

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

«Επεξεργασία συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης από το Ιόνιο με τεχνικές σεισμικής χωροθέτησης»

Λεοντίδης Λεωνίδας

A.M.: 2011020048

Εξεταστική Επιτροπή

Επιβλέπων καθηγητής: ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Μέλη: Καθηγητής: ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Δρ. ΑΝΔΡΟΝΙΚΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

“To ask the “right” question is far more important than to receive the answer. The solution of a problem lies in the understanding of the problem; the answer is not outside the problem; it is in the problem.”
— Jiddu Krishnamurti

1 Εισαγωγή

1.1 Πρόλογος – Στόχος

Σύμφωνα με την πάροδο των χρόνων, όλο και πιο σημαντική γίνεται η προσπάθεια ανεύρεσης νέων πιθανών εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Η οικονομική κρίση μαστίζει την τελευταία δεκαετία όλες τις χώρες του εξωτερικού συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας. Η Ελλάδα κατάφερε και κατέχει πλέον έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην αναζήτηση νέων οικονομικών πόρων, με ιδιαίτερη θέση σε ενεργειακό κομμάτι.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάζεται και ερμηνεύεται μια γραμμή μελέτης νότια των Παξών νήσων, στο Ιόνιο Πέλαγος, για πιθανή ανεύρεση υδρογονανθράκων στο θαλάσσιο χώρο. Η επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν ήταν συνθετικά δεδομένα από μοντέλο που αντιστοιχεί στην γεωτεκτονική ζώνη των Παξών και κατά την επεξεργασία τους επιλέχθηκε η διαδικασία του Pre-Stack Migration. Επίσης, κατά την επεξεργασία, χρησιμοποιήθηκαν τα φίλτρα AGC και γεωμετρικής διασποράς για την ενίσχυση των πλατών των κυμάτων στην κατακόρυφη διεύθυνση, καθώς και το φίλτρο Trace Balance όπου στοχεύει στην ενίσχυση των πλατών των κυμάτων στην οριζόντια διεύθυνση.

Θα μας δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα;

Μας ενδιαφέρει η συγκεκριμένη περιοχή που βρίσκεται στην ζώνη των Παξών;

Αυτές και άλλες ερωτήσεις απαντώνται και βρίσκονται στη συνέχεια της Διπλωματικής Εργασίας.

1.2 Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της Εργασίας, τα πολύτιμα αγαθά της καθοδήγησης, υποστήριξης και προσοχής, υλοποιήθηκαν από τον σημαντικό ρόλο του επιβλέποντος Καθηγητή Βαφείδη Αντώνιο, όπου ευχαριστώ θερμά για όλα.

Ειδικότερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Κρητικάκη Γεώργιο για την πολύτιμη καθοδήγηση και στήριξη, σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής μου Εργασίας. Οι υποδείξεις και παρατηρήσεις, είχαν ουσιαστικό και καθαρό σκοπό για μια πολύ λεπτομερή Διπλωματική Εργασία.

Με πολύ ιδιαίτερη σημασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Οικογένεια μου, Ζέφη, Πετρούλα και Λέων, στους οποίους οφείλω όλα τα εφόδια που με έχουν εξοπλίσει, και την αγάπη και σεβασμό που διακατέχω για εκείνους.

1.3 Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η επεξεργασία και ερμηνεία συνθετικών δεδομένων της μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης για τον θαλάσσιο χώρο στην περιοχή των Παξών, Ιονίου Πελάγους. Για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι οι οποίοι αναπτύχθηκαν στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Μηχανικών Ορυκτών Πόρων στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Μετά την παραγωγή των συνθετικών δεδομένων, ακολούθησε η επεξεργασία και η αξιολόγηση των δεδομένων για την εύρεση πιθανών παγίδων υδρογονανθράκων στον υπό μελέτη θαλάσσιο χώρο.

Στα πρώιμα στάδια της μελέτης, δημιουργήθηκαν το σεισμικό μοντέλο και η πρώτη ψηφιακή προσομοίωση της περιοχής ενδιαφέροντος.

Ακολουθήθηκε αλληλουχία επεξεργασιών, οι οποίες σκοπεύουν στην απεικόνιση των δομών στο υπέδαφος. Η αλληλουχία αυτή περιγράφεται από 3 βασικές μεθόδους. Η σεισμική χωροθέτηση και υπέρθεση, που έχει σαν στόχο την ανακατασκευή και σωστή τοποθέτηση των επιφανειών ανάκλασης που παρουσιάζουν κλίση σε μία τομή υπέρθεσης. Η Γεωμετρική διασπορά, η οποία σκοπεύει στην αντιστάθμιση των πλατών και τα φίλτρα της αυτόματης ενίσχυσης (AEC-AGC), ενώ στη συνέχεια ακολουθείται το φίλτρο Trace Balance, που ενισχύει τα πλάτη των ανακλώμενων σεισμικών κυμάτων.

Συνοψίζοντας, έπειτα από την δημιουργία, επεξεργασία και απεικόνιση των τομών στην περιοχή μελέτης, γίνεται σαφής αναφορά στα αποτελέσματα και συμπεράσματα που προκύπτουν. Στις χωροθετημένες σεισμικές τομές παρατηρείται εμφάνιση μόνο του 1ου και 2ου ανακλαστήρα και όχι των βαθύτερων. Οι καλύτερες τομές χωροθέτησης που προέκυψαν είναι για ταχύτητα διάδοσης $0.9xV_{rms}$ και $1500m/s$ στο πρώτο στρώμα, καθώς και η εφαρμογή φίλτρου AEC με $1.25s$ παράθυρο. Η αραιή τοποθέτηση των πηγών δεν έχει αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, και για αυτό παρατηρείται μη επιτυχής απεικόνιση σε ορισμένα σημεία. Οι πολλαπλές ανακλάσεις του πυθμένα τους επισκιάζουν τους βαθύτερους ανακλαστήρες.

1.4 Περίγραμμα Κεφαλαίων

1	Εισαγωγή	3
1.1	Πρόλογος – Στόχος	3
1.2	Ευχαριστίες	4
1.3	Περίληψη	5
1.4	Περίγραμμα Κεφαλαίων	6
2	Περιοχή Μελέτης Ιονίου Πελάγους	8
2.1	Θέση της περιοχής μελέτης	8
2.2	Γεωτεκτονική και Λιθοστρωματική εξέλιξη Γεωγραφικού Διαμερίσματος Ζώνης Ιονίου	8
3	Μέθοδος Σεισμικής Ανάκλασης	14
3.1	Εισαγωγή	14
3.2	Βασικές Αρχές Διάδοσης Ελαστικών Κυμάτων	16
3.2.1	Είδη Σεισμικών Κυμάτων	16
3.2.2	Διάδοση σεισμικών κυμάτων - Ορισμοί	17
3.2.2.1	Εξασθένιση ελαστικών κυμάτων λόγω απόστασης	20
3.3	Μέθοδος Σεισμικής Ανάκλασης	20
3.4	Σεισμικές πηγές και δέκτες	21
3.4.1	Σεισμικές Πηγές	21
3.4.2	Χερσαίες διασκοπήσεις	22
3.4.3	Θαλάσσιες Σεισμικές Έρευνες	23
3.4.4	Πραγματοποίηση Μετρήσεων	27
3.4.4.1	Παράμετροι που επηρεάζουν την ταχύτητα	29
3.5	Επεξεργασία σεισμικών δεδομένων	30
3.5.1.1	Δυναμική Διόρθωση NMO (Normal Move Out)	32
3.5.1.2	AGC (Automatic Gain Control) - AEC (Automatic Exposure Control) and Trace Balance	34
3.5.1.3	Pre-Stack Migration με τη μέθοδο Kirchhoff	35
4	Δημιουργία συνθετικών σεισμικών δεδομένων	38
4.1	Εισαγωγή	38
4.2	Προσομοίωση της διάδοσης των σεισμικών δεδομένων	38
4.2.1	Αρχικές παράμετροι μοντέλου	39
4.2.2	Οριοθέτηση διεπιφανειών και παραμέτρων του μοντέλου	39
4.2.3	Θέσεις πηγών και υδροφώνων	41
4.2.4	Χρονική διάρκεια καταγραφής	42
4.2.5	Αποτελέσματα προσομοίωσης	43
5	Επεξεργασία δεδομένων – Αποτελέσματα	45
5.1	Σεισμική χωροθέτηση πριν την υπέρθεση	45
5.1.1	Υπολογισμός του διπλού κατακόρυφου χρόνου	47
5.2	Τομές σεισμικής χωροθέτησης με ποσοστιαία μεταβολή των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων	51
5.3	Ενίσχυση του πλάτους των σεισμικών κυμάτων	52

5.3.1	Διόρθωση γεωμετρικής διασποράς	52
5.3.2	AEC (Automatic Exposure Control) - AGC (Automatic Gain Control) and Trace Balance	52
5.3.3	Απεικόνιση ενισχυμένων χωροθετημένων τομών	52
6	Συμπεράσματα - Προτάσεις	78
7	Βιβλιογραφία	79
7.1	Ελληνική	79
7.2	Διεθνής.....	Error! Bookmark not defined.
8	Παραπομπές.....	81
8.1	Εικόνες.....	81
8.2	Εξισώσεις	87
8.3	Πίνακες	88
8.4	Κώδικες	88
8.4.1	Kirchoff function.....	88
8.4.2	Κώδικας Matlab πριν την σεισμική χωροθέτηση κατά Kirchoff.....	89
8.4.3	Κώδικας Matlab για να γίνει η τελική σεισμική χωροθέτηση Kirchoff	90
8.4.4	AEC – Automatic Gain Control.....	92
8.4.5	Trace balance	94
8.4.6	AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής	96
8.4.7	Gain	96

2 Περιοχή Μελέτης Ιονίου Πελάγους

2.1 Θέση της περιοχής μελέτης

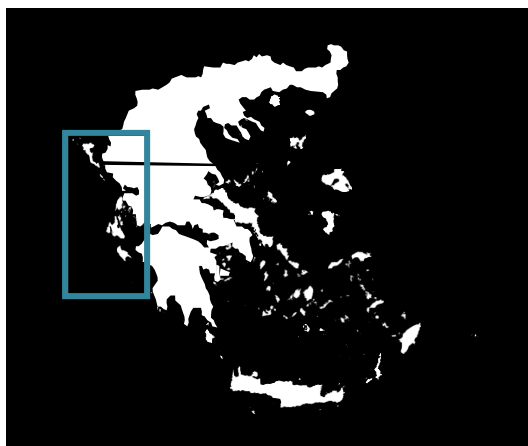
Το Ιόνιο Πέλαγος οριοθετείται ως η θαλάσσια περιοχή δυτικά της Ελλάδας, η οποία συνορεύει με τις Ιταλικές ακτές της Καλαβρίας, της Απουλίας και της Σικελίας, καθώς ως προς νότο, με το τμήμα της Μεσογείου μεταξύ Μάλτας και Κρήτης, και ως προς την ανατολή από τη περιοχή της νότιας Αλβανίας και δυτικής Ελλάδας.

Όπως όλες οι υποθάλασσες της Μεσογείου έτσι και το Ιόνιο πέλαγος θεωρείται μια oligotroφική θάλασσα, όπου έχει μικρούς πληθυσμούς ψαριών και θαλασσινών, λόγω του ότι η χαμηλή συγκέντρωση φωσφορικών και νιτρικών αλάτων που απαιτούνται για τα θαλάσσια λιβάρδια, περιορίζει τη διαθεσιμότητα τροφής. Επίσης, η διαφάνειά της είναι μεγάλη, καθώς η αλατότητά της είναι 32‰, με τα νερά της να ανανεώνονται περίπου κάθε 100 χρόνια.

Η περιοχή του Ιονίου Πελάγους βρίσκεται στο σημείο σύγκλισης των τεκτονικών πλακών, της Ευρασιατικής, της Αφρικανικής και της Απούλιας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να την κάνει να είναι μια από τις πιο σεισμογενείς περιοχές του κόσμου, που όπως είναι φυσικό μπορούν να εντοπιστούν πολλαπλά ρήγματα, τα οποία ίσως και να μας προειδοίζουν και για πιθανή ανεύρεση υδρογονανθράκων.

Στην αρχαιότητα είχε πάρει την ονομασία «Σικελικό πέλαγος», ενώ το σημερινό της όνομα το πήρε από την μετέπειτα ρωμαϊκή εποχή.

Η περιοχή μελέτης απεικονίζεται αναλυτικά στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 2.1 Περιοχή Ιονίου Πελάγους



Εικόνα 2.2 Περιοχή Μελέτης Παξών

2.2 Γεωτεκτονική και Λιθοστρωματική εξέλιξη Γεωγραφικού Διαμερίσματος Ζώνης Ιονίου

Τα Ιόνια νησιά, γεωτεκτονικά, ανήκουν στις Εξωτερικές Ελληνίδες οροσειρές. Το τμήμα της ανατολικής Κεφαλονιάς, η Λευκάδα, η Ιθάκη όπως και όλα τα μικρά νησιά

κοντά στην ακτή της Αιτωλοακαρνανίας ανήκουν όλα στην Ιόνια γεωτεκτονική Ζώνη.

Χαρακτηρίζεται από φλύσχη και μεσοζωϊκούς ασβεστόλιθους και παρατηρείται η ιδιαίτερη ύπαρξη παρεμβολών πυριτιόλιθων και σχιστόλιθων, καθώς και τριαδικών λατυποπαγών με γύψους. Επιπρόσθετα, το μεγαλύτερο μέρος της Ζακύνθου, της Κεφαλονιάς, της νοτιοδυτικής Λευκάδας και τμήμα της Κέρκυρας ανήκουν στη γεωτεκτονική ζώνη των Παξών. Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται με ανθρακικά πετρώματα χωρίς φλύσχη (Εικόνα 2.3-Εικόνα 2.5).

Αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι ότι η μόνη από τις μεγάλες ισοτοπικές ζώνες που έχει αλλάξει το βασικό παλαιογεωγραφικό της χαρακτήρα από νηριτικό σε πελαγικό, είναι η Ιόνιος ζώνη, κάτι που συνέβει κατά τη διάρκεια της προορογενετικής εξέλιξης του αλπικού κύκλου. Αναλυτικότερα δηλαδή, μέχρι το Λιάσιο, οι ενότητες Παξών – Μάνης – Ιονίου – Γαβρόβου - Τρίπολης συνεννοούσαν μία ενιαία ανθρακική πλατφόρμα, στην οποία υπήρχαν τα ίδια πετρώματα και στην ίδια φάση. Από το Δογγέριο, παρατηρείται ότι ο χώρος της Ιόνιας ζώνης βαθαίνει, καθώς οι Παξοί και το Γάβροβο συνεχίζουν να δέχονται νηριτικά ιζήματα.

Εικάζεται ότι την εποχή αυτή, κατά το Αν. Λιάσιο, κάποια έντονη μεταβολή συνέβει στον ωκεανό της Τηθύος και η ως τότε ενιαία προαναφερθείσα πλατφόρμα “έσπασε” (μάλλον πιθανή ταφροποίηση) και βάθυνε απότομα. Το γεγονός αυτό μάλλον συνδέεται με τη δημιουργία των τυπικών οφιολίθων. Η ταφροποίηση δείχνει να έγινε με το σχηματισμό συνιζηματογενών ρηγμάτων, όπου ξεκίνησαν να βυθίζονται ένα τμήμα της, ενώ η αλλαγή αυτή είχε παλαιογεωγραφικές επιπτώσεις στα διάφορα τεκτονικά τεμάχια όπως στρέψεις, χερσεύσεις κ.α.

Η μετατροπή αυτή της πολυμορφίας του χώρου, κατά τη μεταβατική περίοδο, απέδωσε και μια πολυμορφία φάσεων. Ύστερα από τα σπασίματα αυτά, για κάποια χρονικά διαστήματα αναδύθηκαν, χέρσευσαν και έπειτα βυθίστηκαν πάλι διάφορες περιοχές. Έτσι ανάμεσα στις δύο κύριες φάσεις, πελαγική-νηριτική, παρουσιάζεται και μια ποικιλία φάσεων σχηματισμών ή και στρωματογραφικά κενά, με τυχαία κατανομημένη και επικαθισμένη την πελαγική πάνω στη νηριτική.

Παρουσιάζοντας τις παραπάνω μεταβολές, η νηριτική ιζηματογένεση για την Ιόνιο ζώνη, αρχίζει από το Ανώτερο Τριαδικό έως το Αν. Λιάσιο, καθώς από το Ανώτερο Λιάσιο μέχρι και το Ανώτερο Ηώκαινο η ιζηματογένεση είναι πελαγική. Η πελαγική ιζηματογένεση χαρακτηρίζεται από πυριτικούς σχιστόλιθους στο Μέσο Ιουρασικό, πελαγικούς ασβεστόλιθους με Ακτινόζωα και πυριτόλιθους στο Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Σενώνιο καθώς και πελαγικούς ασβεστόλιθους με παρεμβολές λατυποπαγών στο Ανώτερο Σενώνιο - Ανώτερο Ηώκαινο.

Με τον τρόπο αυτό, στη στρωματογραφία της Ιονίου ζώνης, διακρίνονται δύο χαρακτηριστικά όρια που τη χωρίζουν από πλευράς ιζηματογένεσης σε τρία τμήματα. Τα νηριτικής και πελαγικής ιζηματογένεσης τμήματα, και το τμήμα της κλαστικής ιζηματογένεσης. Το πρώτο, διακρίνει την πελαγική ιζηματογένεση η οποία είναι βιοχημική, από την κλαστική ιζηματογένεση του φλύσχη, ενώ το άλλο τη νηριτική από την πελαγική. Το όριο από τη νηριτική στην πελαγική, χωρίζει την Ιόνιο ζώνη σε μία κατώτερη ακολουθία στρωμάτων που αποτελείται από νηριτικούς ασβεστόλιθους και παχυστρωματώδεις έως άστρωτους δολομίτες, όπου στη βάση της υπάρχουν εβαπορίτες και σε μια ανώτερη ακολουθία που χαρακτηρίζεται από πελαγικά

ιζήματα. Ανάμεσα στις δύο αυτές ακολουθίες απαντούν στρώματα με μεταβατικούς χαρακτήρες, όπως είναι οι ερυθροϊώδεις κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι με Αμμωνίτες (*Ammonitico rosso*) ή στρώματα πυριτικών σχιστολίθων με *Posidonia* και οι πυριτικοί ασβεστόλιθοι με *Filaments*.

Επίσης, εικασίες δείχνουν ότι τα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Πελοποννήσου – Κυθήρων - Κρήτης, αποτελούν ένα κοινό ανωπαλαιοζωϊκό υπόβαθρο για την Αδριατικοϊόνιο ζώνη, κάτι που ίσως αποκαλύπτει και την παρουσία προαλπικού υποβάθρου στη ζώνη αυτή. Οι εβαπορίτες Περμοτριάδικής ηλικίας θεωρείται πως είναι τα αρχικά αλπικά ιζήματα της ζώνης, ενώ υπάρχουν δύο κύριες θεωρίες για τις παλαιογεωγραφικές συνθήκες δημιουργίας τους.

Η μία θεωρία, παρουσιάζει ότι ο σχηματισμός τους έγινε σε περιβάλλον εξάτμισης όπου δημιουργήθηκε από πολλαπλές συνεχόμενες παραθαλάσσιες και ρηγές λίμνες και των οποίων η επικοινωνία με τη θάλασσα φράσσονταν πιθανώς με χαμηλούς βραχίονες. Έτσι, με την επιρροή των παλιρροιών η θάλασσα υπερπηδούσε τους βραχίονες αυτούς και κατάφερνε να εμπλουτίζει τις λίμνες με τα άλατα που περιείχε. Κατά την δεύτερη θεωρία υποστηρίζεται ότι οι εβαπορίτες σχηματίστηκαν μέσα σε μεγάλες ρηγές και κλειστές λίμνες - λεκάνες, δίχως καμία επικοινωνία με τη θάλασσα αλλά αντιθέτως με την συνεχή τροφοδοσία σε άλατα από τους ποταμούς με αλατούχα πετρώματα. Έπειτα από πολλές εξετάσεις μέχρι τη σημερινή εποχή, πιστεύεται ότι κατά τη διάρκεια του Περμοτριάδικου, η Αδριατικοϊόνιος ζώνη, ήταν μια πολύ ρηχή θαλάσσια περιοχή ή ακόμη και χερσαία, η οποία παρουσίαζε την δυνατότητα να χερσεύει συχνά και να σχηματίζει ακόμα και τόσο μεγάλου πάχους στρώματα εβαποριτών που με γεωτρήσεις βρέθηκαν να φτάνουν και τα 1.500 m βάθος.

Οι εβαπορίτες της κατηγορίας αυτής, βρίσκονται συχνά και ενδιάμεσα στα νεώτερα στρώματα της Ιονίου ζώνης (Κρητιδικά και Ηωκαινικά) στα οποία έχουν ανέλθει διαπηρικά δια μέσου των ρηγμάτων. Πάνω στις γύψους επίκειται μαύρος ασβεστόλιθος ηλικίας Καρνίου, ο οποίος ονομάστηκε “Ασβεστόλιθος Φουσταπήδημα” (Renz, 1925) και ακολουθούν άσπροι δολομίτες του Νορίου (Άνω Τριάδικό). Στη συνέχεια αποθέτονται οι νηριτικοί ασβεστόλιθοι Νορίου - Μέσου Λιασίου, που είναι γνωστοί στη βιβλιογραφία ως “ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα” με πάχος γύρω στα 600 m, και μέσα σε αυτούς εγκλείονται διάφορα φύκια, κοράλλια και άλλα νηριτικά απολιθώματα. (Εικόνα 2.1). Αντίστοιχα, στο μέσο Λιάσιο συναντώνται οι “Ασβεστόλιθοι Σινιών” που είναι καλά στρωμένοι και φέρουν πυριτόλιθους, όπου συνήθως δεν περιέχουν απολιθώματα και αποτελούν τα μεταβατικά ιζήματα από ρηχή σε βαθύτερη θάλασσα, με πάχος από λίγα μέτρα έως 200 m.

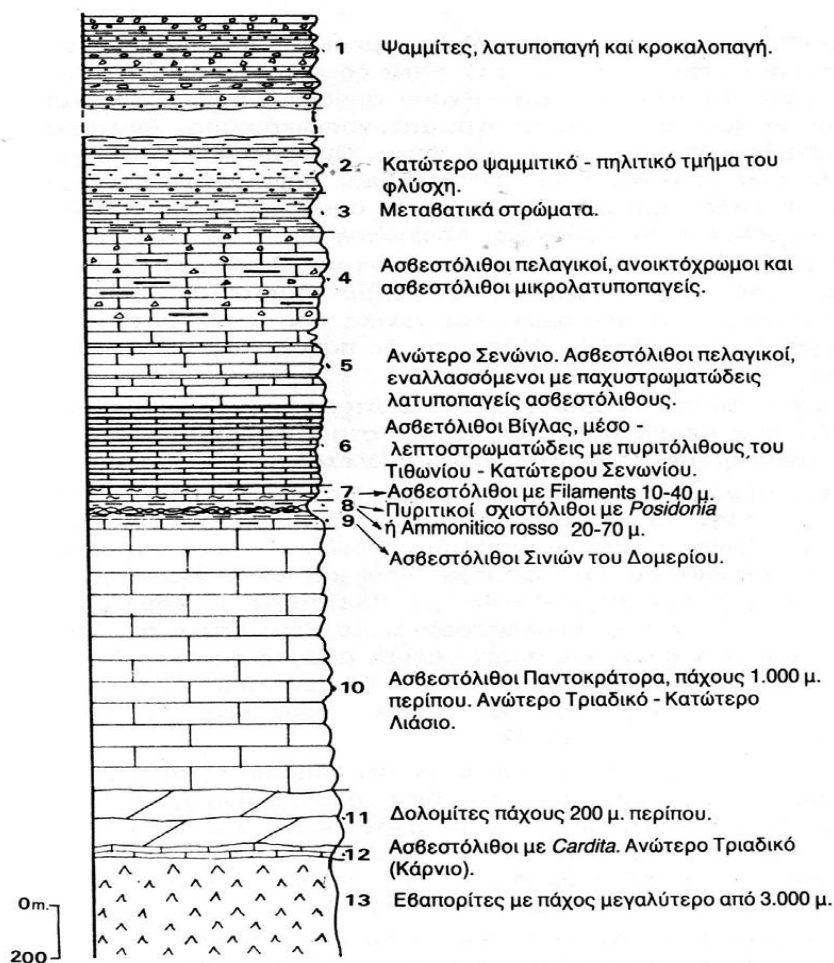
Στο Άνω Λιάσιο παρατηρείται ότι αποτίθενται οι κερατόλιθοι σε μαργαϊκούς ασβεστόλιθους αλλά και έγχρωμους αργιλικούς σχιστόλιθους (“σχιστόλιθοι με *Posidonomyes*”) από τα απολιθώματα που περιέχουν, ενώ την ίδια ακριβώς περίοδο, και στις δύο πλευρές της ζώνης, δηλαδή και την εσωτερική και την εξωτερική πλευρά, φαίνεται ότι αποτίθενται και οι κόκκινοι ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες της φάσης *Ammonitico rosso*. Η διττή αυτή ιζηματογένεση διαρκεί για όλο το Δογγέριο-Μέσο Ιουρασικό, καθώς στο μετέπειτα Μάλμιο, γίνεται ενιαία σε όλο το πλάτος της ζώνης, αποθέτωντας λεπτοπλακώδεις πελαγικούς ασβεστολίθους με ενστρώσεις κερατολίθων, ή αλλιώς “ασβεστόλιθοι Βίγλας”. Οι Ασβεστόλιθοι αυτοί, αποθετήθηκαν από το Μάλμιο, το Κάτω και Μέσο Κρητιδικό έως και τα μέσα του Άνω Κρητιδικού (Σενώνιο), με συνολικό πάχος περίπου στα 400m, ενώ περιείχαν σε

μεγάλο βαθμό Ακτινόζωα, *Calpionella alpina* και πολλά είδη *Globotruncana*, Έτσι, η ιζηματογένεση συνεχίστηκε προς τα επάνω με λατυποπαγείς ασβεστόλιθους του Ανωτέρου Κρητιδικού - Μέσου Ηωκαίνου, όπου στην αξονική υποζώνη θεωρούνται περισσότερο ως πελαγικοί, με το πάχος του να βρίσκεται περίπου στα 400 m.

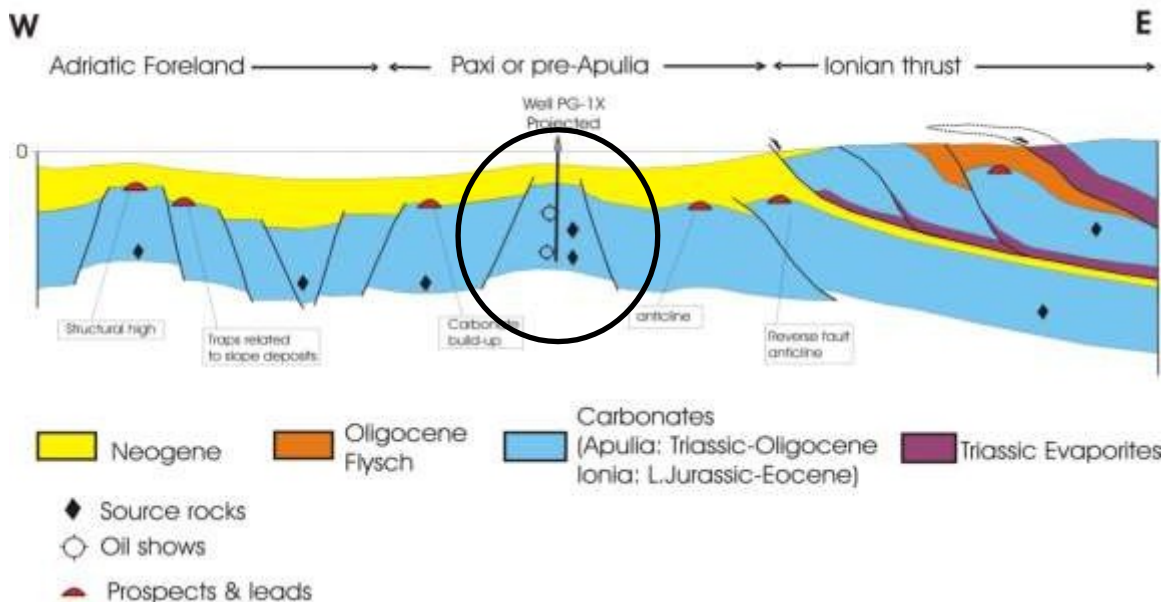
Τέλος, από το Πριαμπόνιο του Ηωκαίνου μέχρι το Ακουϊτάνιο του Κάτω Μειοκαίνου αποτίθεται ο φλύσχος, όπου και συνέβει η παροξυσμική πτύχωση της ζώνης. Υπολογίζεται ότι το πάχος του συνολικά ξεπερνά τα 2.000 m αν και οι πτυχωμένες μορφές του πιθανόν να δείχνουν μεγαλύτερο από το πραγματικό πάχος του. Στα κατώτερα στρώματα έχει κυρίως ψαμμιτική – μαργαϊκή σύσταση και εξελίσσεται προς τα πάνω σε διάφορες εναλλαγές μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών.

Τελικώς, η ανάδυση της περιοχής της Ιόνιας ζώνης, πραγματοποιήθηκε μετά την ολοκλήρωση της απόθεσης του Φλύσχη, δηλαδή κατά το Ακουϊτάνιο, στην Εσωτερική, και κατά το Βουρδιγάλιο, στην Εξωτερική Ιόνια ζώνη. Εν συνεχεία, στα όρια Βουρδιγαλίου και Μέσου Μειοκαίνου στην περιοχή της Εξωτερικής Ιόνιας ζώνης και κατά το Βουρδιγάλιο στην περιοχή της Κεντρικής Ιόνιας ζώνης, έγινε επίκληση της θάλασσας, όπου είχε ως αποτέλεσμα την απόθεση θαλάσσιων μολассικών ιζημάτων, ως επί το πλείστον από μάργες και σε λιγότερο βαθμό από ψαμμίτες με ενστρώσεις ασβεστολίθων.

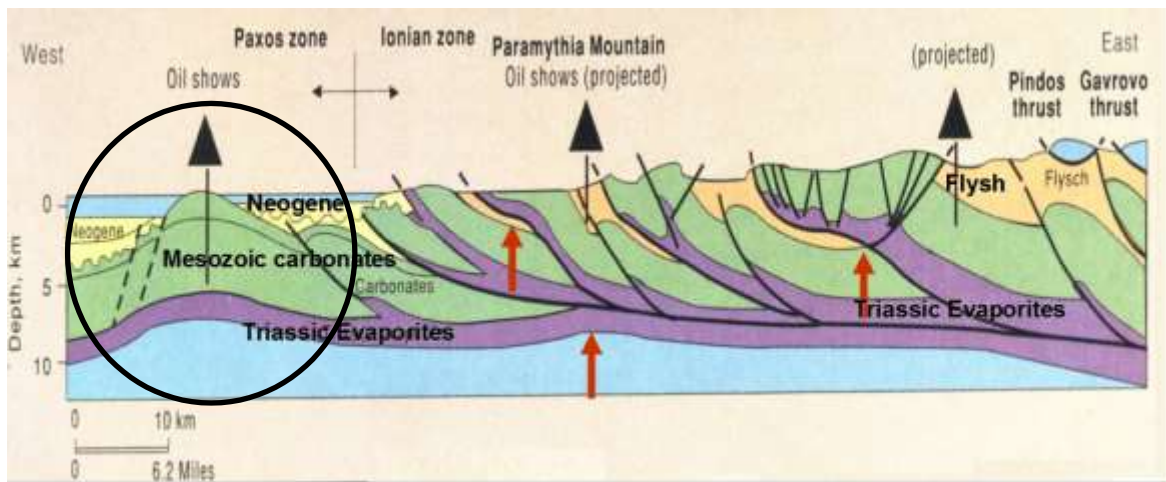
Η ιζηματογένεση στην Αδριατικοϊόνια ζώνη κατά τα Αλπικά χρόνια, θεωρείται πως υπήρξε αδιάκοπη και αδιάλειπτη όπως σε όλες τις εξωτερικές ζώνες, και διαμέσω αντίστοιχων παρατηρήσεων θέτουν υπό αμφισβήτηση τη γενική αντίληψη που προαναφέρθηκε. Αναλυτικότερα, ορισμένες περιοχές της ζώνης φάνηκε να παρουσιάζουν ιζηματολογικές ασυμφωνίες στους ασβεστόλιθους του Ανωτέρου Ιουρασικού - Κρητιδικού (Βίγλας) σε παλιότερα στρώματα της ίδιας ζώνης, παρατηρήσεις που ερμηνεύθηκαν με κάποια πιθανή παύση της ιζηματογένεσης κατά τη διάρκεια του Ιουρασικού., χωρίς όμως να έχει εξηγηθεί αναλυτικά και τεκμηριωμένα από τεκτοορογενετικής εξέλιξης άποψη.



Εικόνα 2.3: Στρωματογραφική στήλη της Ιόνιας ζώνης (Κατσικάτσου, 1992)



Εικόνα 2.4 Γεωλογική τομή σε Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους καλυμμένους από Νεογενή ιζήματα στην Απουλία πλατφόρμα (ΕΛΠΕ, 2015)



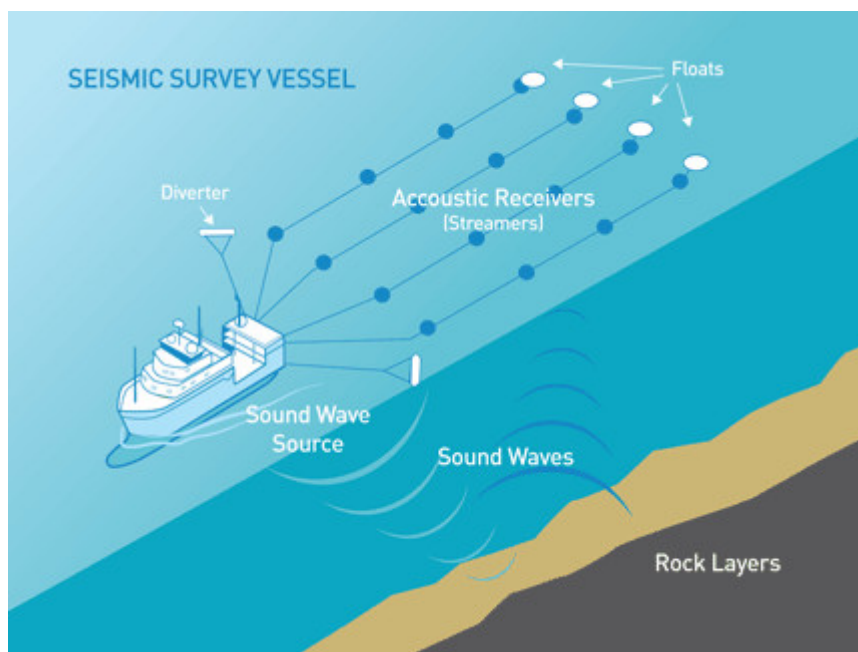
Εικόνα 2.5 Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης όπου αποτυπώνονται οι θέσεις εμφάνισης υδρογονανθράκων (oil shows) καθώς και πιθανές θέσεις παγίδευσης υδρογονανθράκων (κόκκινα βέλη) κάτω από εβαπορίτες του Τριαδικού. (ΕΛΠΕ, 2015)

3 Μέθοδος Σεισμικής Ανάκλασης

3.1 Εισαγωγή

Για τον ακριβέστερο καθορισμό της γεωλογικής δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης, χρησιμοποιείται η μέθοδος της Σεισμικής Ανάκλασης. Κατά τη μέθοδο αυτή, παράγονται τεχνητά ελαστικά κύματα στην επιφάνεια της γης ή και σε μικρό βάθος, όπου και διαδίδονται εσωτερικά στα στρώματα του φλοιού της. Εκεί, υφίστανται συνεχόμενες ανακλάσεις, σε κάθε διαχωριστική επιφάνεια ξεχωριστά, οι οποίες καταγράφονται από τα γεωφώνω/υδροφώνω. Η τοποθέτηση των γεωφώνων ή υδροφώνων γίνεται σε μικρές αποστάσεις από το σημείο παραγωγής των κυμάτων, και συνήθως μικρότερες από το επιθυμητό βάθος της εκάστοτε διασκόπησης.

Η μέθοδος σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιείται για την αναζήτηση παγίδων υδρογονανθράκων, υπογείων υδάτων και γεωθερμικών πεδίων αλλά στη μελέτη του φλοιού της γης, καθώς και στην απεικόνιση γεωλογικών δομών κατάλληλων για την θεμελίωση γεωτεχνικών έργων (Βαφείδης, 1993).



