



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

ΘΕΜΑ : «Σχεδιασμός πειράματος σεισμικής ανάκλασης για την απεικόνιση του υπεδάφους σε περιβάλλον βαθιάς θάλασσας νότια της Κρήτης».

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

- Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης (Επιβλέπων)
- Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης
- Κρητικάκης Γεώργιος, Μέλος ΕΔΠ Πολυτεχνείου Κρήτης

Χανία 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°: Στόχος πτυχιακής εργασίας	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° : Γεωλογία περιοχής μελέτης.....	2
2.1 Γεωλογία Κρήτης.....	2
2.2 Γεωλογία πεδιάδας Μεσσαράς	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°: Μέθοδος σεισμικής ανάκλασης.....	5
3.1 Εισαγωγή.....	5
3.2 Θαλάσσιες διασκοπήσεις	5
3.3 Βασικές Αρχές διάδοσης των ελαστικών κυμάτων	7
3.3.1 Αρχή Huygens.....	7
3.3.2 Αρχή του Fermat	7
3.4 Είδη σεισμικών κυμάτων	8
3.5 Βασικές αρχές στην επεξεργασία σεισμικών δεδομένων	9
3.5.1 Καταγραφές κοινής πηγής (shot gather)	9
3.5.2 Καταγραφές σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου (Common Offset Gather).....	9
3.5.3 Ανάδιάταξη των δεδομένων σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP Gather)	10
3.5.4 Ανάλυση ταχυτήτων	10
3.5.5 Διόρθωση της κανονικής χρονικής απόκλισης (Normal Move Out-NMO)	12
3.5.6 Σεισμική υπέρθεση	12
3.5.7 Σεισμική χωροθέτηση	12
3.6 Θεωρία για την δημιουργία φίλτρου μετατροπής των δεδομένων απο 10 σε 20Hz.....	14
3.6.1 Αντίστροφο Φιλτράρισμα Ελάχιστων Τετράγωνων (Last-Squares Inverse Filtering)	14
3.6.2 Βέλτιστα Φίλτρα Wiener (Optimum Wiener Filters)	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°: Δημιουργία συνθετικών δεδομένων	18
4.1 Δημιουργία συνθετικών δεδομένων.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° : Επεξεργασία δεδομένων-Αποτελέσματα.....	27
5.1 Επεξεργασία δεδομένων - Αποτελέσματα	27
5.2 Αναδιάταξη δεδομένων κοινής πηγής σε δεδομένα κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP)	27
5.3 Διόρθωση κανονικής χρονικής απόκλισης (NMO)	31
5.4 Σεισμική Υπέρθεση (Stacking)	33
5.5 Σεισμική Χωροθέτηση (Migration)	36
5.6 Αποτελέσματα χωροθέτησης	36
5.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων χωροθέτησης με το μοντέλο τμηματικών ταχυτήτων	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°: Συμπεράσματα.....	47
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	48
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	51

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 «Η γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης» (Fassoulas, 1999).....	2
Εικόνα 2.2 Η γεωλογική δομή της Κρήτης με τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα. (Fassoulas, 1999)	3
Εικόνα 2.3 Τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς (χαρτογράφηση ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000 ψηφιοποίηση (Vafidis et al, 2012).	4
Εικόνα 3.1 Διάταξη θαλάσσιας διασκόπησης (Μούχου, 2014).	6
Εικόνα 3.2 Σχηματική απεικόνιση της αρχής Huygens (Παπαδόπουλος, 2010).	7
Εικόνα 3.3 Απεικόνιση των επιφανειακών κυμάτων και των κυμάτων χώρου (Καπακτσή, 2018).	8
Εικόνα 3.4 Εφαρμογή σεισμικής χωροθέτησης πριν την υπέρθεση (Yilmaz ,1987).....	13
Εικόνα 3.5 Εφαρμογή σεισμικής χωροθέτησης μετά την υπέρθεση, όπου στο σχήμα (3.5) παρατηρείται βελτίωση αποτελεσμάτων καθώς η τομή είναι απαλλαγμένη απ τις περιθλάσεις και οι ανακλαστήρες είναι επανασυστατικοί στην σωστή θέση (Yilmaz ,1987)	14
Πίνακας 4.1 Σχεδιασμός και εφαρμογή ενός αντίστροφου φίλτρου ελαχίστων τετραγώνων δύο όρων (a, b).....	14
Πίνακας 4.2 Αυτοσυσχέτιση του κύματος εισόδου (1, -1/2)	16
Πίνακας 4.3 Καθυστερήσεις αλληλοσυσχέτισης της επιθυμητής εξόδου (1, 0, 0) με το κύμα εισόδου (1, -1/2).	16
Πίνακας 4.4 Μοντέλο σεισμικών ταχυτήτων (Χριστίδη, 2019)	18
Πίνακας 4.5 Παράμετροι πηγών (Χριστίδη, 2019).....	19
Πίνακας 4.6 Παράμετροι υδροφόνων (Χριστίδη, 2019).....	19
Πίνακας 4.7 Εισαγωγή αρχικών παραμέτρων στο πρόγραμμα PSV_SYNTHETICS (Χριστίδη, 2019)	20
Πίνακας 4.8 Εισαγωγή των παραμέτρων ταχύτητας (P και S κυμάτων) και της πυκνότητας (ρ) για το στρώμα της θάλασσας (Δασκαλάκης, 2020 , Μαρκέτος, (διπλωματική υπό εκπόνηση) , Χριστίδη, 2019)	20
Πίνακας 4.9 Εισαγωγή αρχικών παραμέτρων στο πρόγραμμα PSV_SYNTHETICS (Δασκαλάκης, 2020 , Μαρκέτος, (διπλωματική υπό εκπόνηση)).....	21
Πίνακας 4.10 Παράμετροι πηγών (Δασκαλάκης, 2020 , Μαρκέτος, (διπλωματική υπό εκπόνηση))	21
Πίνακας 4.11 Παράμετροι υδροφόνων (Δασκαλάκης, 2020 , Μαρκέτος, (διπλωματική υπό εκπόνηση))	21
Εικόνα 4.1 Κυματομορφή σεισμικής πηγής των 10Hz	22
Εικόνα 4.2 Κυματομορφή σεισμικής πηγής των 20Hz	22
Εικόνα 4.3 Κυματομορφή σεισμικής πηγής με κεντρική συχνότητα 20Hz μετά την εφαρμογή του φίλτρου (f).	22
Εικόνα 4.4 Μοντέλο διάταξης πηγής-γεωφώνου με κυρίαρχη συχνότητα 10Hz	23
Εικόνα 4.5 Μοντέλο διάταξης πηγής-γεωφώνου με κυρίαρχη συχνότητα 20Hz	24

Εικόνα 4.6 Αρχείο πηγών Βασιλικής Λουίζας Χριστίδη από 500m μέχρι 2000m όπου V_z και V_x είναι το βάθος και η οριζόντια απόσταση της κάθε πηγής.(Χριστίδη,2019).....	25
Εικόνα 4.7 Διάταξη κοινής πηγής. Η πηγή βρίσκεται στα 500m.	26
Εικόνα 4.8 Διάταξη κοινής πηγής. Η πηγή βρίσκεται στα 500m.	26
Εικόνα 5.1 Διάφορες καταγραφές Πηγής-Δέκτη	28
Εικόνα 5.2 Υπεδαφική κάλυψη (fold).....	29
Εικόνα 5.3 Καταγραφή κοινού ενδιάμεσου σημείου ($\chi=4125$ m) με fold 32	29
Εικόνα 5.4 Καταγραφή κοινού ενδιάμεσου σημείου ($\chi=5720$ m) με fold 20	30
Εικόνα 5.5 Μετατροπή δεδομένων κοινής πηγής σε δεδομένα κοινού ενδιάμεσου σημείου.....	30
Εικόνα 5.6 Μοντέλο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας σε (m/s).	31
Εικόνα 5.7 Καταγραφή κοινού ενδιάμεσου σημείου ($\chi=4125$ m), μετά την εφαρμογή της NMO με fold 32	32
Εικόνα 5.8 Καταγραφή κοινού ενδιάμεσου σημείου ($\chi=5720$ m), μετά την εφαρμογή της NMO με fold 20	33
Εικόνα 5.9 Τομή σεισμικής υπέρθεσης με αποκοπή των πρώτων 3s των δεδομένων.....	34
Εικόνα 5.10 Τομή σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου	35
Εικόνα 5.11 Τομή μερικής σεισμικής υπέρθεσης με αποκοπή των πρώτων 3s δεδομένων. Παρατηρούνται περιθλάσεις στα σημεία που μεταβάλλεται πλευρικά η ταχύτητα, όπως για παράδειγμα η περίθλαση στα 5.8km και 7km σε χρόνους 4.5sec και 4sec αντίστοιχα	35
Εικόνα 5.12 Σεισμική χωροθέτηση (Μούχου, 2014)	36
Εικόνα 5.13 Τομή χωροθέτησης με την μέθοδο πεπερασμένων διαφορών με αποκοπή των πρώτων 3s των δεδομένων. Βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους (1 ms).	37
Εικόνα 5.14 Παράθυρο χωροθέτησης με την μέθοδο Kirchhoff στην οριζόντια διεύθυνση $X=5000$ m και μέγιστη κλίση 60°	39
Εικόνα 5.15 Παράθυρο χωροθέτησης με την μέθοδο Kirchhoff στην οριζόντια διεύθυνση $X=5000$ m και μέγιστη κλίση 90°	39
Εικόνα 5.16 Παράθυρο χωροθέτησης με την μέθοδο Kirchhoff στην οριζόντια διεύθυνση $X=8172.5$ m και μέγιστη κλίση 60°	40
Εικόνα 5.17 Παράθυρο χωροθέτησης με την μέθοδο Kirchhoff στην οριζόντια διεύθυνση $X=8172.5$ m και μέγιστη κλίση 90°	40
Εικόνα 5.18 Τομή χωροθέτησης με την μέθοδο συχνότητας-κυματαριθμού και μέγιστη κλίση 90°	42
Εικόνα 5.19 Μοντέλο τμηματικής ταχύτητας.	43
Εικόνα 5.20 Υπέρθεση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών με βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους (1ms).....	43
Εικόνα 5.21 Υπέρθεση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο Kirchhoff ($X=5000$ m, μέγιστη κλίση = 60°).....	44
Εικόνα 5.22 Υπέρθεση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο Kirchhoff ($X=5000$ m, μέγιστη κλίση = 90°).....	44
Εικόνα 5.23 Υπέρθεση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο Kirchhoff ($X=8172.5$ m, μέγιστη κλίση = 60°).....	45
Εικόνα 5.24 Υπέρθεση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο Kirchhoff ($X=8172.5$ m, μέγιστη κλίση = 90°).....	45

Εικόνα 5.25 Υπέρθεση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού.....	46
Εικόνα 5.26 Υπέρθεση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού με κυρίαρχη συχνότητα 10Hz.....	46

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά την δημιουργία συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης καθώς και την επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων με τη χρήση μεθόδων σεισμικής χωροθέτησης.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Βαφείδη που μου έδωσε την δυνατότητα να συνεργαστούμε για την ανάθεση του θέματος, αλλά και για την πολύτιμη βοήθεια που μου έδωσε για την υλοποίηση της παρούσας πτυχιακής.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ανδρονικίδη και τον κ. Κρητικάκη για την πολύτιμη βοήθειά τους, η οποία ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της πτυχιακής αλλά και για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν για την υλοποίησή της.

Επίσης, θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου που ήταν αρωγός σε όλη αυτή την προσπάθειά μου, όπου με την στήριξή τους με βοήθησαν να ολοκληρώσω επιτυχώς τις σπουδές μου.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στου φοιτητές Ανδρέα Μαρκέτο, Αναστάσιο Δασκαλάκη και Βασιλική Λουίζα Χριστίδη για την ευγενή καλοσύνη που είχαν να μου παραχωρήσουν τα δεδομένα τους για την υλοποίηση του πειράματός μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία επεξεργάστηκαν συνθετικά δεδομένα σεισμικής ανάκλασης που αντιστοιχούν στην θαλάσσια περιοχή της νότιας Κρήτης. Για την πραγματοποίηση του πειράματος της σεισμικής ανάκλασης τα συνθετικά δεδομένα προήλθαν από το λογισμικό του περιβάλλον της Matlab. Τα συνθετικά δεδομένα είναι κατηγοριοποιημένα σε διάταξη κοινής πηγής. Επίσης ένα άλλο καθοριστικό κομμάτι της πτυχιακής είναι και η μετατροπή των δεδομένων που δημιουργήθηκαν με πηγή 10Hz σε καλύτερης ανάλυσης δεδομένα με κυρίαρχη συχνότητα 20Hz, όπου στα επόμενα κεφάλαια που ακολουθούν περιγράφεται λεπτομερέ-στατα η διαδικασία της μετατροπής αυτής.

Αρχικά τα συνθετικά δεδομένα κοινής πηγής κατηγοριοποιούνται σε διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου, στην συνέχεια από την διαδικασία της δυναμικής διόρθωσης, δίνεται η δυνατότητα για την αφαίρεση χρόνου από τον χρόνο διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων, ο οποίος ισούται με την κανονική χρονική απόκλιση.

Ακόμα ακολουθεί η διαδικασία της σεισμικής υπέρθεσης, όπου μέσα από αυτό το κομμάτι της επεξεργασίας ενισχύονται τα πλάτη των ανακλώμενων κυμάτων και έτσι ενισχύεται το σήμα των σεισμικών ανακλάσεων.

Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της σεισμικής χωροθέτησης, όπου βοηθάει στην ανακατασκευή και στην τοποθέτηση των ανακλαστήρων στη σωστή τους θέση. Στην συγκεκριμένη επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν τρεις μέθοδοι: Η μέθοδος Χωροθέτησης Kirchhoff, η μέθοδος χωροθέτησης Πεπερασμένων διαφορών (Finite Difference) και η μέθοδος Μετατόπισης φάσης (Phase shift) στο χώρο των συχνοτήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Στόχος πτυχιακής εργασίας

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης βαθιάς θάλασσας στην Νότια Κρήτη, με σκοπό την ακριβέστερη και αναλυτικότερη απεικόνιση των στρωμάτων στη περιοχή.

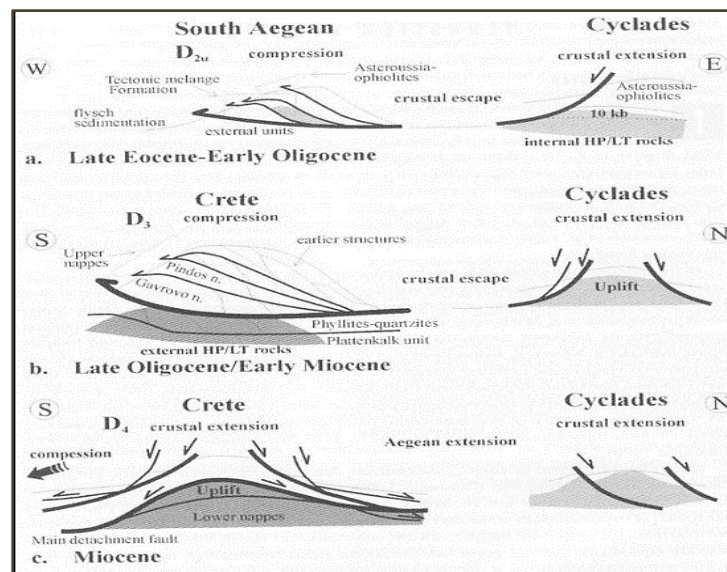
Τα δεδομένα αυτά αντιστοιχούσαν στα δεδομένα της διπλωματικής εργασίας της Βασιλικής Λουίζας Χριστίδη και των διπλωματικών εργασιών των φοιτητών Ανδρέα Μαρκέτου και Τάσου Δασκαλάκη με την μόνη διαφορά ότι, τα δεδομένα των παραπάνω φοιτητών έτρεξαν σε συχνότητα 10Hz, ενώ τα αντίστοιχα δεδομένα στην παρούσα διπλωματική σε συχνότητα 20Hz. Στη συνέχεια ακολουθεί η δυναμική διόρθωση των δεδομένων με κύριο σκοπό την αφαίρεση του χρόνου από τον χρόνο διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων.

Επίσης στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας είναι η σεισμική υπέρθεση, κατά την οποία πραγματοποιείται η ανάδειξη των ανακλώμενων κυμάτων και αυτό επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση του θορύβου αλλά και την ενίσχυση του πλάτους τους.

Στο τελικό στάδιο ακολουθεί η μέθοδος της σεισμική χωροθέτησης, με την οποία πραγματοποιείται η ανακατασκευή των ανακλαστήρων και η τοποθέτηση τους στην σωστή θέση. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα σεισμικά κύματα έχουν πορεία αντίθετη από εκείνη που έχουν στο πείραμα, δηλαδή τα κύματα που διαδίδονται από την επιφάνεια της γης προς την διαχωριστική επιφάνεια έχουν ταχύτητα ίση με το μισό της πραγματικής ταχύτητας.

2.1 Γεωλογία Κρήτης

Η Κρήτη χαρακτηρίζεται από έντονη πολυπλοκότητα όσον αφορά τη γεωλογική της δομή, η οποία οφείλεται στη σύγκλιση δύο πλακών στην περιοχή: της Ευρασιατικής Πλάκας και της Αφρικανικής Πλάκας. Το νησί αποτελείται από αλληπάλληλα διαδοχικά τεκτονικά καλύμματα η δημιουργία των οποίων οφείλεται σε τεκτονικές ενότητες, που τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη ανάλογα με τη στρωματογραφική τους θέση και την μεταμορφική τους ιστορία (Εικόνα 2.1). Με αυτό τον τρόπο οι τεκτονικές ενότητες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα ανώτερα και τα κατώτερα καλύμματα.

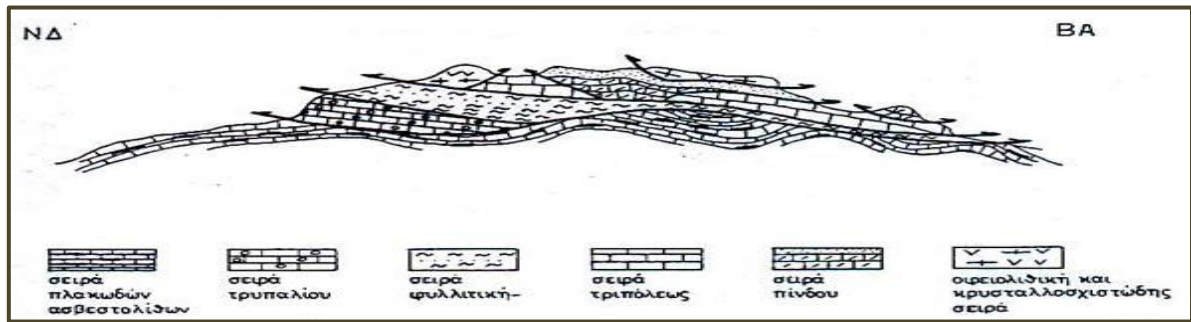


Εικόνα 2.1 «Η γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης» (Fassoulas, 1999)

Πιο συγκεκριμένα, το αλπικό υπόβαθρο αποτελείται από πλακώδεις ασβεστόλιθους (τυπικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι με πυριτικές ενστρώσεις και κερατολιθικούς κονδύλους, καθώς επίσης και δολομίτες, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και μαζώδεις ασβεστόλιθους), οι οποίοι σε μεγάλες εκτάσεις εμφανίζονται στα κεντρικά της Κρήτης και πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή των Ταλαίων Ορέων, το σύστημα Φυλλιτών - Χαλαζιτών (φυλλίτες, χαλαζίτες, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάρμαρα, μεταβασίτες και ανδεσίτες) και τους σχηματισμούς φλύσχη και ασβεστόλιθων των ζωνών Τρίπολης και Πίνδου. Συναντώνται, ακόμη, νεογενείς αποθέσεις (αστεστόλιθοι, μάργες, άμμοι, ιλύολιθοι) και τεταρτογενή κλαστικά ιζήματα. Χαρακτηριστικό λοιπόν στοιχείο της δομής της Κρήτης, είναι η παρουσία αλληπάλληλων διαδοχικών τεκτονικών καλυμμάτων των διαφόρων ζωνών, τα οποία εμφανίζονται πάνω στην ενότητα Ταλέα Όρη - πλακώδων ασβεστόλιθων.

