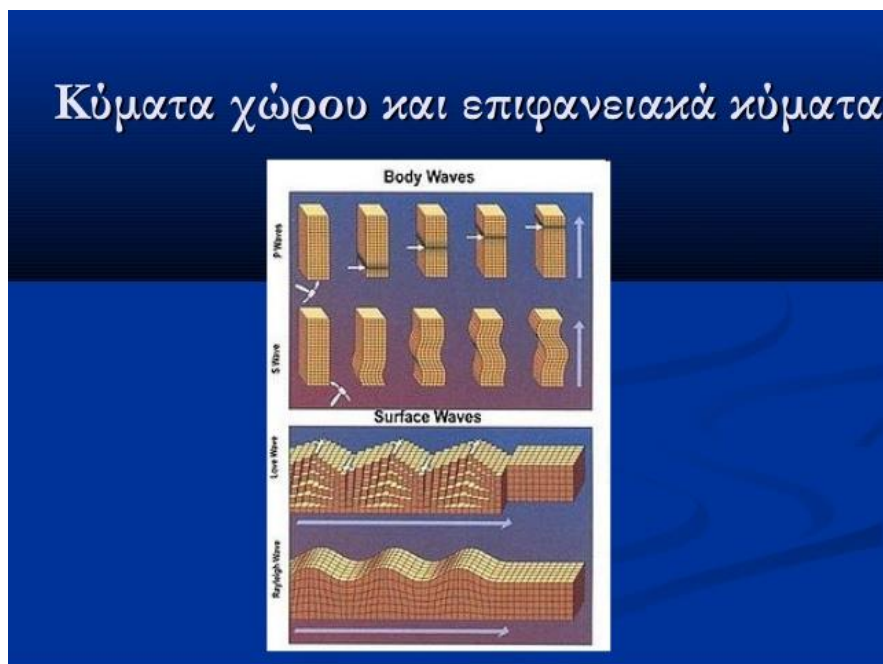
Μειονεκτήματα:

- i. Τα δεδομένα, τα οποία συλλέγονται στις διασκοπήσεις μπορεί να αυξηθούν ραγδαίως.
- ii. Από οικονομικής απόψεως η απόκτηση/επεξεργασία των δεδομένων είναι αρκετά ακριβή διαδικασία.
- iii. Η επεξεργασία των δεδομένων είναι χρονοβόρα διαδικασία, η οποία απαιτεί ισχυρούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές, εκπαιδευμένο κατάλληλα και έμπειρο προσωπικό.
- iv. Χρησιμοποιείται σχετικά ακριβός εξοπλισμός για την καταγραφή των σεισμικών παρατηρήσεων σε σχέση με άλλες γεωφυσικές μεθόδους.

1.3 ΤΥΠΟΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν πολλά και διαφορετικά είδη σεισμικών κυμάτων, τα οποία διακρίνονται κυρίως σε δύο κατηγορίες, στα κύματα χώρου και στα επιφανειακά κύματα. Τα πρώτα διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις, στο εσωτερικό της Γης, ενώ τα δεύτερα διαδίδονται μόνο κατά μήκος των ορίων των στρωμάτων της Γης. Πιο συγκεκριμένα διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες κυμάτων (Σχήμα 1.3.1):

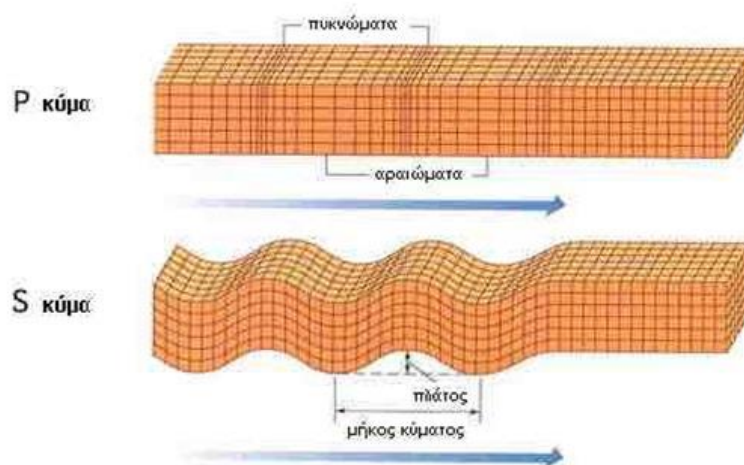
- **ΚΥΜΑΤΑ ΧΩΡΟΥ (BODY WAVES):**



Σχήμα 1.3.1. Απεικόνιση των επιφανειακών και των κυμάτων χώρου (πηγή: <https://www.slideshare.net/annakisak/ss-15197722>).

Καθώς μεταδίδονται στο εσωτερικό της γης, τα κύματα χώρου φθάνουν σε δέκτη πριν από τα επιφανειακά κύματα που εκπέμπονται από το σημείο της εστίας ενός σεισμού. Επίσης, αυτά τα κύματα είναι υψηλότερης συχνότητας από τα επιφανειακά κύματα.

- **ΕΠΙΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΑ (P-WAVES):**



Σχήμα 1.3.2. Απεικόνιση των εγκάρσιων και των διαμηκών κυμάτων (πηγή: <https://www.slideshare.net/annakisak/ss-15197722>).

Όταν συμβαίνει ένας σεισμός, ο πρώτος παλμός της ενέργειας που έρχεται από το σημείο της εστίας περιλαμβάνει τα επιμήκη (P-wave) ή αλλιώς ηχητικά κύματα (Σχήμα 1.3.2). Ουσιαστικά αποτελούν διαμήκη κύματα που διατρέχουν όλη τη γη και είναι τα γρηγορότερα από όλα τα είδη σεισμικών κυμάτων. Τα επιμήκη κύματα διαδίδονται μέσω των στερεών αλλά και των υγρών, όπως το νερό. Το νερό ωθεί και μετακινεί τα πετρώματα που κινούνται ακριβώς όπως τα ηχητικά κύματα τα οποία ωθούν τον αέρα. Τα επιμήκη κύματα (P-waves) είναι επίσης γνωστά ως συμπιεστικά κύματα, λόγω αυτής της ώθησης και του μετακίνησης που δημιουργούν.

- **ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ (S-WAVES):**

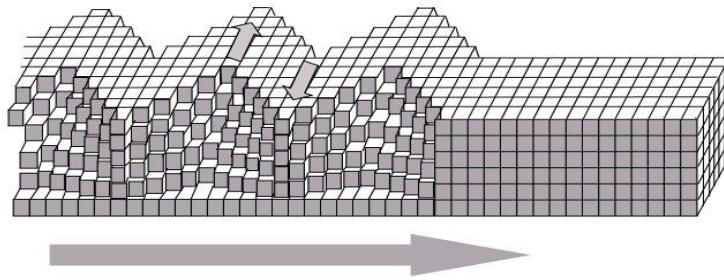
Τα επόμενα κύματα που φτάνουν σε ένα τόπο είναι τα εγκάρσια κύματα (S-waves). Είναι πιο αργά αλλά πιο ισχυρά και καταστρεπτικά από τα επιμήκη κύματα και ακολουθούν τα επιμήκη στο σειсмоγράφημα. Όπως και τα επιμήκη κύματα (P-waves) χαρακτηρίζονται ως κύματα χώρου και διαδίδονται προς κάθε κατεύθυνση στα επιφανειακά στρώματα. Κατά τη διάδοση των εγκαρσίων κυμάτων τα υλικά σημεία του πετρώματος ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος προκαλώντας μεταβολή στο σχήμα του πετρώματος (Σχήμα 1.3.2). Τα εγκάρσια κύματα διαδίδονται περίπου δύο φορές πιο αργά από τα διαμήκη κύματα και δεν διαδίδονται στο νερό.

- **ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΥΜΑΤΑ:**

Κινούμενα μόνο μέσω του φλοιού της γης, τα επιφανειακά κύματα είναι χαμηλότερης συχνότητας από τα κύματα χώρου, και κατά συνέπεια διακρίνονται εύκολα στο σειсмоγράφημα. Αν και φθάνουν μετά από τα κύματα χώρου, υπεύθυνα για την καταστροφή που συνδέεται με τους σεισμούς είναι σχεδόν εξ' ολοκλήρου τα επιφανειακά κύματα. Αυτή η ισχύς των επιφανειακών κυμάτων μειώνεται στους βαθύτερους σεισμούς.

- **KYMATA (L) LOVE WAVES:**

Love Wave

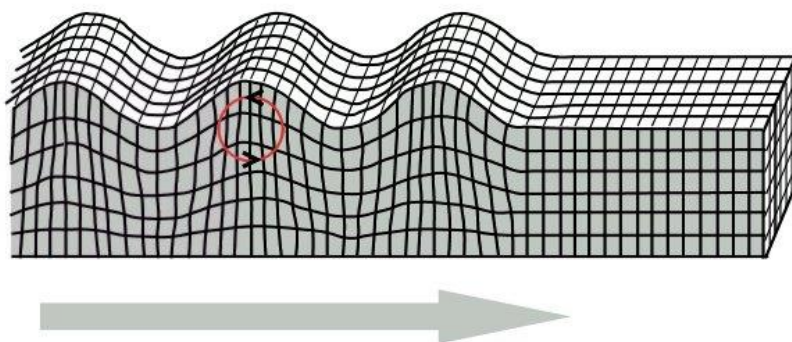


Σχήμα 1.3.3. Απεικόνιση των κυμάτων love (πηγή: http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/212_spring_2015/Ariel_Ellison/Ariel_Ellison/page2.html).

Το είδος των κυμάτων που ονομάζεται Love (L) Wave θεωρείται πως αντιπροσωπεύει κύματα τα οποία είναι αρκετά πιο αργά κύματα από τα κύματα χώρου και γρηγορότερα από τα επιφανειακά κύματα που κινούνται οριζόντια στο έδαφος. Δημιουργούν δηλαδή μετακινήσεις πλευρικές στην επιφάνεια του εδάφους (Σχήμα 1.3.3). Περιορισμένα στην επιφάνεια της γης, τα Love (L) Wave παράγουν εξ' ολοκλήρου την οριζόντια κίνηση. Αν και ταξιδεύουν αργά από τη σεισμική πηγή, είναι πολύ καταστρεπτικά. Είναι αυτά τα κύματα που είναι συχνότερα υπεύθυνα για την κατάρρευση κτηρίων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.

- **KYMATA (R) RAYLEIGH WAVES:**

Rayleigh Wave



Σχήμα 1.3.4. Απεικόνιση των κυμάτων Rayleigh (πηγή: http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/212_spring_2015/Ariel_Ellison/Ariel_Ellison/page2.html).

Τα κύματα Rayleigh είναι τα πιο αργά όλων των τύπων των σεισμικών κυμάτων και τα πιο περίπλοκα. Τα κύματα Rayleigh μετακινούν το έδαφος με τον ίδιο τρόπο όπως ένα θαλάσσιο κύμα μετακινεί τα επιφανειακά νερά. Επειδή σαν κύμα κυλά, κινεί το έδαφος με μία κατεύθυνση προς τα πάνω και προς τα κάτω, καθώς και δεξιά και αριστερά στην ίδια κατεύθυνση ακριβώς που το κύμα κινείται (Σχήμα 1.3.4). Τα κύματα Rayleigh, προκαλούν μετατόπιση του εδάφους πολύ μεγαλύτερη από τους άλλους τύπους σεισμικών κυμάτων.

Υπάρχουν και άλλα είδη σεισμικών κυμάτων που αποτελούν συνδυασμό των προηγούμενων. Για παράδειγμα τα διαυλικά κύματα, τα οποία διαδίδονται μέσα σε στρώμα μικρής ταχύτητας, καθώς και τα στάσιμα κύματα που παράγονται από τη συμβολή των Love και Rayleigh και προκαλούν την ελεύθερη ταλάντωση της Γης.

1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Ανάκλαση ονομάζεται το φαινόμενο της αλλαγής διεύθυνσης διάδοσης μετώπου κύματος, μέσα στο ίδιο μέσο, από μια διαχωριστική επιφάνεια. Τα πιο συνηθισμένα παραδείγματα ανάκλασης είναι αυτά των κυμάτων φωτός, ήχου και νερού.

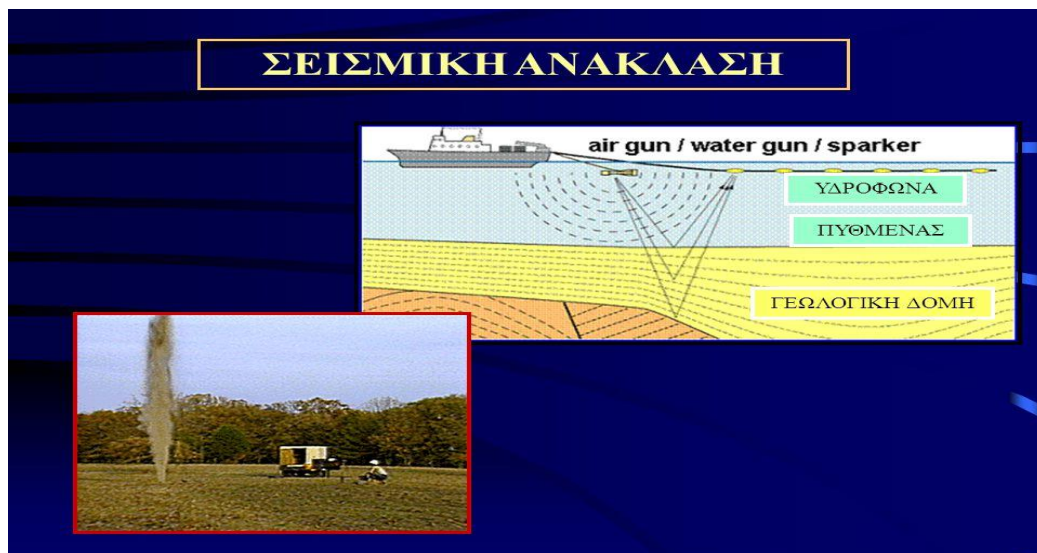
Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιείται ευρέως για την αναζήτηση ταμιευτήρων υδρογονανθράκων. Αυτή η μέθοδος βασίζεται κατά κύριο λόγο στους νόμους διάδοσης των ελαστικών κυμάτων. Τα ελαστικά κύματα, τα οποία παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο μέσα ή πάνω στην επιφάνεια της Γης και διαδίδονται μέσα σε αυτήν ονομάζονται σεισμικά κύματα.

Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο επειδή παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Οι σεισμικές καταγραφές συλλέγονται σε μικρές αποστάσεις πηγής - δέκτη.
- Λειτουργεί ανεξαρτήτως του τρόπου με τον οποίο η ταχύτητα διάδοσης της κίνησης μεταβάλλεται με το βάθος.
- Οι σεισμικές καταγραφές ερμηνεύονται πιο άμεσα όσον αφορά την πολυπλοκότητα της γεωλογίας.

- Επίσης, οι σεισμικές παρατηρήσεις χρησιμοποιούν ολόκληρη την ανακλώμενη κυματομορφή (δηλαδή ολόκληρο το χρονικό της εδαφικής κίνησης στις διάφορες αποστάσεις της πηγής και του δέκτη).
- Το υπέδαφος απεικονίζεται κατευθείαν από τις μετρήσεις που έχουν καταγραφεί.

Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης προτιμάται ως προς την απόκτηση ερμηνεύσιμων παρατηρήσεων πάνω από πολύπλοκες γεωλογικές δομές, παρά το γεγονός ότι το κόστος της είναι μεγάλο. Γι' αυτό το λόγο και χρησιμοποιείται στην βιομηχανία του πετρελαίου.



Σχήμα 1.4.1. Γραφική απεικόνιση της σεισμικής ανάκλασης (πηγή: <http://slideplayer.gr/slide/2299125/>).

Ένας τυπικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στις μεθόδους της σεισμικής ανάκλασης αποτελείται από:

- **Σεισμική πηγή:** ουσιαστικά αποτελεί μία συσκευή, η οποία διοχετεύει την σεισμική ενέργεια στο έδαφος. Αυτές οι συσκευές πρέπει να είναι επαναληπτικές και πρέπει να ελέγχεται ο χρόνος διοχέτευσης της σεισμικής ενέργειας στο έδαφος.

- **Γεώφωνα:** αποτελούν τις συσκευές, οι οποίες καταγράφουν την κίνηση του εδάφους, η οποία παράγεται από μία σεισμική πηγή. Τα γεώφωνα μετατρέπουν αυτή την εδαφική κίνηση σε ηλεκτρικά σήματα (τάσεις), τα οποία καταγράφονται από κάποια ξεχωριστή συσκευή. Τα γεώφωνα αποτελούνται από κινούμενο πηνίο και μόνιμο μαγνήτη. Καθώς τα σεισμικά κύματα φτάνουν στο γεώφωνο προκαλείται σχετική κίνηση του πηνίου ως προς τον μαγνήτη, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μίας ηλεκτρεγερτικής δύναμης στα άκρα του πηνίου που είναι ανάλογη της ταχύτητας της κίνησης του εδάφους.
- **Υδρόφωνα:** χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την ανίχνευση των κυμάτων πίεσης που προκαλούν οι θαλάσσιες σεισμικές πηγές.
- **Σύστημα καταγραφής:** το οποίο αποθηκεύει την εδαφική κίνηση, την οποία καταγράφουν τα γεώφωνα.

1.5 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

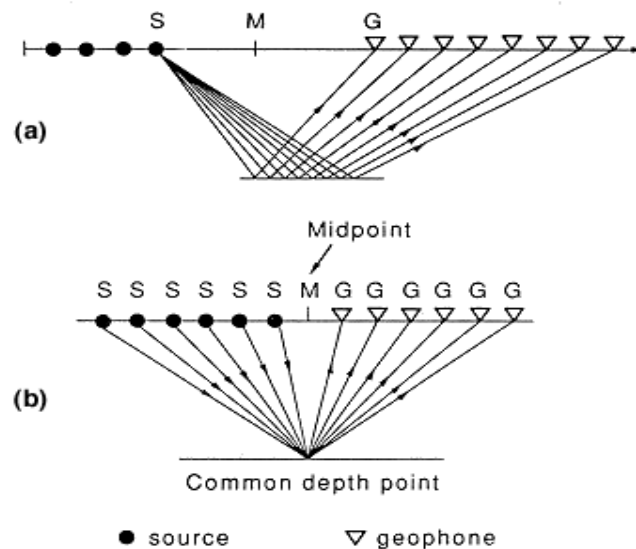
Προκειμένου να πραγματοποιηθεί διασκόπηση με τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης, δηλαδή για να καταγραφούν πλήρως όλα τα σεισμικά κύματα που διαδίδονται χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα, τα γεώφωνα (όταν αναφερόμαστε στην ξηρά) ή τα υδρόφωνα (όταν αναφερόμαστε σε θαλάσσιες περιοχές). Τα γεώφωνα (ή υδρόφωνα) είναι κατανομημένα κατά μήκος μιας γραμμής μελέτης. Η καταγραφή των σεισμικών κυμάτων πάνω σε αυτή την γραμμή μελέτης δίνει πληροφορίες για την επιφάνεια ανάκλασης εφόσον διαχωριστεί το σήμα των σεισμικών κυμάτων από τον εδαφικό θόρυβο που δημιουργείται. Ο εδαφικός θόρυβος σχετίζεται κυρίως με τα επιφανειακά κύματα, τα οποία δημιουργεί η σεισμική πηγή.