Εικόνα 3.1 Αναπαράσταση μεθόδου σεισμικής ανάκλασης με ερευνητικό σκάφος και υδροφώνων για μελέτη υπεδάφους περιοχής. (Blendspace)

Ο κύριος σκοπός των σεισμικών διασκοπήσεων είναι η απόκτηση λεπτομερών δεδομένων για τα στρώματα των υπεδάφικων πετρωμάτων, τα οποία με την ορθή μεθοδολογία και επεξεργασία μπορούν να παρουσιάσουν μια γραφική αναπαράσταση των γεωλογικών δομών μιας περιοχής ενδιαφέροντος.

Τα στάδια για ένα τυπικό πρόγραμμα με σκοπό την ύπαρξη ενός κοιτάσματος υδρογονανθράκων, θα περιλαμβάνει τα εξής:

- Καθορισμός των γεωλογικών στόχων και σχεδιασμός του προγράμματος αναζήτησης με συνολική διάρκεια περίπου 1 - 2 χρόνια.

- Διασκόπηση με την σεισμική ανάκλαση δύο διαστάσεων με διάρκεια 1 - 1.5 χρόνια. Σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνεται και η διενέργεια βαρυτικών και μαγνητικών διασκοπήσεων.
- Λεπτομερής διασκόπηση με σεισμική ανάκλαση δύο ή τριών διαστάσεων για την επιλογή της θέσης των ερευνητικών γεωτρήσεων με διάρκεια 1 -2 χρόνια.

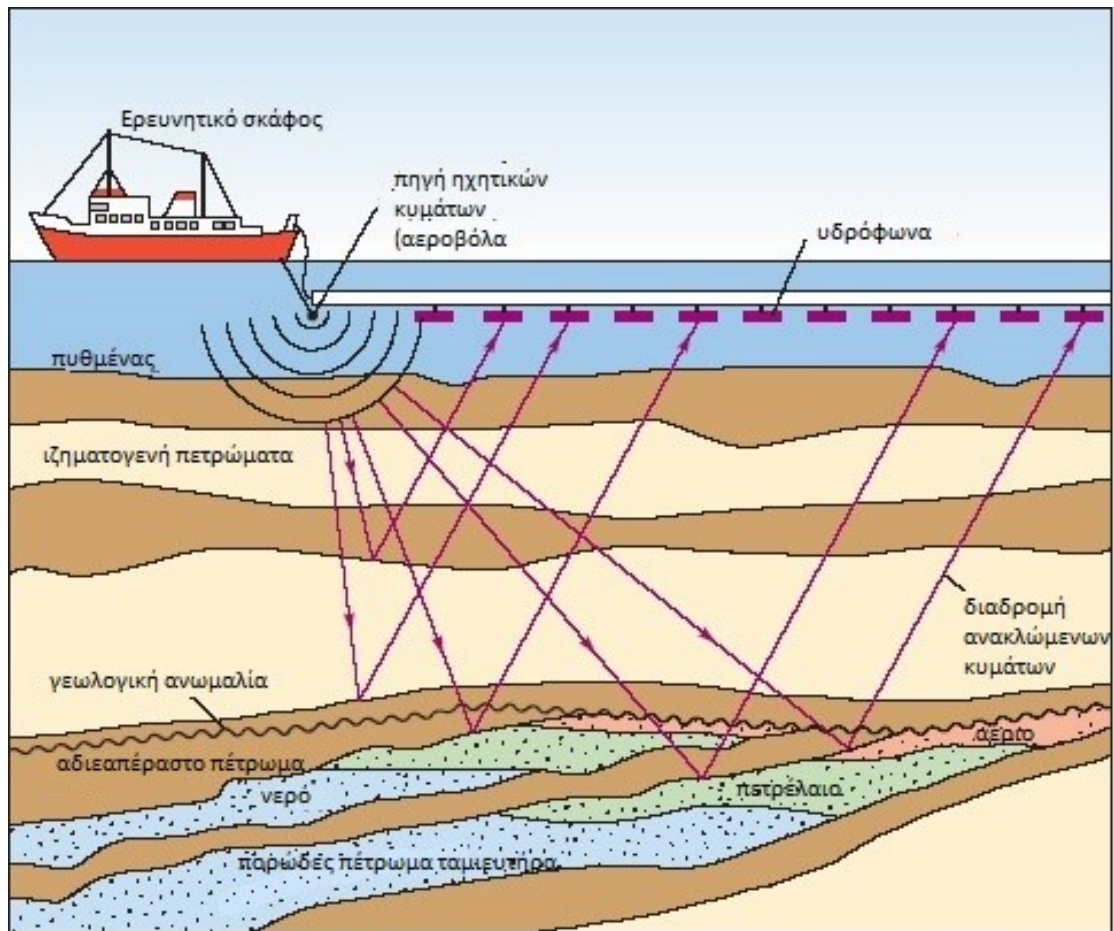
Απώτερος σκοπός των διασκοπήσεων αυτών είναι να βοηθήσει τις εταιρίες που ασχολούνται με την έρευνα και εξόρυξη υδρογονανθράκων, ώστε να εντοπίσουν και να αξιολογήσουν μελλοντικούς γεωτρητικούς στόχους όπου έχουν σημασία εκμετάλλευσης και θα οδηγήσουν στην εύρεση κοιτασμάτων πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Φυσικά, η σεισμική ανάκλαση έχει καθιερωθεί ως η πλέον πιο αξιόπιστη γεωφυσική μέθοδος αναζήτησης υδρογονανθράκων. Έχει τη δυνατότητα και χρησιμοποιείται και στο προγεωτρητικό στάδιο της αναζήτησης αλλά ακόμα και ύστερα από αυτή, συνδυασμένη με συμπληρωματικές μετρήσεις μέσα στην γεώτρηση (VSP & Logging).

Οι πληροφορίες που θα μας οδηγήσουν στην απεικόνιση της γεωλογικής δομής καθώς τον καθορισμό των πετρωμάτων, προέρχονται από τις μετρήσεις των χρόνων διαδρομής (εκπομπής και λήψης) αλλά και από άλλες ιδιότητες των ακουστικών κυμάτων που ανακλώνται, ενώ η ακρίβεια εκτίμησης των γεωλογικών σχηματισμών μπορεί να φτάσει και τα 20 μέτρα και σε βάθος μερικών χιλιομέτρων.

Οι θαλάσσιες σεισμικές έρευνες περιέχουν σχεδόν τις ίδιες διαδικασίες με τις αντίστοιχες των χερσαίων, όμως οι διαφορές εμφανίζονται αποκλειστικά σε θέματα εξοπλισμού, και το ότι στις θαλάσσιες ο εξοπλισμός βρίσκεται συνέχεια εν κινήσει, μαζί με το ερευνητικό σκάφος. Αναλυτικότερα, η πηγή των σεισμικών κυμάτων είναι σύνηθες να βρίσκεται σε συστοιχίες αεροβόλων (*airguns*) τα οποία ρυμουλκούνται πίσω από το ερευνητικό σκάφος (*survey vessel*) και βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες ή/και τον κυματισμό.

Τα αεροβόλα, ορίζονται ανά προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα να «πυροδοτούνται» και καθώς το σκάφος κινείται, ακολουθεί την προκαθορισμένη πορεία διαδρομής του ερευνητικού προγράμματος. Με τον τρόπο αυτό, τα ακουστικά κύματα που ανακλώνται κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας καταγράφονται από τις ήδη διαμορφωμένες συστοιχίες υδροφώνων, τα οποία είναι ρυμολκούνται από μεγάλου μήκους σεισμικά καλώδια (*streamers*) ουδέτερης πλευστότητας. Τα σεισμικά αυτά καλώδια πολλές φορές μπορούν να φτάσουν ακόμα και σε μήκος τα 5 μιλίων.



Εικόνα 3.2 Παράδειγμα λειτουργίας ερευνητικού σκάφους

3.2 Βασικές Αρχές Διάδοσης Ελαστικών Κυμάτων

Ο προσδιορισμός του μετώπου κύματος, δηλαδή του γεωμετρικού τύπου των σημείων στα οποία φθάνει το σεισμικό κύμα ταυτόχρονα, συμβαίνει κάνοντας χρήση απλών νόμων της φυσικής. Οι κυριότεροι από τους νόμους αυτούς, είναι η αρχή του Huygens, η αρχή του Fermat και ο νόμος του Snell (Μπραουδάκη, 2004).

3.2.1 Είδη Σεισμικών Κυμάτων

Ως σεισμικά κύματα ορίζουμε τα ελαστικά κύματα τα οποία προκαλούν ελάχιστη παραμόρφωση των πετρωμάτων κατά την διέλευσή τους διαμέσων τους. Διακρίνονται σε διαφορετικά είδη σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά διάδοσής τους, σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα κύματα χώρου και στην δεύτερη τα επιφανειακά κύματα.

Για την πρώτη κατηγορία, στα κύματα χώρου, παρατηρείται ότι η διαταραχή διαδίδεται παντού, προς όλες τις κατευθύνσεις του στερεού σώματος π.χ. της Γης, ενώ αντιθέτως, στα επιφανειακά κύματα η διαταραχή διαδίδεται μόνο σε διαχωριστικές επιφάνειες όπως η επιφάνεια της Γης. Η επιμέρους κατηγοριοποίηση για τα κύματα χώρου είναι σε διαμήκη (P) και εγκάρσια (S), όπως αναφέρονται στη συνέχεια.

Στα διαμήκη κύματα (P), τα υλικά σημεία ενός πετρώματος ταλαντώνονται παράλληλα με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, και διαδίδονται με μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτή άλλων ειδών των σεισμικών κυμάτων.

Η ταχύτητα διάδοσης των διαμηκών κυμάτων (α) εξαρτάται από τις σταθερές του Lamé, λ και μ και από τη πυκνότητα ρ :

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (3.1)$$

Στα εγκάρσια κύματα (S), η διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων είναι κάθετη προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος και η ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων (β) δίδεται από τη σχέση:

$$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3.2)$$

Τα εγκάρσια κύματα μπορούν να διαδοθούν σε οποιοδήποτε μέσο όταν παρουσιάζει έστω και μια μικρή αντίσταση στην κάμψη, δηλαδή ο συντελεστής ακαμψίας μ ή το μέτρο διατμητικής παραμόρφωσης να μην είναι μηδέν (0). Αντίθετα, στα ρευστά ισχύει ότι $\mu=0$, επομένως η ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων είναι μηδενική. Πόρισμα αυτού είναι το γεγονός ότι τα εγκάρσια κύματα δεν διαδίδονται στα ρευστά (υγρά και αέρια), ενώ τα διαμήκη μπορούν.

Σύμφωνα με τις εξισώσεις (3.1) και (3.2) προκύπτει ότι η ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων είναι μικρότερη της ταχύτητας διάδοσης των διαμηκών κυμάτων. Έτσι, λαμβάνουν και την ονομασία τους S (Secundus) αφού φθάνουν σε ορισμένο σταθμό μετά τα διαμήκη κύματα. Τις περισσότερες φορές το διάνυσμα της μετατόπισης των υλικών σημείων κατά τη διάδοση εγκάρσιων κυμάτων μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες. Την οριζόντια και την κατακόρυφη. Η οριζόντια συνιστώσα συμβολίζεται με το SH, ενώ η κατακόρυφη με το SV.

Στη μέθοδο σεισμικής ανάκλασης μελετούμε κυρίως τα ανακλώμενα κύματα P. Συχνά στις καταγραφές των γεωφώνων παρατηρείται η εμφάνιση και των επιφανειακών κυμάτων. Στην επιφάνεια της Γης διαδίδονται τα κύματα Rayleigh, Love και ψευδο-Rayleigh, με κυριότερο χαρακτηριστικό τους, να ελαττώνεται το πλάτος τους όσο το περισσότερο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης. Πρακτικά, σε μια απόσταση λ από την διαχωριστική επιφάνεια, όπου λ το μήκος κύματος, το πλάτος του επιφανειακού κύματος μηδενίζεται.

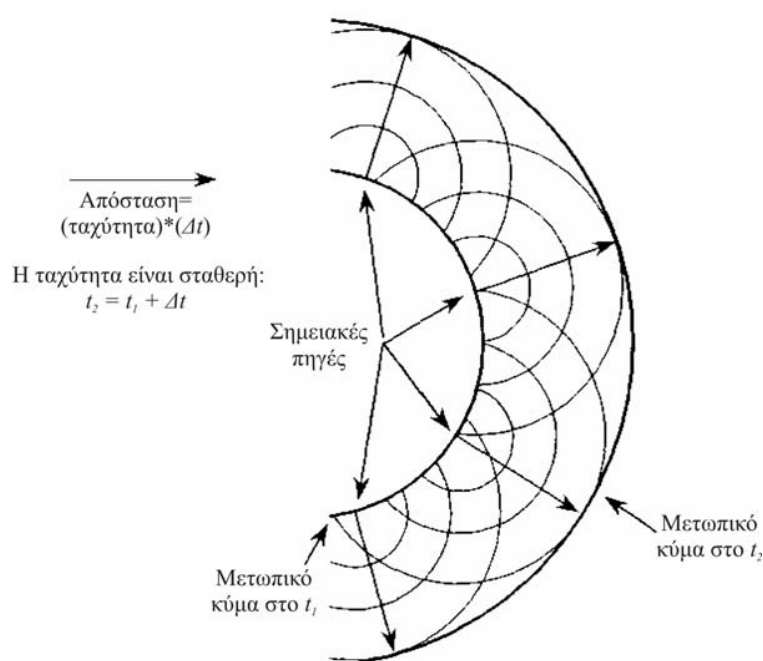
3.2.2 Διάδοση σεισμικών κυμάτων - Ορισμοί

Σημαντική είναι η χρήση και συμβολή αρχών της κυματικής Φυσικής, για να μπορεί να προσδιοριστεί ορθά το μέτωπο κύματος. Οι αρχές αυτές περιγράφονται στη συνέχεια ως εξής: Αρχή του Huygens, Αρχή του Fermat και Νόμος του Snell.

Αρχή του Huygens

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, κάθε σημείο του μετώπου κύματος της επιφάνειας, δηλαδή εκεί όπου τα υλικά σημεία ταλαντώνονται έχοντας την ίδια φάση, αποτελεί μια δευτερεύουσα πηγή παραγωγής σεισμικών κυμάτων. Η αρχή αυτή περιγράφει τη θέση του μετώπου κύματος για κάθε χρονική στιγμή, χωρίς όμως να εξηγεί το φαινόμενο της περίθλασης των σεισμικών κυμάτων κατά την παρουσία ανώμαλων διαχωριστικών επιφανειών, όπως για παράδειγμα τα ρήγματα.

Ο C. Huygens (1629-1695) διατύπωσε μια πρωτότυπη αρχή, της θεωρίας του για το φως. Η αρχή αυτή αναφέρει ότι όλα τα σημεία ενός μετώπου σεισμικού κύματος μπορούν να θεωρηθούν ως σημειακές πηγές για τη γένεση νέων σφαιρικών δευτερογενών κυμάτων. Μετά από χρόνο t , η νέα θέση του μετώπου σεισμικού κύματος θα είναι η εφαπτομενική επιφάνεια (περιβάλλουσα) όλων αυτών των σφαιρικών κυμάτων. Για απλοποίηση του παραδείγματος θεωρούμε ότι η ταχύτητα διάδοσης είναι σταθερή σε όλο το μέσο. Στη συνέχεια διαλέγουμε λίγα διάσπαρτα σημεία ως σημειακές πηγές στο αρχικό μέτωπο του κύματος και υπολογίζουμε την ακτίνα του δευτερογενούς κύματος, βασιζόμενοι στη ταχύτητα του μέσου και θεωρώντας ένα χρονικό διάστημα, Δt . Ακολουθώντας χαράσσουμε τα δευτερογενή κύματα και την περιβάλλουσα όλων αυτών. Έτσι, παράγεται το νέο μέτωπο του κύματος κατά τη χρονική στιγμή t_2 (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3 Εφαρμογή της αρχής Huygens για τον προσδιορισμό της θέσης του μετώπου κύματος τη χρονική στιγμή t_2 , μετά τη μεσολάβηση του χρονικού διαστήματος Δt . Για μια δεδομένη θέση του μετώπου κύματος κατά τη χρονική στιγμή t_1 και εφαρμόζοντας την αρχή Huygens, μπορεί να προσδιορισθεί η θέση του μετώπου κύματος κατά τη χρονική στιγμή t_2 .

Αρχή του Fermat

Η αρχή αυτή ορίζει ότι “το κύμα το οποίο φθάνει σε ορισμένο δέκτη από ορισμένη πηγή, ακολουθεί το συντομότερο από τους δρόμους που είναι δυνατό να ακολουθήσει, δηλαδή αυτόν που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο”. Έτσι, γίνεται δυνατή η χάραξη των σεισμικών ακτινών σε ελαστικό μέσο όπου είναι γνωστή η κατανομή ταχύτητας διάδοσης των ελαστικών κυμάτων.

Χρησιμοποιώντας την αρχή Fermat προκύπτει ότι η τροχιά ή ακτίνα θα πρέπει να βρίσκεται σε ευθεία γραμμή σε ένα μέσο και με σταθερή ταχύτητα. Εφόσον δηλαδή η ευθεία γραμμή είναι η ελάχιστη δυνατή απόσταση μεταξύ δύο σημείων, και αφού η

ταχύτητα παραμένει σταθερή, η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων είναι αντίστοιχα αυτή όπου και ο χρόνος διάδοσης είναι ο ελάχιστος.

Νόμος του Snell

Σύμφωνα με τον νόμο του Snell, όταν ένα κύμα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, τότε τα σημεία της αντίστοιχης επιφάνειας μετατρέπονται σε εστίες ανακλώμενων και διαθλώμενων κυμάτων. Ο ακόλουθος νόμος θεμελιώνει ότι “ο λόγος των ημιτόνων των γωνιών που σχηματίζουν οι σεισμικές ακτίνες με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, είναι ίσος με το λόγο των αντίστοιχων ταχυτήτων διάδοσης των κυμάτων”.

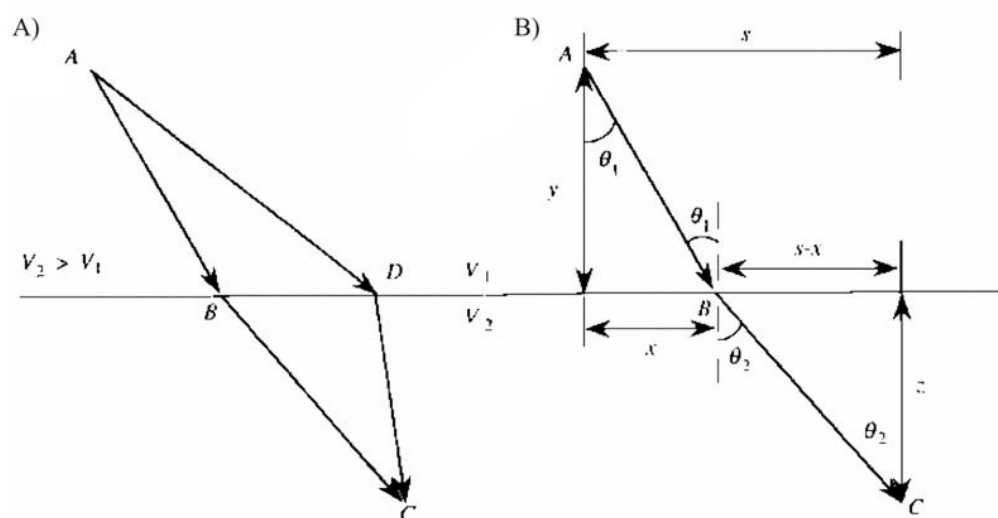
Η σχέση $\frac{\eta\mu\theta_i}{\eta\mu\theta_r} = \frac{V_i}{V_r}$ συνήθως αναφέρεται ως νόμος Snell και είναι αναγκαίος στην εξαγωγή άλλων εκφράσεων στις μεθόδους ανάκλασης και διάθλασης. Έτσι, ο νόμος Snell συνήθως γράφεται ως $\frac{\eta\mu\theta_i}{\eta\mu\theta_r} = \frac{V_i}{V_r}$,

Όπου:

i: η γωνία πρόσπτωσης και

r: τη γωνία διάθλασης.

Επειδή οι ακτινικές τροχιές περιορίζονται στο V_i στην ανάκλαση, ο νόμος Snell μπορεί να απλοποιηθεί ως $\eta\mu\theta_i = \eta\mu\theta_{\text{ανάκλαση}}$.



Εικόνα 3.4 Απεικόνιση Νόμος Snell

Ένα P-κύμα προσπίπτει σε μια επιφάνεια που διαχωρίζει υλικά με διαφορετικές σεισμικές ταχύτητες, δημιουργεί μια διαταραχή η οποία παράγει ένα ανακλώμενο P-κύμα και ένα ανακλώμενο S-κύμα καθώς και ένα διαθλώμενο P-κύμα και ένα S-κύμα (Εικόνα 3.4 β). Ο νόμος Snell εφαρμόζεται και στις γωνίες διάθλασης και ανάκλασης των S-κυμάτων. Η μόνη ρύθμιση που απαιτείται είναι η αντικατάσταση της κατάλληλης ταχύτητας του S-κύματος. Για παράδειγμα, η γωνία διάθλασης για το S-κύμα (θ_{rfrs} στην Εικόνα 3.4δ) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{\eta\mu\theta_{ip}}{\eta\mu\theta_{rfrs}} = \frac{V_{ip}}{V_{2s}} \quad (3.3)$$

3.2.2.1 Εξασθένιση ελαστικών κυμάτων λόγω απόστασης

Κατά την επαφή των ελαστικών κυμάτων με τις διαχωριστικές επιφάνειες τα πλάτη τους ελαττώνονται σε σχέση με την απόσταση από την πηγή, υφίστανται δηλαδή το φαινόμενο της εξασθένισης (attenuation) η οποία με τη σειρά της διακρίνεται σε 2 επιμέρους τμήματα, την γεωμετρική διασπορά και την απόσβεση (absorption), με την δεύτερη να πραγματοποιείται εξαιτίας της μετατροπής μέρους της ενέργειάς τους σε θερμότητα. Ειδικά η απόσβεση, εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης, εν αντιθέσει της γεωμετρικής διασποράς, που είναι ανεξάρτητη.

Επίσης, το πλάτος των σεισμικών κυμάτων στη διάδοση πολυστρωματικών μέσων, είναι σαφώς άμεσα συνδεδεμένο από τον πλήθος των διαχωριστικών επιφανειών που συναντώνται, και των συντελεστών ανάκλασης και διάθλασης. Παράλληλα, σημαντικές παράμετροι είναι ακόμα η γωνία πρόσπτωσης, οι πυκνότητες των στρωμάτων, και ως αποτέλεσμα και οι ταχύτητες που διαμορφώνονται σε αυτά. Όταν η απόσταση από την πηγή (r) αυξάνεται τότε μειώνεται το πλάτος και αντίστροφα. Δηλαδή το πλάτος των σεισμικών κυμάτων αποκτά αντιστρόφως ανάλογη σχέση με την απόσταση, καθώς αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η ολική ενέργεια κατανέμεται σε επιφάνεια (γεωμετρική διασπορά).

Αποδεικνύεται, επίσης, ότι λόγω της γεωμετρικής διασποράς, η ένταση του κύματος μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης την οποία έχει διανύσει το κύμα. Παριστάνονται ως I_0 να είναι η ένταση κοντά στην πηγή του κύματος και I η ένταση σε απόσταση r απ' αυτήν ισχύει ότι:

$$I = I_0 e^{-qr} \quad (3.4)$$

Ως ο κύριος λόγος για τον οποίο τα ελαστικά κύματα υψηλής συχνότητας αποσβένονται περισσότερο με την απόσταση, ορίζεται ο συντελεστής απόσβεσης ή συντελεστής q , καθώς αυξάνεται με τη συχνότητα του κύματος ενώ σε πρώτη προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ανάλογος αυτής.

3.3 Μέθοδος Σεισμικής Ανάκλασης

Με τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης ορίζουμε το φαινόμενο της αλλαγής διεύθυνσης διάδοσης μετώπου κύματος, μέσα στο ίδιο μέσο, από μια διαχωριστική επιφάνεια.

Η κυρίαρχη σημασία της, οφείλεται στο γεγονός ότι επιτυγχάνεται τέτοιου είδους χαρτογράφηση των επιφανειών ασυνέχειας, σχεδόν ταυτόσημη με την ίδια ακρίβεια με την οποία καθορίζεται η δομή από δεδομένα γεωτρήσεων. Επιπρόσθετα, όταν πρόκειται για χαρτογράφηση δομών σε μεγάλο βάθος, δεν απαιτείται μεγάλη απόσταση μεταξύ των υδροφώνων και δεν επηρεάζονται οι μετρήσεις από τη χαμηλή σεισμική ταχύτητα χαμηλότερων στρωμάτων. Αυτό κατορθώνεται με την ίδια περίπου ακρίβεια με την οποία χαρτογραφούνται οι επιφανειακές δομές. (Μπραουδάκη, 2004)

Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιείται λόγω των εξής πλεονεκτημάτων, ότι οι σεισμικές καταγραφές συλλέγονται σε μικρές αποστάσεις πηγής- δέκτη, ότι λειτουργεί ανεξάρτητα της μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης της κίνησης με το βάθος, καθώς και ότι οι σεισμικές καταγραφές ερμηνεύονται πιο άμεσα

όσον αφορά την πολυπλοκότητα της γεωλογίας. Τέλος, οι σεισμικές παρατηρήσεις, χρησιμοποιούν ολόκληρο το χρονικό της εδαφικής κίνησης στις διάφορες αποστάσεις της πηγής και του δέκτη, δηλαδή όλη την ανακλώμενη κυματομορφή.

3.4 Σεισμικές πηγές και δέκτες

Στις σεισμικές μεθόδους, σημαντικά εργαλεία είναι ο βασικός εξοπλισμός που πρέπει να διαθέτουμε, ανάλογα με το τοπίο και την περίσταση κάθε μελέτης, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις και οι μετέπειτα επεξεργασία. Σύμφωνα με την παρούσα Διπλωματική εργασία, το αντικείμενο μελέτης εστιάζεται στις θαλάσσιες διασκοπήσεις, με τον αντίστοιχο εξοπλισμό.

Τα απαραίτητα όργανα για την πραγματοποίηση διασκόπησης με τη μέθοδο σεισμικής ανάκλασης είναι η σεισμική πηγή, οι δέκτες (γεώφωνα, υδρόφωνα κτλ) και το καταγραφικό. Ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στην υπό μελέτη περιοχή (ξηρά, θάλασσα κλπ) και τον επιδιωκόμενο σκοπό (βαθιά ή επιφανειακή διασκόπηση) έχουν αναπτυχθεί κατάλληλα όργανα. Τα τεχνητά παραγόμενα σεισμικά κύματα αναγράφονται από όργανα ευαίσθητα στις εδαφικές κινήσεις (δέκτες). Τα σήματα από τους δέκτες ενισχύονται, ψηφιοποιούνται και μεταφέρονται σε μαγνητικό μέσο (ψηφιακός καταγραφέας).

3.4.1 Σεισμικές Πηγές

Οι σεισμικές πηγές διακρίνονται σε δυο κατηγορίες οι οποίες αφορούν τα 2 διαφορετικά περιβάλλοντα, της ξηράς, και της θάλασσας. Ως κυριότερες πηγές θεωρούμε είτε τις εκρήξεις με τη βοήθεια δυναμίτη, είτε τα απλά μηχανικά χτυπήματα. Οι εκρήξεις με δυναμίτη είχαν εδραιωθεί ως αποκλειστικές σεισμικές πηγές έως και τη δεκαετία 1950. Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο, καταφέρνουν και παράγονται διαμήκη και εγκάρσια κύματα υψηλής ενέργειας, όπου η σύζευξη της πηγής-εδάφους επιτυγχάνεται με τη τοποθέτηση του εκρηκτικού υλικού μέσα σε ρηχές γεωτρήσεις. Επιπρόσθετα, πρόκειται για μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία όπου φυσικά απαιτείται ειδική άδεια, αλλά και έμπειρος πυροτεχνουργός, για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν οι εκρηκτικές ύλες.

Για τις θαλάσσιες διασκοπήσεις όπως έχει ήδη αναφερθεί ειδικά για τις έρευνες μικρού βάθους εξελίχθηκαν περισσότερο τα όπλα αερίων. Κατά τις πρώτες χρήσεις της μεθόδου, χρησιμοποιήθηκε απλά μείγμα προπανίου και οξυγόνου όπου και εκτονωνόταν στην οροφή ενός ελαφρώς βυθισμένου σωλήνα, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα ωστικού κύματος που θα διαδιδόταν στο σωλήνα και μετέπειτα στο νερό. Όμως, λόγω του μεγάλου κόστους και δυσκολίας στην μεταφορά των μειγμάτων, το οξυγόνο κατέληξε να αντικατασταθεί από απλώς πεπιεσμένο αέρα, όπου και τελικώς χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά μόνο αέρας.

Ακολούθησε η χρήση μικρών εκρηκτικών πηγών της τάξης των 0.2Kg, στις οποίες η γόμωση εκρήγνυται σε διάτρητο θαλαμίσκο από χυτοσίδηρο. Η διαδικασία αυτή, εξαναγκάζει τα αέρια που παράγονται, σε τυρβώδη ροή μέσω διατρήσεων του θαλαμίσκου, καθώς οδηγεί στην εξαλείψη του φαινομένου της φυσαλίδας (Flexotir). Το φαινόμενο αυτό αποτελεί ένα από τα κυριότερα προβλήματα στις θαλάσσιες διασκοπήσεις, με την παρουσία δευτερευόντων παλμών που προκαλούνται από την ταλάντωση της φυσαλίδας αερίου μέσα στο νερό (Cole, 1948). Συγκεκριμένα, η

περίοδος ταλάντωσης της φουσαλίδας ελαττώνεται όσο μεγαλώνει το βάθος και αντίστοιχα αυξάνει όσο αυξάνει ο όγκος του αέρα και η πίεση (Sengbush, 1983). Δίνεται από την εξίσωση των Rayleigh- Willis:

$$T = \frac{[K(PV)^{1/3}]}{(D + 10)^{5/6}} \quad (3.5)$$

Όπου:

P: πίεση

V: όγκος του θαλάμου

D: βάθος σε μέτρα

K: σταθερά ασυμπίεστότητας

Επιπλέον χρήσεις σεισμικών πηγών για τις θαλάσσιες διασκοπήσεις είναι το water gun (υδροβόλο), το Sparker (ηλεκτρικός εκκενωτής), το ringer (βυθόμετρο) κ.α. Χαρακτηριστικά, το water gun ρίχνει νερό με μεγάλη ταχύτητα χωρίς την δημιουργία του φαινομένου της φουσαλίδας, ενώ το Sparker αποφέρει αποτελέσματα υψηλής ανάλυσης στις διασκοπήσεις, μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια σε ακουστικά κύματα, μέσω της απότομης και απευθείας εκφόρτισης ενός πυκνωτή με μεγάλη χωρητικότητα. Στην περίπτωση αυτή, καθώς ελαττώνεται η συχνότητα της πηγής αυξάνεται η ικανότητα του σήματος, το οποίο στη συνέχεια φθάνει σε ακόμα μεγαλύτερα βάθη. Στις σύγχρονες διασκοπήσεις, οι πιο διαδεδομένες σεισμικές πηγές είναι το Vibrosis και το Air-gun τα οποία περιγράφονται στα παρακάτω κεφάλαια.

Στη ξηρά, αναφέρθηκαν επίσης και η χρήση απλών μηχανικών χτύπων ως πηγή. Πλεονέκτημά τους είναι ότι δεν προκαλούν βλάβες, και δεν απαιτούν την διάνοιξη ρηχών γεωτρήσεων, αφού δημιουργούνται κατά τη πτώση βάρους από ύψος 3 μέτρων, κάτι που το κάνει να χρησιμοποιείται ακόμη και σε κατοικημένες περιοχές, χωρίς καμία περιβαλλοντική καταστροφή.

Ο υδραυλικός δονητής (Vibroseis) είναι η πιο διαδεδομένη σεισμική πηγή, και αποτελείται από μια χαλύβδινη πλάκα και ένα υδραυλικό σύστημα παραγωγής ταλαντώσεων. Πρόκειται για μια οριζόντια πλάκα στην κάτω επιφάνεια του θαλάμου, όπου βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος. Αναλυτικότερα, το Vibroseis δημιουργεί περιοδικά χτυπήματα μικρού πλάτους με αυξανόμενη συχνότητα από 6-50 Hz. Τα σειсмоγράμματα εμφανίζονται να είναι πολύπλοκα λόγω της μεγάλης διάρκειας της κυματομορφής του Vibroseis (περίπου 7s), ενώ στη συνέχεια όταν θα γίνει η αναγκαία συσχέτιση των σημάτων με την κυματομορφή της πηγής, απαλλάσσονται από το μεγάλης διάρκειας σήμα της πηγής.

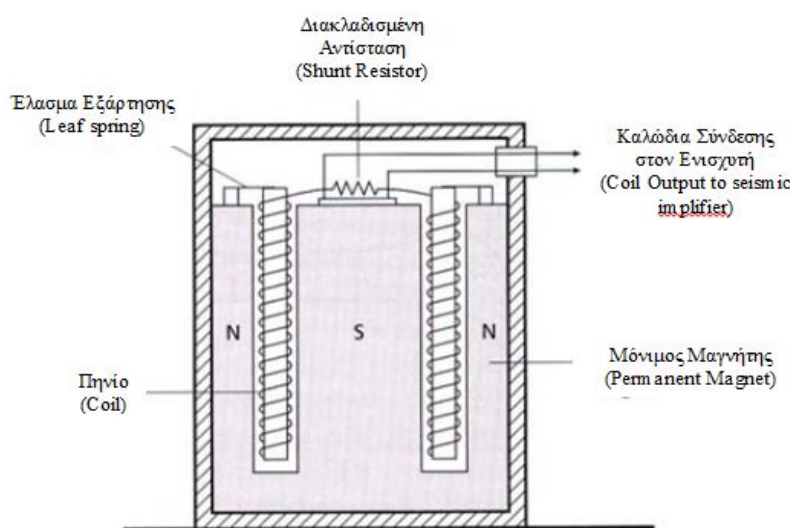
3.4.2 Χερσαίες διασκοπήσεις

Γεώφωνα

Σε χερσαίες διασκοπήσεις η εδαφική κίνηση γίνεται αισθητή από το γεώφωνο, που μετατρέπει τις μηχανικές διακυμάνσεις σε ηλεκτρικές, αναπαράγει δηλαδή τη μορφή τους σε ηλεκτρικό σήμα, κάνοντας το ευαίσθητο σε υψηλότερες συχνότητες ταλάντωσης από ένα σεισμόμετρο. Είναι ένα όργανο - αισθητήρας ελαστικών

κυμάτων στη σεισμική διασκόπηση, με πιο διαδεδομένα, αυτά της κατακόρυφης συνιστώσας.

Η αρχή λειτουργίας αυτού του οργάνου επιγράφεται στην Εικόνα 3.5, και αποτελείται από ένα μαγνήτη που είναι σταθερά συνδεδεμένος στο περίβλημα του οργάνου και το πηνίο. Αντίστοιχα, το πηνίο είναι κι αυτό συνδεδεμένο με το περίβλημα του οργάνου με ένα έλασμα, το οποίο μπορεί και ταλαντώνεται ελεύθερα μέσα στο μαγνητικό πεδίο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Κατά την άφιξη των σεισμικών κυμάτων στο γεώφωνο, ο μαγνήτης πραγματοποιεί ακριβώς την ίδια ταλάντωση με το έδαφος, ενώ το πηνίο με τη σειρά του πραγματοποιεί διαφορετική ταλάντωση λόγω της μη στερεάς σύνδεσής του με το περίβλημα.



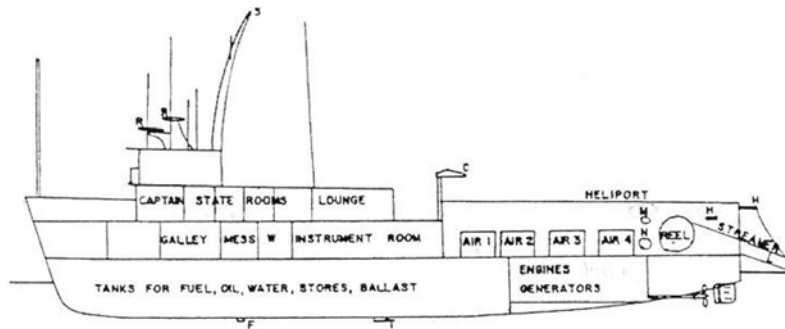
Εικόνα 3.5 Γεώφωνο

Αποτέλεσμα αυτής της διαφορετικής κίνησης, είναι να οδηγεί στην μεταβολή της μαγνητικής ροής που προκαλεί διαφορά δυναμικού στα άκρα του πηνίου. Έτσι, η τάση στα άκρα του πηνίου εξαρτάται από τη ταχύτητα μετατόπισης του εδάφους.