Τα καλύμματα των τεκτονικών ζωνών κατατάσσονται από κάτω προς τα πάνω στις παρακάτω ενότητες (**Εικόνα 2.2**):

- Ταλέα Όρη - πλακωδών ασβεστόλιθων
- Τρυπαλίου
- Φυλλιτών - Χαλαζιτών
- Πίνδου



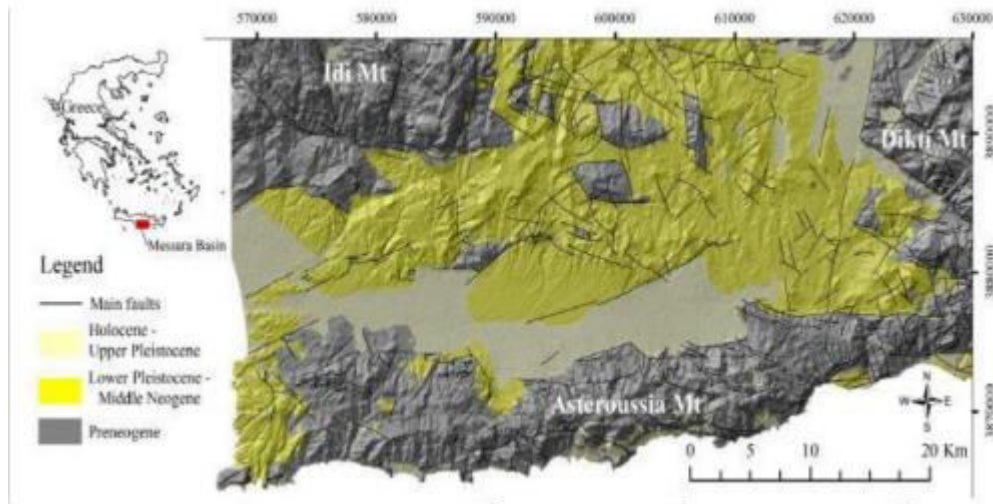
Εικόνα 2.2 Η γεωλογική δομή της Κρήτης με τα αλληπάλλληλα τεκτονικά καλύμματα. (Fassoulas, 1999)

Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, η μεταμόρφωση όλων των κατώτερων καλυμμάτων έγινε σε συνθήκες υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας (Μουντράκης, 1985, Φασουλάς, 2001). Τέλος είναι τα ανώτερα καλύμματα τα οποία αποτελούνται από τεκτονικές ενότητες όπου συσχετίζονται με τις λιθοτεκτονικές ενότητες της κεντρικής Ελλάδας και των Κυκλάδων. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η Κρήτη αντιπροσωπεύει μια εξέχουσα δομή που σχηματίστηκε στο πρόσφατο τμήμα της ελληνικής επικράτειας. Η δομή της Κρήτης περιλαμβάνει μια στοίβα από καλύμματα (nappes), δηλαδή τμήματα από πετρώματα που έχουν μετακινηθεί από 2km έως 5km πάνω από ένα «thrust fault», δηλαδή ένα σπάσιμο στο φλοιό της γης, πάνω από το οποίο ωθούνται οι παλαιότεροι βράχοι πάνω από τους νεότερους βράχους. Τα καλύμματα των εξωτερικών Ελληνίδων και τα τεκτονικά τμήματα των εσωτερικών Ελληνίδων στοιβάζονται μέχρι το Ολιγόκαινο. Αν και οι αρχικές μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η Ύστερη Μειόκαινη και η πλειο-τεταρτογενή τεκτονική του Αιγαίου είναι πολυφασικές και περίπλοκες, συμπεριλαμβανομένης της επέκτασης και της συμπίεσης (Angelier, 1978), αρκετοί συγγραφείς κατηγοριοποιούν την βάση της Κρήτης σε Ανώτερα καλύμματα (Upper Nappes) και σε Κατώτερα καλύμματα (Low Nappes) και αυτός ο διαχωρισμός γίνεται με βάση την τεκτονοστρατογραφική τους θέση και την τεκτονομεταμορφική τους ιστορία. Μία γενική πεποίθηση σχετικά με αυτές τις δύο ομάδες «nappes» είναι ότι διαχωρίζονται από μία γενική τάση αποκόλλησης χαμηλής γωνίας E-W (Cretan Detachment Fault), η οποία ενήργησε από 17 μέχρι 15 Ma όταν ο εφελκυσμός ήταν το μεγαλύτερο τεκτονικό καθεστώς στην Κρήτη (Kilias, A., Fassoulas, C., and Mountrakis, D., 1994, Fassoulas, 1999, van Hinsbergen and Meulenkamp, 2006, Papanikolaou and Vassilakis, 2010). Η ανύψωση και η εκταφή της βάσης συνοδεύονταν από δομική αποσύνθεση του κρεμασμένου τοιχώματος, οδηγώντας σε σχηματισμό

ιζηματογενών λεκανών πάνω από την στοίβα των «nappes» στο κάτω έως και το μεσαίο Μειόκαινο.

2.2 Γεωλογία πεδιάδας Μεσσαράς

Η πεδιάδα της Μεσσαράς τοποθετείται γεωγραφικά από τα ανατολικά προς τα δυτικά στο νότιο τμήμα της λεκάνης του Ηρακλείου. Η πεδιάδα αυτή ορίζεται από τις ρηξιγενείς ζώνες Μαλεβυζίου - Καμαρών – Γέργερης στα δυτικά από τα ρήγματα Καστελίου – Χερσονήσου - Ξενιάκου στα ανατολικά και των Αστερουσίων Ορέων στα νότια. Η πεδιάδα της Μεσσαράς αναλύεται σε δυο τεκτονικές ενότητες. Οι πρώτη ενότητα αποτελείται από τεταρτογενείς και νεογενείς σχηματισμούς και η δεύτερη ενότητα από προνεογενείς σχηματισμούς των οροσειρών του Ψηλορείτη, της Δίκτης και των Αστερουσίων Ορέων πιο συγκεκριμένα.



Εικόνα 2.3 Τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς (χαρτογράφηση ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000 ψηφιοποίηση (Vafidis et al, 2012).

Με ανοικτό κίτρινο χρώμα (Εικόνα 2.2) απεικονίζονται οι αποθέσεις του Ολόκαινου – Ανώτερου Πλειστόκαινου, με κίτρινο οι αποθέσεις του Κατώτερου Πλειστόκαινου – Μέσο Νεογενούς και με γκρι οι προνεογενείς αποθέσεις. (απο Μορέλας, 2014).

Στην περιοχή μελέτης το 45% αποτελείται από τεταρτογενή ιζήματα, το 53% από νεογενή ιζήματα και φλύσχη. Το 2% από καρστικούς σχηματισμούς στην ορεινή περιοχή, όπου εξαιτίας της υδροπερατότητας των πετρωμάτων χαρακτηρίζεται από ασήμαντες επιφανειακές απορροές (Κριτωτάκης, 2009). Στο Δυτικό τμήμα της Μεσσαράς βρίσκεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Γεροπόταμου με έκταση 600,6km², όπου αποτελείται από τρία τμήματα ανάλογα με το μορφολογικό ανάγλυφο και τους γεωλογικούς σχηματισμούς που επικρατούν στις περιοχές του βορείου, του νοτίου και του κεντρικού τμήματος. Το βόρειο τμήμα συγκροτείται από νεογενείς αποθέσεις, όπως πχ. μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και

γύψους. Το νότιο τμήμα της λεκάνης, στο οποίο βρίσκονται τα Αστερούσια Όρη και καλύπτεται από φλύσχη των Ζωνών Τριπόλεως και Πίνδου και τέλος το κεντρικό τμήμα που καλύπτεται από Πλειστόκαινο αδιαίρετο, μάλιστα στο συγκεκριμένο τμήμα υπάρχουν κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα και τη μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν ιζήματα της Τεταρτογενούς Περιόδου .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Μέθοδος σεισμικής ανάκλασης

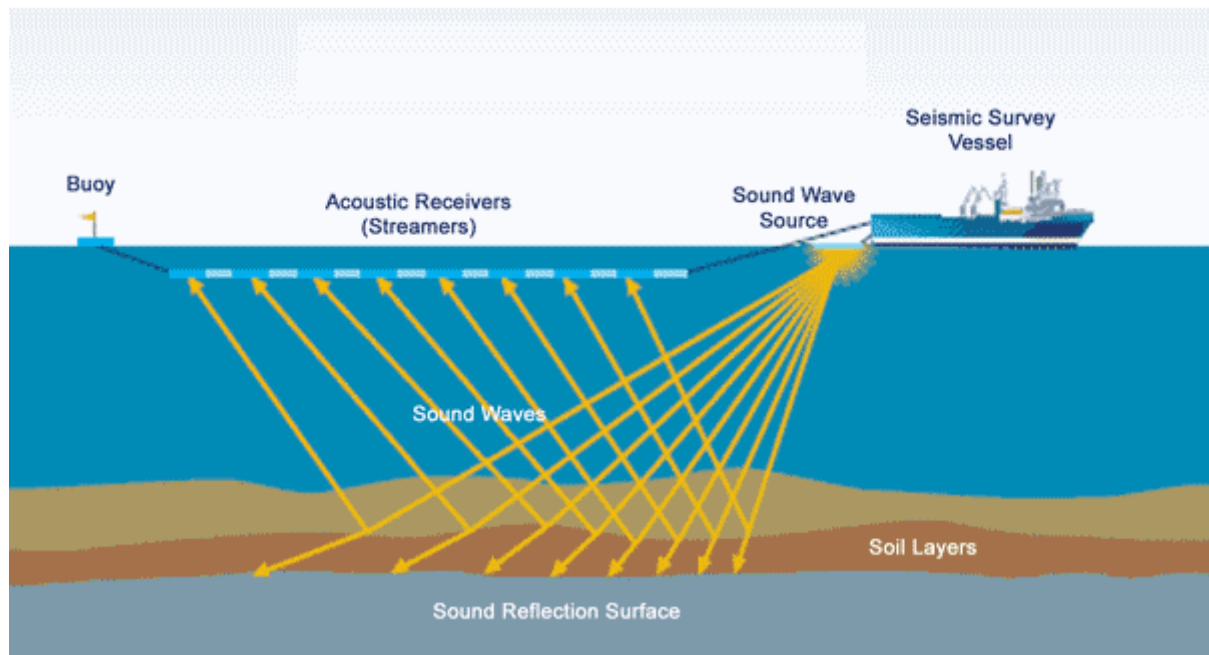
3.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιείται κύριως για την διασκόπηση σχηματισμών σε πολύ μεγάλα βάθη. Με την χρήση αυτής της μεθόδου επιτυγχάνεται η αξιοποίηση των κυμάτων που προέρχονται από τις ανακλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες των σχηματισμών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιείται για την εύρεση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι ίσως η πιο ακριβή μέθοδος όσον αφορά τέτοιες διεργασίες ενώ ακόμα είναι μερικώς αδύνατον να εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό της δομής των πολύ επιφανειακών στρωμάτων. Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης έχει το υψηλότερο κόστος από τις μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης.

3.2 Θαλάσσιες διασκοπήσεις

Η συνήθης πηγή που χρησιμοποιείται στις θαλάσσιες διασκοπήσεις είναι το αεροβόλο, το οποίο εκτονώνει αέρα με υψηλή πίεση (>100 atm). Όμως υπάρχει και ένα ανεπιθύμητο αποτέλεσμα κατά την διεργασία αυτή, το οποίο είναι η δημιουργία φυσαλίδων, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα να αυξάνουν τον θόρυβο στην καταγραφή και γι αυτό το λόγο μια λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η τοποθέτηση του καλωδίου που ρυμουλκεί το ερευνητικό πλοίο σε μικρό βάθος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 3.1 Διάταξη θαλάσσιας διασκόπησης (Μούχου,2014).

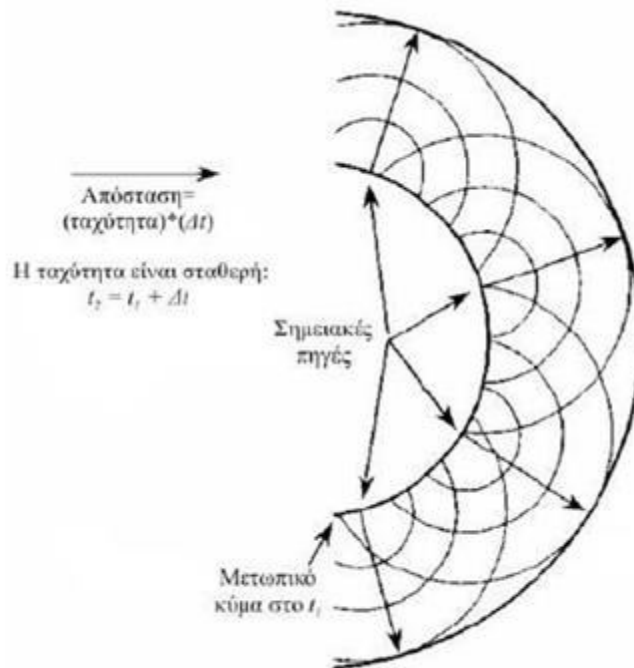
Κατά την πραγματοποίηση της θαλάσσιας διασκόπησης (Εικόνα 3.1) το καράβι σέρνει ένα καλώδιο μήκους 6 με 12 χιλιομέτρων, το οποίο βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας σε βάθος 8 με 20 μέτρα, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που πραγματοποιείται η διασκόπηση. Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, κατά μήκος του καλωδίου υπάρχουν υδρόφωνα τα οποία παρουσιάζουν ευαισθησία στην πίεση που ασκείται από το νερό και γι' αυτό καταγράφουν αυτή την ένδειξη σε συνάρτηση με τον χρόνο και αυτή η καταγραφή ονομάζεται σεισμόγραμμα ή ίχνος. Η διάρκεια της καταγραφής κυμαίνεται από μερικά έως δεκάδες δευτερόλεπτα. Ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι της τάξης του χιλιοστού του δευτερολέπτου (Βαφείδης, 2012).

3.3 Βασικές Αρχές διάδοσης των ελαστικών κυμάτων

Οι αρχές που διέπουν την κίνηση των ελαστικών κυμάτων είναι η αρχή του Fermat και η αρχή του Huygens .

3.3.1 Αρχή Huygens

Η αρχή του Huygens ουσιαστικά είναι ένας αλγόριθμος που δίνει την δυνατότητα να ερμηνευθεί αλλά και να προβλεφθεί το πως εξελίσσεται κατά την διάρκεια του χρόνου το μέτωπο του κύματος όταν είναι γνωστό το πεδίο $c(x,t)$, της ταχύτητας διάδοσης του κύματος σε 2D και 3D διαστάσεις. Πιο αναλυτικά κάθε μέτωπο κύματος (Εικόνα 3.2) λειτουργεί σαν μια δεύτερη πηγή παραγωγής σεισμικού κύματος και έτσι μετά από χρόνο t το μέτωπο του αρχικού σεισμικού κύματος συμπίπτει με την επιφάνεια όλων των δευτερευόντων κυμάτων.



Εικόνα 3.2 Σχηματική απεικόνιση της αρχής Huygens (Παπαδόπουλος, 2010).

3.3.2 Αρχή του Fermat

Η αρχή του Fermat είναι γνωστή ως η αρχή του ελαχίστου χρόνου . Αυτή η αρχή ουσιαστικά διατυπώνει ότι, όταν ένα κύμα διαδίδεται μεταξύ δύο σταθερών σημείων τότε το κύμα επιλέγει

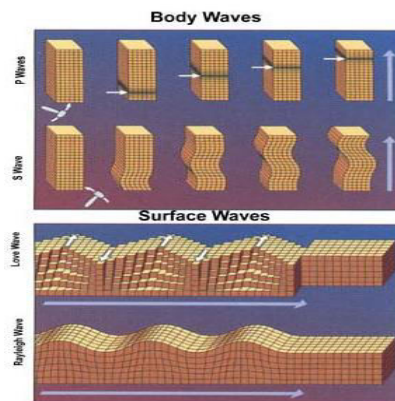
να ακολουθήσει την τροχιά που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο μετατόπισης από το ένα σταθερό σημείο στο άλλο σταθερό σημείο .

3.4 Είδη σεισμικών κυμάτων

Τα είδη σεισμικών κυμάτων που υπάρχουν είναι πολλά και διαφορετικά, ουσιαστικά όμως διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στα κύματα χώρου και στα επιφανειακά κύματα. Τα κύματα χώρου διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις στο εσωτερικό της γης, ενώ από την άλλη τα επιφανειακά κύματα διαδίδονται μόνο κατά μήκος των ορίων των επιφανειακών στρωμάτων της γης. Πιο αναλυτικά:

- **ΚΥΜΑΤΑ ΧΩΡΟΥ:**

Τα κύματα χώρου (Εικόνα 3.3) ταξιδεύουν μέσω του εσωτερικού της Γης, κατά μήκος διαδρομών που εξαρτώνται από τις ιδιότητες του υλικού που αφορούν την πυκνότητα και την ακαμψία του υλικού. Επίσης η πυκνότητα και η ακαμψία ποικίλλουν ανάλογα με την θερμοκρασία, την σύνθεση και την φάση στην οποία βρίσκεται το υλικό.



Εικόνα 3.3 Απεικόνιση των επιφανειακών κυμάτων και των κυμάτων χώρου (Καπακτσή, 2018).

- **ΕΠΙΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΑ:**

Τα επιμήκη κύματα είναι κύματα συμπίεσης. Τα επιμήκη κύματα είναι κύματα πίεσεως τα οποία ταξιδεύουν ταχύτερα από άλλα κύματα μέσω της Γης και γι αυτό και ονομάζονται και «primary waves». Αυτά τα κύματα μπορούν να ταξιδεύουν μέσω οποιουδήποτε υλικού, συμπεριλαμβανομένων και των υγρών. Στον αέρα παίρνουν την μορφή ηχητικών κυμάτων κι έτσι ταξιδεύουν με την ταχύτητα του ήχου. Κατά την διάρκεια διάδοσης του κύματος το πέτρωμα ταλαντώνεται παράλληλα προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

- **ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ:**

Τα επόμενα κύματα που φτάνουν στον χώρο είναι τα εγκάρσια κύματα, τα οποία είναι πιο αργά αλλά πιο ισχυρά από ότι τα επιμήκη. Είναι και αυτά κύματα χώρου και διαδίδονται προς κάθε κατεύθυνση. Κατά την διάρκεια διάδοσης του κύματος το πέτρωμα ταλαντώνεται κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

- **ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΥΜΑΤΑ:**

Τα επιφανειακά κύματα κινούνται μέσω της φλοιού της γης και είναι χαμηλότερης συχνότητας από τα κύματα χώρου.

- **ΚΥΜΑΤΑ(L) LOVE WAVES:**

Τα κύματα «love waves» είναι το πρώτο είδος επιφανειακών κυμάτων και είναι τα ταχύτερα από όλα τα επιφανειακά κύματα.

- **ΚΥΜΑΤΑ(R) RAYLEIGH WAVES:**

Τα κύματα «Rayleigh waves» είναι τα πιο αργά κύματα από όλα τα σεισμικά κύματα και τα υλικά σημεία διαγράφουν έλλειψη κατά τη διάδοση του κύματος.

3.5 Βασικές αρχές στην επεξεργασία σεισμικών δεδομένων

Η διαδικασία της επεξεργασίας σεισμικών δεδομένων είναι δυνατόν να αναλυθεί σε διεργασίες απεικόνισης και αποσυνέλιξης. «Οι διεργασίες απεικόνισης αποσκοπούν στον προσδιορισμό της θέσης των πλατών των ανάκλόμενων κυμάτων. Οι διεργασίες αποσυνέλιξης αποσκοπούν στην βελτιστοποίηση της χρονικής ανάλυσης του σεισμικού ίχνους» (Λάιος, 2017).

3.5.1 Καταγραφές κοινής πηγής (shot gather)

Κατά την πραγματοποίηση των διεργασιών των θαλάσσιων διασκοπήσεων σεισμικής ανάκλασης, τα υδρόφωνα είναι τοποθετημένα πάνω σε καλώδιο που ρυμουλκείται από πλοίο. Η σεισμική πηγή ενεργοποιείται και οι δέκτες καταγράφουν τα ανακλώμενα κύματα. Η καταγραφή αυτή ονομάζεται κοινή πηγής και είναι η διαδικασία με την οποία λαμβάνονται τα δεδομένα.

3.5.2 Καταγραφές σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου (Common Offset Gather)

Κατά την διαδικασία της σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου τα ίχνη ομαδοποιούνται με βάση την απόσταση που υπάρχει μεταξύ του υδροφώνου και της πηγής που υπάγεται. Η διάταξη αυτή θεωρείται σημαντική γιατί δίνει μία πρώτη εικόνα του υπεδάφους.