Η διάταξη κοινής πηγής (Σχήμα 1.5.1) αποτελείται από την πηγή και από διάφορους δέκτες, οι οποίοι τοποθετούνται σε μία ευθεία γραμμή. Η πηγή δημιουργεί σεισμικά

κύματα, ενώ από τους δέκτες προκύπτουν διάφορα σεισμικά ίχνη. Εφόσον ολοκληρωθεί το πρώτο στάδιο της καταγραφής η διάταξη αυτή μετατοπίζεται κατά μήκος της γραμμής μελέτης, ούτως ώστε το καινούργιο κύμα που εκπέμπει η πηγή να καταγράφεται στις νέες θέσεις, τις οποίες καταλαμβάνουν τα γεωφώνα.



Σχήμα 1.5.1. Σχηματική απεικόνιση διαφόρων διατάξεων πηγής-δέκτη.



Σχήμα 1.5.2. Σχηματική απεικόνιση αναδιάταξης καταγραφής κοινής πηγής (α) σε καταγραφή κοινού ενδιάμεσου σημείου (β) (πηγή: http://www.kgs.ku.edu/Dakota/vol3/fy89/app_c.htm).

Στην περίπτωση που ο ανακλαστήρας είναι παράλληλος σε σχέση με την επιφάνεια της Γης, ορίζεται σημείο του υπεδάφους, στο οποίο ανακλώνται όλες τις ακτίνες που εκπέμπουν πηγές τοποθετημένες στην επιφάνεια της Γης. Το σημείο αυτό ονομάζεται "κοινό σημείο βάθους" (Common Depth Point - CDP), ενώ η προβολή του στην επιφάνεια της Γης ονομάζεται "κοινό ενδιάμεσο σημείο" (Common Mid Point - CMP) (Σχήμα 1.5.2).

Επομένως, υπάρχουν δύο διατάξεις:

- **Διάταξη κοινού σημείου βάθους:** χρησιμοποιείται με σκοπό την λεπτομερή καταγραφή της δομής του υπεδάφους. Στην διάταξη αυτή για κάθε σημείο που ανακλάται παρέχεται ένας αριθμός καταγραφών. Αυτός ο αριθμός καταγραφών σχετίζεται με την επιφάνεια της ανάκλασης και εξασφαλίζει την απεικόνιση των ανακλώμενων κυμάτων στα επιμέρους σειсмоγράμματα.
- **Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου:** χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο όταν η επιφάνεια της ανάκλασης είναι οριζόντια, καθώς οι ανακλάσεις, οι οποίες προκύπτουν συμπίπτουν σε ένα κοινό ενδιάμεσο σημείο. Σε αυτή την περίπτωση η διάταξη που δημιουργείται θεωρείται πιο αποτελεσματική. Αντίθετα, όταν η επιφάνεια της ανάκλασης είναι κεκλιμένη οι αφίξεις των κυμάτων αντιστοιχούν σε ανακλάσεις οι οποίες δεν προκύπτουν από ένα συγκεκριμένο σημείο αλλά από μία ολόκληρη περιοχή κι έτσι τα ίχνη τους συμπίπτουν σε ένα κοινό ενδιάμεσο σημείο αλλά όχι σε ένα κοινό σημείο βάθους.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι για την διάταξη του κοινού ενδιάμεσου σημείου χρησιμοποιείται ο όρος υπεδαφική κάλυψη (fold), ο οποίος στην ουσία

αντιστοιχεί στον αριθμό των σεισμικών ιχνών αυτής της διάταξης. Μπορεί να προσδιοριστεί σύμφωνα με την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$Fold = \min\{\text{Αριθμός Πηγών}, (NC/2) \times (\Delta x / \Delta s)\}$$

όπου:

- **NC:** ο αριθμός των καναλιών του καταγραφικού (σειсмоγράφος).
- **Δx :** η ισαπόσταση των γεωφώνων.
- **Δs :** η ισαπόσταση των πηγών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Η δημιουργία των συνθετικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με λογισμικό σε περιβάλλον Matlab.

Ξεκινώντας, πριν αρχίσει η δημιουργία του μοντέλου θα πρέπει να ληφθούν ορισμένα περιοριστικά μέτρα, τα οποία σχετίζονται με την επίλυση της κυματικής εξίσωσης με την χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών. Τα προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν αφορούν την ευστάθεια και την αριθμητική διασπορά. Αναλυτικότερα:

- **Για την αριθμητική διασπορά (μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης με την συχνότητα):** Το κριτήριο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα είναι το εξής:

$$Grid \leq \lambda_{min}/6 = V_{Smin} / 6 * f_{max} = V_{Smin} / 15 * f_{central} \approx 5$$

όπου:

- **Grid:** το ελάχιστο βήμα της χωρικής διακριτοποίησης. Χρησιμοποιήθηκε η τιμή 5m, η οποία πληροί το κριτήριο διασποράς.
- **V_{Smin} :** η ελάχιστη ταχύτητα των S-κυμάτων. Χρησιμοποιήθηκε η τιμή 1500 m/s.
- **λ_{min} :** το ελάχιστο μήκος κύματος.
- **f_{max} :** η μέγιστη συχνότητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων.
- **$f_{central}$:** η κεντρική συχνότητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Χρησιμοποιήθηκε η τιμή 20 Hz.

➤ **Για την ευστάθεια:** Θα πρέπει να λαμβάνεται ο εξής περιορισμός:

$$V_{pmax} * \Delta t / \Delta x \leq 2/3$$

όπου:

- **V_{pmax}:** η μέγιστη ταχύτητα των Ρ-κυμάτων. Χρησιμοποιήθηκε η τιμή 5500 m/s.
- **Δt:** το ελάχιστο βήμα της χρονικής διακριτοποίησης.
- **Δx:** το ελάχιστο βήμα της χωρικής διακριτοποίησης (grid). Χρησιμοποιήθηκε η τιμή 5m.

Πιο συγκεκριμένα έχουμε ότι, $5500 \text{ m/s} * \Delta t/5 \leq 2/3$. Άρα, $\Delta t = 0.0005\text{s}$, δηλαδή 0.5ms.

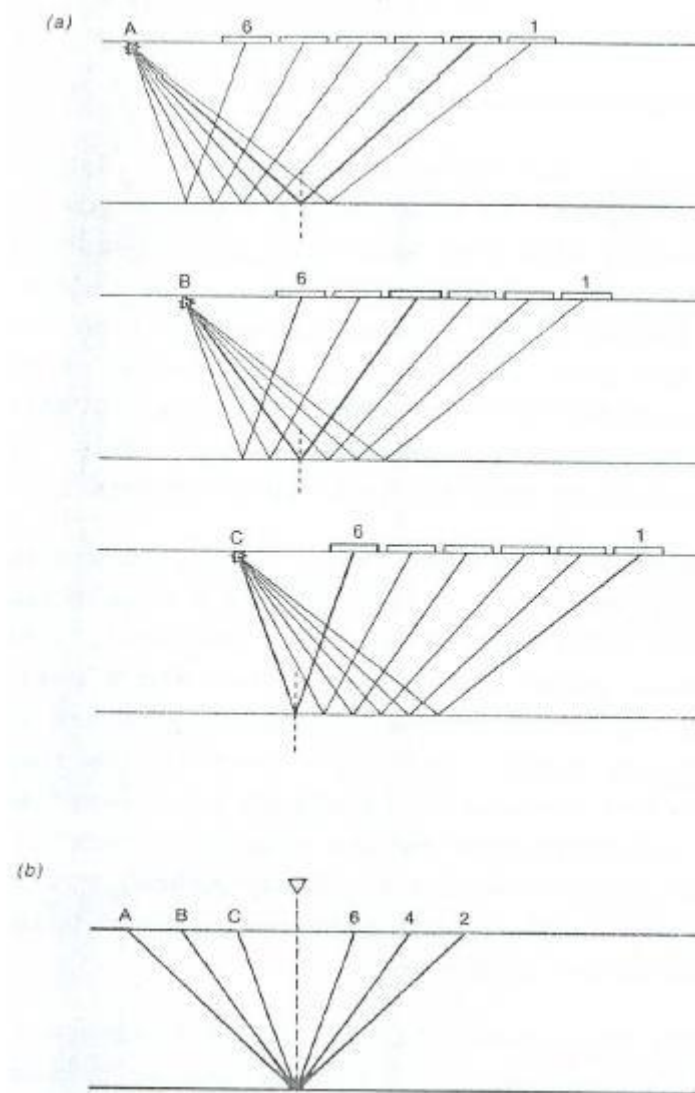
Επομένως, βάσει της παραπάνω σχέσης και θεωρώντας ότι η τιμή του grid ισούται με 5 περίπου, το Δt προκύπτει ότι ισούται με 0.6 ms, όπως φαίνεται και σε πίνακα στο 4^ο κεφάλαιο. Ωστόσο κατά την διάρκεια της επεξεργασίας χρησιμοποιήθηκε η τιμή 0.5 ms, η οποία είναι πιο διαχειρίσιμη στους εκάστοτε υπολογισμούς.

Εφόσον όλοι οι περιορισμοί έχουν ληφθεί υπόψιν ακολουθεί η δημιουργία των συνθετικών δεδομένων στη Matlab.

Αρχικά, για να δημιουργηθεί το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε η εντολή **PSV_SYNTHETICS_VER11**. Έπειτα, με την εντολή **create** δημιουργείται το πρώτο στρώμα, εισάγοντας τις εξής παραμέτρους: x(m), z(m), V_{smin}(m/s) και f(Hz), δηλαδή τις διαστάσεις του στην οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, την ελάχιστη εγκάρσια ταχύτητα και την κυρίαρχη συχνότητα της πηγής. Στη συνέχεια, ορίζεται και η απόσταση μεταξύ των γεωφώνων (σε m) και επιλέγεται αν ο σχηματισμός βρίσκεται στην ξηρά ή στην θάλασσα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η εντολή **free surface** και **sea survey**, καθώς ο σχηματισμός, ο οποίος θα μελετηθεί βρίσκεται σε θαλάσσιο περιβάλλον. Τέλος, ορίζεται μία κατάλληλη τιμή για το **grid** (m), η οποία ισούται σε αυτή την περίπτωση με 5, όπως προέκυψε παραπάνω από υπολογισμούς που έλαβαν χώρα.

Στο δεύτερο στάδιο ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία κατασκευάζονται και τα υπόλοιπα στρώματα του μοντέλου.

Κατά το τρίτο στάδιο της διαδικασίας πρέπει να καθοριστεί το *horizontal source speed* (οριζόντια ταχύτητα πηγής). Δηλαδή, σε αυτό το σημείο καθορίζεται η πρώτη πηγή και το βάθος της, όπως επίσης και το βάθος των υπόλοιπων πηγών.



Σχήμα 2.1. Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP). (a) Σχηματική αναπαράσταση της απόκτησης των σεισμικών δεδομένων ανάκλασης με την διάταξη κοινής πηγής (b) Ζεύγη πηγών - γεωφώνων στα οποία καταγράφεται ανάκλαση από το ίδιο κοινό σημείο βάθους (CDP) (Sodbinow, 1989).

Κατά το τελευταίο στάδιο της προσομοίωσης, καθορίζονται οι αρχικές παράμετροι των γεωφώνων όπως επίσης και ο συνολικός χρόνος της καταγραφής t (ms) και ο αριθμός των στιγμιotypών κύματος (*snapshots*). Με τον όρο αυτό ουσιαστικά αναφερόμαστε σε αντίγραφα δεδομένων, τα οποία δημιουργούνται κάποια χρονική στιγμή και παραμένουν στο σύστημα αποθήκευσης δεδομένων.

Τα δεδομένα που προκύπτουν είναι ταξινομημένα σε διάταξη κοινής πηγής. Αφού δημιουργηθούν τα συνθετικά δεδομένα προκύπτουν τρεις πίνακες. Οι πίνακες αυτοί είναι οι εξής:

- **Vx**: η x συνιστώσα της ταχύτητας ταλάντωσης των σωματιδίων.
- **Vz**: η z συνιστώσα της ταχύτητας ταλάντωσης των σωματιδίων.
- **Vpr**: η πίεση.

Μέσα από τον πίνακα Vz είναι πιο εύκολο να προσδιοριστούν τα ανακλώμενα κύματα, ενώ μέσα από τον πίνακα Vx προκύπτουν πιο αναλυτικά και ξεκάθαρα πληροφορίες για τα απευθείας κύματα. Αυτό συμβαίνει κατά βάση εξαιτίας του γεγονότος ότι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας ταλάντωσης των σωματιδίων, δηλαδή η Vx αποκτά μηδενικές τιμές, καθώς τα σεισμικά κύματα διαδίδονται και ανακλώνται σε κατακόρυφη διεύθυνση.

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία της δημιουργίας των συνθετικών δεδομένων δημιουργούνται τα παρακάτω αρχεία, τα οποία προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με το πείραμα.

- **Το αρχείο .RCV**: περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις θέσεις των γεωφώνων, την ισαπόσταση μεταξύ των πηγών και των γεωφώνων, το ελάχιστο βήμα χρονικής διακριτοποίησης, καθώς και τον συνολικό χρόνο της καταγραφής.

- **Το αρχείο .SMP:** προσφέρει πληροφορίες για τις παραμέτρους του πειράματος όπως την κυρίαρχη συχνότητα της πηγής, την πυκνότητα, την ταχύτητα με την οποία διακινούνται τα εγκάρσια και τα διαμήκη σεισμικά κύματα, το ελάχιστο βήμα της χωρικής διακριτοποίησης του μοντέλου, τα όρια απορρόφησης στην ανώτερη επιφάνεια του μοντέλου, όπως επίσης την μέση τετραγωνική ταχύτητα.
- **Το αρχείο .SRC:** παρέχει πληροφορίες, οι οποίες σχετίζονται με την πηγή, όπως ο αριθμός των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν για την διασκόπηση, η ισαπόσταση μεταξύ των πηγών, οι θέσεις των πηγών επάνω στο σεισμικό μοντέλο, η κυματομορφή της πηγής, καθώς και η διάρκεια της ταλάντωσής της.

Τα αρχεία αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων, όπως επίσης και στην αναδιάταξη των δεδομένων κοινής πηγής που ακολουθεί στα επόμενα στάδια της επεξεργασίας.

➤ **ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΟΡΙΑ**

Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει μία αναφορά στην έννοια των απορροφητικών ορίων. Στα άκρα του μοντέλου δημιουργούνται κάποιες ψευδείς αντανakλάσεις. Για την αντιμετώπιση αυτών των ψευδών αντανakλάσεων δημιουργήθηκαν τα απορροφητικά όρια (absorbing boundaries), τα οποία πιο συγκεκριμένα μπλοκάρουν την επίδραση αυτών των αντανakλάσεων, όχι τελείως αλλά με έναν πιο άμεσο και επιτυχή τρόπο, καθώς δεν υπάρχει τρόπος να απορροφηθούν όλα τα είδη των κυμάτων στο μέγιστο βαθμό.

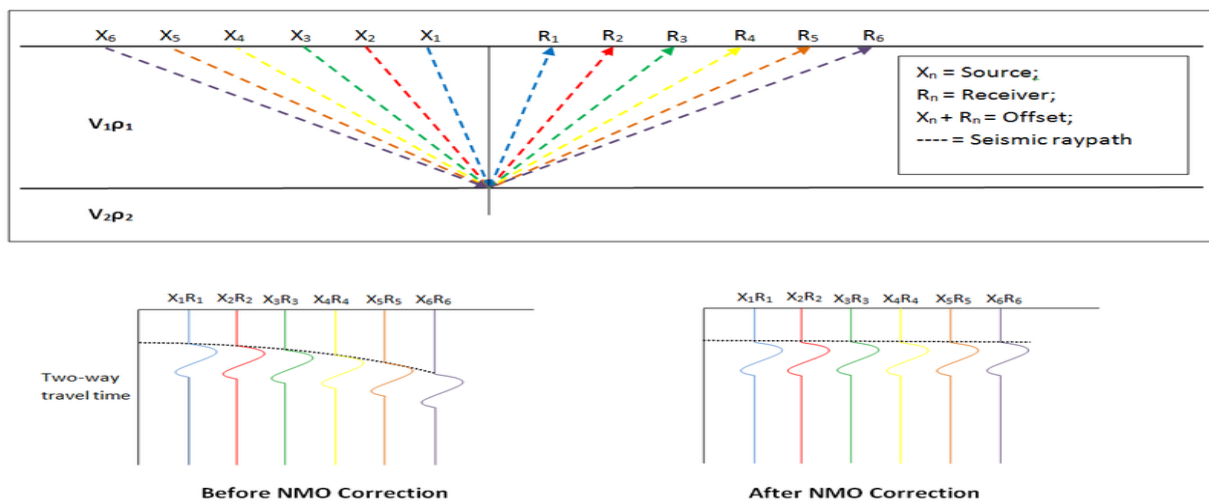
Οι μέθοδοι των σύνθετων ορίων απορρόφησης συνδυάζουν συνθήκες ορίων απορρόφησης μικρής τιμής γωνίας, με βάση την χαρακτηριστική ανάλυση της μονοδιάστατης κυματικής εξίσωσης και την εφαρμογή, είτε ανισότροπου φίλτρου είτε "φίλτρου - σφουγγάρι". Το ανισότροπο αυτό φίλτρο ρυθμίζει την κατεύθυνση

διάδοσης των κυμάτων, έτσι ώστε στην γωνία πρόσπτωσης το όριο να είναι 90° . Το "φίλτρο - σφουγγάρι" προσδίδει στη μεταβατική ζώνη ένα μηχανισμό, ο οποίος αποσβένει επιλεκτικά τα εισερχόμενα κύματα. Αυτές οι μέθοδοι απορροφούν όχι μόνο τα κύματα του χώρου, αλλά και τα επιφανειακά κύματα. Μια στενή ζώνη μετάβασης, της οποίας το πλάτος είναι μικρότερο απ' ότι στην προσέγγιση του "φίλτρου - σφουγγάρι", εισάγεται δίπλα σε υπολογιστικό όριο. Αριθμητικά παραδείγματα επεξηγούν την αποτελεσματικότητα των μεθόδων αυτών στην απορρόφηση των τεχνητών ανακλάσεων (Παγιαλάκης, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ (NMO)

Η δυναμική διόρθωση (NMO) χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο με σκοπό την αφαίρεση χρόνου, ο οποίος είναι ίσος με την κανονική χρονική απόκλιση, από τον χρόνο διαδρομής του ανακλώμενου κύματος σε σειсмоγράμματα διάταξης κοινού ενδιάμεσου σημείου.



Σχήμα 3.1.1. Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου CMP. Σειсмоγράμματα πριν και μετά την δυναμική διόρθωση NMO (πηγή:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/NMO_Correction.png).

Ακολουθώντας αυτή την διαδικασία ουσιαστικά ανάγονται όλοι οι χρόνοι διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων σε χρόνους διαδρομής ανακλώμενων κυμάτων, τα οποία προσπίπτουν κάθετα στις διαχωριστικές επιφάνειες. Δηλαδή, δημιουργείται διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου, στην οποία είναι τοποθετημένα οι πηγές και τα γεώφωνα.

Προκειμένου να εφαρμοστεί η δυναμική διόρθωση πρέπει να δημιουργηθεί το λεγόμενο φάσμα ταχυτήτων. Από αυτό επιλέγονται οι ταχύτητες V και οι αντίστοιχοι διπλοί κατακόρυφοι χρόνοι.

