



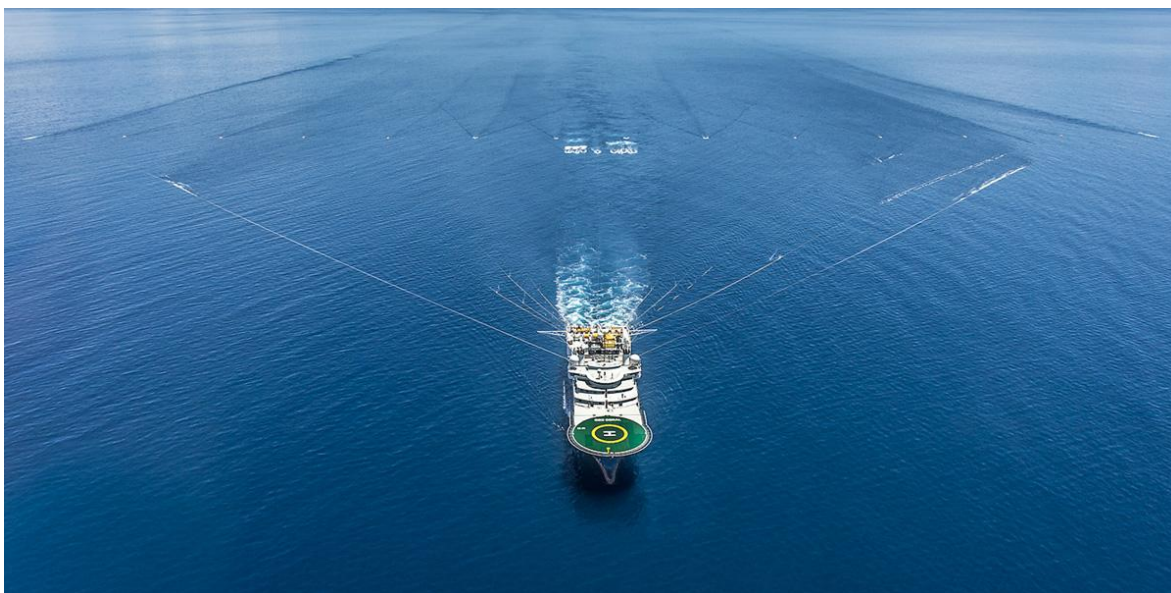
# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

ΧΡΙΣΤΙΔΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΛΟΥΙΖΑ

**“Σχεδιασμός πειράματος σεισμικής ανάκλασης για την απεικόνιση του υπεδάφους σε περιβάλλον βαθιάς θάλασσας νότια της Κρήτης”**



ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης (Επιβλέπων)

Αν. Καθηγήτρια Ε. Κόκκινου (ΤΕΙ Κρήτης)

Δρ. Κρητικάκης Γεώργιος, Ε.Δι.Π. Πολυτεχνείου Κρήτης

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2019



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εν λόγω διπλωματική εργασία πραγματεύεται την δημιουργία συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης και την επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων με τη χρήση τριών μεθόδων σεισμικής χωροθέτησης.

Η εκπόνηση της εργασίας και η διεξαγωγή συμπερασμάτων πραγματοποιήθηκε βάσει της εργασίας που παρουσιάστηκε στο 1<sup>st</sup> EAGE WORKSHOP IN GEOPHYSICAL AND GEOLOGICAL CHALLENGES IN HYDROCARBON PROVINCES OF THE EASTERN MEDITERRANEA, MALTA 2018.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή κ. Βαφείδη Αντώνη για την ανάθεση του θέματος, την άριστη συνεργασία καθώς και την πολύτιμη βοήθεια. Θα ήθελα ακόμα να εκφράσω την εκτίμηση μου στο πρόσωπο του καθώς εκτός από εξαιρετικός καθηγητής και αξιέπαινος άνθρωπος, η συνεργασία μας μου έδωσε κίνητρο για τη μελλοντική μου πορεία ως μηχανικός.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα κ. Ανδρονικίδη Νικόλαο, για την καθοριστική συμβολή του κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων της διπλωματικής εργασίας καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο τον οποίο αφιέρωσε.

Επίσης ευχαριστώ τον Δρ. Κρητικάκη Γεώργιο για την πολύτιμή βοήθεια του και τη Αν. Καθηγήτρια κα. Κόκκινου Ελένη, μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Τέλος, οφείλω ένα πολύ μεγάλο και ειλικρινές ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τους φίλους μου και τους ανθρώπους, που στάθηκαν δίπλα μου, σε κάθε βήμα μου όλα αυτά τα χρόνια, για την ηθική και ψυχολογική υποστήριξη.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η προσομοίωση σεισμικού πειράματος και η παραγωγή συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιώντας γεωλογικό μοντέλο που αντιστοιχεί στην θαλάσσια περιοχή νότια της Κρήτης. Από την επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων προέκυψαν οι σεισμικές τομές χωροθέτησης οι οποίες υπερτέθηκαν στο μοντέλο τμηματικών ταχυτήτων (Interval velocity model) και ακολούθησε η γεωλογική ερμηνεία με τη βοήθεια δημοσιευμένων εργασιών στην περιοχή μελέτης, κατά την οποία τα σεισμικά στρώματα αποδόθηκαν σε γεωλογικούς σχηματισμούς.

Η οριζόντια έκταση του αρχικού γεωλογικού μοντέλου ήταν 8345m ενώ το μέγιστο βάθος ορίστηκε στα 6000m. Για τη δημιουργία των συνθετικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Matlab και ο αλγόριθμος PSV\_SYNTHETICS ο οποίος αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των συνθετικών καταγραφών ακολουθώντας τα εξής βήματα: ταξινόμηση των καταγραφών κοινής πηγής σε καταγραφές Κοινού Ενδιάμεσου Σημείου, διόρθωση Κανονικής Χρονικής Απόκλισης, δημιουργία τομών σεισμικής υπέρθεσης, τέλος χωροθέτηση των τομών σεισμικής υπέρθεσης.

Εφαρμόστηκαν τρεις μέθοδοι σεισμικής χωροθέτησης. Η μέθοδος Χωροθέτησης Kirchhoff, η μέθοδος χωροθέτησης Πεπερασμένων διαφορών (Finite differences), καθώς και η μέθοδος Μετατόπισης φάσης (Phase shift).

Εν κατακλείδι με βάση τα αποτελέσματα της επεξεργασίας, από τις τρεις μεθόδους χωροθέτησης που εφαρμόστηκαν, βέλτιστα αποτελέσματα προκύπτουν από τη μέθοδο χωροθέτησης στο χώρο των συχνοτήτων. Η χωροθετημένη σεισμική τομή είναι απαλλαγμένη από περιθλάσεις. Από την σύγκριση της σεισμικής τομής με το γεωλογικό μοντέλο προκύπτει ότι η σεισμική χωροθέτηση επανατοποθετεί τους ανακλαστήρες στην σωστή τους θέση και απεικονίζει δομές στο υπέδαφος με πολύ καλή ακρίβεια.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> :ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΤΜΗΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ) .....	1
1.1    Εισαγωγή.....	1
1.2    Γεωλογία Κρήτης.....	1
1.3    Γεωλογική λεκάνη Μεσσαράς .....	3
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	5
2.1    Εισαγωγή.....	5
2.2    Θαλάσσιες διασκοπήσεις .....	5
2.3    Βασικές Αρχές διάδοσης των ελαστικών κυμάτων .....	7
2.3.1    Αρχή του Huygens.....	7
2.3.2    Αρχή του Fermat .....	8
2.4    Είδη σεισμικών κυμάτων .....	8
2.5    Βασικές αρχές στην επεξεργασία σεισμικών δεδομένων .....	9
2.5.1    Καταγραφές κοινής πηγής (shot gather) .....	9
2.5.2    Καταγραφές σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου (Common Offset Gather) .....	9
2.5.3    Αναδιάταξη των δεδομένων σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP Gather).....	10
2.5.4    Σεισμική Ταχύτητα .....	10
2.5.5    Δυναμική διόρθωση NMO (normal moveout).....	11
2.5.6    Σεισμική υπέρθεση (Stacking) .....	12
2.5.7    Σεισμική χωροθέτηση (Migration).....	12
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> : ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	17
3.1    Δημιουργία συνθετικών δεδομένων .....	17
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	24
4.1    Εισαγωγή.....	24
4.2    Αναδιάταξη δεδομένων σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMPorting).....	24
4.3    Διόρθωση της κανονικής χρονικής απόκλισης (Normal MoveOut - NMO - correction) .....	25
4.4    Σεισμική Υπέρθεση (Stacking).....	27
4.5    Σεισμική Χωροθέτηση (Migration) .....	30
4.6    Αποτελέσματα Χωροθέτησης .....	32
4.6.1    Αποτελέσματα χωροθέτησης με τη μέθοδο Πεπερασμένων Διαφορών.....	32
4.6.2    Αποτελέσματα χωροθέτησης με τη μέθοδο Kirchhoff .....	33

4.6.3	Αποτελέσματα με τη μέθοδος χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού. ....	36
4.7	Σύγκριση αποτελεσμάτων χωροθέτησης με το μοντέλο τμηματικών ταχυτήτων .....	37
Κεφάλαιο 5 ° : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....		41

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Η σημερινή κινηματική κατάσταση του Αιγαίου (τροποποιημένη από τον Gilbert et al. 1994, Noomen et al. 1996 και Reilinger et al. 1997). Τα βέλη αντιστοιχούν σε οριζόντια μετατόπιση σε σχέση με τη σταθερή Ευρώπη. Η παχιά μαύρη γραμμή δείχνει τη ζώνη υποβύθισης και οι κόκκινες γραμμές ρήγματα.....1

Σχήμα 1.2 Χάρτης γεωτεκτονικών ζωνών του ελλαδικού χώρου κατά RENZ, 1940. Υπόμνημα: I: Ζώνη Παξών, II: Ζώνη Αδριατικοϊόνια, IIa: Σειρά Εθιάς, Ib: Ζώνη Ανατολικού Αιτωλικού φλύσχη, IIc: Ζώνη Δυτικού Αιτωλικού φλύσχη, III: Σειρά Τρίπολης, IV: Ζώνη Ωλονού-Πίνδου, V: Σειρά Παρνασσού-Γκιώνας, VI: Σειρά Ανατολικής Ελλάδας, 7: Μάζα Κεντρικής Πελοποννήσου-Κρήτης, 8: Μάζα Αττικοκυκλαδική, 9: Μάζα Πελαγονική, 9a Μάζα Λυδοκαρική, X: Ζώνη Αξιού ή Βαρδάρη. ....2

Σχήμα 1.3: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της Κρήτης με τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα. ....2

Σχήμα 1.4: Τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς βασιζόμενος στη γεωλογική χαρτογράφηση του ΙΓΜΕ (κλίμακας 1:50.000). Με ανοικτό κίτρινο χρώμα οι αποθέσεις του Ολόκαινου – Ανώτερου Πλειστόκαινου, με κίτρινο οι αποθέσεις του Κατώτερου Πλειστόκαινου – Μέσου Νεογενούς και με γκρι οι προνεογενείς αποθέσεις (Vafidis et al., 2012). ....4

Σχήμα 2.1: Απεικόνιση δύο τύπων θαλάσσιας σεισμικής πηγής (a) Bolt air gun (b) Soder water gun (Βαφείδης, 2011). ....6

Σχήμα 2.2: Διάταξη στις θαλάσσιες σεισμικές διασκοπήσεις (Offshore Operations Subgroup, 2011). ....6

Σχήμα 2.3: Σχηματική απεικόνιση της αρχής Huygens (Βαφείδης, 2011). ....7

Σχήμα 2.4: Απεικόνιση διαμήκων (longitudinal) και εγκάρσιων (transverse) κυμάτων (<https://i.ytimg.com/vi/2Wlh3M2a10U/hqdefault.jpg>) .....9

Σχήμα 2.5: α) Θέση του ανακλαστήρα CD στο γεωλογικό μοντέλο βάθους β) Ο ανακλαστήρας C'D' που αντιστοιχεί στη τομή υπέρθεσης, θα μετακινηθεί στην θέση CD στην τομή χωροθέτησης (Yilmaz, 1987). ....12

Σχήμα 2.6: Εφαρμογή σεισμικής χωροθέτησης (α) πριν την υπέρθεση και (β) μετά την υπέρθεση, όπου παρατηρείται βελτίωση των αποτελεσμάτων, δηλαδή η τομή (β) είναι απαλλαγμένη από τις περιθλάσεις και οι ανακλαστήρες είναι επανατοποθετημένοι στις σωστές τους θέσεις (Yilmaz, 1987). ....14

Σχήμα 3.1 Εισαγωγή αρχικών παραμέτρων στο πρόγραμμα PSV SYNTHETICS .....17

Σχήμα 3.2 : Μοντέλο σεισμικών στρωμάτων .....	18
Σχήμα 3.3: Εισαγωγή παραμέτρων $\alpha, \beta, \rho$ (για το στρώμα του νερού).....	18
Σχήμα 3.4: Παράμετροι πηγής.....	20
Σχήμα 3.5: Παράμετροι υδροφώνων.....	20
Σχήμα 3.7 : Διάταξη κοινής πηγής. Η πηγή βρίσκεται στη θέση 500m .....	22
Σχήμα 3.8: Διάταξη κοινής πηγής. Η πηγή βρίσκεται στη θέση 2500m .....	22
Σχήμα 3.9: Διάταξη κοινής πηγής. Η πηγή βρίσκεται στη θέση 4500m .....	23
Σχήμα 4.1: Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου CMP gather.....	24
Σχήμα 4.2: Πριν την εφαρμογή της δυναμικής διόρθωσης. Καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου ( $x=2795m$ ), όπου $TWT = T(x)$ , ο χρόνος συναρτήσει της απόστασης πηγής-υδροφώνου. ....	26
Σχήμα 4.3: Μετά την εφαρμογή της δυναμικής διόρθωσης. Καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου ( $x=2795m$ ), όπου $TWT = T(0)$ , ο διπλός κατακόρυφος χρόνος για μηδενική απόσταση πηγής-υδροφώνου.....	26
Σχήμα 4.4 : Τομή σεισμικής υπέρθεσης .....	27
Σχήμα 4.5 : τομή καταγραφής σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου. ....	28
Σχήμα 4.6 : Τομή μερικής σεισμικής υπέρθεσης. Παρατηρούνται περιθλάσεις στα σημεία που μεταβάλλεται πλευρικά η ταχύτητα όπως για παράδειγμα η περίθλαση στα 5.5km και 7 km σε χρόνους 4.5 s και 4 s αντίστοιχα . .....	29
Σχήμα 4.7: Φαινόμενο σεισμικής χωροθέτησης. Αν δεν πραγματοποιηθεί σεισμική χωροθέτηση θα καθοριστεί λαθεμένα η επιφάνεια ανάκλασης (Attanayake, 2006). ....	30
Σχήμα 4.8 : Τομή χωροθέτησης “FD 0c004 bottom mute”, με τη μέθοδο Πεπερασμένων Διαφορών, το θήμα επέκτασης του κυματικού πεδίου είναι 4ms.....	32



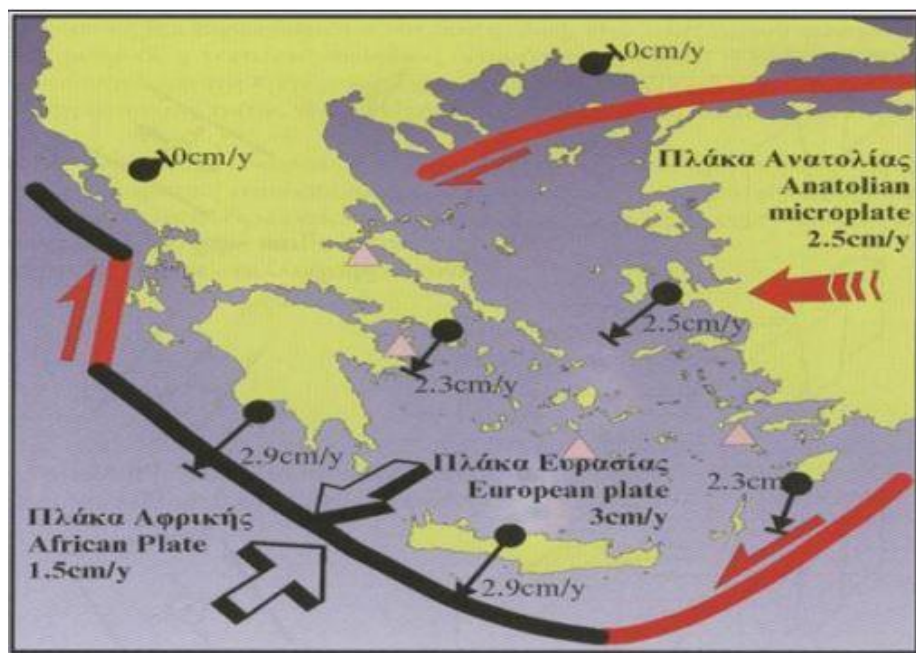
Σχήμα 4.9 : Τομή χωροθέτησης “kirk 50_60”, με τη μέθοδο Kirchhoff. Το εύρος περίθλασης σε αυτή τη τομή επιλέχθηκε να περιλαμβάνει 50 ίχνη, ενώ η μέγιστη κλίση είναι 60.....	33
Σχήμα 4.10 : Τομή χωροθέτησης “kirk 50-90”, με τη μέθοδο Kirchhoff. Το εύρος περίθλασης σε αυτή τη τομή επιλέχθηκε να περιλαμβάνει 50 ίχνη, ενώ η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες. ....	34
Σχήμα 4.11 : Τομή χωροθέτησης “kirk 1000_90”, με τη μέθοδο Kirchhoff. Το εύρος περίθλασης σε αυτή τη τομή επιλέχθηκε να περιλαμβάνει 1000 ίχνη, ενώ η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες. ....	34
Σχήμα 4.12: Τομή χωροθέτησης “kirk full aperture_60”, με τη μέθοδο Kirchhoff. Το εύρος περίθλασης σε αυτή την τομή επιλέχθηκε να περιλαμβάνει όλα τα ίχνη, ενώ η μέγιστη κλίση είναι 60 μοίρες.....	35
Σχήμα 4.13 : Τομή χωροθέτησης “kirk full aperture_90”, με τη μέθοδο Kirchhoff. Το εύρος περίθλασης σε αυτή την τομή επιλέχθηκε να περιλαμβάνει όλα τα ίχνη, ενώ η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες. <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	
Σχήμα 4.14 : Τομή χωροθέτησης “PS_90”, με τη μέθοδο στο χώρο των συχνοτήτων. Μέγιστη κλίση χωροθέτησης επιλέχθηκε να είναι 90 μοίρες. ....	36
Σχήμα 4.15 : Τομή χωροθέτησης “FD 0c004” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο “Vint telikio 3170-5500”. ....	37
Σχήμα 4.16 : Τομή χωροθέτησης “kirk 50_60” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο “Vint Teliko 3170-5500” .....	38
Σχήμα 4.17 : Τομή χωροθέτησης “kirk 50_90” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο “Vint Teliko 3170-5500” .....	38
Σχήμα 4.18 : Τομή χωροθέτησης “kirk 1000_90” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο “Vint Teliko 3170-5500” .....	39
Σχήμα 4.19 : Τομή χωροθέτησης “kirk full aperture_60” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο “Vint Teliko 3170-5500” .....	39
Σχήμα 4.20 : Τομή χωροθέτησης “kirk full aperture_90” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο “Vint Teliko 3170-5500” .....	40
Σχήμα 4.21 : Τομή χωροθέτησης “PS_90” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο “Vint Teliko 3170-5500” .....	40



## Κεφάλαιο 1 °:ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΤΜΗΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ)

### 1.1 Εισαγωγή

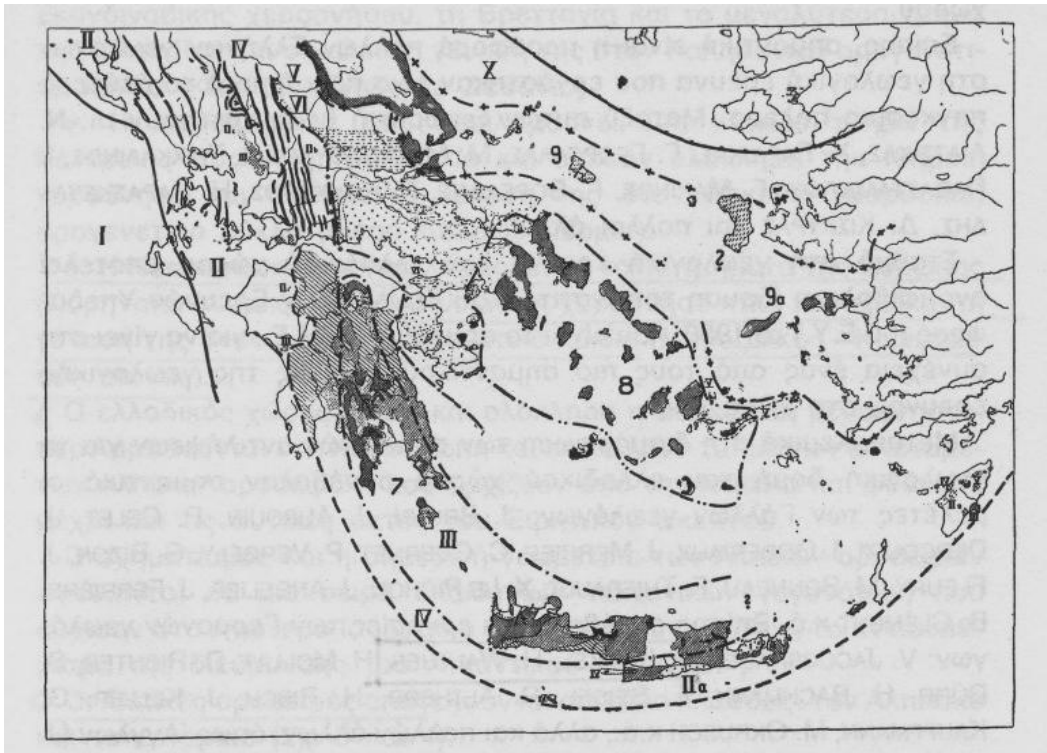
Η γεωλογική δομή της Ελλάδας περιγράφεται από διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες, με συγκεκριμένη στρωματογραφική αλληλουχία των πετρωμάτων όπως αυτά προέκυψαν από την τεκτονική δραστηριότητα. Ειδικότερα η πολυπλοκότητα που παρουσιάζει η γεωλογική δομή της Κρήτης οφείλεται στο γεγονός ότι βρίσκεται στην περιοχή όπου συγκλίνουν η Ευρασιατική πλάκα, με την υποβυθιζόμενη σε αυτή Αφρικανική πλάκα (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Η σημερινή κινηματική κατάσταση του Αιγαίου (τροποποιημένη από τον Gilbert et al. 1994, Noomen et al. 1996 και Reilinger et al. 1997). Τα βέλη αντιστοιχούν σε οριζόντια μετατόπιση σε σχέση με τη σταθερή Ευρώπη. Η παχιά μαύρη γραμμή δείχνει τη ζώνη υποβύθισης και οι κόκκινες γραμμές ρήγματα.