3.5.3 Ανάδιάταξη των δεδομένων σε καταγραφές κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP Gather)

Κριτήριο ομαδοποίησης αποτελεί το ενδιαμέσο σημείο μεταξύ πηγής και υδροφώνου (Common Mid-Point Gather). Ομαδοποιεί τα ίχνη από καταγραφές κοινής πηγής που έχουν κοινό ενδιαμέσο σημείο. Η ομαδοποίηση αυτή εξασφαλίζει την πολλαπλή κάλυψη της επιφάνειας ανάκλασης. Ο αριθμός των υδροφώνων που συμμετέχουν σε κάθε CMP gather αποτελεί σημαντική παράμετρο της μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης. Ονομάζεται υπεδafική κάλυψη (Fold) και είναι καθοριστική για την ποιότητα των καταγραφών. (Βαφείδης, 2011)

$$\text{Fold} = \min \{A_p, \text{πηγών}, (N/2) * (\Delta x / \Delta s)\} \quad (3.1)$$

Όπου :

- N: Αριθμός καναλιών
- Δx : Ισαπόσταση γεωφώνων
- Δs : Ισαπόσταση πηγών

3.5.4 Ανάλυση ταχυτήτων

Απώτερος σκοπός της ανάλυσης της ταχύτητας είναι να προσδιοριστεί η μέση τετραγωνική ταχύτητα η οποία θα χρησιμοποιηθεί στην περαιτέρω διαδικασία. Το αρχείο ταχυτήτων Vrms δημιουργείται αυτόματα από τους αλγόριθμους του PSV_SYNTHETICS κατά την δημιουργία των συνθετικών δεδομένων μετατρέποντας το μοντέλο της τμηματικής ταχύτητας βάθους σε μοντέλο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας (RMS) συναρτήσεως του χρόνου, το αρχείο αυτό πάρθηκε από τα δεδομένα της Βασιλικής Λουίζας Χριστίδη (2019), όπου ουσιαστικά αυτό το αρχείο ταχυτήτων καλύπτει την οριζόντια έκταση από 0m μέχρι 8345m. Στην συνέχεια από αυτό το αρχείο προέκυψε η μέση τετραγωνική ταχύτητα (Vint_T_Vrms_0m_8345_correct) για το διάστημα από 0m μέχρι 8345m, όμως επειδή στην παρούσα πτυχιακή η οριζόντια έκταση που έλαβε χώρα η έρευνα είναι από τα 125m μέχρι τα 8172.5m, τότε κατασκευάστηκε κώδικας (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Κώδικας 3) όπου ουσιαστικά μετατρέπει το μοντέλο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας χρόνου σε μοντέλο τμηματικής ταχύτητας χρόνου. Μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας προκύπτουν τα πρώτα στοιχεία για την στρωματική δομή του υπεδάφους και επίσης ακόμα σημαντικότερο είναι ότι, ο υπολογισμός της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας θα βοηθήσει στην συνέχεια σε ένα άλλο κομμάτι της επεξεργασίας, που είναι η μετατροπή του του χρόνου διαδρομής σε βάθος.

Η μέση τετραγωνική ταχύτητα ορίζεται ως, η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου των ταχυτήτων πολλαπλασιασμένων με συντελεστές βαρύτητας, τους διπλούς χρόνους διαδρομής, t. Η αντίστοιχη εξίσωση παρουσιάζεται παρακάτω (Βαφείδης, 2011):

$$V_n = \frac{\sum_{j=1}^n a_j^2 t_j}{\sum_{j=1}^n t_j} \quad (3.2)$$

$$t_j = 2 \frac{d_j}{a_j} \quad (3.3)$$

Όπου:

- V_n : η μέση τετραγωνική ταχύτητα
- a_j : η ταχύτητα διάδοσης του σεισμικού κύματος στο στρώμα j.
- t_j : ο διπλός χρόνος διαδρομής στο στρώμα j
- d_j : το πάχος του στρώματος j

Από την μέση τετραγωνική ταχύτητα, $V_{rms}(n)$ και τους διπλούς χρόνους διαδρομής της κατακόρυφης ακτίνας, $T_n(0)$ και $T_{n-1}(0)$ προσδιορίζεται και η τμηματική ταχύτητα α_n

$$\alpha^2 = \frac{V_{RMS,n}^2 T_n(0) - V_{RMS,n-1}^2 T_{n-1}(0)}{T_n(0) - T_{n-1}(0)} \quad (3.4)$$

Όπου:

- V_{RMS} : μέση τετραγωνική ταχύτητα
- T_n : διπλός χρόνος διαδρομής

Ακόμα ένας άλλος στόχος της ανάλυσης ταχυτήτων είναι και η εύρεση της ιδανικότερης εξίσωσης για καταγραφές από ανακλώμενα κύματα. Ο υπολογισμός της ταχύτητας πραγματοποιείται με την πρόβλεψη του κάθετου διπλού χρόνου διαδρομής T_0 , όπου προκύπτει από την εξίσωση :

$$T_{X^2=T_0^2} + \frac{X^2}{V_{RMS}^2} \quad (3.5)$$

Όπου:

- T_X : ο ολικός χρόνος διαδρομή –
- X : η απόσταση πηγής δέκτη –
- T_0 : ο διπλός κατακόρυφος χρόνος –
- V_{rms} : μέση τετραγωνική ταχύτητα

3.5.5 Διόρθωση της κανονικής χρονικής απόκλισης (Normal Move Out-NMO)

Η Διόρθωση της κανονικής χρονικής απόκλισης (Normal Move Out-NMO) εφαρμόζεται ουσιαστικά για την μετατροπή των χρόνων διαδρομής των ανάκλινων κυμάτων σε χρόνους κυμάτων που διαδίδονται σε κατακόρυφη διεύθυνση. Σε περίπτωση όμως που υπάρχει διάταξη όπου η πηγή και το γεώφωνο είναι στο ίδιο σημείο, και στον αντίστοιχο χρόνο όπου πηγή και γεώφωνο απέχουν συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους, τότε η NMO ισούται με το Δt_{NMO} δηλαδή την διαφορά του χρόνου διαδρομής όπου προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο :

$$\Delta t_{NMO} = T(\chi) - T(0) \quad (3.6)$$

$$\Delta t_{NMO} = t(0) \left[\left(1 + \left(\frac{x}{v \cdot t(0)} \right)^2 \right)^{1/2} - 1 \right] \quad (3.7)$$

Όπου :

- $T(\chi)$: Ο διπλός χρόνος διαδρομής για απόσταση (χ) του γεωφώνου απ' την πηγή.
- V_{NMO} : Ταχύτητα υπέρθεσης NMO.
- $T(0)$: Ο διπλός κατακόρυφος χρόνος.

3.5.6 Σεισμική υπέρθεση

Στο επόμενο βήμα της επεξεργασίας ακολουθεί η σεισμική υπέρθεση, κατά την οποία συλλέγονται σειсмоγράμματα κοινού ενδιαμέσου σημείου στα οποία πραγματοποιείται δυναμική διόρθωση και μετά αθροίζονται. Με αυτό τον τρόπο δίνεται μεγάλο συνολικό πλάτος μόνο από τις ανάγραφές που οφείλονται στην ανάκλαση των κυμάτων, διότι οι ανάγραφές αυτές είναι σε φάση σε αντίθεση με τις ανάγραφές του θορύβου που αλληλοαναιρούνται.

3.5.7 Σεισμική χωροθέτηση

Η σεισμική χωροθέτηση είναι μια μέθοδος ιδιαίτερα χρονοβόρα αλλά και ιδιαίτερα πολύτιμη ταυτόχρονα για την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων για το λόγο του ότι, τοποθετούνται στην σωστή θέση αλλά και ανάκατασκευάζονται οι ανάκλαστές και κατά την πραγματοποίησή αυτής τις διαδικασίας τα σεισμικά κύματα διαδίδονται με ταχύτητα ίση με το μισό της πραγματικής ταχύτητας και επίσης η σεισμική χωροθέτηση συμβάλλει στη βελτίωση της χωρικής διακριτικής ικανότητας της σεισμικής τομής.

Σεισμική χωροθέτηση με τη μέθοδο Kirchhoff

Η μέθοδος χωροθέτησης Kirchhoff στηρίζεται στην αρχή του Huygens και θεωρεί την κορυφή της καμπύλης περίθλασης ως τη θέση του σημειακού ανακλαστήρα. Κατά την χωροθέτηση

Kirchoff γίνεται άθροιση των πλατών κατά μήκος της καμπύλης περίθλασης. Πριν την άθροιση πραγματοποιούνται οι εξής διόρθωση:

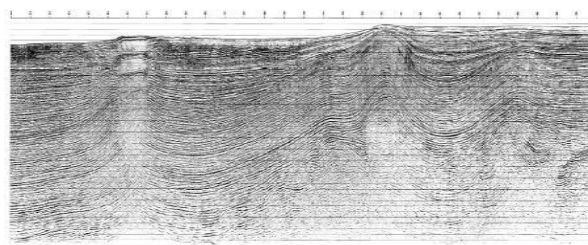
<<Στην πρώτη διόρθωση εφαρμόζεται ένας συντελεστής κατεύθυνσης στα πλάτη, ο οποίος είναι ίσος με το συνημίτονο της γωνίας που δημιουργείται από τον κατακόρυφο άξονα και την ευθεία η οποία διέρχεται από τον σημειακό ανακλαστήρα σε κάθε γεώφωνο. Η διόρθωση για τη γεωμετρική διασπορά αποτελεί τη δεύτερη διόρθωση. Καθώς το κύμα απομακρύνεται από την πηγή ή τον σημειακό ανακλαστήρα, η ενέργεια διασκορπίζεται, οπότε τα πλάτη μειώνονται με τον χρόνο διαδρομής ή με την απόσταση από την πηγή. Στη διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου, γεώφωνο τοποθετημένο σε μηδενική οριζόντια απόσταση από την πηγή θεωρείται ότι βρίσκεται πλησιέστερα στον σημειακό ανακλαστήρα και καταγράφει μεγαλύτερα πλάτη από ότι γεώφωνο το οποίο βρίσκεται μακριά από την πηγή. Η ενέργεια του σεισμικού κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της διανυόμενης απόστασης ($1/r^2$). Στη χωροθέτηση Kirchhoff, τα πλάτη διορθώνονται με τον συντελεστή $1/r$ ή $1/t$, όπου t ο χρόνος διαδρομής του κάθε σεισμικού γεγονότος. Η τρίτη διόρθωση αφορά τον συντελεστή κυματομορφής. Ο συντελεστής αυτός είναι φίλτρο φάσης 45° και με φάσμα πλάτους ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας της συχνότητας των σεισμικών δεδομένων>> (Γιαλιτακη,2015)

Σεισμική χωροθέτηση με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών

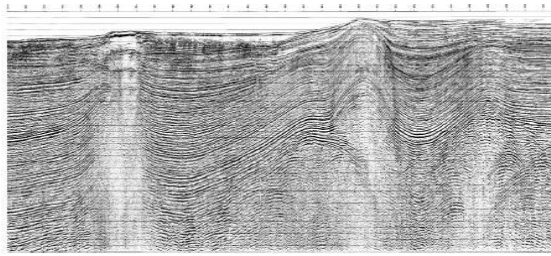
Η σεισμική χωροθέτηση πεπερασμένων διαφορών βασίζεται στην προσέγγιση που περιγράφεται από τον Claerbout and Doherty (1972). Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών χρησιμοποιεί την αρχή της - προς τα κάτω - συνέχειας (downward continuation) του κυματικού πεδίου που ισοδυναμεί με μετακίνηση των γεωφώνων βαθύτερα μέσα στη γη. Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών χρησιμοποιεί μέσες τετραγωνικές ταχύτητες (RMS Velocities) και απεικονίζει καλύτερα τους σχηματισμούς που εμφανίζουν πλευρικές διαφορές σε σχέση με άλλες μεθόδους χωροθέτησης (Μούχου 2014).

Σεισμική χωροθέτηση με τη μέθοδο στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο ότι, το προς τα κάτω διαδιδόμενο κυματικό πεδίο αλλάζει την φάση ανάλογα με το βάθος. Η μέθοδος αυτή απαιτεί πίνακα τιμών τμηματικών ταχυτήτων σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους όπου **χρησιμοποιείται η μέση τετραγωνική ταχύτητα (V_{rms})**



Εικόνα 3.4 Εφαρμογή σεισμικής χωροθέτησης πριν την υπέρθεση (Yilmaz ,1987)



Εικόνα 3.5 Εφαρμογή σεισμικής χωροθέτησης μετά την υπέρθεση, όπου στο σχήμα (3.5) παρατηρείται βελτίωση αποτελεσμάτων καθώς η τομή είναι απαλλαγμένη απ τις περιθλάσεις και οι ανακλαστήρες είναι επανάτοποθετημένοι στην σωστή θέση (Yilmaz ,1987)

3.6 Θεωρία για την δημιουργία φίλτρου μετατροπής των δεδομένων απο 10 σε 20Hz

3.6.1 Αντίστροφο Φιλτράρισμα Ελάχιστων Τετράγωνων (Last-Squares Inverse Filtering)

Σύμφωνα με τον Yilmaz (1987),ένα πρόβλημα μετατροπής ενός κυματιδίου πηγής σε μιας άλλης μορφής απόκριση,μπορεί να περιγραφεί από το ακόλουθο πρόβλημα: Δεδομένου ενός κύματος εισόδου $(1, -1/2)$, να βρεθεί ένα φίλτρο δύο όρων (a, b) έτσι ώστε το σφάλμα μεταξύ της πραγματικής εξόδου και της επιθυμητής εξόδου,ενός κυματιδίου αιχμής με μηδενική καθυστέρηση $(1, 0, 0)$,να είναι ελάχιστο με την έννοια των ελάχιστων τετραγώνων και να υπολογιστεί η πραγματική έξοδος πραγματοποιώντας συνέλιξη του φίλτρου (a, b) με το κύμα εισόδου $(1, -1/2)$ (πίνακας 4.1) Η αθροιστική ενέργεια του σφάλματος L ορίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ των συντελεστών των πραγματικών και επιθυμητών εξόδων:

$$L = (a - 1)^2 + (b - \frac{a}{2})^2 + (-\frac{b}{2})^2 \quad (3.8)$$

Πίνακας 4.1 Σχεδιασμός και εφαρμογή ενός αντίστροφου φίλτρου ελαχίστων τετραγώνων δύο όρων (a, b) .

Σχεδιασμός Φίλτρου					
Σύγκριση του φίλτρου (a, b) με κύμα εισόδου $(1, -1/2)$:					
	1	- 1/2		Πραγματική έξοδος	Επιθυμητή έξοδος
b	a			a	1
	b	a		$b - (a/2)$	0
		b	a	$-b/2$	0
Εφαρμογή φίλτρου					
Φίλτρο ελάχιστων τετραγώνων				(0.95, 0.38)	
Κύμα εισόδου				(1, -0.5)	
Πραγματική έξοδος				(0.95, -0.09, -0.19)	
Επιθυμητή έξοδος				(1, 0, 0)	

Ο στόχος είναι να βρεθούν συντελεστές (a, b) έτσι ώστε το L να πάρει την ελάχιστη τιμή του. Παίρνοντας τις μερικές παραγώγους της ποσότητας L σε σχέση με το a και b και θέτοντας τις ίσες με το μηδέν, προκύπτει:

$$\frac{5}{2}a - b = 2 \quad (3.9)$$

$$-a + \frac{5}{2}b = 0 \quad (4.0)$$

Έχοντας δύο εξισώσεις και δύο αγνώστους δηλαδή, οι συντελεστές φίλτρου (a, b). Το λεγόμενο κανονικό σύνολο σχέσεων (3.9) και (4.0) μπορεί να τοποθετηθεί στην ακόλουθη κατάλληλη μορφή.

$$\begin{pmatrix} 5/2 & -1 \\ -1 & 5/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Από την επίλυση του παραπάνου συστήματος των συντελεστών φίλτρου, προκύπτει (a,b): (0,95, 0,38). Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή αυτού του αντίστροφου φίλτρου με ελάχιστα τετράγωνα συνοψίζονται στον Πίνακα 4.1. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η διαδικασία αυτή δεν είναι πάντοτε επιτυχής για οποιοδήποτε κυματίδιο πηγής και για οποιαδήποτε επιθυμητή έξοδο (Yilmaz, 1987)

3.6.2 Βέλτιστα Φίλτρα Wiener (Optimum Wiener Filters)

Ξαναγράφοντας την εξίσωση (4.1), η οποία επιλύθηκε για να δημιουργηθεί το αντίστροφο φίλτρο ελάχιστων τετράγωνων, ως εξής:

$$2 \begin{pmatrix} 5/4 & -1/2 \\ -1/2 & 5/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

Διαιρώντας και τις δύο πλευρές με 2 για να προκύψει:

$$\begin{pmatrix} 5/4 & -1/2 \\ -1/2 & 5/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

Η αυτοσυσχέτιση (autocorrelation) του κύματος εισόδου (1, -1/2) φαίνεται στον Πίνακα 4.2. Παρατηρείται ότι το αποτέλεσμα της αυτοσυσχέτισης ισούται με την πρώτη στήλη του πίνακα στην αριστερή πλευρά της εξίσωσης (4.3).

Πίνακας 4.2 Αυτοσυσχέτιση του κύματος εισόδου (1, -1/2)

1	(- 1/2)		Έξοδος	
	1	(- 1/2)		(5/4)
		1	(- 1/2)	(- 1/2)

Υπολογίζοντας την ετεροσυσχέτιση (cross-correlation) της επιθυμητής εξόδου (1, 0, 0) με το κύμα εισόδου (1, -1/2) (Πίνακας 4.3). Παρατηρείται ότι το αποτέλεσμα ισούται με το διάνυσμα στη δεξιά πλευρά της εξίσωσης (4.3).

Πίνακας 4.3 Καθυστερήσεις αλληλοσυσχέτισης της επιθυμητής εξόδου (1, 0, 0) με το κύμα εισόδου (1, -1/2).

1	0	0	Έξοδος	
	1	(-1/2)		1
		1	(-1/2)	0

Γενικά, τα στοιχεία του πίνακα στην αριστερή πλευρά της εξίσωσης (4.3) προκύπτουν από το αποτέλεσμα της αυτοσυσχέτισης του κύματος εισόδου, ενώ τα στοιχεία του διανύσματος στη

δεξιά πλευρά, προκύπτουν από το αποτέλεσμα της ετεροσυσχέτισης της επιθυμητής εξόδου με το κύμα εισόδου.

Αυτές οι παρατηρήσεις γενικεύθηκαν από τον Wiener για να σχεδιάσουν φίλτρα που μετατρέπουν το κύμα εισόδου σε οποιαδήποτε επιθυμητή έξοδο

Η γενική μορφή των γραμμικών εξισώσεων για την δημιουργία ενός φίλτρου μήκους n είναι:

$$\begin{pmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \cdots & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & r_1 & \cdots & r_{n-2} \\ r_2 & r_1 & r_0 & \cdots & r_{n-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n-1} & r_{n-2} & r_{n-3} & \cdots & r_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_0 \\ g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_{n-1} \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

Εδώ r_i , a_i , και g_i , $i = 0, 1, 2, \dots, n - 1$ είναι τα αποτελέσματα της αυτοσυσχέτισης του κύματος εισόδου, οι συντελεστές φίλτρου Wiener και τα αποτελέσματα της ετεροσυσχέτισης της επιθυμητής εξόδου με το κύμα εισόδου, αντίστοιχα.

Με βάση αυτό τον σχεδιασμό, κάθε φίλτρο Wiener ($a_0, a_1, a_2, \dots, a_{n-1}$) είναι το βέλτιστο, δεδομένο ότι το άθροισμα ελάχιστων τετράγωνων των διαφορών μεταξύ της πραγματικής και της επιθυμητής εξόδου είναι ελάχιστο. Όταν η επιθυμητή έξοδος είναι το κυματίδιο αιχμής μηδενικής καθυστέρησης (1, 0, 0, ..., 0), τότε το φίλτρο Wiener είναι ίδιο με το αντίστροφο φίλτρο ελάχιστων τετράγωνων. Με άλλα λόγια, το αντίστροφο φίλτρο ελάχιστων τετράγωνων είναι ουσιαστικά μια ειδική περίπτωση ενός φίλτρου Wiener.

Τα φίλτρα Wiener εφαρμόζονται για μια μεγάλη κατηγορία προβλημάτων στα οποία μπορεί να ληφθεί υπόψη οποιαδήποτε επιθυμητή έξοδος. Πέντε επιλογές για την επιθυμητή έξοδο είναι:

Τύπος 1: Κυματίδιο μηδενικής καθυστέρησης (1, 0, 0, ...).