Η κανονική χρονική απόκλιση (NMO) δίνεται από την σχέση:

$$\Delta t_{NMO} = t(x) - t(0) = t(0) \left[\left(1 + \frac{x^2}{V_{NMO}^2 t(0)^2} \right)^{1/2} - 1 \right]$$

όπου:

$t(x)$: διπλός χρόνος διαδρομής.

$t(0)$: διπλός χρόνος διαδρομής κατακόρυφης ακτίνας.

x : απόσταση από την πηγή.

V_{NMO} : μέση τετραγωνική ταχύτητα σε περιπτώσεις ανάκλασης από οριζόντια διαχωριστική επιφάνεια.

Πρέπει να αναφερθεί επίσης, πως όταν εφαρμόζεται η δυναμική διόρθωση, η ποσότητα του χρόνου, δηλαδή η κανονική χρονική απόκλιση που αφαιρείται από τον χρόνο διαδρομής του ανακλώμενου κύματος εξαρτάται από τον χρόνο $t(0)$.

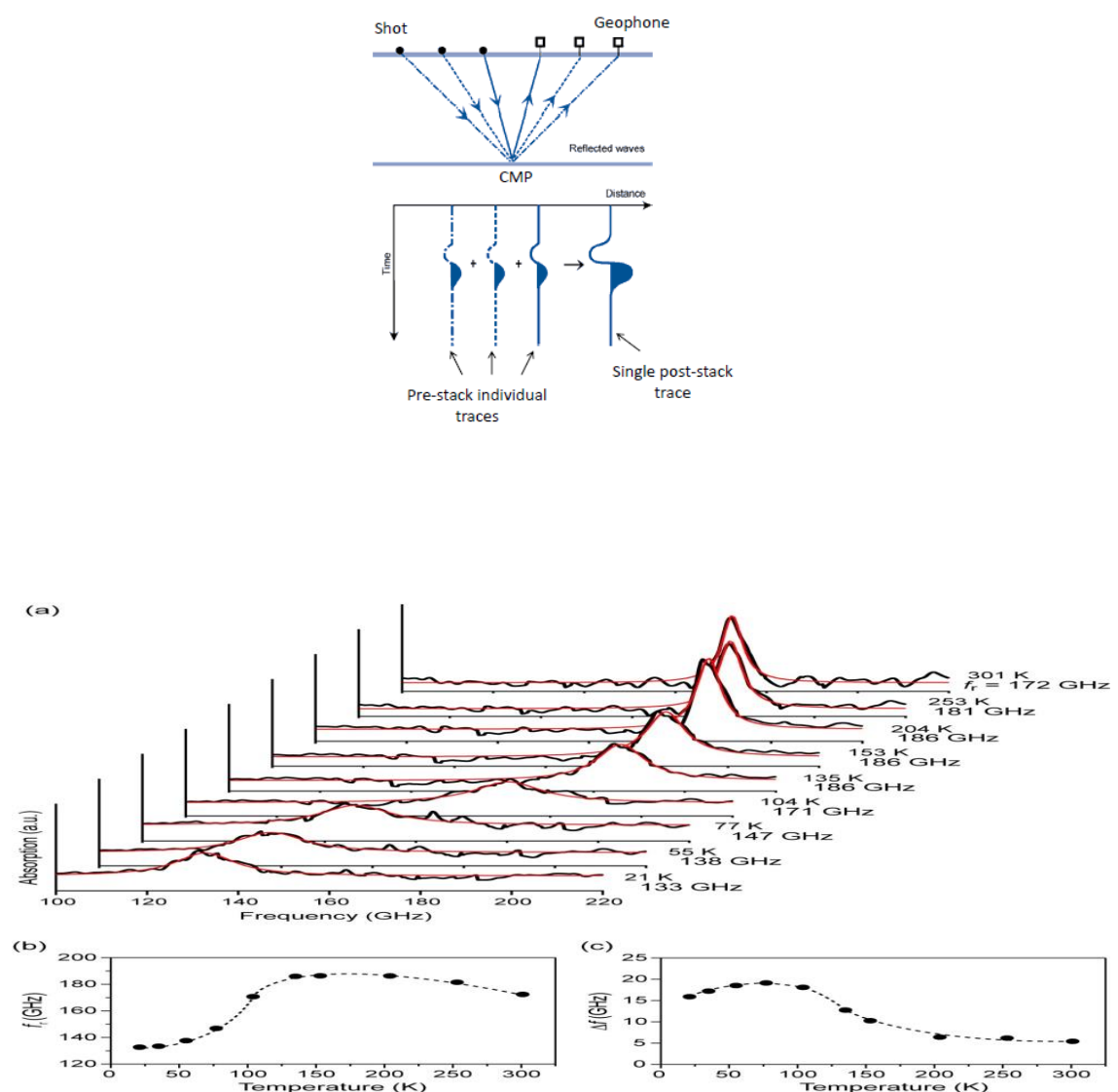
Επίσης, σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση γίνεται φανερό πως η κανονική χρονική απόκλιση αυξάνει καθώς αυξάνει και η απόσταση πηγής - γεωφώνου (x), ενώ μειώνεται στην περίπτωση που μειωθεί ο διπλός χρόνος της κατακόρυφης ακτίνας (t) ή αυξηθεί η ταχύτητα V_{NMO} . Γι' αυτό τον λόγο θα πρέπει να επιλέγεται με προσοχή η ταχύτητα V_{NMO} , καθώς αν η ταχύτητα που θα επιλεγεί είναι μεγαλύτερη από την πραγματική, τότε η διόρθωση θα είναι μικρότερη, ενώ στην περίπτωση που η επιλεγόμενη ταχύτητα είναι μικρότερη της πραγματικής, η διόρθωση θα είναι μεγαλύτερη.

Τέλος, κατά την διόρθωση της κανονικής χρονικής απόκλισης (NMO) προκαλείται και μία μη επιθυμητή επιμήκυνση του σεισμικού ίχνους (stretch), με τρόπο, ο οποίος εξαρτάται από τον χρόνο (Yilmaz, 1987). Αυτή η μη επιθυμητή επιμήκυνση, αυξάνεται για μικρούς κατακόρυφους χρόνους και για μεγάλες αποστάσεις (offsets) πηγής-γεωφώνου. Προκειμένου να αποφευχθεί αυτό και να μην επηρεαστεί η

διακριτική ικανότητα απομακρύνεται η ζώνη που έχει επηρεαστεί από την επιμήκυνση. Αυτό συμβαίνει ένα στάδιο πριν την εφαρμογή της σεισμικής υπέρθεσης.

3.2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΥΠΕΡΘΕΣΗ (STACKING)

Το επόμενο βήμα μετά την δυναμική διόρθωση (NMO) είναι η σεισμική υπέρθεση (stacking).



Σχήμα 3.2.1. Απεικόνιση δυναμικά διορθωμένων (NMO) σεισμικών δεδομένων έπειτα από την διαδικασία της υπέρθεσης (stacking) (πηγή:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6d/Simple_diagram_illustrating_the_effect_of_seismic_stacking.png).

Η σεισμική υπέρθεση χρησιμοποιείται με σκοπό να ενισχυθούν τα πλάτη των ανακλώμενων κυμάτων κατά υπεδαφική κάλυψη (fold) (Σχήμα 3.2.1). Προκειμένου να συμβεί αυτό πρέπει να αθροιστούν τα σειсмоγράμματα της διάταξης κοινού ενδιάμεσου σημείου. Η σεισμική τομή υπέρθεσης που δημιουργείται αποτελείται από τα αθροισμένα σειсмоγράμματα κοινού ενδιάμεσου σημείου που έχουν προκύψει. Μετά από την εφαρμογή αυτής της διαδικασίας ο όγκος των καταγραφών έχει μειωθεί κατά υπεδαφική κάλυψη (fold) και η αύξηση του λόγου του σήματος ως προς τον θόρυβο έχει ως κύριο αποτέλεσμα την πλήρη ανάδειξη των σημάτων ανάκλασης.

Η σεισμική τομή υπέρθεσης παρουσιάζει μία απεικόνιση της δομής του υπεδάφους.

3.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ (MIGRATION)

3.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το επόμενο στάδιο έπειτα από την διόρθωση της κανονικής χρονικής απόκλισης και την σεισμική υπέρθεση είναι η σεισμική χωροθέτηση. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται προκειμένου να πραγματοποιηθεί η σωστή τοποθέτηση και ανακατασκευή των ανακλαστήρων. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας τα σεισμικά κύματα ακολουθούν κατά βάση πορεία αντίθετη από εκείνη που ακολουθούν στο πείραμα. Πιο συγκεκριμένα, τα σεισμικά κύματα, τα οποία διαδίδονται από την επιφάνεια της Γης προς την διαχωριστική επιφάνεια διαδίδονται με μία ταχύτητα ίση με το μισό της πραγματικής ταχύτητας. Αυτή η διάδοση των σεισμικών κυμάτων είναι δυνατό να περιγραφεί μέσα από την κυματική εξίσωση. Μπορούμε πιο αναλυτικά να περιγράψουμε τι εξασφαλίζει η εφαρμογή της σεισμικής χωροθέτησης ως εξής:

- Τοποθετεί στη σωστή θέση τις επιφάνειες της ανάκλασης, οι οποίες παρουσιάζουν κάποια κλίση σε τομή υπέρθεσης.
- Συντελεί στην βελτίωση της χωρικής διακριτικής ικανότητας.
- Επανατοποθετεί όλες τις αφίζεις, οι οποίες προέρχονται από περίθλαση στην θέση που βρίσκεται το άκρο της δομής, δηλαδή σε περιοχές, στις οποίες είναι έντονο το φαινόμενο της περίθλασης λόγω ρηγματωμένων στρωμάτων. Με

αυτό τον τρόπο βελτιώνεται η σεισμική τομή της υπέρθεσης και κατ' επέκταση η εικόνα των τεκτονικά ρηγματωμένων περιοχών είναι ακριβέστερη.

Είναι γεγονός πως η μέθοδος της σεισμικής χωροθέτησης είναι χρονοβόρα, ωστόσο είναι ιδιαίτερα πολύτιμη για την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι σεισμικής χωροθέτησης, οι οποίες σχετίζονται με είδος της χωροθετημένης σεισμικής τομής. Έτσι λοιπόν, προέκυψαν δύο κατηγορίες σεισμικής χωροθέτησης:

1. **Σεισμική χωροθέτηση βάθους:** Αποτελεί την ιδανικότερη μέθοδο, καθώς λαμβάνει υπόψιν και τις πλευρικές μεταβολές της ταχύτητας. Ωστόσο, μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι είναι μία χρονοβόρα διαδικασία. Σε αυτή τη μέθοδο η χωροθετημένη σεισμική τομή παρουσιάζεται σε συνάρτηση με το βάθος και επιλέγεται σε περίπτωση που οι πλευρικές μεταβολές είναι έντονες και οφείλονται σε ανακλαστήρες, οι οποίοι παρουσιάζουν κυρίως μεγάλη κλίση.
2. **Χρονική σεισμική χωροθέτηση:** Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται, παράγεται σεισμική τομή, η οποία βρίσκεται σε συνάρτηση με τον χρόνο. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο όταν οι πλευρικές μεταβολές της ταχύτητας δεν είναι έντονες. Αυτή η μέθοδος προτιμάται γενικότερα σε σχέση με άλλες μεθόδους, καθώς είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον προσδιορισμό των ταχυτήτων των στρωμάτων.

3.3.2 Χωροθέτηση Kirchhoff (Kirchhoff migration)

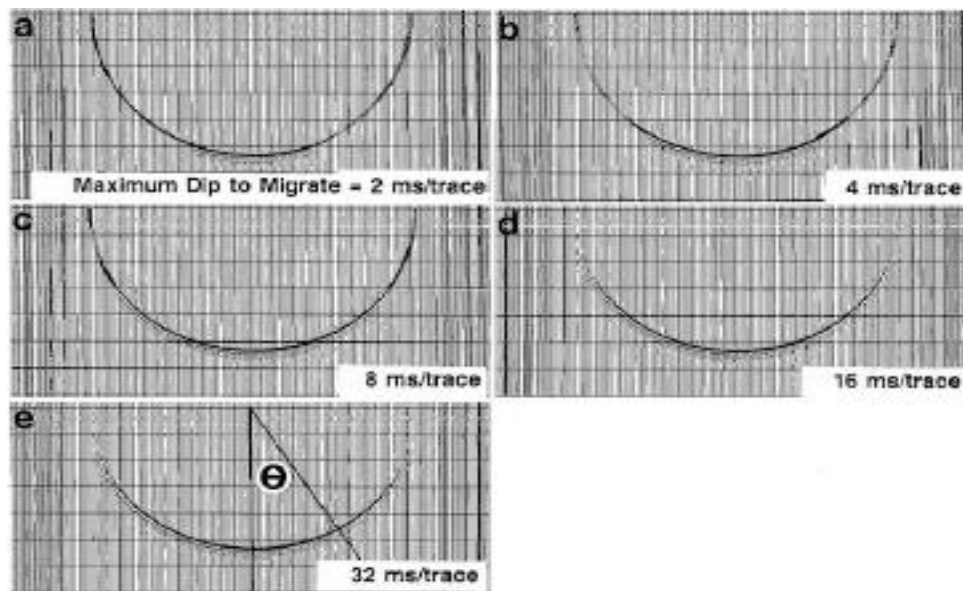
Η χωροθέτηση κατά Kirchhoff είναι μία μέθοδος επεξεργασίας εικόνας. Αποτελεί μία μέθοδο σχετικά πιο γρήγορη από άλλες μεθόδους χωροθέτησης. Επιπλέον, αποτυπώνει με ακρίβεια το υπέδαφος, καθώς επίσης παρουσιάζει και την θέση τυχόν ανωμαλιών που υπάρχουν.

Η χωροθέτηση κατά Kirchhoff βασίζεται στην αρχή του Hagedoorn (1954). Αρχικά θεωρείται ότι η ταχύτητα του μέσου είναι σταθερή v και μετατρέπεται ο χρόνος άφιξης σε βάθος πολλαπλασιάζοντας με το $v/2$. Τα δεδομένα της μη χωροθετημένης τομής, που βρίσκονται κατά μήκος καμπύλης περίθλασης, αθροίζονται για να δώσουν το πλάτος του αντίστοιχου σημείου στην τομή χωροθέτησης. Αν τα σημεία που αποτελούν την καμπύλη περίθλασης αντιστοιχούν σε σήμα, τότε αθροιζόμενα θα δώσουν μια ανάλογη τιμή, ενώ αν αντιστοιχούν σε θόρυβο αθροιζόμενα θα δώσουν πολύ μικρή τιμή (εξαιτίας του ότι οι θετικές και αρνητικές τιμές θα είναι κατά απόλυτη τιμή περίπου ίσες). Συνεπώς η μέθοδος χωροθέτησης μέσω της άθροισης των περιθλάσεων θεωρεί κάθε σημείο της μη χωροθετημένης τομής σαν κομμάτι περίθλασης, για αυτό ένας ανακλαστήρας θεωρείται ως μέρος πολύ κοντινών σημείων περίθλασης (Sheriff and Geldart, 1995).

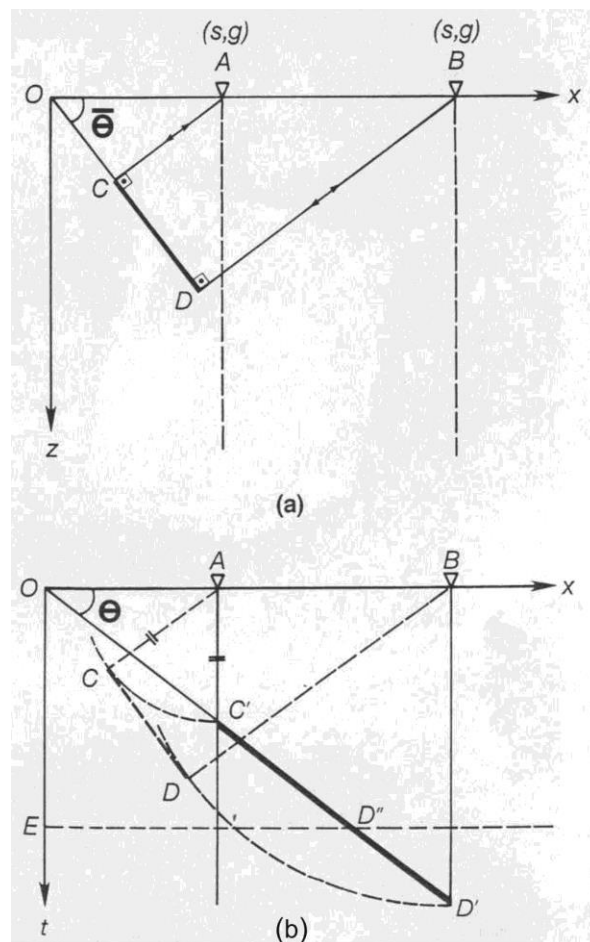
Πριν την άθροιση των πλατών κατά μήκος της καμπύλης περίθλασης θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν τρεις συντελεστές :

- 1) τον συντελεστή απόκλισης, ο οποίος σχετίζεται με την εξάρτηση του πλάτους από τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της κατακορύφου και της σεισμικής ακτίνας. Αυτός ο συντελεστής ισούται με το συνημίτονο της προαναφερθείσας γωνίας.
- 2) τον συντελεστή σφαιρικής διασποράς, ο οποίος είναι ανάλογος της ποσότητας $(1/r)^{1/2}$ για διάδοση στις δυο διαστάσεις. Όπου r είναι η απόσταση της πηγής από το μέτωπο κύματος.
- 3) το χαρακτηριστικό του κυματιδίου. Το κυματίδιο σχεδιάζεται έτσι ώστε να έχει σταθερή φάση συναρτήσει της συχνότητας (f) και πλάτος ανάλογο της.

Είναι φανερό ότι αυτή η μέθοδος χωροθέτησης θεωρείται ως ο πιο ευέλικτος πλέον αλγόριθμος χωροθέτησης, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί σε 2D και σε 3D μοντέλα, πριν την αποθήκευση αλλά και μετέπειτα και ως χωροθέτηση χρόνου ή βάθους.



Σχήμα 3.3.2.1 Επιρροή της παραμέτρου της κλίσης ανακλαστήρα στην απόκριση της χωροθέτησης σημειακού ανακλαστήρα κατά Kirchhoff. Η ιδεατή απόκριση είναι ημικύκλιο και παρατηρείται για κλίση μικρότερη των 8 ms/trace (Yilmaz, 1987).

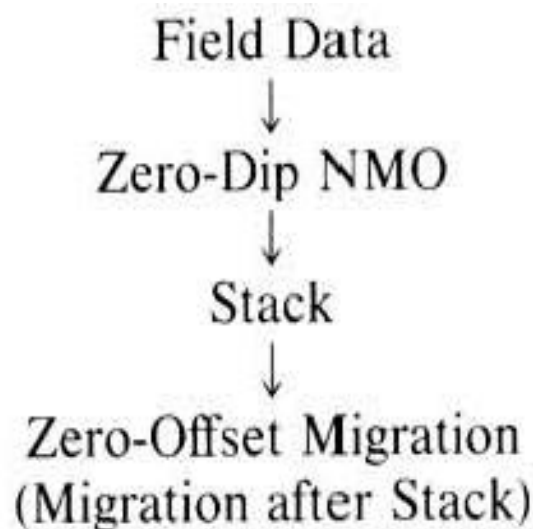


Σχήμα 3.3.2.2. (a) Τομή βάθους (b) Τομή υπέρθεσης. Ο ανακλαστήρας C'D' όταν χωροθετείται εμφανίζεται πιο ρηχά, με μεγαλύτερη κλίση και με μικρότερο μήκος (Chun and Jacewitz, 1981).