### 1.2 Γεωλογία Κρήτης

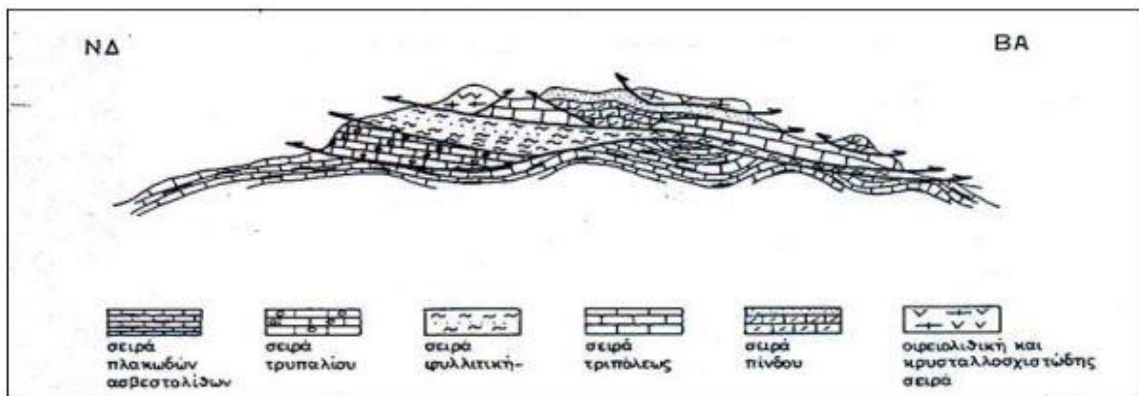
Σύμφωνα με τον RENZ, ο οποίος εξέδωσε, με μορφή μονογραφίας «Die Tektonik der griechischen Gebirge», «Η τεκτονική των ελληνικών ορέων», στο τεκτονικό χάρτη του ελλαδικού χώρου δηλαδή (Σχ 1.2), από τα δυτικά προς τα ανατολικά, διακρίνονται γεωλογικές Ενότητες του ελλαδικού χώρου (Μανούτσου, 2008)



Σχήμα 1.2 Χάρτης γεωτεκτονικών ζωνών του ελλαδικού χώρου κατά RENZ, 1940. Υπόμνημα: I: Ζώνη Παξών, II: Ζώνη Αδριατικοϊόνια, IIa: Σειρά Εθιάς, Ib: Ζώνη Ανατολικού Αιτωλικού φλύσχη, IIc: Ζώνη Δυτικού Αιτωλικού φλύσχη, III: Σειρά Τρίπολης, IV: Ζώνη Ωλονού-Πίνδου, V: Σειρά Παρνασσού-Γκιώνας, VI: Σειρά Ανατολικής Ελλάδας, 7: Μάζα Κεντρικής Πελοποννήσου-Κρήτης, 8: Μάζα Αττικοκυκλαδική, 9: Μάζα Πελαγονική, 9a Μάζα Λυδοκαρική, X: Ζώνη Αζιού ή Βαρδάρη.

Η νήσος της Κρήτης αποτελείται από αλληπάλληλα διαδοχικά τεκτονικά καλύμματα. Συγκεκριμένα το αλπικό υπόβαθρο αποτελείται τους πλακώδεις ασβεστολίθους της σειράς Κρήτη – Μάνη, το σύστημα Φυλλιτών – Χαλαζιτών και τους σχηματισμούς φλύσχη και ασβεστολίθων των ζωνών Τρίπολης και Πίνδου. Η στρωματογραφική σειρά κλείνει με τις νεογενείς αποθέσεις (μάργες, άργιλοι, άμμοι, ιλυόλιθοι, ασβεστόλιθοι) και τα τεταρτογενή κλαστικά ιζήματα.

Χαρακτηριστικό στοιχείο της δομής της είναι τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα των διαφόρων ζωνών, τα οποία αναπτύσσονται πάνω στην ενότητα Ταλέα όρη- των πλακωδών ασβεστόλιθων.



Σχήμα 1.3: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της Κρήτης με τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα (Βλαστάρας, 2006).

«Πιο συγκεκριμένα η νήσος Κρήτη χαρακτηρίζεται από «λεπιοειδή» ανάπτυξη που είναι αποτέλεσμα τόσο των τεκτονικών διεργασιών στο Τριτογενές όσο και της τεκτονικής δραστηριότητας στη Μεταλπική περίοδο. Τα καλύμματα των τεκτονικών ζωνών κατατάσσονται από κάτω προς τα πάνω ως εξής:

- **Ενότητα Ταλέη όρη - των πλακωδών ασβεστολίθων.** Η ενότητα αυτή αποτελείται από μία ακολουθία μαρμάρων τα οποία εμφανίζονται σε στρώματα μικρού πάχους και εμπεριέχουν διαστρώσεις ή κονδύλους πυριτόλιθων (Μανούτσογλου, 2011). Εμφανίζονται επίσης μεγάλες μάζες άστρωτων (μετα)-ασβεστόλιθων, δολομιτών, ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών και φυλλιτικών-χαλαζιακών πετρωμάτων.
- **Ενότητα του Τρυπαλίου.** Βρίσκεται τεκτονικά επωθημένη στην ενότητα Ταλέα Όρη - των Πλακωδών ασβεστόλιθων και αποτελείται από μεταμορφωμένους δολομίτες, δολομιτικούς ασβεστόλιθους, λατυποπαγείς ασβεστόλιθους έως γραουβάκες, σκούρους κυψελώδεις δολομίτες, άσπρα ζαχαρόκοκκα μάρμαρα και εμφανίσεις γύψου στη βάση. Η ηλικία τους καθορίστηκε μεταξύ Άνω Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού.
- **Ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών.** Βρίσκεται πάνω στην Ομάδα Πλακωδών Ασβεστόλιθων και στην ενότητα του Τρυπαλίου. Περιλαμβάνει φυλλίτες, χαλαζίτες, μετα-ψαμμίτες, μετα-κροκαλοπαγή, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μετα-ανδεσίτες, μεταβασίτες. Η ηλικία της είναι μεταξύ Περμίου - Τριαδικού.
- **Ενότητα της Πίνδου.** Πάνω από τις παραπάνω εξωτερικές ζώνες υπάρχουν τεκτονικά λείπια των εσωτερικών ζωνών με χαρακτηριστικές την ενότητα της Άρβης που περιλαμβάνει τμήματα οφιολιθικού συμπλέγματος και την ενότητα των Αστερουσίων που περιέχει γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες

Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται θαλάσσιες αποθέσεις με ηλικία από το Μέσο Μειόκαινο έως τις αρχές του Ανώτερου Πλειόκαινου.» (Φασουλάς, 1995)

### 1.3 Γεωλογική λεκάνη Μεσσαράς

«Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται χρονολογικά από την ύπαρξη αλπικών σχηματισμών ενώ τη λεκάνη καλύπτουν πολλά μεταλπικά ιζήματα (Σχήμα 1.4). Τα τελευταία αποτελούν μεταγενέστερους σχηματισμούς του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς, ανεξάρτητους από το Αλπικό ορογενετικό σύστημα. Οι λιθοστρωματογραφικές ενότητες που παρατηρούνται ταξινομούνται σε έξι ομάδες σχηματισμών:

- **Ομάδα της Πρίνα.** Αποτελείται από ασβεστολιθικά (μαύρα) χονδρόκοκκα λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή, και προνεογενείς ασβεστολίθους με μη θαλάσσιο έως υφάλμυρο περιβάλλον απόθεσης. Η ομάδα της Πρίνα αποτελεί τη βάση των νεογενών ηλικίας Μέσου Μειόκαινου.
- **Ομάδα Τεφελίου.** Τοποθετείται πάνω στην Πρίνα και αποτελείται από χαλαρά κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους και ιλύ με ποταμολιμναία και θαλάσσια προέλευση. Η ηλικία είναι Σερραβάλιο έως Άνω Τορτόνιο.

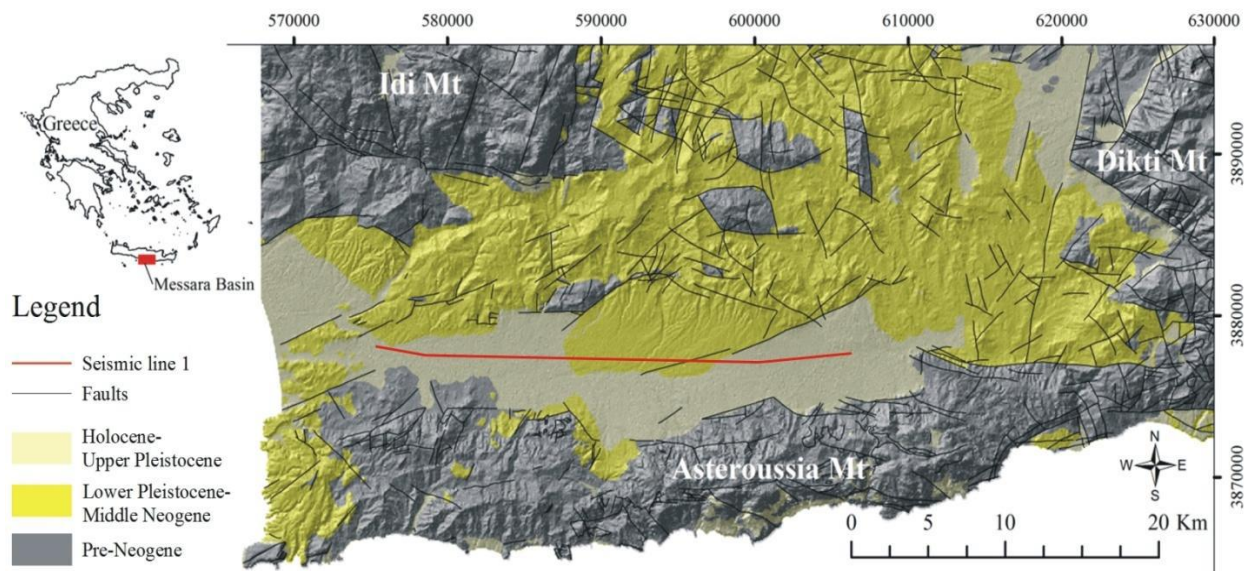
- **Ομάδα Βρυσσών.** Βρίσκεται είτε πάνω στην ομάδα Τεφελίου είτε πάνω στο αλπικό υπόβαθρο και αποτελείται από θαλάσσιους ασβεστολίθους, εναλλαγές μαργών και παρεμβολές γύψων. Η ηλικία είναι Άνω Τορτόνιο έως Κάτω Μεσσήνιο.

- **Ομάδα Ελληνικού.** Υπερκείμενη είτε πάνω σε παλαιότερους Νεογενείς σχηματισμούς είτε πάνω στην ομάδα Βρυσσών είτε πάνω στο υπόβαθρο και αποτελείται από κροκαλοπαγή χερσαίας προέλευσης, γύψους και λεπτόκοκκες ποταμολιμναίες, υφάλμυρες αποθέσεις. Η ηλικία είναι Άνω Μεσσήνιο.

- **Ομάδα Φοινικιάς.** Βρίσκεται πάνω στην Ελληνικού, Βρυσσών ή στο προνεογενές υπόβαθρο. Αποτελείται από θαλάσσιες αργίλους και μάργες. Η ηλικία είναι Πλειόκαινο.

- **Αγία Γαλήνη.** Υπερκείμενη στην Φοινικιάς. Αποτελείται από χερσαία κροκαλοπαγή, ποταμολιμναίες άμμους και αργίλους. Η ηλικία είναι Άνω Πλειόκαινο.

Πάνω στο Νεογενές ή απευθείας στο προνεογενές υπόβαθρο υπέρκεινται τα ιζήματα του Τεταρτογενούς τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από χερσαίους συγκολλημένους ή ασύνδετους σχηματισμούς.» ( Χατζημιχαηλίδου, 2016, σελ. 5-7)



Σχήμα 1.4: Τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς βασιζόμενος στη γεωλογική χαρτογράφηση του ΙΓΜΕ (κλίμακας 1:50.000). Με ανοικτό κίτρινο χρώμα οι αποθέσεις του Ολόκαινου – Ανώτερου Πλειστόκαινου, με κίτρινο οι αποθέσεις του Κατώτερου Πλειστόκαινου – Μέσου Νεογενούς και με γκρι οι προνεογενείς αποθέσεις (Vafidis et al., 2012).



## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

### 2.1 Εισαγωγή

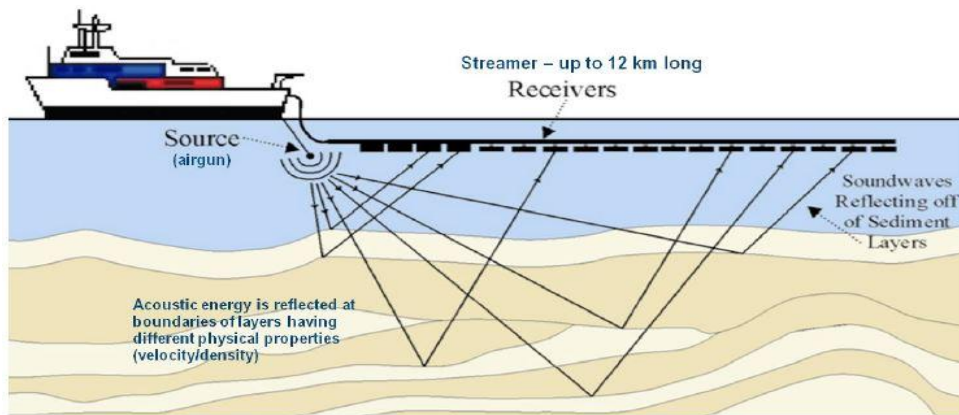
*«Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης βασίζεται στους νόμους διάδοσης των ελαστικών κυμάτων, τα οποία παράγονται τεχνητά. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στα γεωλογικά στρώματα και καθώς προσπίπτουν στις διαχωριστικές επιφάνειες, ανακλώνται και διαθλώνται και στη συνέχεια καταγράφονται από τους αντίστοιχους δέκτες (γεώφωνα ή υδρόφωνα). Στις θαλάσσιες διασκοπήσεις τα υδρόφωνα καταγράφουν τη διαφορά πίεσης του νερού συναρτήσει του χρόνου. Έτσι τα ανακλώμενα κύματα σε συνδυασμό με το χρόνο δημιουργούν το σεισμόγραμμα.*

*Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιείται κυρίως στην έρευνα κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου για τον εντοπισμό δομών στις οποίες είναι πιθανή η παγίδευση αυτών. Η εφαρμογή της έχει επεκταθεί στους τομείς ανίχνευσης υπογείων υδάτων και γεωθερμικών πεδίων και στη μελέτη του φλοιού της γης» (Βαφειδής, 2011).*

### 2.2 Θαλάσσιες διασκοπήσεις

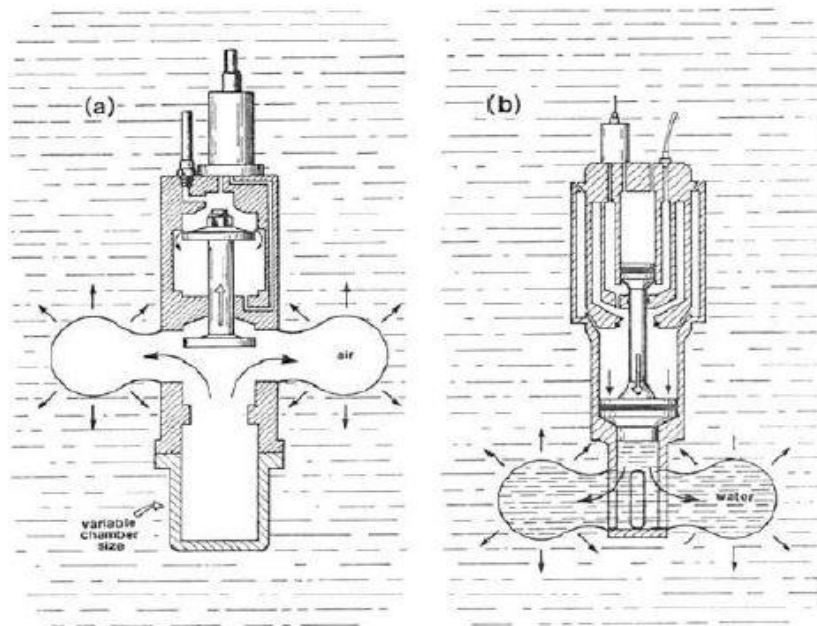
Στις θαλάσσιες διασκοπήσεις χρησιμοποιούνται υδρόφωνα πιεζοηλεκτρικού τύπου. Τα υδρόφωνα αποτελούνται από πιεζοηλεκτρικό υλικό, έτσι ώστε η ασκούμενη πίεση, στη συνέχεια να μετατρέπεται σε ηλεκτρική τάση. Το υλικό το υδροφώνων είναι συνήθως τιτανιούχο βάριο. Επιπλέον, τοποθετούνται σε θαλάμους πλαστικού κυλινδρικού καλωδίου (streamers).

Η **διάταξη** στις θαλάσσιες διασκοπήσεις περιγράφεται ως εξής (Σχήμα 2.2), το καράβι σέρνει σεισμικό καλώδιο μεγάλου μήκους (6-12km), στο πλοίο αυτό βρίσκεται μια συστοιχία αεροβόλων που δημιουργούν τα σεισμικά κύματα. Το σεισμικό καλώδιο βρίσκεται λίγο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τον κυματισμό. Σε όλο το μήκος του καλωδίου υπάρχουν δέκτες ευαίσθητοι στη μεταβολή της πίεσης του νερού, ή/και στην ταχύτητα ταλάντωσης των μορίων του νερού σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις. Πολυκάναλα ψηφιακά καταγραφικά, καταγράφουν αυτές τις μεταβολές συναρτήσει του χρόνου.