Τύπος 2: Κυματίδιο αιχμής αυθαίρετης καθυστέρησης (π.χ. 0, 0, 0, 1, 0, ...).

Τύπος 3: Πρόβλεψη της κυματομορφής εισόδου σε μεταγενέστερες χρονικές στιγμές.

Τύπος 4: Κυματίδιο μηδενικής φάσης

Τύπος 5: Κυματίδιο οποιουδήποτε επιθυμητού σχήματος.

Με βάση τα παραπάνω, η μετατροπή των συνθετικών δεδομένων κεντρικής συχνότητας από 10Hz σε δεδομένα 20Hz βασίστηκε στην εκτίμηση ενός βέλτιστου φίλτρου Wiener όπου ως δεδομένα εισόδου χρησιμοποιήθηκε το κυματίδιο της πηγής με κεντρική συχνότητα 10Hz ενώ το επιθυμητό αποτέλεσμα ήταν το αντίστοιχο κυματίδιο με κεντρική συχνότητα 20Hz (Τύπος επιθυμητής εξόδου 5).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Δημιουργία συνθετικών δεδομένων

4.1 Δημιουργία συνθετικών δεδομένων

Το αρχικό γεωλογικό μοντέλο μέσα από το οποίο προήλθαν τα συνθετικά δεδομένα, περιείχε 7 στρώματα (6 ανάκλαστές). Στον παρακάτω πίνακα αποδίδονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί αυτών των στρωμάτων που βασίστηκε σε ανακοίνωση που παρουσιάστηκε στο 1st EAGE Workshop on Geophysical and Geological Challenges in the Hydrocarbon Provinces of the Eastern Mediterranean, Malta 2018 (Oikonomopoulos et al, 2018)

Πίνακας 4.4 Μοντέλο σεισμικών ταχυτήτων (Χριστίδη, 2019)

A/A	Ταχύτητα (m/s)	Γεωλογικοί σχηματισμοί
1	1500	Νερό
2	1800	Τεταρτογενές
3	2200	Νεογενή Πλειόκαινο
4	2500	Νεογενή Μειόκαινο
5	3000	?
6	3800	Ανθρακικά
7	5500	Ανθρακικοί σχηματισμοί του υποβάθρου

Για την πραγματοποίηση της πειραματικής επεξεργασίας και της δημιουργίας του γεωλογικού μοντέλου, πάρθηκαν δεδομένα σεισμικής ανάκλασης νότια της Κρήτης. Τα δεδομένα αυτά αντιστοιχούσαν στα δεδομένα της διπλωματικής εργασίας της Βασιλικής Λουίζας Χριστίδη (2019) και των διπλωματικών εργασιών των φοιτητών Ανδρέα Μαρκέτου (διπλωματική υπό εκπόνηση) και Αναστάσιου Δασκαλάκη (2020), με την μονή διαφορά ότι, τα δεδομένα των παραπάνω φοιτητών δημιουργήθηκαν σε συχνότητα 10Hz ενώ τα αντίστοιχα δεδομένα στην παρούσα διπλωματική μετατράπηκαν σε δεδομένα με κεντρική συχνότητα 20Hz. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του γεωλογικού μοντέλου δημιουργήθηκαν στο εργαστήριο εφαρμοσμένης γεωφυσικής σε προγραμματιστικό περιβάλλον Matlab. Για την διαδικασία μετατροπής των μοντέλων σε 20Hz, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των παραπάνω φοιτητών αυτούσια με οριζόντια έκταση 8172.5m και βάθος 7502m και κατασκευάστηκε ένας κώδικας για την μετατροπή των 10Hz σε 20Hz (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-Κώδικας 1 Φίλτρο). Παρακάτω ακολουθούν οι εικόνες (4.1, 4.2, 4.3) που απεικονίζουν την κυματομορφή των 10Hz, των 20Hz αλλά και την κυματομορφή ύστερα από την εφαρμογή του φίλτρου (f). Η ελάχιστη ταχύτητα διάδοσης ορίστηκε στα 900 m/s και αντιστοιχεί στην ταχύτητα των εγκαρσίων σεισμικών κυμάτων των ιζημάτων του πυθμένα, η κύρια συχνότητα της πηγής είναι τα 20Hz και η ισαπόσταση των υδροφώνων είναι τα 5m. Στην συνέχεια ακολουθούν οι πίνακες, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 που δείχνουν την γεωμετρία του πειράματος, πιο αναλυτικά:

Αρχικά λήφθηκαν 4 αρχεία πηγών που το κάθε αρχείο περιελάμβανε 4 πηγές ανά 500 m απο τα δεδομένα της Βασιλικής Λουίζας Χριστίδη (2019) και ακόμα άλλα 4 αρχεία πηγών που το κάθε αρχείο περιελάμβανε 4 πηγές ανά 250 m από τα δεδομένα των φοιτητών Ανδρέα Μαρκέτο (διπλωματική υπό εκπόνηση) και Αναστάσιο Δασκαλάκη (2020).Αρα ο συνολικός αριθμός πηγών που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση του παρόν πειράματος είναι 32 πηγες.Στην συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα.

Πίνακας 4.5 Παράμετροι πηγών (Χριστίδη,2019)

Παράμετροι πηγών			
Αριθμος πηγών	Ισαπόσταση πηγών (m)	Θέση 1ης πηγής (x,z) (m)	
4	500	Οριζόντια διεύθυνση X (m)	Βάθος Z (m)
		500	10

Πίνακας 4.6 Παράμετροι υδροφόνων (Χριστίδη,2019)

Παράμετροι υδροφόνων				
Αριθμος υδροφόνων	Ισαπόσταση υδροφόνων (m)	Θέση υδροφόνων (x,z) (m)		Απόσταση μετακίνησης υδροφόνων (m)
1670	5	Οριζόντια διεύθυνση X(m)	Βάθος Z(m)	0
		0	0	

Πίνακας 4.7 Εισαγωγή αρχικών παραμέτρων στο πρόγραμμα PSV_SYNTHETICS (Χριστίδη,2019)

INITIAL MODEL PARAMETERS

Enter the HORIZONTAL extend of model in meters
8345

Enter the VERTICAL extend of model in meters
6000

Enter the minimum S-wave velocity (V_s) of model in m/s. Sea water is excluded
900

Enter the dominant frequency of the source in Hz
10

Enter receiver increment in meters
5

The upper surface ($Z=0$) of model is FREE or ABSORBING boundary ?
FREE

SEA or LAND Survey ?
SEA

OK Cancel

Πίνακας 4.8 Εισαγωγή των παραμέτρων ταχύτητας (P και S κυμάτων) και της πυκνότητας (ρ) για το στρώμα της θάλασσας (Δασκαλάκης, 2020 , Μαρκέτος, (διπλωματική υπό εκπόνηση) , Χριστίδη, 2019)

MO...

Enter the P-wave velocity (V_p) in m/s
1500

Enter the S-wave velocity (V_s) in m/s
0.01

Enter the density ($\bar{\rho}$) in g/cc
1.023

OK Cancel

Πίνακας 4.9 Εισαγωγή αρχικών παραμέτρων στο πρόγραμμα PSV_SYNTHETICS (Δασκαλάκης, 2020 , Μαρκέτος, (διπλωματική υπό εκπόνηση))

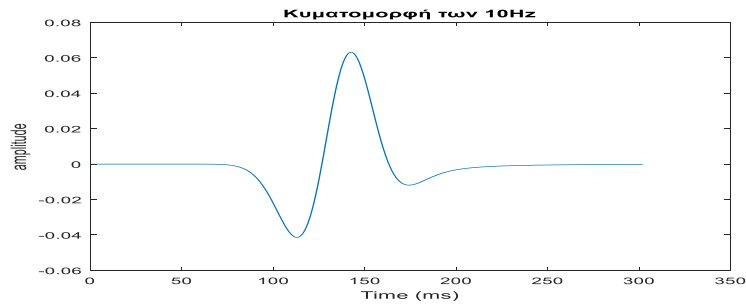
Enter the HORIZONTAL extend of model in meters	8345
Enter the VERTICAL extend of model in meters	6000
Enter the minimum S-wave velocity (Vs) of model in m/s. Sea water is excluded	900
Enter the dominant frequency of the source in Hz	10
Enter receiver spacing in meters	5
The upper surface (Z=0) of model is FREE or ABSORBING boundary?	FREE
SEA or LAND Survey?	SEA

Πίνακας 4.10 Παράμετροι πηγών (Δασκαλάκης, 2020 , Μαρκέτος, (διπλωματική υπό εκπόνηση))

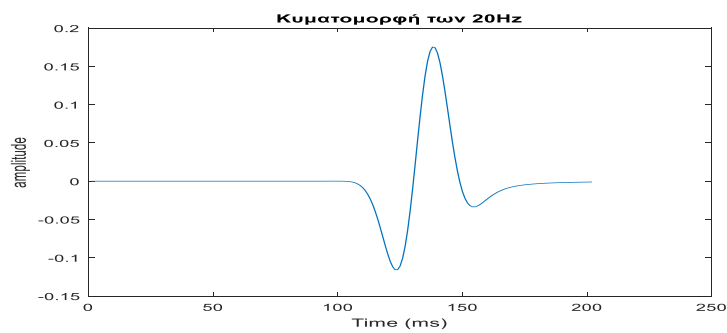
Enter the No. of shots	4
Enter the shot increment	500
Enter the Z coordinate of source (m)	10
Enter the X coordinate of 1 st source	250

Πίνακας 4.11 Παράμετροι υδροφόνων (Δασκαλάκης, 2020 , Μαρκέτος, (διπλωματική υπό εκπόνηση))

Enter the Number of receivers	1670
Enter the Z coordinate of receivers (m)	0
Enter the X coordinate of 1 st receiver	0
Enter the Receiver array increment in meters	0

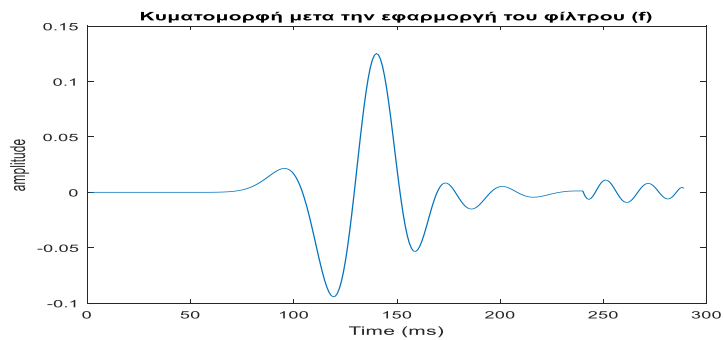


Εικόνα 4.1 Κυματομορφή σεισμικής πηγής των 10Hz



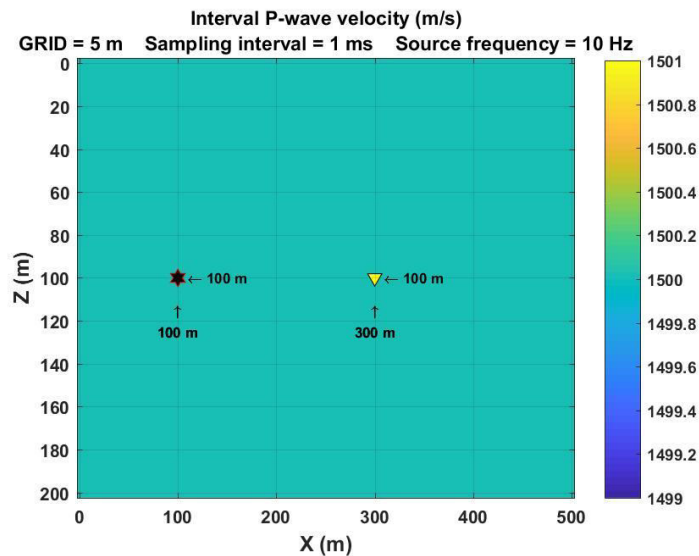
Εικόνα 4.2 Κυματομορφή σεισμικής πηγής των 20Hz

Στην εικόνα (4.3) που ακολουθεί απεικονίζεται η κυματομορφή μετά την εφαρμογή του φίλτρου (f). Το φίλτρο (f) όπως διατυπώθηκε και παραπάνω χρησιμεύει στην μετατροπή των 10Hz σε 20Hz.



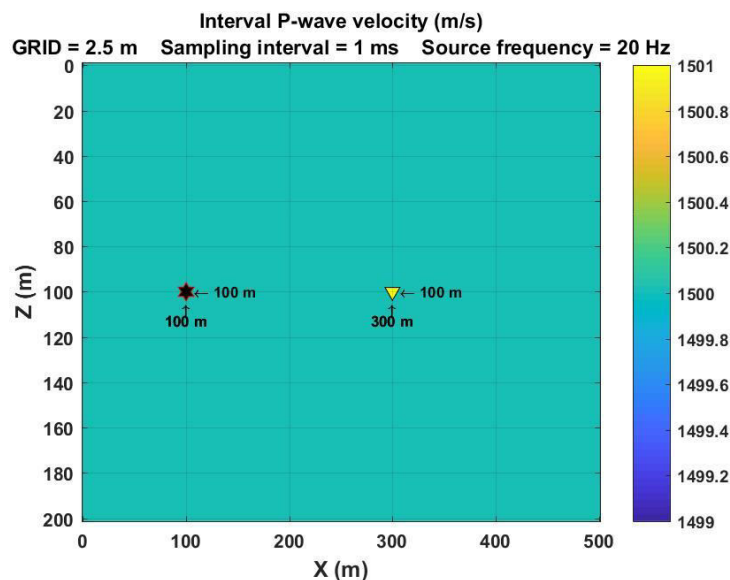
Εικόνα 4.3 Κυματομορφή σεισμικής πηγής με κεντρική συχνότητα 20Hz μετά την εφαρμογή του φίλτρου (f).

Πρέπει να αναφερθεί ότι, το φίλτρο (f) βοηθάει στην μετατροπή από 10Hz σε 20Hz . Για την υλοποίηση του κώδικα (βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-Κώδικας 1 Φίλτρο), κατασκευάστηκαν τα αρχεία «10hz1ms_V.mat» και «20hz1ms_V.mat». Για το αρχείο «10hz1ms_V.mat» τοποθετήθηκε πηγή και γεώφωνο στο ίδιο βάθος στα 100m ενώ η οριζόντια θέση τους (X άξονας) ήταν 100 και 300 m με το συνολικό μήκος του μοντέλου να φθάνει τα 500 m (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4 Μοντέλο διάταξης πηγής-γεωφώνου με κυρίαρχη συχνότητα 10Hz

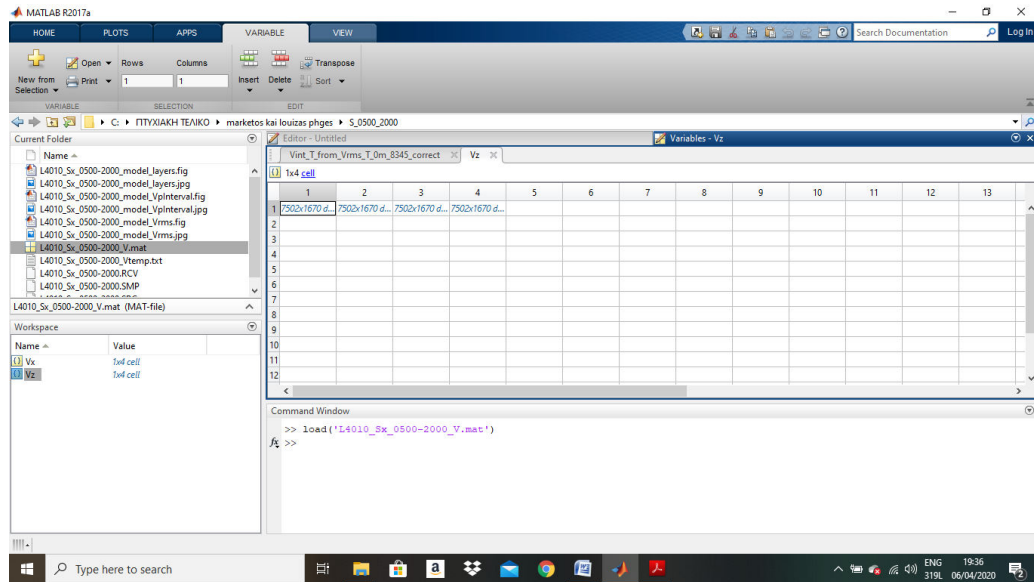
Για το αντίστοιχο αρχείο «20hz1ms_V.mat» η πηγή και το γεώφωνο τοποθετήθηκαν στα ίδια σημεία με μόνη διαφορά ότι το μοντέλο έτρεξε στα 20Hz (Εικόνα 4.5)



Εικόνα 4.5 Μοντέλο διάταξης πηγής-γεωφώνου με κυρίαρχη συχνότητα 20Hz

Η κατασκευή του φίλτρου (f) ήταν απαραίτητη και ζωτικής σημασίας ταυτόχρονα για το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας. Διότι ελαχιστοποιείται ο χρόνος διεξαγωγής του πειράματος, καθώς θα ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία η προσομοίωση διάδοσης σεισμικών κυμάτων με κυρίαρχη συχνότητα 20Hz σε αντίστοιχου μεγέθους μοντέλο.

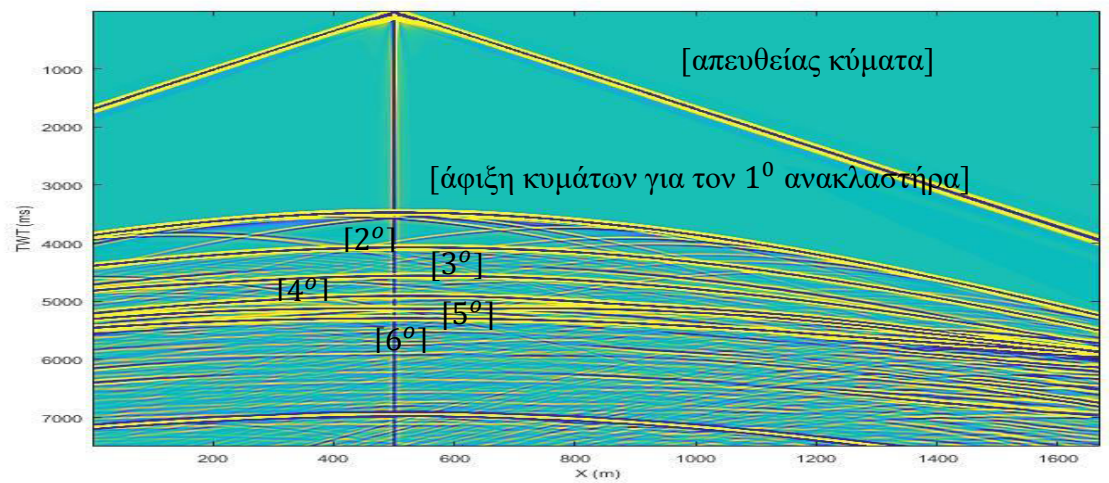
Γι αυτόν τον λόγο κατασκευάστηκε ένας άλλος Κώδικας (βλ.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-Κώδικας 2 Matlab) ακόμα,όπου σε κάθε ένα από τα κελιά 1,2,3,4 τα οποία αντιστοιχούν για τον Vz και είναι οι πηγές 500,1000,1500,2000 (Εικόνα 4.6) αντίστοιχα με δεδομένα κυρίαρχης συχνότητας 10Hz αντικαταστάθηκαν από τις ίδιες πηγές με δεδομένα κυρίαρχης συχνότητας 20Hz και η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τις υπόλοιπες πηγές.