➤ **Χωροθέτηση πριν την υπέρθεση (Migration before stack):**

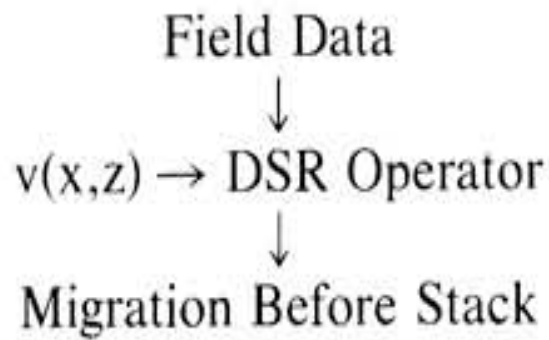
Η χωροθέτηση κατά Kirchhoff έχει την δυνατότητα να λαμβάνει χώρα και πριν από την διαδικασία της υπέρθεσης (pre-stack migration). Η χωροθέτηση πριν την υπέρθεση μπορεί να γίνει με την διαδικασία άθροισης κατά Kirchhoff, όπως συμβαίνει και στην χωροθέτηση μετά την υπέρθεση. Πιο συγκεκριμένα, αντί να αθροιστούν τα πλάτη ιχνών μηδενικής απόστασης πηγής - δέκτη αθροίζονται τα πλάτη ιχνών μηδενικής απόστασης πηγής - δέκτη.

Παρακάτω φαίνεται η διαδικασία που ακολουθείται έτσι ώστε να επιτευχθεί η χωροθέτηση μετά, καθώς και πριν από την διαδικασία της υπέρθεσης.



Σχήμα 3.3.2.3. Διάγραμμα της διαδικασίας της χωροθέτησης μετά από την υπέρθεση.

Επίσης, το ίδιο διάγραμμα ροής επεξεργασίας μπορεί να αποτυπωθεί και με την εξίσωση DSR, η οποία χρησιμοποιείται στην διαδικασία της χωροθέτησης πριν από την υπέρθεση.

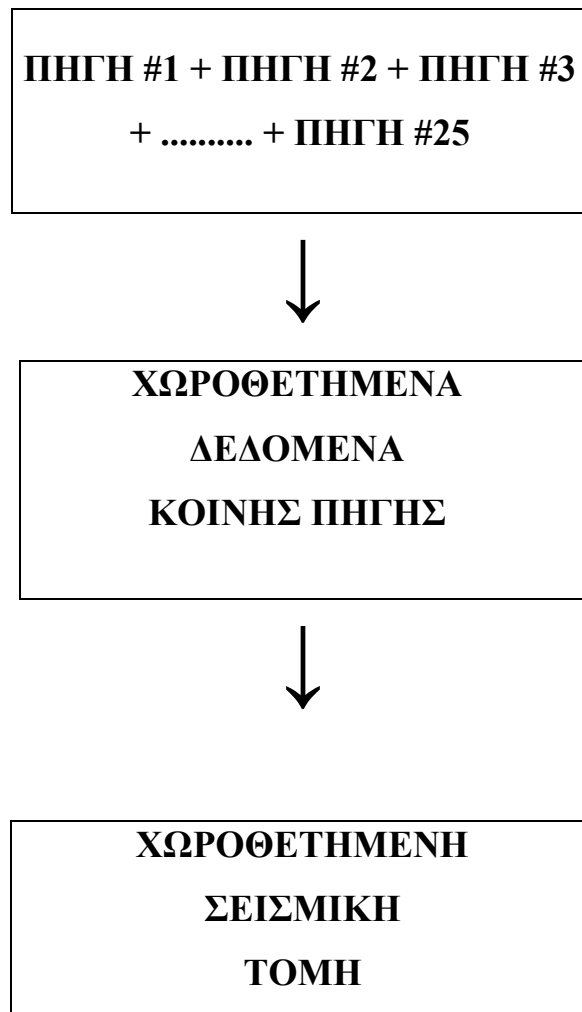


Σχήμα 3.3.2.4. Διάγραμμα της διαδικασίας της χωροθέτησης πριν από την υπέρθεση με χρήση της εξίσωσης DSR.

Αξίζει όμως να αναφερθεί πως το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι πως μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις τομές σταθερής απόστασης πηγής - υδροφώνου, όπως και στις τομές με δεδομένα κοινής πηγής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόστηκε η χωροθέτηση κατά Kirchhoff σε κάθε καταγραφή κοινής πηγής με βάση τα δεδομένα που έπρεπε να επεξεργαστούν.

Παρακάτω παρατίθεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα για την μεθοδολογία της επεξεργασίας που ακολουθήθηκε.



Σχήμα 3.3.2.5. Διάγραμμα ροής για την δημιουργία της χωροθετημένης σεισμικής τομής.

Πρακτικά, αυτό που έγινε κατά την διάρκεια της επεξεργασίας ήταν να καταγραφούν όλα τα δεδομένα της κοινής πηγής. Στη συνέχεια, χωροθετείται κάθε πηγή ξεχωριστά και προκύπτουν τα χωροθετημένα δεδομένα κοινής πηγής. Το άθροισμα όλων των χωροθετημένων πηγών στην ουσία οδήγησε στην διαμόρφωση της τελικής χωροθετημένης σεισμικής τομής.

Για την υλοποίηση της σεισμικής χωροθέτησης απαιτείται η εκτίμηση της σεισμικής ταχύτητας, η οποία απεικονίζεται σχηματικά παρακάτω για δεδομένα κοινής πηγής (σχήμα 4.2.3). Στον άξονα x είναι τοποθετημένη η απόσταση (offset) σε μέτρα, ενώ στον άξονα y είναι τοποθετημένο το βάθος (depth) σε μέτρα.

3.3.3 Matlab κώδικας για τη σεισμική χωροθέτηση κατά Kirchhoff πριν την υπέρθεση

Επομένως, για να υλοποιηθεί η σεισμική χωροθέτηση σε δεδομένα διάταξης κοινής πηγής δημιουργήθηκε ο παρακάτω αλγόριθμος :

```
<< shotrec= Vz{8};
```

```
t= 0:0.001:6.001;
```

```
pos8= positions{8};
```

```
x= pos8(1:501,2)
```

```
xshot= 10400
```

```
velmod= Vrms;
```

```
tv =t;
```

```
xv= 0:2.5:20000;
```

```
tic;[shotmig,tmig,xmig]=kirk_shot(shotrec,t,x,xshot,velmod,tv,xv);toc
```

```
a=['shotmig',num2str(xshot),'=shotmig;']
```

```
eval(a)
```

```
b=['save shotmig',num2str(xshot),' shotmig',num2str(xshot)]
```

```
eval(b)
```

```
figure
```

```
wigb(shotmig,1,xmig,tmig);
```

```
name=['shotmig',num2str(xshot),'.jpg'];
```

```
saveas(gcf,name,'jpg');
```

```
function [stmigsection]=Kirc_shotmig_alldata(Vz,Vrms,gpos,spos);
```

```

t= 0:0.001:6.001;

xv= 0:2.5:20000;

for i=1:length(Vz);

tic;[shotmig,tmig,xmig]=kirk_shot(Vz{i},t,gpos{i}(:,2),spos(i),Vrms,t,xv);toc

if i==1

stmigsection=shotmig;

else

stmigsection=stmigsection+shotmig;

end

a=['shotmig',num2str(spos(i)),'=shotmig'];

eval(a)

b=['save shotmig',num2str(spos(i)),' shotmig',num2str(spos(i))];

eval(b)

figure

wigb(shotmig,1,xmig,tmig);

name=['shotmig',num2str(spos(i)),'.jpg'];

saveas(gcf,name,'jpg');

close(gcf)

end

save stmigsection.mat stmigsection

save stmigsection.txt stmigsection -ascii

```

figure

```
wigb(stmigsection,l,xmig,tmig);
```

```
name=['stmigsection.fig'];
```

```
saveas(gcf,name,'fig');
```

```
name=['stmigsection.jpg'];
```

```
saveas(gcf,name,'jpg'); >>
```

όπου

- **xshot** : θέση της πηγής
- **velmod** : ταχύτητες rms
- **tv** : χρόνος (διάνυσμα) για το πεδίο θέσης
- **xv** : θέση
- **x** : θέση του υροφώνου
- **t** : χρόνος διαδρομής
- **shotrec** : δεδομένα εισόδου
- **shotmig** : δεδομένα εξόδου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

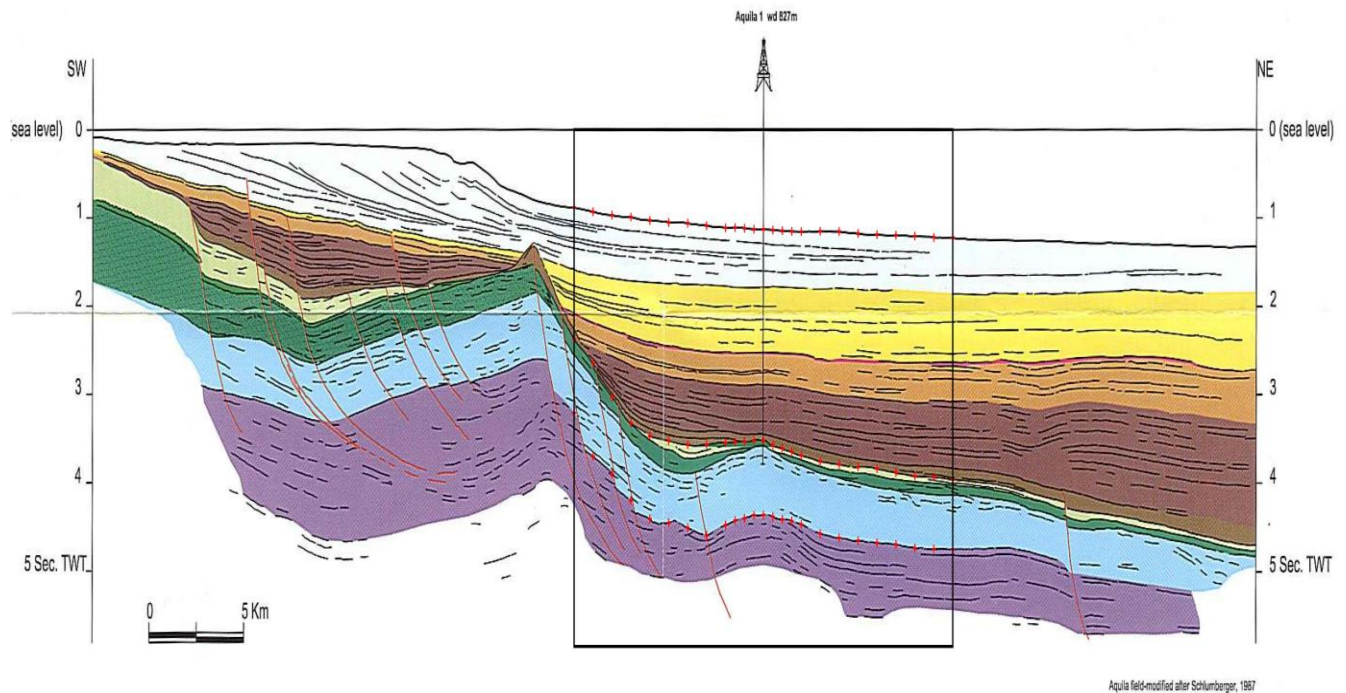
Η εξερεύνηση πετρελαίου στην περιοχή της Αδριατικής και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή του Ιονίου πελάγους ποικίλλει ιδιαίτερα λόγω της πολυπλοκότητας του περιβάλλοντος εκεί και της ιδιαίτερης γεωλογίας. Γι' αυτό το λόγο οι συσσωρεύσεις του πετρελαίου βρίσκονται σε συγκεκριμένα σημεία, κυρίως λόγω του τεκτονισμού.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση μελετήθηκε η ζώνη πετρελαίου Aquila. Το μεγαλύτερο κομμάτι του πεδίου πετρελαίου Aquila βρίσκεται στην περιοχή του Ιονίου περίπου 10 km από την Απούλια ζώνη. Κατά κύριο λόγο αποτελείται στρωματογραφικά από τα παρακάτω στοιχεία:

- Μία συνεχή και παχιά ακολουθία Πλειστόκαινου σε Ολιγόκαινου, η οποία αποτελείται από άμμους, αργίλους και μάργες του περιβάλλοντος του πελάγους.
- Ένα στρώμα Παλαιόκαινου σε Ανώτερο Κρητιδικό με πελαγικούς λιθάνθρακες και παρεμβαλλόμενα στρώματα (σχηματισμούς ιλύος Scaglia).
- Ένα στρώμα από λιθάνθρακες του Ιουρασικού.
- Ένα στρώμα του Κατώτερου Ιουρασικού, το οποίο αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες (σχηματισμός ασβεστολίθου Cupello).

Ωστόσο, στη συγκεκριμένη περιοχή που μελετάται υπάρχει και μία στήλη πετρελαίου (περίπου 130 μέτρων), η οποία αποτελείται από ασβεστόλιθους. Η κατηγορία αυτού του πετρελαίου έχει πυκνότητα που κυμαίνεται από 22 έως και 36° API (μονάδα μέτρησης της πυκνότητας του πετρελαίου). Παρόλο που καθίσταται δύσκολο να μελετηθεί λόγω των περιορισμένων σεισμικών δεδομένων που είναι διαθέσιμα,

υπάρχει μία αναπτυσσόμενη δομή στην κορυφή της στήλης, η οποία μπορεί να δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

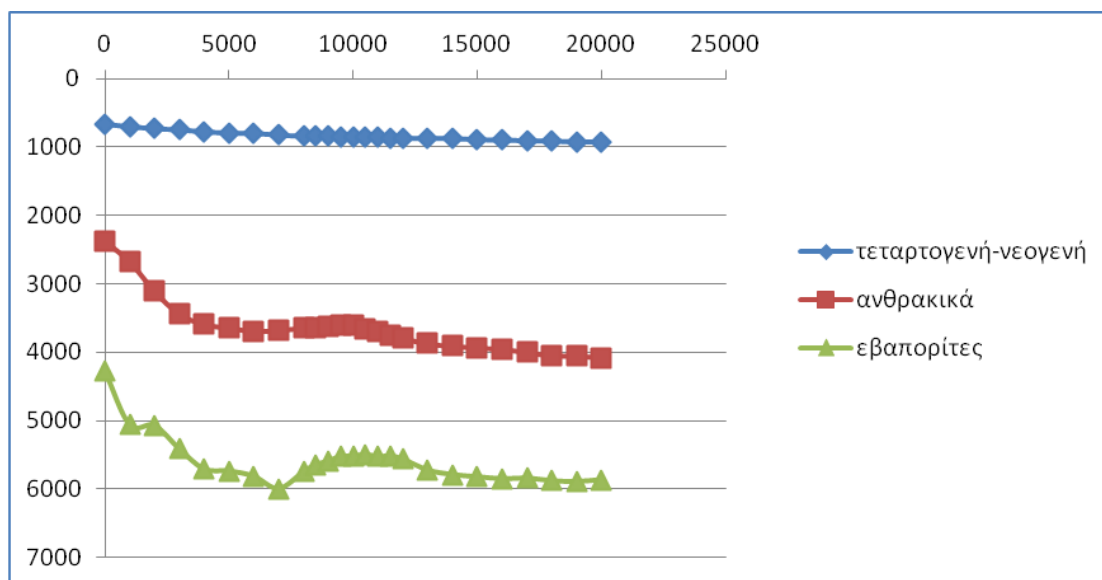


Σχήμα 4.1.1. Σχηματική απεικόνιση της περιοχής μελέτης, (Casero, 2004).

Στην περιοχή, η οποία μελετήθηκε κατά την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας προέκυψαν τα σεισμικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία της σεισμικής τομής. Το μέγιστο βάθος του μοντέλου είναι τα 6200m. Το μοντέλο αυτό αποτελείται πρακτικά από τέσσερα στρώματα. Το πρώτο στρώμα αντιστοιχεί στην επιφάνεια της θάλασσας και εκτίνεται σε βάθος 792m. Έπειτα, το δεύτερο στρώμα, το οποίο αντιπροσωπεύει τη ζώνη των τεταρτογενών - νεογενών οριοθετείται μέχρι και τα 3643m. Στη συνέχεια, ακολουθεί η ζώνη των ανθρακικών που εκτείνεται ως και τα 5737m. Τέλος, υπάρχει η ζώνη των εβαποριτών, η οποία φτάνει μέχρι και τα 6200m βάθος.

Πίνακας 1. Ταχύτητα διαμηκών κυμάτων, εγκάρσια ταχύτητα εγκάρσιων κυμάτων και πυκνότητα για κάθε στρώμα.

ΖΩΝΗ	V _p (ms)	V _s (ms)	ρ (g/cc)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	1500	-	1.023
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ- ΝΕΟΓΕΝΗ	2300	1617	2.6
ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ	4500	2600	2.7
ΕΒΑΠΟΡΙΤΕΣ	5500	3175	2.5



Σχήμα 4.2.1. Διάγραμμα οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m).

4.2 ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Το αρχικό στάδιο της επεξεργασίας των συνθετικών δεδομένων καθώς και του σχεδιασμού του πειράματος αποτελεί η εισαγωγή των παραμέτρων της προσομοίωσης. Στη συνέχεια λοιπόν παρατίθεται ένας πίνακας με τα δεδομένα αυτά.

Πίνακας 2. Απεικόνιση των αρχικών παραμέτρων του μοντέλου.

Horizontal extend of model in meters	20000
Vertical extend of model in meters	6200
S-wave velocity (Vs) of model in m/s	0.01
Dominant frequency of the source in Hz	20
Receiver increment in meters	10
The upper surface of model	Free
Survey	Sea

Πίνακας 3. Απεικόνιση των παραμέτρων του δεύτερου στρώματος (τεταρτογενή – νεογενή).

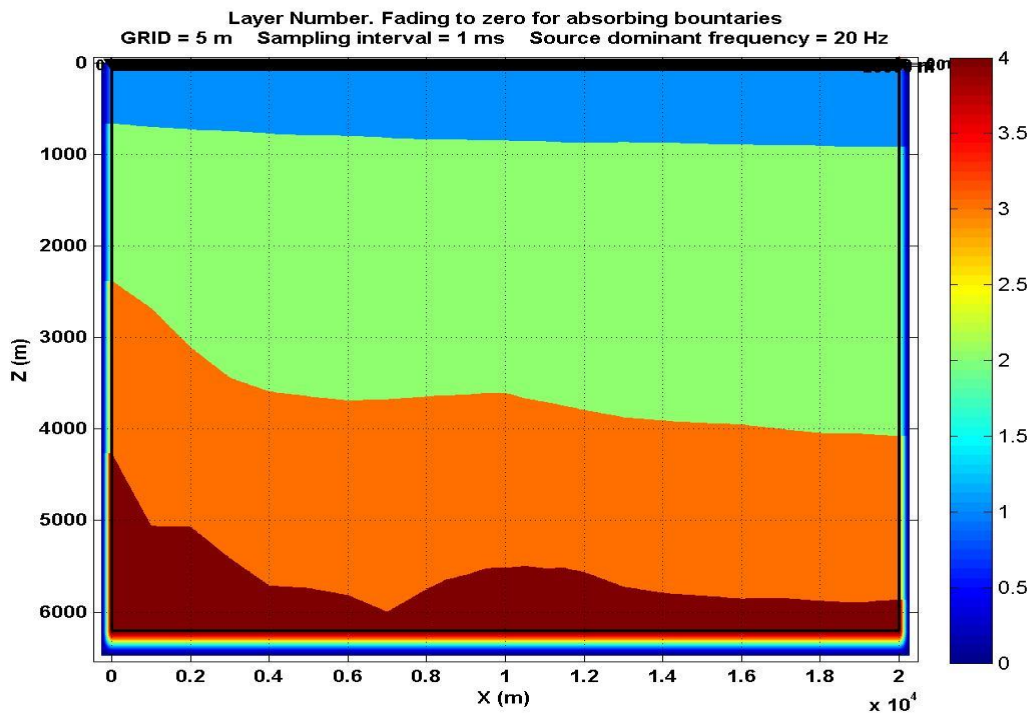
P-wave velocity (Vp) in m/s	2300
S-wave velocity (Vs) in m/s	1617
Density in gr/cc	2.6

Πίνακας 4. Απεικόνιση παραμέτρων για τις πηγές.