Σχήμα 2.2: Διάταξη στις θαλάσσιες σεισμικές διασκοπήσεις (Offshore Operations Subgroup, 2011).

«Μία **σεισμική πηγή** που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στις θαλάσσιες διασκοπήσεις είναι το αεροβόλο. Συνήθως αποτελείται από δοχείο υψηλής πίεσης, θάλαμο πυροδότησης και έμβολο εκτόνωσης. Κατά την έναρξη του κύκλου φόρτισης του όπλου το δοχείο πληρούται με αέρα υψηλής πίεσης (~2000psi), με τη χρήση αεροσυμπιεστών. Στη συνέχεια ο αέρας απελευθερώνεται μέσω βαλβίδας και διοχετεύεται κάτω από την επιφάνεια του εμβόλου, προκαλώντας την προς τα κάτω κίνησή του και την απότομη εκτόνωση του αέρα στον θάλαμο πυροδότησης. Ακολούθως ο αέρας που βρίσκεται στον κάτω θάλαμο απελευθερώνεται στο νερό προκαλώντας παλμό. Ο παλμός δημιουργεί μια φυσαλίδα υψηλής πίεσης η οποία καθώς ταλαντώνεται αυξάνει τη διάρκεια του παραγόμενου κύματος. Συνήθως χρησιμοποιούνται περισσότερα του ενός αεροβόλα, με σκοπό την μείωση της επίδρασης της φυσαλίδας στη μέτρηση. Αυτή η πηγή αν και έχει υψηλό κόστος δεν έχει σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και έχει καλή επαναληψιμότητα» (Βαφείδης, 2011).



Σχήμα 2.1: Απεικόνιση δύο τύπων θαλάσσιας σεισμικής πηγής (a) Bolt air gun (b) Soder water gun (Βαφείδης, 2011).



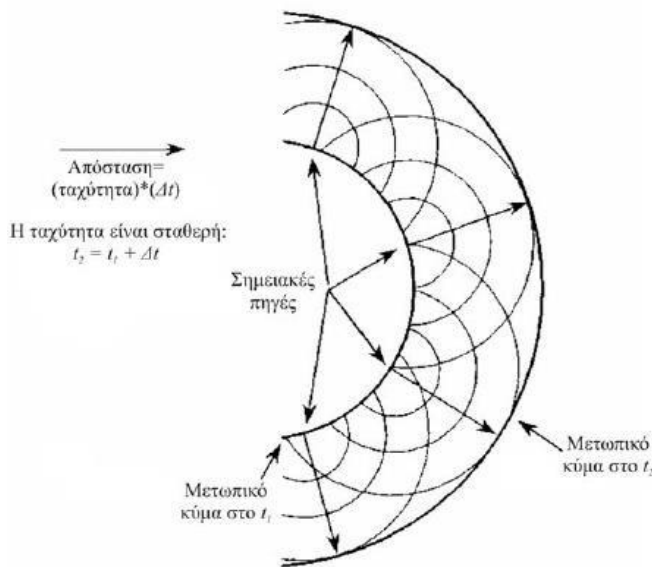
Οι διατάξεις των **υδροφώνων** χρησιμεύουν για την ανίχνευση των κυμάτων πίεσης που προκαλούν οι θαλάσσιες σεισμικές πηγές. Οι μεταβολές πίεσης διαβιβάζονται δια μέσου του κελύφους του οργάνου επάνω σε λεπτά φύλλα χαλαζία, αναπτύσσοντας έτσι πιεζοηλεκτρικές τάσεις που είναι ανάλογες των μεταβολών πίεσης. Τα υδρόφωνα ευρίσκονται μέσα σε κατάλληλα σεισμικά καλώδια τα οποία σύρονται μαζί με συστοιχίες αεροβόλων από κατάλληλα διαμορφωμένα πλοία (Αποστολόπουλος, 2013).

### 2.3 Βασικές Αρχές διάδοσης των ελαστικών κυμάτων

Η διάδοση των ελαστικών κυμάτων βασίζεται σε δύο απλές βασικές αρχές της κυματικής φυσικής, την αρχή του Huygens και την αρχή του Fermat.

#### 2.3.1 Αρχή του Huygens

Σύμφωνα με την αρχή του Huygens είναι δυνατό να προσδιοριστεί η θέση ενός μετώπου κύματος σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Συγκεκριμένα κάθε μέτωπο κύμα δύναται να είναι μια δευτερεύουσα πηγή σεισμικών κυμάτων, δημιουργώντας δευτερεύον μέτωπο κύμα. Επομένως η θέση του νέου μετώπου κύματος, μετά από χρόνο  $t$ , συμπίπτει με την εφαπτόμενη επιφάνεια (περιβάλλουσα) όλων των δευτερευόντων.



Σχήμα 2.3: Σχηματική απεικόνιση της αρχής Huygens (Βαφείδης, 2011).

### 2.3.2 Αρχή του Fermat

«Η αρχή αυτή ( γνωστή και ως αρχή του ελάχιστου χρόνου) αναφέρεται στο ότι η διάδοση των κυμάτων μεταξύ δυο σημείων (πηγή-γεώφωνο) ακολουθεί διαδρομή της οποίας ο χρόνος διάδοσης είναι ο ελάχιστος, από όλες τις άλλες πιθανές διαδρομές. Με άλλα λόγια, τα σεισμικά κύματα ακολουθούν τροχιές ελάχιστου χρόνου. Εφαρμόζοντας την αρχή Fermat προκύπτει ότι η τροχιά κύματος πρέπει να είναι ευθεία γραμμή σε μέσο με σταθερή ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει διότι η ευθεία είναι η συντομότερη απόσταση μεταξύ δυο σημείων και καθώς η ταχύτητα διατηρείται σταθερή, η απόσταση μεταξύ των δυο σημείων θα είναι εκείνη με τον ελάχιστο χρόνο διάδοσης. Καθώς το κύμα απομακρύνεται από το αρχικό σημείο (πηγή), το μέτωπο κύματος μπορεί να θεωρηθεί ως επίπεδο» (Παπαδόπουλος, 2010).

### 2.4 Είδη σεισμικών κυμάτων

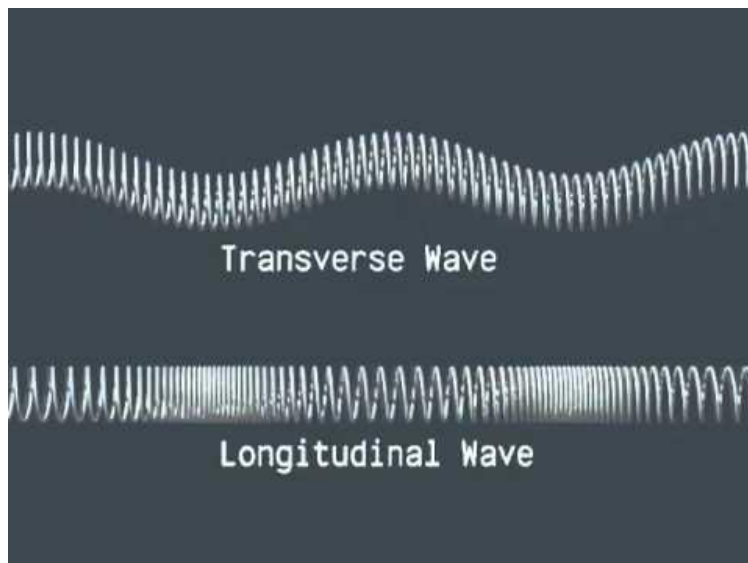
«Τα σεισμικά κύματα διακρίνονται σε διαφορετικά είδη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά διάδοσής των. Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες: στην πρώτη ανήκουν τα κύματα χώρου και στην δεύτερη τα επιφανειακά κύματα. Στα κύματα χώρου η διαταραχή διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις στερεού σώματος π.χ. της γης, ενώ στα επιφανειακά κύματα η διαταραχή διαδίδεται σε διαχωριστικές επιφάνειες όπως η επιφάνεια της Γης.

Κύματα χώρου είναι τα διαμήκη και τα εγκάρσια (Σχήμα 2.4). Το χαρακτηριστικό των **διαμήκων κυμάτων** είναι, ότι η διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων (μετατόπιση) συμπίπτει με την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τα διαμήκη κύματα συμβολίζονται με το "P" από το λατινικό *Primus* (πρώτο), καθώς λόγω του ότι διαδίδονται με τη μεγαλύτερη ταχύτητα, φθάνουν στο σταθμό παρατήρησης πριν από τα άλλα είδη σεισμικών κυμάτων. Η ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων,  $\alpha$ , εξαρτάται από τις σταθερές του Lamé,  $\lambda$  και  $\mu$  και από τη πυκνότητα  $\rho$ :

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

Στα **εγκάρσια κύματα** η διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων είναι κάθετη προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τα εγκάρσια κύματα δεν διαδίδονται στα ρευστά (υγρά και αέρια), διότι για να διαδοθούν πρέπει να παρουσιάζουν ελάχιστη αντίσταση στην κάμψη, δηλαδή ο συντελεστής ακαμψίας  $\mu$  να είναι διάφορος του μηδενός. Στα ρευστά ο συντελεστής ακαμψίας είναι μηδέν ( $\mu=0$ ), επομένως η ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων,  $\beta$ , είναι ίση με μηδέν» (Βαφείδης, 2011).

$$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$



Σχήμα 2.4: Απεικόνιση διαμήκων (longitudinal) και εγκάρσιων (transverse) κυμάτων (<https://i.ytimg.com/vi/2Wlh3M2a10U/hqdefault.jpg>).

## 2.5 Βασικές αρχές στην επεξεργασία σεισμικών δεδομένων

Η επεξεργασία σεισμικών δεδομένων μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο ομάδες, τις διεργασίες απεικόνισης και αποσυνέλιξης. «Οι διεργασίες απεικόνισης αποσκοπούν στον προσδιορισμό της θέσης των πλατών των ανακλώμενων κυμάτων. Οι διεργασίες αποσυνέλιξης αποσκοπούν στην βελτιστοποίηση της χρονικής ανάλυσης του σεισμικού ίχνους» (Λάιος, 2017)

### 2.5.1 Καταγραφές κοινής πηγής (shot gather)

Η θαλάσσια διασκόπηση λαμβάνει χώρα με τη χρήση ειδικών πλοίων τα οποία πραγματοποιούν τις καταγραφές. Οι καταγραφές αυτές γίνονται με τη βοήθεια σεισμικού καλωδίου το οποίο ρυμουλκείται από το πλοίο. Συγκεκριμένα για κάθε εκτόνωση της πηγής, λαμβάνεται μια καταγραφή από τα υδροφώννα. Η ομαδοποίηση των καταγραφών των ιχνών ανά εκτόνωση, ονομάζεται καταγραφή κοινής πηγής.

### 2.5.2 Καταγραφές σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώννου (Common Offset Gather)

Στην εν λόγω καταγραφή επιλέγονται τα ζεύγη πηγής-γεωφώννων, για τα οποία η απόσταση πηγής-υδροφώννων είναι σταθερή. Με βάση αυτή την απόσταση πραγματοποιείται η ομαδοποίηση των δεδομένων όλης της γραμμής μελέτης. Η καταγραφή αυτή παρουσιάζει ενδιαφέρον καθώς αποτυπώνει μια πρωταρχική εικόνα του υπεδάφους, για το μήκος της γραμμής μελέτης.

### 2.5.3 Αναδιάταξη των δεδομένων σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP Gather)

«Κριτήριο ομαδοποίησης αποτελεί το ενδιάμεσο σημείο μεταξύ πηγής και υδροφώνου (Common Mid-Point CMP Gather). Ομαδοποιεί τα ίχνη αλληλουχίας εκτονώσεων που έχουν κοινό ενδιάμεσο 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 υπεδαφική κάλυψη (Fold) και είναι καθοριστική για την ποιότητα σεισμικής τομής» (Βαφειδής, 2011).

### 2.5.4 Σεισμική Ταχύτητα

#### Μέση ταχύτητα

Κατά τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων, σε ιζηματογενή λεκάνη, η ταχύτητα διάδοσης στην οριζόντια διεύθυνση παραμένει σχεδόν σταθερή ή έχει πολύ μικρή μεταβολή, σε αντίθεση με τη μεταβολή της ταχύτητας στη κατακόρυφη διεύθυνση που είναι αρκετά μεγαλύτερη, για αυτόν τον λόγο η σεισμική ταχύτητα θεωρείται συνάρτηση του βάθους. Σε αυτή τη περίπτωση, για να υπολογιστεί η ταχύτητα σε κάθε στρώμα μελετώνται τα ανακλώμενα κύματα. Όταν η κλίση των διαχωριστικών επιφανειών είναι μικρότερη από  $3^\circ$  εφαρμόζεται η ίδια μεθοδολογία.

Έστω πολυστρωματικό μοντέλο  $n$  οριζόντιων στρωμάτων και ακτίνα, η οποία διαδίδεται στην κατακόρυφη διεύθυνση. Ο απαραίτητος χρόνος  $\tau_j$ , ώστε η κατακόρυφη ακτίνα να διασχίσει το στρώμα  $j$ , είναι:

$$\tau_j = \frac{d_j}{a_j} \quad (2.3)$$

Όπου  $d_j$ : πάχος,  $a_j$ : η ταχύτητα διάδοσης του σεισμικού κύματος στο στρώμα  $j$ .

Η μέση ταχύτητα της ακτίνας η οποία προσπίπτει κάθετα στην νιοστή διαχωριστική επιφάνεια ορίζεται από τη σχέση:

$$\bar{a}_n = \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{\sum_{j=1}^n \tau_j} = \frac{\sum_{j=1}^n a_j \tau_j}{\sum_{j=1}^n \tau_j} \quad (2.4)$$

Όπου  $\tau_j$ : χρόνοι διαδρομής στο αντίστοιχο στρώμα.

Ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου ένα σεισμικό κύμα να δανείσει τη διαδρομή από την πηγή έως την νιοστή ανακλαστική επιφάνεια και από αυτή την επιφάνεια έως το υδρόφωνο ονομάζεται διπλός χρόνος διαδρομής  $T_n(x)$ . Ο διπλός χρόνος διαδρομής της κατακόρυφης ακτίνας είναι:

$$T_n(0) = \frac{2h_n}{\bar{a}_n} = 2 \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{a_j} \quad (2.5)$$

Όπου  $h_n$ : Το βάθος μέχρι τη διαχωριστική επιφάνεια.

Ο διπλός χρόνος διαδρομής  $T_n(x)$  που αντιστοιχεί σε οριζόντια απόσταση πηγής-υδροφώνου  $x$ , υπολογίζεται κατά προσέγγιση από την εξίσωση:

$$T_n^2(x) = T_n(0)^2 + \frac{x^2}{(V_n)^2} \quad (2.6)$$

Όπου  $V_n$  η μέση τετραγωνική ταχύτητα.

### **Μέση τετραγωνική Ταχύτητα**

Η μέση τετραγωνική ταχύτητα προσδιορίζεται με την ανάλυση ταχύτητας. Η διαδικασία αυτή είναι χρήσιμη για την γεωλογική ερμηνεία των σεισμικών τομών. Πραγματοποιείται στις διατάξεις κοινού ενδιάμεσου σημείου. Η εξίσωση της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας υπολογίσθηκε από τους Dix (1955), Durbbaum (1954), Kerry (1951) και αποτελεί την κυριότερη εξίσωση στη διαδικασία υπολογισμού των σεισμικών ταχυτήτων. 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):

$$V_n = \left( \frac{\sum_{j=1}^n a_j^2 t_j}{\sum_{j=1}^n t_j} \right)^{1/2} \quad (2.3)$$

$$t_j = 2 \frac{d_j}{a_j} \quad (2.4)$$

«Για τον υπολογισμό της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας χρησιμοποιείται ο χάρτης συνάφειας. Ο χάρτης συνάφειας προκύπτει μετασχηματίζοντας τα δεδομένα κοινού ενδιάμεσου σημείου από τον χώρο  $x$ - $T(x)$  σε χώρο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας,  $V_n$ -διπλού κατακόρυφου χρόνου,  $T(0)$ . Αυτός ο μετασχηματισμός προκύπτει με επαναλαμβανόμενη ΝΜΟ διόρθωση των δεδομένων κοινού ενδιάμεσου σημείου, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο εύρος σεισμικών ταχυτήτων (μία σεισμική ταχύτητα κάθε φορά) και υπέρθεση των διορθωμένων τιμών δεδομένων για να προκύψει κάθε φορά μια τιμή της συνάφειας για κάθε ζεύγος ( $T(0)$ ,  $V_n$ ). Η απεικόνιση των τιμών αυτών της συνάφειας, συναρτήσει της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας και του διπλού κατακόρυφου χρόνου, ονομάζεται χάρτης συνάφειας» (Μπριντάκης, 2016).

### **2.5.5 Δυναμική διόρθωση ΝΜΟ (normal moveout)**

Οι χρόνοι διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων, είναι δυνατό να αναχθούν σε χρόνους κυμάτων που διαδίδονται μόνο στην κατακόρυφη κατεύθυνση, μέσω της δυναμικής διόρθωσης. Συγκεκριμένα η δυναμική διόρθωση ισούται με το  $\Delta t_{\text{NMO}}$  της διαφοράς του χρόνου διαδρομής, σε διάταξη όπου η πηγή και το γεώφωνο βρίσκονται στην ίδια θέση, και του αντίστοιχου χρόνου όταν πηγή και γεώφωνο απέχουν συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους.

Η κανονική χρονική απόκλιση (NMO correction) υπολογίζεται από τη σχέση:

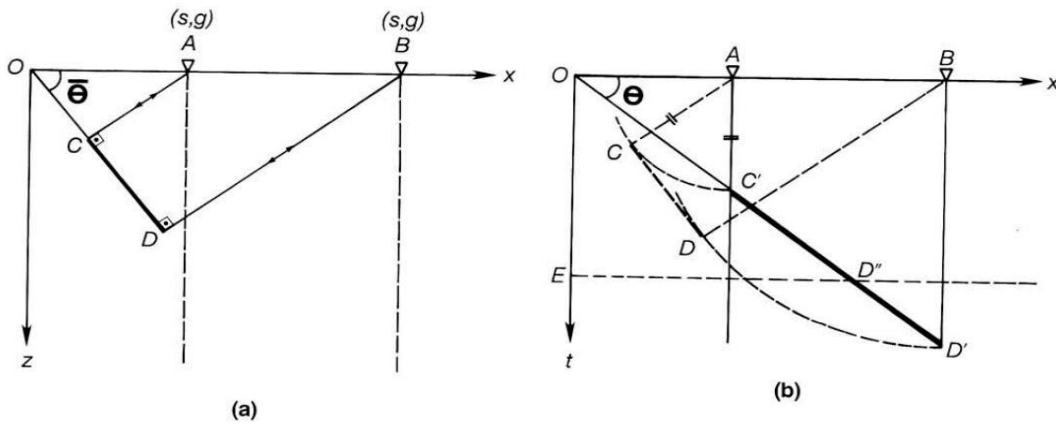
$$\Delta t_{NMO} = T(x) - T(0) = T(0) \left[ \left( 1 + \frac{x^2}{V_{NMO}^2 T(0)^2} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad (2.5)$$

### 2.5.6 Σεισμική υπέρθεση (Stacking)

Η σεισμική υπέρθεση επιτυγχάνεται με την άθροιση των σειсмоγραμμάτων κοινού ενδιαμέσου σημείου, στα οποία έχει γίνει δυναμική διόρθωση. Η διαδικασία της σεισμικής υπέρθεσης έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη απεικόνιση των ανακλάσεων καθώς είναι υπεύθυνη α) για την αύξηση του σήματος σε σχέση με τον τυχαίο θόρυβο, και β) για την μείωση του όγκου των δεδομένων, κυρίως στις θαλάσσιες διασκοπήσεις. Η σεισμική τομή υπέρθεσης παίζει σημαντικό ρόλο, διότι μειώνει αισθητά τον όγκο δεδομένων ο οποίος είναι ιδιαίτερα μεγάλος στις θαλάσσιες διασκοπήσεις

### 2.5.7 Σεισμική χωροθέτηση (Migration)

Η σεισμική χωροθέτηση ανακατασκευάζει και τοποθετεί σωστά τις σεισμικές ανακλάσεις, σε μια τομή υπέρθεσης, όταν οι ανακλαστήρες δεν είναι οριζόντιοι αλλά παρουσιάζουν κλίση ή ρήγματα, διότι η πορεία των σεισμικών ακτίνων δεν είναι κατακόρυφη αλλά κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια. Εκτός από τη διόρθωση της κλίσης και του μήκους του ανακλαστήρα (Σχήμα 2.5), στόχος της μεθόδου είναι η κατασκευή τομής, απαλλαγμένη από τις περιθλάσεις, έτσι ώστε να είναι συγκρίσιμη με τη γεωλογική τομή και να πραγματοποιηθεί ερμηνεία της. Συχνά εφαρμόζεται μετά τη σεισμική υπέρθεση, σε ορισμένες όμως περιπτώσεις, εφαρμόζεται πριν την υπέρθεση (pre-stack migration).