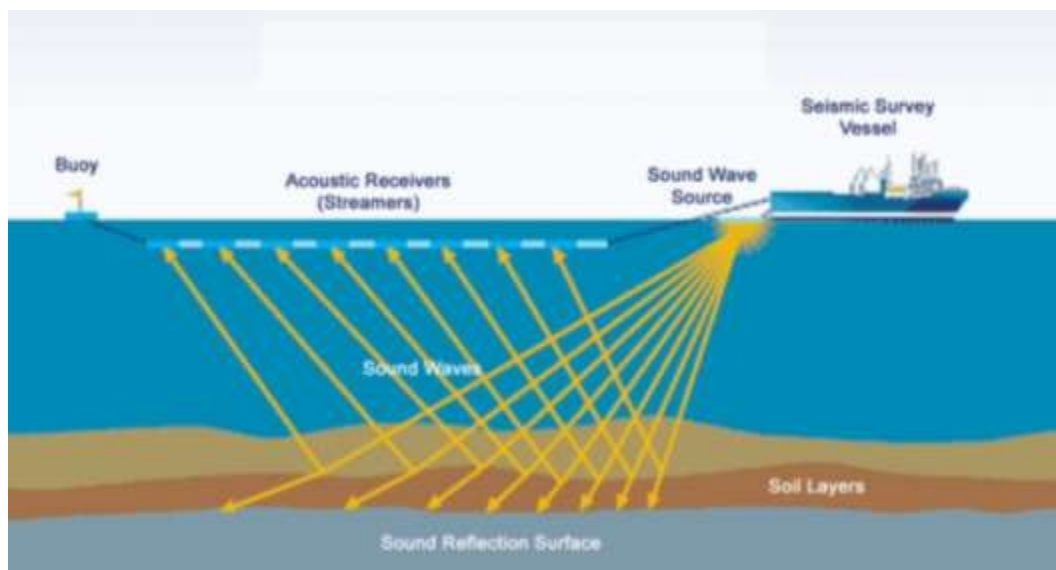
3.4.3 Θαλάσσιες Σεισμικές Έρευνες

Ένα χαρακτηριστικό πλοίο για θαλάσσιες σεισμικές έρευνες φαίνεται στην Εικόνα 3.6. Με το πλοίο να έχει τη δυνατότητα να ρυμουλκήσει καλώδιο με ενσωματωμένα υδρόφωνα (ανιχνευτές σεισμικών κυμάτων) μήκους έως και τα 3 km.

Ως πηγή χρησιμοποιείται το airgun (αεροβόλο) και η παραγόμενη κυματομορφή πρέπει να είναι μικρής χρονικής διάρκειας για να προκύψουν τα βέλτιστα αποτελέσματα. Αεροσυμπιεστές παρέχουν αέρα υψηλής πίεσης της τάξεως των 10-15MPa, με κυριότερο πλεονέκτημα της διάταξης αυτής να είναι η διατήρηση της σταθερής απόστασης, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, πηγής-υδροφώνων.



Εικόνα 3.6 Πλοίο θαλασσιών σεισμικών ερευνών (Sheriff, 1978)



Εικόνα 3.7 Σχηματική αναπαράσταση θαλάσσιας σεισμικής διασκόπησης (Μούχου, 2004)

Τα όργανα του πλοίου που λαμβάνουν βοηθητικά δεδομένα είναι τα εξής:

- Όργανα εντοπισμού θέσης πλοίου,
- Κεραία λήψης σημάτων και παρακολούθησης δορυφόρων,
- Όργανα GPS,
- Βυθόμετρα,
- Γυροσκοπικές πυξίδες,
- Ραντάρ,
- Συσκευές ραδιοεπικοινωνίας.

Τα παραπάνω όργανα είναι πολύ σημαντικά καθώς αποσκοπούν στις καταγραφές προσανατολισμού του καλωδίου και έχουν να κάνουν με το προσδιορισμό θέσης του σκάφους και της πηγής. Μέσω των δεδομένων αυτών μπορούν και υπολογίζονται οι ακριβείς συντεταγμένες του καλωδίου και κατ' επέκταση των υδρωφώνων. Η ίδια διαδικασία επιτρέπει ακόμα την απόρριψη μη κανονικών μετρήσεων, αφού ακολουθείται και έλεγχος ποιότητας.

Αεροβόλο (Airgun)

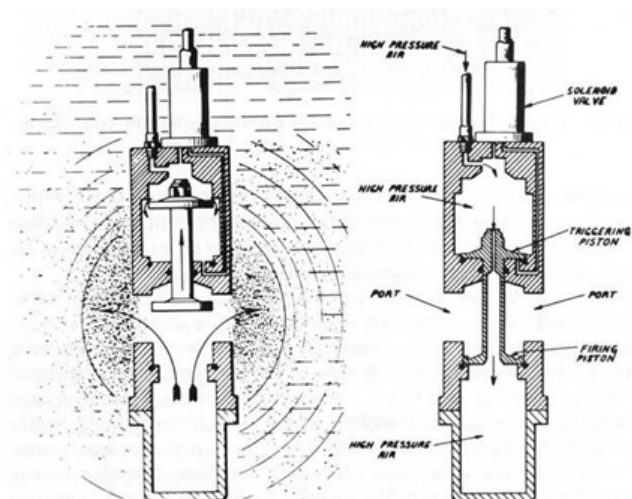
Άλλη μία σεισμική πηγή η οποία χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στις θαλάσσιες διασκοπήσεις αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε βαθιές γεωτρήσεις είναι το air-gun (αεροβόλο).

Τα αεροβόλα αποτελούν τις πιο συνηθισμένες θαλάσσιες σεισμικές πηγές. Αναλυτικότερα, αποτελούνται από δυο δοχεία υψηλής πίεσης, που συνδέονται με ένα κινούμενο έμβολο. Αρχικά, διοχετεύεται στο δοχείο (Α) κατά τη διάρκεια του κύκλου φόρτισης, αέρας υψηλής πίεσης (2000psi) και δια μέσου οπής που υπάρχει στο στέλεχος του εμβόλου, εισέρχεται στο δοχείο (Β). Στη συνέχεια, ανοίγει μια σωληνοειδής βαλβίδα με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού παλμού που διοχετεύει αέρα μεγάλης πίεσης κάτω από την πάνω επιφάνεια του εμβόλου, προκαλώντας την προς τα πάνω κίνηση του και την απότομη διαφυγή του αέρα, που βρίσκεται στο κάτω δοχείο, στο νερό. Ακολούθως η πίεση που υπάρχει στο δοχείο Α ωθεί το έμβολο στην κατώτερη θέση και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. (Αποστολόπουλος, 2013)

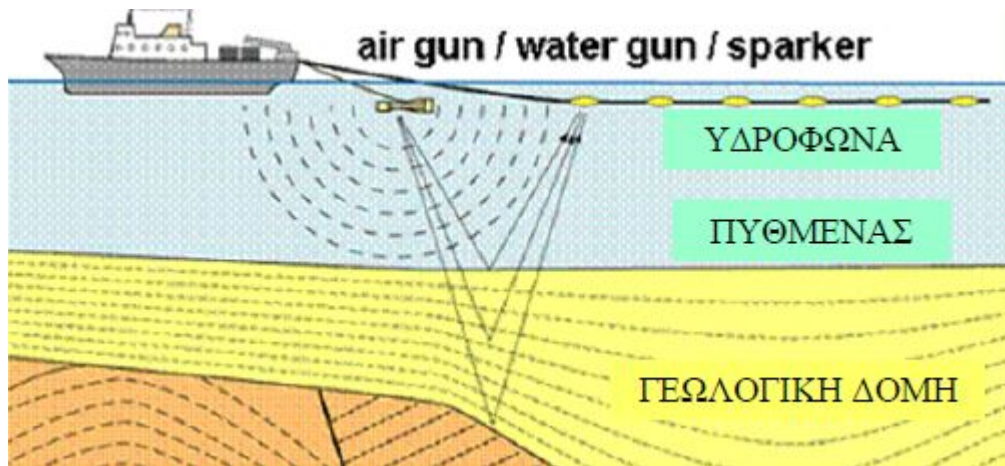
Κατά την απελευθέρωση του αέρα από το air-gun δημιουργείται φυσαλίδα υψηλής πίεσης, όπου κατά την ταλάντωσή της, αυξάνει συνεχώς τη χρονική διάρκεια του σήματος. Τις περισσότερες φορές γίνεται χρήση περισσοτέρων air-gun, με σκοπό την μείωση της επίδρασης της φυσαλίδας. Θεωρείται μια περιβαλλοντικά φιλική μέθοδος με καλή επαναληπτικότητα, ενώ το κόστος αγοράς της είναι υψηλό.

Στην Εικόνα 3.8. φαίνεται χαρακτηριστικά ο τρόπος λειτουργίας του, με το δεξί μέρος της εικόνας να αποτυπώνει το όπλο πριν την ενεργοποίηση. Ο ανώτερος θάλαμος ελέγχου εφοδιάζεται με αέρα υψηλής πίεσης από τον αεροσυμπιεστή του πλοίου που στην συνέχεια εξέρχεται προς τον κατώτερο θάλαμο πυροδότησης. Στο αριστερό μέρος της εικόνας, το όπλο βρίσκεται σε σημείο εκπυρσοκρότησης. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό είναι μέσω ηλεκτρικής ενεργοποίησης της σωληνοειδής βαλβίδας όπου αφήνει τη φυσαλίδα αέρα να απελευθερωθεί, παράγοντας έναν παλμό, το μέγεθός του οποίου εξαρτάται από το μέγεθος του όπλου.

Εν αντιθέσει με τους παλμούς φυσαλίδας οι οποίοι δημιουργούνται από τις χημικές εκρήξεις όπου η περίοδος ταλάντωσής τους μειώνεται προοδευτικά, στην περίπτωση του του airgun η περίοδος ταλάντωσης παραμένει σχεδόν σταθερή και αμετάβλητη.



Εικόνα 3.8 Σχηματική παράσταση του Airgun (αεροσυμπιεστή) (Fitch, 1983)



Εικόνα 3.9 Σχηματική παράσταση του Airgun (αεροσυμπιεστή)

Υδρόφωνα

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

Τα υδρόφωνα τοποθετούνται σε θαλάμους πλαστικού κυλινδρικού καλωδίου (streamers) και είναι συνήθως πιεζοηλεκτρικού τύπου. Η ασκούμενη πίεση στο πιεζοηλεκτρικό υλικό μετατρέπεται σε ηλεκτρική τάση και τα σήματα από τα όργανα ενισχύονται με τη επιρροή ενός σειсмоγράφου. Στη συνέχεια, ψηφιοποιούνται και καταγράφονται σε ένα ψηφιακός καταγραφέας κίνησης.

Η σεισμική πηγή τοποθετείται στο άκρο της διάταξης των υδροφώνων (απλή συνεχής διάταξη). Μετατοπίζοντας την διάταξη πηγής- υδροφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης και καταγράφοντας τα ανακλώμενα σεισμικά κύματα εξασφαλίζεται πολλαπλή κάλυψη της επιφάνειας ανάκλασης και λεπτομερής εικόνα για τη δομή του υπεδάφους.

Συχνά αναφέρεται ο όρος υπεδαφική κάλυψη (fold) και είναι ο αριθμός των σεισμικών ιχνών από το ίδιο σημείο του ανακλαστήρα (κοινό σημείο βάθους). Η συγκεκριμένη παράμετρος είναι από τις σημαντικότερες στην σεισμική ανάκλαση και δίνεται από την σχέση:

$$Fold = \min\{\text{Αριθμός Πηγών}, (NC/2) \times (\Delta x / \Delta s)\} \quad (3.6)$$

Όπου :

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

a) Ισαπόσταση Ομάδων Γεωφώνων

Για να καθοριστεί η ισαπόσταση των υδροφώνων χρειάζονται ο αριθμός των απαιτούμενων υδροφώνων, καθώς και το μήκος της γραμμής μελέτης. Για την αποφυγή αναξιόπιστων καταγραφών από την αναδίπλωση συχνοτήτων, ορίζεται η μέγιστη δυνατή ισαπόσταση των ομάδων υδροφώνων (GM). Η μέγιστη ισαπόσταση καθορίζεται με βάση τον αριθμό των καναλιών NC που διαθέτει το όργανο καταγραφής και δίνεται από τη σχέση:

$$G_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{NC - 1} \quad (3.7)$$

Όπου H_{max} , H_{min} η μέγιστη και ελάχιστη οριζόντια απόσταση της πηγής-υδροφώνων

Οποιαδήποτε τιμή μικρότερη απ' αυτήν που δίνει η παραπάνω σχέση θεωρείται ικανοποιητική. Η ελάχιστη απόσταση υδροφώνων σε μία γραμμική διάταξη καθορίζεται κυρίως από τον περιβάλλοντα θόρυβο και κάποιες φορές από το θόρυβο που προκαλεί η πηγή (Γεωργιλιά, 1998).

3.4.4 Πραγματοποίηση Μετρήσεων

Η διάταξη κοινής πηγής αποτελείται από σεισμικά ίχνη λόγω της εκτόνωσης μιας πηγής και της μετέπειτα καταγραφής των δονήσεων από πολλαπλούς δέκτες. Όπως φαίνεται και παρακάτω, η τοποθέτηση της πηγής και όλων των υδροφώνων φυσικά και γίνεται κατά μήκος ευθείας μελέτης (Εικόνα 3.10).

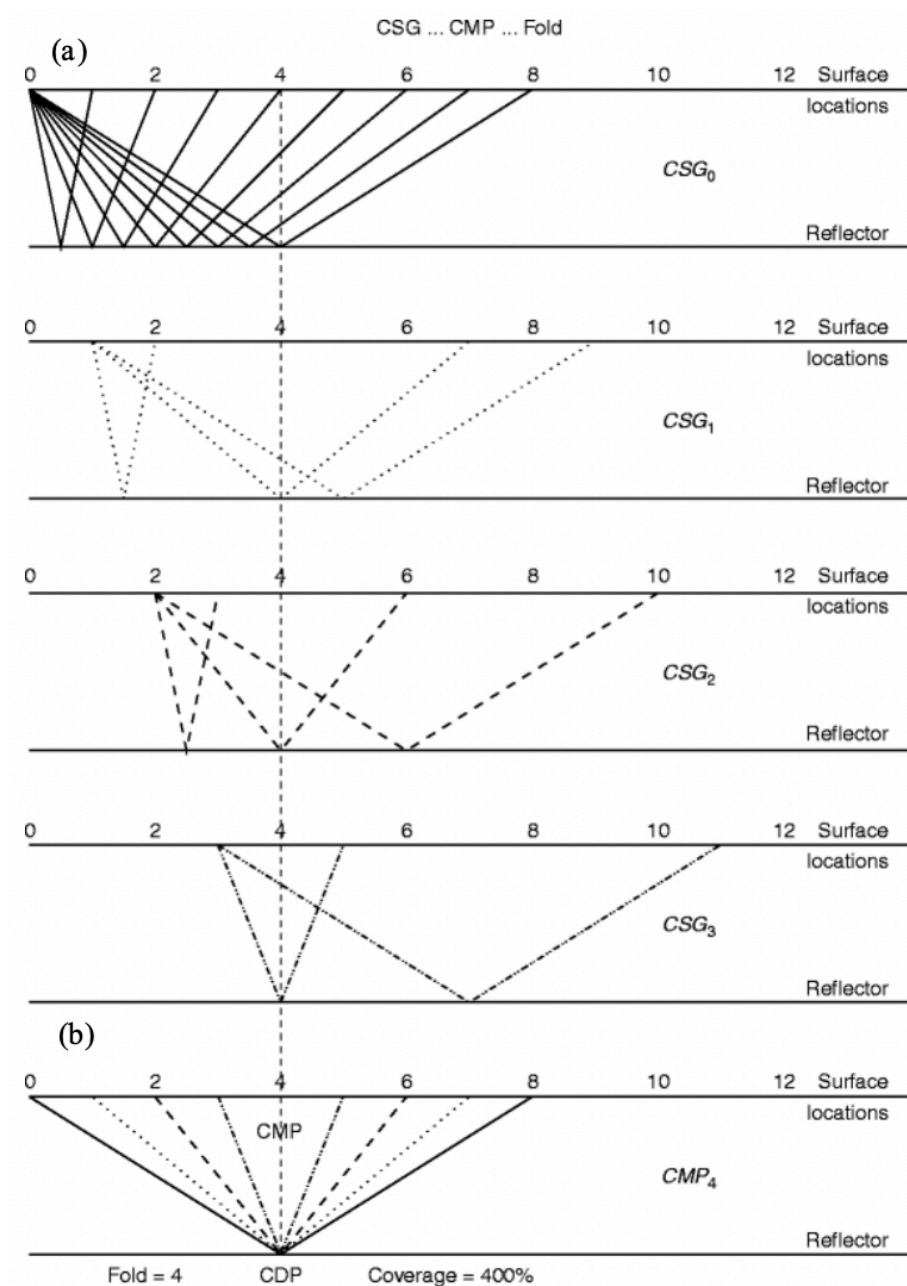


Εικόνα 3.10 Σχηματική παράσταση διαφόρων διατάξεων πηγής - δέκτη

Έπειτα της ολοκλήρωσης της αρχικής καταγραφής, η διάταξη του αναπτύγματος πηγής και υδροφώνων μετατοπίζεται κατά μήκος της γραμμής και το επόμενο σήμα της πηγής καταγράφεται στις καινούριες θέσεις των υδροφώνων. Στη θάλασσα η μετακίνηση της διάταξης πραγματοποιείται τραβώντας αυτή πίσω από το πλοίο. Ο τρόπος συλλογής των δεδομένων φαίνεται στην Εικόνα 3.11 α.

Η ακτίνα 2 από την πηγή Α, η ακτίνα 4 από την πηγή Β και η ακτίνα 6 από την πηγή C αποτυπώνουν το ίδιο σημείο. Για τις περιπτώσεις όπου ο ανακλαστήρας είναι οριζόντιος, το σημείο εκείνο του υπεδάφους θα βρίσκεται ακριβώς κάτω από ένα σημείο της επιφάνειας γύρω από το οποίο τα τρία ζευγάρια πηγής - υδροφώνων

είναι συμμετρικά κατανεμημένα (Εικόνα 3.11 β). Το σημείο αυτό στην επιφάνεια αποκαλείται ως “κοινό ενδιάμεσο σημείο” και η αντίστοιχη αντιδιαμετρική εμφάνισή του, στην επιφάνεια ανάκλασης, ορίζεται ως “κοινό σημείο βάθους” και συμβολίζεται ως CDP (Common Depth Point).



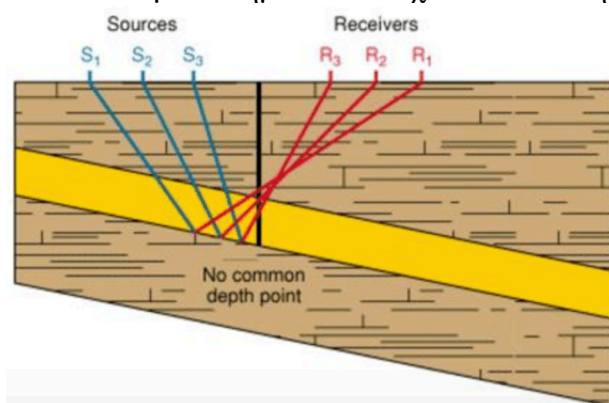
Εικόνα 3.11 Τρόπος συλλογής δεδομένων

Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP).

- 1) Σχηματική αναπαράσταση της απόκτησης των σεισμικών δεδομένων ανάκλασης
- 2) Ζεύγη πηγών - υδροφώνων στα οποία καταγράφετε ανάκλαση από κοινό σημείο βάθους (CDP) (Chowdhury, 2014)

Στη διάταξη “κοινού σημείου βάθους” (CDP) για να εξασφαλίζεται η ορθή και αναλυτική εικόνα του υπεδάφους, δημιουργείται για κάθε ένα ανακλώμενο σημείο ένα πλήθος καταγραφών, ώστε να αποτυπώνεται μία πολυπληθής κάλυψη της επιφάνειας ανάκλασης όπου θα διευκολύνεται η διάκριση των ανακλώμενων κυμάτων μέσα στα σειсмоγράμματα.

Η διάταξη “κοινού ενδιαμέσου σημείου” και η διαδικασία επεξεργασίας των καταγραφών, γίνεται σαφώς πιο αποτελεσματική όταν αναφερόμαστε σε μια επιφάνεια ανάκλασης που είναι οριζόντια ενώ για κεκλιμένη επιφάνεια, λιγότερο. Στην περίπτωση της κεκλιμένης επιφάνειας, οι αφίξεις δεν αντιστοιχούν σε ανακλάσεις από ένα σημείο αλλά από μια περιοχή, και τα ίχνη μοιράζονται ένα κοινό ενδιαμέσο σημείο αλλά όχι ένα κοινό σημείο βάθους (Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.12 Κεκλιμένος οριζοντας ανάκλασης όπου το κοινό ενδιαμέσο σημείο δεν συμπίπτει με το κοινό σημείο βάθους (Schlumberger, 2017)

Ως ομαδοποίηση (gathering) ορίζεται η διαδικασία ταξινόμησης των ιχνών με “κοινό ενδιαμέσο σημείο”, ενώ ως “διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου” (Common Midpoint Gather) ορίζεται η ακολουθία των σεισμικών ιχνών που δημιουργείται με τον τρόπο αυτό.

3.4.4.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την ταχύτητα

Η ταχύτητα διάδοσης των ελαστικών κυμάτων εξαρτάται από τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να συσχετιστούν με την εκάστοτε σύσταση και ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών όπως για παράδειγμα πυκνότητα, πορώδες, βαθμός και τρόπος ρηγμάτωσης, ηλικία και βάθος του γεωλογικού σχηματισμού, ακόμα και το είδος του ρευστού που ρέει στους πόρους.

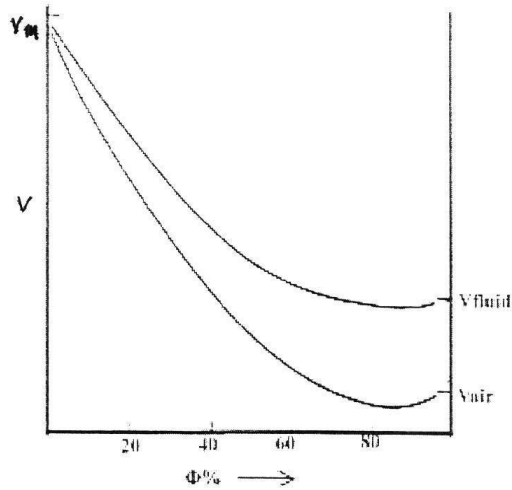
Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι κοκκώδη υλικά και η πυκνότητά τους (bulk density) εξαρτάται κυρίως από το πορώδες τους. Σε πετρώματα με χαμηλό πορώδες, συμπεριλαμβανομένων των πυριγενών, των μεταμορφωμένων και των εβαποριτών, οι ταχύτητες εξαρτώνται περισσότερο από τη σύσταση του πετρώματος.

Σε πετρώματα με υψηλό πορώδες η ταχύτητα, εξαρτάται από το είδος του ρευστού στους πόρους (Εικόνα 3.13). Για πιέσεις μεγαλύτερες των 10kbar (βάθος περίπου 30km) η σχέση ταχύτητας πυκνότητας γίνεται γραμμική αφού το πορώδες είναι μηδαμινό (Birch, 1961).

Τέλος, η εξάρτηση της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων από την ηλικία T και το βάθος ταφής z στα ιζηματογενή πετρώματα (ψαμμίτες, αργιλικόι σχιστόλιθοι), εκφράζεται από τη σχέση (Μπραουδάκη, 2004):

$$a = K(zT)^{\frac{1}{6}} \quad (3.8)$$

Όπου K : σταθερά με τιμή 46,5 όταν z : το βάθος ταφής (m), T : ο χρόνος (years) και a : η ταχύτητα (m/sec) (Faust, 1951)



Εικόνα 3.13 Εξάρτηση της ταχύτητας των P κυμάτων από το πορώδες σε ξηρά (V_{air}) και κορεσμένα (V_{fluid}) πετρώματα. Η ταχύτητα στο βράχο είναι V_m (Griffiths and King, 1981)

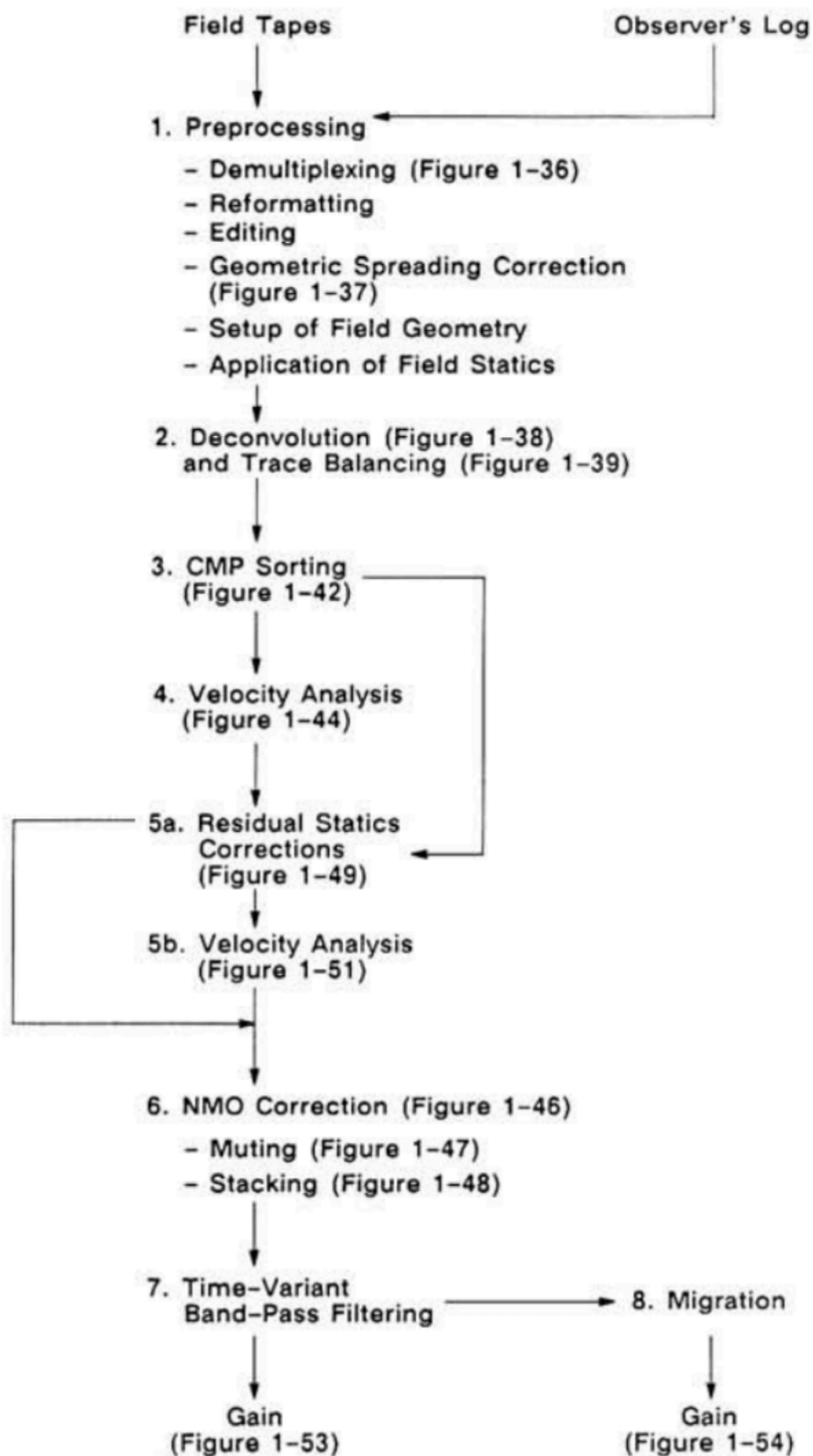
3.5 Επεξεργασία σεισμικών δεδομένων

Σύμφωνα με τη συμβατική επεξεργασία δεδομένων, τα βασικά βήματα είναι η αποσυνέλιξη δεδομένων (deconvolution), η υπέρθεση (Stacking) και έπειτα η σεισμική χωροθέτηση (Migration) (Yilmaz, 1987).

Τυπικά, η διαδικασία της αποσυνέλιξης, εστιάζει στην βελτίωση της χρονικής ανάλυσης, καθώς συμπιέζει την κυματομορφή της πηγής.

Η διαδικασία της σεισμικής χωροθέτησης έχει σαν στόχο την ανακατασκευή και σωστή τοποθέτηση των επιφανειών ανάκλασης που παρουσιάζουν κλίση (dipping seismic events) σε μία τομή υπέρθεσης, με σκοπό να μπορεί να γίνει σύγκριση με την αντίστοιχη γεωλογική απεικόνιση, καθώς και την απομάκρυνση των περιθλάσεων που δημιουργούνται από ρήγματα. Παρ' όλη την πολυπλοκότητά της, είναι πολύ σημαντική διαδικασία στην επεξεργασία, καθώς συμβάλλει σημαντικά στην επανατοποθέτηση των ανακλαστήρων στην σωστή τους θέση.

Είναι ένα πολύ συνηθισμένο φαινόμενο, οι ορίζοντες που εμφανίζονται στη σεισμική τομή υπέρθεσης να παρουσιάζουν μικρότερη κλίση και μεγαλύτερο μήκος σε σχέση με τους αντίστοιχους ορίζοντες στη γεωλογική τομή (Yilmaz, 1987).



Εικόνα 3.14 Συνήθη βήματα στην επεξεργασία δεδομένων σεισμικής ανάκλασης (Yilmaz, 1987)

Στο παραπάνω διάγραμμα ροής (flowchart) περιγράφονται παρακάτω αναλυτικότερα μερικά από τα βασικά στάδια θαλάσσιων δεδομένων:

1. Η διόρθωση γεωμετρικής διασποράς χρησιμοποιείται για να ενισχυθούν τα πλάτη σε βαθύτερες ανακλάσεις εξαιτίας του φαινομένου της διασποράς της σεισμικής ενέργειας κατά τη διάδοση της στο υπέδαφος.
 2. Η αποσυνέλιξη δεδομένων (deconvolution) αυξάνει τη χρονική ανάλυση, συμπίεζοντας την κυματομορφή της πηγής τους.
 3. Το φίλτρο Trace balance σκοπεύει στην ομοιομορφία όλων των ιχνών ως προς τα ίδια χαρακτηριστικά.
 4. Όλα τα συνθετικά δεδομένα ταξινομούνται σε δεδομένα κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP)
 5. Η ανάλυση ταχύτητας γίνεται στα δεδομένα κοινού ενδιαμέσου σημείου.
 6. Ακολουθείται η διαδικασία της δυναμικής διόρθωσης (NMO) ώστε να αναχθούν τα ίχνη σε κάθε CMP σε ίχνη μηδενικής απόστασης πηγής υδροφώνου. Μετά την εφαρμογή της διόρθωσης NMO αθροίζονται τα ίχνη σε κάθε CMP με αποτέλεσμα να αυξάνει ο λόγος σήματος προς θόρυβο και να μειώνεται ο όγκος των δεδομένων. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται η τομή υπέρθεσης. (stacking)
 7. Εφαρμογή φίλτρου Gain, με σκοπό να γίνει ενίσχυση των πλατών.
- Η Αυτόματη Ενίσχυση εφαρμόζεται σε επιλεγμένο παράθυρο στον χρόνο (κατάκορυφη διεύθυνση 1D). Συνήθως χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των πλατών στο παράθυρο ή η ενδιαμέση τιμή.
8. Χρονομεταβλητό φίλτρο στο χώρο των συχνοτήτων
 9. Δημιουργία τομής χωροθέτησης
 10. Μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί το φίλτρο Gain, για βέλτιστα αποτελέσματα

3.5.1.1 Δυναμική Διόρθωση NMO (Normal Move Out)

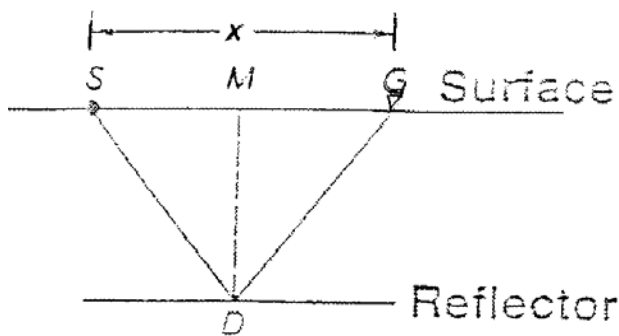
Πριν την άθροιση των σειсмоγραμμάτων της διάταξης κοινού ενδιαμέσου σημείου, είναι απαραίτητη η εφαρμογή της δυναμικής διόρθωσης (NMO). Η διόρθωση αυτή εφαρμόζεται στους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων για τα παραπάνω σειсмоγράμματα και σκοπός της είναι, η αναγωγή των αρχικών χρόνων διαδρομής σε αντίστοιχους χρόνους κυμάτων που διαδίδονται στην κατακόρυφη διεύθυνση. Η διαδικασία αυτή θεωρεί ότι η πηγή και το γεώφωνο συμπίπτουν και βρίσκονται στη θέση του κοινού ενδιαμέσου σημείου της διάταξης. (Μπραουδάκη, 2004)

Η κανονική χρονική απόκλιση (NMO correction) υπολογίζεται σε περίπτωση οριζόντιου στρώματος από τη σχέση:

$$\Delta t_{NMO} = t(x) - t(0) = t(0) \times \left[\left[1 + \left(\frac{x}{V_{NMO} \times t(0)} \right)^2 \right]^{1/2} - 1 \right] \quad (3.9)$$

Όπου:

- $t(x)$: ο διπλός χρόνος διαδρομής και αναφέρεται σε γεώφωνο που απέχει από την πηγή απόσταση x
- V_{NMO} : η ταχύτητα για τη δυναμική διόρθωση V_{NMO} , υπολογισμένη από την ανάλυση ταχύτητας, όπου σε περίπτωση κεκλιμένου ανακλαστήρα γωνίας θ $V_{NMO} = \frac{V}{\cos \theta}$ (V η ταχύτητα του μέσου)
- $t(0)$: ο διπλός κάθετος χρόνος (two-way-time) που χρειάζεται το κύμα για να διατρέξει την απόσταση MD δύο φορές.



$$t(x) \rightarrow \overline{SDG}$$

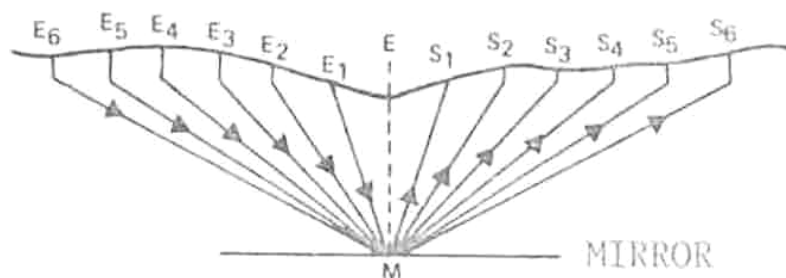
$$t(0) \rightarrow \overline{2MD}$$

Εικόνα 3.15 Γεωμετρία κανονικής διόρθωσης για την περίπτωση οριζώντιου ανακλαστήρα (Yilmaz, 1987)

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι η κανονική χρονική απόκλιση αυξάνει ανάλογα με την απόσταση πηγής-γεωφώνου (offset), ενώ μειώνεται με το διπλό χρόνο κατακόρυφης ακτίνας $t(0)$ και την αύξηση των τιμών της ταχύτητας (V_{NMO}).

Παράλληλα, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί στην ίδια εξίσωση η σωστή ταχύτητα, διότι εάν η ταχύτητα που παρουσιάζεται είναι μεγαλύτερη από την πραγματική, τότε αυτό σημαίνει ότι η διόρθωση είναι μικρότερη, και δηλώνεται με τον όρο «undercorrection». Αντιστοίχως, εάν η ταχύτητα είναι μικρότερη της πραγματικής ταχύτητας, τότε η διόρθωση είναι μεγαλύτερη, και δηλώνεται με τον όρο overcorrection.

Στην Εικόνα 3.16 φαίνεται η διαδικασία της δυναμικής διόρθωσης που οδηγεί σε αθροισμένα ίχνη (Cordier, 1985).



Εικόνα 3.16 Κάθετη τομή που απεικονίζει τα 6 ζευγάρια πηγών-δεκτών για μία 6-πτυχη κάλυψη

Για τον υπολογισμό της δυναμικής διόρθωσης στα σειсмоγράμματα διάταξης κοινού ενδιαμέσου σημείου ακολουθείτε ο ίδιος τρόπος στις οριζόντιες αλλά και στις κεκλιμένες διαχωριστικές επιφάνειες. Για τη περίπτωση όμως που η ανάκλαση προέρχεται από οριζόντια διαχωριστική επιφάνεια, η ταχύτητα V_{NMO} ισούται με τη μέση τετραγωνική ταχύτητα.