Εικόνα 4.6 Αρχείο πηγών Βασιλικής Λουίζας Χριστίδη από 500m μέχρι 2000m όπου V_z και V_x είναι το βάθος και η οριζόντια απόσταση της κάθε πηγής.(Χριστίδη,2019)

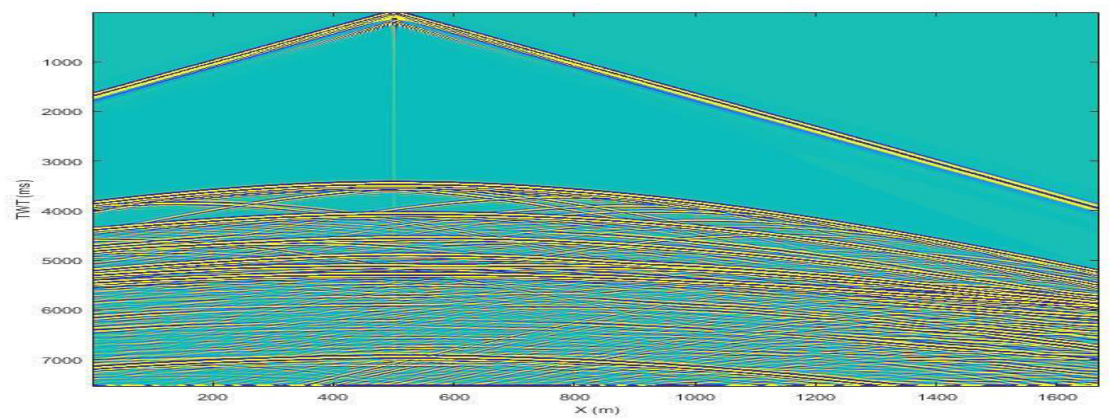
Για την πραγματοποίηση του κώδικα (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-Κώδικας 2 Matlab) χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τις πηγές της φοιτήτριας Βασιλικής Λουίζας Χριστίδη (2019) και οι πηγές επίσης των φοιτητών Ανδρέα Μαρκέτου (2020) και Ανάστασιου Δασκαλάκη (2020). Επίσης και σε αυτόν τον κώδικα χρησιμοποιήθηκε το φίλτρο (f) για την μετατροπή των δεδομένων που δημιουργήθηκαν με πηγή των 10Hz σε καλύτερης ανάλυσης δεδομένα με κυρίαρχη συχνότητα 20 Hz.

Πηγή 500 m 10 Hz



Εικόνα 4.7 Διάταξη κοινής πηγής. Η πηγή βρίσκεται στα 500m.

Πηγή 500 m 20 Hz



Εικόνα 4.8 Διάταξη κοινής πηγής. Η πηγή βρίσκεται στα 500m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο :Επεξεργασία δεδομένων-Αποτελέσματα

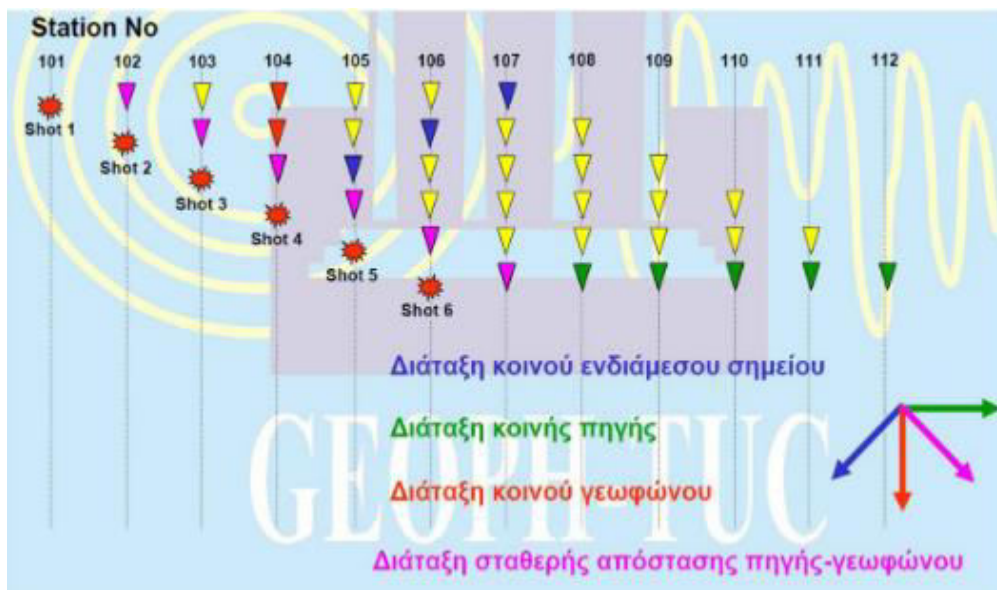
5.1 Επεξεργασία δεδομένων - Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται μια αναλυτική παρουσίαση της επεξεργασίας των δεδομένων με κυριότερο στόχο η αναλογία σήματος-θορύβου να είναι τέτοια, ώστε η τελική σεισμική τομή που θα προκύψει να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στην γεωλογική μορφή που επικρατεί στην περιοχή. Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι από το Matlab crewes στο εργαστήριο εφαρμοσμένης γεωφυσικής. Τα στάδια που πραγματοποιήθηκαν για το τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας είναι :

- Αναδιάταξη δεδομένων κοινής πηγής σε δεδομένα κοινού ενδιάμεσου σημείου
- Διόρθωση κανονικής χρονικής απόκλισης (Normal Move Out – NMO)
- Σεισμική υπέρθεση (stacking)
- Σεισμική χωροθέτηση (Migration)

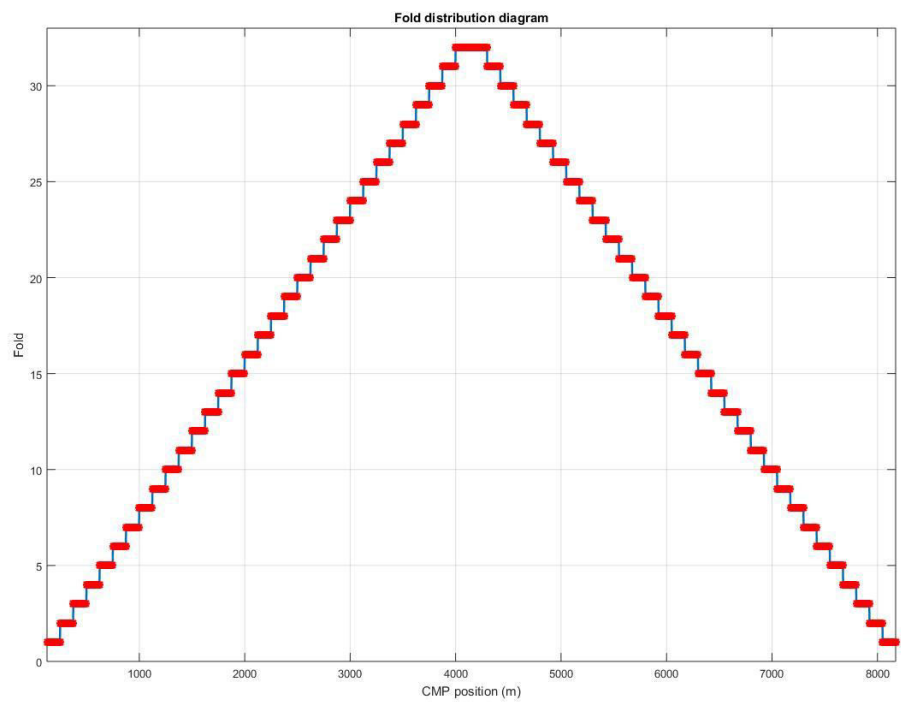
5.2 Αναδιάταξη δεδομένων κοινής πηγής σε δεδομένα κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP)

Η τεχνική καταγραφής CMP, η οποία εφευρέθηκε τη δεκαετία του 1950 και δημοσιεύτηκε αργότερα χρησιμοποιεί καταγραφή για τη βελτίωση της αναλογίας σήματος προς θόρυβο κατά την άθροιση των σεισμικών ιχνών (stacking) που ακολουθεί στην συνέχεια. Για την επίτευξη αυτής της καταγραφής χρησιμοποιούνται πολλαπλές πηγές ανά ίχνος, πολλαπλοί δέκτες ανά ίχνος και πολλαπλή κάλυψη της απόστασης πηγής-γεωφώνου (offset) από το ίδιο σημείο του υπεδάφους. Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι, η καταγραφή των σεισμικών κυμάτων γίνεται από έναν μεγάλο αριθμό οργάνων, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην πίεση και στην ταχύτητα και κατανέμονται σε γραμμές μελέτης. Έτσι μετά το πέρας της πρώτης καταγραφής η διάταξη πηγή-γεωφώνου μετατοπίζεται σε νέα θέση κατά μήκος γραμμής και έτσι καταγράφεται το νέο σήμα της πηγής στις νέες θέσεις των γεωφώνων. Παρακάτω (Εικόνα 5.1) ακολουθεί μια απεικόνιση του πώς είναι η διάταξη των διαφόρων καταγραφών αλλά και πως πραγματοποιούνται.

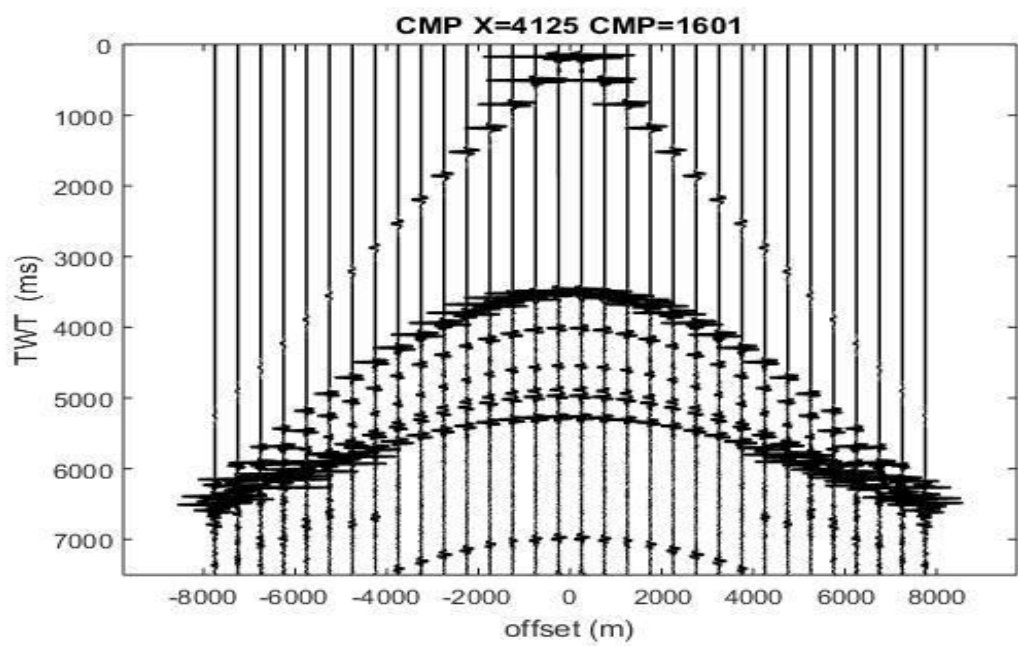


Εικόνα 5.1 Διάφορες καταγραφές Πηγής-Δέκτη

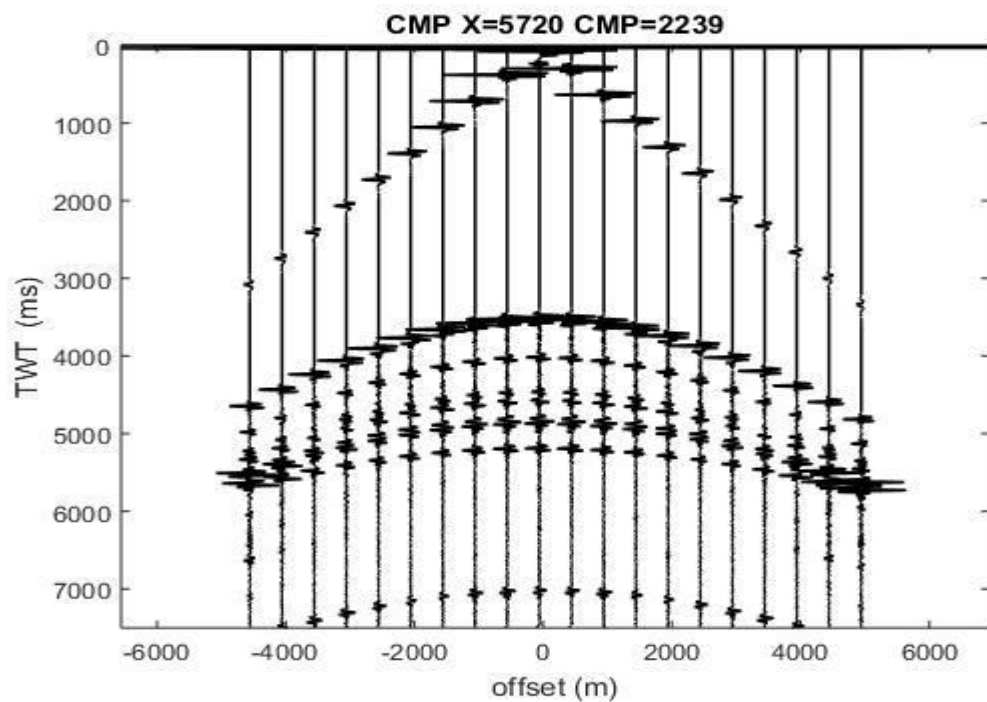
Μάλιστα η διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου είναι πιο αποτελεσματική όταν η επιφάνεια ανάκλασης του σήματος είναι οριζόντια και όχι κεκλιμένη. Έτσι όταν η επιφάνεια ανάκλασης είναι κεκλιμένη οι αφίξεις αντιστοιχούν από μία περιοχή του ανακλαστήρα και τα ίχνη μοιράζονται ένα κοινό ενδιάμεσο σημείο. Η διαδικασία κατάταξης των ιχνών ονομάζεται gathering και τα ίχνη που δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο ονομάζεται «διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου» και στις Εικόνες 5.3, 5.4 που ακολουθούν, απεικονίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την διαδικασία της τεχνικής καταγραφής CMP χωρίς όμως την εφαρμογή της διόρθωσης της κανονικής χρονικής απόκλισης (NMO). Επιπροσθέτως ένας άλλος σημαντικός παράγοντας της σεισμικής ανάκλασης αποτελεί η υπεδαφική κάλυψη fold (Εικόνα 5.2), όπου είναι ουσιαστικά ο αριθμός των ιχνών που ανήκουν στην ίδια διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου.



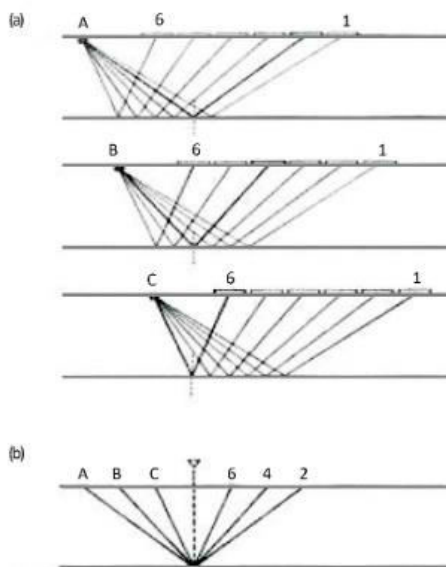
Εικόνα 5.2 Υπεδαφική κάλυψη (fold)



Εικόνα 5.3 Καταγραφή κοινού ενδιάμεσου σημείου ($\chi=4125$ m) με fold 32



Εικόνα 5.4 Καταγραφή κοινού ενδιάμεσου σημείου ($\chi=5720$ m) με fold 20

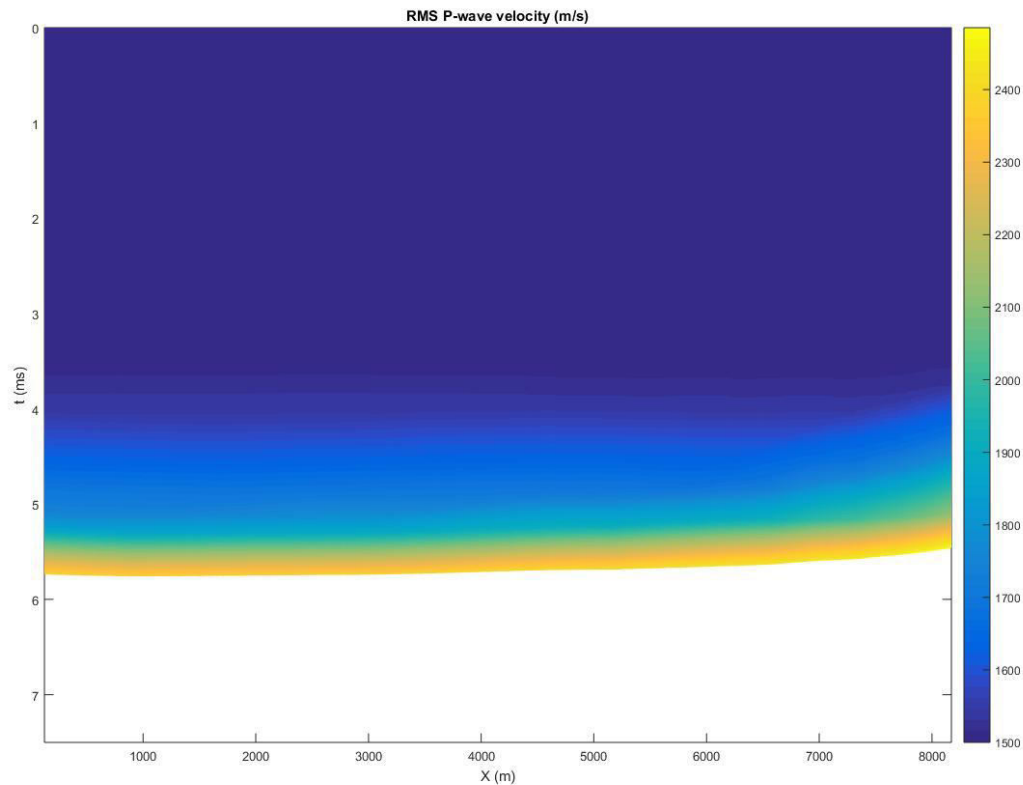


Εικόνα 5.5 Μετατροπή δεδομένων κοινής πηγής σε δεδομένα κοινού ενδιάμεσου σημείου

Ο τρόπος συλλογής των δεδομένων φαίνεται στην Εικόνα 5.5(a). Η ακτίνα 2 από της πηγής A, η ακτίνα 4 της πηγής B, αλλά και η ακτίνα 6 της πηγής C, διέρχονται το ίδιο σημείο του

υπεδάφους. Όταν ο ανακλαστήρας είναι παράλληλος στην επιφάνεια, το σημείο αυτό του υπεδάφους βρίσκεται ακριβώς κάτω από ένα σημείο της επιφάνειας αντιδιαμετρικά από το οποίο τα τρία ζευγάρια πηγής-γεωφώνων είναι συμμετρικά κατανεμημένα (Εικόνα 5.5(b)). Το σημείο αυτό στην επιφάνεια ονομάζεται «κοινό ενδιάμεσο σημείο» και η αντίστοιχη προβολή του στην επιφάνεια ανάκλασης ονομάζεται «κοινό σημείο βάθους» γνωστό και ως CDP (Common Depth Point).

Η μετατροπή των δεδομένων κοινής πηγής σε δεδομένα κοινού ενδιάμεσου σημείου (Εικόνα 5.5) εκτελείται με την εντολή `[CMPx,CMPz]=CMP_Synthetics_Ver11`, όπου από αυτή την εντολή προκύπτουν δεδομένα CMPx και CMPz και ταυτόχρονα γίνεται και ο υπολογισμός της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας V_{rms} στην Εικόνα (5.6) από την σχέση (3.2)

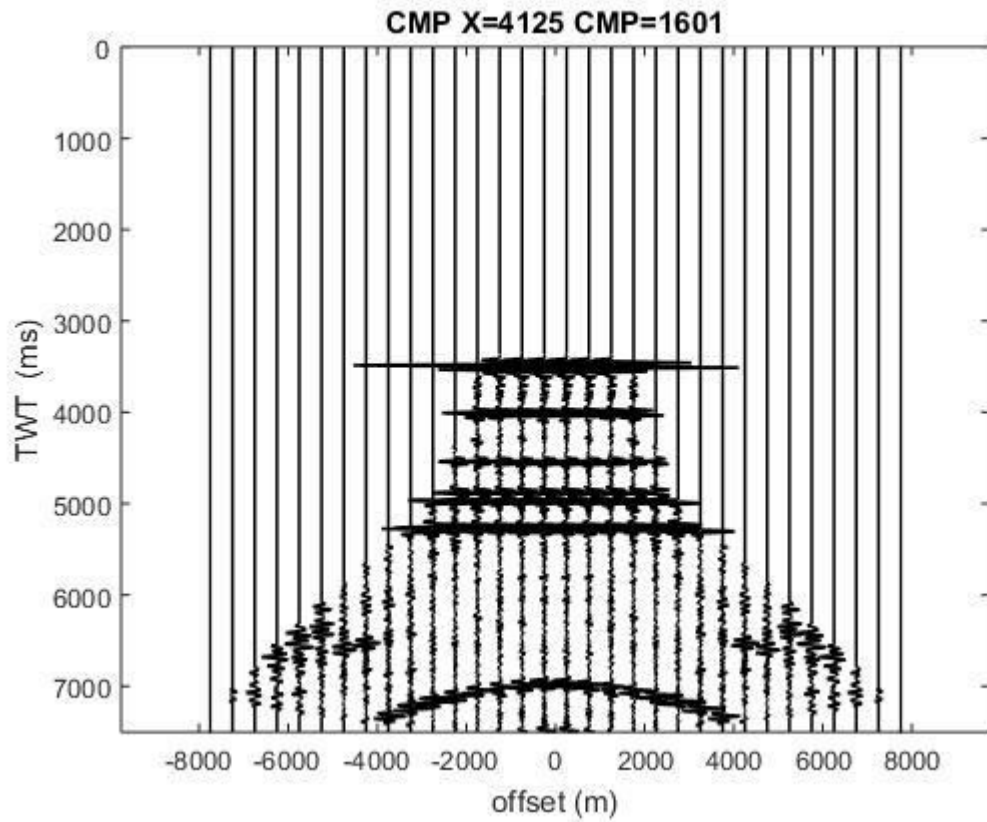


Εικόνα 5.6 Μοντέλο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας σε (m/s).