Σχήμα 2.5: α) Θέση του ανακλαστήρα CD στο γεωλογικό μοντέλο βάθους β) Ο ανακλαστήρας C'D' που αντιστοιχεί στη τομή υπέρθεσης, θα μετακινηθεί στην θέση CD στην τομή χωροθέτησης (Yilmaz, 1987).

Οι μέθοδοι σεισμικής χωροθέτησης που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η μέθοδος **Kirchhoff**, η μέθοδος των **πεπερασμένων διαφορών (Finite Difference)** και η μέθοδος σεισμικής χωροθέτησης **στο χώρο των συχνοτήτων (Phase Shift)**.

#### 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 Kirchhoff γίνεται άθροιση των πλατών κατά μήκος της καμπύλης περίθλασης. Πριν την άθροιση πραγματοποιούνται οι εξής διορθώσεις:

«Στη 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 δεύτερη διόρθωση, σχετίζεται με τη γεωμετρική διασπορά. Συγκεκριμένα καθώς τα κύματα απομακρύνονται από την πηγή, τα πλάτη τους εξασθενούν, με αποτέλεσμα τα πλησιέστερα γεώφωνα στον σημειακό ανακλαστήρα να καταγράφουν μεγαλύτερα πλάτη από ότι τα γεώφωνα τα οποία βρίσκονται μακριά από την πηγή. Στη χωροθέτηση Kirchhoff, τα πλάτη διορθώνονται με τον συντελεστή  $1/r$  ή  $1/t$ , όπου  $t$  ο χρόνος διαδρομής του κάθε σεισμικού γεγονότος και  $r$  η διανυόμενη απόσταση. Η τρίτη διόρθωση αφορά τον συντελεστή κυματομορφής. Ο συντελεστής αυτός είναι φίλτρο φάσης  $45^\circ$  και με φάσμα πλάτους ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας της συχνότητας των σεισμικών δεδομένων» (Γιαλιτάκη, 2015)

#### Σεισμική χωροθέτηση με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών

Η σεισμική χωροθέτηση με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών βασίζεται στη λύση της διαφορικής κυματικής εξίσωσης:

$$\nabla^2 \Phi = \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} \quad (2.6)$$

Όπου:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2.7)$$

και  $\Phi(x, y, z, t)$  το κυματικό πεδίο.

Συγκεκριμένα η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών χρησιμοποιείται για την επίλυση της εξίσωσης του προς τα κάτω διαδιδόμενου κυματικού πεδίου. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος για τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών, βασίζεται στην παρακάτω εξίσωση:

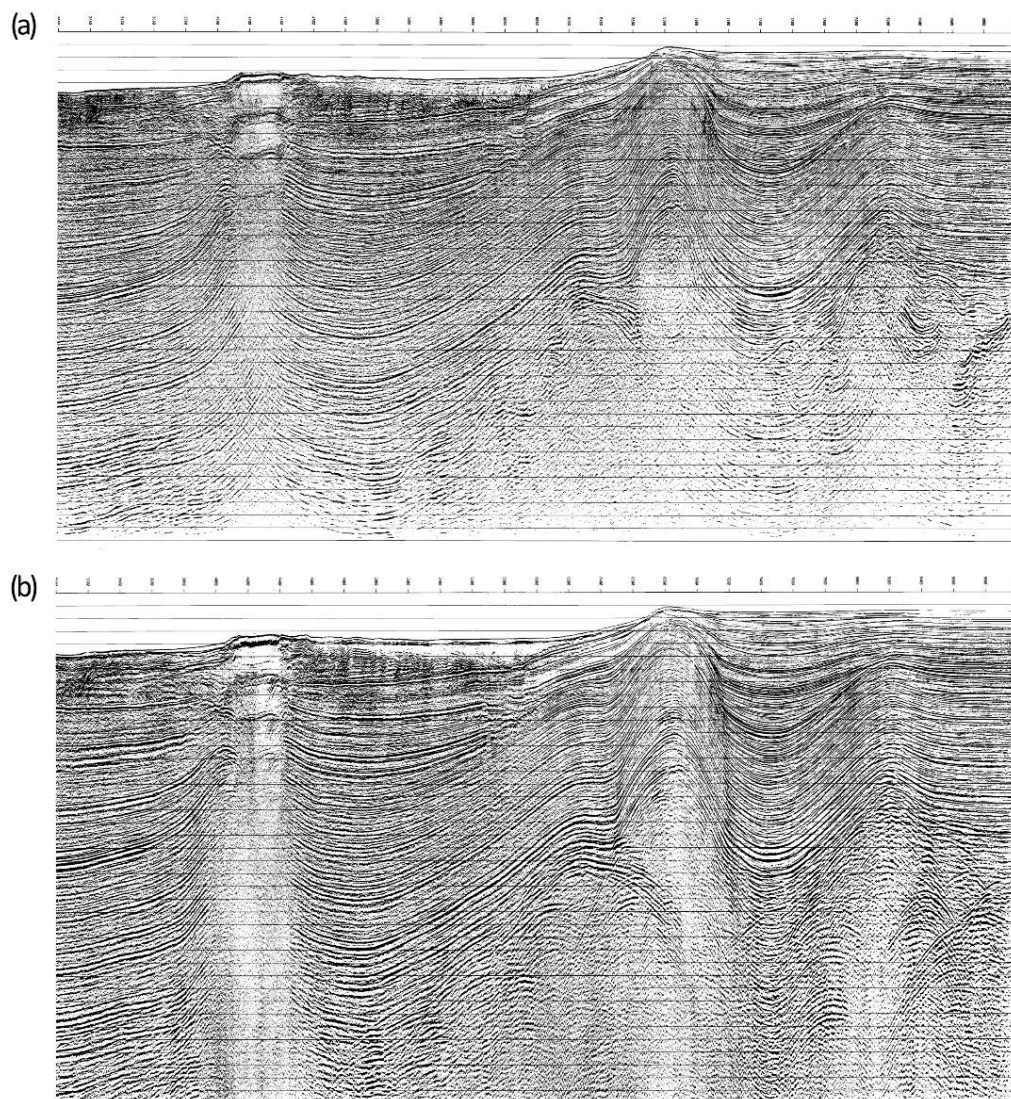
$$\frac{\partial^2 Q}{\partial \tau \partial t} = \frac{U^2}{8} \frac{\partial^2 Q}{\partial \kappa^2} \quad (2.8)$$

Όπου  $U(r, t)$  είναι το πεδίο κύματος (σε σημείο  $r$  απόστασης  $R$  και για χρόνο  $t$ ,  $\cos \theta$  ο συντελεστής κατεύθυνσης),  $Q$ : το κυματικό πεδίο που περιλαμβάνει όλες τις καταγραφές που προέκυψαν από την κυματική εξίσωση,  $t$ : ο χρόνος

στην τομή χωροθέτησης,  $\tau$  ο εξαγόμενος χρόνος, και αντιστοιχεί στον κατακόρυφο χρόνο από την κορυφή της περιθλάσης στην επιφάνεια,  $\kappa$ : η συντεταγμένη του ενδιαμέσου σημείου (Γιαλιτάκη, 2015)

### **Σεισμική χωροθέτηση με τη μέθοδο στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού (phase shift)**

Η μέθοδος χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού (phase-shift migration) στηρίζεται στο γεγονός ότι το προς τα κάτω διαδιδόμενο κυματικό πεδίο αλλάζει την φάση του ανάλογα με το βάθος. Στη συγκριμένη μέθοδο χρησιμοποιούνται οι τμηματικές ταχύτητες σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους όπου χρησιμοποιείται η μέση τετραγωνική ταχύτητα ( $V_{rms}$ ) (Λάιος, 2017).



Σχήμα 2.6: Εφαρμογή σεισμικής χωροθέτησης (a) πριν την υπέρθεση και (b) μετά την υπέρθεση, όπου παρατηρείται βελτίωση των αποτελεσμάτων, δηλαδή η τομή (b) είναι απαλλαγμένη από τις περιθλάσεις και οι ανακλαστήρες είναι επανατοποθετημένοι στις σωστές τους θέσεις (Yilmaz, 1987).



Για εφαρμογή κάθε μιας από τις μεθόδους χωροθέτησης χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι στο λογισμικό Matlab.

**Πεπερασμένες Διαφορές:** *[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

**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 μαγαλύτερων από τη συχνότητα Nyquist (fN).

Αποτελέσματα εξόδου:

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

- *xmig*: x συντεταγμένες των αποτελεσμάτων χωροθέτησης.

**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 (ίδιες διαστάσεις με τον πίνακα *seis*).
- *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.

Αποτελέσματα εξόδου:

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

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### Θέση πειράματος

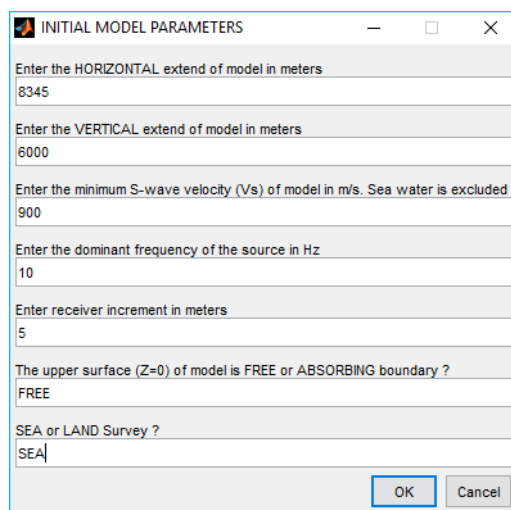
Το γεωλογικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ως αρχείο εισαγωγής για την παραγωγή συνθετικών δεδομένων, προήλθε από, διαβαθμισμένα (κατά την εφαρμογή της παρούσας διπλωματικής) δεδομένα σεισμικής ανάκλασης νότια της Κρήτης. Ως εκ τούτου, δεν είναι δυνατή η οριοθέτηση της γραμμής μελέτης στο χάρτη.

### 3.1 Δημιουργία συνθετικών δεδομένων

Για τη δημιουργία των συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης έγινε χρήση αλγόριθμων, οποίοι βασίζονται στη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών και προσομοιώνουν την διάδοση των σεισμικών κυμάτων σε δυο διαστάσεις. Οι αλγόριθμοι αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης, σε περιβάλλον Matlab™.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του μοντέλου είναι τα εξής:

Οριζόντια έκταση 8345m και βάθος 6000m, η ελάχιστη ταχύτητα διάδοσης ορίστηκε στα 900m/s και αντιστοιχεί στην ταχύτητα των εγκαρσίων σεισμικών κυμάτων των ιζημάτων του πυθμένα, η κυρίαρχη συχνότητα της πηγής 10Hz και η ισαπόσταση των υδροφώνων 5m (Σχήμα 3.1).



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 (Vs) 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

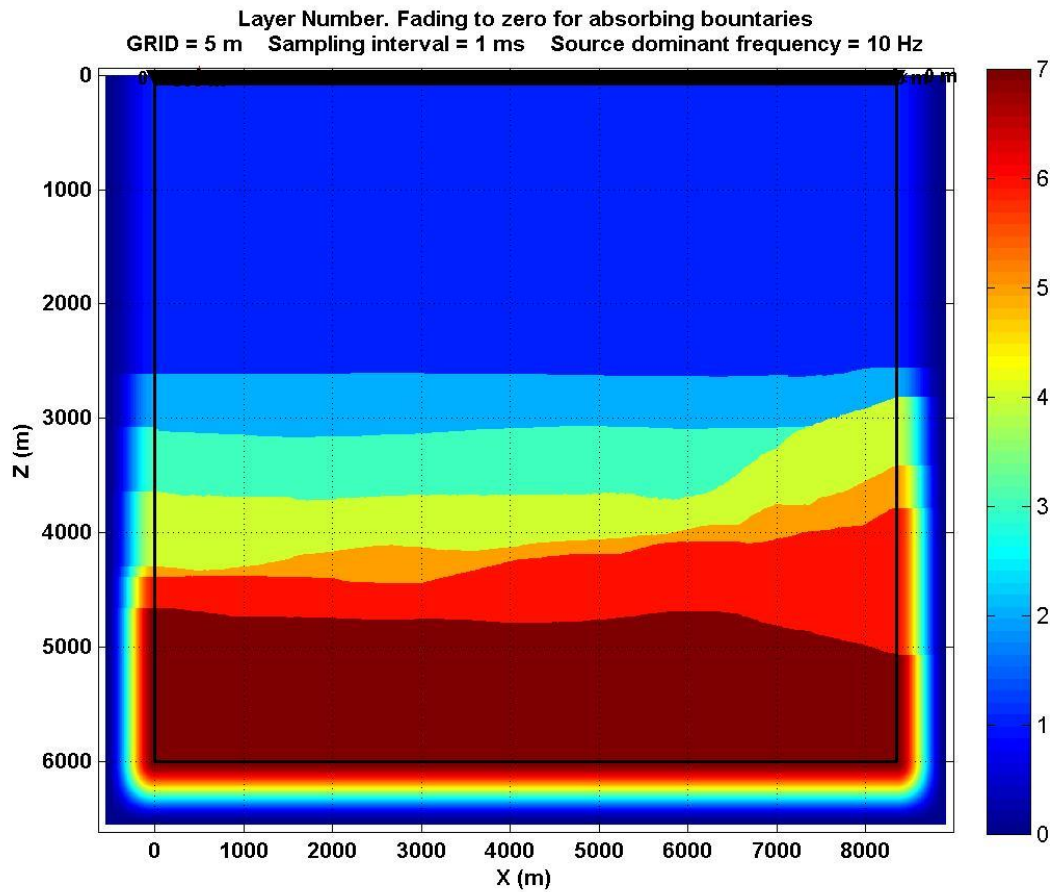
SEA or LAND Survey ?  
SEA

OK Cancel

Σχήμα 3.1 Εισαγωγή αρχικών παραμέτρων στο πρόγραμμα PSV SYNTHETICS

Στη συνέχεια εισάγονται τα σεισμικά στρώματα (Σχήμα 3.2), με τη χρήση πινάκων Matlab που δίνουν τις συντεταγμένες για τα όρια κάθε στρώματος. Έπειτα εισάγονται για το κάθε στρώμα οι ταχύτητες των

διαμηκών ( $V_p$ ) και εγκάρσιων ( $V_s$ ) σεισμικών κυμάτων και η πυκνότητα ( $\rho$ ), όπως φαίνεται στο (Σχήμα 3.3) .



Σχήμα 3.2 : Μοντέλο σεισμικών στρωμάτων

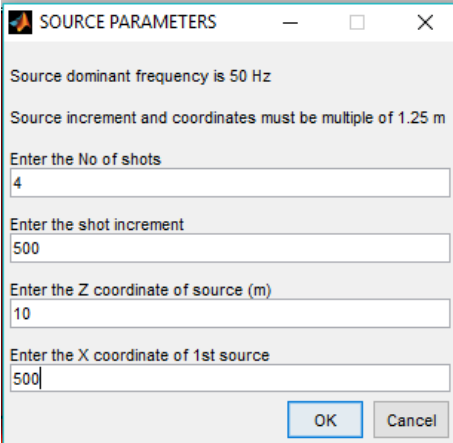
Σχήμα 3.3: Εισαγωγή παραμέτρων  $V_p, V_s, \rho$  (για το στρώμα του νερού)

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα οι παράμετροι ( $V_p$ ,  $V_s$  και  $\rho$ ) που εισάχθηκαν στο PSV SYNTHETICS, ξεχωριστά για κάθε στρώμα. Τα εγκάρσια κύματα δεν διαδίδονται στα ρευστά, επομένως η ταχύτητα τους στο νερό ισούται με μηδέν, στη προκειμένη περίπτωση τέθηκε ίση με 0.01 m/s για λόγους ευστάθειας των υπολογισμών του αλγόριθμου PSV\_SYNTHETICS.

Πίνακας 3.1 : πίνακας εισαγωγής ταχυτήτων και πυκνότητας για κάθε σεισμικό στρώμα,  $V_p$ : η ταχύτητα P-κυμάτων  $V_s$ : η ταχύτητα S-κυμάτων και  $\rho$ : η πυκνότητα.

A/A	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\rho$ (gr/cc)
1 <sup>ο</sup> στρώμα (νερού)	1500	-	1.023
2 <sup>ο</sup> στρώμα (πυθμέννας)	1800	900	1.8
3 <sup>ο</sup> στρώμα	2200	1100	1.9
4 <sup>ο</sup> στρώμα	2500	1250	2
5 <sup>ο</sup> στρώμα	3000	1500	2.2
6 <sup>ο</sup> στρώμα	3800	1900	2.4
7 <sup>ο</sup> στρώμα	5500	2750	2.65

Αφού έχει δημιουργηθεί το μοντέλο σεισμικής ταχύτητας, εισάγονται οι παράμετροι της γεωμετρίας του πειράματος σεισμικής ανάκλασης για την πηγή (αριθμός των πηγών, ισαπόσταση πηγών, θέση πηγής (X, Z) (Σχήμα 3.4). και τα υδρόφωνα (αριθμός υδροφώνων, Ισαπόσταση (ανάλογα την έκδοση του PSV), Θέση υδροφώνων (X,Z), Απόσταση μετακίνησης υδροφώνων (Σχήμα 3.5) καθώς και οι παράμετροι για τον χρόνο (Σχήμα 3.6).



SOURCE PARAMETERS

Source dominant frequency is 50 Hz

Source increment and coordinates must be multiple of 1.25 m

Enter the No of shots  
4

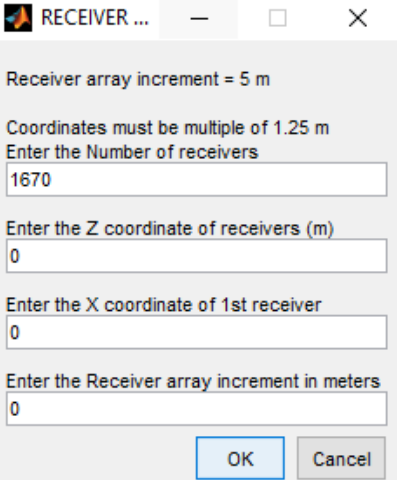
Enter the shot increment  
500

Enter the Z coordinate of source (m)  
10

Enter the X coordinate of 1st source  
500

OK Cancel

Σχήμα 3.4: Παράμετροι πηγής



RECEIVER ...

Receiver array increment = 5 m

Coordinates must be multiple of 1.25 m

Enter the Number of receivers  
1670

Enter the Z coordinate of receivers (m)  
0

Enter the X coordinate of 1st receiver  
0

Enter the Receiver array increment in meters  
0

OK Cancel

Σχήμα 3.5: Παράμετροι υδροφώνων

Για τη διαδικασία της προσομοίωσης του πειράματος, μέσω του PSV\_SYNTHETICS, επαναλήφθηκε η διαδικασία 16 φορές, για κάθε θέση πηγής. Η πηγή τοποθετήθηκε 10m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ως προς τον άξονα Y, και από τα 500m έως τα 8000m με βήμα 500m.για τον άξονα X αντίστοιχα για κάθε επανάληψη. Τα υδρόφωνα τοποθετήθηκαν σε όλο το μήκος του μοντέλου (0-8345m) στη επιφάνεια της θάλασσας σε ισαποστάσεις 5m και παρέμειναν σταθερά χωρίς να μετακινούνται για κάθε επανάληψη.

Μετά την εισαγωγή των παραμέτρων του πειράματος σεισμικής ανάκλασης του μοντέλου δημιουργούνται τα παρακάτω αρχεία matlab (\*.SMP, \*.SRC, \*.RCV) που θα χρησιμοποιηθούν κατά το στάδιο της επεξεργασίας των συνθετικών δεδομένων, στην αναδιάταξη των δεδομένων κοινής πηγής. Συγκεκριμένα οι πληροφορίες για τις παραμέτρους για τις πηγές έχουν κατάληξη \*.SRC, για τα υδρόφωνα \*.RCV, οι παράμετροι που αφορούν στο μοντέλο, \*.SMP.