Μετά τη δυναμική διόρθωση και την άθροιση των σειсмоγραμμάτων, έχουμε τόσο ενίσχυση των πλατών των ανακλώμενων κυμάτων όσο και μείωση του όγκου των δεδομένων ανάλογη της υπεδαφικής κάλυψης. Τα σειсмоγράμματα κοινού ενδιαμέσου σημείου αθροίζόμενα δημιουργούν τη σεισμική τομή υπέρθεσης. (Μπραουδάκη, 2004)

3.5.1.2 AGC (Automatic Gain Control) - AEC (Automatic Exposure Control) and Trace Balance

Έπειτα από τη διαδικασία της γεωμετρικής διασποράς, σειρά έχουν οι διορθώσεις για την ορθή απεικόνισή τους, ενισχύοντας τυχόν αδύναμα ίχνη. Στις τομές, εφαρμόζεται το φίλτρο της αυτόματης ενίσχυσης (AEC), και στη συνέχεια ακολουθείται το φίλτρο Trace Balance. Στη πραγματικότητα το φίλτρο AEC είναι ένα βελτιωμένο φίλτρο AGC, ρύθμιση πλάτους.

Η μέθοδος επεξεργασίας που αναφέρεται περιγράφεται αναλυτικά σύμφωνα με τον κώδικα 8.4.4. Και οι εντολές για το φίλτρο Trace Balance που θέλουμε να επιτύχουμε, περιγράφονται με τον κώδικα 8.4.5a.

Σεισμική χωροθέτηση

Σκοπός της σεισμικής χωροθέτησης είναι να τοποθετηθούν ορθά οι επιφάνειες ανάκλασης που παρουσιάζουν κλίση (dipping seismic events) πάνω σε μια τομή υπέρθεσης. Οι οριζόντες που εμφανίζονται σε μια τέτοια τομή να παρουσιάζουν μικρότερη κλίση και μεγαλύτερο μήκος σε σχέση με τους αντίστοιχους οριζόντες στη γεωλογική τομή (Yilmaz, 1987). Η χωροθέτηση καθιστά τη σεισμική τομή συγκρίσιμη με την αντίστοιχη γεωλογική.

Η μέθοδος της χωροθέτησης θεωρείται σήμερα ουσιώδης και απαραίτητη στην μεθοδολογία της επεξεργασίας δεδομένων σεισμικής ανάκλασης, για τον λόγο ότι συμβάλλει στη βελτίωση της χωρικής διακριτικής ικανότητας της σεισμικής τομής.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν υπάρχει ταχύτητα που να χωροθετεί όλα τα γεγονότα ορθά, καθώς όταν υπάρχουν και πλευρικές μεταβολές της σεισμικής

ταχύτητας, μια ακολουθία από τιμές ταχύτητας χωροθέτησης χρησιμοποιείται μέχρι να φτάσουμε στο σημείο να επιτευχθεί μια αποδεκτή χωροθέτηση.

Σε περιοχές που εμφανίζουν ρήγματα, η σεισμική χωροθέτηση βελτιώνει τις τομές υπέρθεσης, διότι τα ελαστικά κύματα προσπίπτουν στα άκρα των ρηγματωμένων στρωμάτων και δημιουργούν το φαινόμενο της περίθλασης. Στη σεισμική χωροθέτηση επανατοποθετούνται όλες τις αφίξεις που προέρχονται από περίθλαση στη σωστή τους θέση επιτυγχάνοντας έτσι μια πιο ακριβής εικόνα των περιοχών μελέτης.

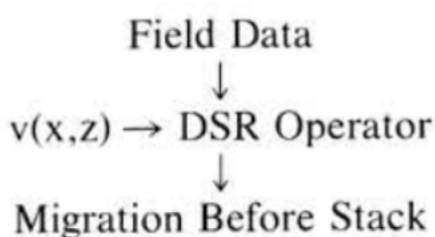
Είναι λοιπόν πιθανόν, στις περισσότερες φορές να μην χωροθετούνται όλα τα γεγονότα σωστά, λόγω του ότι η ταχύτητα χωροθέτησης ενώ έχει προσδιοριστεί σωστά, όταν εμφανίζονται πλευρικές μεταβολές θα πρέπει να χρησιμοποιείται μια ακολουθία διαφορετικών τιμών ταχύτητας μέχρις η χωροθέτηση να είναι αποδεκτή.

Η σεισμική χωροθέτηση εφαρμόζεται κατά βάση τελευταίο στάδιο, χωρίς όμως να αποκλείεται η εφαρμογή της πριν την υπέρθεση (Pre-Stack Migration). Η εφαρμογή της πριν την υπέρθεση μπορεί να γίνει κυρίως διότι σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και πολύπλοκη γεωλογική δομή, η υπέρθεση εξομαλύνει και κάποιες φορές καταστρέφει αρκετές πληροφορίες ανάκλασης. Όπως είναι φυσικό, για την εφαρμογή του Pre-Stack Migration υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερο υπολογιστικό χρόνο.

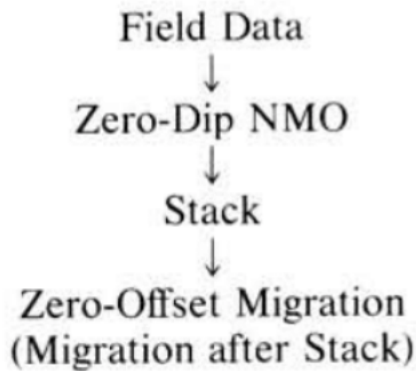
Πριν την χωροθέτηση είναι απαραίτητος ο ακριβής καθορισμός της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων για τα γεωλογικά στρώματα που ερευνώνται.

3.5.1.3 Pre-Stack Migration με τη μέθοδο Kirchhoff

Η χωροθέτηση κατά Kirchhoff είναι μια διαδικασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν από τη διαδικασία της υπέρθεσης (pre-stack migration). Ένα από τα πλεονεκτήματα της Σεισμικής χωροθέτησης πριν την υπέρθεση είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις τομές σταθερής απόστασης πηγής-υδροφώνου, όπως και στις τομές με δεδομένα κοινής πηγής.



Εικόνα 3.17 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας της χωροθέτησης πριν την υπέρθεση



Εικόνα 3.18 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας της χωροθέτησης μετά την υπέρθεση

Συνοψίζοντας την παραπάνω διαδικασία, χωροθετούνται ίχνη κάθε πηγής ξεχωριστά και προκύπτουν έτσι τα χωροθετημένα δεδομένα κοινής πηγής, εν συνεχεία όταν θα αθροιστούν τα χωροθετημένα ίχνη, τελικά θα προκύψει μια χωροθετημένη σεισμική τομή.

Για την επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε η χρήση του κώδικα 8.4.1 αλγόριθμος Kirchhoff στο λογισμικό της Matlab.

Κατά την άθροιση των χωροθετημένων δεδομένων κοινής πηγής επιτυγχάνεται:

- Αύξηση του σήματος σε σχέση με το συναφή και τυχαίο θόρυβο
- Ενίσχυση του αρχικού σήματος σε σχέση με τις πολλαπλές ανακλάσεις οι οποίες εξασθενούν με τη διαδικασία αυτή
- Ελάττωση του όγκου των σεισμικών δεδομένων

3.5.1.3.1 Διάδοση σεισμικών κυμάτων με τη χρήση της κυματικής εξίσωσης και της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών

Η μέθοδος των Πεπερασμένων διαφορών (Π.Δ.) αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές αριθμητικές μεθόδους στην προσομοίωση της σεισμικής κίνησης. Το γεγονός οφείλεται στο ότι είναι εύκολα εφαρμόσιμη σε πολύπλοκα προβλήματα με σχετικά μεγάλη ακρίβεια και είναι αρκετά αποδοτική υπολογιστικά. (Σκαρλατούδης, 2009).

Η αριθμητική μέθοδος των Π.Δ. βεβαίως διαθέτει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στα πλεονεκτήματα της συγκαταλέγεται η απλότητά της στην εφαρμογή ακόμα και σε αρκετά σύνθετα προβλήματα. Το μεγάλο αυτό πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί και το κριτήριο επιλογής της από πολλούς ερευνητές. Η ευστάθεια και το ελάχιστο βήμα χωρικής διακριτοποίησης σε συνάρτηση με το ελάχιστο μήκος κύματος που διαδίδεται σε ένα υπολογιστικό προσομοίωμα είναι παράγοντες που καθορίζουν το φαινόμενο της αριθμητικής διασποράς και αποτελούν μειονεκτήματα της μεθόδου.

Στα όρια του μοντέλου μας, ο προσομοιωτής δημιουργεί τις απορροφητικές ζώνες. Οι απορροφητικές ζώνες, χρησιμοποιούνται για την απόσβεση των σεισμικών κυμάτων που καταφθάνουν στα όρια του μοντέλου και για την αποφυγή τεχνητών και ανεπιθύμητων ανακλάσεων από αυτά. Οι ζώνες αυτές υλοποιώντας την τεχνική του ανισότροπου φίλτρου διάδοσης των κυμάτων (anisotropic filtermethod) στο σώμα

των απορροφητικών ζωνών (Dai, et al., 1994) εξαναγκάζουν σταδιακά τα σεισμικά κύματα να διαδοθούν κάθετα στο εκάστοτε όριο του μοντέλου. Στο τέλος της κάθε απορροφητικής ζώνης τα σεισμικά κύματα εξαναγκάζονται να διαδοθούν μόνο προς την εξωτερική κατεύθυνση του μοντέλου (Dai et al, 1994) έτσι ώστε να μην επιστρέφει καθόλου σεισμική ενέργεια προς το εσωτερικό του.

Το ανισότροπο φίλτρο ρυθμίζει την κατεύθυνση διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, έτσι ώστε η γωνία πρόσπτωσης στο όριο του μοντέλου να είναι 90ο. Με την περιγραφόμενη μεθοδολογία γίνεται απορρόφηση στα επιφανειακά κύματα, αλλά και στα κύματα χώρου. Αριθμητικά παραδείγματα επεξηγούν την αποτελεσματικότητα των μεθόδων αυτών στην απορρόφηση των τεχνητών ανακλάσεων από τα όρια του μοντέλου (Dai, et al., 1994).

4 Δημιουργία συνθετικών σεισμικών δεδομένων

4.1 Εισαγωγή

Όπως έχουμε ήδη προαναφέρει, η γραμμή μελέτης που εξετάζουμε βρίσκεται στην περιοχή Νότια των Παξών. Αναλυτικότερα, θα εξεταστεί η γραμμή μελέτης μήκους 30km, διαθέτοντας σεισμικό εξοπλισμό με καλώδιο 10km, και πραγματοποιείται σε βάθος 12km από την επιφάνεια της θάλασσας.

Παρακάτω γίνεται συνοπτική αναφορά των βημάτων που ακολουθήθηκαν, ώστε να γίνει κατανοητή η διαδικασία δημιουργίας του σεισμικού μοντέλου (Κασούτσα, 2018). Για τη δημιουργία του σεισμικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν ως βάση πραγματικά σεισμικά δεδομένα από ένα τμήμα σεισμικής τομής που βρίσκεται σε θαλάσσια περιοχή κοντά στο νησί των Παξών. Η γεωλογική τομή που απεικονίζεται στην (Εικόνα 2.1) θεωρήθηκε ότι αντιπροσωπεύει και το θαλάσσιο χώρο νότια των Παξών.

Στο σεισμικό μοντέλο που μελετήθηκε το αποτελείται από 5 στρώματα (4 διεπιφάνειες). Το πρώτο στρώμα αντιστοιχεί σε θαλάσσιο νερό, το δεύτερο σε Μειοκαινικά-Νεογενή ιζήματα, το τρίτο σε Ανθρακικά ιζήματα, το τέταρτο σε Εβαπορίτες και το πέμπτο αποτελείται από Ανθρακικά ιζήματα. Οι τμηματικές ταχύτητες διάδοσης εγκάρσιων και διαμήκων κυμάτων κάθε στρώματος, αλλά και η πυκνότητά τους παρατίθενται στον Πίνακα 4.1.

α/α	Στρώματα	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ (g/cm ³)
1	Θάλασσα	1500	-	1.023
2	Νεογενές	2800	1617	2.6
3	Ανθρακικά	4500	2600	2.7
4	Εβαπορίτες	5500	3175	2.5
5	Τριαδικό	4500	2600	2.7

Πίνακας 4.1 Διαμήκης (Vp) και εγκάρσια (Vs) ταχύτητα και πυκνότητα (ρ) κάθε στρώματος

4.2 Προσομοίωση της διάδοσης των σεισμικών δεδομένων

Για να γίνει εφικτή η δημιουργία των συνθετικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Matlab, καθώς και αλγόριθμοι (PSV_SYNTHETICS_VER12) που αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης για την προσομοίωση διάδοσης σεισμικών κυμάτων (P-SV) σε δύο διαστάσεις, με την χρήση των Πεπερασμένων Διαφορών (Π.Δ.) (Vafidis, 1988).

Με βάση τις τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1, και τα κριτήρια για την αριθμητική διασπορά και την ευστάθεια χρησιμοποιήθηκε η ισαπόσταση των 10 m ως το βήμα χωρικής διακριτοποίησης του μοντέλου στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση καθώς και 0.1ms ως βήμα χρονικής διακριτοποίησης της προσομοίωσης (Κασούτσα, 2018).

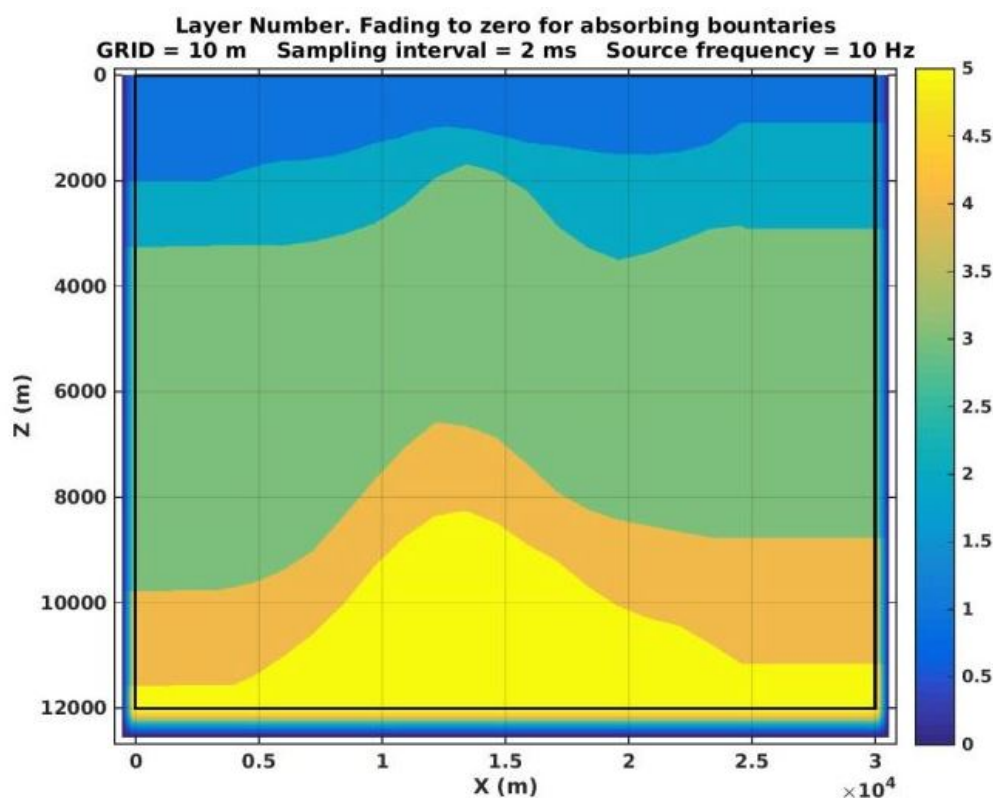
Συνοπτικά, τα βήματα που ακολουθούνται για την προσομοίωση της διάδοσης των ελαστικών κυμάτων με την χρήση των αλγόριθμων P-SV SYNTHETICS είναι:

4.2.1 Αρχικές παράμετροι μοντέλου

Ως αρχικές παράμετροι του μοντέλου ορίστηκαν (Βλέπε Εικόνα 4.1 και Πίνακας 4.1):

- Οριζόντια έκταση: 30.000 m (30km)
- Βάθος μοντέλου: 12.000 m (12km)
- Ελάχιστη ταχύτητα διάδοσης στα υπάρχοντα στρώματα (εκτός νερού): 1.500 m/s
- Συχνότητα πηγής: 10 Hz
- Ισαπόσταση υδροφώνων: 20 m
- Ελεύθερη η ανώτερη επιφάνεια του μοντέλου (χωρίς απορροφητικά όρια)
- Είδος διασκόπησης: Θαλάσσια

Σημείωση: Το μοντέλο, όπως φαίνεται περιλαμβάνει και Απορροφητικά Όρια.



Εικόνα 4.1 Συνθετικό σεισμικό μοντέλο με απορροφητικά όρια. Με τα διαφορετικά χρώματα απεικονίζεται τα σεισμικά στρώματα (Πίνακας 4.1 Διαμήκης (V_p) και εγκάρσια (V_s) ταχύτητα και πυκνότητα (ρ) κάθε στρώματος).

4.2.2 Οριοθέτηση διεπιφανειών και παραμέτρων του μοντέλου

Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η οριοθέτηση των γεωλογικών στρωμάτων του μοντέλου. Αυτό έγινε δίνοντας τις συντεταγμένες για τα όρια κάθε στρώματος μέσω πινάκων Matlab™. Μετά την οριοθέτηση κάθε στρώματος γίνεται εισαγωγή των τιμών των

ταχυτήτων του V_p , V_s καθώς και της πυκνότητάς του. Ενδεικτικά, για το στρώμα της θάλασσας και των Νεογενών, οι παράμετροι των στρωμάτων παρουσιάζονται ήδη στις Εικόνες Εικόνα 4.3-Εικόνα 4.4 Ακολουθείται η ίδια διαδικασία για την δημιουργία και των υπόλοιπων στρωμάτων.

PSV Modeler V12.1: INITIAL MODEL PARAMETERS

Enter the HORIZONTAL extend of model in meters
30000

Enter the VERTICAL extend of model in meters
12000

Enter the minimum velocity of model in m/s. S-wave velocity of air or water excluded
1500

Enter the dominant frequency of the source in Hz
10

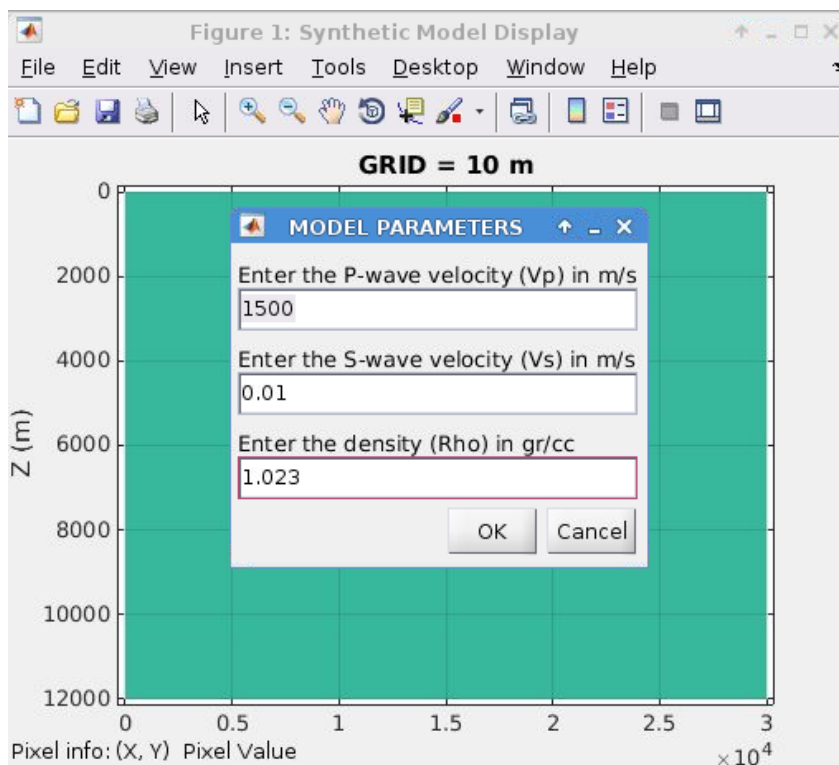
Enter receivers spacing in meters
20

The top boundary (i=0) of model is FREE or ABSORBING boundary ?
FREE

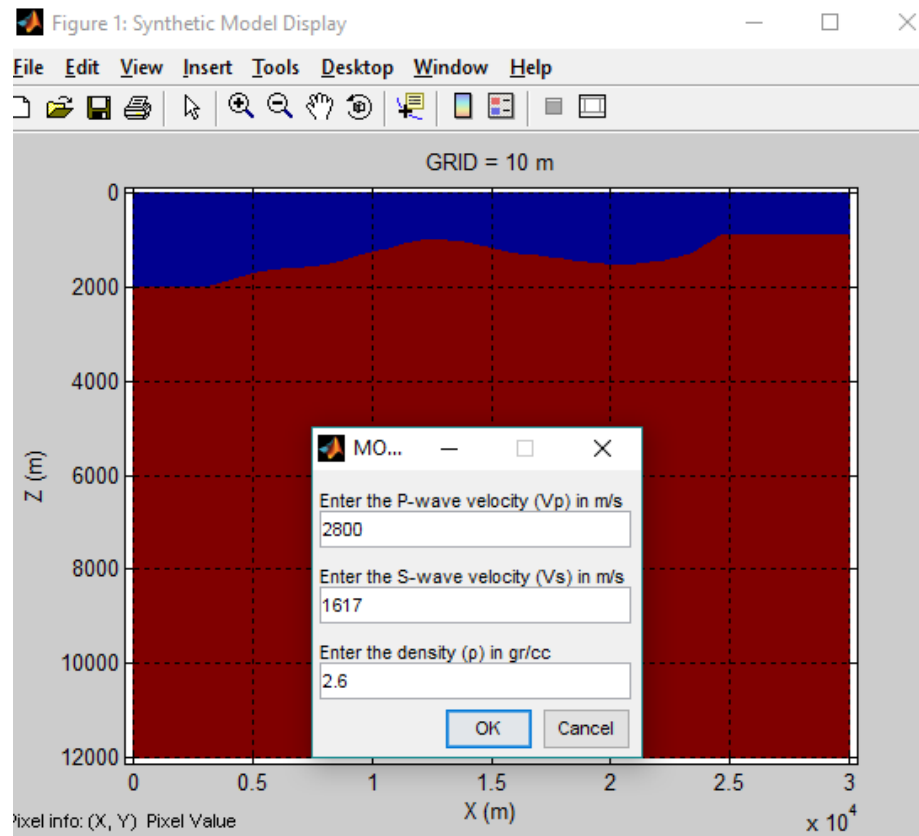
Model for MARINE or LAND Survey ?
SEA

OK Cancel

Εικόνα 4.2 Ορισμός αρχικών παραμέτρων μοντέλο



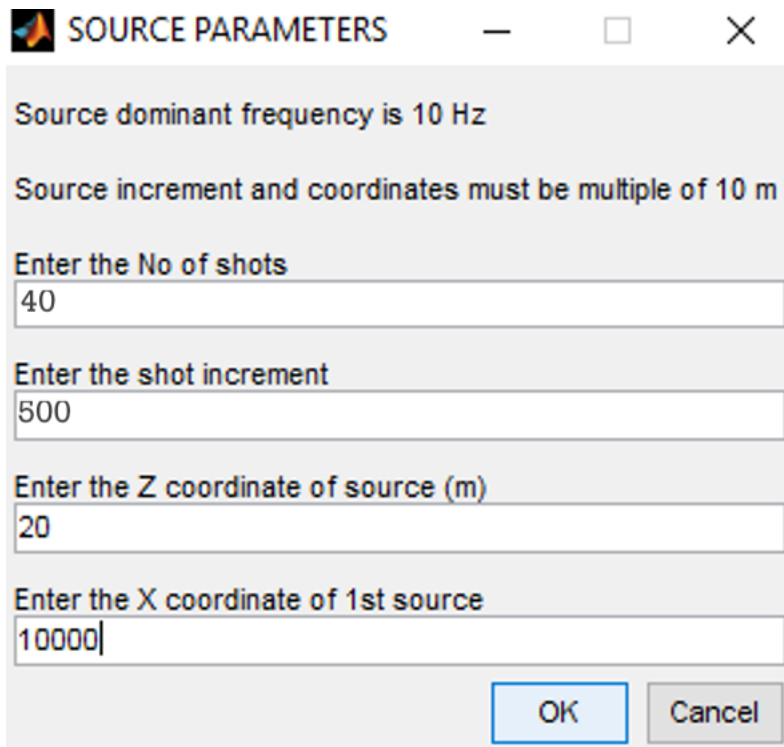
Εικόνα 4.3 Παράμετροι στρώματος Θάλασσας.



Εικόνα 4.4 Παράμετροι στρώματος Νεογενών

4.2.3 Θέσεις πηγών και υδροφώνων

Στη συνέχεια, ορίζονται οι παράμετροι των πηγών και των υδροφώνων (Εικόνα 4.5, και Εικόνα 4.6, αντίστοιχα). Ειδικότερα, τοποθετήθηκαν συνολικά 40 οι πηγές κατά μήκος του μοντέλου σε ισαποστάσεις των 500m ξεκινώντας από την οριζόντια θέση των 10.000m έως και τα 29.500m του μοντέλου. Το βάθος των πηγών διατηρήθηκε σταθερό στα 20m. Για κάθε πηγή χρησιμοποιήθηκαν 501 υδρόφωνα σε ισαποστάσεις των 20m και ποντισμένα σε σταθερό βάθος των 20 m (Εικόνα 4.6). Η ελάχιστη και μέγιστη απόσταση των δεκτών από την εκάστοτε πηγή (offset) ήταν 0m και 10.000m, αντίστοιχα. Για παράδειγμα, για την πρώτη πηγή ($X=10.000\text{m}$, $Z=20\text{m}$), ο πρώτος και ο τελευταίος (501^{ος}) δέκτης τοποθετήθηκαν στις θέσεις ($X=0\text{m}$, $Z=20\text{m}$) και ($X=10.000\text{m}$, $Z=20\text{m}$), αντίστοιχα.



SOURCE PARAMETERS

Source dominant frequency is 10 Hz

Source increment and coordinates must be multiple of 10 m

Enter the No of shots

40

Enter the shot increment

500

Enter the Z coordinate of source (m)

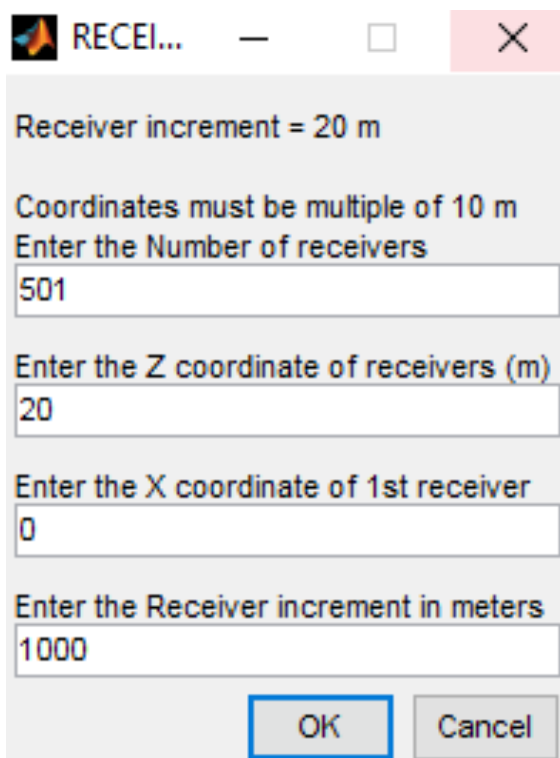
20

Enter the X coordinate of 1st source

10000

OK Cancel

Εικόνα 4.5 Παράμετροι πηγής



RECEI...

Receiver increment = 20 m

Coordinates must be multiple of 10 m

Enter the Number of receivers

501

Enter the Z coordinate of receivers (m)

20

Enter the X coordinate of 1st receiver

0

Enter the Receiver increment in meters

1000

OK Cancel

Εικόνα 4.6 Παράμετροι υδροφώνων

4.2.4 Χρονική διάρκεια καταγραφής

Η χρονική διάρκεια καταγραφής ορίστηκε στα 10 sec για το σύνολο που δημιουργήθηκαν.

Επίσης, ο διπλός κατακόρυφος χρόνος είναι ένα πολύ σημαντικό δεδομένο για την μελέτη και αξιοποίηση των ψηφιακών αναπαραστάσεων του μοντέλου. Ο λόγος για τον οποίο υπολογίζεται είναι ο έλεγχος των καταγραφών (π.χ αν οι ανακλάσεις εμφανίζονται στον χρόνο που αναμένουμε από το μοντέλο από το οποίο προήλθαν) και για διάκριση των πολλαπλών ανακλάσεων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα ξεκινήσουμε τον υπολογισμό του διπλού χρόνου διαδρομής, όπως αυτός φαίνεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5.1.1.

4.2.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Για κάθε θέση της σεισμικής πηγής πραγματοποιείται η προσομοίωση της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και προκύπτουν τα εξής εξαγόμενα αποτελέσματα:

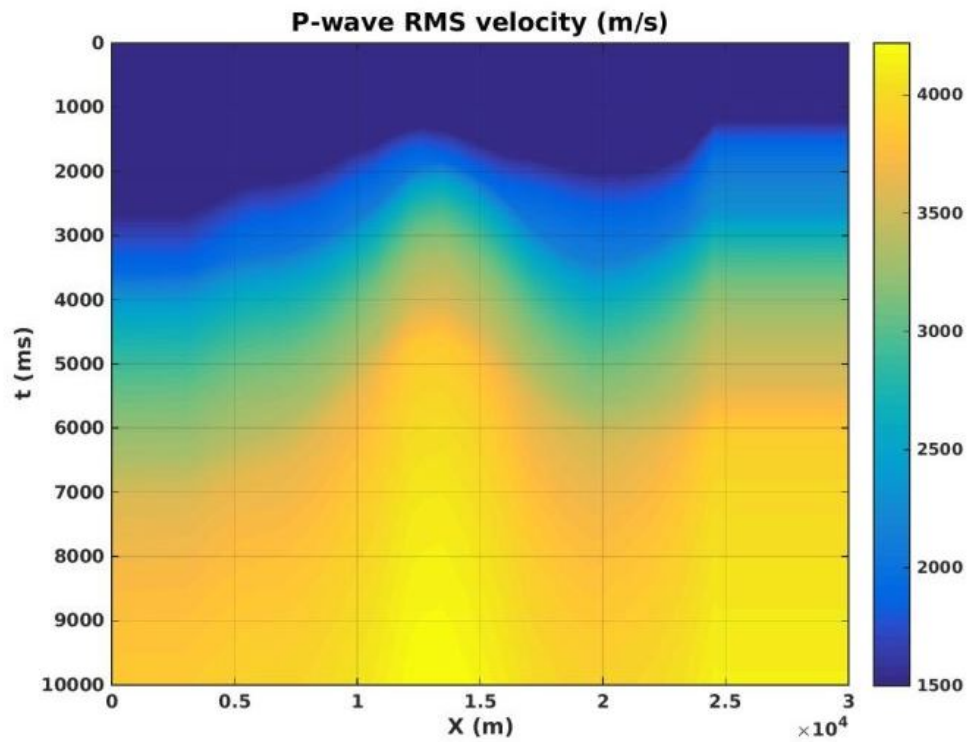
Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας αποθηκεύονται σε τρεις πίνακες (μορφής *.mat) της Matlab:

- **Vx** ως την οριζόντια ταχύτητα ταλάντωσης σωματιδίων
- **Vz** ως την κατακόρυφη ταχύτητα ταλάντωσης σωματιδίων
- **Vpr** ως πίεση

Στην Εικόνα 4.7 απεικονίζεται η καταγραφή κοινής πηγής για την κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας ταλάντωσης των σωματιδίων με την πηγή να βρίσκεται τοποθετημένη στα 10000m κατά μήκος του μοντέλου ενώ οι 501 δέκτες από 10000m έως και 30000.

Μέσω των Vx δεδομένων η απεικόνιση των απευθείας κυμάτων είναι πιο καθαρή από ότι των ανακλώμενων διότι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας ταλάντωσης τους (Vx) αποκτά μηδενικές τιμές, καθώς τα σεισμικά κύματα διαδίδονται και ανακλώνται σχεδόν σε κατακόρυφη διεύθυνση. Αντίστοιχα, μέσω των Vz δεδομένων η απεικόνιση των ανακλώμενων κυμάτων είναι πολύ καθαρότερη.

Επίσης, κατά την ολοκλήρωση της δημιουργίας των συνθετικών δεδομένων, όλες οι πληροφορίες για τις παραμέτρους των πηγών αποθηκεύονται σε αρχείο *.SRC, για τα υδρόφωνα σε αρχείο *.RCV, ενώ οι παράμετροι του μοντέλου σε αρχείο με επέκταση *.SMP (Κρητικάκης, 2019).



Εικόνα 4.7 Μοντέλο ταχύτητας V_{rms}

Στην συνέχεια από το μοντέλο των τμηματικών ταχυτήτων , προκύπτει το μοντέλο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας (V_{rms} –Εικόνα 4.7).

5 Επεξεργασία δεδομένων – Αποτελέσματα

5.1 Σεισμική χωροθέτηση πριν την υπέρθεση

Μετά την ολοκλήρωση της μελέτης και δημιουργίας των συνθετικών δεδομένων, ακολουθεί η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων και ειδικότερα της κατακόρυφης ταχύτητας ταλάντωσης των σωματιδίων (Vz).

Αρχικά δημιουργήθηκαν οι χωροθετημένες κατά Kirchhoff καταγραφές κοινής πηγής για κάθε πηγή ξεχωριστά και έπειτα υπερτέθηκαν (stacking) όλες μαζί, έτσι ώστε να προκύψει η τελική χωροθετημένη τομή, της μορφής (Εικόνα 4.2). Αυτή η διαδικασία επεξεργασίας επαναλήφθηκε για διαφορετικές ταχύτητες Vrms. Ειδικότερα, δοκιμάστηκε εκ νέου χωροθέτηση με μοντέλα μέσης τετραγωνική ταχύτητας (Vrms) που είναι ίσα με 0.8, 0.9 και 1.1 φορές το μοντέλο Vrms ταχυτήτων. Στο στρώμα του νερού διατηρήθηκε σταθερή η ταχύτητα (1500 m/s) στις περισσότερες δοκιμές, ενώ στα υποκείμενα άλλαξε (Εικόνα 4.7). Στον Πίνακα 5.1 παρατίθενται αναλυτικά τα αρχεία των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων.

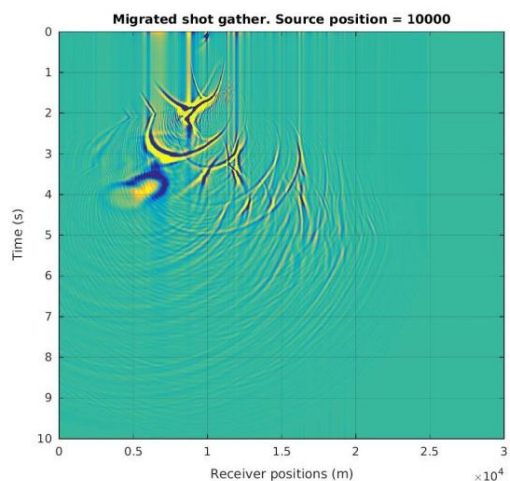
Στρώμα	Περιγραφή	Vrms	Vrms*0.9	Vrms*1.1	Vrms2	Vrms3
0	Θάλασσα	1.500m/s	Μείωση 10%	Αύξηση 10%	1.500m/s	1.500m/s
1	Νεογενές	Vrms	Μείωση 10%	Αύξηση 10%	Μείωση 10%	Μείωση 20%
2	Ανθρακικά	Vrms	Μείωση 10%	Αύξηση 10%	Μείωση 10%	Μείωση 20%
3	Εβαπορίτες	Vrms	Μείωση 10%	Αύξηση 10%	Μείωση 10%	Μείωση 20%

Πίνακας 5.1 Αρχείο μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων

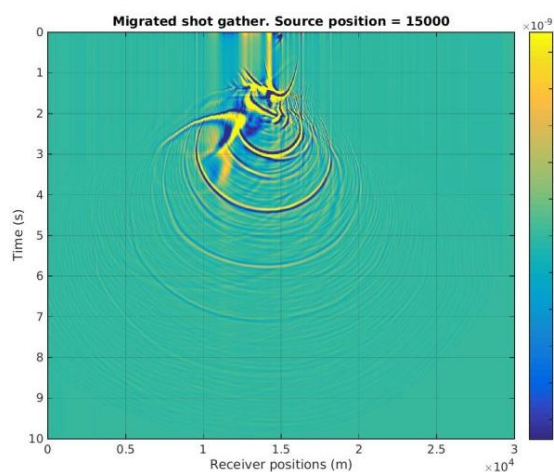
Εν συνεχεία, υπολογίζονται οι διπλοί κατακόρυφοι χρόνοι (Βαφείδης, 1993) στο δεξί άκρο του μοντέλου (30.000m) και έγινε προσπάθεια στην χωροθετημένη τομή να εντοπιστούν (στην θέση αυτή αλλά και μετά σε όλη την τομή) οι κύριες ανακλάσεις και να διαχωριστούν από τις πολλαπλές του πυθμένα, που εμφανίζονται σε πολλαπλάσιο χρόνο (π.χ διπλάσιο, τριπλάσιο) στα υδρόφωνα που είναι κοντά στην πηγή.