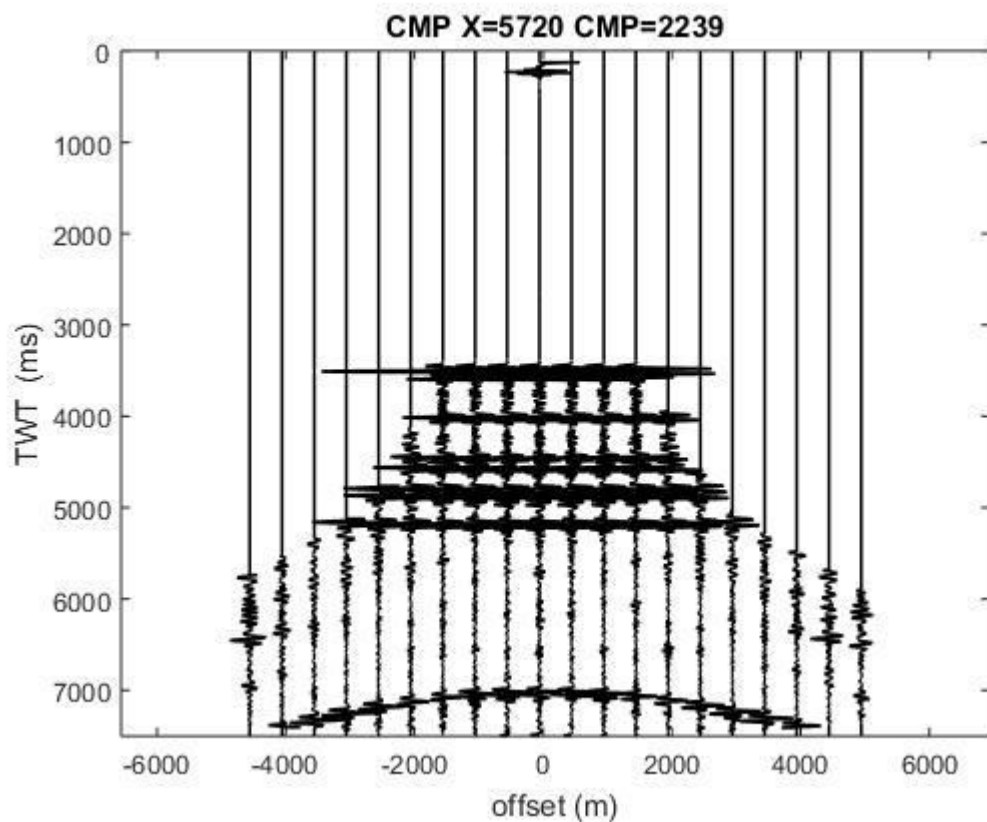
5.3 Διόρθωση κανονικής χρονικής απόκλισης (NMO)

Ο λόγος εφαρμογής της διαδικασίας διόρθωσης της κανονικής χρονικής απόκλισης μετά την μετατροπή των δεδομένων κοινής πηγής σε δεδομένα κοινού ενδιάμεσου σημείου είναι ουσιαστικά για την αναγωγή των χρόνων διαδρομής σε χρόνους κυμάτων που διαδίδονται σε

κατακόρυφη κατεύθυνση. Η μέγιστη επιτρεπόμενη επιμήκυνση του σεισμικού ίχνους (STRECH) για τις εικόνες 5.7, 5.8 είναι 5 %



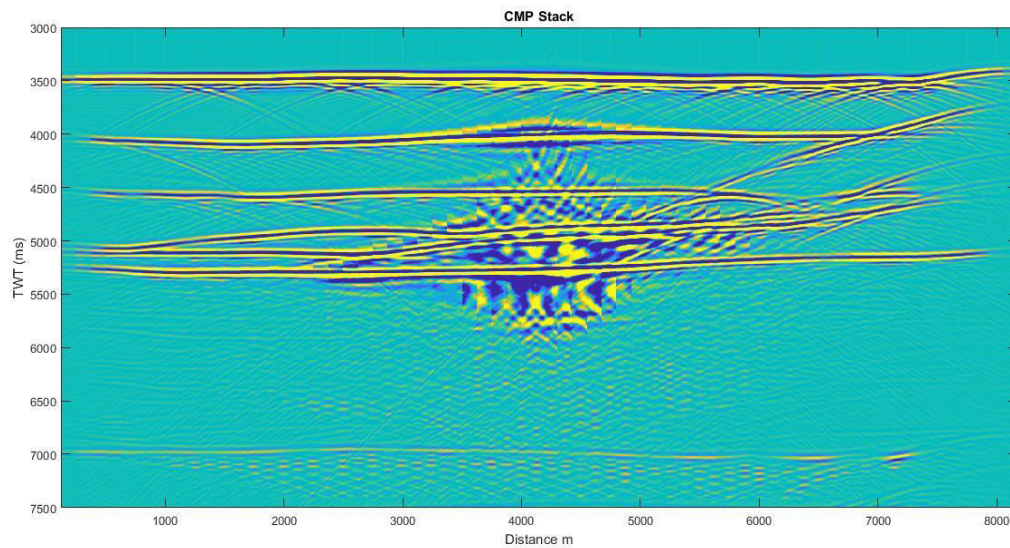
Εικόνα 5.7 Καταγραφή κοινού ενδιάμεσου σημείου ($\chi=4125$ m), μετά την εφαρμογή της NMO με fold 32



Εικόνα 5.8 Καταγραφή κοινού ενδιαμέσου σημείου ($\chi=5720\text{m}$), μετά την εφαρμογή της NMO με fold 20

5.4 Σεισμική Υπέρθεση (Stacking)

Κατά την διαδικασία της σεισμικής υπέρθεσης πραγματοποιείται ουσιαστικά ενίσχυση του πλάτους των ανακλώμενων κυμάτων. Για την υλοποίηση αυτού του στόχου πρέπει να αθροιστούν τα σειсмоγράμματα κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP). Επίσης η σεισμική υπέρθεση δίνει μια πρώτη εικόνα της δομής του υπεδάφους.



Εικόνα 5.9 Τομή σεισμικής υπέρθεσης με αποκοπή των πρώτων 3s των δεδομένων.

Στην Εικόνα (5.9) παρατηρείται ένα θόλωμα από τα 2.2km έως τα 5.8km, το οποίο οφείλεται στο ότι μετά την διαδικασία της διόρθωσης NMO αθροίστηκαν ίχνη που αντιστοιχούν σε μικρή απόσταση απ την πηγή (<50m) και σε ίχνη που αντιστοιχούν σε σχετικά μεγάλη απόσταση από την πηγή (>3500m).

Στην συνέχεια ακολουθεί η τομή σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου (common offset) (Εικόνα 5.10). Η τομή σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου δίνει μια πρώτη εικόνα της δομής του υπεδάφους, η οποία όμως λόγω των πολλών ανακλάσεων δεν είναι τόσο ευκρινής.

Η πραγματοποίηση αυτού του σταδίου έγινε με την βοήθεια του αλγορίθμου:

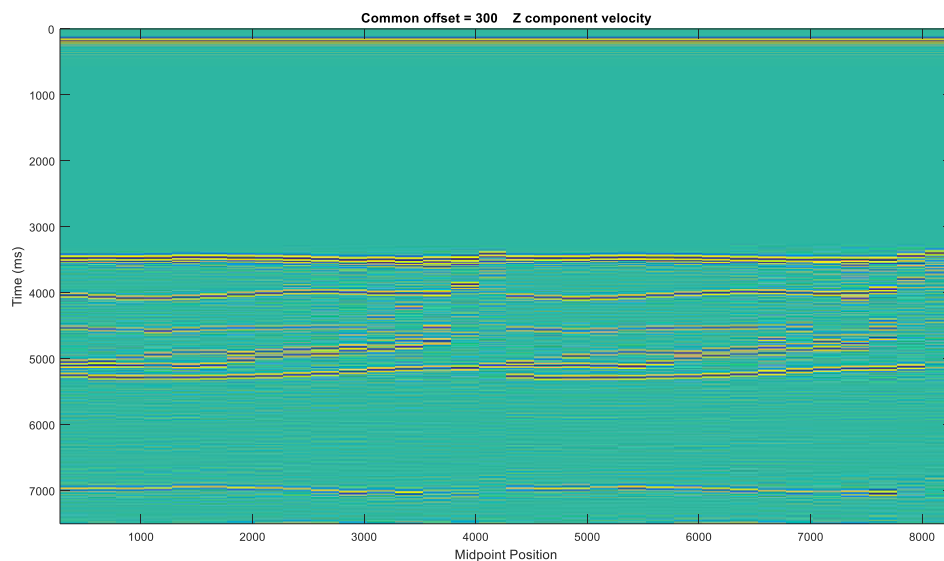
[MPpos, Time, CoffVx ,CoffVz]=CommonOffset_Synthetics_Ver10 (Coffset, resamp;)

Με δεδομένα εισόδου:

- Coffset :σταθερή απόσταση πηγής-δέκτη (m)
- resamp :επαναδειγματοληψία ανά κάποιο χρονικό διάστημα (ms)

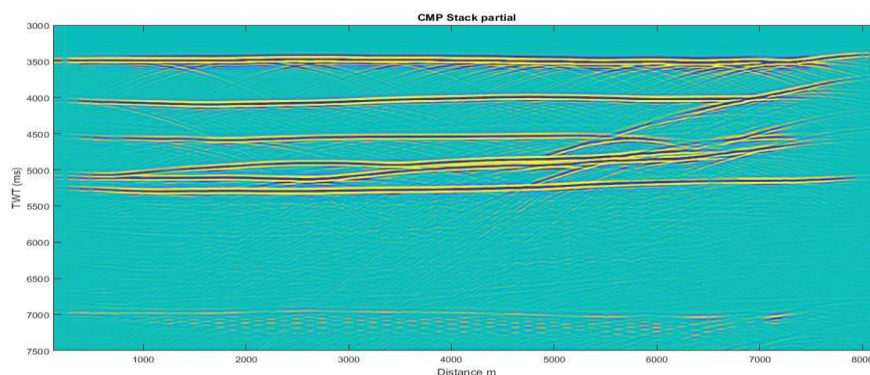
Με δεδομένα εξόδου:

- MPpos:διάνυσμα θέσεων των σεισμικών ιχνών (δεκτών) σε μέτρα
- Time:διάνυσμα του χρόνου (s)
- CoffVx:δεδομένα Vx σε διάταξη σταθερής απόστασης πηγής-δέκτη
- CoffVz: δεδομένα Vz σε διάταξη σταθερής απόστασης πηγής-δέκτη



Εικόνα 5.10 Τομή σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου

Στην Εικόνα (5.11) απεικονίζεται η σεισμική τομή μερικής υπέρθεσης, όπου για να εξαλυθούν τα ψευδοφαινόμενα που εμφανίζονται (θόλωμα) στην εικόνα 5.9, δεν αθροίστηκαν όλα τα ίχνη αλλά μόνο αυτά στα οποία η απόσταση από την πηγή ήταν μεταξύ των 50m και 3500m. Δηλαδή αποκλείστηκαν τα ίχνη σε μικρή απόσταση πηγής-γεωφώνου (<50m) καθώς και τα ίχνη στα οποία η απόστασή τους από την πηγή ήταν σχετικά μεγάλη (>3500m). Στην Εικόνα (5.11) συνεχίζονται να εμφανίζονται περιθλάσεις όπως αυτή στα 7km και σε χρόνο 4sec αλλά και στα 5.8km και σε χρόνο 4.5sec



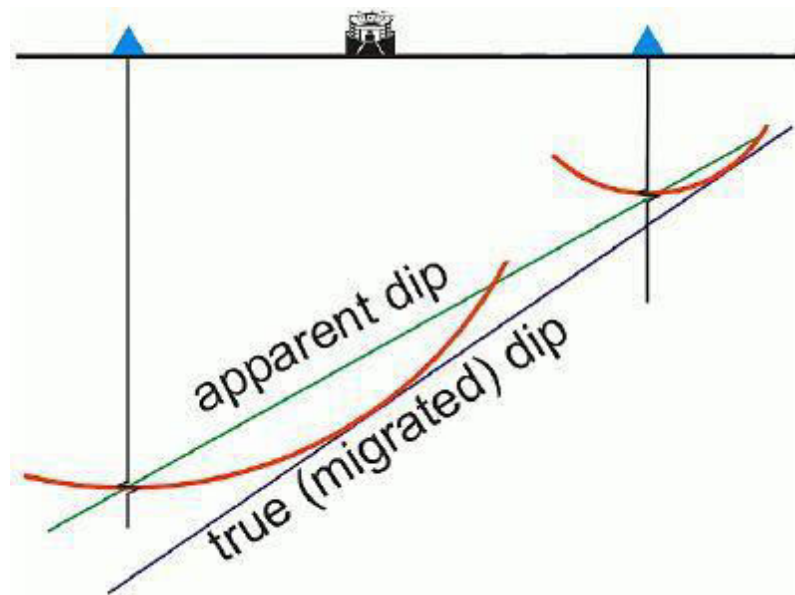
Εικόνα 5.11 Τομή μερικής σεισμικής υπέρθεσης με αποκοπή των πρώτων 3s δεδομένων. Παρατηρούνται περιθλάσεις στα σημεία που μεταβάλλεται πλευρικά η ταχύτητα, όπως για παράδειγμα η περίθλαση στα 5.8km και 7km σε χρόνους 4.5sec και 4sec αντίστοιχα .

5.5 Σεισμική Χωροθέτηση (Migration)

Κατά την υλοποίηση αυτού του σταδίου πραγματοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι χωροθέτησης :

- Πεπερασμένες διαφορές
- Μέθοδος Kirchhoff
- Phase shift

Η βασική λειτουργία της σεισμικής χωροθέτησης είναι η επανατοποθέτηση όλων των αφίξεων που προέρχονται από περίθλαση στην θέση που βρίσκεται η κορυφή (apex) της περίθλασης και τους ανακλαστήρες στην σωστή τους θέση (Εικόνα 5.12)



Εικόνα 5.12 Σεισμική χωροθέτηση (Μούχου, 2014)

5.6 Αποτελέσματα χωροθέτησης

Ο αλγόριθμος που εφαρμόστηκε για την υλοποίηση των εικονών της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών είναι :

Πεπερασμένες διαφορές

`(fd15mig):[aryin,tmig,xmig]=fd15mig(aryin,aryvel,t,x,dtau);`

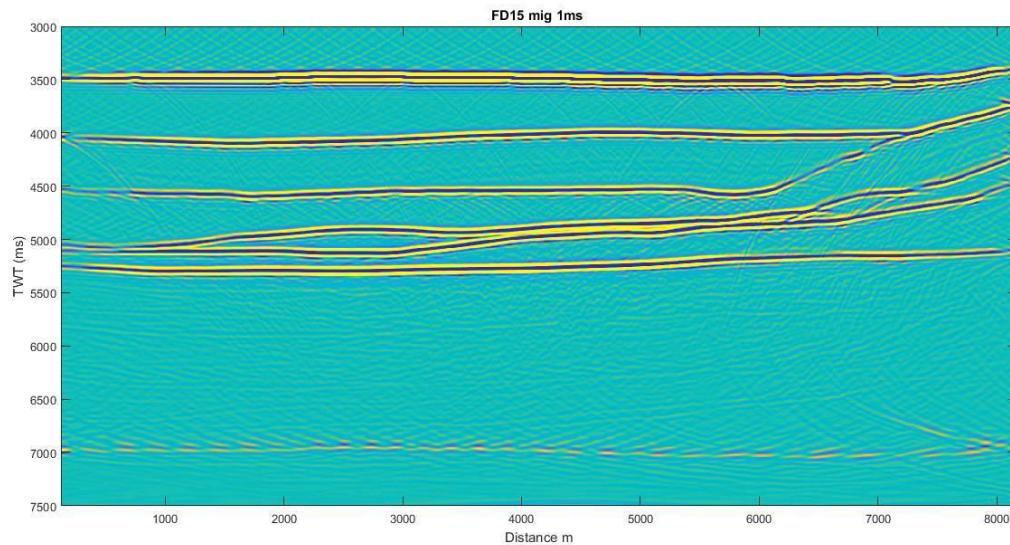
Δεδομένα εισόδου:

- `aryin`: Πίνακας δεδομένων εισόδου (σεισμική τομή) ο οποίος έχει προέλθει από σεισμική υπέρθεση.
- `arvel`: Πίνακας ταχυτήτων rms, ίδιες διαστάσεις με τον παραπάνω πίνακα.
- `t`: Διάνυσμα χρόνου καταγραφής.
- `x`: Διάνυσμα αποστάσεων.
- `dtau`: Βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους

Αποτελέσματα εξόδου:

- `arymig`: Πίνακας σεισμικής χωροθέτησης.
- `tmig`: t συντεταγμένες των αποτελεσμάτων χωροθέτησης.
- `xmig`: x συντεταγμένες των αποτελεσμάτων χωροθέτησης

Στην Εικόνα (5.13) απεικονίζεται η τομή χωροθέτησης με την μέθοδο πεπερασμένων διαφορών όπου είναι ξεκάθαρο ότι, οι περιθλάσεις που εμφανιζόταν στην τομή μερικής υπέρθεσης στην Εικόνα (5.11) έχουν εξαφανιστεί, και ότι ακόμα οι ανακλαστήρες φαίνονται ευδιάκριτα καθώς παρατηρούνται 6 ανακλαστήρες



Εικόνα 5.13 Τομή χωροθέτησης με την μέθοδο πεπερασμένων διαφορών με αποκοπή των πρώτων 3s των δεδομένων. Βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους (1 ms).