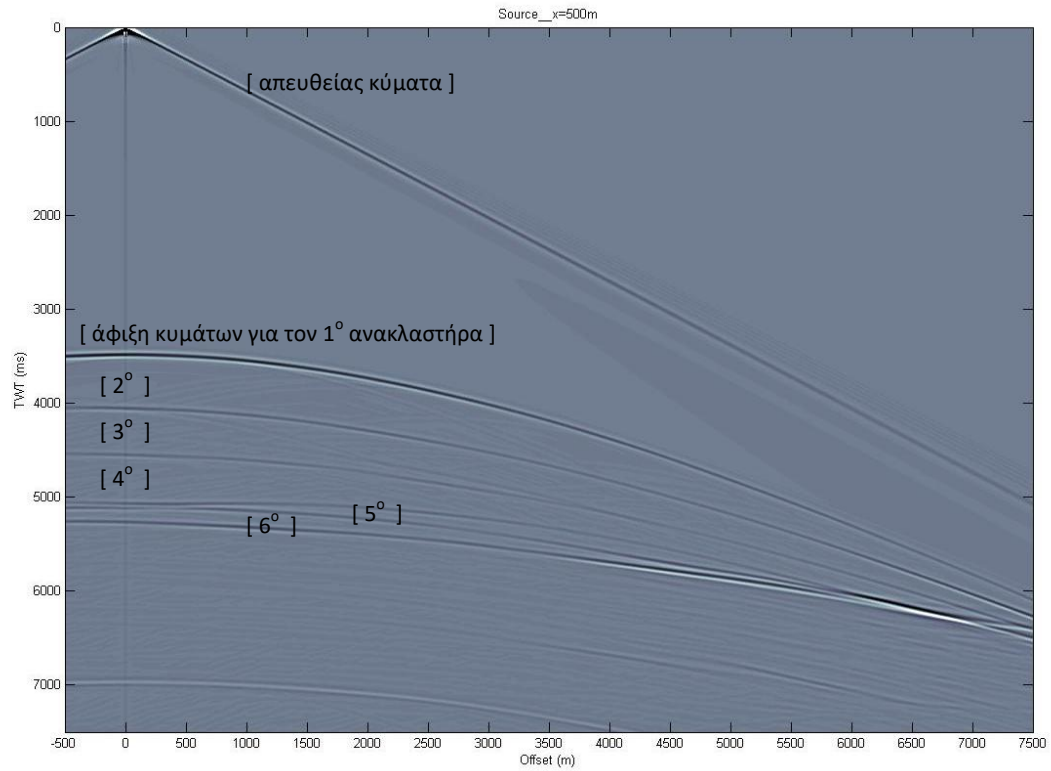
*«Το αρχείο .SMP περιλαμβάνει τις παραμέτρους του σεισμικού μοντέλου, οι οποίες είναι: το ελάχιστο βήμα χωρικής και χρονικής διακριτοποίησης των δεδομένων του μοντέλου, η κυρίαρχη συχνότητα της πηγής, οι ταχύτητες διάδοσης των εγκαρσίων και διαμηκών σεισμικών κυμάτων στα 4 στρώματα, η πυκνότητα, πληροφορία για το αν έχουν εφαρμοστεί όρια απορρόφησης στην άνω επιφάνεια του σεισμικού μοντέλου, πίνακας ταχύτητας διαμηκών σεισμικών κυμάτων για το σεισμικό μοντέλο, πίνακας μέσης τετραγωνικής ταχύτητας και πίνακας ορίων απορρόφησης για τις τέσσερις πλευρές του μοντέλου.*

*Το αρχείο .SRC περιλαμβάνει χρήσιμες πληροφορίες για την πηγή, όπως είναι: ο αριθμός των πηγών, η ισαπόσταση των πηγών, οι ακριβείς θέσεις των πηγών πάνω στο σεισμικό μοντέλο, η κυματομορφή της πηγής καθώς και η διάρκεια ταλάντωσής της.*

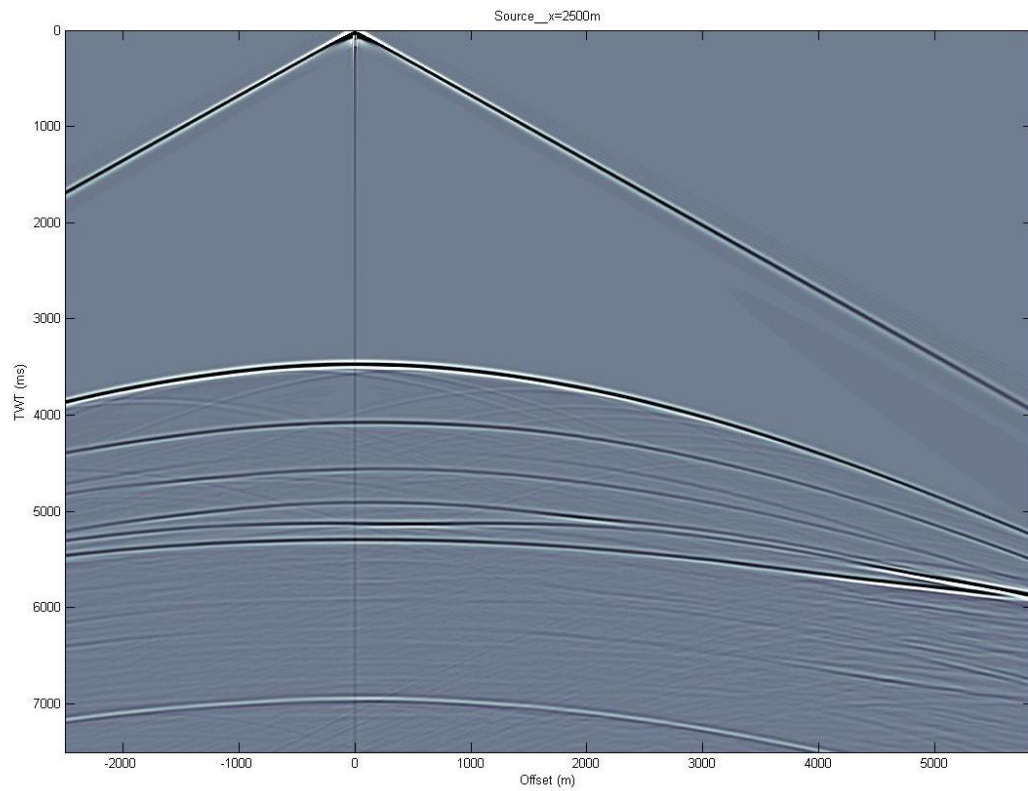
*Το αρχείο .RCV περιέχει πληροφορίες για τους δέκτες, όπως είναι : η ισαπόσταση των δεκτών και πηγών, οι ακριβείς θέσεις των δεκτών πάνω στο σεισμικό μοντέλο, το ελάχιστο βήμα χρονικής διακριτοποίησης, τον συνολικό χρόνο καταγραφής.» (Ρέππας,2016)*

Από την αναδιάταξη των καταγραφών κοινής πηγής σε καταγραφές κοινού ενδιαμέσου σημείου, προκύπτει ότι το πλήθος των CMP καταγραφών είναι 3170, καθώς η ισαπόσταση είναι 2,5 m .

Στις τομές που ακολουθούν Σχήματα (3.6, 3.7 και 3.8), απεικονίζεται τη διάταξη κοινής πηγής, για θέσεις πηγής 500m, 2500m και 4500m αντίστοιχα. Συγκεκριμένα και για τα τρία Σχήματα, η πρώτη άφιξη, αντιστοιχεί στα απευθείας κύματα, οι επόμενες έξι, που κυμαίνονται από 3500ms έως 5900ms, αποδίδονται στα ανακλώμενα κύματα που αντιστοιχούν στους ανακλαστήρες. Η τελευταία που εμφανίζεται, αντιστοιχεί στη πολλαπλή ανάκλαση του πρώτου κατά σειρά ανακλαστήρα, η οποία και στα τρία σχήματα συναντάται στον διπλάσιο χρόνο, (βλ. Σχήμα 3.8).

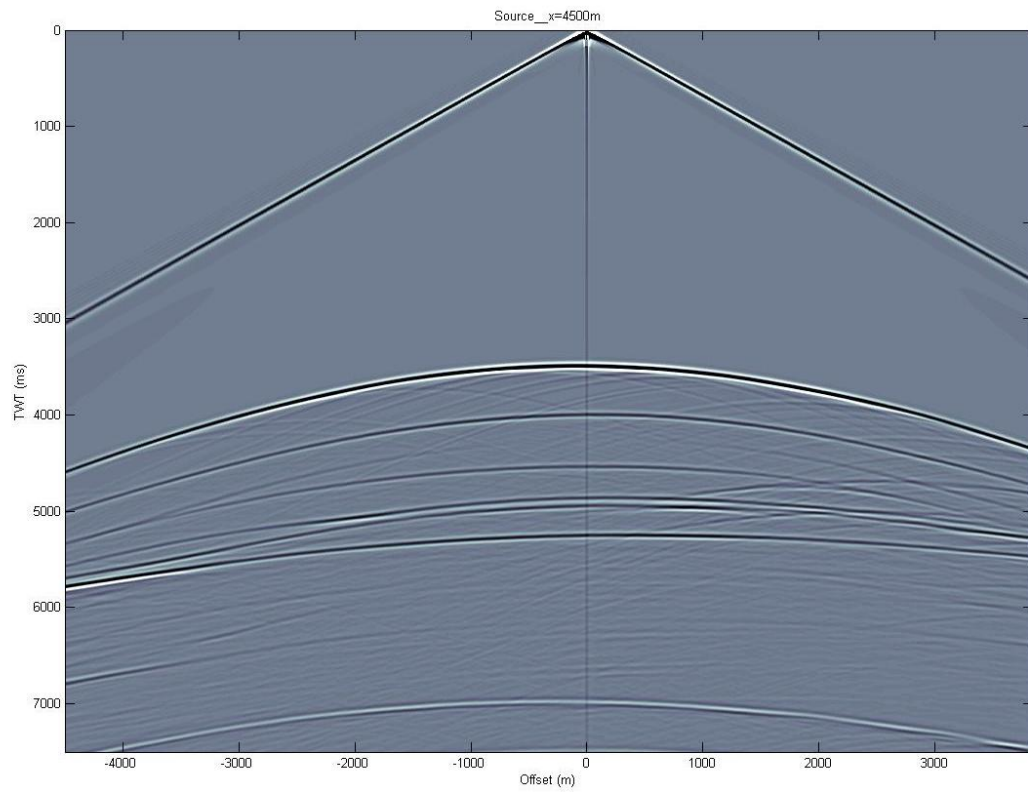


Σχήμα 3.6 : Διάταξη κοινής πηγής. Η πηγή βρίσκεται στη θέση 500m



Σχήμα 3.7: Διάταξη κοινής πηγής. Η πηγή βρίσκεται στη θέση 2500m





Σχήμα 3.8: Διάταξη κοινής πηγής. Η πηγή βρίσκεται στη θέση 4500m

## Κεφάλαιο 4 ° : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Εισαγωγή

Η επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων αποσκοπεί στην ενίσχυση του λόγου του σήματος ως προς το θόρυβο, έτσι ώστε η τελική σεισμική τομή που θα προκύψει να είναι όσο το δυνατόν συγκρίσιμη με την γεωλογική τομή της περιοχής. Για την επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι Matlab crews.

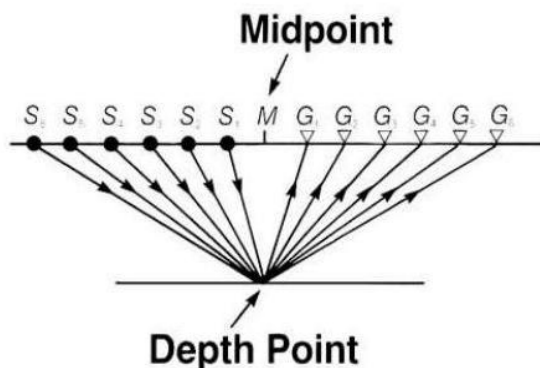
### Βήματα Επεξεργασίας

- 1 Αναδιάταξη καταγραφών κοινής πηγής σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου
- 2 Διόρθωση της κανονικής χρονικής απόκλισης (Normal MoveOut - NMO)
- 3 Σεισμική υπέρθεση (Stacking)
- 4 Σεισμική χωροθέτηση (Migration) με χρήση τριών μεθόδων

### 4.2 Αναδιάταξη δεδομένων σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMPorting)

Μετά την αρχική επεξεργασία του σήματος, οι καταγραφές κοινής πηγής μετατρέπονται σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου. Αυτή είναι η διαδικασία απαιτεί πληροφορίες από την γεωμετρία του πειράματος. Να σημειωθεί ότι ο όρος κοινού σημείου βάθους (common depth point) (CDP) συχνά χρησιμοποιείται αντί του όρου κοινού ενδιάμεσου σημείου (common midpoint) (Yilmaz, 1987). Ωστόσο ο όρος CDP χρησιμοποιείται μόνο όταν οι ανακλαστήρες είναι οριζόντιοι. Σε περίπτωση που οι ανακλαστήρες είναι κεκλιμένοι χρησιμοποιείται ο όρος CMP.

Τα συνθετικά δεδομένα δημιουργούνται σε διάταξη κοινής πηγής, όμως η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων συνήθως εκτελείται σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου (Σχήμα 4.1). Έτσι τα σεισμικά ίχνη από διαφορετικές καταγραφές κοινής πηγής ομαδοποιούνται σχηματίζοντας καταγραφές CMP. Η ονομαστική υπεδαφική κάλυψη (fold), των συνθετικών δεδομένων ήταν, 16 υδροφώνων.



Σχήμα 4.1: Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP gather)

#### **4.3 Διόρθωση της κανονικής χρονικής απόκλισης (Normal MoveOut - NMO - correction)**

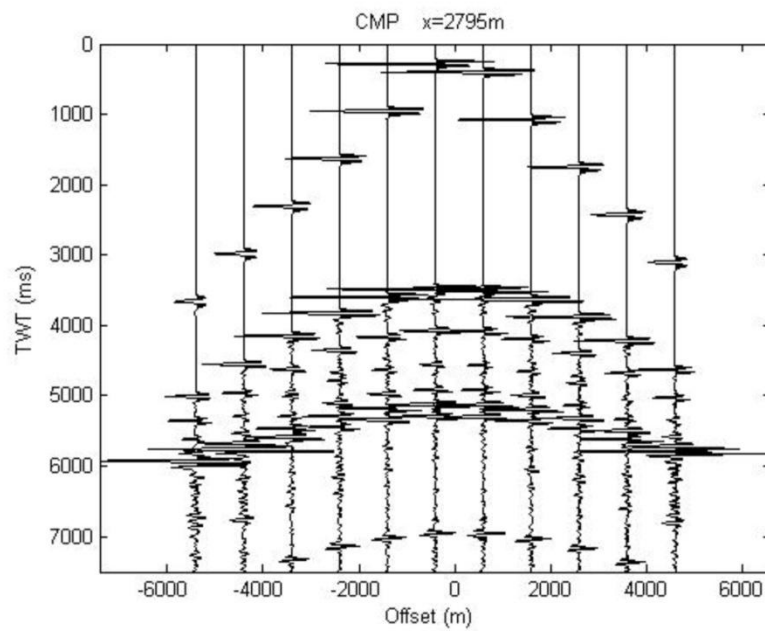
Κατά τη διαδικασία της δυναμικής διόρθωσης, ανάγονται όλοι οι χρόνοι διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων σε χρόνους διαδρομής κυμάτων που διαδίδονται σε κατακόρυφη διεύθυνση. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου πηγής-υδροφώνου.

Συγκεκριμένα προκαλεί και μία μη επιθυμητή επιμήκυνση του σεισμικού ίχνους (stretch), με τρόπο ο οποίος εξαρτάται από τον χρόνο (Yilmaz, 1987).

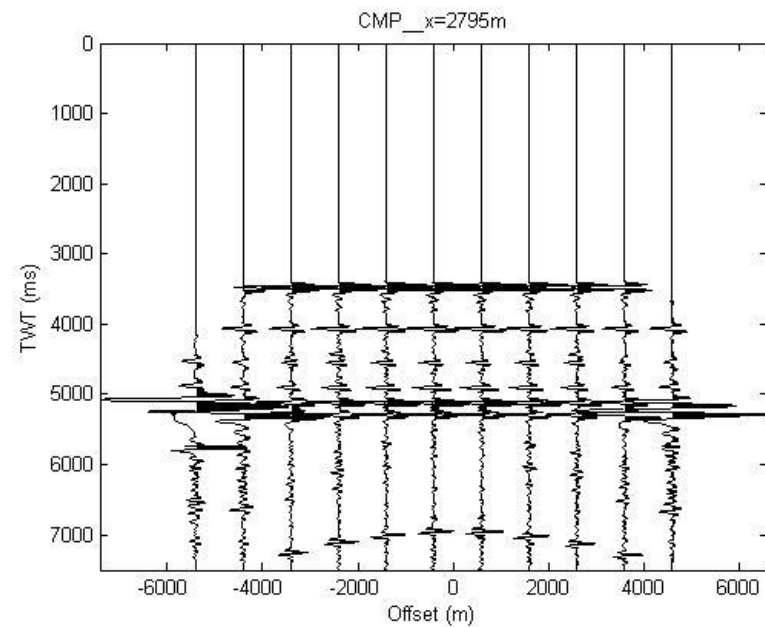
Πριν τη διόρθωση NMO (Σχήμα 4.2) ο χρόνος διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων ορίζει σε διάγραμμα  $t-x$  υπερβολικού τύπου καμπύλη, επίσης παρατηρούνται στο ίδιο διάγραμμα τμήματα που αντιστοιχούν σε χρόνους διαδρομής των απευθείας κυμάτων που εμφανίζονται ως ευθείες.

Μετά τη διορθωση NMO (Σχήμα 4.3) έγινε αποκοπή των απευθείας κυμάτων, επίσης οι καμπύλες των ανακλώμενων κυμάτων οριζοντιώνονται. Ακόμα παρατηρείται στα 7s ένας ανακλαστήρας ο οποίος δεν έχει οριζοντιωθεί κατά την διόρθωση NMO. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι αυτή η ανάκλαση αντιστοιχεί σε πολλαπλή του πυθμένα (δηλαδή για να οριζοντιωθεί χρειάζεται ταχύτητα 1500m/s).

Για τη συγκεκριμένη διόρθωση δε χρειάστηκε να γίνει ενίσχυση του σήματος.



Σχήμα 4.2: Καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου ( $x=2795\text{m}$ ), πριν την εφαρμογή της δυναμικής διόρθωσης, όπου  $\text{TWT} = T(x)$ , διπλός χρόνος διαδρομής των σεισμικών κυμάτων και offset η απόσταση πηγής-υδροφώνου.

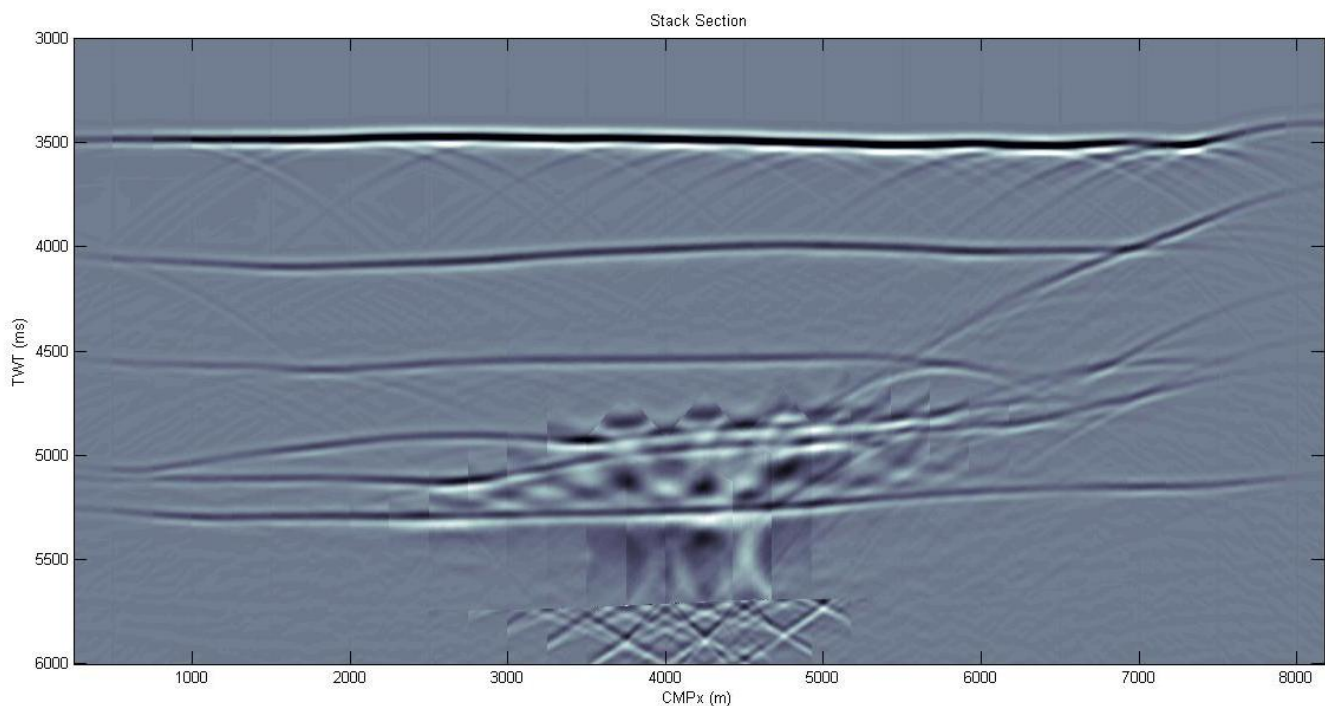


Σχήμα 4.3: Καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου ( $x=2795\text{m}$ ), μετά την εφαρμογή της δυναμικής διόρθωσης, όπου  $\text{TWT} = T(0)$ , ο διπλός κατακόρυφος χρόνος, για μηδενική απόσταση πηγής-υδροφώνου.