Number of shots	25
Shot increment	600
X-coordinate of source (m)	10
Z-coordinate of 1st source	10

Πίνακας 5. Απεικόνιση παραμέτρων για τα υδρόφωνα.

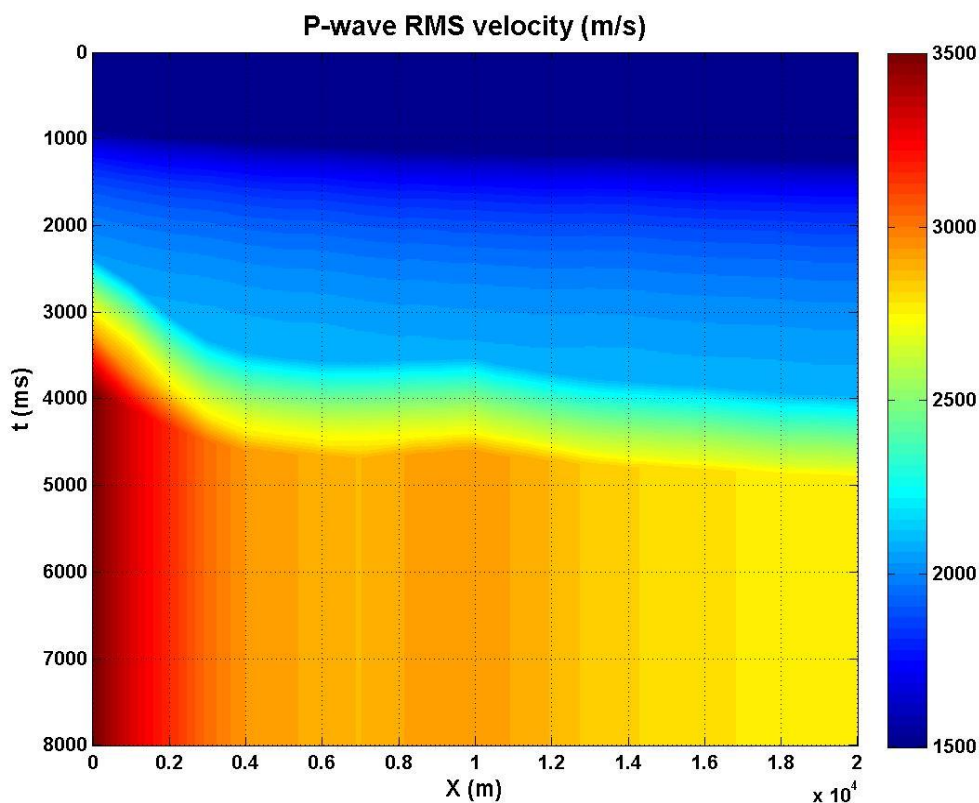
Number of receivers	501
The interval between receivers	10
Z-coordinate of receivers (m)	0
X-coordinate of 1st receiver	5000
The receiver array increment in meters	10



Σχήμα 4.2.2. Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου βάθους.

Στο σχήμα 4.3.2. πιο συγκεκριμένα απεικονίζεται η μέση τετραγωνική ταχύτητα (V_{rms}) σε m/s. Στον άξονα x καταγράφεται ως μεταβλητή η απόσταση X (m), ενώ στο άξονα y καταγράφεται ως μεταβλητή ο διπλός κατακόρυφος χρόνος t (ms). Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο στρώμα της θάλασσας η τιμή της V_{rms} κυμαίνεται μεταξύ 1500-2000 m/s . Το δεύτερο στρώμα έχει μέση τετραγωνική ταχύτητα περίπου 2000 m/s, ενώ το τρίτο στρώμα κυμαίνεται γύρω στο 2500-3000 m/s. Τέλος, το στρώμα των εβαποριτών "αγγίζει" την τιμή των 2500-3500 m/s. Οι τιμές αυτές προσδιορίζονται έπειτα από την μελέτη του διαγράμματος με βάση την χρωματική κλίμακα που το συνοδεύει.

Ωστόσο αξίζει να αναφερθεί ότι η μέση τετραγωνική ταχύτητα αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την επεξεργασία των δεδομένων και ιδιαίτερα της διαδικασίας που λαμβάνει χώρα κατά την χωροθέτηση. Στη συνέχεια παρατίθεται το σχήμα για τον προσδιορισμό της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας.



Σχήμα 4.2.3. Σχηματική απεικόνιση της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας για το μοντέλο του σχήματος 4.2.2.

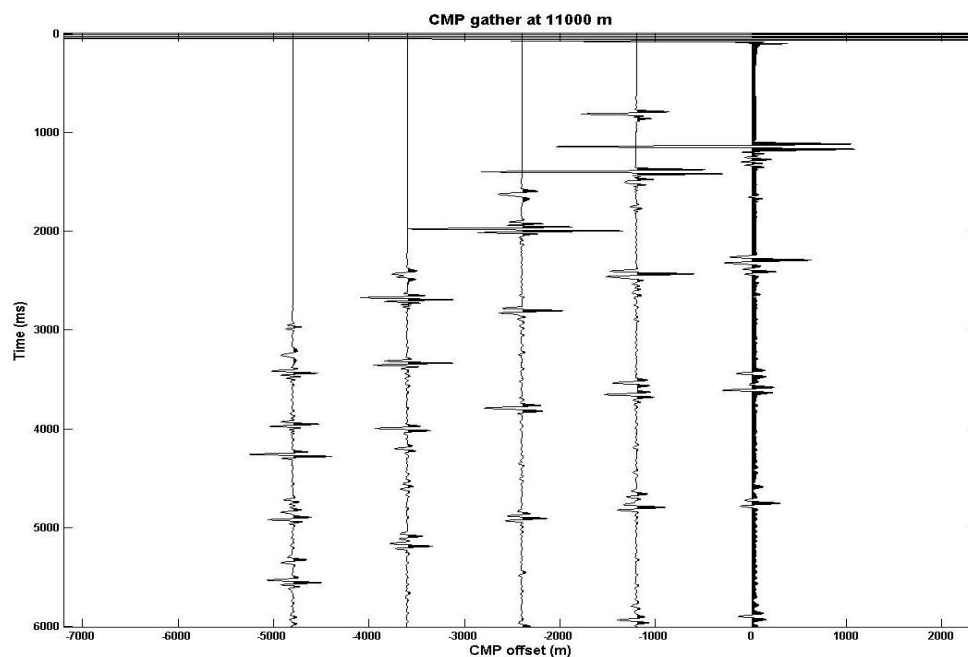
Ξεκινώντας την διαδικασία για την μελέτη της περιοχής και για το "στήσιμο" του πειράματος συνολικά σε όλο το μήκος της διάταξης χρησιμοποιήθηκαν 25 πηγές. Η πρώτη πηγή τοποθετήθηκε στα 5000m, ενώ η τελευταία στα 19400m. Η ισαπόσταση μεταξύ των πηγών είναι 600m. Αξίζει να αναφερθεί ότι για την θέση στην οποία είναι τοποθετημένη η κάθε πηγή υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί. Πιο συγκεκριμένα, η θέση της εκάστοτε πηγής ορίζεται σύμφωνα με την θεωρία κυμάτων ως η τριπλάσια τιμή της ισαπόστασης του grid, δηλαδή είναι $3 \cdot \Delta x$.

Εφόσον έχουν οριστεί οι θέσεις των πηγών το επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση του καλωδίου των υδροφώνων, καθώς και ο ορισμός του αριθμού των υδροφώνων. Τα υδρόφωνα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά μήκος όλης της διάταξης ήταν συνολικά 501. Το πρώτο υδρόφωνο βρίσκεται στα 5000m. Η ισαπόσταση μεταξύ των υδροφώνων είναι 10m. Πρέπει να τονιστεί εδώ, ότι κατά την διάρκεια της προσομοίωσης η διάταξη πηγής - υδροφώνων, μεταφέρεται πιο δεξιά στην γραμμή μελέτης (ανά 600m).

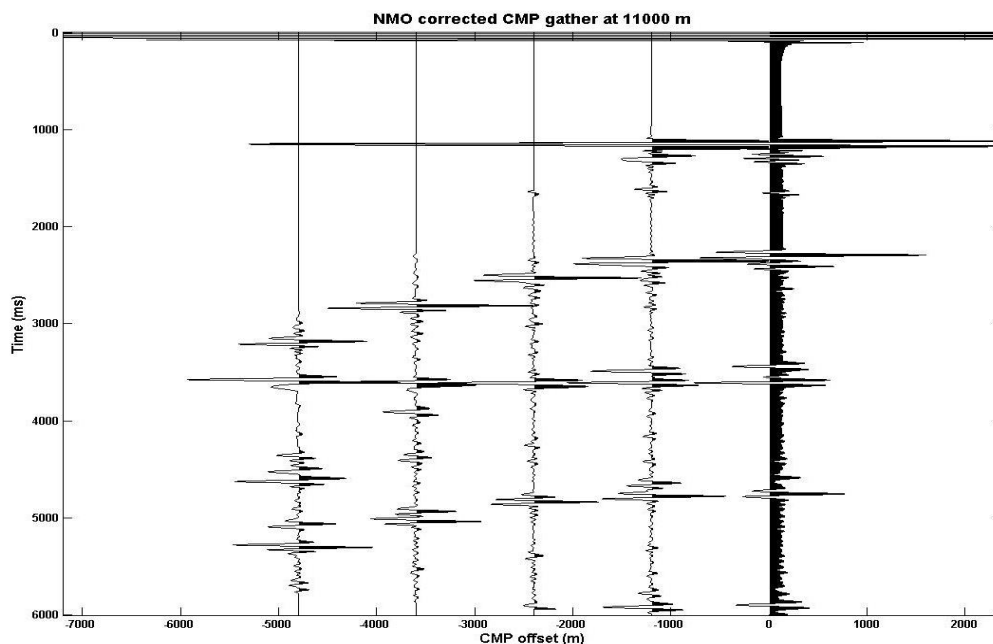
Καθώς το πείραμα έχει λάβει χώρα και τα δεδομένα πλέον έχουν δημιουργηθεί ξεκινάει η διαδικασία της κύριας επεξεργασίας των δεδομένων του πειράματος.

Το πρώτο στάδιο επικεντρώνεται όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα στην δυναμική διόρθωση (NMO) των πειραματικών δεδομένων.

Παρακάτω ακολουθούν ενδεικτικά σειсмоγράμματα CMP πριν και μετά την διόρθωση NMO, για την θέση των 11000m. Στον άξονα των x είναι τοποθετημένα η απόσταση πηγής - γεωφώνου(m) και στον κατακόρυφο άξονα των y είναι τοποθετημένος ο χρόνος time (ms) δεν διορθώνει τα απευθείας και την πρώτη ανάκλαση.



Σχήμα 4.2.4. Σχηματική απεικόνιση των ιχνών CMPs στα 11000m πριν την δυναμική διόρθωση (NMO).

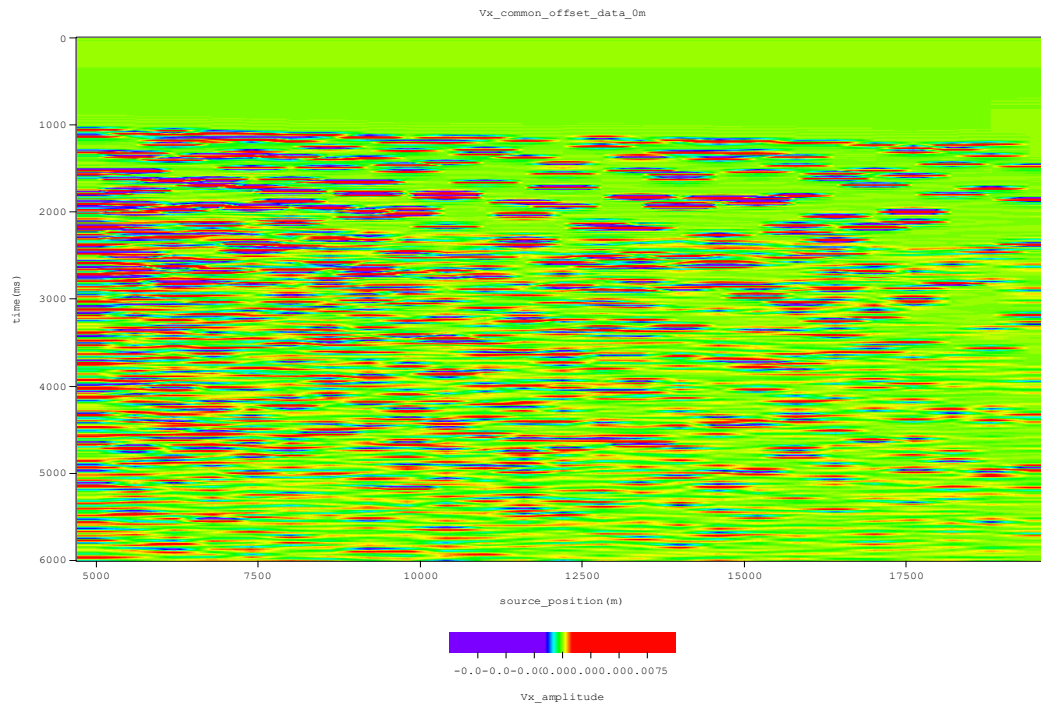


Σχήμα 4.2.5. Σχηματική απεικόνιση των ιχνών *CMPs* στα 11000m μετά την δυναμικά διόρθωση (*NMO*).

Σε αυτό το σημείο ωστόσο πρέπει να αναφερθεί ότι, στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο συνιστώσες της ταχύτητας μετατόπισης στην οριζόντια (x) και κατακόρυφη (z) διεύθυνση. Επιπλέον, και για τις δύο συνιστώσες οι καταγραφές έγιναν στα 0m, καθώς και στα 50m. Η ίδια διαδικασία έλαβε χώρα ουσιαστικά σε τέσσερις περιπτώσεις, για την οριζόντια συνιστώσα στα 0m, καθώς και στα 50m και για την κατακόρυφη συνιστώσα στα 0m και στα 50m, επίσης. Παρακάτω φαίνονται πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την σεισμική χωροθέτηση.

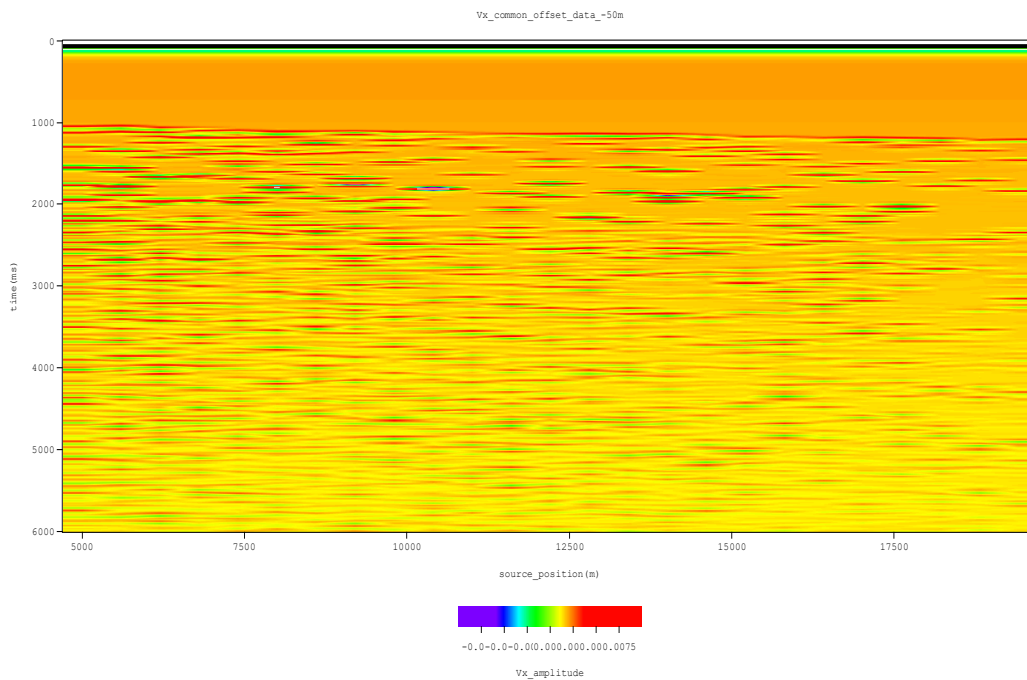
Ωστόσο, είναι φανερό από τα παρακάτω διαγράμματα πως δεν είναι δυνατόν να διακριθούν οι κύριοι ανακλαστήρες, ενώ είναι έντονη και η παρουσία αρκετών πολλαπλών ανακλάσεων. Ουσιαστικά, τα παρακάτω δρομοχρονικά που παρατίθενται φαίνεται ότι δεν απεικονίζουν με τον κατάλληλο τρόπο τις σεισμικές ανακλάσεις. Με άλλα λόγια, δεν μπορεί να γίνει πλήρως αντιληπτή η τοποθέτηση και ανακατασκευή των σεισμικών ανακλάσεων.

- Vx 0m :



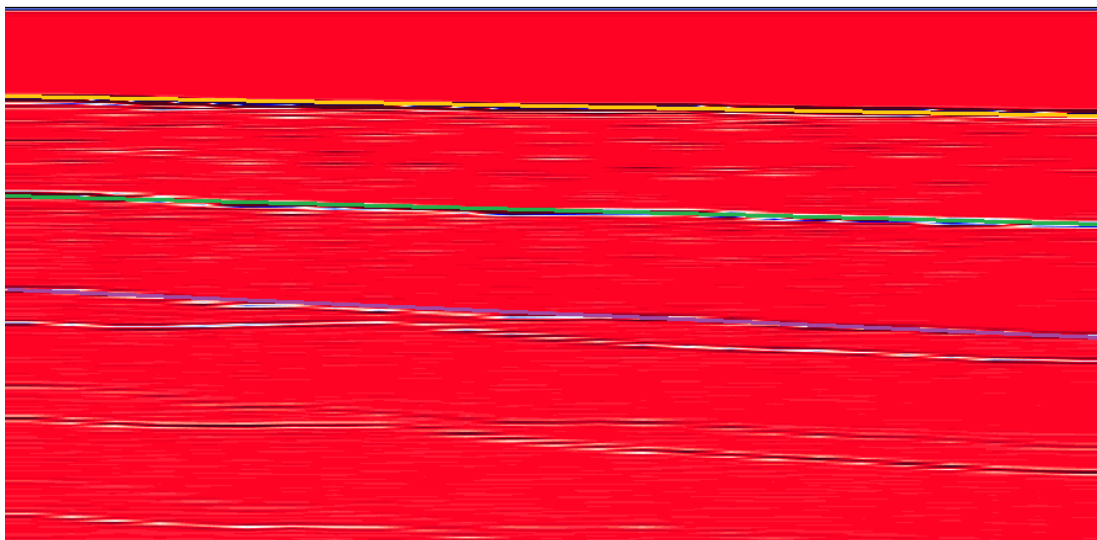
Σχήμα 4.2.6. Σεισμική τομή σταθερής απόστασης πηγής -δέκτη (0 m) για την συνιστώσα Vx. Οι άξονες στο διάγραμμα είναι time (ms) – source_position (m).