Μετά την χωροθέτηση τα επόμενα βήματα επεξεργασίας είχαν ως σκοπό κυρίως την ενίσχυση των βαθύτερων και επομένως ασθενέστερων ανακλάσεων έτσι ώστε να είναι δυνατός ο εντοπισμός βαθύτερων ανακλαστήρων στις χωροθετημένες τομές. Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η διόρθωση της Γεωμετρικής Διασποράς, η Αυτόματη Ενίσχυση (AEC, AGC) και η ισοστάθμιση των ιχνών (Trace Balance).

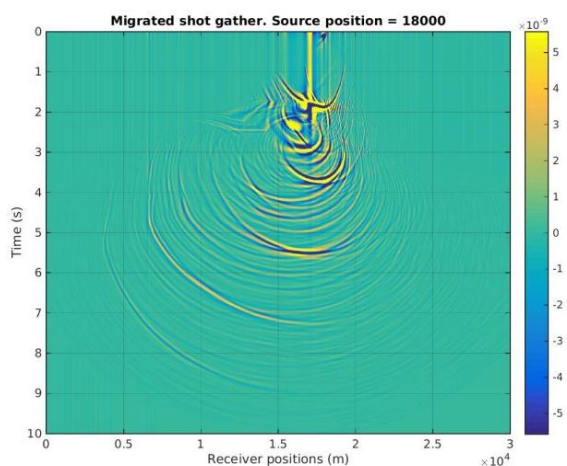
Παρακάτω παραθέτονται χωροθετημένα δεδομένα κοινής πηγής. Ενδεικτικά, επιλέχθηκαν 6 καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις $x=10000$, $x=15000$, $x=18000$, $x=20000$, $x=25000$, $x=29500$ που παρατίθενται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 5.1-Εικόνα 5.6). Όταν αθροιστούν όλες οι καταγραφές κοινής πηγής μαζί (συνολικά 40 στην προκειμένη περίπτωση), συνθέτουν μία ολοκληρωμένη τομή σεισμικής χωροθέτησης (Εικόνα 5.7).



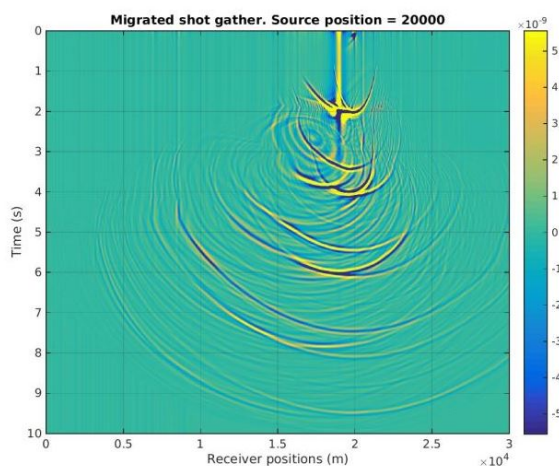
Εικόνα 5.1 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 10000m



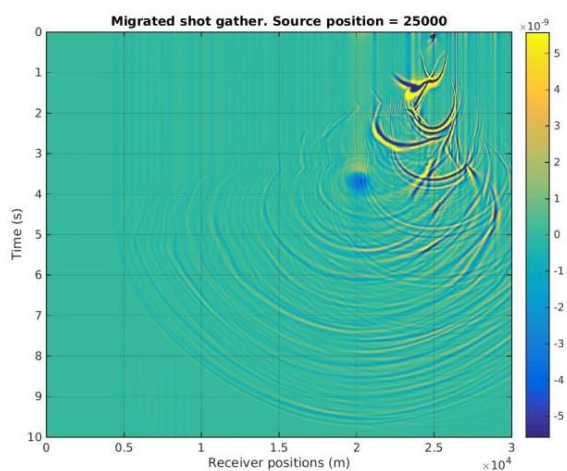
Εικόνα 5.2 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 15000m



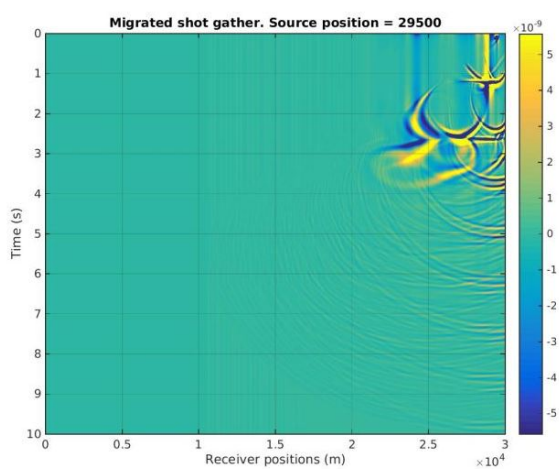
Εικόνα 5.3 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 18000m



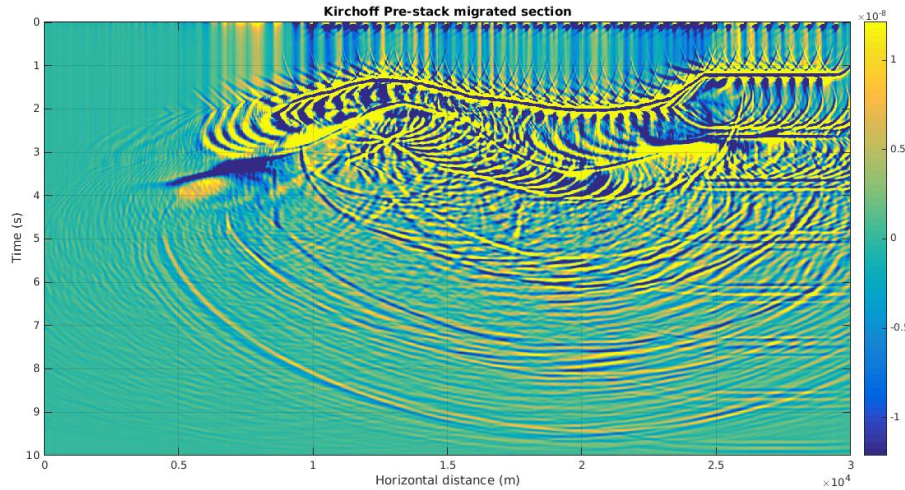
Εικόνα 5.4 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 20000m



Εικόνα 5.5 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 25000m



Εικόνα 5.6 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 29500m



Εικόνα 5.7 Σεισμική τομή που προέκυψε από την άθροιση χωροθετημένων, κατά Kirchoff, καταγραφών κοινής πηγής

Στην παραπάνω Εικόνα 5.7 παρατηρείται ότι είναι δυνατός ο εντοπισμός μόνο των 2 πρώτων ανακλαστήρων (πυθμένας θάλασσας & διεπιφάνεια Νεογενων-Ανθρακικών). Προκειμένου να είναι δυνατή η αναγνώριση βαθύτερων ανακλάσεων, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του διπλού κατακόρυφου χρόνου και στη συνέχεια η αποτύπωσή του πάνω στις χωροθετημένες τομές, για άμεση σύγκριση. Επίσης, κάτω από τα 3 δευτερόλεπτα είναι σχεδόν αδύνατο να εντοπιστούν κύριες ανακλάσεις. Απεναντίας, κυριαρχούν οι πολλαπλές ανακλάσεις του πυθμένα, που λόγω της ταχύτητας χωροθέτησης, εμφανίζονται ως υπερχωροθετημένοι ανακλαστήρες. Για το λόγο αυτό δοκιμάστηκε η χωροθέτηση των δεδομένων με διαφορετικές ταχύτητες χωροθέτησης.

5.1.1 Υπολογισμός του διπλού κατακόρυφου χρόνου

Ο διπλός κατακόρυφος χρόνος είναι ένα πολύ σημαντικό δεδομένο για την μελέτη και αξιοποίηση των ψηφιακών αναπαραστάσεων του μοντέλου.

Συνοψίζοντας ο υπολογισμός του διπλού κατακόρυφου χρόνου διαδρομής προέκυψε από το άθροισμα των χρόνων διαδρομής του διαδιδόμενου σεισμικού κύματος στους σχηματισμούς (στρώματα). Αυτός ο χρόνος, περιλαμβάνει και τις δύο διαδρομές από και προς την πηγή, και στις κάτωθι εξισώσεις υπολογίστηκαν οι διπλοί κατακόρυφοι χρόνοι στο δεξί άκρο του μοντέλου, στα 30.000m.

Στρώμα 0: Θάλασσα (0-908 m)

$$t_1 = 2 \times \frac{(908m - 20m)}{1500 \frac{m}{s}} = 1,184 s \quad (5.1)$$

Στρώμα 1: Νεογενές (908-2910 m)

$$t_2 = t_1 + 2 \times \frac{(2910 - 908) m}{2800 \frac{m}{s}} = 2,614 s \quad (5.2)$$

Στρώμα 2: Ανθρακικά (2910-8780 m)

$$t_3 = t_1 + 2 \times \frac{(8780 - 2910) \text{ m}}{4500 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 5,223 \text{ s} \quad (5.3)$$

Στρώμα 3: Εβαπορίτες (8780-11170 m)

$$t_4 = t_2 + 2 \times \frac{(11170 - 8780) \text{ m}}{5500 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 6,092 \text{ s} \quad (5.4)$$

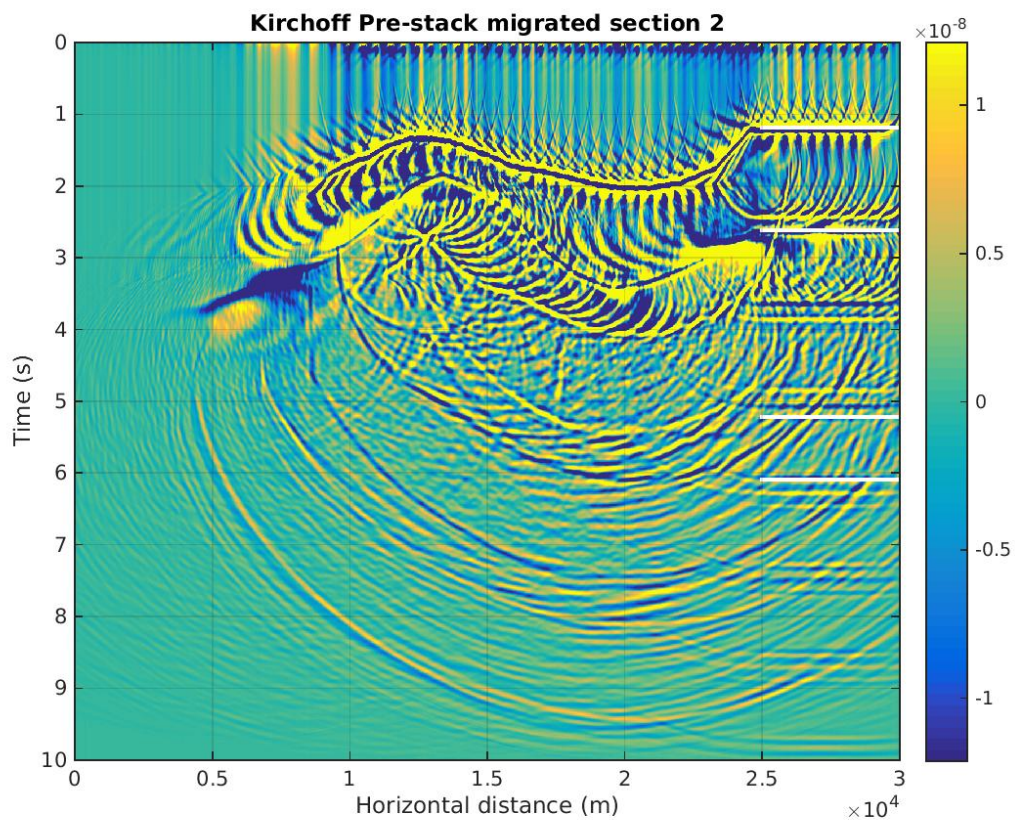
Στον Πίνακα 5.2 παρατίθεται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος των ανακλώμενων σεισμικών κυμάτων από τις διεπιφάνειες των στρωμάτων για την οριζόντια θέση 30.000m του μοντέλου.

Επίπεδο / Στρώμα	Περιγραφή	Vp (m/s)	Όρια (m)	Διπλοί Χρόνοι (s)
0	Θάλασσα	1500	0 – 908	1,184
1	Νεογενές	2800	908 – 2910	2,614
2	Ανθρακικά	4500	2910 – 8780	5,223
3	Εβαπορίτες	5500	8780 – 11170	6,092
4	Τριαδικό	4500	>11170	

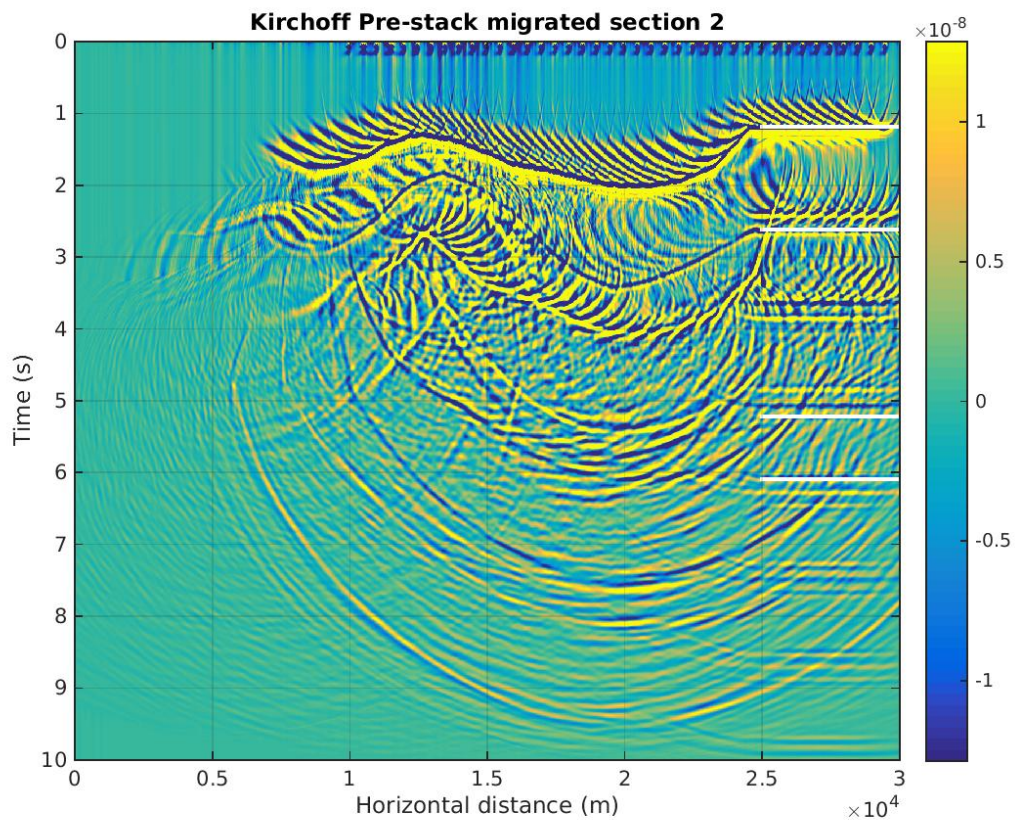
Πίνακας 5.2 Διπλοί Χρόνοι ανά διαφορετικό στρώμα

Η Εικόνα 5.8 είναι ίδια με την Εικόνα 5.7, με τη διαφορά ότι πάνω στην χωροθετημένη τομή για το οριζόντιο τμήμα των ανακλαστήρων στην άκρη του μοντέλου ($X \approx 25\text{-}30\text{km}$, απεικονίζονται με λευκές γραμμές οι αναμενόμενοι με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς διπλοί κατακόρυφοι χρόνοι για κάθε ανακλαστήρα, πάνω στην χωροθετημένη τομή.

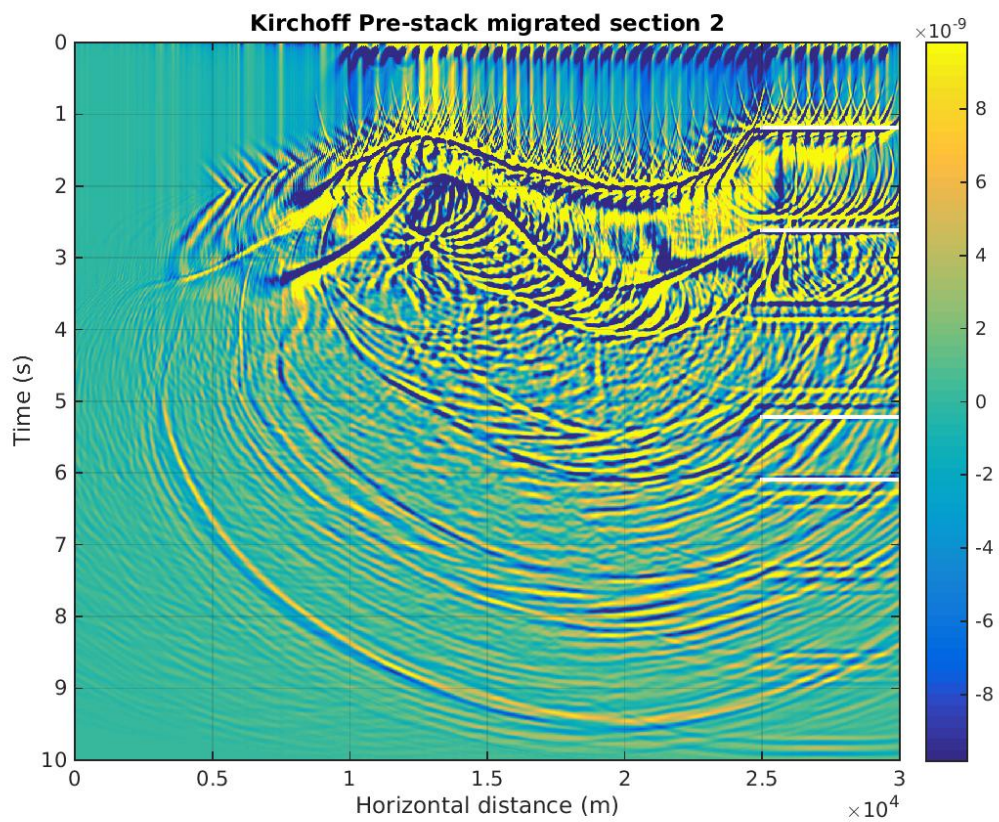
Τέλος, οι ανακλαστήρες απεικονίστηκαν σε όλες τις χωροθετημένες τομές ως παχιές λευκές γραμμές σε χρόνους ίσους με τους διπλούς κατακόρυφους χρόνους, όπως βλέπουμε στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 5.8 - Εικόνα 5.12).



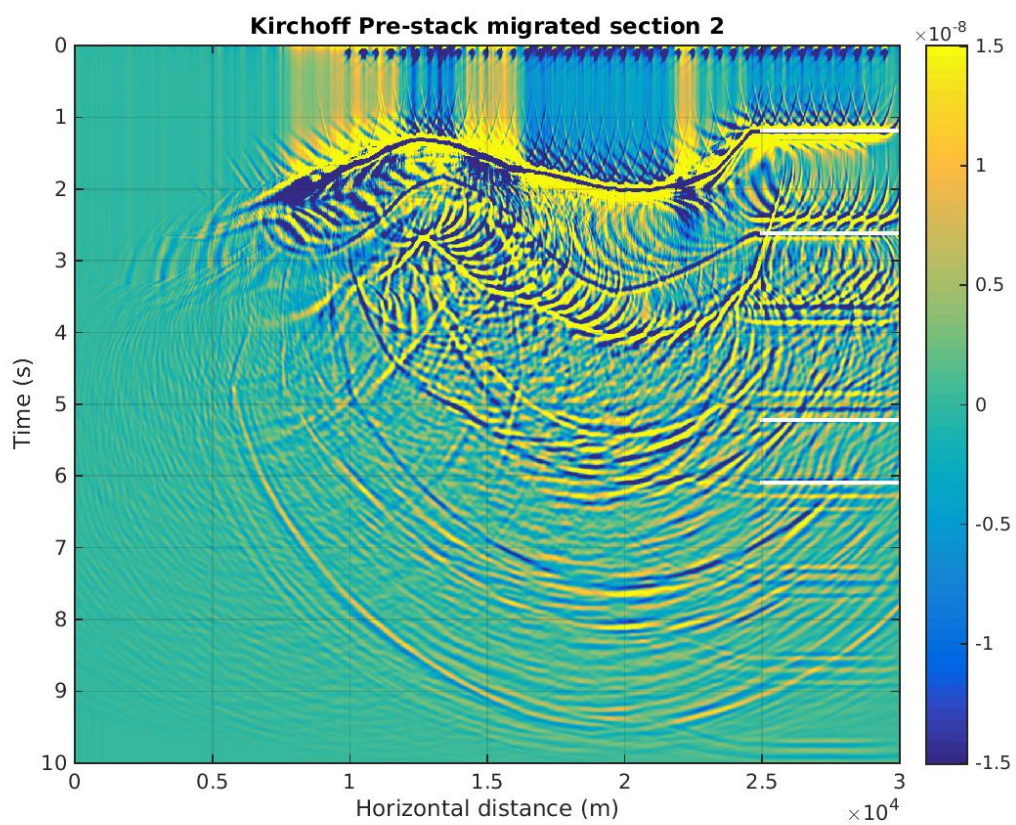
Εικόνα 5.8 Απεικόνιση διπλών κατακόρυφων χρόνων των ανακλάσεων σε μοντέλο με ταχύτητα V_{rms} κανονική



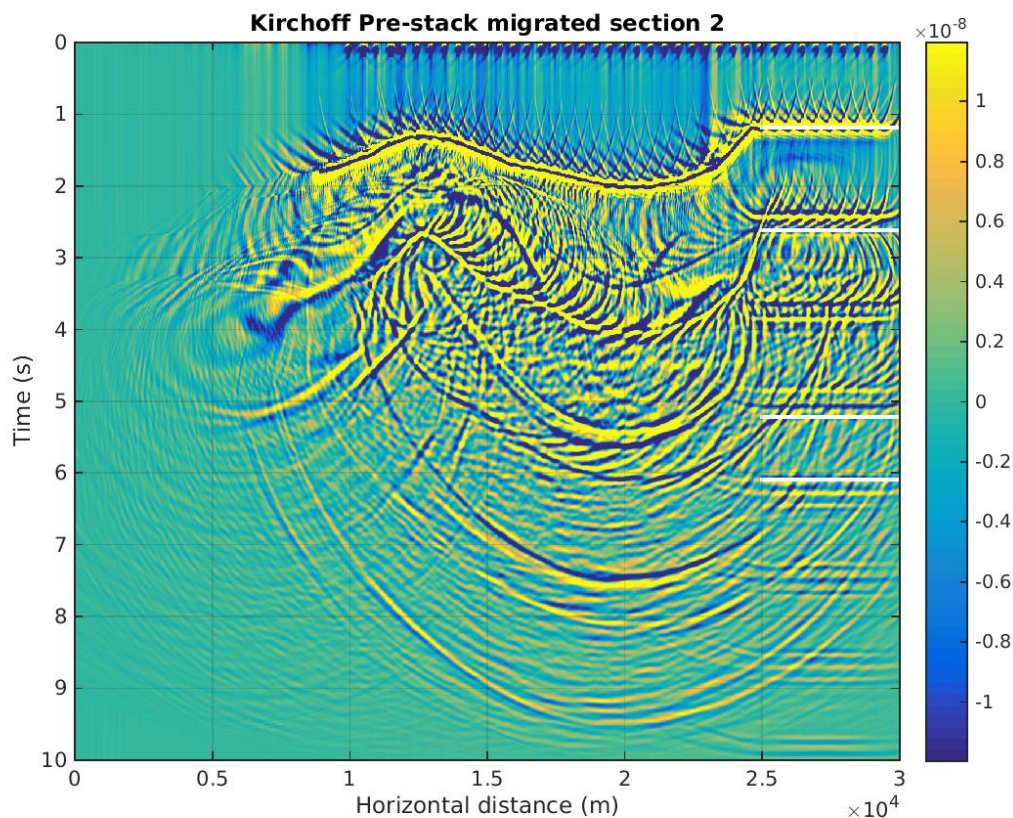
Εικόνα 5.9 Απεικόνιση διπλών κατακόρυφων χρόνων των ανακλάσεων σε μοντέλο με ταχύτητα $V_{rms} \cdot 0.9$



Εικόνα 5.10 Απεικόνιση διπλών κατακόρυφων χρόνων των ανακλάσεων σε μοντέλο με ταχύτητα $V_{rms} \times 1.1$



Εικόνα 5.11 Απεικόνιση διπλών κατακόρυφων χρόνων των ανακλάσεων σε μοντέλο με ταχύτητα $V_{rms} \times 2$



Εικόνα 5.12 Απεικόνιση διπλών κατακόρυφων χρόνων των ανακλάσεων σε μοντέλο με ταχύτητα V_{rms3}

5.2 Τομές σεισμικής χωροθέτησης με ποσοστιαία μεταβολή των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων

Στις εικόνες αυτές παρατηρείται επίσης ότι είναι δυνατός ο εντοπισμός μόνο των 2 πρώτων ανακλαστήρων (πυθμένας θάλασσας & διεπιφάνεια Νεογενών-Ανθρακικών). Αυτός είναι και ο λόγος που αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι επεξεργασίας που στοχεύουν στην ενίσχυση των βαθύτερων ανακλαστήρων. Στις τομές αυτές, κυριαρχούν επίσης οι πολλαπλές ανακλάσεις του πυθμένα.

Στην Εικόνα 5.8 παρατηρείται πως ο 2ος ανακλαστήρας δεν είναι σε όλο του το μήκος ευδιάκριτος.

Στην Εικόνα 5.9 παρατηρείται πως ο 2ος ανακλαστήρας είναι πολύ καλά οριοθετημένος αλλά εμφανίζονται έντονα στον 1ο ανακλαστήρα (πυθμένας) το φαινόμενο της υπερχωροθέτησης. Για το λόγο αυτό δοκιμάστηκε η χωροθέτηση των δεδομένων με σταθερή ταχύτητα χωροθέτησης (και ίση με 1500m/s) για το 1ο στρώμα.

Στην Εικόνα 5.10 παρατηρείται πως ο 2ος ανακλαστήρας εμφανίζεται πιο παχύς σε σχέση με την προηγούμενη δοκιμή ($0.9 \times V_{rms}$).

Στην Εικόνα 5.11 παρατηρείται πως η παραπάνω σεισμική χωροθέτηση αποδεικνύεται ως η πιο βέλτιστη επιλογή μοντέλου ταχύτητας.

5.3 Ενίσχυση του πλάτους των σεισμικών κυμάτων

5.3.1 Διόρθωση γεωμετρικής διασποράς

Επόμενο βήμα της επεξεργασίας, είναι η αντιστάθμιση των πλατών των ελαστικών κυμάτων, τα οποία κατά τη διάδοσή τους, εμφανίζουν έντονα το φαινόμενο της εξασθένησης (attenuation), που οφείλεται στη γεωμετρική διασπορά και σε απόσβεση (absorption) λόγω μετατροπής μέρους της ενέργειας τους σε θερμότητα.

Στη συνέχεια, πολλαπλασιάστηκαν οι πίνακες των χωροθετημένων τομών που είχαν δημιουργηθεί μέχρι τώρα (για όλες τις δοκιμές με διαφορετικές V_{rms} , 4 στο πλήθος) στοιχείο με στοιχείο με το διάνυσμα του χρόνου. Η διαδικασία αυτή εφαρμόστηκε σε χωροθετημένες τομές για την αντιστάθμιση των πλατών για τη γεωμετρική διασπορά (Yilmaz, 1987).

```
for i=1:3001;  
gsstmig(:,i)=stmigsection(:,i)*t2;  
end;  
% t2 is vector of time in sec
```

5.3.2 AEC (Automatic Exposure Control) - AGC (Automatic Gain Control) and Trace Balance

Το τελευταίο βήμα της επεξεργασίας είναι η εφαρμογή των μεθόδων της αυτόματης ενίσχυσης (AEC - AGC) και του φίλτρου Trace Balance. Παρακάτω παρατίθενται οι χωροθετημένες τομές μετά από την εφαρμογή τους και η κατηγοριοποίηση έγινε βάσει της ταχύτητας διάδοσης V_{rms} . Χρησιμοποιήθηκαν επίσης διαφορετικές χρωματικές κλίμακες.

5.3.3 Απεικόνιση ενισχυμένων χωροθετημένων τομών

Τα αποτελέσματα παρατίθενται παρακάτω και αφορούν τις ενισχυμένες χωροθετημένες τομές για όλες τις διαφορετικές μέσες τετραγωνικές ταχύτητες που έχουν χρησιμοποιηθεί, έπειτα την εφαρμογή των φίλτρων Γεωμετρικής Διασποράς, AGC-AEC, Trace balance, καθώς, το προκαθορισμένο παράθυρο εφαρμογής της αυτόματης ενίσχυσης είναι $\frac{1}{8}$ του συνολικού χρόνου καταγραφής, δηλαδή των 10s, τα $\frac{10}{8} = 1,25$ sec, ενώ έγιναν επιπλέον και για 2 (δύο) διαφορετικά παράθυρα εφαρμογής 4,9sec για AEC και 4,5sec για AGC.

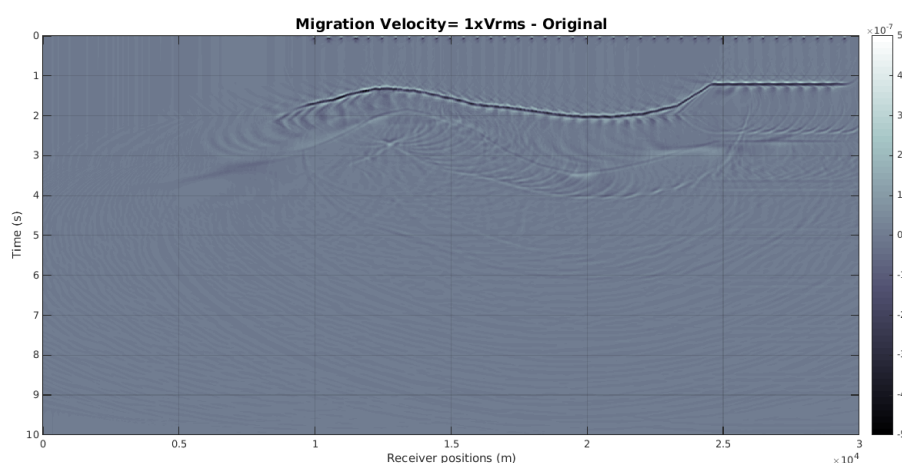
a) Χωροθέτηση με χρήση ταχύτητας V_{rms}

Στην Εικόνα 5.13 απεικονίζεται η χωροθετημένη τομή με την χρήση ταχύτητας χωροθέτησης ίσης με την μέση τετραγωνική ταχύτητα (V_{rms}), ενώ στην Εικόνα 5.14 απεικονίζεται η ίδια τομή αλλά με τις διεπιφάνειες των σεισμικών στρωμάτων να έχουν υπερτεθεί με κόκκινες γραμμές πάνω σε αυτήν. Παρατηρείται ότι ο ανακλαστήρας του πυθμένα της θάλασσας είναι αρκετά ισχυρός, ενώ διακρίνεται αμυδρά η διεπιφάνεια Νεογενών – Ανθρακικών, καθώς επίσης και μια πολλαπλή ανάκλαση του πυθμένα της θάλασσας σε μεταγενέστερους χρόνους. Με εξαίρεση το

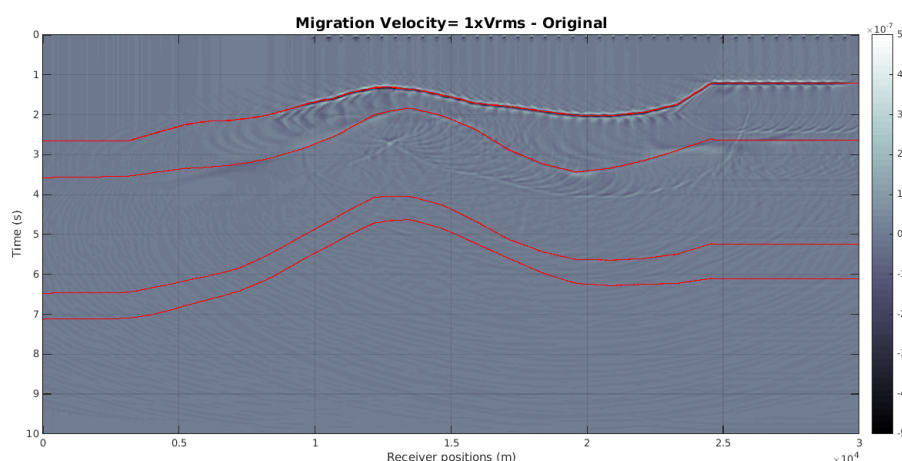
δεξί τμήμα της τομής (25-30km) είναι αδύνατο να εντοπιστούν οι ανακλάσεις από τις βαθύτερες διεπιφάνειες (Ανθρακικά-Εβαπορίτες & Εβαπορίτες-Ανθρακικά Τριαδικού).

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι περιθλάσεις που παρουσιάζονται στη θέση των ανακλαστήρων οφείλονται σε μεγάλο ποσοστό στην αραιή και μεγάλη ισαπόσταση των πηγών (ανά 500m).