#### 4.4 Σεισμική Υπέρθεση (Stacking)

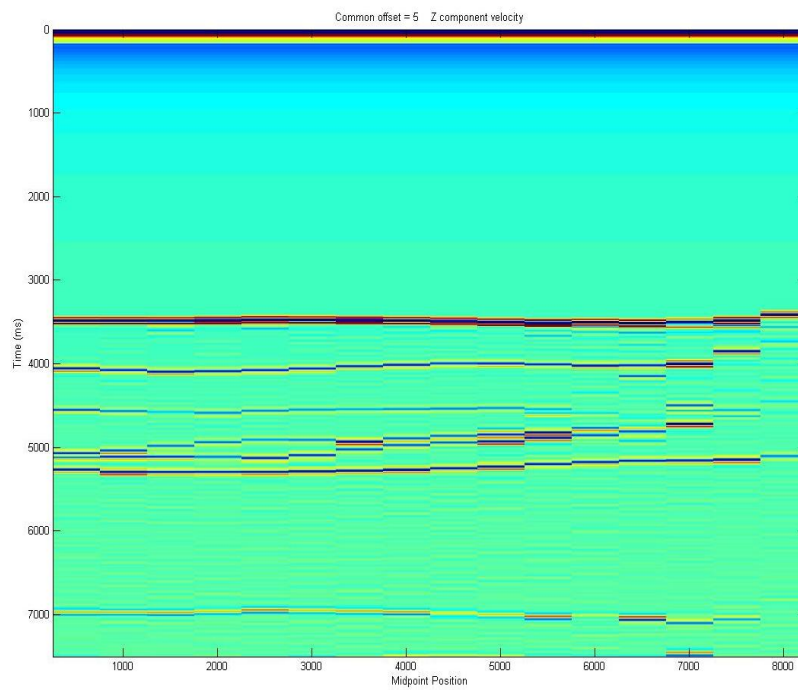
Κατά τη σεισμική υπέρθεση(Stack) αθροίζονται τα σεισμογράμματα κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP) με αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός ίχνους για κάθε CMP. Η σεισμική τομή υπέρθεσης παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς απεικονίζει με λεπτομέρεια ανακλαστήρες.

Στο Σχήμα 4.4 απεικονίζεται η τομή σεισμικής υπέρθεσης. Παρατηρούνται περιθλάσεις στα σημεία που μεταβάλλεται πλευρικά η ταχύτητα όπως για παράδειγμα η περίθλαση στα 7km και σε χρόνο 4s. Επίσης εμφανίζεται, από τα 2.5 έως τα 5.5km της γραμμής, θόλωμα το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι μετά την διόρθωση NMO αθροίστηκαν ίχνη που αντιστοιχούν σε μικρή απόσταση από την πηγή (<50m) και επίσης σε ίχνη που αντιστοιχούν σε σχετικά πολύ μεγάλη απόσταση από την πηγή (>3500m).



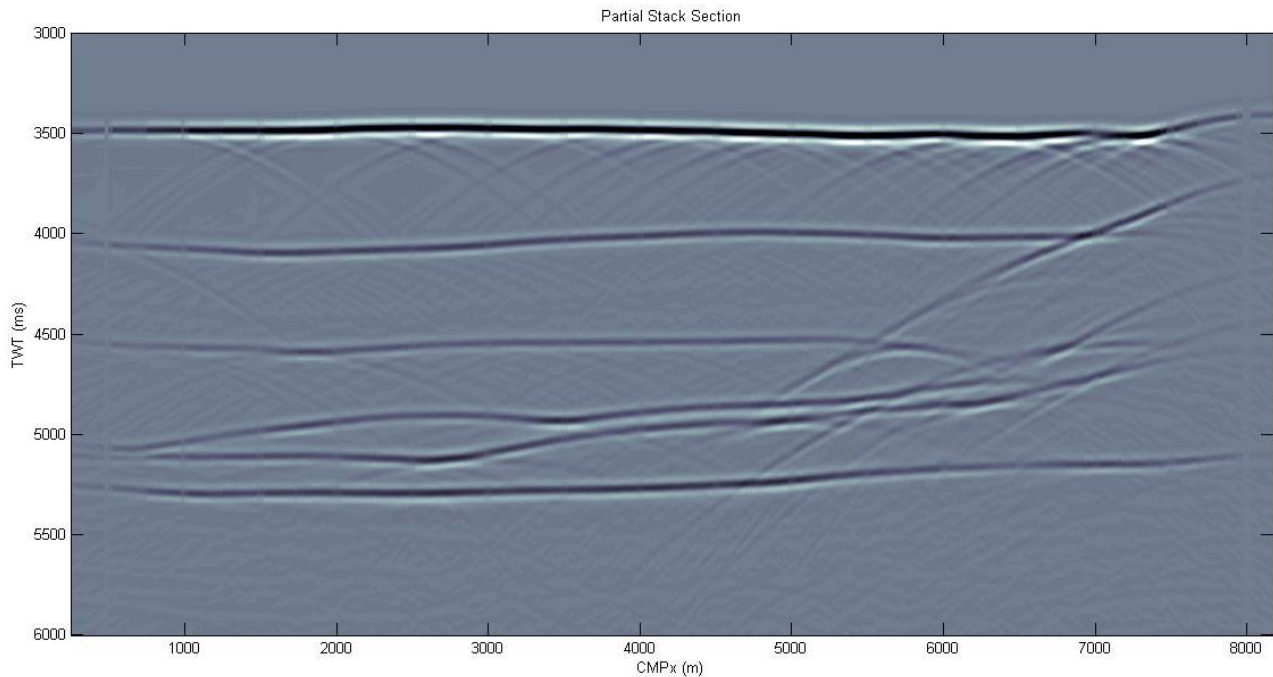
Σχήμα 4.4 : Τομή σεισμικής υπέρθεσης

Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται τομή σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου. Αν συγκριθούν οι τομές σεισμικής υπέρθεσης με αυτή του Σχήματος 4.5 φαίνεται το πλεονέκτημα της μεθόδου σεισμικής υπέρθεσης.



Σχήμα 4.5 : Τομή σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου.

Στο Σχήμα 4.6 απεικονίζεται η σεισμική τομή μερικής υπέρθεσης, όπου για να εξαλείψουμε τα ψευδοφαινόμενα που εμφανίζονται (θόλωμα) στο Σχήμα 4.4, 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 απόσταση τους από την πηγή ήταν σχετικά μεγάλη (>3500m). Στην εν λόγω τομή (Σχήμα 4.6) εξακολουθούν να εμφανίζονται περιθλάσεις όπως αυτή στα 7km και σε χρόνο 4s καθώς και στα 5.5km και 4.5s



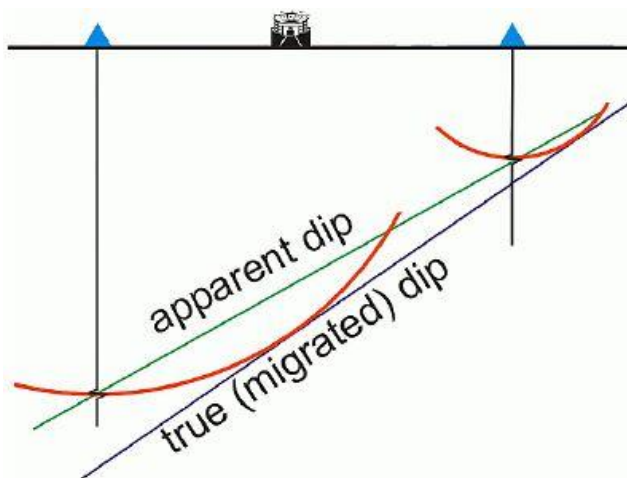
Σχήμα 4.6 : Τομή μερικής σεισμικής υπέρθεσης. Παρατηρούνται περιθλάσεις στα σημεία που μεταβάλλεται πλευρικά η ταχύτητα όπως για παράδειγμα η περίθλαση στα 5.5km και 7 km σε χρόνους 4.5 s και 4 s αντίστοιχα .

#### 4.5 Σεισμική Χωροθέτηση (Migration)

Στο στάδιο αυτό εφαρμόστηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι χωροθέτησης, αυτή των Πεπερασμένων διαφορών, η Kirchhoff και η Phase Shift.

Η σεισμική χωροθέτηση βελτιώνει τη σεισμική τομή υπέρθεσης στην περίπτωση που υπάρχουν ρήγματα, όπου εμφανίζεται το φαινόμενο της περίθλασης. Η σεισμική χωροθέτηση επανατοποθετεί όλες τις αφίξεις που προέρχονται από περίθλαση, στη θέση όπου βρίσκεται η κορυφή (apex) της περίθλασης και τους ανακλαστήρες στην σωστή τους θέση (Σχήμα 4.7).

Η σεισμική χωροθέτηση, ανάλογα με τη μορφή της χωροθετημένης σεισμικής τομής που δημιουργείται, διακρίνεται σε δύο είδη. Η χρονική σεισμική χωροθέτηση (time migration), όπου η χωροθετημένη σεισμική τομή παρουσιάζεται σε συνάρτηση με το χρόνο, και η σεισμική χωροθέτηση βάθους (depth migration), όπου η χωροθετημένη σεισμική τομή παρουσιάζεται σε συνάρτηση με το βάθος. Η επεξεργασία της χωροθέτησης εφαρμόστηκε στην η σεισμική τομή που απεικονίζεται στο (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.7: Φαινόμενο σεισμικής χωροθέτησης. Αν δεν πραγματοποιηθεί σεισμική χωροθέτηση θα καθοριστεί λαθεμένα η επιφάνεια ανάκλασης (Attanayake, 2006).

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν για κάθε μία από τις τρεις μεθόδους χωροθέτησης, προκειμένου να προκύψουν οι τελικές τομές χωροθέτησης.



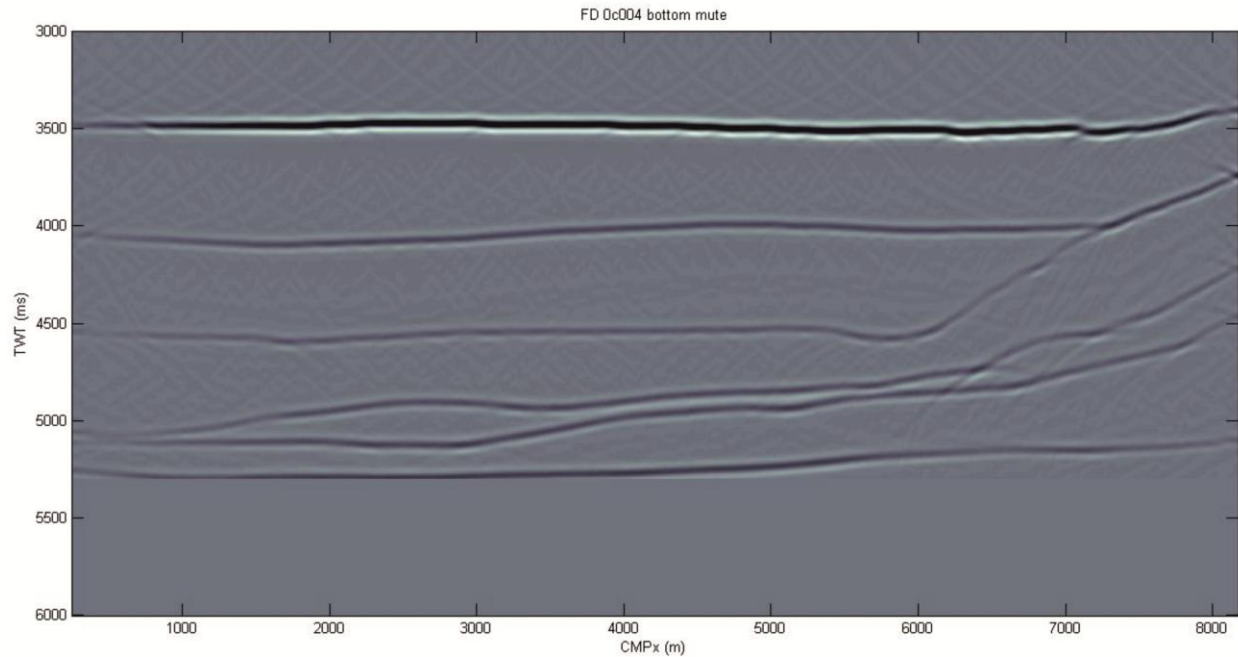
Πίνακας Ι : Όλες οι δοκιμές των τριών μεθόδων χωροθέτησης που πραγματοποιήθηκαν. Τα δεδομένα εισαγωγής του πίνακα αναλύονται στη σελίδα 15-16.

Πεπερασμένες Διαφορές						
	anyin	aryvel	t	x	dtau	
Δοκιμή 1	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	0.001	
Δοκιμή 2	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	0.004	
Δοκιμή 3	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	0.008	
Δοκιμή 4	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	0.0016	
Δοκιμή 5	CMP_Stack_bottom_mute	Vrms	0.001	2.5	0.004	
Kirchhoff						
	anyin	aryvel	t	x	param	
					εύρος ιχνών	κλίση
Δοκιμή 1	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	-	-
Δοκιμή 2	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	50	60
Δοκιμή 3	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	50	90
Δοκιμή 4	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	500	60
Δοκιμή 5	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	500	90
Δοκιμή 6	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	1000	90
Δοκιμή 7	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	3170	60
Δοκιμή 8	CMP_Stack	Vrms	0.001	2.5	3170	90
Phase shift						
	seis	t	x	v	κλίση	
Δοκιμή 1	CMP_Stack	[0:0.001:7.501]	[250:2.5:8172.5]	Vint	90	
					Σχήμα 4.14	

## 4.6 Αποτελέσματα Χωροθέτησης

### 4.6.1 Αποτελέσματα χωροθέτηση με τη μέθοδο Πεπερασμένων Διαφορών

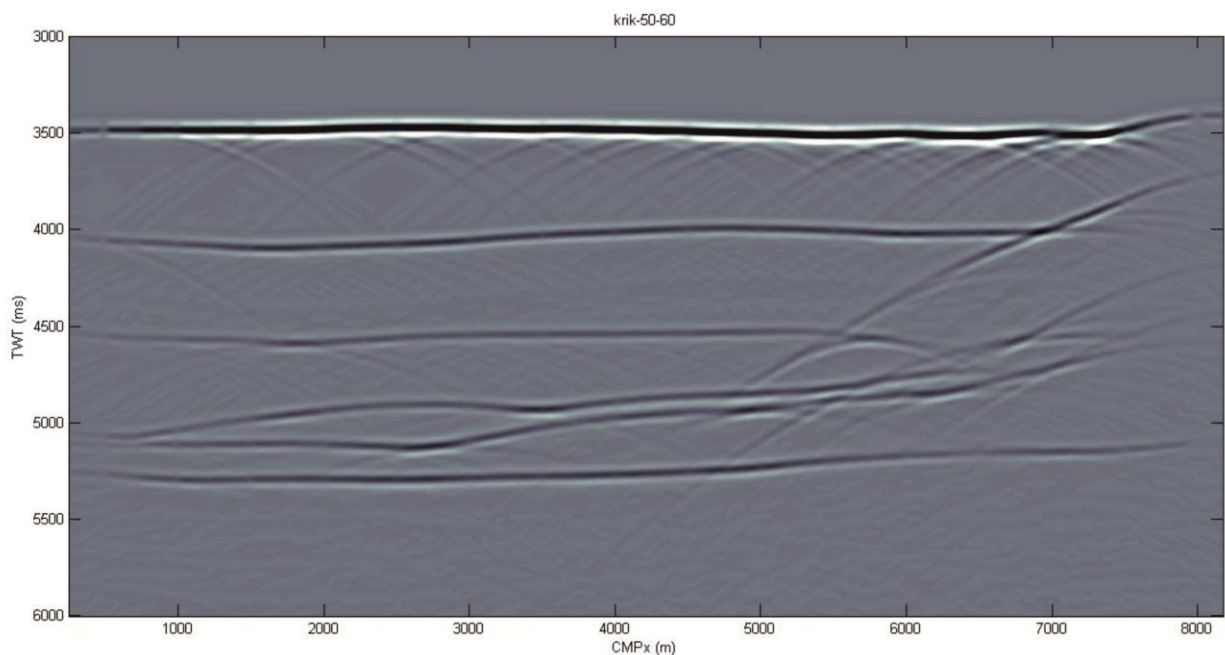
Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζεται η τομή χωροθέτησης με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών. Παρατηρείται ότι οι περιθλάσεις που εμφανιζόταν στην τομή μερικής υπέρθεσης Σχήμα 4.6 έχουν εξαφανιστεί, ακόμα οι ανακλαστήρες φαίνονται ευδιάκριτα καθώς παρατηρούνται 6 ανακλαστήρες. Το βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους, 4ms.



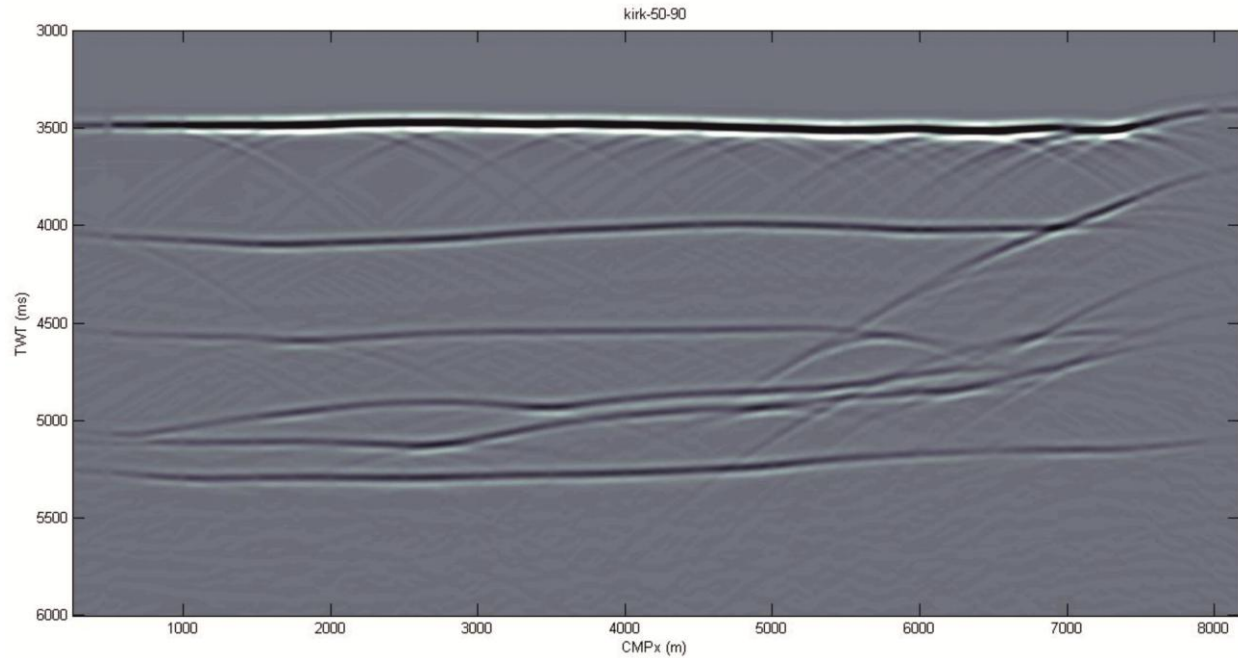
Σχήμα 4.8 : Τομή χωροθέτησης “FD 0c004 bottom mute”, με τη μέθοδο Πεπερασμένων Διαφορών, βήμα υπολογισμού του κυματικού πεδίου σε προγενέστερους χρόνους, 4ms.