Από τις Εικόνες (5.14) μέχρι και (5.18) παρουσιάζονται οι χωροθετημένες σεισμικές τομές με τη μέθοδο Kirchhoff και ο αντίστοιχος αλγόριθμος που εφαρμόστηκε για δημιουργία των εικονών και την υλοποίηση της μεθόδου είναι ο παρακάτω :

Kirchhoff

```
[aryin,tmig,xmig]=kirk_mig2 (aryin, aryvel, dt,dx,params);
```

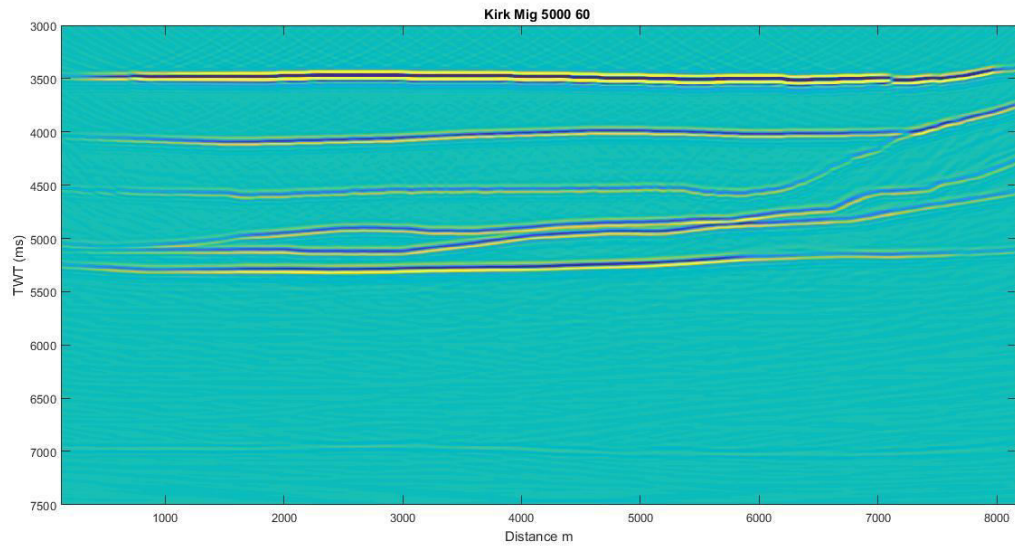
Δεδομένα εισόδου:

- aryin: Πίνακας δεδομένων εισόδου (σεισμική τομή) ο οποίος έχει προέλθει από σεισμική υπέρθεση.
- arvel: Πίνακας ταχυτήτων rms, ίδιες διαστάσεις με τον παραπάνω πίνακα
- t: Διάνυσμα χρόνου καταγραφής
- x: Διάνυσμα αποστάσεων.
- params: Διάνυσμα παραμέτρων χωροθέτησης
- params(1-3):Παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση και καθορισμός των ορίων του.
- params(4-6):Μέγιστη γωνία χωροθέτησης σε μοίρες.
- params(7):Τύπος παρεμβολής μεταξύ των χρονικών δειγμάτων.
- params(8-11): Σχετικό με το παράθυρο χωροθέτησης.
- params(12): Φίλτρο αποκοπής συχνοτήτων μεγαλύτερων απο την συχνότητα Nyquist (fN)

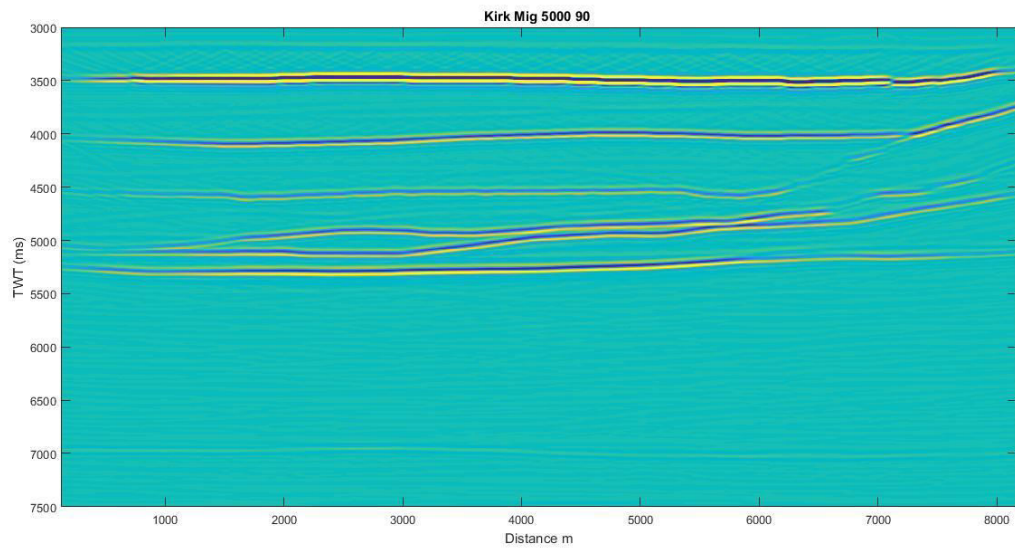
Αποτελέσματα εξόδου:

- arymig: Πίνακας σεισμικής χωροθέτησης.
- tmig: t συντεταγμένες των αποτελεσμάτων χωροθέτησης.
- xmig: x συντεταγμένες των αποτελεσμάτων χωροθέτησης

Στην Εικόνα (5.14) και στην Εικόνα (5.15). Παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν περιθλάσεις εντός της χωροθετημένης τομής.



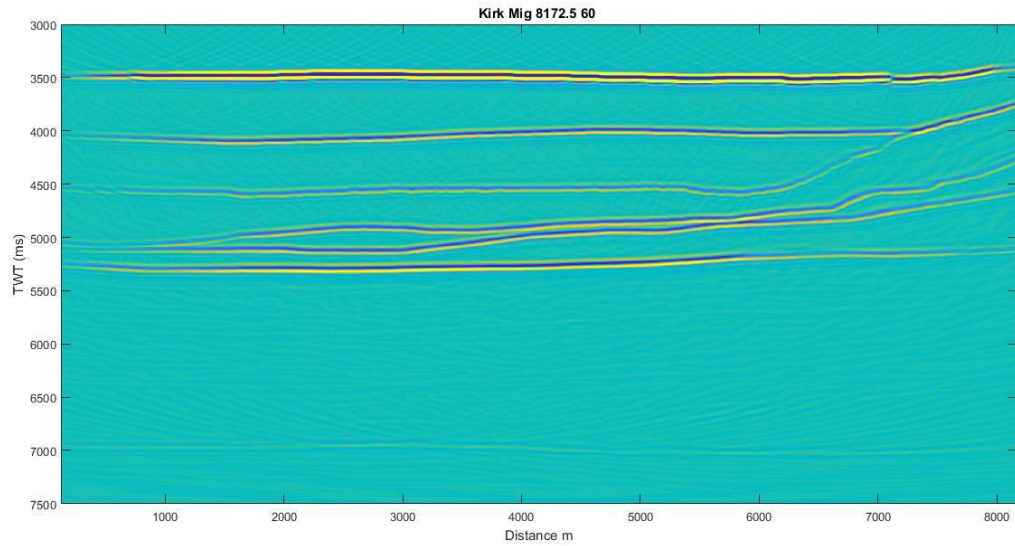
Εικόνα 5.14 Παράθυρο χωροθέτησης με την μέθοδο Kirchhoff στην οριζόντια διεύθυνση $X=5000$ m και μέγιστη κλίση 60° .



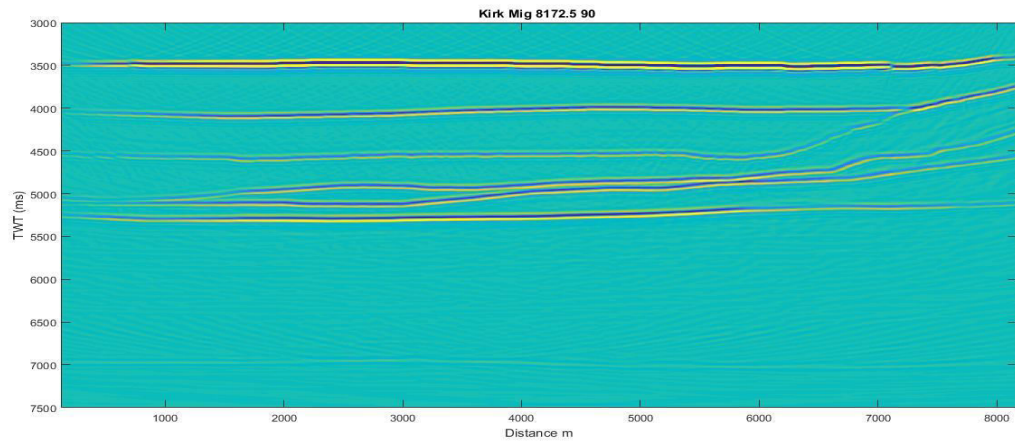
Εικόνα 5.15 Παράθυρο χωροθέτησης με την μέθοδο Kirchhoff στην οριζόντια διεύθυνση $X=5000$ m και μέγιστη κλίση 90° .

Στις χωροθετημένες τομές που ακολουθούν, Εικόνα (5.16) και Εικόνα (5.17), οι ανακλαστήρες φαίνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια ενώ οι περιθλάσεις δεν εμφανίζονται.

Επίσης με μια πιο προσεκτική ματιά, οι ανακλαστήρες, όταν η μέγιστη κλίση είναι 60° , είναι πιο ευδιάκριτοι σε σχέση με όταν η μέγιστη κλίση είναι 90° . Αυτό συμβαίνει ακόμα και στην Εικόνα (5.15) αλλά και στην Εικόνα (5.16).



Εικόνα 5.16 Παράθυρο χωροθέτησης με την μέθοδο Kirchhoff στην οριζόντια διεύθυνση $X=8172.5$ m και μέγιστη κλίση 60° .



Εικόνα 5.17 Παράθυρο χωροθέτησης με την μέθοδο Kirchhoff στην οριζόντια διεύθυνση $X=8172.5$ m και μέγιστη κλίση 90° .

Στην Εικόνα (5.18) απεικονίζεται η τομή χωροθέτησης συχνότητας-κυματαριθμού και ο αντίστοιχος αλγόριθμος για την υλοποίηση της μεθοδου. Οι επιφάνειες ανάκλασεις είναι ευδιάκριτες χωρίς να διακόπτονται.

Phase Shift

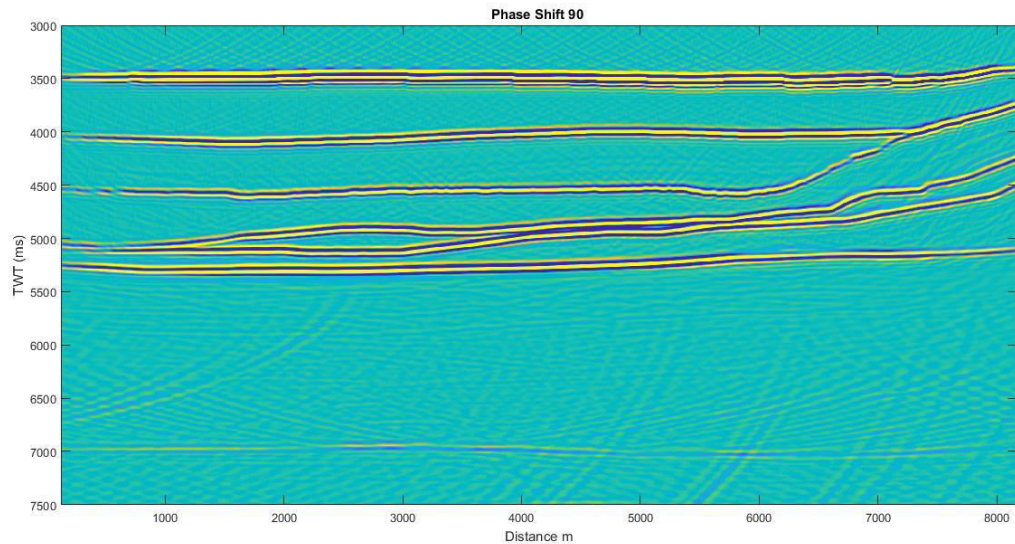
```
[out,tt]=ps_migt(seis, t, x,v,params);
```

Δεδομένα εισόδου

- seis: Πίνακας δεδομένων εισόδου (σεισμική τομή) ο οποίος έχει προέλθει από σεισμική υπέρθεση.
- t=Διάνυσμα χρόνου καταγραφής
- x=Διάνυσμα αποστάσεων
- v:Πίνακας τμηματικών ταχυτήτων
- params(1): Προσθήκη δειγμάτων (ορισμένα σε s) μηδενικού πλάτους στο χρόνο (t) για την εφαρμογή του FFT
- params(2): Προσθήκη δειγμάτων (ορισμένα σε m) μηδενικού πλάτους στο χώρο (x) για την εφαρμογή του FFT
- params(3): Βήμα εκτύπωσης της προόδου της χωροθέτησης
- params(4): Μέγιστη γωνία χωροθέτησης όριο γωνίας σε μοίρες.

Αποτελέσματα εξόδου:

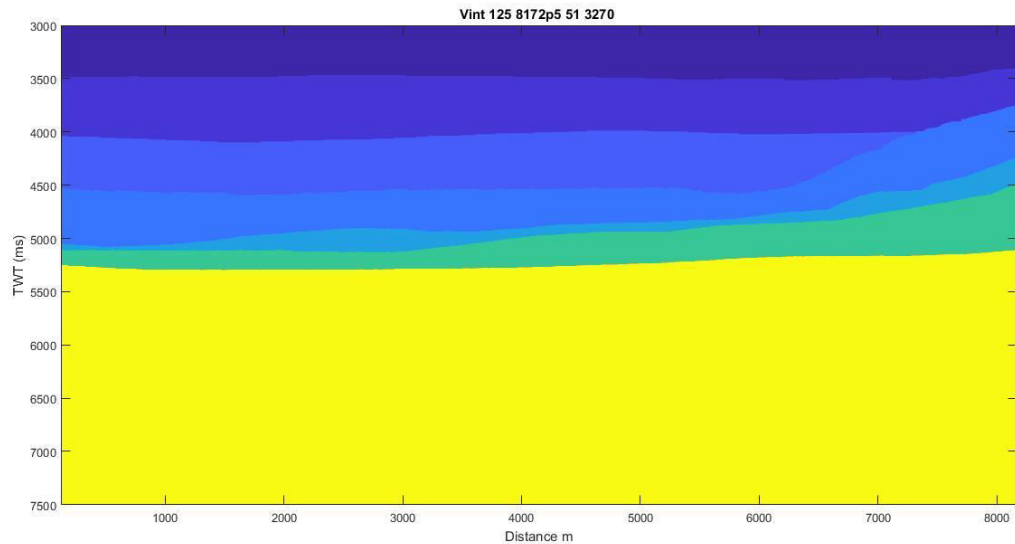
- out: Πίνακας σεισμικής χωροθέτησης.
- tt: συνολικός χρόνος υπολογισμού της χωροθετημένης τομής



Εικόνα 5.18 Τομή χωροθέτησης με την μέθοδο συχνότητας-κυματαριθμού και μέγιστη κλίση 90° .

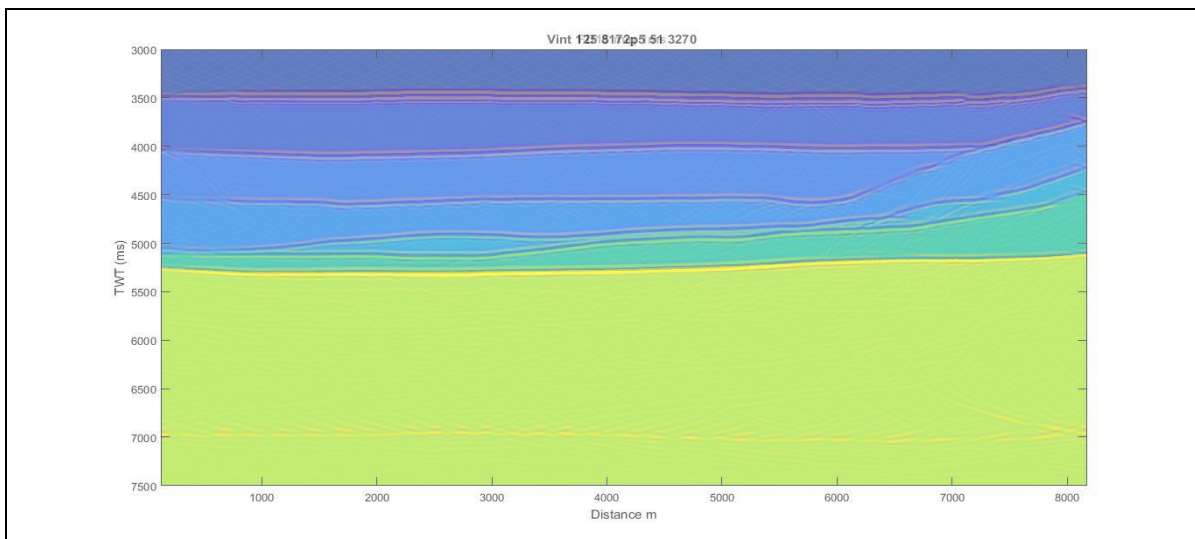
5.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων χωροθέτησης με το μοντέλο τμηματικών ταχυτήτων

Για να πραγματοποιηθεί αξιολόγηση των τομών χωροθέτησης, υπερέθηκε επί αυτών το μοντέλο τμηματικής ταχύτητας (Εικόνα 5.19) που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των συνθετικών δεδομένων. Στην συνέχεια παρατίθενται οι Εικόνες 5.20 έως 5.24. Παρατηρείται ότι, στις περιπτώσεις που οι χωροθετημένες τομές είναι απαλλαγμένες από τις περιθλάσεις οι ανακλαστήρες έχουν καλύτερη προσαρμογή στις αντίστοιχες διεπιφάνειες.



Εικόνα 5.19 Μοντέλο τμηματικής ταχύτητας.

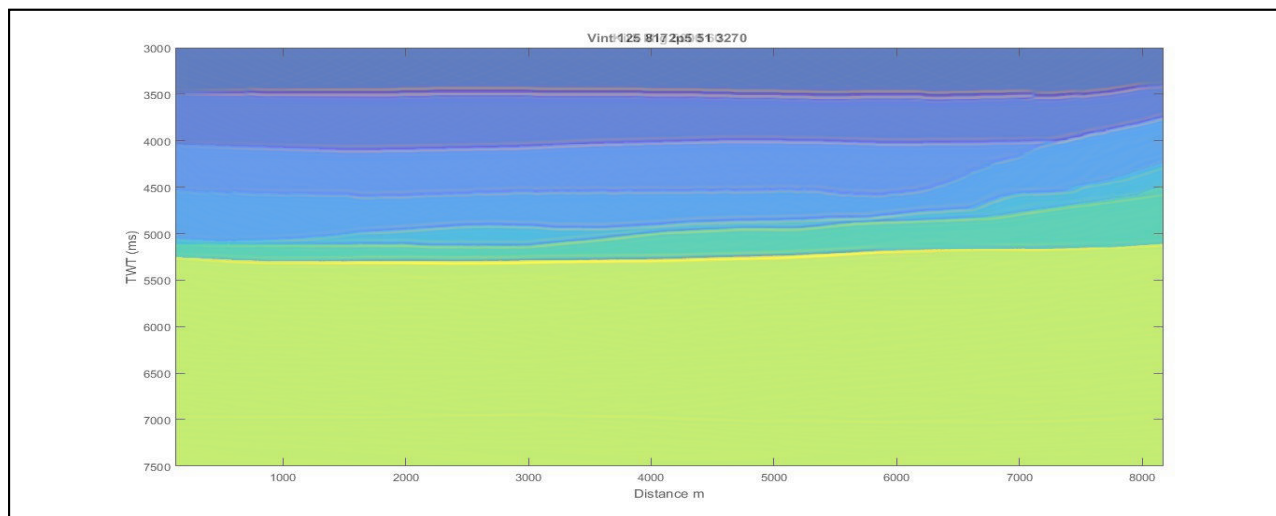
Στην Εικόνα (5.20) παρατίθεται η σεισμική τομή χωροθέτησης με την μέθοδο πεπερασμένων διαφορών στην οποία έχει υπερτεθεί το μοντέλο ταχυτήτων.



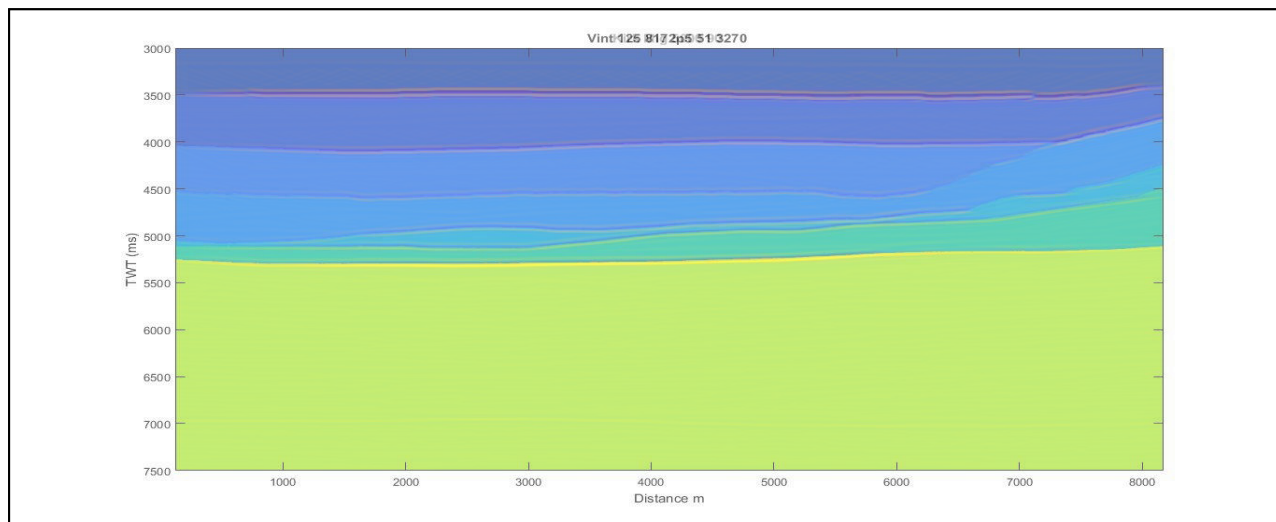
Εικόνα 5.20 Υπέρθωση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών με βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους (1ms)

Στην Εικόνα (5.20) παρατηρούνται περιθλάσεις (6km έως 7.3km) όμως οι επιφάνειες ανάκλασης της σεισμικής τομής χωροθέτησης είναι πολύ κοντά στις διαχωριστικές επιφάνειες στο μοντέλο.