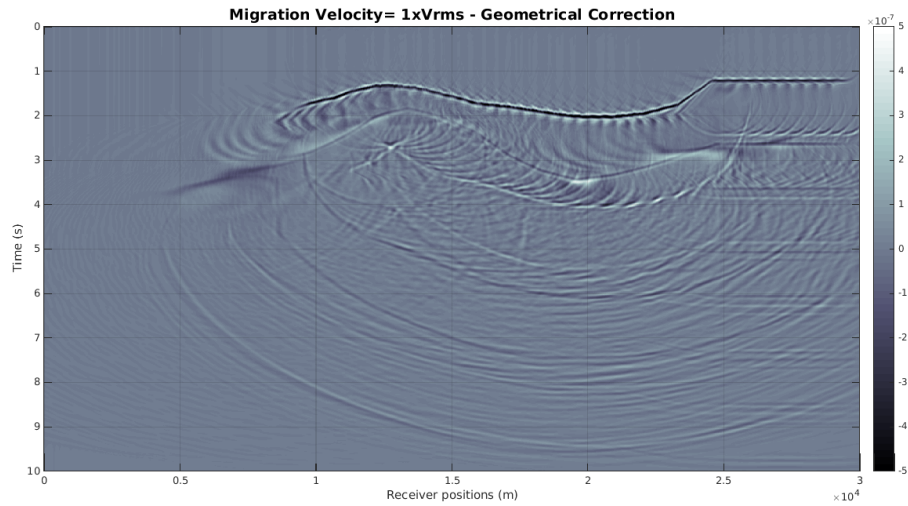
Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η αποτελεσματική απαλοιφή των «ουρών» των περιθλάσεων (μέσω της μεταξύ τους εξουδετέρωσης -cancel out) και εντοπίζονται μετά την εφαρμογή της χωροθέτησης, όσο απομακρυνόμαστε από τη θέση της προβολής της πηγής από τον εκάστοτε ανακλαστήρα. Εκτός από την πυκνή τοποθέτηση των πηγών, σημαντική, επίσης, παράμετρος για τον περιορισμό της εμφάνισης των περιθλάσεων αυτών είναι η χρήση της βέλτιστης ταχύτητας χωροθέτησης, έτσι ώστε να αντιμετωπίζονται φαινόμενα υπερχωροθέτησης ή υποχωροθέτησης σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερες αποστάσεις από την προβολή της πηγής στους ανακλαστήρες



Εικόνα 5.13 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms}

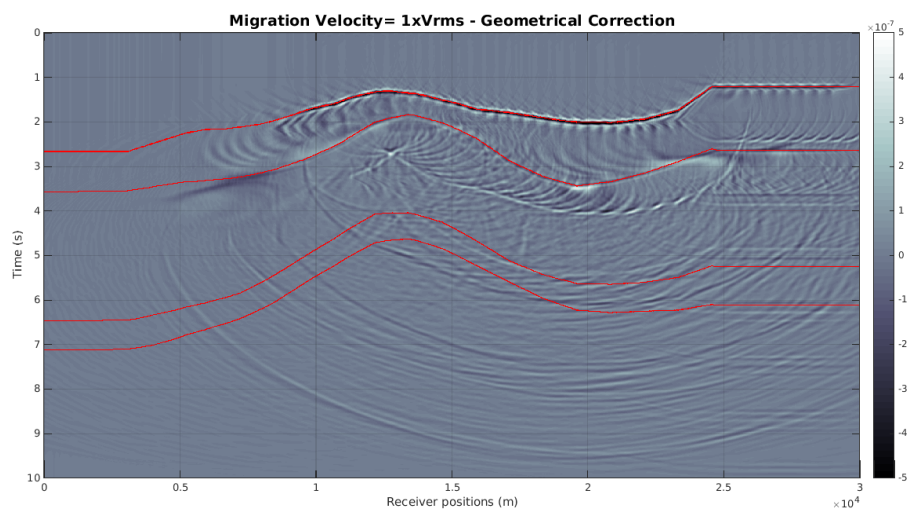


Εικόνα 5.14 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

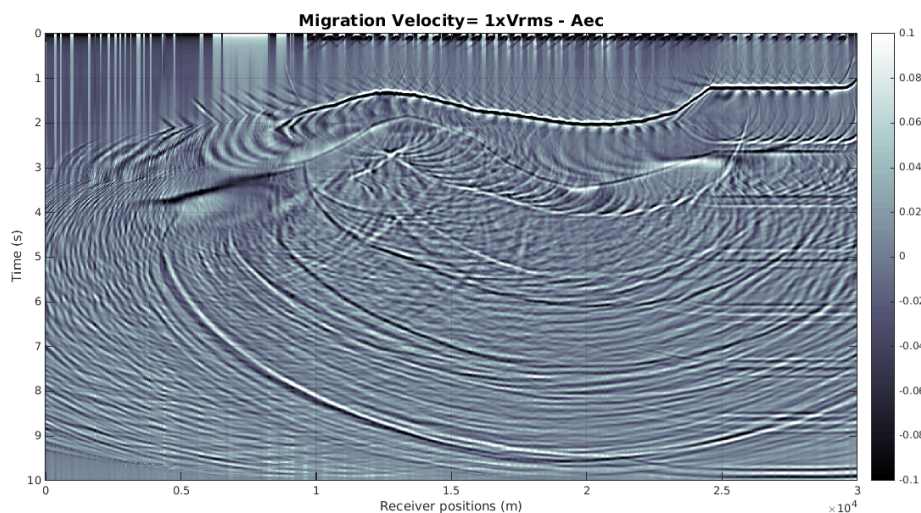


Εικόνα 5.15 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης

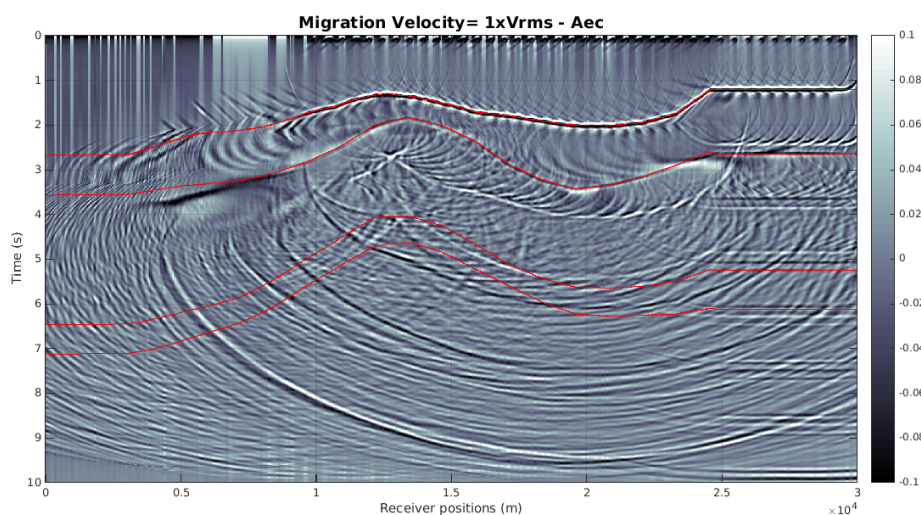
Στην Εικόνα 5.15 έχει αναδειχθεί και ο 2ος ανακλαστήρας αλλά και η 1η πολλαπλή του πυθμένα.



Εικόνα 5.16 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων



Εικόνα 5.17 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AEC και παράθυρο εφαρμογής 1,25sec

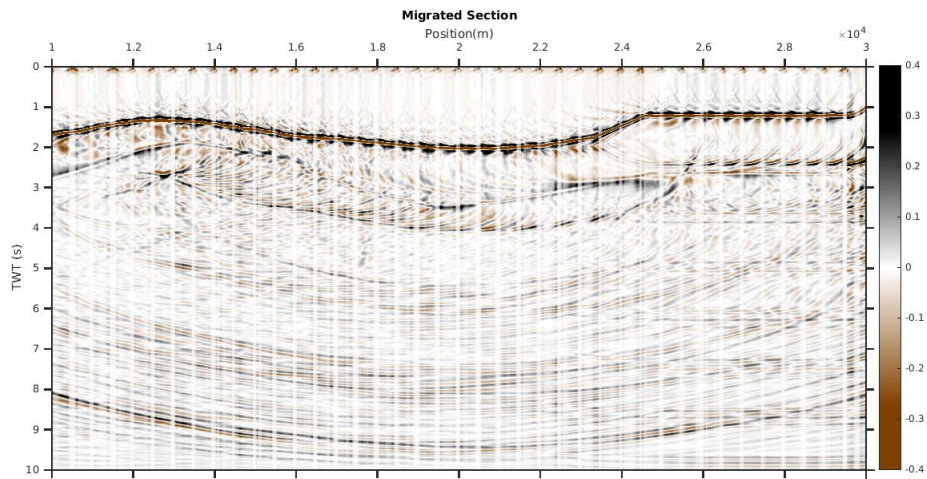


Εικόνα 5.18 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AEC με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών και παράθυρο εφαρμογής 1,25sec. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

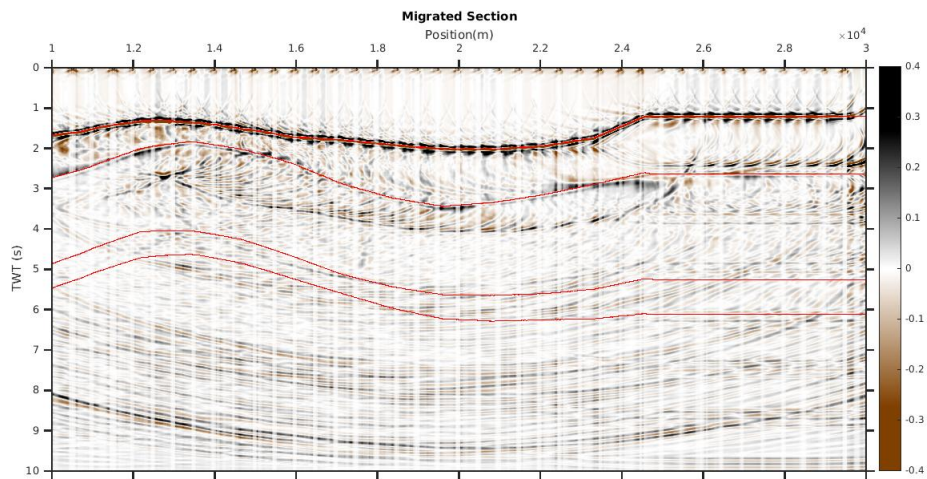
Στην Εικόνα 5.17 παρατηρείται πως υπάρχει ενίσχυση των πλατών στους μεγαλύτερους χρόνους χωρίς να είναι δυνατός ο εντοπισμός του 3ου και 4ου ανακλαστήρα. Επίσης, είναι έντονο το φαινόμενο της υπερχωροθέτησης σε χρόνους μεγαλύτερους από 5s.

1. Χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec

Μία επιπλέον ενέργεια είναι η χρήση του φίλτρου AEC, με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής, ίσο με 4,9s. Ο κώδικας επεξεργασίας για την συγκεκριμένη εφαρμογή περιγράφεται αναλυτικά στο παράρτημα ως Κώδικας 8.4.6. Επίσης, δοκιμάστηκε διαφορετική χρωματική κλίμακα απεικόνισης των πλατών και η τομή απεικονίζεται μετά την θέση της πρώτης πηγής (10.000m).



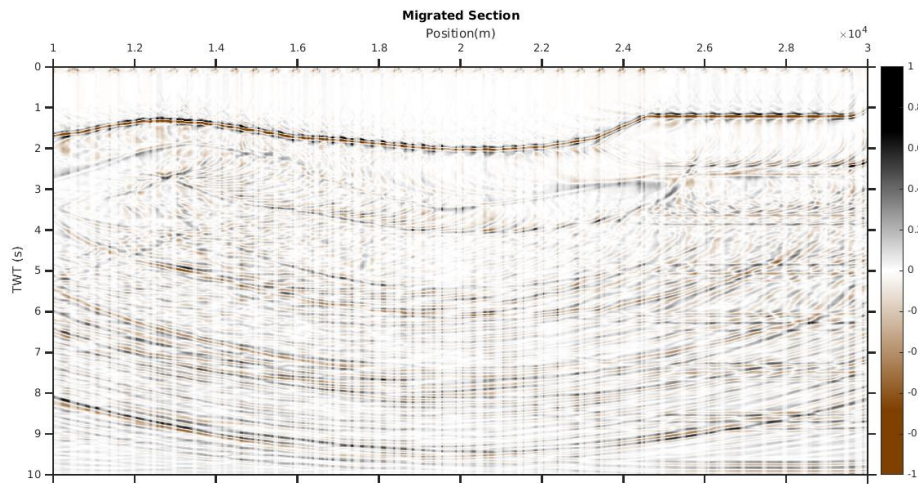
Εικόνα 5.19 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9sec



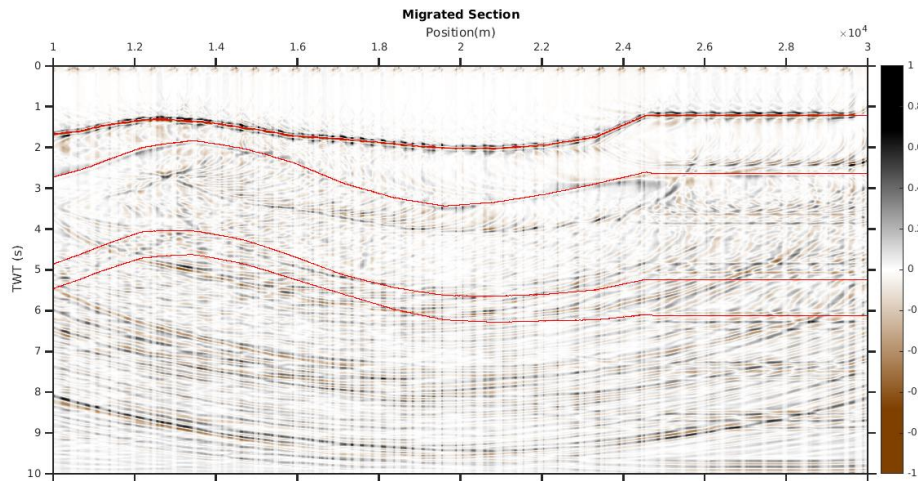
Εικόνα 5.20 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

2. Χρήση της Αυτόματης Ενίσχυσης Σήματος (Automatic Gain Control – AGC) με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec

Η εφαρμογή του φίλτρου AGC αποσκοπεί στην ενίσχυση του πλάτους των κυμάτων που προέρχονται από μεγαλύτερα βάθη. Ο κώδικας επεξεργασίας για την συγκεκριμένη εφαρμογή περιγράφεται αναλυτικά στο παράρτημα ως Κώδικας 8.4.7.



Εικόνα 5.21 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec

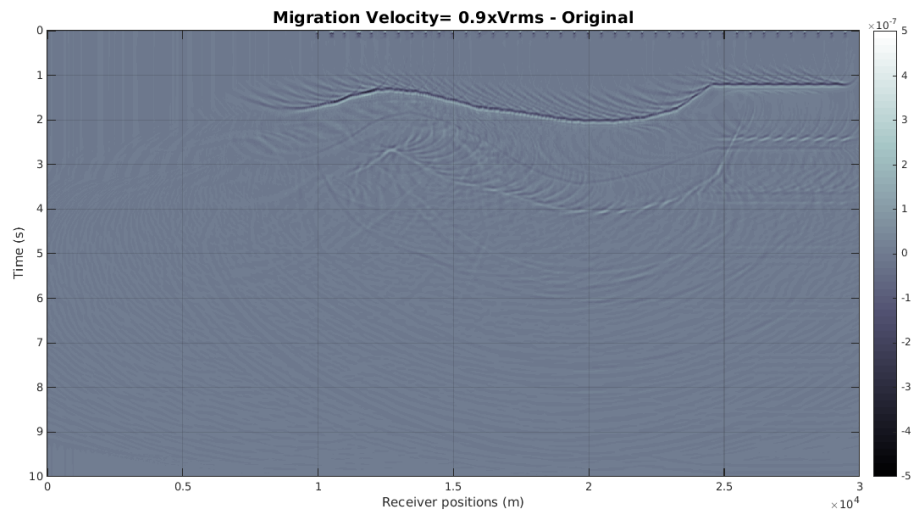


Εικόνα 5.22 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AGC με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

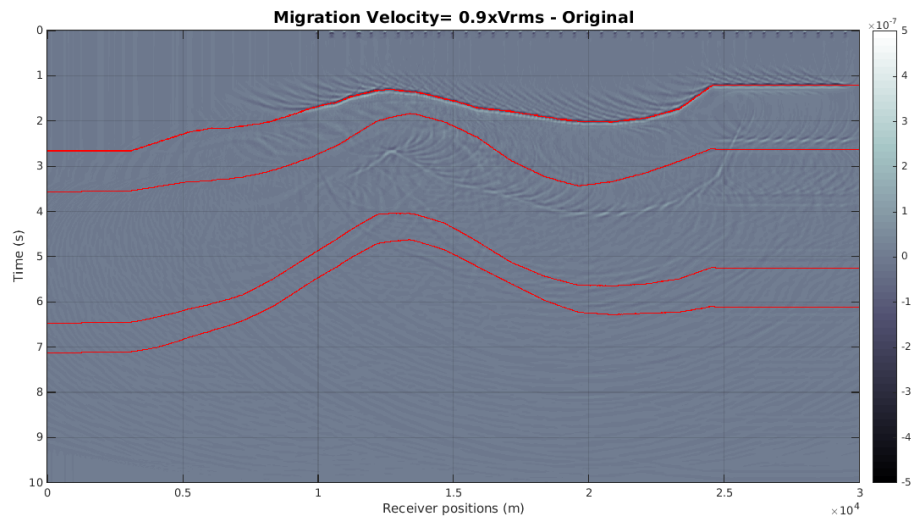
Από τις παραπάνω εικόνες προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα και σχόλια:

- Με τη χρήση του αρχικού μοντέλου των V_{rms} αποδίδεται ικανοποιητικά ο πυθμένας της θάλασσας, όχι όμως οι βαθύτεροι ανακλαστήρες.
- Με τη χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης, παρατηρείται καλύτερη απεικόνιση των διεπιφανειών, χωρίς όμως να υποδεικνύει την βέλτιστη αποτύπωσή τους.
- Έχει αναδειχθεί και ο 2ος ανακλαστήρας αλλά και η 1η πολλαπλή του πυθμένα
- Με τη χρήση του AEC, παρατηρείται εμφανώς η καλύτερη απεικόνιση, εκ των τριών δοκιμών.
- Υπάρχει ενίσχυση των πλατών στους μεγαλύτερους χρόνους χωρίς να είναι δυνατός ο εντοπισμός του 3ου και 4ου ανακλαστήρα.
- Επίσης, είναι έντονο το φαινόμενο της υπερχωροθέτησης σε χρόνους μεγαλύτερους από 5s.

b) Χωροθέτηση με την χρήση ταχύτητας $V_{rms} \cdot 0.9$

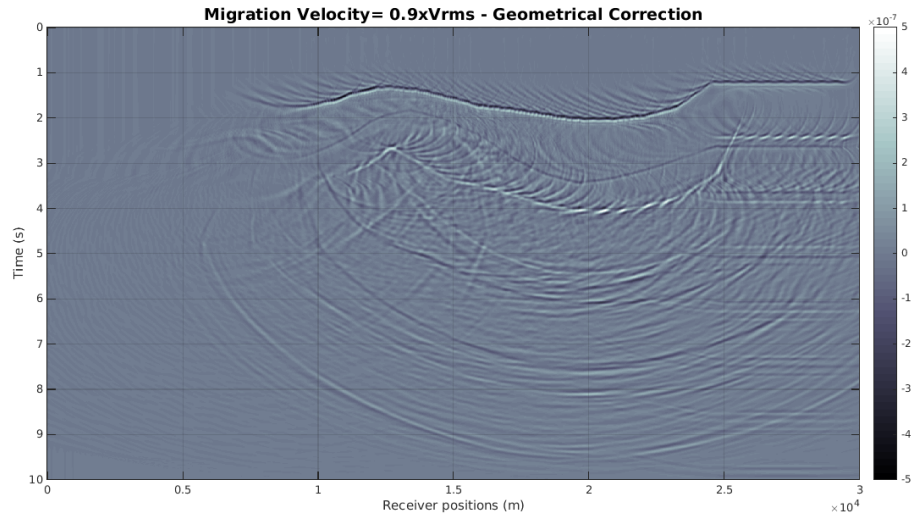


Εικόνα 5.23 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων

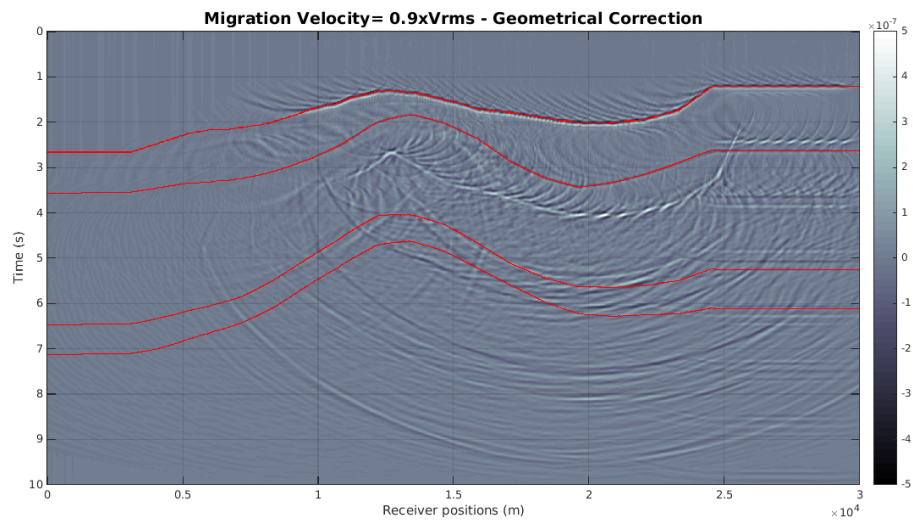


Εικόνα 5.24 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Στην Εικόνα 5.23 παρατηρείται πως είναι εμφανής κυρίως ο 1ος ανακλαστήρας.

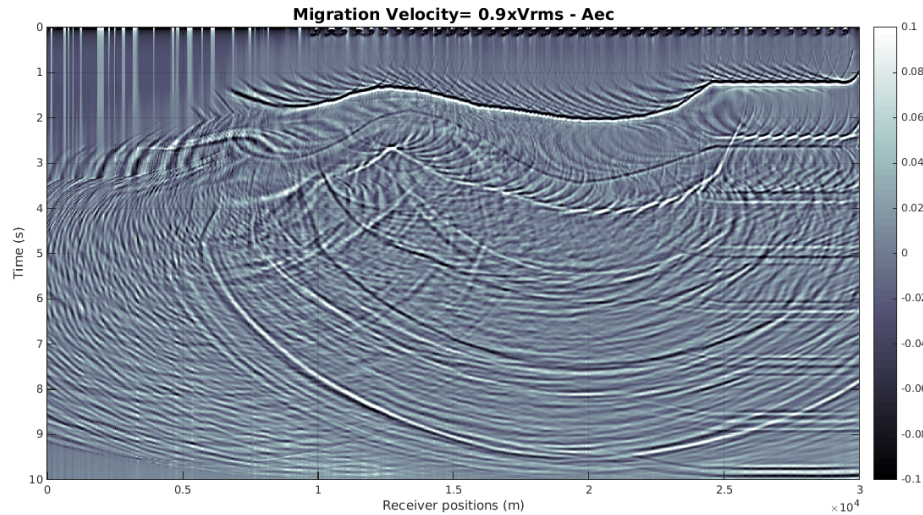


Εικόνα 5.25 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης

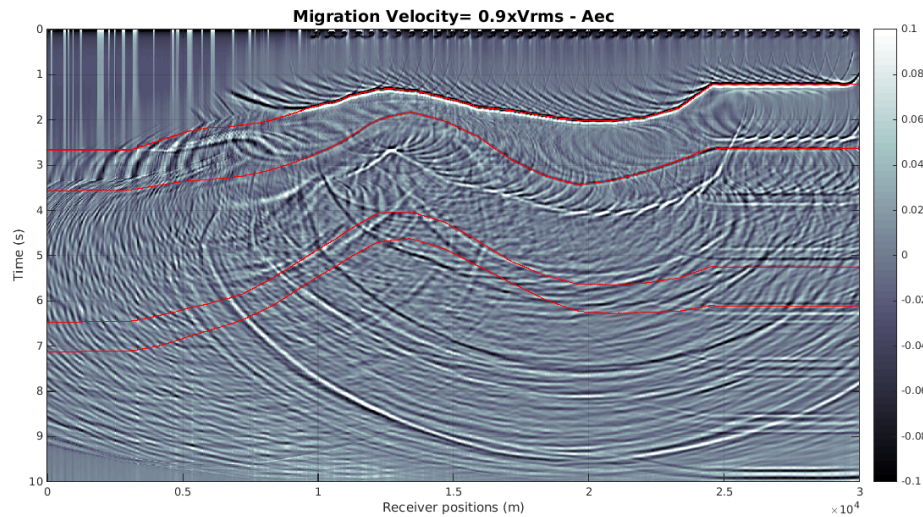


Εικόνα 5.26 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Στην Εικόνα 5.25 έχει αναδειχθεί και ο 2ος ανακλαστήρας αλλά και η 1η πολλαπλή του πυθμένα.



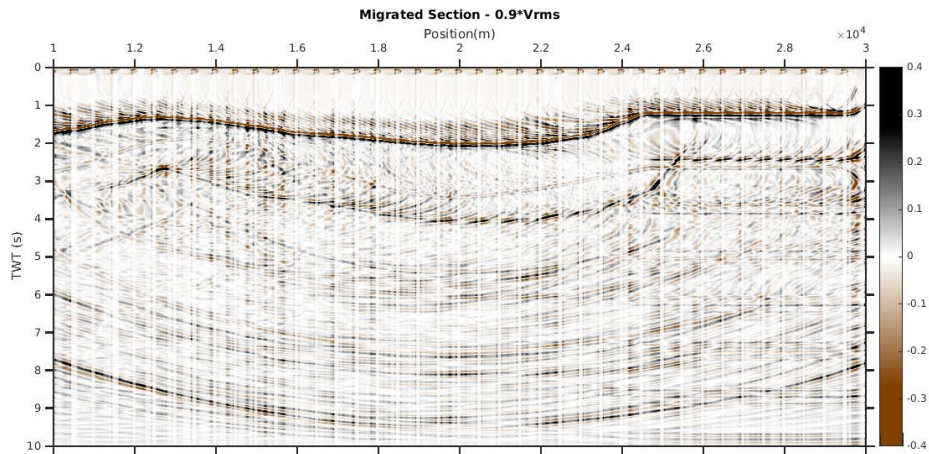
Εικόνα 5.27 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec



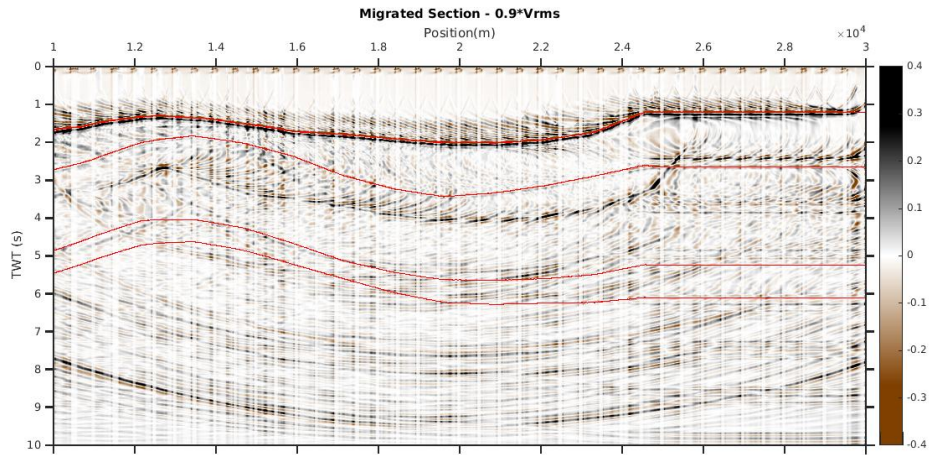
Εικόνα 5.28 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο εφαρμογής 1,25 sec με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Στην Εικόνα 5.27 παρατηρείται πως υπάρχει ενίσχυση των πλατών στους μεγαλύτερους χρόνους χωρίς να είναι δυνατός ο εντοπισμός του 3ου και 4ου ανακλαστήρα. Επίσης, είναι έντονο το φαινόμενο της υπερχωροθέτησης σε χρόνους μεγαλύτερους από 5s.

1. Χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec



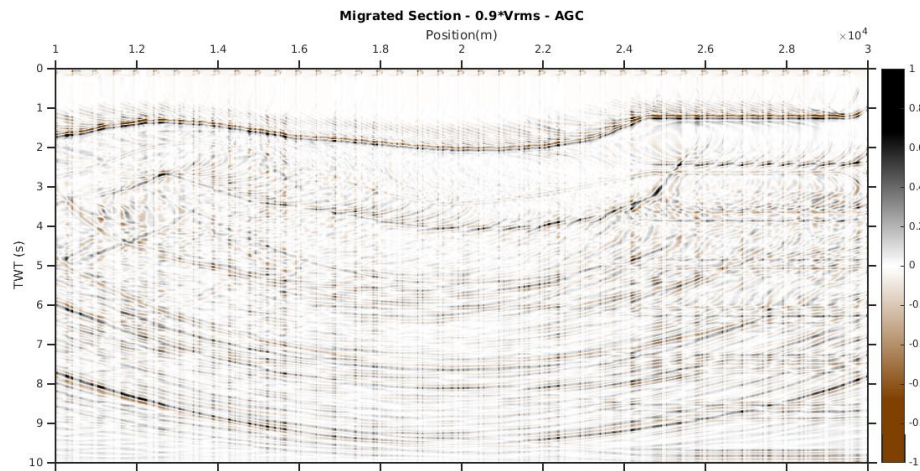
Εικόνα 5.29 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec



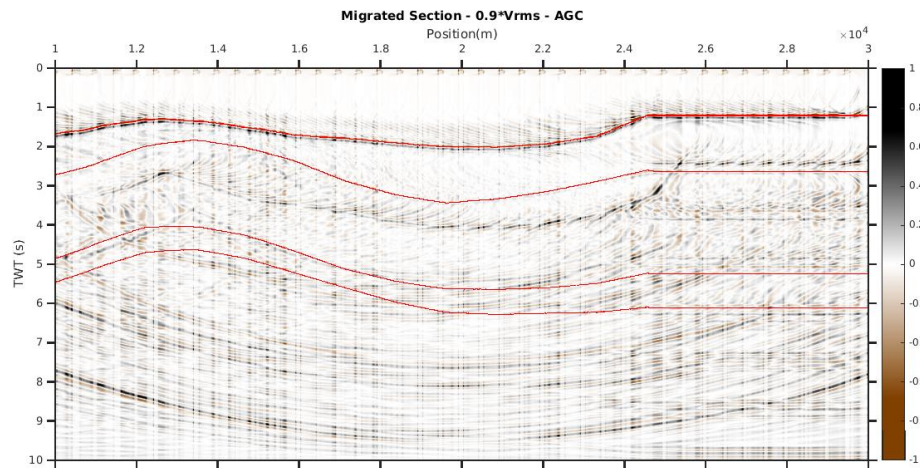
Εικόνα 5.30 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Στην Εικόνα 5.29 παρατηρείται ότι δεν εμφανίζεται σχεδόν καθόλου ο 2ος ανακλαστήρας.

2. Χρήση της Αυτόματης Ενίσχυσης Σήματος (Automatic Gain Control – AGC) με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec



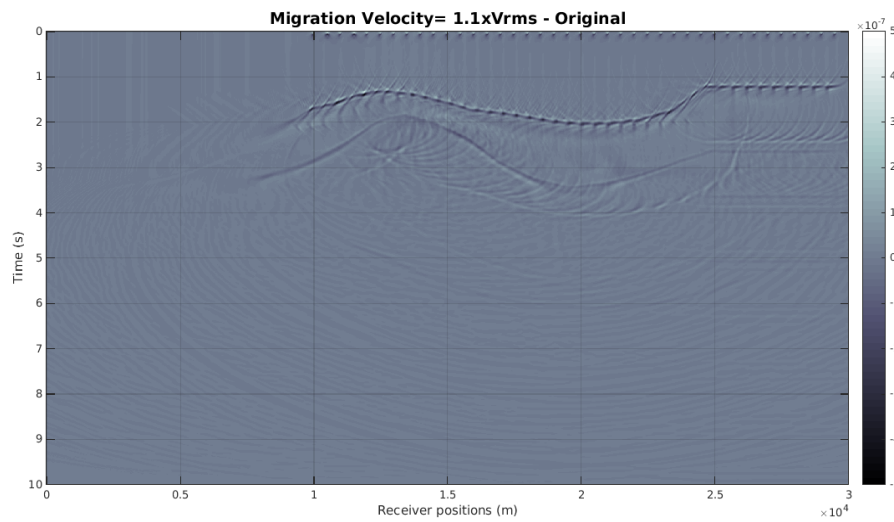
Εικόνα 5.31 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec



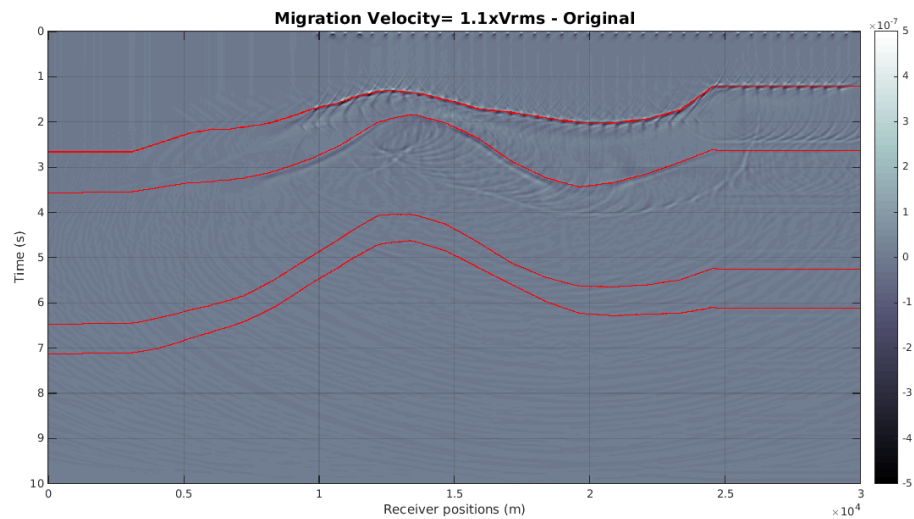
Εικόνα 5.32 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Στην Εικόνα 5.31 δεν εμφανίζεται σχεδόν καθόλου ο 2ος ανακλαστήρας.