#### 4.6.2 Αποτελέσματα χωροθέτησης με τη μέθοδο Kirchhoff

Από το Σχήμα 4.9 έως το Σχήμα 4.13 απεικονίζονται οι χωροθετημένες σεισμικές τομές με τη μέθοδο Kirchhoff. Στο Σχήμα 4.9 το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση περιλαμβάνει 50 ίχνη και η μέγιστη κλίση  $60^\circ$ , παρατηρείται ότι εμφανίζονται περιθλάσεις εντός της χωροθετημένης τομής. Αντίστοιχα οι περιθλάσεις εμφανίζονται και στο Σχήμα 4.10 όπου το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση περιλαμβάνει 50 ίχνη ενώ μέγιστη κλίση  $90^\circ$ . Ακόμα, για τα Σχήματα 4.9 .εως 4.11, το τμήμα του τρίτου ανακλαστήρα από τα 5.5 εως 7 km και για χρόνιο 4.5 s με 4 s, φαίνεται ότι δεν έχει διορθωθεί, καθώς σε αυτή τη περίπτωση θα είχε πιο έντονη κλίση και μικρότερο μήκος.

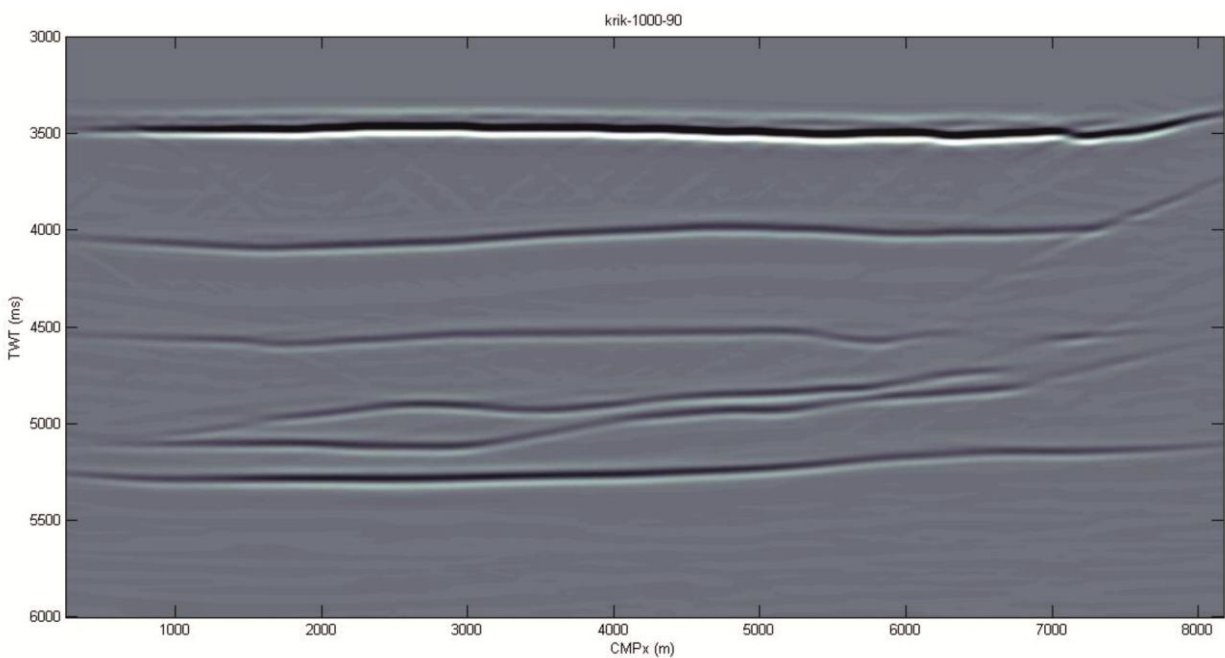


Σχήμα 4.9 : Τομή χωροθέτησης “kirk 50\_60”, με τη μέθοδο Kirchhoff. Το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση σε αυτή τη τομή επιλέχθηκε να περιλαμβάνει 50 ίχνη, ενώ η μέγιστη κλίση είναι 60.



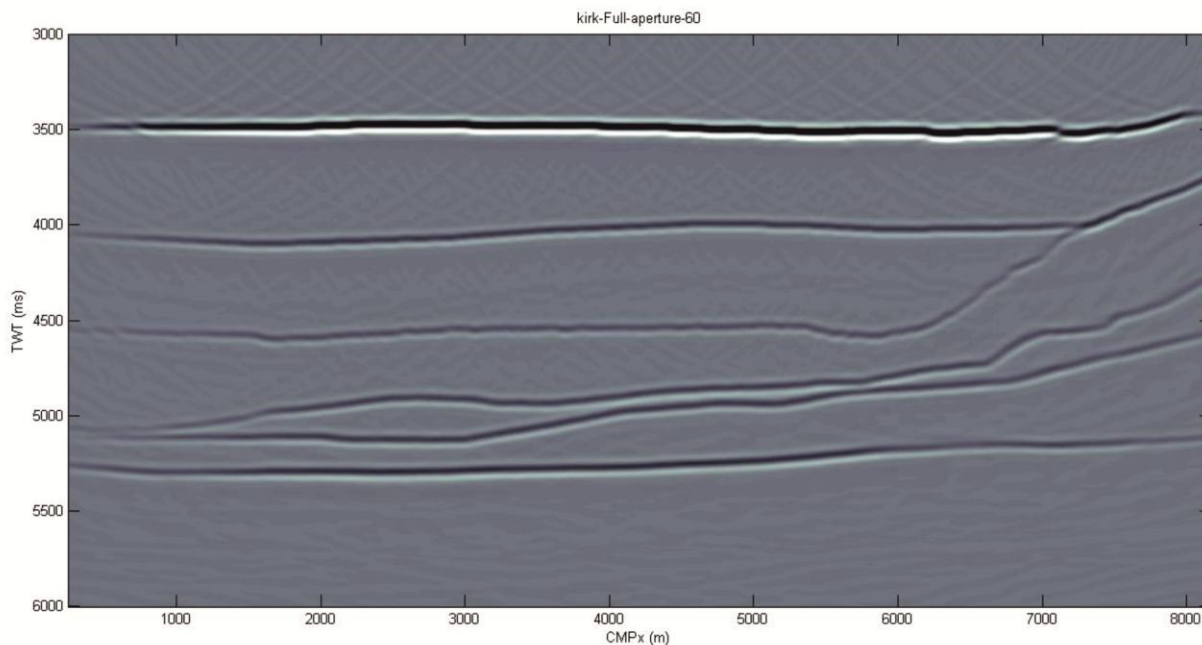
Σχήμα 4.10 : Τομή χωροθέτησης “kirk 50-90”, με τη μέθοδο Kirchhoff. Το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση σε αυτή τη τομή επιλέχθηκε να περιλαμβάνει 50 ίχνη, ενώ η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες.

Στο Σχήμα 4.11 οι ανακλαστήρες είναι ευδιάκριτοι και δεν εμφανίζονται πλέον οι περιθλάσεις. Όμως διακόπτεται η συνέχεια των ανακλαστήρων που εμφανίζονται μετά τα 5km της γραμμής μελέτης: α) στα 4.5 s, β) στα 4.7 s και γ) στα 4.8 s

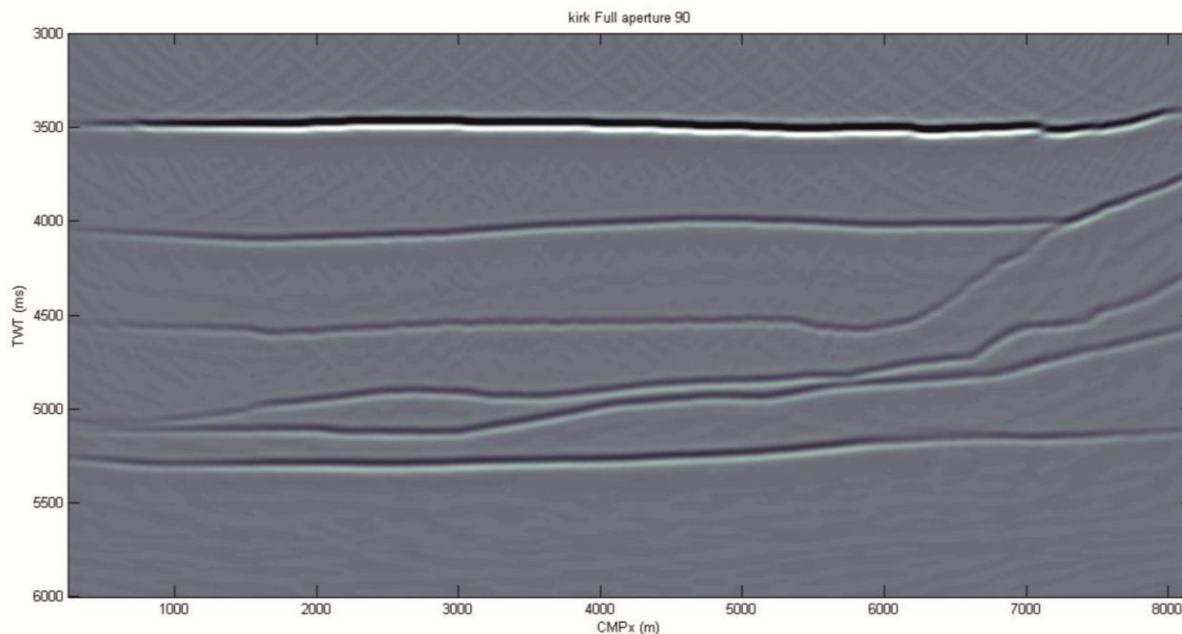


Σχήμα 4.11 : Τομή χωροθέτησης “kirk 1000\_90”, με τη μέθοδο Kirchhoff. Το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση σε αυτή τη τομή επιλέχθηκε να περιλαμβάνει 1000 ίχνη, ενώ η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες.

Στις χωροθετημένες τομές που ακολουθούν Σχήμα 4.12 και 4.13 το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση περιλαμβάνει όλα ίχνη ενώ η μέγιστη κλίση είναι  $60^\circ$  και  $90^\circ$  αντίστοιχα. Σε αυτές τις τομές οι ανακλαστήρες φαίνονται με μεγάλη ακρίβεια ενώ οι περιθλάσεις δεν εμφανίζονται.



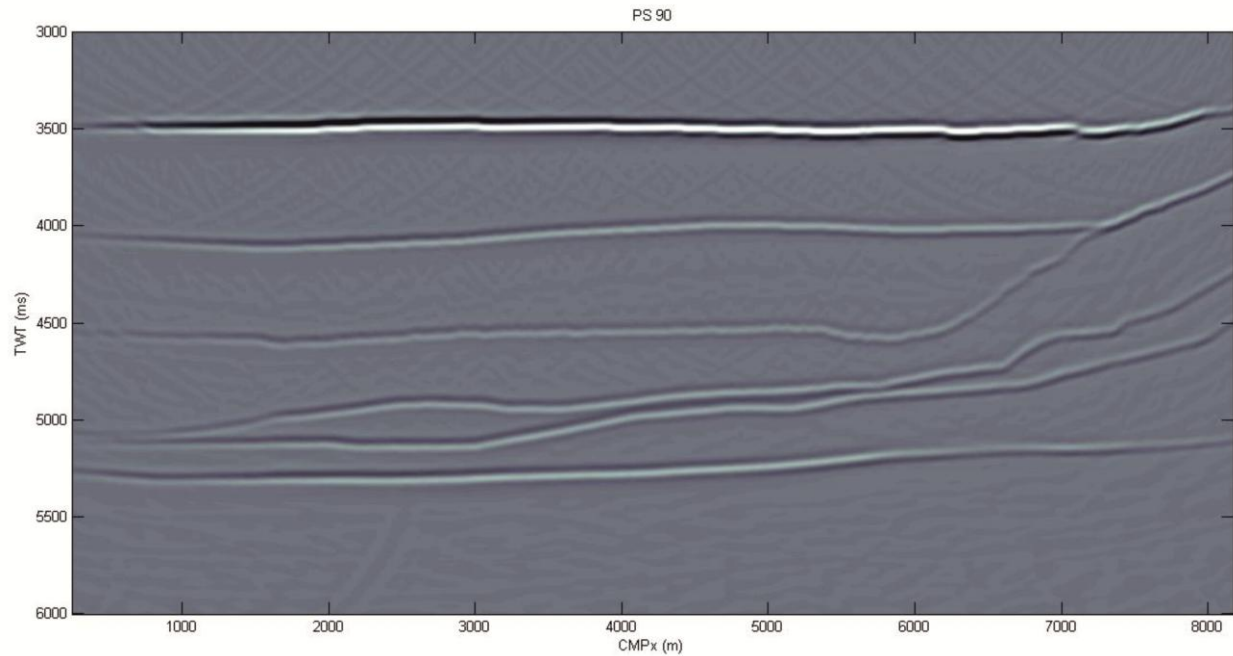
Σχήμα 4.12: Τομή χωροθέτησης “kirk full aperture\_60”, με τη μέθοδο Kirchhoff. Το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση σε αυτή την τομή επιλέχθηκε να περιλαμβάνει όλα τα ίχνη, ενώ η μέγιστη κλίση είναι 60 μοίρες.



Σχήμα 4.13: Τομή χωροθέτησης “kirk full aperture\_90”, με τη μέθοδο Kirchhoff. Το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση σε αυτή την τομή επιλέχθηκε να περιλαμβάνει όλα τα ίχνη, ενώ η μέγιστη κλίση είναι 90 μοίρες.

#### 4.6.3 Αποτελέσματα με τη μέθοδο χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού.

Στο Σχήμα 4.14 απεικονίζεται η τομή χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού, οι επιφάνειες ανάκλασης είναι ευδιάκριτες, χωρίς να διακόπτονται, ακόμα η τομή είναι απαλλαγμένη από τις περιθλάσεις που εμφανίζονταν στην τομή μερικής σεισμικής υπέρθεσης Σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.13 : Τομή χωροθέτησης “PS\_90”, με τη μέθοδο στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού. Μέγιστη κλίση χωροθέτησης επιλέχθηκε να είναι 90 μοίρες.

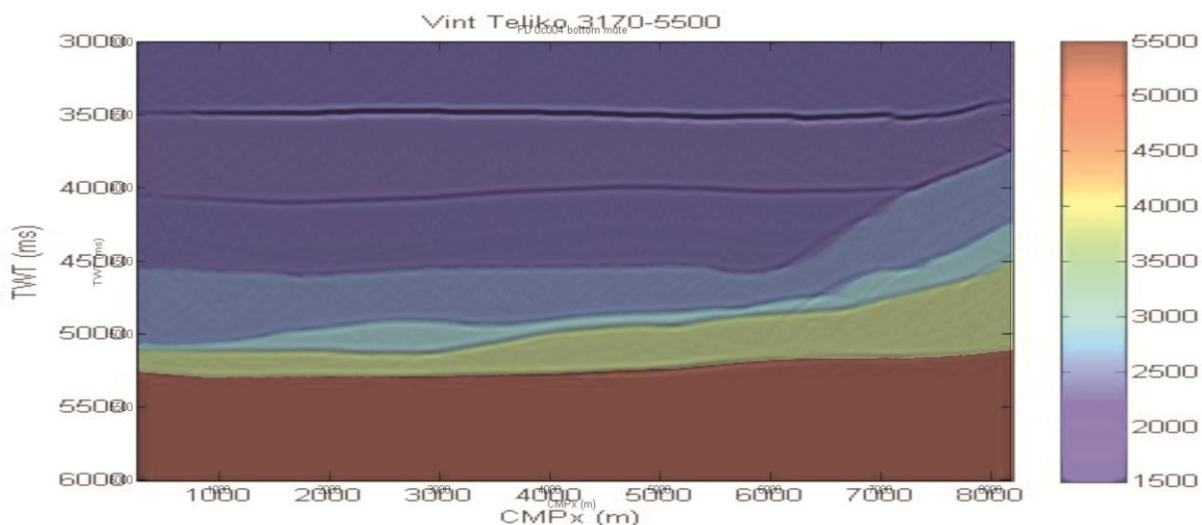


#### 4.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων χωροθέτησης με το μοντέλο τμηματικών ταχυτήτων

Προκειμένου να αξιολογηθούν οι τομές χωροθέτησης, υπερτέθηκε επί αυτών το μοντέλο τμηματικής ταχύτητας που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των συνθετικών δεδομένων. Παρατίθενται παρακάτω τα Σχήματα 4.15 έως 4.21. Στις χωροθετημένες τομές που είναι απαλλαγμένες από περιθλάσεις (δηλαδή Σχήμα 4.15, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21) παρατηρείται ότι οι ανακλαστικές έχουν πολύ καλή προσαρμογή με τις αντίστοιχες διεπιφάνειες από το μοντέλο ταχύτητας, χωρίς να χρειαστεί να πραγματοποιηθεί μεταβολή των τιμών των ταχυτήτων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου.

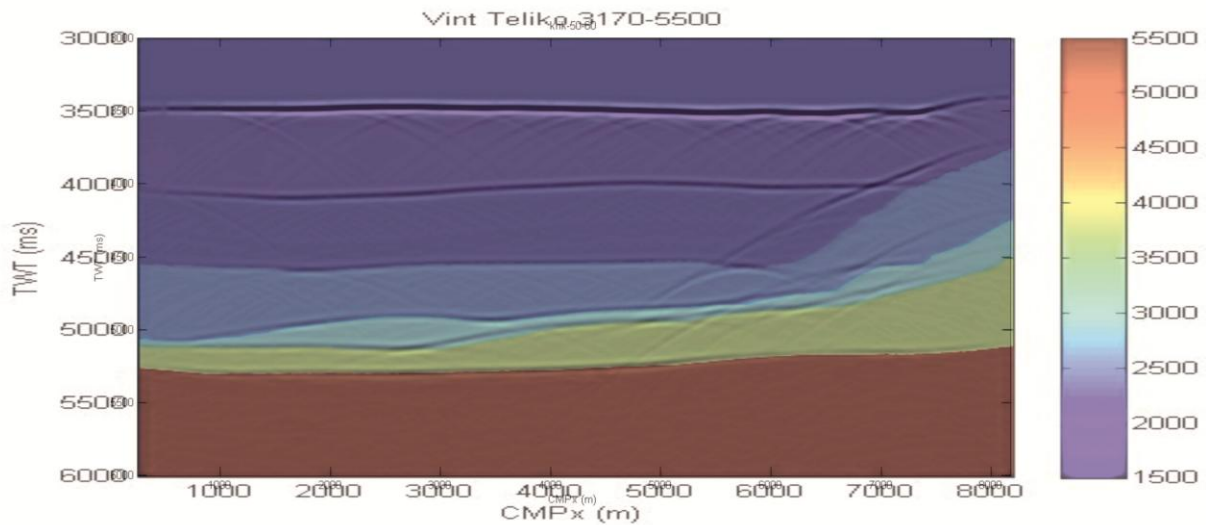
Για τη δημιουργία του μοντέλου ταχυτήτων σε χρόνο, πραγματοποιήθηκε μετατροπή των τμηματικών ταχυτήτων από το βάθος σε χρόνο, με την παρακάτω διαδικασία. Αρχικά από τις τμηματικές ταχύτητες στο βάθος (Vint\_Z) βρέθηκαν οι μέσες τετραγωνικές ταχύτητες στο χρόνο [Vrms\_T(7502x1670)] με το script "vzmod2vrmsmod". Έπειτα προκειμένου να αντιστοιχιστεί η πρώτη στήλη του πίνακα στο πρώτο CMP που βρίσκεται στα 250m και η τελευταία στήλη στο τελευταίο CMP στα 8172.5m αντίστοιχα, πληκτρολογήθηκε η εντολή Vrms\_T(:,51:1635), καθώς τα ίχνη του αρχικού Vint\_Z (1670) αντιστοιχούν σε όλο το μοντέλο (από 0 έως 8345m). Εν συνεχεία χρησιμοποιήθηκε το script Grid\_Vrms καθώς έχουμε 3170 CMPs και δημιουργήθηκε το αρχείο Vrms\_CMP250m-8172p5m\_3170 (7502x3170). Τέλος με τη χρήση του script "vrms2vint\_nandron\_LOUIZA" οι μέσες τετραγωνικές ταχύτητες στο χρόνο μετατράπηκαν στις τμηματικές ταχύτητες στο χρόνο (Vint\_T).