- **V_x -50m :**



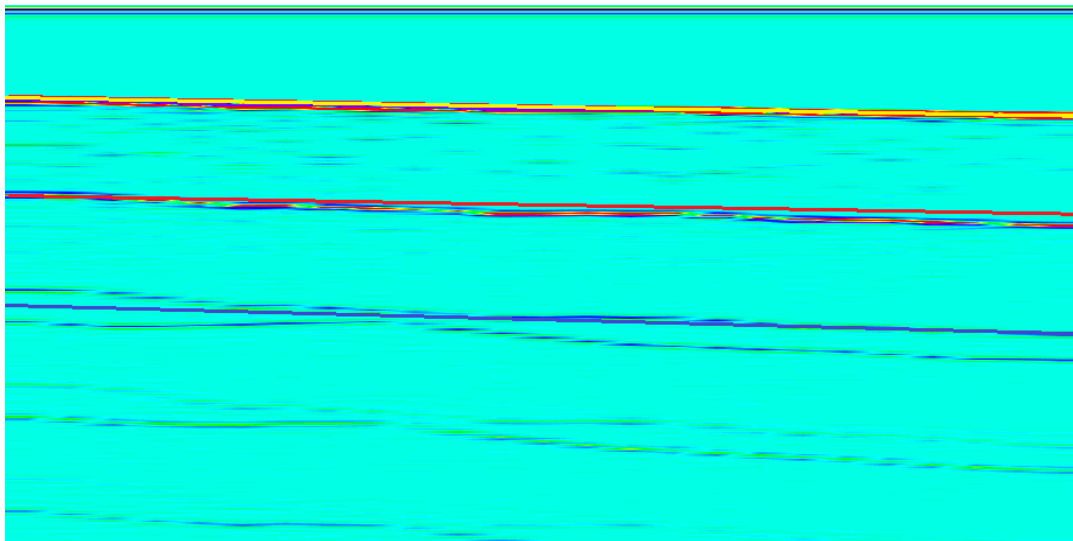
Σχήμα 4.2.7. Σεισμική τομή σταθερής απόστασης πηγής -δέκτη (50 m) για την συνιστώσα Vx. Οι άξονες στο διάγραμμα είναι time (ms) – source_position (m).

- **V_z 0m :**



Σχήμα 4.2.8. Σεισμική τομή σταθερής απόστασης πηγής -δέκτη (0 m) για την συνιστώσα Vz. Οι άξονες στο διάγραμμα είναι time (ms) – source_position (m). (I_{0s} ανακλαστήρας με κίτρινο χρώμα, 2_{0s} ανακλαστήρας με πράσινο χρώμα, 3_{0s} ανακλαστήρας με μωβ χρώμα).

- Vz -50m :

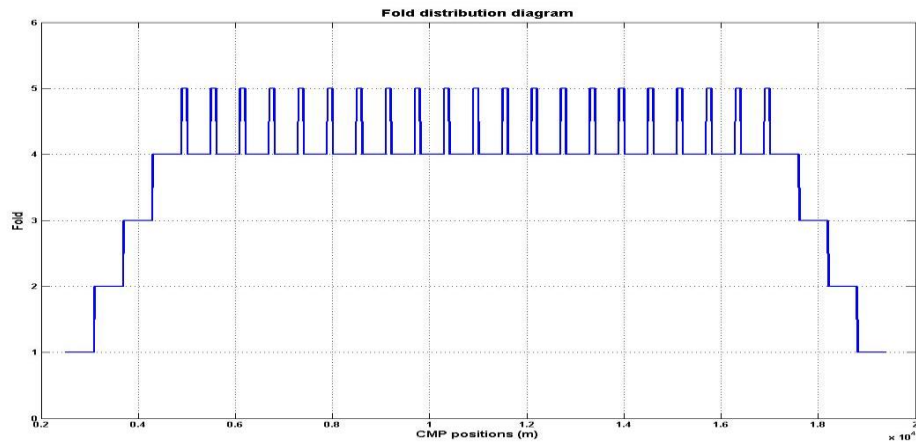


Σχήμα 4.2.9. Σεισμική τομή σταθερής απόστασης πηγής -δέκτη (50 m) για την συνιστώσα Vz. Οι άξονες στο διάγραμμα είναι time (ms) – source_position (m). (1_{ος} ανακλαστήρας με κίτρινο χρώμα, 2_{ος} ανακλαστήρας με πράσινο χρώμα, 3_{ος} ανακλαστήρας με μωβ χρώμα).

Στα σχήματα 4.2.8 και 4.2.9 έχουν τονιστεί χρωματικά οι τρεις κύριοι ανακλαστήρες οι οποίοι μπορούν να διακριθούν.

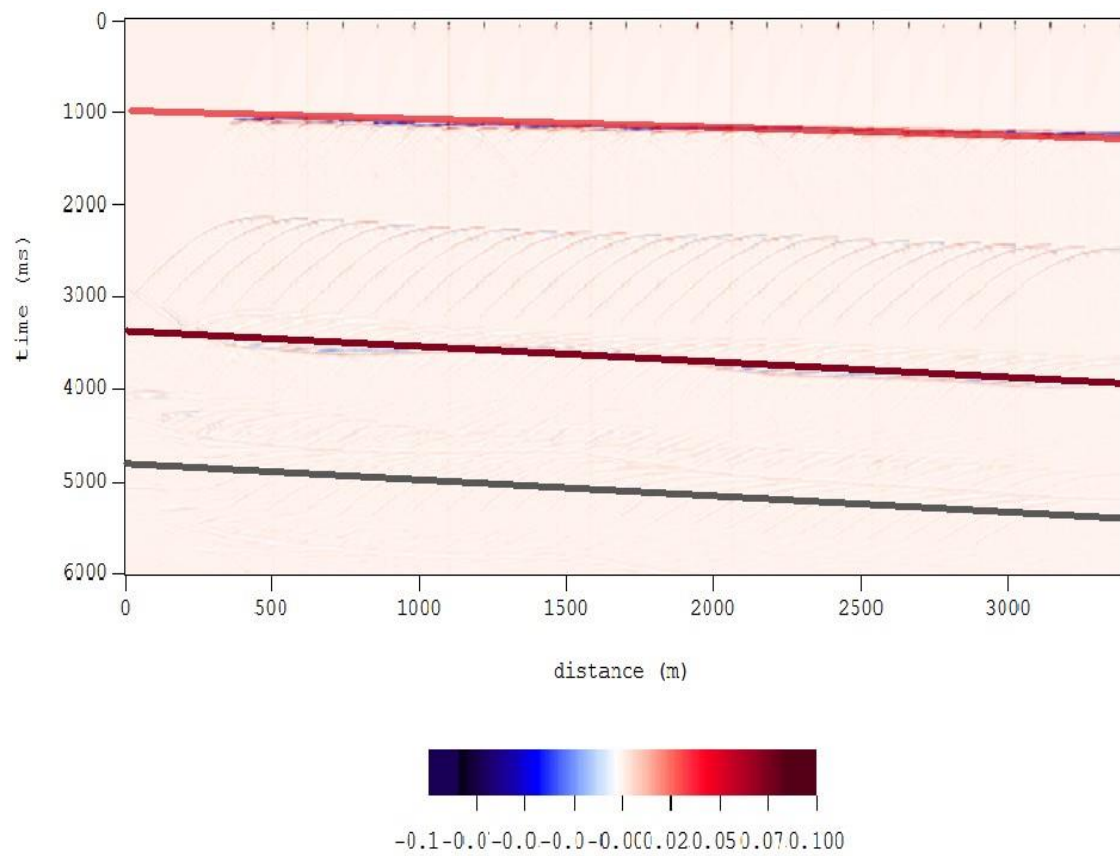
Παρακάτω, παρατίθεται επίσης και το σχετικό διάγραμμα που προέκυψε κατά την επεξεργασία των CMPs, σύμφωνα με τις θέσεις τους σε σχέση με την μέγιστη υπεδafική κάλυψη που είχε προσδιοριστεί.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η μέγιστη υπεδafική κάλυψη (fold) υπολογίστηκε ότι είναι ίση με 8 σε σχέση με τα δεδομένα που δόθηκαν (501 δέκτες, 25 πηγές, ισαπόσταση πηγών 600m, ισαπόσταση δεκτών 10m).

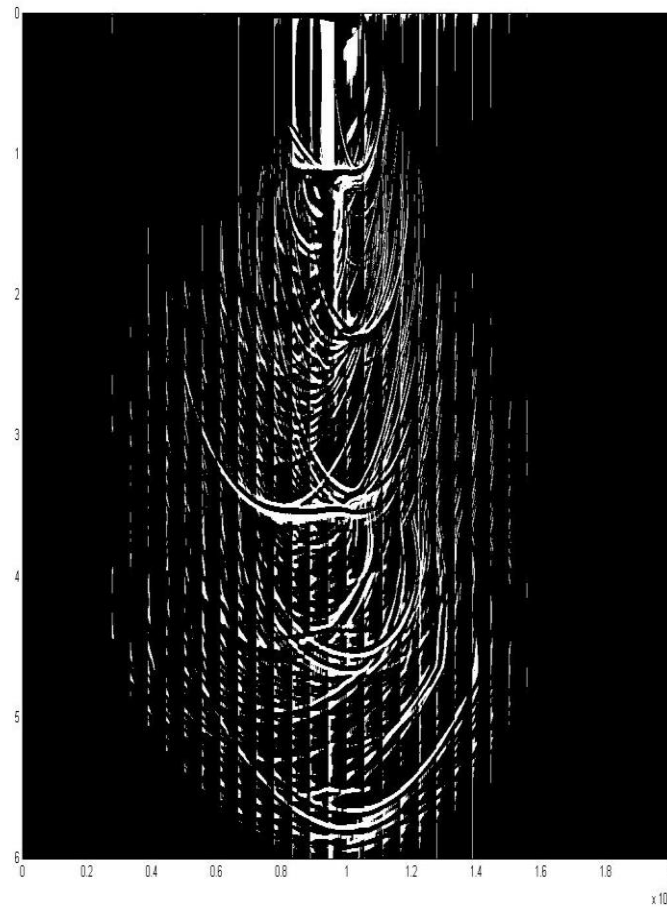


Σχήμα 4.2.10. Απεικόνιση των κυμάτων CMPs σε σχέση με την υπεδαφική κάλυψη (fold).

Εφόσον, παραπάνω έχει πλέον αναλυθεί η έννοια της σεισμικής υπέρθεσης παρατίθεται στη συνέχεια και το σχετικό διάγραμμα έπειτα από την σεισμική υπέρθεση. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα η αναγνώριση των κύριων ανακλαστήρων είναι σχετικά δύσκολη, καθώς είναι δυνατόν να διακριθεί και η έντονη παρουσία πολλών σε αριθμό πολλαπλών ανακλάσεων ανάμεσα από τους κύριους ανακλαστήρες. Παρ' όλα αυτά, μπορούν να διακριθούν οι τρεις κύριοι ανακλαστήρες.



Σχήμα 4.2.11. Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου της σεισμικής υπέρθεσης των κυμάτων ($1_{ος}$ ανακλαστήρας με κόκκινο χρώμα, $2_{ος}$ ανακλαστήρας με μπορντό χρώμα, $3_{ος}$ ανακλαστήρας με γκρι χρώμα).



Σχήμα 4.2.12. Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση.

4.3 ΧΩΡΟΘΕΤΗΜΕΝΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΗ

Καθώς, ο κύριος σκοπός της επεξεργασίας είναι η απεικόνιση των σεισμικών ανακλάσεων δημιουργείται ο κατάλληλος αλγόριθμος, ο οποίος παρουσιάστηκε παραπάνω έτσι ώστε να προκύψουν τα κατάλληλα αποτελέσματα.

Πιο αναλυτικά, σε περιβάλλον της Matlab τοποθετούνται ως δεδομένα εισόδου η θέση του υδροφώνου (x) καθώς και ο χρόνος (t), όπως επίσης και ο χρόνος για το πεδίο ταχύτητας (tv) και της θέσης (xv). Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν τα shortrec και Vrms. Επίσης, από τα δεδομένα εξόδου εφόσον πρέπει να προκύψει το shotmig χρησιμοποιούνται ως μεταβλητές εισόδου το xmig και το tmig.

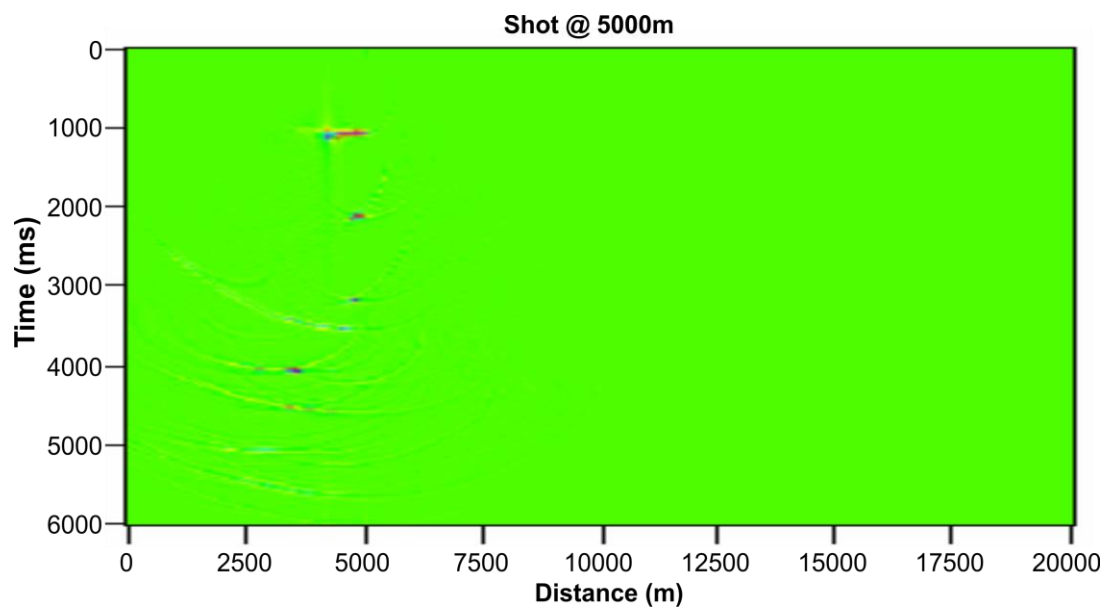
Για παράδειγμα, αν θέλουμε να δημιουργήσουμε το διάγραμμα για τις πηγές που σχετίζονται με τα 5000-5600m θα πρέπει να εργαστούμε ως εξής:

Αρχικά, τοποθετούνται στον χώρο εργασίας τα αρχεία **.V**, **.RCV** και το **.SMP**. Στη συνέχεια χρησιμοποιώ ως μεταβλητή για το xshot την πηγή, την οποία θέλω κάθε φορά (π.χ. την πηγή στα 5000m). Έπειτα, από το αρχείο **.RCV** παίρνω μόνο τα positions και από το αρχείο **.SMP** παίρνω μόνο τα Vrms. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει ένα shortrec. Υπολογίζονται έτσι όλα τα shortrecs. Τέλος, για τα shotmig παίρνω κάθε φορά το επόμενο και απλά το μετονομάζω ούτως ώστε να προκύψουν με αυτή την διαδικασία όλα τα shotmig.

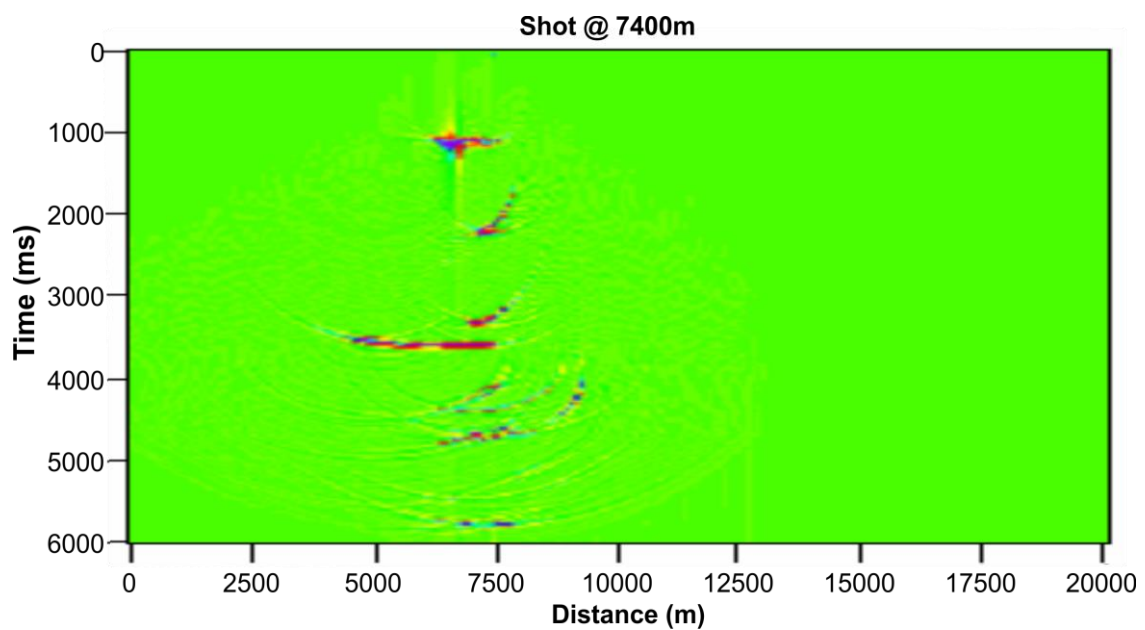
Ακολουθώντας αυτή την διαδικασία αυτό που τελικά θα προκύψει είναι όλες οι καταγραφές των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν και είναι τοποθετημένες κατά μήκος του μοντέλου.

Αυτά τα δεδομένα που προκύπτουν πρέπει να χωροθετηθούν για κάθε πηγή ξεχωριστά και στη συνέχεια να αθροιστούν τα χωροθετημένα δεδομένα από όλες τις πηγές προκειμένου να οδηγήσουν στην διαμόρφωση της χωροθετημένης σεισμικής τομής.