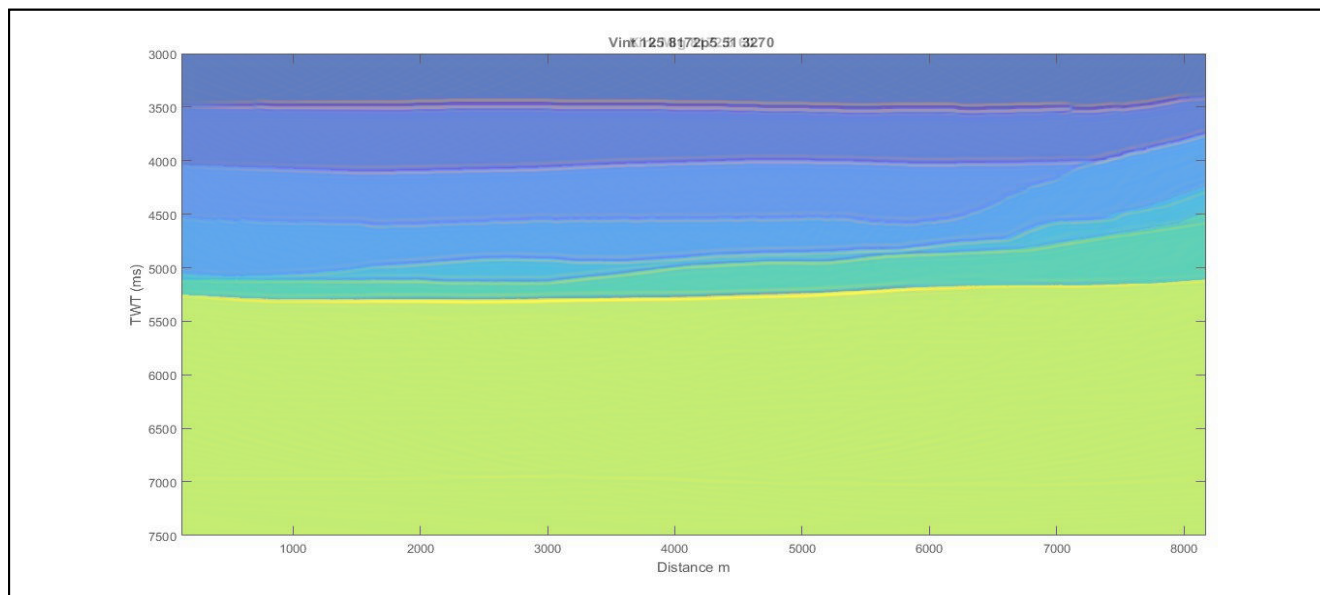
Στις Εικόνες 5.21 , 5.22 , 5.23 και 5.24, παρουσιάζονται οι σεισμικές τομές χωροθέτησης με τη μέθοδο Kirchhoff σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας της χωροθέτησης ήταν το επιθυμητό, άρα και οι επιφάνειες ανάκλασης της σεισμικής τομής χωροθέτησης είναι πολύ κοντά στις διαχωριστικές επιφάνειες στο σεισμικό μοντέλο κάθε επιμέρους ορίζοντα.



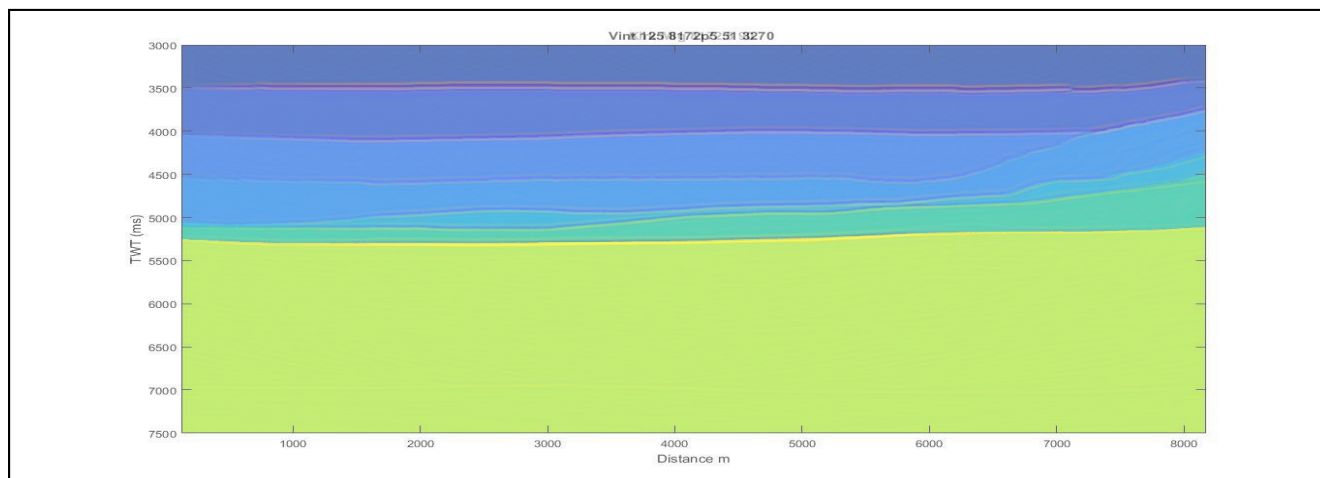
Εικόνα 5.21 Υπέρθεση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο Kirchhoff ($X=5000$ m, μέγιστη κλίση = 60°)



Εικόνα 5.22 Υπέρθεση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο Kirchhoff ($X=5000$ m, μέγιστη κλίση = 90°).



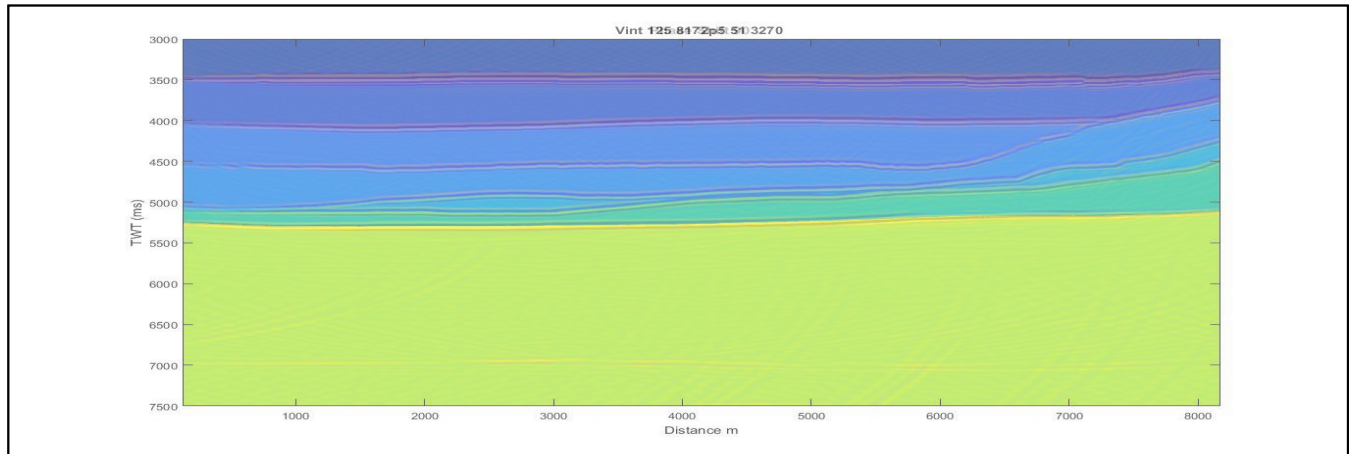
Εικόνα 5.23 Υπέρθωση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο Kirchhoff ($X=8172.5$ m, μέγιστη κλίση = 60°)



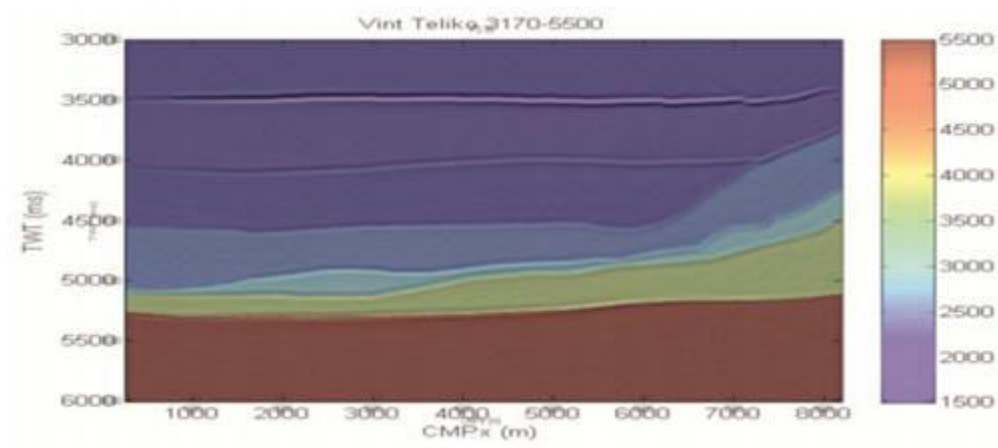
Εικόνα 5.24 Υπέρθωση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο Kirchhoff ($X=8172.5$ m, μέγιστη κλίση = 90°)

Στην Εικόνα 5.25 απεικονίζεται η σεισμική τομή χωροθέτησης με τη μέθοδο χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού. Η μέθοδος αυτή φαίνεται να δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα

χωροθέτησης. Επίσης φαίνεται ότι οι επιφάνειες ανάκλασης της σεισμικής χωροθέτησης εφάπτονται πλήρως στις διαχωριστικές επιφάνειες στο σεισμικό μοντέλο ταχυτήτων.



Εικόνα 5.25 Υπέρθωση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού.



Εικόνα 5.26 Υπέρθωση του μοντέλου των τμηματικών ταχυτήτων στην Τομή χωροθέτησης που προέκυψε από την μέθοδο χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού με κυρίαρχη συχνότητα 10Hz

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: Συμπεράσματα

Ένα βασικό πλεονέκτημα της δημιουργίας συνθετικών δεδομένων είναι ότι δίνεται η δυνατότητα πραγματοποίησης αυτής της διαδικασίας με οποιοδήποτε σενάριο, χωρίς να είναι απαραίτητη η διεξαγωγή πραγματικών πειραμάτων σεισμικής ανάκλασης, παρά μόνο η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Από τις μεθόδους χωροθέτησης που χρησιμοποιήθηκαν και με κριτήριο την ταύτιση των ανακλαστήρων των χωροθετημένων τομών με αυτών του Σεισμικού Μοντέλου (μοντέλο τμηματικών ταχυτήτων) τα καλύτερα αποτελέσματα αντιστοιχούν στην τομή χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού (Phase sift).

Η μέθοδος χωροθέτησης Kirchhoff δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα στις τομές που το εύρος της περίθλασης περιλάμβανε μικρό αριθμό ιχνών. Στις τομές χωροθέτησης που το χωρικό παράθυρο ήταν 5000 m τα αποτελέσματα προσέγγισαν με αρκετά καλή ακρίβεια το μοντέλο ταχυτήτων. Ενώ όταν το χωρικό παράθυρο ήταν 8172.5 m, τα αποτελέσματα προσέγγισαν με απόλυτη σχεδόν ακρίβεια το μοντέλο ταχυτήτων. Ακόμα στην μέθοδο χωροθέτησης Kirchhoff όταν η κλίση των ανακλαστήρων ήταν στις 60° τότε οι επιφάνειες ανάκλασης είναι πιο ευδιάκριτες, χωρίς να διακόπτονται σε αντίθεση με τις 90°. Όσον αφορά το κομμάτι της επεξεργασίας και την όλη διαδικασία που ακολουθήθηκε, η δημιουργία του φίλτρου (f) ήταν ζωτικής σημασίας για την ολοκλήρωση αλλά και για την συνέχιση της πτυχιακής. Ο λόγος είναι ότι, με την χρήση του φίλτρου (f) από την μία ελαχιστοποιήθηκε ο χρόνος για την δημιουργία δεδομένων στα 20Hz (μέσω της μετατοπής των δεδομένων κεντρικής συχνότητας 10Hz) αλλά αποτέλεσε και το κυριότερο κομμάτι για την οικοδόμηση της παρούσας πτυχιακής, όπου όπως φαίνεται τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά.

Στις καταγραφές κοινής απόστασης πηγής – δέκτη (Common Offset) δεν είναι ευδιάκριτοι αρκετά οι ανακλαστήρες και επίσης παρατηρούνται πολλαπλές ανακλάσεις λόγω της διεπιφάνειας του θαλασσινού νερού.

Η μετατροπή των δεδομένων από 10Hz σε 20Hz βοήθησε στην δημιουργία σεισμικών δεδομένων καλύτερης ανάλυσης σε μικρότερο υπολογιστικό χρόνο.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αναστάσιος Δασκαλακης, 2020. "Σχεδιασμός πειράματος σεισμικής ανάκλασης για την απεικόνιση του υπεδάφους σε περιβάλλον βαθιάς θάλασσας νότια της Κρήτης "Διπλωματική Εργασία υπό εκπόνηση, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2020

Βασιλική-Λουΐζα Χριστίδη, "Σχεδιασμός πειράματος σεισμικής ανάκλασης για την απεικόνιση του υπεδάφους σε περιβάλλον βαθιάς θάλασσας νότια της Κρήτης ", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2019

Γιαλιτάκη Μ., 2015. Επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης από τη θαλάσσια περιοχή του Νοτίου Αιγαίου με τη μέθοδο της σεισμικής χωροθέτησης", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2015

Διδάσκων Δρ. Αντώνης Βαφείδης (2012) : Παρουσίαση στο πλαίσιο της διημερίδας: «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ» 25 Μαΐου 2012, Ηράκλειο - 26 Μαΐου 2012, Χανιά

Διδάσκων Δρ. Αντώνης Βαφείδης, Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι, Σεισμικές Μέθοδοι, μάθημα εξαμήνου, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά Δεκέμβρης 2011

Κριτσωτάκης Μ. 2009, Διαχείριση Υδατικών Πόρων Μεσσαράς Κρήτης. Διδακτορική Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Διατμητικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ελεγχος Ποιότητας & Διαχείριση Περιβάλλοντος»

Καπακτσή Α., 2018. Επεξεργασία συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης για την περιοχή του Βορείου Ιονίου Πελάγους. Διπλωματική Εργασία Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Λάιος Ιωάννης, 2017, Επεξεργασία δεδομένων σεισμικής ανάκλασης στην θαλάσσια περιοχή δυτικά της Αιτωλοακαρνανίας, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Μαρκέτος Ανδρεας, 2020. "Σχεδιασμός πειράματος σεισμικής ανάκλασης για την απεικόνιση του υπεδάφους σε περιβάλλον βαθιάς θάλασσας νότια της Κρήτης "Διπλωματική Εργασία υπό εκπόνηση, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2020

Μουντράκης Δ.Μ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σ. 207

Μορέλας Β. (2014): Τρισδιάστατη Γεωλογική προσομοίωση του Πλειοτεταρτογενούς της πεδιάδας της Μεσσαράς, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης.

Μούχου Α. , 2014 , Επεξεργασία θαλάσσιων δεδομένων σεισμικής ανάκλασης από το νότιο Αιγαίο, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Παπαδόπουλος Δ. Τ (2010), Εισαγωγή στη Γεωφυσική [Book]. - 2010. , Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 300 σελ.

Φασούλας, Χ.Γ., 2001. Οδηγός υπαίθρου για τη γεωλογία της Κρήτης. Μουσείο φυσικής ιστορίας της Κρήτης, Πανεπιστήμιο Κρήτης, σ. 103

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Antonis Vafidis, Nikolaos Andronikidis , Nikolaos Economou, George Panagopoulos , Avraam Zelilidis and Emanouil Manoutsoglou., Reprocessing and interpretation of seismic reflection data at Messara Basin, Crete, Greece, JOURNAL OF THE BALKAN GEOPHYSICAL SOCIETY, Vol. 15, No. 2, December 2012, p. 31-40, 11 figs, 2 tables

Angelier, J., 1978, Tectonic evolution of the Hellenic Arc since Late Miocene, Tectonophysics, 49, 23-36.

Claerbout, J. F., and Doherty, S. M., 1972, Downward continuation of move out corrected seismograms: Geophysics, v. 37, p. 741-768.

Fassoulas, C., 1999, The structural evolution of central Crete: insight into the tectonic evolution of the south Aegean (Greece), Journal of Geodynamics, 27, 23-43.

K.Oikonomopoulos, G. Makrodimitras, Y.Bassias, A.Vafidis, N. Andronikidis, 1Hellenic Hydrocarbon Resources Management S.A., 2Technical University of Crete, Integration Of Geophysical Tools To Determine The Structural Setting Offshore South Of The Island Of Crete, 1st eage workshop ingeophysical and geological challenges in hydrocarbon provinces of the eastern mediterranea, Malta, 6-7December 2018

Kilias, A., Fassoulas, C., and Mountrakis, D., 1994, Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis metamorphic core complex in the central part of the Hellenic Arc (Crete, Greece), Geol. Rundsch, 83, 417-430

Papanikolaou, D., and Vassilakis, E., 2010, Thrust faults and extensional detachment faults in Cretan tectono-stratigraphy: Implications for Middle Miocene extension, Tectonophysics, 233-247.

Van Hinsbergen, D., Meulen Kamp, J., 2006. Neogene supradetachment basin development on Crete (Greece) during exhumation of the South Aegean core complex. Basin Research, 103-124.

Yilmaz O., 1987, Seismic data processing Society of Exploration Geophysicists.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κώδικας 1 Φίλτρου

```
load ('10hz1ms_V.mat')
>> figure; plot(Vx{1}(:,1))
>> w=Vx{1}(1:240,1);
>> load('20hz1ms_V.mat')
>> figure;plot(Vx{1}(:,1))
>> lag=Vx{1}(:,1);
>> temp=lag(1:1:195);
>> figure;plot(temp);
>> w20=lag;
>> lag=temp;
>> [f,o] = ls_inv_filter_shaping(w,50,lag,0.01);
>> figure;plot(o)
```

Όπου

- w : κυματίδιο στα 10 Hz
- lag : κυματίδιο στα 20 Hz
- temp : προσωρίνη μεταβλητή
- f : φίλτρο μετατροπής των 10Hz σε 20Hz
- o: πράξη που πραγματοποιείται για να μετατραπούν τα 10Hz σε 20Hz
- 50: Πόσους όρους έχει το φίλτρο (f)
- 0.01: Παράμετρος mu

Κώδικας 2 Matlab

```
for k=1:length(Vz{1,4} (1,:))
    Vz8000(:,k)=conv(f,Vz{1,4}(:,k));
end
Vz_4=Vz8000(1:7502,:);
Vz{1,4}=Vz_4;
x=0:5:8345;t=0:1:7502;
figure;imagesc(x,t,Vz_4);[-0.0002 0.0002];
title('shot x=2000m 20Hz');
xlabel('Distance m');
ylabel('TWT (ms)');

for k=1:length(Vx{1,4} (1,:))
    Vx8000(:,k)=conv(f,Vx{1,4}(:,k));
end
Vx_4=Vx8000(1:7502,:);
Vx{1,4}=Vx_4;
x=0:5:8345;t=0:1:7502;
figure;imagesc(x,t,Vx_4);[-0.0002 0.0002];

Vz{1,1}=Vz_1;
Vz{1,2}=Vz_1;
Vz{1,3}=Vz_1;
Vz{1,4}=Vz_1;

Vx{1,1}=Vx_4;
Vx{1,2}=Vx_4;
Vx{1,3}=Vx_4;
Vx{1,4}=Vx_4;
```

Κώδικας 3

```
gia na bgei i sosti taxitita toy neroy
%dt=0.002%
t=0:0.001:7.501;
for k=1:length(name(1,:));
    Vint_T_from_Vrms_T_0m_8345_correct(:,k)=vrms2vint(name(:,k),t,1);%vrms2vint
    einai to script sto fakelo velocity
    %to 1 einai to flag gia na min bgazei NAN
End
figure;imagesc(Vint_T_from_Vrms_T_0m_8345_correct);
```