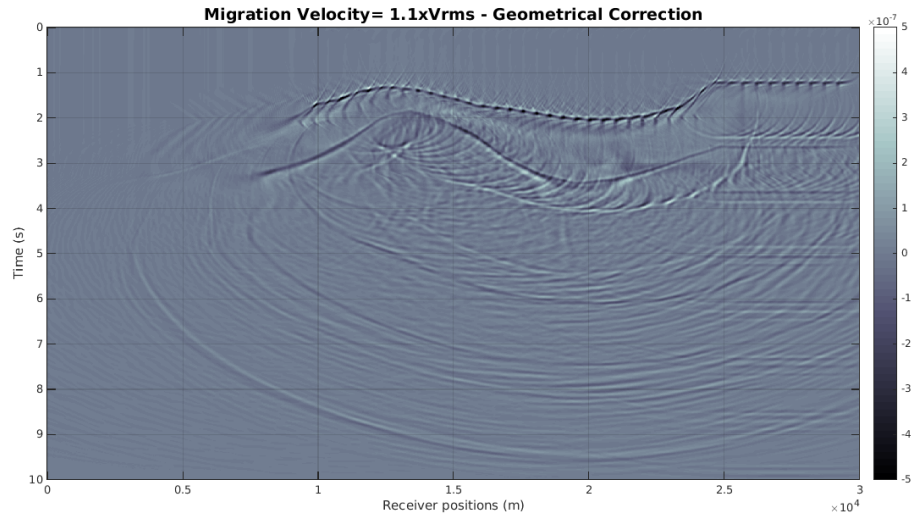
c) Χωροθέτηση με τη χρήση ταχύτητας $V_{rms} \cdot 1.1$



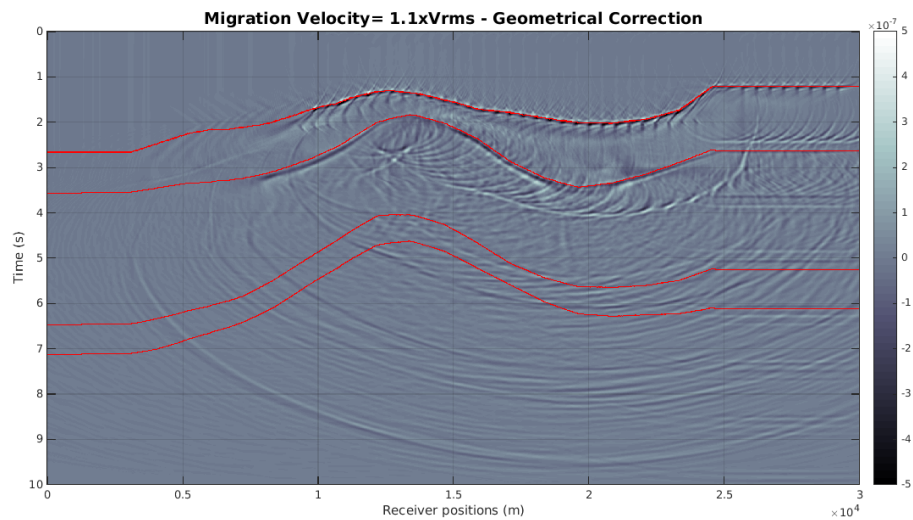
Εικόνα 5.33 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων



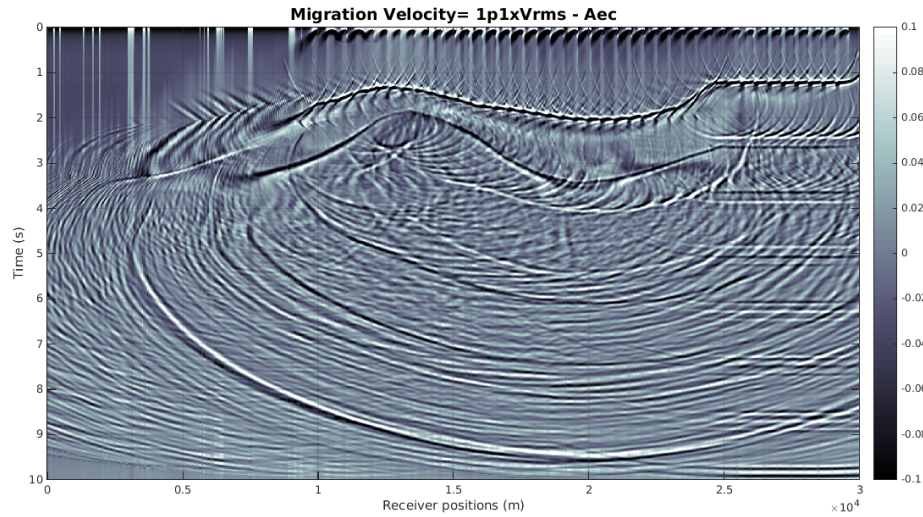
Εικόνα 5.34 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων



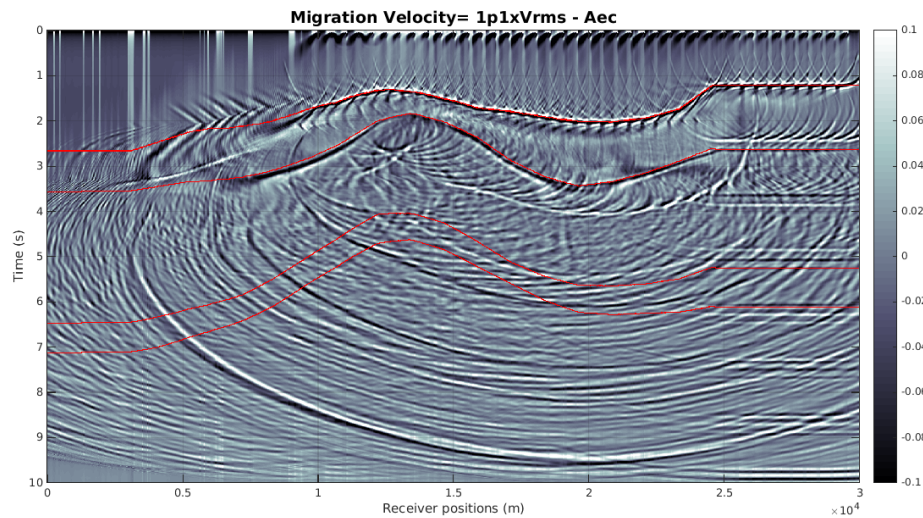
Εικόνα 5.35 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης



Εικόνα 5.36 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

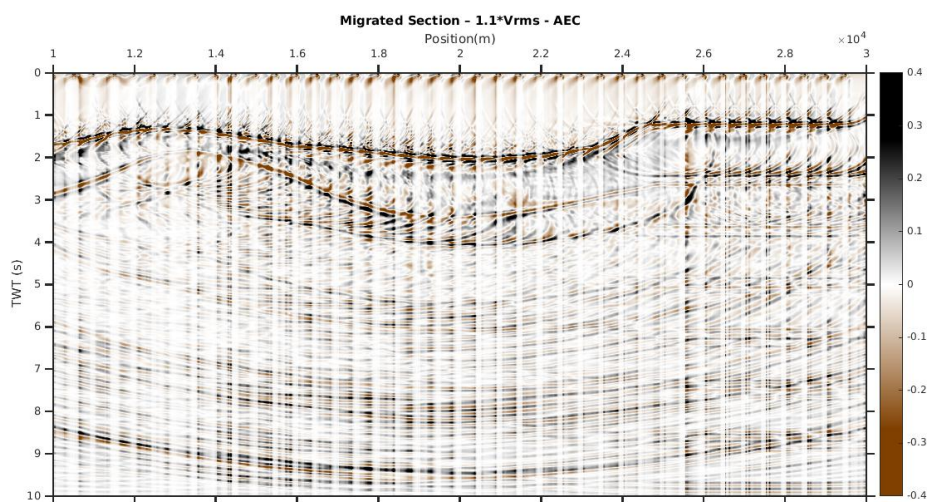


Εικόνα 5.37 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec

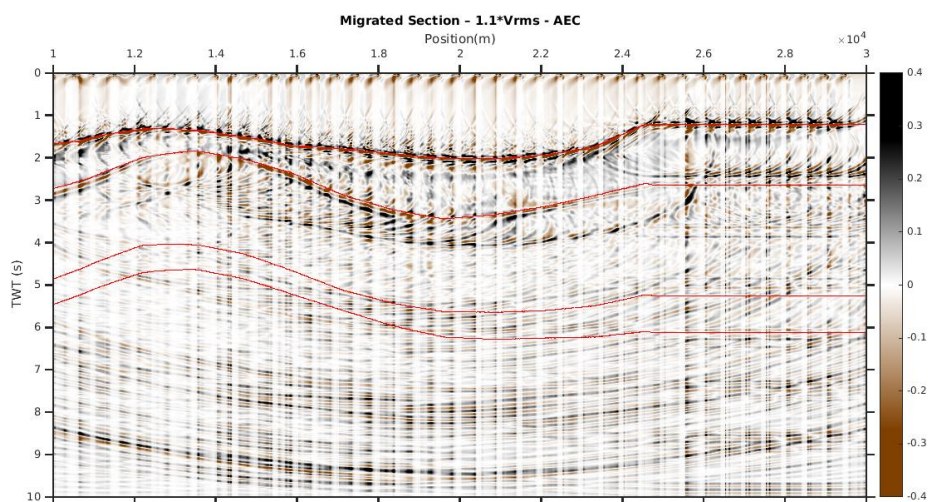


Εικόνα 5.38 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

1. Χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec



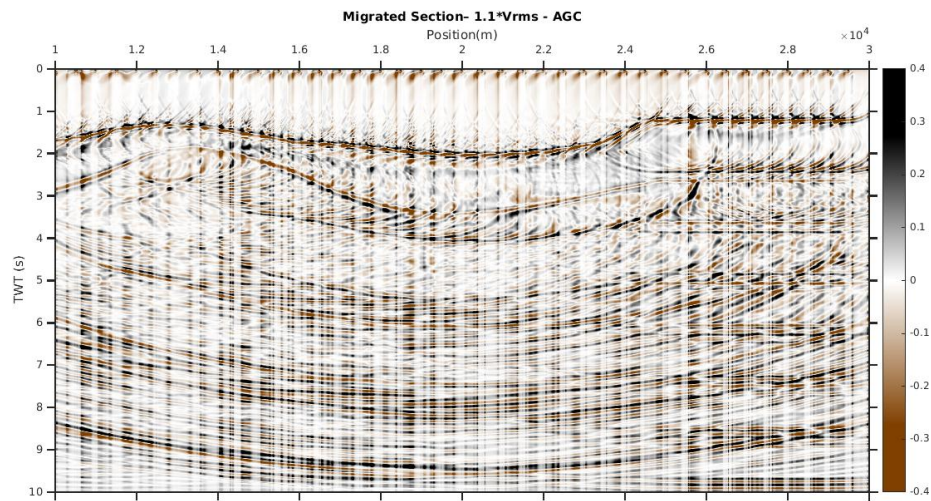
Εικόνα 5.39 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec



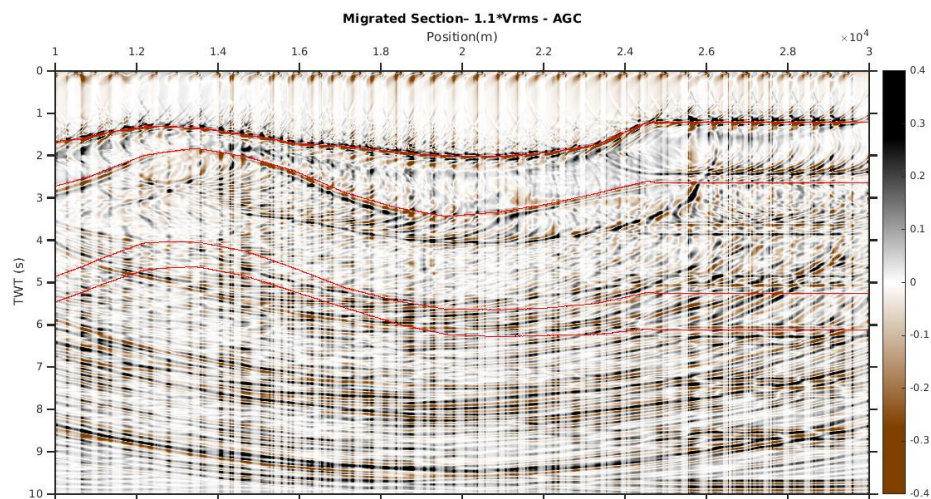
Εικόνα 5.40 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Στην Εικόνα 5.39 παρατηρείται ότι υπάρχει καλύτερη απεικόνιση του 2ου ανακλαστήρα σε σχέση με την αντίστοιχη τομή με χρήση $1xV_{rms}$ & $0.9xV_{rms}$.

2. Χρήση της Αυτόματης Ενίσχυσης Σήματος (Automatic Gain Control – AGC) με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec



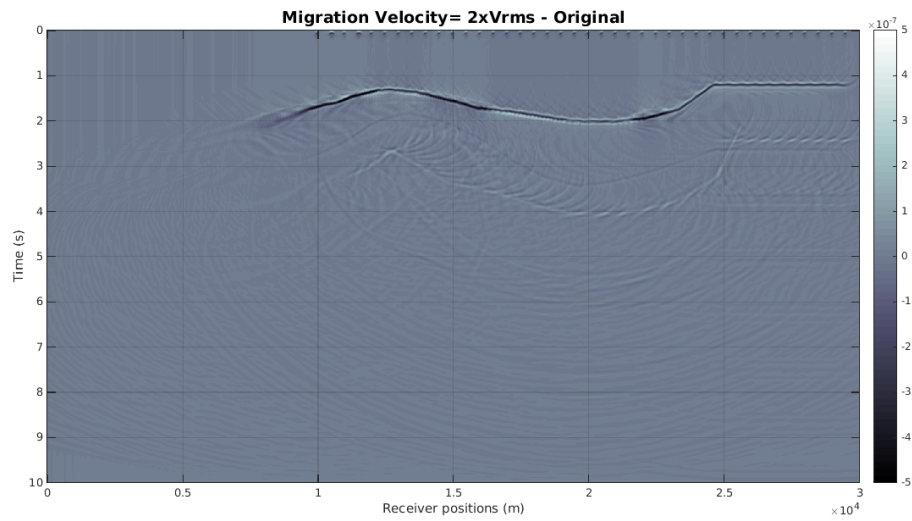
Εικόνα 5.41 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec



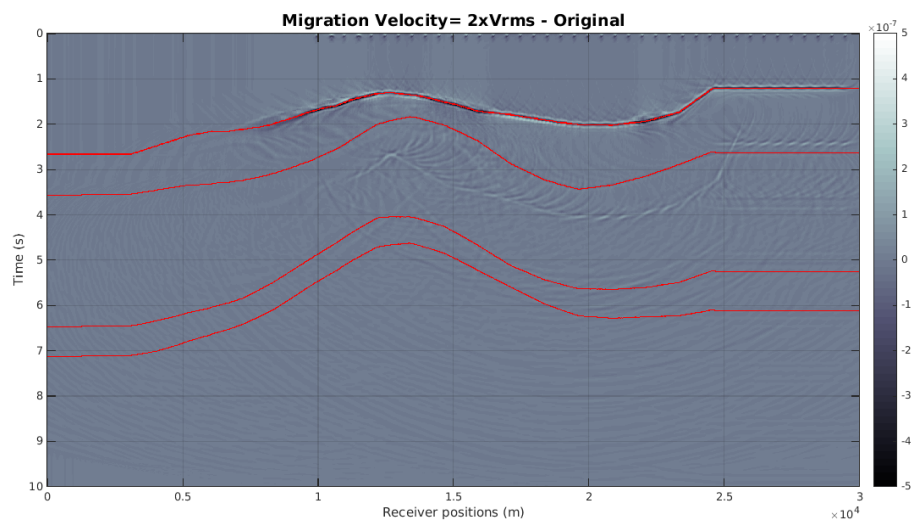
Εικόνα 5.42 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Στην Εικόνα 5.41 παρατηρείται ότι υπάρχει καλύτερη απεικόνιση του 2ου ανακλαστήρα σε σχέση με την αντίστοιχη τομή με χρήση $1xV_{rms}$ & $0.9xV_{rms}$.

d) Χωροθέτηση με την χρήση ταχύτητας V_{rms2} ($Migration\ Velocity = 0.9 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ })

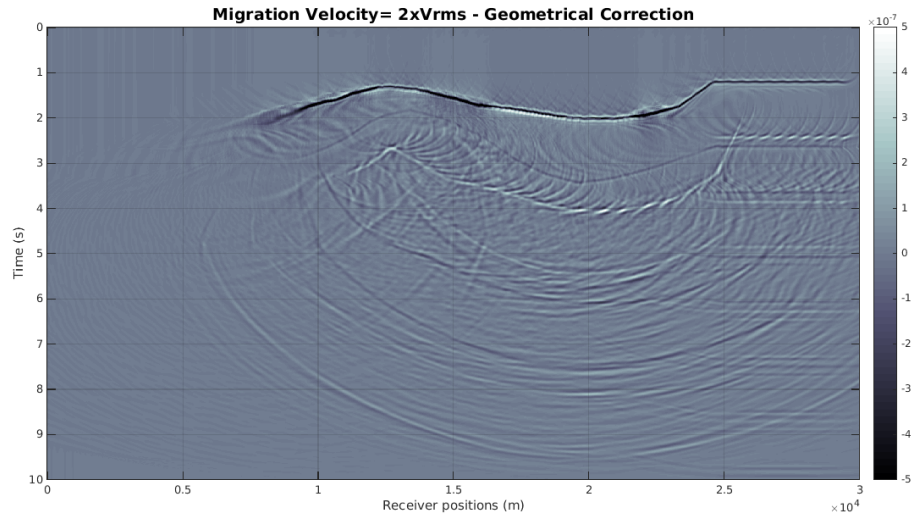


Εικόνα 5.43 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} ($Migration\ Velocity = 0.9 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων

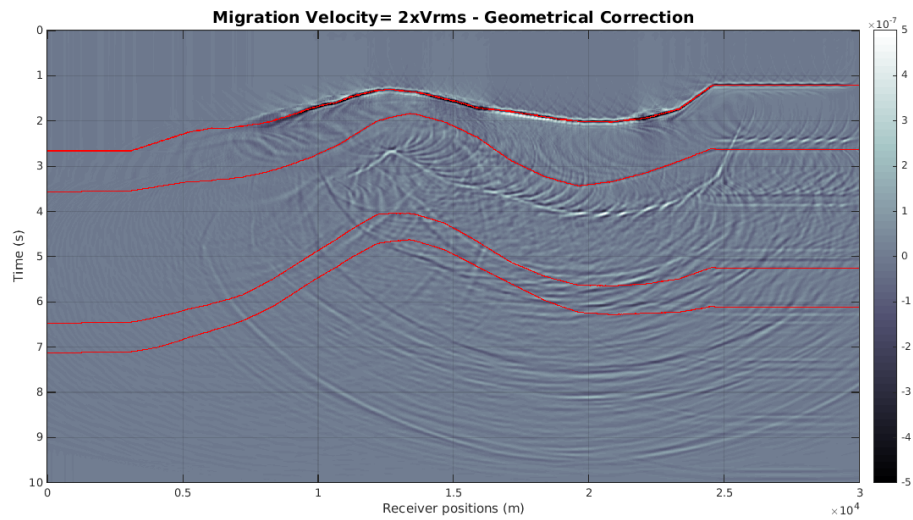


Εικόνα 5.44 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} ($Migration\ Velocity = 0.9 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

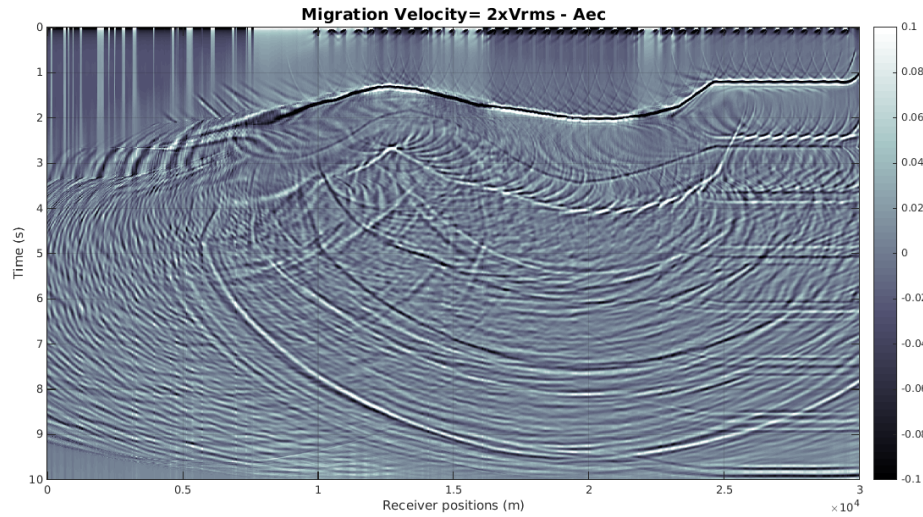
Στην Εικόνα 5.43 έχουν απομειωθεί αισθητά οι ουρές των περιθλάσεων στον πρώτο ανακλαστήρα.



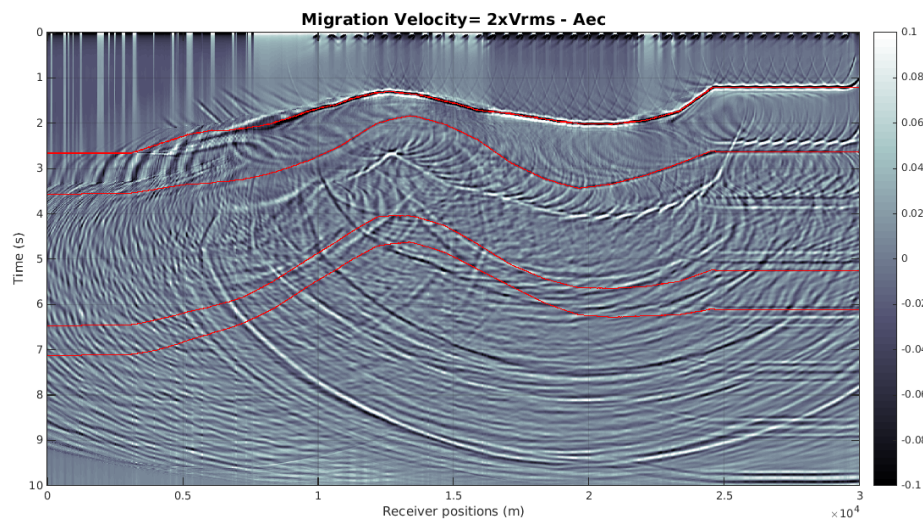
Εικόνα 5.45 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} ($\text{Migration Velocity} = 0.9 \times V_{rms}$ $\{V1=1500\}$), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης



Εικόνα 5.46 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} ($\text{Migration Velocity} = 0.9 \times V_{rms}$ $\{V1=1500\}$), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

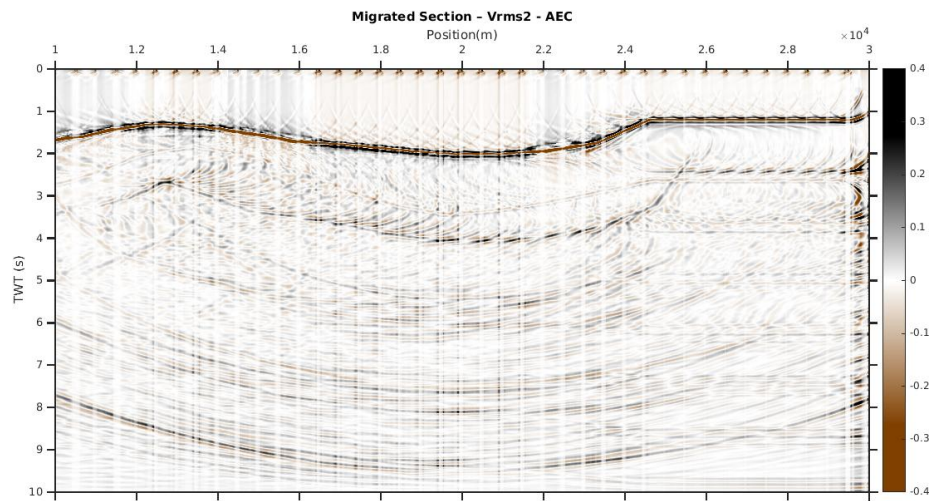


Εικόνα 5.47 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} ($\text{Migration Velocity} = 0.9 \times V_{rms}$ $\{V1=1500\}$), με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec

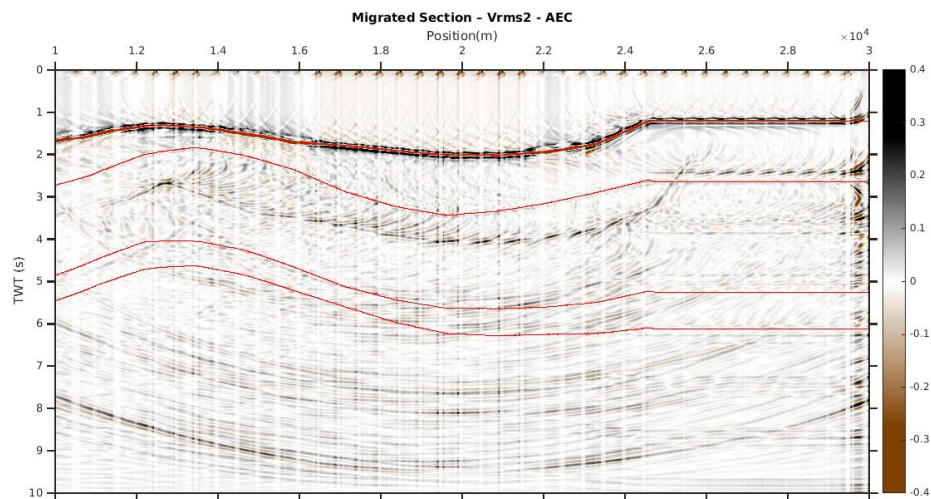


Εικόνα 5.48 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} ($\text{Migration Velocity} = 0.9 \times V_{rms}$ $\{V1=1500\}$), με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

1. Χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec

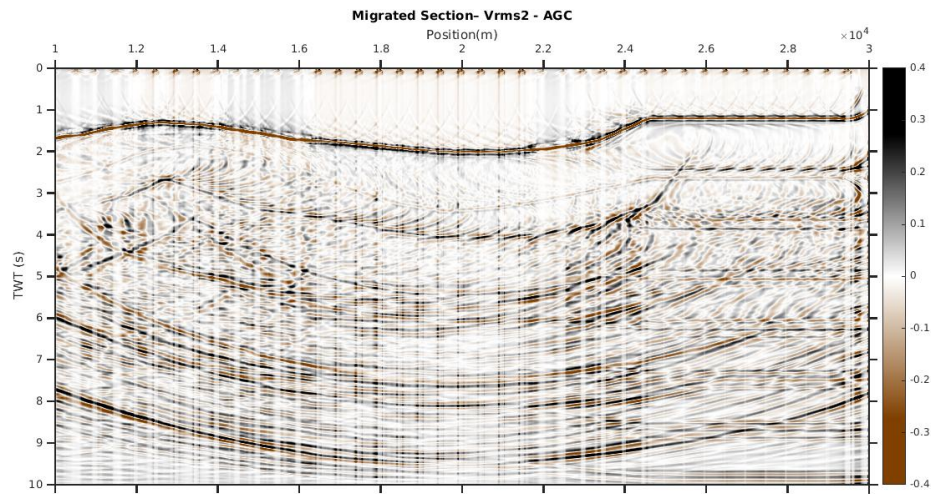


Εικόνα 5.49 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} (Migration Velocity= $0.9 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec

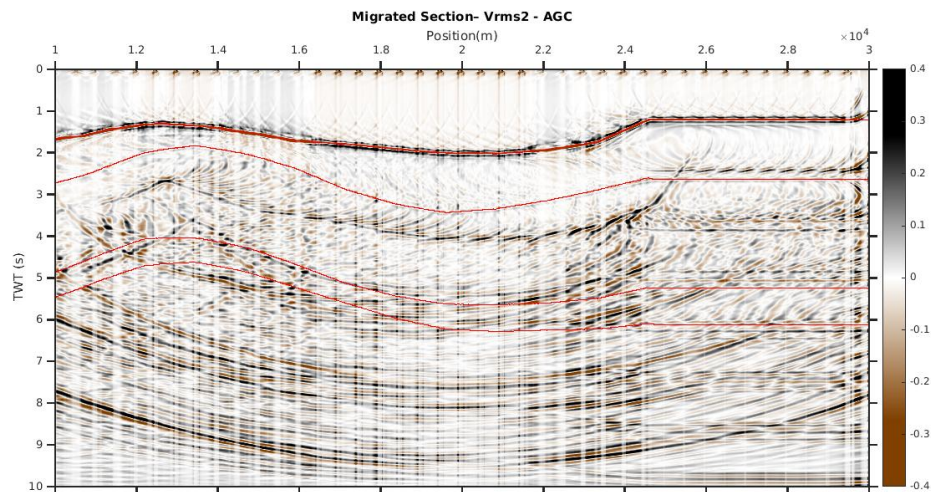


Εικόνα 5.50 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} (Migration Velocity= $0.9 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

2. Χρήση της Αυτόματης Ενίσχυσης Σήματος (Automatic Gain Control – AGC) με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec



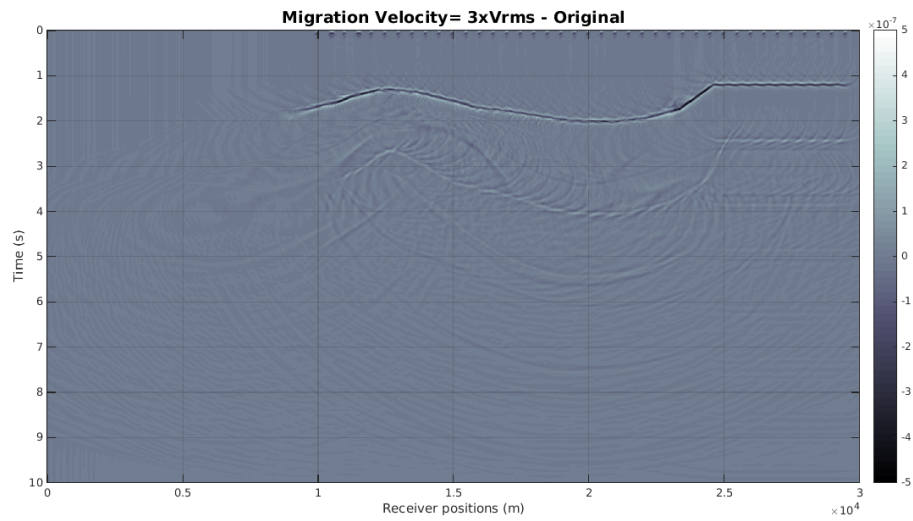
Εικόνα 5.51 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} (Migration Velocity= $0.9 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec



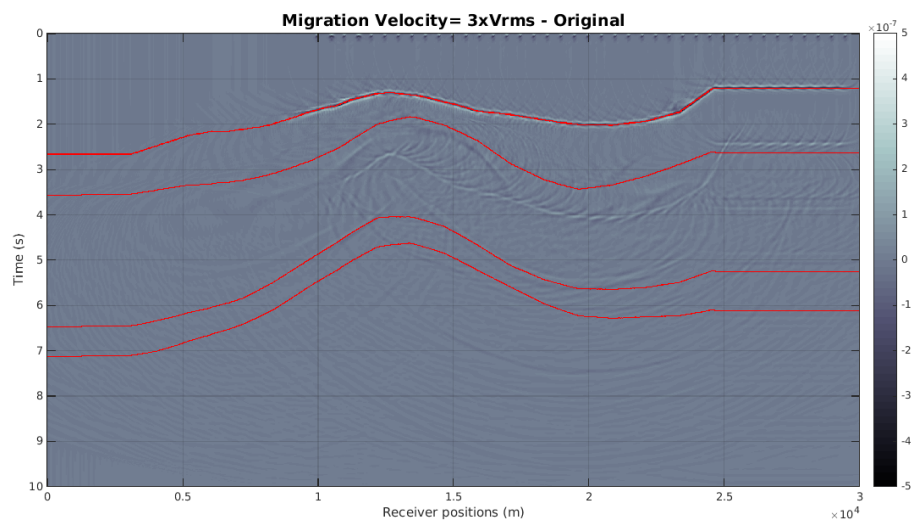
Εικόνα 5.52 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} (Migration Velocity= $0.9 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Στην Εικόνα 5.51 παρατηρείται πολύ έντονο το φαινόμενο της υπερχωροθέτησης σε χρόνους μεγαλύτερους από 5s.

ε) Χωροθέτηση με την χρήση ταχύτητας V_{rms3} ($Migration\ Velocity = V_{rms} * 0.8$, $\{V1=1500\}$)

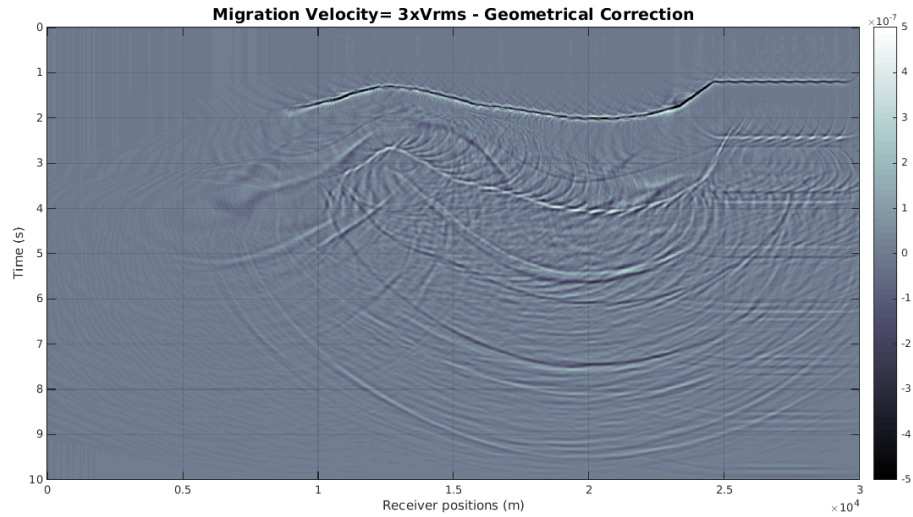


Εικόνα 5.53 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} ($Migration\ Velocity = 0.8 \times V_{rms}$ $\{V1=1500\}$) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων

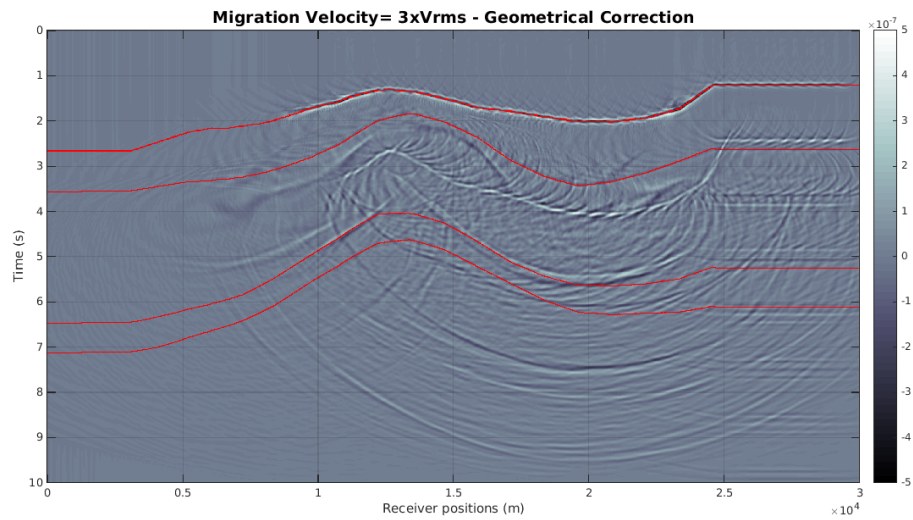


Εικόνα 5.54 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} ($Migration\ Velocity = 0.8 \times V_{rms}$ $\{V1=1500\}$) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

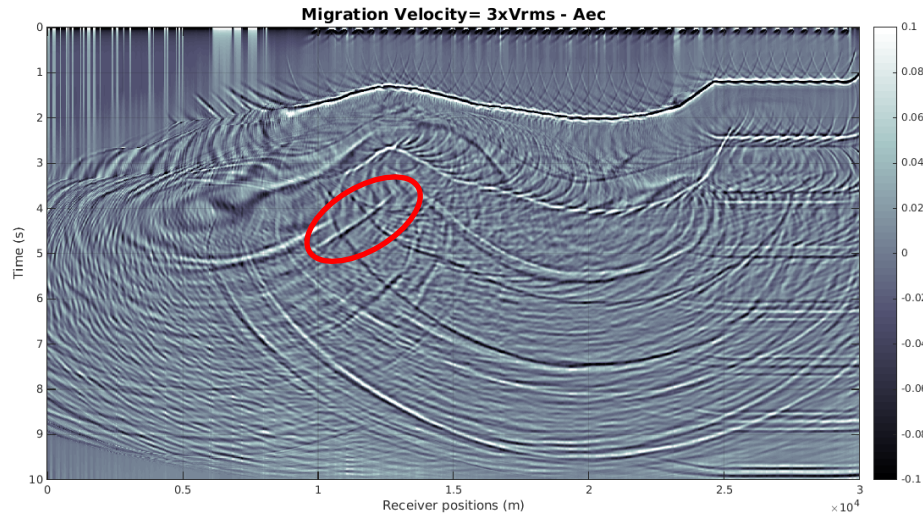
Στην Εικόνα 5.53 παρατηρείται ότι δεν απεικονίζεται καλά ο 2ος ανακλαστήρας.



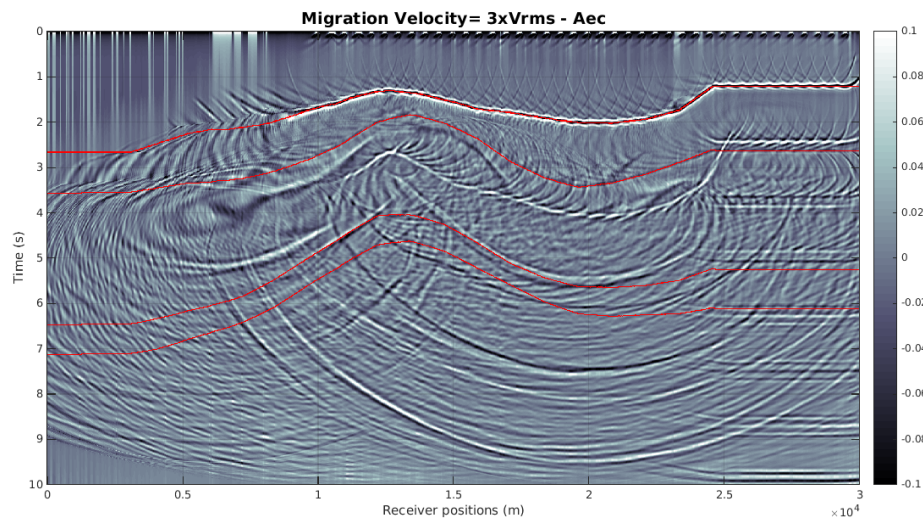
Εικόνα 5.55 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V_1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης



Εικόνα 5.56 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V_1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων



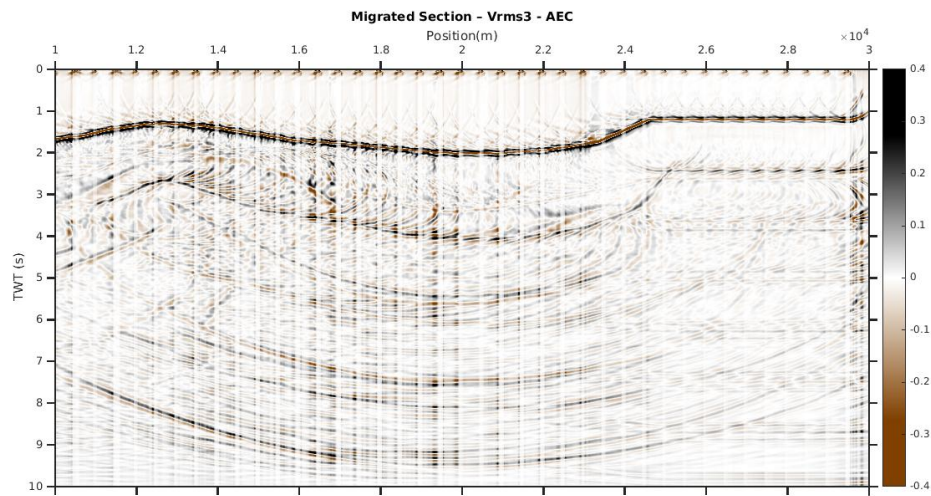
Εικόνα 5.57 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} ($\text{Migration Velocity} = 0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec. Η έλλειψη αντιστοιχεί στην εμφάνιση του 3^{ου} ανακλαστήρα



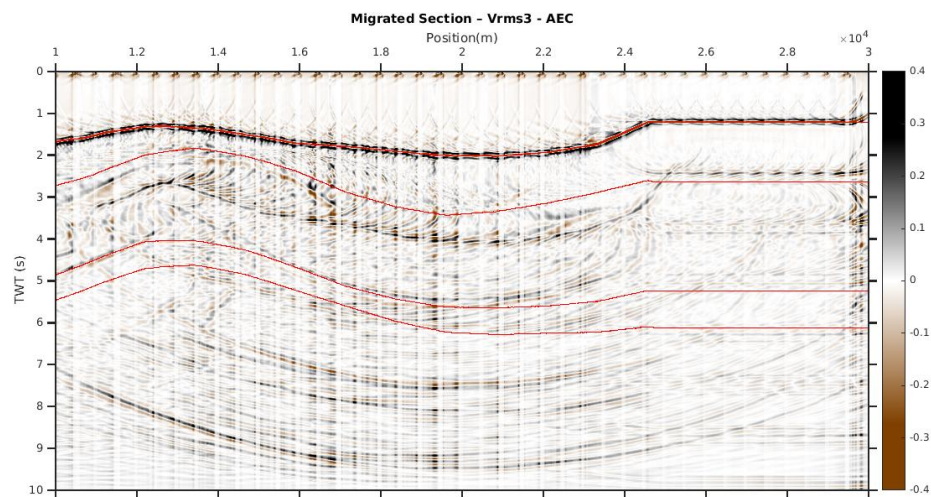
Εικόνα 5.58 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} ($\text{Migration Velocity} = 0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Στην Εικόνα 5.57 παρατηρείται η εμφάνιση τμημάτων του 3ου ανακλαστήρα (βλ. κυκλωμένο)

1. Χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec

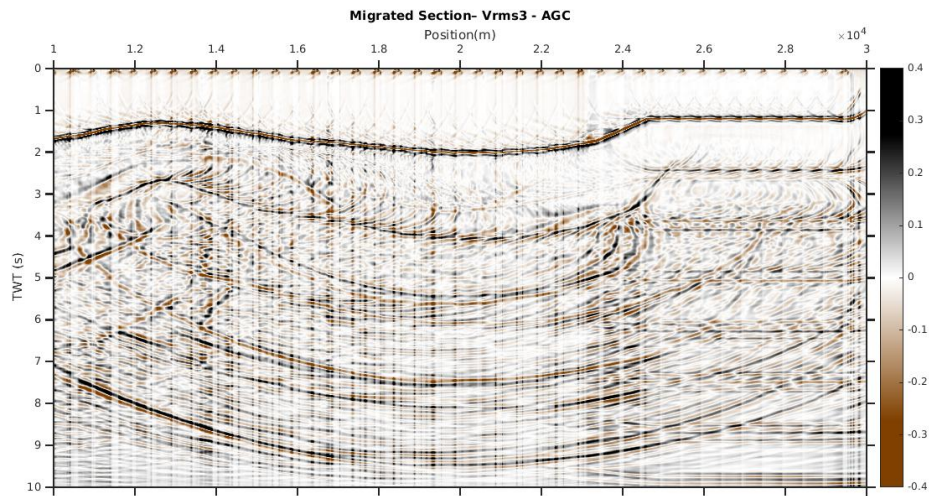


Εικόνα 5.59 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec

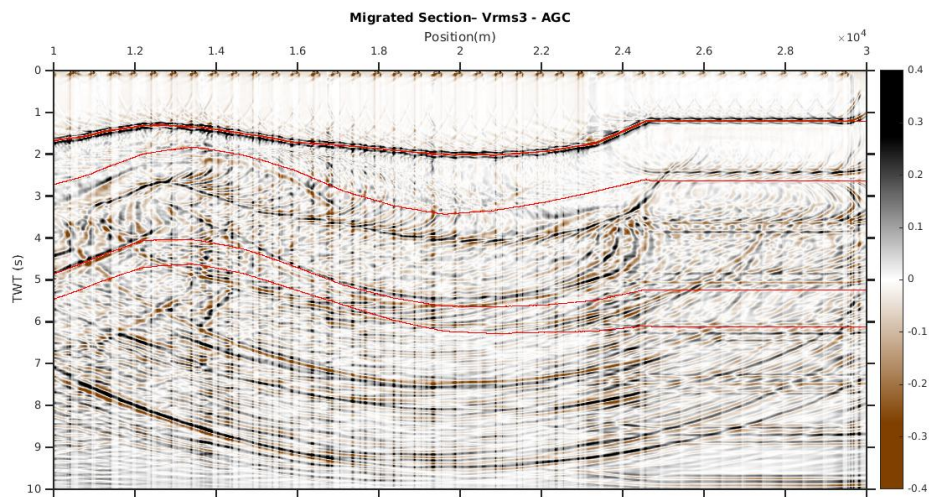


Εικόνα 5.60 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC 4,9 sec, με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

2. Χρήση της Αυτόματης Ενίσχυσης Σήματος (Automatic Gain Control – AGC) με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec



Εικόνα 5.61 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης Vrms3 (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ {V1=1500}) , με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec



Εικόνα 5.62 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης Vrms3 (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ {V1=1500}) , με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

6 Συμπεράσματα - Προτάσεις

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και ερμηνεία συνθετικών δεδομένων της σεισμικής ανάκλασης για τον θαλάσσιο χώρο στην περιοχή των Παξών, Ιονίου Πελάγους. Στα πρώιμα στάδια της μελέτης, δημιουργήθηκαν το σεισμικό μοντέλο και η πρώτη προσομοίωση της περιοχής ενδιαφέροντος.