Στο Σχήμα 4.15 απεικονίζεται η σεισμική τομή χωροθέτησης με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών σε σύγκριση με το μοντέλο τμηματικής ταχύτητας. Παρατηρείται ότι οι επιφάνειες ανάκλασης της σεισμικής τομής χωροθέτησης είναι πολύ κοντά, στις διαχωριστικές επιφάνειες στο μοντέλο.

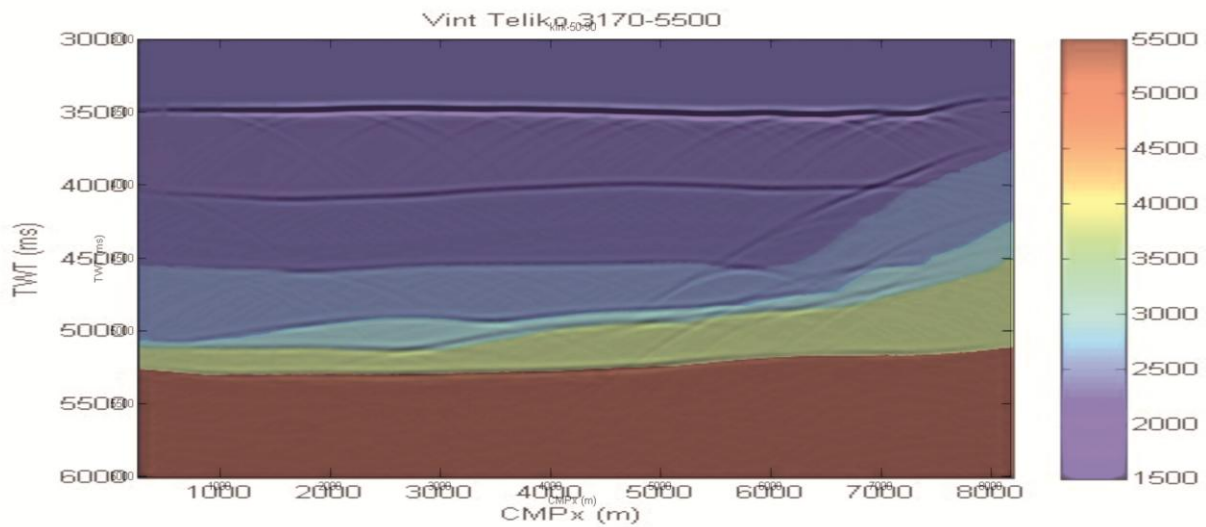


Σχήμα 4.14 : Τομή χωροθέτησης με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών "FD 0c004" σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο.

Στα Σχήματα 4.16 και 4.17 παρουσιάζονται οι σεισμικές τομές χωροθέτησης με τη μέθοδο Kirchhoff σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο. Καθώς το αποτέλεσμα της διαδικασίας της χωροθέτησης για τις δύο αυτές τομές δεν ήταν το επιθυμητό. Οι επιφάνειες ανάκλασης των τομών χωροθέτησης απέχουν από τις διαχωριστικές επιφάνειες κάθε επιμέρους ορίζοντα, στα σημεία όπου έχουν παραμείνει οι περιθλάσεις.



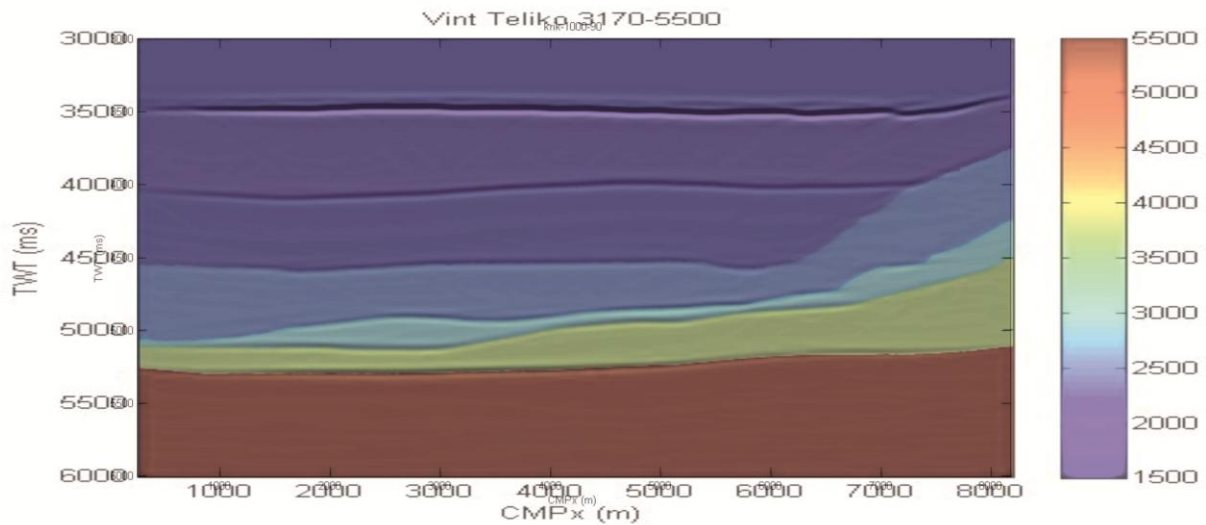
Σχήμα 4.15 : Τομή χωροθέτησης “kirk 50\_60” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο.



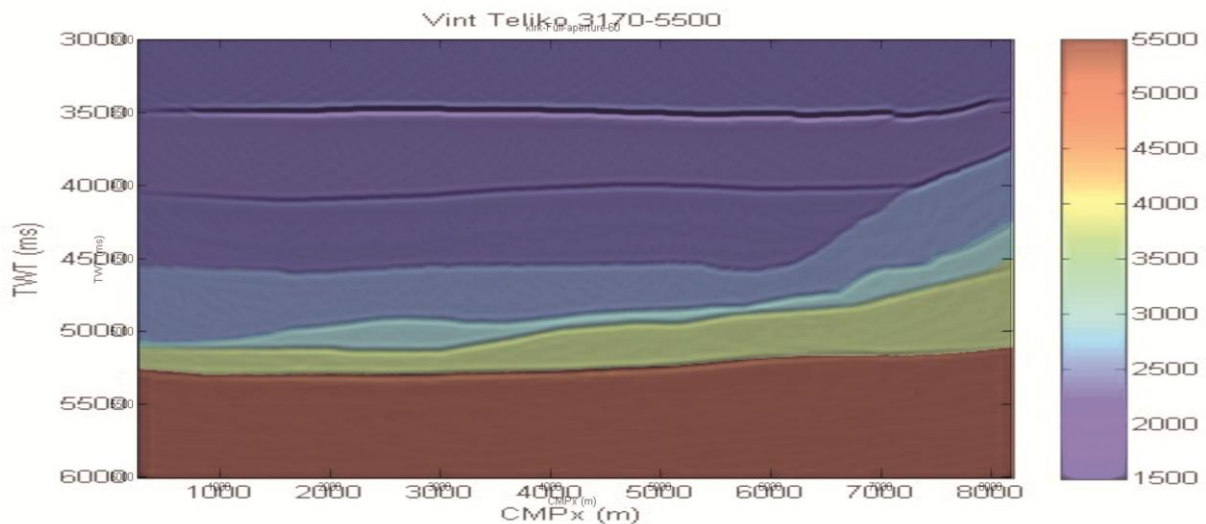
Σχήμα 4.16 : Τομή χωροθέτησης “kirk 50\_90” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο.



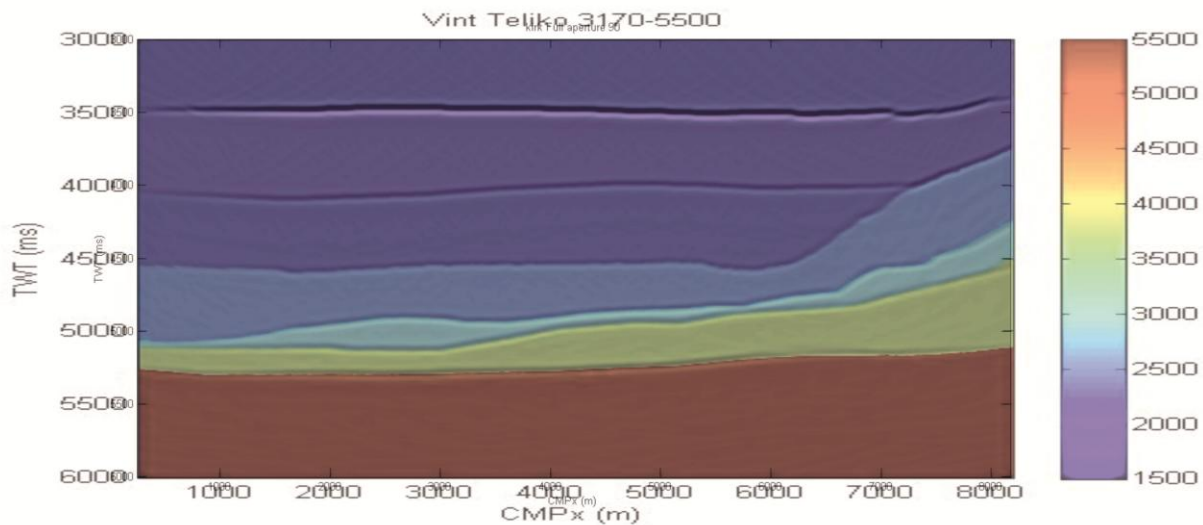
Στα Σχήματα 4.18, 4.19 και 4.20 παρουσιάζονται οι σεισμικές τομές χωροθέτησης με τη μέθοδο Kirchhoff σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας της χωροθέτησης για τις εν λόγω τομές ήταν το επιθυμητό, έτσι παρατηρείται ότι οι επιφάνειες ανάκλασης της σεισμικής τομής χωροθέτησης είναι πολύ κοντά, στις διαχωριστικές επιφάνειες στο σεισμικό μοντέλο κάθε επιμέρους οριζόντα.



Σχήμα 4.17 : Τομή χωροθέτησης “kirk 1000\_90” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο.

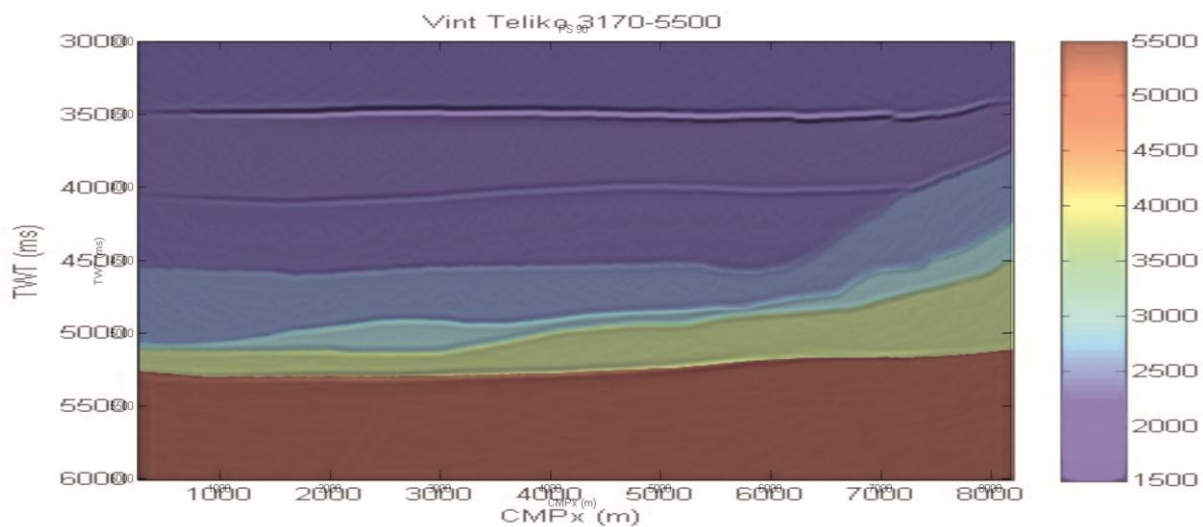


Σχήμα 4.18 : Τομή χωροθέτησης “kirk full aperture\_60” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο.



Σχήμα 4.19 : Τομή χωροθέτησης “kirk full aperture\_90” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο.

Στο Σχήμα 4.21 απεικονίζεται η σεισμική τομή χωροθέτησης με τη μέθοδο χωροθέτησης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού. Η μέθοδος αυτή φαίνεται να δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα χωροθέτησης, καθώς ακόμα φαίνεται ότι οι επιφάνειες ανάκλασης της σεισμικής τομής χωροθέτησης εφάπτονται πλήρως, στις διαχωριστικές επιφάνειες στο σεισμικό μοντέλο κάθε επιμέρους ορίζοντα.



Σχήμα 4.20 : Τομή χωροθέτησης “PS\_90” σε σύγκριση με το σεισμικό μοντέλο.

## Κεφάλαιο 5 ° : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το βασικό πλεονέκτημα της δημιουργίας συνθετικών δεδομένων είναι η ευελιξία διαμόρφωσης πλήθους μοντέλων που αναπαριστούν την δομή του υπεδάφους, αλλά και η δυνατότητα ανάπτυξης οποιουδήποτε είδους σεναρίου, όπως για παράδειγμα διαφορετικές συχνότητες πηγής, χωρίς να είναι απαραίτητη διεξαγωγή πραγματικών πειραμάτων σεισμικής ανάκλασης, παρά μόνο η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Από τη σύγκριση μεταξύ των μεθόδων που εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κρίνεται ως βέλτιστη τομή χωροθέτησης (Σχήμα 4.14), που προέκυψε από τη μέθοδο στο χώρο των συχνοτήτων.

Συνήθως στις τομές χωροθέτησης, κομμάτια των ανακλαστήρων εμφανίζονται υποχωροθετημένα ή υπερχωροθετημένα και προκειμένου να εξαλειφθούν αυτά τα φαινόμενα πραγματοποιούνται αλλαγές στο αρχείο των ταχυτήτων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δε χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν αλλαγές στο αρχείο ταχυτήτων, που χρησιμοποιήθηκαν για τις χωροθετήσεις, καθώς δεν εμφανίστηκαν φαινόμενα υπερχωροθέτησης (μεγαλύτερες ταχύτητες από τις πραγματικές) και υποχωροθέτησης (μικρότερες ταχύτητες από τις πραγματικές).

Για τη μέθοδο χωροθέτησης Kirchhoff, δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα στις τομές που το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση περιλάμβανε μικρό αριθμό ιχνών. Όπως φαίνεται στις τομές (Σχήμα 4.9) και (Σχήμα 4.10) για τους χρόνους  $TWT=4050ms$ ,  $TWT=4600ms$  και θέσεις  $CMRx=7000$ ,  $CMRx=5500$  αντίστοιχα, οι περιθλάσεις έχουν παραμείνει. Στις τομές χωροθέτησης που το παράθυρο χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση περιείχε όλο το εύρος των ιχνών (full aperture, 3170 ίχνη), τα αποτελέσματα προσέγγισαν με μεγαλύτερη ακρίβεια το μοντέλο ταχυτήτων.

Το αρχικό γεωλογικό μοντέλο, από το οποίο προήλθαν τα συνθετικά δεδομένα, περιείχε 7 στρώματα ( 6 ανακλαστήρες). Στον παρακάτω πίνακα τα στρώματα αυτά αποδίδονται σε γεωλογικούς σχηματισμούς, της εργασίας που παρουσιάστηκε στο 1<sup>st</sup> EAGE WORKSHOP IN GEOPHYSICAL AND GEOLOGICAL CHALLENGES IN HYDROCARBON PROVINCES OF THE EASTERN MEDITERRANEA, MALTA 2018 (Oikonomopoulos et al, 2018)

A/A	Ταχύτητα (m/s)	Γεωλογικοί σχηματισμοί	
1	1500	Νερό	Πυθμένας
2	1800	Τεταρτογενές	
3	2200	Νεογενή Πλειόκαινο	
4	2500	Νεογενή Μειόκαινο	Βάση Νεογενούς Κορυφή Κρητιδικού
5	3000	?	
6	3800	Ανθρακικά	
7	5500	Ανθρακικοί σχηματισμοί των εξωτερικών Ελληνίδων	Basement

Πίνακας 5.1: Γεωλογική ερμηνεία των σεισμικών στρωμάτων.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

Αποστολόπουλος, Γ. (2013) . *Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής* . Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Τομέας Μεταλλευτικής, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ 28.

Βλαστάρας, Ν. (2006) . *Γεωφυσική έρευνα για τον εντοπισμό γεωθερμικού πεδίου στο Ακρωτήριο Χανίων, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.*

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

Βαφείδης, Α. (2011) . *Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι, Σεισμικές Μέθοδοι, μάθημα εξαμήνου, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.*

Μανούτσογλου, Ε. (2008) . *Σημειώσεις του μαθήματος Εισαγωγή στην γεωλογία Ελλάδος, Χανιά.*

Μανούτσογλου Ε. (2011) . *Γεωλογία της Ελλάδος . Πολυτεχνείο Κρήτης Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων,σελ.129.*

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

Μπριντάκης, Ι. (2016) . *Συμβολή της σεισμικής ανακλασης στην παρακολουθηση της γεωλογικής αποθηκευσης του διοξειδίου του ανθρακα, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.*

Παπαδόπουλος Τ. (2010) . *Εισαγωγή στη Γεωφυσική, Εκδ. Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.*

Ρέππας, Δ. (2016) . *Επεξεργασία συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανακλασης για την περιοχή του πατράϊκου κολπου, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.*

Φασουλάς, Χ. (1995) . *Κινηματική και Παραμόρφωση των καλυμμάτων της Κεντρικής Κρήτης, Διδακτορική Διατριβή Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη, σελ259.*

Χατζημιχαλίδου, Ρ. (2016) . *Επεξεργασία συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανακλασης για τη δυτική μεσσαρά, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.*

## ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

Gilbert, L.E, Kastens, K., Hurst, K., Paradissis, D., Veis, G., Billiris, H., Hoeppe, W. and Schluter, W. (1994), Strain results and tectonics from Aegean GPS experiment (abstract) EOS Trans. AGU, 75 (16):116.

Januka Attanayake (2006), Seismic Migration, Center for Integrative Geosciences, University of Connecticut

K.Oikonomopoulos<sup>1\*</sup>, G. Makrodimitras<sup>1</sup>, Y.Bassias<sup>1</sup>, A.Vafidis<sup>2</sup>, N. Andronikidis<sup>2</sup> (2018), <sup>1</sup>Hellenic Hydrocarbon Resources Management S.A., <sup>2</sup>Technical University of Crete, Integration Of Geophysical Tools To Determine The Structural Setting Offshore South Of The Island Of Crete, 1<sup>st</sup> eage workshop in geophysical and geological challenges in hydrocarbon provinces of the eastern mediterranea, Malta

Leite, O., and Mascle, J. (1982). Geological structure of the south Cretan continental margin and Hellenic trench. MarineGeol. vol. 49, pp. 199–223.

Noomen, R., Springer, T.A, Ambrosius, B.A.C., Hetzberger, K., Kuijper, D.C., Mets, G.J., Overgaauw, B., and Walker, K.F., (1996), Crustal deformation in the Mediterranean area computed from SLR and GPS observations, J. Geodyn., vol. 21, pp. 73-96.

Offshore Operations Subgroup . (2011) , Environmental Management of Geophysical Exploration [Book]. - [s.l.] : Offshore Operations Subgroup of the Operations & Environment Task Group. pp. 9.

Reilinger, R., McClusky, S., Oral, B., King, R., Toksoz, M.N., Barka, A., Kinik, I., Lenk, O., and Sanli, I., (1997), Global positioning system measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone, J. Geophys. Res. , vol. 145, pp.157-182.

Renz, C. ,(1940), Die Tektonik der griechischen Gebrige , Pragm. Akaad. Athen., 8: 1-17; Athen.

Vafidis, A., Andronikidis, N., Economou, N., Panagopoulos, G., Zelilidis, A., and Manoutsoglou, E., (2012), *Reprocessing and interpretation of seismic reflection data at Messara Basin*, Crete, Greece, Journal of the Balkan Geophysical Society, vol. 15, no. 2, pp. 31-40.

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

## ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ :

---

<https://i.ytimg.com/vi/2Wlh3M2a10U/hqdefault.jpg>