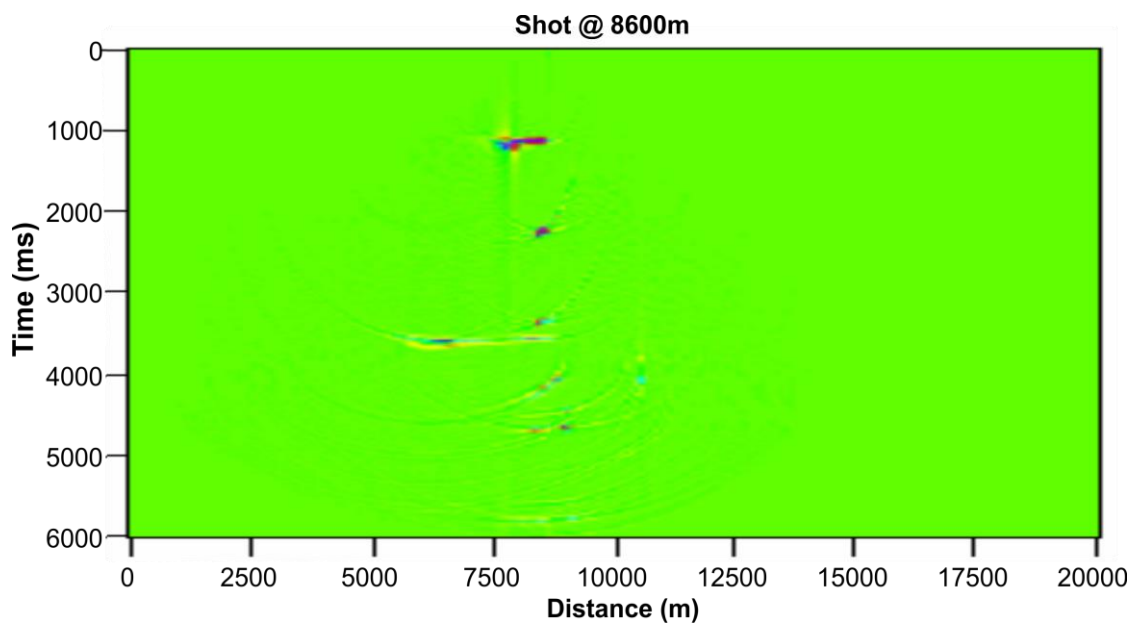
Στη συνέχεια λοιπόν παρατίθενται οι χωροθετημένες τομές, οι οποίες προέκυψαν έπειτα από την χωροθέτηση κατά Kirchhoff που έλαβε χώρα σε δεδομένα κοινής πηγής.



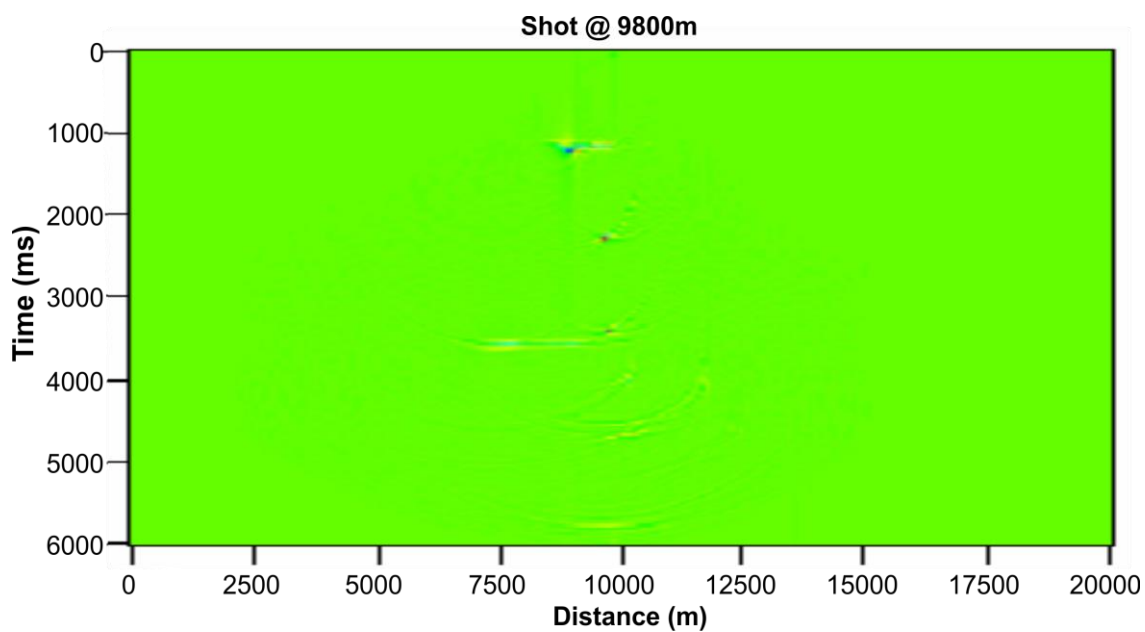
Σχήμα 4.3.1. Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 5000m.



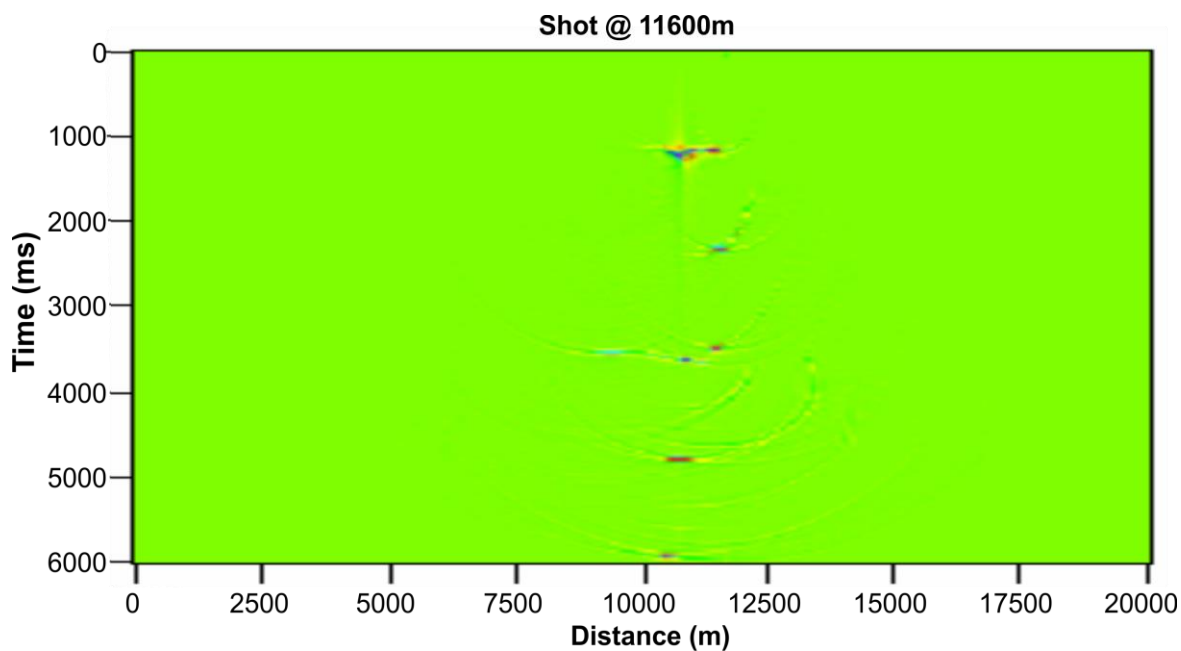
Σχήμα 4.3.2. Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 7400m.



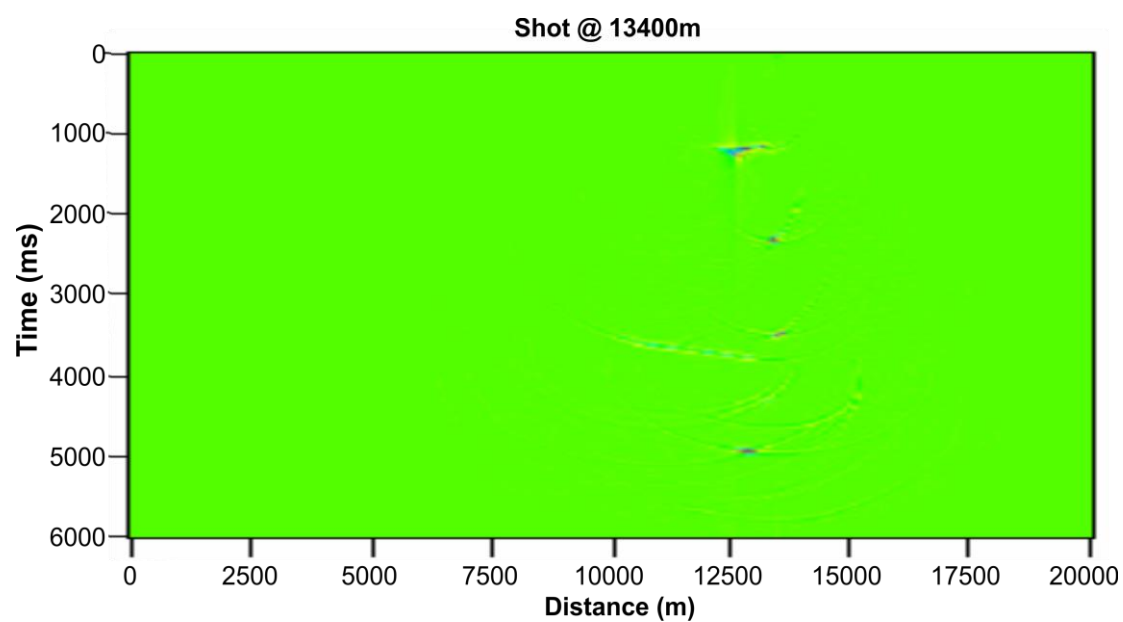
Σχήμα 4.3.3. Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 8600m.



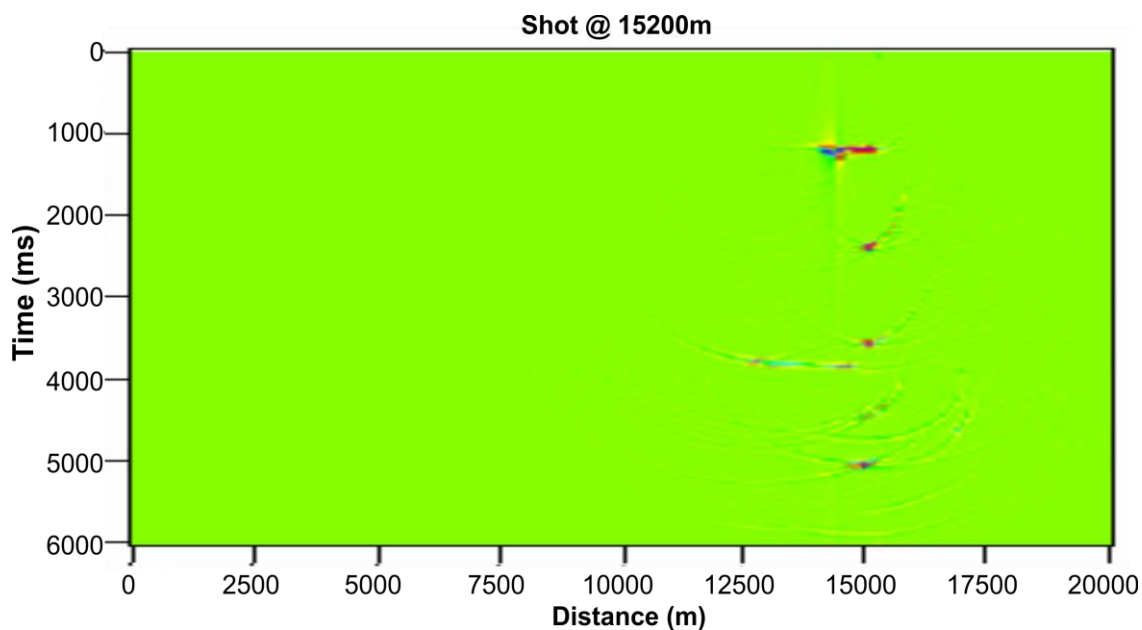
Σχήμα 4.3.4. Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 9800m.



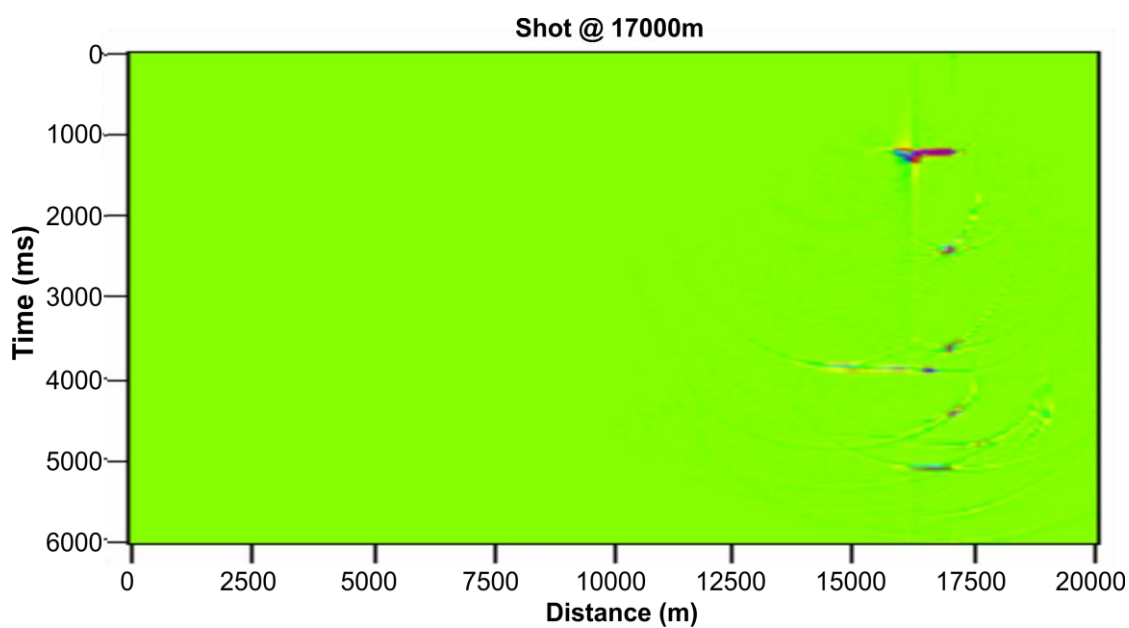
Σχήμα 4.3.5. Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 11600m.



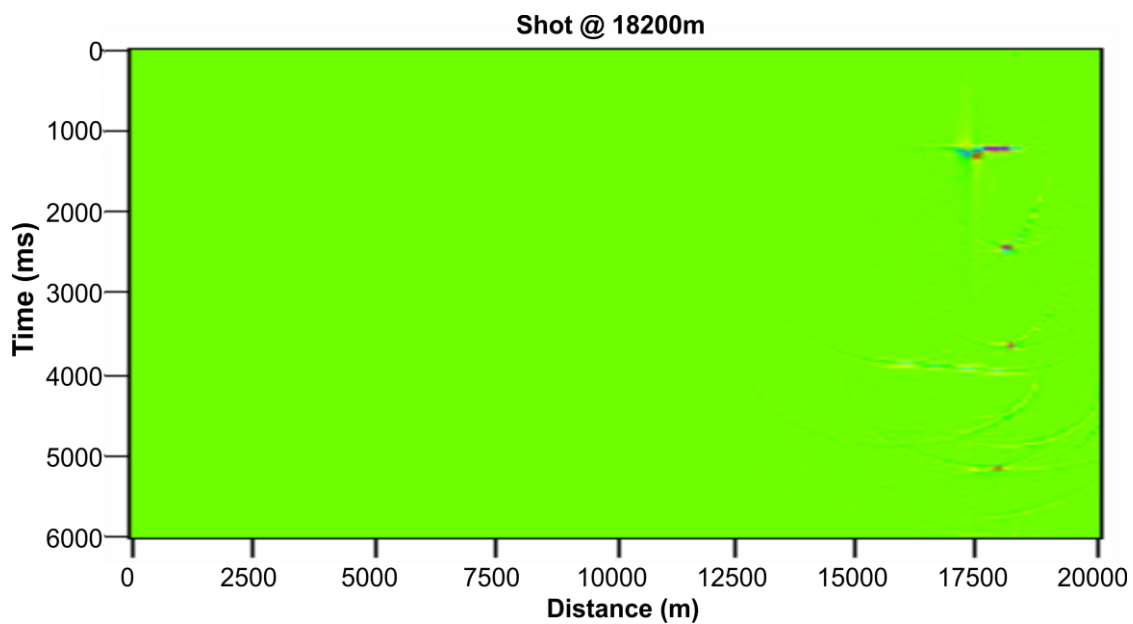
Σχήμα 4.3.6. Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 13400m.



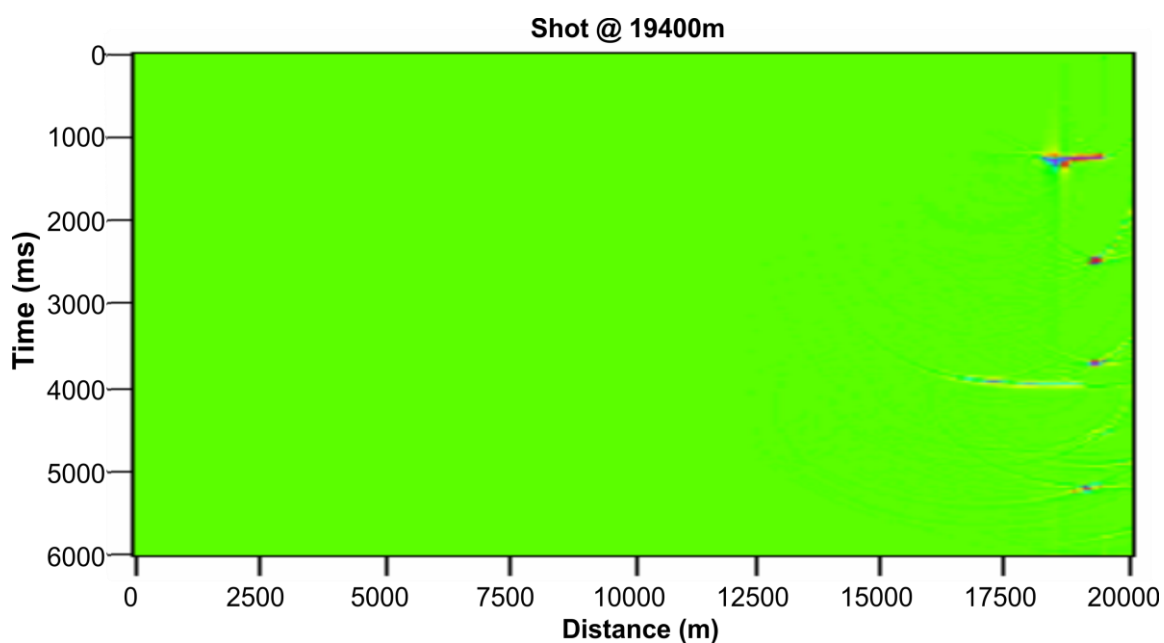
Σχήμα 4.3.7 Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 15200m.



Σχήμα 4.3.8. Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 17000m.

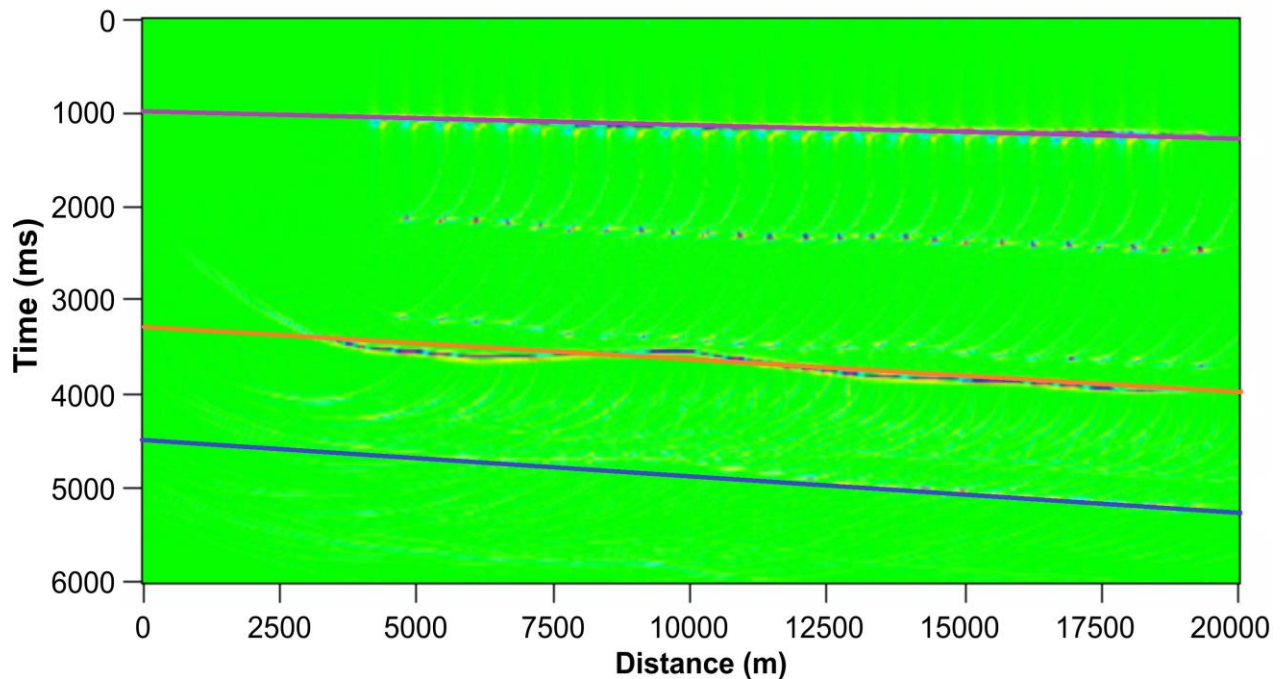


Σχήμα 4.3.9. Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 18200m.



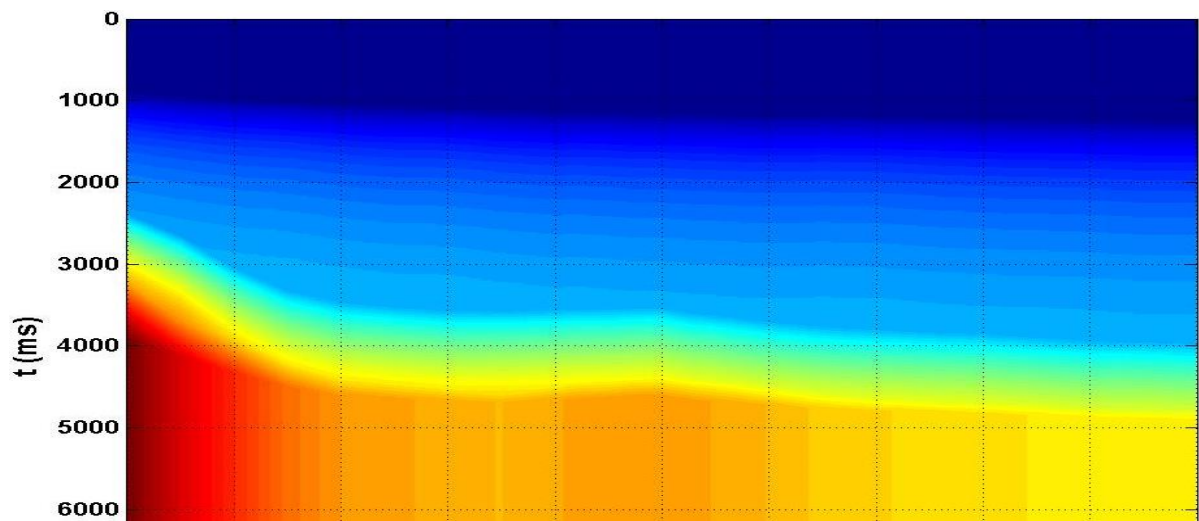
Σχήμα 4.3.10.. Σχηματική απεικόνιση δεδομένων διάταξης κοινής πηγής έπειτα από την σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff στην πηγή των 19400m.

Παρακάτω επίσης, απεικονίζεται η χωροθετημένη σεισμική τομή που προέκυψε από την διεργασία που αναφέρθηκε παραπάνω. Είναι φανερό πως είναι καταγεγραμμένη συνολικά ολόκληρη η περιοχή μελέτης έπειτα από την χωροθέτηση του Kirchhoff.

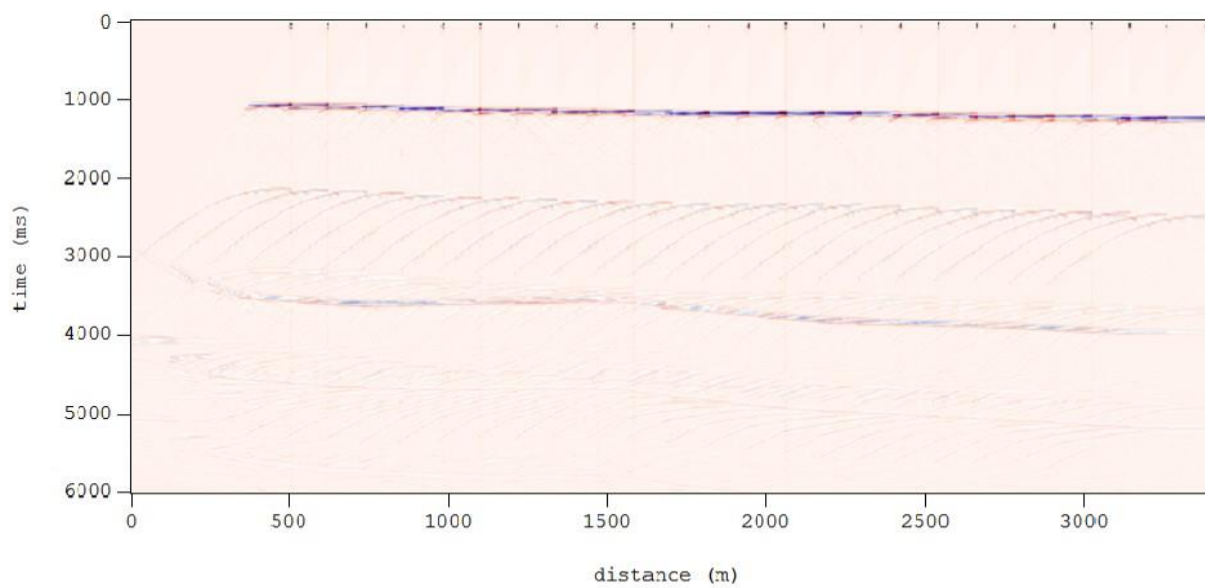


Σχήμα 4.3.11. Σχηματική απεικόνιση της χωροθέτησης του Kirchhoff (1^{ος} ανακλαστήρας με μωβ χρώμα, 2^{ος} ανακλαστήρας με πορτοκαλί χρώμα, 3^{ος} ανακλαστήρας με μπλε χρώμα).

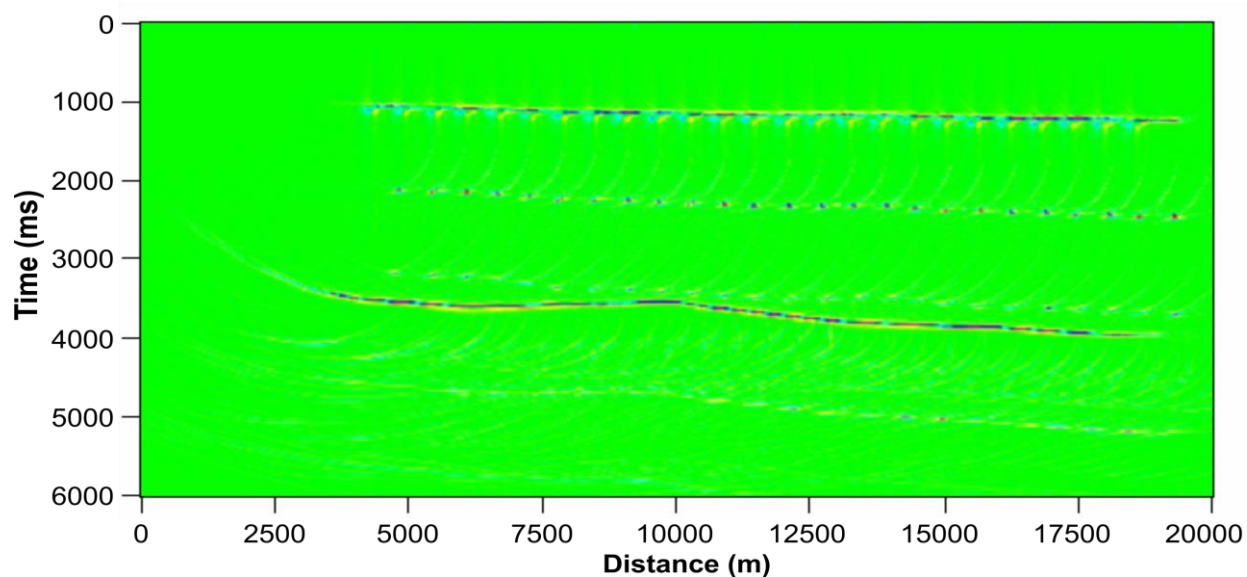
Στο τελευταίο κομμάτι αυτής της εργασίας ακολουθεί η σύγκριση τριών σεισμικών τομών. Πιο συγκεκριμένα, της τομής η οποία απεικονίζει τη μέση τετραγωνική ταχύτητα του σεισμικού μοντέλου, της τομής που απεικονίζει το μοντέλο έπειτα από τη σεισμική υπέρθεση που υπέστη και τέλος τη σεισμική τομή του μοντέλου μελέτης έπειτα από την επεξεργασία του με τη μέθοδο χωροθέτησης του Kirchhoff. Στη συνέχεια παρατίθενται οι τρεις σεισμικές τομές, οι οποίες θα μελετηθούν και θα συγκριθούν:



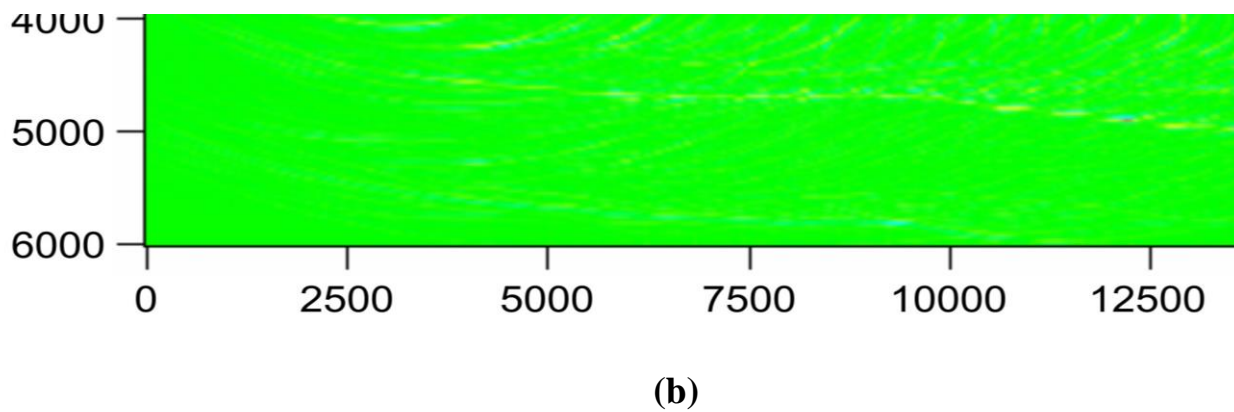
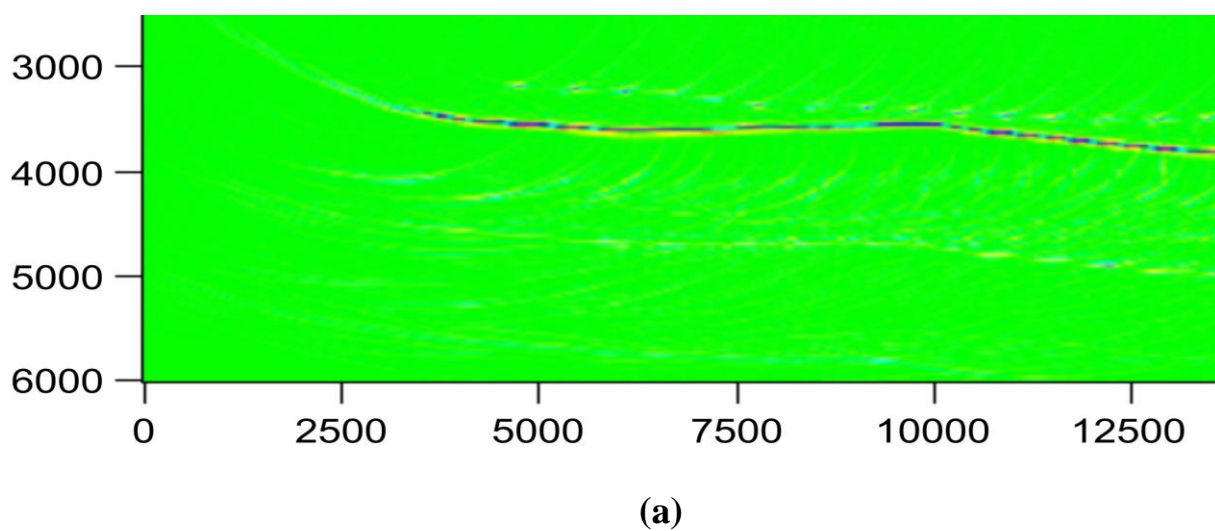
Σχήμα 4.3.12. Σχηματική απεικόνιση της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας (πιο συγκεκριμένα απεικονίζεται το τμήμα εκείνο της τομής που αφορά κυρίως για τη σύγκριση των τομών).



Σχήμα 4.3.13. Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου της σεισμικής υπέρθεσης των κυμάτων.



Σχήμα 4.3.14. Σχηματική απεικόνιση της χωροθέτησης του Kirchhoff.



Σχήμα 4.3.15. Απεικόνιση του 2_{ov} και του 3_{ov} ανακλαστήρα από τη σεισμική τομή της χωροθέτησης του Kirchhoff

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα κι έπειτα από τη σύγκρισή τους μπορεί να προκύψουν τα εξής συμπεράσματα:

- Έπειτα από τις διεργασίες της υπέρθεσης και της χωροθέτησης παρατηρείται μεγαλύτερη εξασθένηση των πολλαπλών ανακλάσεων (σχήμα 4.3.14), οι οποίες εμφανίζονταν πολύ έντονα στο αρχικό μοντέλο (σχήμα 4.3.13).
- Επίσης, υπάρχει καλύτερη απεικόνιση των κύριων ανακλαστήρων και ειδικότερα της αναθόλωσης, η οποία επικεντρώνεται στον 2^ο και στον 3^ο ανακλαστήρα (σχήμα 4.3.15).
- Επιπλέον, απεικονίζεται καλύτερα έπειτα από αυτή την επεξεργασία το τμήμα με τη μεγαλύτερη κλίση, δηλαδή ο 2^{ος} ανακλαστήρας (σχήμα 4.3.15a).
- Τέλος, παρατηρείται στο μοντέλο, έπειτα από την χωροθέτηση με τη μέθοδο του Kirchhoff, η υπέρθεση των κύριων ανακλαστήρων στο μοντέλο των ταχυτήτων. Αυτό φαίνεται πιο καθαρά στο σχήμα 4.3.15b, το οποίο εστιάζει στον 3^ο κύριο ανακλαστήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κύριο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας σχετίζεται κατά κύριο λόγο με την επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης που λαμβάνει χώρα στην περιοχή του Β. Ιονίου πελάγους. Στο κεφάλαιο αυτό θα καταγραφούν τα αποτελέσματα - συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία που έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης και επιπλέον θα παρατεθούν διάφορες προτάσεις που αφορούν την περιοχή η οποία μελετήθηκε κατά την διάρκεια του πειράματος.

5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο πρώτο στάδιο της επεξεργασίας δημιουργήθηκαν τα συνθετικά δεδομένα με λογισμικό σε περιβάλλον της Matlab. Στα δεδομένα αυτά πραγματοποιήθηκαν οι διαδικασίες της δυναμικής διόρθωσης (NMO) και της σεισμικής υπέρθεσης (Stacking). Ωστόσο, επειδή στη σεισμική τομή υπέρθεσης ήταν κυρίαρχη η εμφάνιση πολλαπλών ανακλάσεων από τον πυθμένα της θάλασσας, ακολούθησε η εφαρμογή της μεθόδου χωροθέτησης του Kirchhoff πριν από την υπέρθεση (prestack migration).

5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς επίσης παρατίθενται διάφορες προτάσεις για την περαιτέρω διερεύνηση του θέματος.

Συμπεράσματα από την δημιουργία και επεξεργασία συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάλυσης στο λογισμικό Matlab :

- Η διαδικασία της δημιουργίας των συνθετικών δεδομένων ήταν αρκετά χρονοβόρα καθώς έλαβε χώρα αρκετές εβδομάδες.
- Στην σεισμική τομή υπέρθεσης απεικονίζονται οι ανακλαστήρες και εμφανίζονται πολλαπλές ανακλάσεις από τον πυθμένα της θάλασσας.
- Η κύρια ανάκλαση ($3^{ος}$ ανακλαστήρας) δεν είναι εύκολα αναγνωρίσιμη λόγω της ύπαρξης των πολλαπλών ανακλάσεων στη σεισμική τομή υπέρθεσης.
- Η σεισμική τομή χωροθέτησης απεικονίζει καλύτερα τους ανακλαστήρες.
- Η χωροθέτηση κατά Kirchhoff πριν από την υπέρθεση αποτελεί την πιο κατάλληλη μέθοδο ανάδειξης των κύριων ανακλαστήρων και απεικόνιση αναθολώσεων και ανακλαστήρων στα περιθώρια ιζηματογενούς λεκάνης.

Μελλοντικές προτάσεις :

- Εφαρμογή μεθόδων εξασθένησης πολλαπλά ανακλώμενων κυμάτων.
- Εισαγωγή φίλτρου ενίσχυσης του πλάτους των ανακλώμενων κυμάτων, με σκοπό την εξάλειψη της εξασθένησης λόγω της γεωμετρικής διασποράς.
- Δημιουργία πιο λεπτομερούς σεισμικού μοντέλου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Chun and Jacewitz, 1981, Chun, J.H. and Jacewitz, C., 1981, Fundamentals of frequency-domain migration: Geophysics, 46, 717–732.
2. Casero, P. (2004): «STRUCTURAL SETTING OF PETROLEUM EXPLORATION PLAYS IN ITALY». Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC 32 Florence-2004.
3. Hagedoorn, J. G., 1954, A process of seismic reflection interpretation: Geophys. Prosp., 2, 85-127.
4. Παγιαλάκης Μ., 2014, Προσομοίωση δεδομένων σεισμικής ανάκλασης για το σχεδιασμό διασκόπησης στο θαλάσσιο χώρο του Πατραϊκού Κόλπου, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
5. Sheriff R. E. and Geldart L. P., 1995, Exploration seismology. Cambridge Univ. Press.
6. Sodbinow E. S. 1989, Stacking, Filtering, and Display, Exploration Geophysics. GP 406.
7. Yilmaz O., 1987, Seismic data processing, Society of Exploration Geophysicists.