Ακολουθήθηκε αλληλουχία επεξεργασιών, οι οποίες σκοπεύουν στην απεικόνιση των δομών στο υπέδαφος. Η αλληλουχία αυτή περιγράφεται από 3 βασικές μεθόδους. Η σεισμική χωροθέτηση και υπέρθεση, που έχει σαν στόχο την ανακατασκευή και σωστή τοποθέτηση των επιφανειών ανάκλασης που παρουσιάζουν κλίση (σε μία τομή υπέρθεσης). Η Γεωμετρική διασπορά, η οποία σκοπεύει στην αντιστάθμιση των πλατών και τα φίλτρα της αυτόματης ενίσχυσης (AEC-AGC), ενώ στη συνέχεια ακολουθείται το φίλτρο Trace Balance, που ενισχύει τα πλάτη των ανακλώμενων σεισμικών κυμάτων.

Από τα αποτελέσματα προέκυψαν τα κάτωθι συμπεράσματα και προτάσεις για βελτίωση της σεισμικής τομής.

Τα συμπεράσματα παρατίθενται ως εξής:

- Παρατηρείται εμφάνιση μόνο του 1ου και 2ου ανακλαστήρα και όχι των βαθύτερων.
- Οι καλύτερες τομές χωροθέτησης που προέκυψαν είναι για ταχύτητα διάδοσης $0.9 \times V_{rms}$ και 1500m/s στο πρώτο στρώμα, καθώς και η εφαρμογή φίλτρου AEC με 1.25s παράθυρο.
- Φαίνεται πως η αραιή τοποθέτηση των πηγών δεν έχει αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, και για αυτό παρατηρείται μη επιτυχής απεικόνιση σε ορισμένα σημεία.
- Οι πολλαπλές ανακλάσεις του πυθμένα επισκιάζουν τους βαθύτερους ανακλαστήρες (δηλαδή τους 3^ο και 4^ο).

Οι προτάσεις παρατίθενται ως εξής:

- Να επιλεγεί ως ταχύτητα διάδοσης η $V_{rms}=1500$ m/s, διότι φαίνεται να εμφανίζονται πολλαπλές ανακλάσεις, ενώ επίσης σκιάζουν τους ανακλαστήρες μας 3, και 4.
- Να τοποθετηθούν περισσότερες πηγές.
- Να γίνει απαλοιφή πολλαπλών πριν την χωροθέτηση, καθώς επισκιάζουν τους βαθύτερους ανακλαστήρες.

7 Βιβλιογραφία

7.1 Ελληνική

- Αποστολόπουλος, Γ. (2013). *Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής*.
- Βαφείδης, Α. (1993). *Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι - Σημειώσεις Προπτυχιακού μαθήματος, Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων*. Χανιά, Κρήτη, Ελλάδα.
- Γεωργιλιά, Κ. Θ. (1998). *Συμβολή της σεισμικής ανάκλασης στην επίλυση υδρογεωλογικών προβλημάτων, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης*. Χανιά, Κρήτη, Ελλάδα.
- ΕΛΠΕ. (2015).
- Κατσιακάτσου, Χ. Γ. (1992). *Γεωλογία της Ελλάδας*.
- Καπακτσής, Π. -Α. (2018). *Επεξεργασία συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης για την περιοχή του βορείου Ιονίου Πελάγους, Διπλωματική Εργασία*. Χανιά, Κρήτη, Ελλάδα: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Κασούτσα, Α. (2018). *Επεξεργασία συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης για τη θαλάσσια περιοχή δυτικά των Παξών, Διπλωματική Εργασία*. Χανιά, Κρήτη, Ελλάδα: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Κρητικάκης, Γ. (2019). *Εγχειρίδιο χρήσης για την προσομοίωση της διάδοσης ελαστικών σεισμικών κυμάτων στις 2 διαστάσεις με τους αλγορίθμους PSV_SYNTHETICS*. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Μούχου, Α. Μ. (2004). *Επεξεργασία Θαλάσσιων Δεδομένων Σεισμικής Ανάκλασης από το Νότιο Αιγίο*. Χανιά, Κρήτη, Ελλάδα.
- Μπραουδάκη, Κ. (2004). *Σεισμικά Ανάκλασης στο Ιόνιο, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων*. Χανιά, Κρήτη, Ελλάδα.
- Παγιαλάκης, Μ. (2014, 10). *Προσομείωση δεδομένων σεισμικής ανάκλασης για το σχεδιασμό διασκόπησης στο θαλάσσιο χώρο του Πατραϊκού κόλπου, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων*. Χανιά, Κρήτη, Ελλάδα: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Σκαρλατούδης, Α. (2009). *Προσομοίωση της σεισμικής κίνησης με τη χρήση δισδιάστατων και τρισδιάστατων μοντέλων, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Σχολής Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*.

7.2 Διεθνής

- (2020, 2 5). Ανάκτηση από Wikipedia: https://el.wikipedia.org/wiki/Ιόνιο_Πέλαγος
- Blendspace. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.tes.com/lessons/gQNP5-RZNP9T7g/marine-seismic-survey>
- B. L. N. Kennett, T. J. Clarke. (1979). *Seismic waves in a stratified half space*. Cambridge, England, United Kingdom: Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge.
- Birch, F. (1961, July). The velocity of compressional waves in rocks to 10 kilobars: Part 2. *Journal of Geophysical Research*, 66(7), 2199-2224.
- Bouchon, M. (1981). A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media. *Seismological Society of America*, 959-971.
- Chowdhury, K. R. (2014). *Seismic Data Acquisition and Processing. epartment of Earth Sciences, University Utrecht, The Netherlands*.
- Cole, R. H. (1948). *Underwater explosions*. Princeton University Press.
- Cordier, J.-P. (1985). *Velocities in Reflection Seismology*. Springer Netherlands.

- Dai N., Vafidis A., Kanasewich E. (1994, February). Composite absorbing boundaries for the numerical simulation of seismic waves. *Seismological Society of America*, 84(1), 185-191.
- Faust, L. Y. (1951). SEISMIC VELOCITY AS A FUNCTION OF DEPTH AND GEOLOGIC TIME. *GEOPHYSICS*, 16(2).
- Griffiths and King. (1981). *Applied Geophysics for Engineers and Geologists: The Elements of Geophysical Prospecting*. Birmingham, England, United Kingdom: Pergamon Press; 2nd Revised edition (Jan. 1981), Pergamon International Library of Science, Technology, Engineering and Social Studies.
https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/5360/1/01_chapter_04.pdf. (χ.χ.).
 Ανάκτηση από
https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/5360/1/01_chapter_04.pdf
- Margrave, G. (2006). Numerical Methods of Exploration Seismology with algorithms in Matlab.
- Renz, C. (1925). Stratigraphische Untersuchungen im Griecheland schen Mesozoikum und Paläozoikum
- Schlumberger. (2017). Ανάκτηση από
https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/c/common_depth_point.aspx
- Sengbush, R. L. (1983). *Seismic Exploration Methods*.
- Sheriff, R. E. (1978). *A first course in geophysical exploration and interpretation*. Boston : International Human Resources Development Corporation.
- Yilmaz, Ö. (1987). *Seismic Data Processing*. Society of Exploration Geophysicists.

8 Παραπομπές

8.1 Εικόνες

Εικόνα 2.1 Περιοχή Ιονίου Πελάγους	Εικόνα 2.2 Περιοχή Μελέτης Παξών	8
Εικόνα 2.3: Στρωματογραφική στήλη της Ιόνιας ζώνης (Κατσικάτσου, 1992)		12
Εικόνα 2.4 Γεωλογική τομή σε Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους καλυμμένους από Νεογενή ιζήματα στην Απούλεια πλατφόρμα (ΕΛΠΕ, 2015)		12
Εικόνα 2.5 Γεωλογική τομή της περιοχής μελέτης όπου αποτυπώνονται οι θέσεις εμφάνισης υδρογονανθράκων (oil shows) καθώς και πιθανές θέσεις παγίδευσης υδρογονανθράκων (κόκκινα βέλη) κάτω από εβαπορίτες του Τριαδικού. (ΕΛΠΕ, 2015)		13
Εικόνα 3.1 Αναπαράσταση μεθόδου σεισμικής ανάκλασης με ερευνητικό σκάφος και υδροφώνων για μελέτη υπεδάφους περιοχής. (BlendSpace, χ.χ.)		14
Εικόνα 3.2 Παράδειγμα λειτουργίας ερευνητικού σκάφους		16
Εικόνα 3.3 Εφαρμογή της αρχής Huygens για τον προσδιορισμό της θέσης του μετώπου κύματος τη χρονική στιγμή t_2 , μετά τη μεσολάβηση του χρονικού διαστήματος Δt . Για μια δεδομένη θέση του μετώπου κύματος κατά τη χρονική στιγμή t_1 και εφαρμόζοντας την αρχή Huygens, μπορεί να προσδιορισθεί η θέση του μετώπου κύματος κατά τη χρονική στιγμή t_2 .		18
Εικόνα 3.4 Απεικόνιση Νόμος Snell		19
Εικόνα 3.5 Γεώφωνο		23
Εικόνα 3.6 Πλοίο θαλασσιών σεισμικών ερευνών (Sheriff, 1978)		24
Εικόνα 3.7 Σχηματική αναπαράσταση θαλάσσιας σεισμικής διασκόπησης (Μούχου, 2004)		24
Εικόνα 3.8 Σχηματική παράσταση του Airgun (αεροσυμπιεστή) (Fitch, 1983)		25
Εικόνα 3.9 Σχηματική παράσταση του Airgun (αεροσυμπιεστή)		26
Εικόνα 3.10 Σχηματική παράσταση διαφόρων διατάξεων πηγής - δέκτη		27
Εικόνα 3.11 Τρόπος συλλογής δεδομένων		28
Εικόνα 3.12 Κεκλιμένος ορίζοντας ανάκλασης όπου το κοινό ενδιαμέσο σημείο δεν συμπίπτει με το κοινό σημείο βάθους (Schlumberger, 2017)		29
Εικόνα 3.13 Εξάρτηση της ταχύτητας των P κυμάτων από το πορώδες σε ξηρά (Vair) και κορεσμένα (Vfluid) πετρώματα. Η ταχύτητα στο βράχο είναι V_m (Griffiths and King, 1981)		30
Εικόνα 3.14 Συνήθη βήματα στην επεξεργασία δεδομένων σεισμικής ανάκλασης (Yilmaz, 1987)		31
Εικόνα 3.15 Γεωμετρία κανονικής διόρθωσης για την περίπτωση οριζόντιου ανακλαστήρα (Yilmaz, 1987)		33
Εικόνα 3.16 Κάθετη τομή που απεικονίζει τα 6 ζευγάρια πηγών-δεκτών για μία 6-πτυχη κάλυψη		34
Εικόνα 3.17 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας της χωροθέτησης πριν την υπέρθεση		35
Εικόνα 3.18 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας της χωροθέτησης μετά την υπέρθεση		36
Εικόνα 4.1 Συνθετικό σεισμικό μοντέλο με απορροφητικά όρια. Με τα διαφορετικά χρώματα απεικονίζεται τα σεισμικά στρώματα (Πίνακας 4.1).		39
Εικόνα 4.2 Ορισμός αρχικών παραμέτρων μοντέλο		40
Εικόνα 4.3 Παράμετροι στρώματος Θάλασσας.		40
Εικόνα 4.4 Παράμετροι στρώματος Νεογενών		41
Εικόνα 4.5 Παράμετροι πηγής		42
Εικόνα 4.6 Παράμετροι υδροφώνων		42

Εικόνα 4.7 Μοντέλο ταχύτητας V_{rms}	44
Εικόνα 5.1 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 10000m	46
Εικόνα 5.2 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 15000m	46
Εικόνα 5.3 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 18000m	46
Εικόνα 5.4 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 20000m	46
Εικόνα 5.5 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 25000m	46
Εικόνα 5.6 Χωροθετημένη καταγραφή κοινής πηγής. Θέση πηγής: 29500m	46
Εικόνα 5.7 Σεισμική τομή που προέκυψε από την άθροιση χωροθετημένων, κατά Kirchhoff, καταγραφών κοινής πηγής	47
Εικόνα 5.8 Απεικόνιση διπλών κατακόρυφων χρόνων των ανακλάσεων σε μοντέλο με ταχύτητα V_{rms} κανονική	49
Εικόνα 5.9 Απεικόνιση διπλών κατακόρυφων χρόνων των ανακλάσεων σε μοντέλο με ταχύτητα $V_{rms} \cdot 0.9$	49
Εικόνα 5.10 Απεικόνιση διπλών κατακόρυφων χρόνων των ανακλάσεων σε μοντέλο με ταχύτητα $V_{rms} \cdot 1.1$	50
Εικόνα 5.11 Απεικόνιση διπλών κατακόρυφων χρόνων των ανακλάσεων σε μοντέλο με ταχύτητα $V_{rms} \cdot 2$	50
Εικόνα 5.12 Απεικόνιση διπλών κατακόρυφων χρόνων των ανακλάσεων σε μοντέλο με ταχύτητα $V_{rms} \cdot 3$	51
Εικόνα 5.13 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms}	53
Εικόνα 5.14 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	53
Εικόνα 5.15 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης	54
Εικόνα 5.16 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	54
Εικόνα 5.17 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AEC και παράθυρο εφαρμογής 1,25sec	55
Εικόνα 5.18 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AEC με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών και παράθυρο εφαρμογής 1,25sec. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	55
Εικόνα 5.19 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9sec	56
Εικόνα 5.20 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	56
Εικόνα 5.21 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec	57
Εικόνα 5.22 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης την αρχική V_{rms} και με χρήση του φίλτρου AGC με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	57
Εικόνα 5.23 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων	58
Εικόνα 5.24 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, με εμφάνιση των διαχωριστικών	

58 επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Εικόνα 5.25 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \approx 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης

Εικόνα 5.26 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Εικόνα 5.27 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1.25 sec

Εικόνα 5.28 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο εφαρμογής 1,25 sec με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Εικόνα 5.29 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec

Εικόνα 5.30 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Εικόνα 5.31 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 0.9$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec

Εικόνα 5.32 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms}=0.9$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Εικόνα 5.33 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} * 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων

Εικόνα 5.34 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} * 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Εικόνα 5.35 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} * 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης

Εικόνα 5.36 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

Εικόνα 5.37 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} * 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec

Εικόνα 5.38 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	65
Εικόνα 5.39 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec	66
Εικόνα 5.40 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	66
Εικόνα 5.41 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec	67
Εικόνα 5.42 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 1.1$, με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	67
Εικόνα 5.43 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 2$ (Migration Velocity= $0.9 \cdot V_{rms}$ { $V_1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων	68
Εικόνα 5.44 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 2$ (Migration Velocity= $0.9 \cdot V_{rms}$ { $V_1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	68
Εικόνα 5.45 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 2$ (Migration Velocity= $0.9 \cdot V_{rms}$ { $V_1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης	69
Εικόνα 5.46 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 2$ (Migration Velocity= $0.9 \cdot V_{rms}$ { $V_1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	69
Εικόνα 5.47 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 2$ (Migration Velocity= $0.9 \cdot V_{rms}$ { $V_1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec	70
Εικόνα 5.48 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 2$ (Migration Velocity= $0.9 \cdot V_{rms}$ { $V_1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων	70
Εικόνα 5.49 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 2$ (Migration Velocity= $0.9 \cdot V_{rms}$ { $V_1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec	71
Εικόνα 5.50 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης $V_{rms} \cdot 2$ (Migration Velocity= $0.9 \cdot V_{rms}$ { $V_1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών	

ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων 71

Εικόνα 5.51 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} (Migration Velocity= $0.9 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec 72

Εικόνα 5.52 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms2} (Migration Velocity= $0.9 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων 72

Εικόνα 5.53 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων 73

Εικόνα 5.54 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων 73

Εικόνα 5.55 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης 74

Εικόνα 5.56 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και χρήση της Γεωμετρικής Διόρθωσης με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων 74

Εικόνα 5.57 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec. Η έλλειψη αντιστοιχεί στην εμφάνιση του 3^{ου} ανακλαστήρα 75

Εικόνα 5.58 Σεισμική χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με παράθυρο εφαρμογής 1,25 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων 75

Εικόνα 5.59 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,9 sec 76

Εικόνα 5.60 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AEC 4,9 sec, με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων 76

Εικόνα 5.61 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V1=1500$ }) , με χρήση του αρχείου μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec 77

Εικόνα 5.62 Σεισμική Χωροθέτηση με Ταχύτητα διάδοσης V_{rms3} (Migration Velocity= $0.8 \times V_{rms}$ { $V_1=1500$ }), με χρήση του αρχείου μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, και με χρήση του φίλτρου AGC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής 4,5 sec, με εμφάνιση των διαχωριστικών επιφανειών. Οι γραμμές κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στην αναμενόμενη θέση των ανακλαστήρων

77

8.2 Εξισώσεις

(3.1)	17
(3.2)	17
(3.3)	19
(3.4)	20
(3.5)	22
(3.6)	26
(3.7)	27
(3.8)	29
(3.9)	33
(5.1)	47
(5.2)	47
(5.3)	48
(5.4)	48

8.3 Πίνακες

Πίνακας 4.1 Διαμήκης (V_p) και εγκάρσια (V_s) ταχύτητα και πυκνότητα (ρ) κάθε στρώματος	38
Πίνακας 5.1 Αρχείο μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων	45
Πίνακας 5.2 Διπλοί Χρόνοι ανά διαφορετικό στρώμα	48

8.4 Κώδικες

8.4.1 Kirchoff function

```
function [stmigsection]=Kirc_shotmig_alldata(Vzall,Vrms,gpos,spos);
t= 0:0.002:10.002;
xv= 0:5:30000;
for i=1:length(Vzall);
    disp(['Source ',num2str(i)]);
    apert=5000;
    params(1)=apert;
    %params=[apert,0.05*apert,1, 60,0.15*60,1, 1, min(t),max(t),min(xv),max(xv),
0,mean(gpos{i})/2]

tic;[shotmig,tmig,xmig]=kirk_shot(Vzall{i},t,gpos{i},spos(i),Vrms,t,xv,params);toc
    %tic;[shotmig,tmig,xmig]=kirk_shot(Vzall{i},t,gpos{i},spos(i),Vrms,t,xv);toc

    if i==1
        stmigsection=shotmig;
    else
        stmigsection=stmigsection+shotmig;
    end
    a=['shotmig',num2str(spos(i)),'=shotmig;'];
    eval(a)
    b=['save shotmig',num2str(spos(i)),' shotmig',num2str(spos(i))];
    eval(b)
    figure;
    imagesc(xmig,tmig,shotmig);
    grid on
    xlabel('Receiver positions (m)')
    ylabel('Time (s)')
    title(['Migrated shot gather. Source position = ',num2str(spos(i))]);
    dmin=min(min(shotmig));
    dmax=max(max(shotmig));
    lims=min(abs([dmin dmax]));
    caxis([-lims/50 lims/50]);
    colorbar;
    name=['shotmig',num2str(spos(i)),'.jpg'];
    saveas(gcf,name,'jpg');
```

```

    close(gcf)
end
save stmigsection.mat stmigsection
save stmigsection.txt stmigsection -ascii
figure;
imagesc(xmig,tmig,stmigsection);
grid on
xlabel('Horizontal distance (m)')
ylabel('Time (s)')
title('Pre-stack migrated section');
dmin=min(min(stmigsection));
dmax=max(max(stmigsection));
lims=min(abs([dmin dmax]));
caxis([-lims/50 lims/50]);
colorbar;
name=['stmigsection.fig'];
saveas(gcf,name,'fig');
name=['stmigsection.jpg'];
saveas(gcf,name,'jpg');
return

```

8.4.2 Κώδικας Matlab πριν την σεισμική χωροθέτηση κατά Kirchhoff

Βήμα 1°: Drag & Drop δεδομένα με κατάληξη `_V.mat`

Βήμα 2°: Drag & Drop δεδομένα με κατάληξη `_RCV.mat -mat`

Βήμα 3°: Drag & Drop δεδομένα με κατάληξη `_SMP.mat -mat`

Βήμα 4°: Drag & Drop δεδομένα με κατάληξη `_SRC.mat -mat`

Βήμα 5°:

```

i=1;
shot=Vz(i);
t=0:0.002:10.002;
t και shot πρέπει να έχουν ίδια value, π.χ. εάν shot(5002x501), t(1x5002)
x=Receivers.positions{i}(:,2);
x και shot πρέπει να έχουν ίδια value, π.χ. εάν shot(5002x501), x(501x1)
xshot=Source.positions(i,2);
velmod=Model_Parameters.Vrms;
tv=t;
xv=0:5:30000;
Όλα τα παραπάνω είναι καταχωρημένα ως fixed_kirk_param.mat (t,tv,velmod,xv)
tic;[shotmig,tmig,xmig]=kirk_shot(shot,t,x,xshot,velmod,tv,xv);toc
spos=10000:500:29500;
for i=1:40;Vzall{i}=[];end
for i=1:40;gpos{i}=[];end

```

Βήμα 6°: Από κάθε φάκελο πηγής κάνουμε πάλι load κάθε αρχείο

```

_V.mat –mat
_RCV.mat – mat
_SRC.mat – mat

```

Βήμα 7°:

```

ss=find(Source.positions(:,2)=spos
for i=1:length(ss);Vzall{ss(i)}=Vz{i};gpos{ss(i)}=Receivers.positions{i}(:,2);end

```

Βήμα 8°: Κρατάμε μόνο τα αρχεία Vzall, gpos, spos

Βήμα 9°: Συνεχίζεται σε κάθε φάκελο η ίδια διαδικασία από Βήμα 6, ώστε να ολοκληρωθεί το Vzall , όπου αποθηκεύονται όλα ως Vzall_gpos_ spos.

Βήμα 10°:Κάνουμε **Pre-stack Migration**

Βήμα 11°:Drag & Drop δεδομένα Vzall_gpos_ spos

Drag & Drop δεδομένα με κατάληξη _SMP.mat –mat

Βήμα 12°:

Vrms=Model.Parameters.Vrms;

[stmigsection]=Kirc_shotmig_alldata(Vzall,Vrms,gpos,spos);

8.4.3 Κώδικας Matlab για να γίνει η τελική σεισμική χωροθέτηση Kirchhoff

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

t= 0:0.002:10.002;

xv= 0:5:30000;

for i=1:length(Vzall);

disp(['Source ',num2str(i)]);

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

if i==1

stmigsection=shotmig;

else

stmigsection=stmigsection+shotmig;

end

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

eval(a)

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

eval(b)

figure;

imagesc(xmig,tmig,shotmig);

grid on

xlabel('Receiver positions (m)')

ylabel('Time (s)')

title(['Migrated shot gather. Source position = ',num2str(spos(i))]);

dmin=min(min(shotmig));

dmax=max(max(shotmig));

lims=min(abs([dmin dmax]));

caxis([-lims/50 lims/50]);

colorbar;

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

saveas(gcf,name,'jpg');

close(gcf)

end

save stmigsection.mat stmigsection

save stmigsection.txt stmigsection -ascii

figure;

imagesc(xmig,tmig,stmigsection);

grid on

xlabel('Horizontal distance (m)')

ylabel('Time (s)')

title('Pre-stack migrated section');

dmin=min(min(stmigsection));

```

dmax=max(max(stmigsection));
lims=min(abs([dmin dmax]));
caxis([-lims/50 lims/50]);
colorbar;
name=['stmigsection.fig'];
saveas(gcf,name,'fig');
name=['stmigsection.jpg'];
saveas(gcf,name,'jpg');

```

return

ή κατευθείαν εφόσον έχουν ολοκληρωθεί τα Shotmigs για κάθε πηγή ξεχωριστά, χρησιμοποιούνται:

```

function [stmigsection]=kirk_stsection;
tmig= 0:0.002:10.002;
xmig= 0:10:30000;
[name2,path2]=uigetfile( {'*.mat'},'MultiSelect', 'on');
cd(path2);

```

```

for i=1:length(name2);

```

```

    S=whos('-file',name2{i});
    disp(['Loading ',S.name,'. Please wait']);
    load(S.name)
    if i==1
        a=['stmigsection=',S.name,'];
        eval(a)
    else
        a=['stmigsection=stmigsection+',S.name,'];
        eval(a)
    end
end

```

```

end
save stmigsection.mat stmigsection
save stmigsection.txt stmigsection -ascii
figure;
imagesc(xmig,tmig,stmigsection);
grid on
xlabel('Horizontal distance (m)')
ylabel('Time (s)')
title('Kirchoff Pre-stack migrated section');
dmin=min(min(stmigsection));
dmax=max(max(stmigsection));
lims=min(abs([dmin dmax]));
caxis([-lims/50 lims/50]);
colorbar;
name=['stmigsection.fig'];
saveas(gcf,name,'fig');
name=['stmigsection.jpg'];
saveas(gcf,name,'jpg');
return

```

8.4.4 AEC – Automatic Gain Control

```
tic;aecmig=aec(stmigsection,0.002);toc
%time of completion

aecmig=tracebalance(aecmig);
% function trout=aec(trin,sampint,op_length,trip)
% Syntax
%trout=aec(trin);
%trout=aec(trin,sampint,op_length,trip)
%
% Description
% AEC performs an automatic amplitude adjustment.
%
% Method
% 1) Compute Hilbert envelope of the input trace TRIN
% 2) Convolve envelope  $\mu\epsilon$  triangular smoother of half-length
% OP_LENGTH
% 3) Divide input trace by smoothed envelope
% 4) Balance the output to a maximum of 1.0
%
% Inputs
% trin= input trace or gather of traces.
% t or sampint= sample interval for trin
% For backwards compatibility, if sampint is supplied as a time coordinate
% vector, the difference of the first two elements is used as
% the sample interval.
% Default is 0.001 seconds. (1 millisecond)
% op_length = half-length of triangular smoother in seconds
% default is 1/8th of the trace length
% ***** must be less than half the trace length *****
% trip= front end time before which the smoothed envelope is
% set to a constant
% default is op_length/10
% Outputs
% trout = output trace
%
% by (Margrave, 2006)

% set defaults
if nargin < 2 || isempty(sampint)
    sampint = 0.001; % sample interval in seconds
else
    % Backwards compatibility  $\mu\epsilon$  time coordinate vector
    if length(sampint) > 1
        sampint = sampint(2) - sampint(1);
    end
end
if nargin < 3 || isempty(op_length)
```

```

    op_length = sampint*length(trin)/8;
end
if nargin < 4 || isempty(trip);
    trip=op_length/10.;
end

% Number of traces
ntr = size(trin,2);
% Turn scalar op_length and trip into vectors if necessary
if length(op_length) ~= ntr
    op_length=ones(1,ntr) * op_length;
end
if length(trip) ~= ntr
    trip = ones(1,ntr) * trip;
end

% Handle 2-D or 1-D invocation differently
if numel(trin) ~= length(trin)
    % 2-D invocation
    if any((2*op_length/sampint) >= (length(trin)-2))
        error('Operator length too long, must be less than 1/2 trace length.');
```

end

```

    for k=1:ntr
        trout(:,k) = aec_vector(trin(:,k)',sampint,op_length(k),trip(k));
    end
else
    % 1-D invocation
    pivotted=(ntr==1);
    if pivotted
        trin=trin.';
    end
    trout= aec_vector(trin,sampint,op_length,trip);
    if pivotted
        trout = trout';
    end
end

function trout_ = aec_vector(trin_,sampint_,op_length_,trip_)
% double the operator length
op2=op_length_*2;
% form new trace padded to a power of 2
trinew=padpow2(trin_,0);
% compute the envelope
env=abs(hilbm(trinew));
env=env(1:length(trin_));
% compute the smoothed envelope
nop=round(op2/sampint_)+1;
envsm=conv(env,triang(nop));
% grab the central length(trin) samples
envsm=envsm(round(nop/2):length(trin_)+round(nop/2)-1);
```

```

% stabilize the envelope at the ends
ntrip=round(trip_/sampint_)+1;
envsm=[envsm(ntrip)*ones(1,ntrip) envsm(ntrip+1:length(envsm))];
envsm=[envsm(1:length(envsm)-ntrip) envsm(length(envsm)-ntrip)*ones(1,ntrip)];
% correct the trace
trout_=trin_/envsm;

% balance the output to have a maximum of 1
trout_=trout_/max(abs(trout_));
% balance the output to have the same mean power as input
%trout=balans(trout,trin);

```

8.4.5 Trace balance

a) Trace balance function

```

function [databal]=tracebalance(data);
%performs balancing (equalization) between seismic traces
%
%IN
%data= seismic data (n x m matrix, traces are columns)
%
%OUT
%databal= trace balanced seismic data

[nz,nx]=size(data);
databal=data;
%m=mean(abs(data));
m=sqrt(mean((data).^2));
mm=mean(m);
for i=1:nx
    if abs(m(i))>eps
        pol(i)=mm./m(i);
    else
        pol(i)=mm./1;
    end
    databal(:,i)=pol(1,i).*data(:,i);
end

return

```

b) Trace balance για διαφορετικές ταχύτητες V_{rms} με/χωρίς διαχωριστικές επιφάνειες

```

t2=0:0.002:10.002;
t2=t2';
x=0:10:30000;
for i=1:3001;gsstmig(:,i)=stmigsection(:,i).*t2;end;
figure;imagesc(x,t2,stmigsection);
colormap('bone');
colorbar;

```

```

title('Migration Velocity= 3xVrms - Original','FontSize',14,'FontWeight','Bold');
xlabel('Receiver positions (m)');
ylabel('Time (s)');
grid on;
caxis([-5e-7 5e-7]);

%figure Migration Velocity Original No επίπεδα

hold on
plot(Xt,Zt,'.r','MarkerSize',0.1);

%figure Migration Velocity Original Με επίπεδα

figure;imagesc(x,t2,gsstmig);
colormap('bone');
colorbar;
title('Migration Velocity= 3xVrms - Geometrical
Correction','FontSize',14,'FontWeight','Bold');
xlabel('Receiver positions (m)');
ylabel('Time (s)');
grid on;
caxis([-5e-7 5e-7]);

%figure Migration Velocity Geometrical Correction No επίπεδα

hold on
plot(Xt,Zt,'.r','MarkerSize',0.1);

%figure Migration Velocity Geometrical Correction Με επίπεδα

tic;aecmig=aec(stmigsection,0.002);toc
aecmig=tracebalance(aecmig);
figure;imagesc(x,t2,aecmig);
colormap('bone');
colorbar;
title('Migration Velocity= 3xVrms - Aec','FontSize',14,'FontWeight','Bold');
xlabel('Receiver positions (m)');
ylabel('Time (s)');
grid on;
caxis([-1e-1 1e-1]);

%figure Migration Velocity Aec No επίπεδα

hold on
plot(Xt,Zt,'.r','MarkerSize',0.3);

%figure Migration Velocity Aec Με επίπεδα

```

Σημαντικές σημειώσεις:

1. Για την απεικόνιση θα χρειαστούν οι απαραίτητες σταθερές Xt και Zt
2. Επανάληψη αλγορίθμου για κάθε διαφορετική ταχύτητα που δοκιμάζεται

3. Οι εικόνες να έχουν ίδια αναλογία χρόνου και απόστασης.

8.4.6 AEC με μεγάλο παράθυρο εφαρμογής

```
stmig=aec(stmigsection(:,1000:2:3000),0.002,4.9);  
% data : stmigsection(:,1000:2:3000) επιλέγω ανά 2ρο ίχνος (όχι απαραίτητα)  
% Δt : 0.002 seconds, παράθυρο εφαρμογής: 4.9 seconds  
  
cn=10000:20:30000;  
ttc=0:0.002:10.002;  
figure;pcolor(cn,ttc,stmig);  
shading interp;  
colormap(seismic(1));  
set(gca,'ydir','reverse','xaxislocation','top','yaxislocation','left','layer','top','linewidth',2,  
tickDir','out','box','on');  
title(['Migrated Section – Vrms - AEC']);  
xlabel('Position(m));  
ylabel('TWT (s)');  
colorbar;  
caxis([-0.4 0.4]);  
load('InterfacesInTime.mat');  
  
%i=6106 as position Xt(6106)=10.000 m  
Xtnew=Xt(6106:end);  
Ztnew=Zt(6106:end);  
  
% presentation Επίπεδα  
hold on  
plot(Xtnew,Ztnew,'k','MarkerSize',0.1);  
plot(Xtnew,Ztnew,'r','MarkerSize',0.1);
```

8.4.7 Gain

```
stmig2 = gain(stmigsection(:,1000:2:3000),0.002,'agc',4.5,1);  
  
% data : stmigsection(:,1000:2:3000) επιλέγω ανά 2ρο ίχνος (όχι απαραίτητα)  
% Δt : 0.002 seconds, επιλέγω 'agc'  
% παράθυρο εφαρμογής: 4.5 seconds  
  
cn=10000:20:30000;  
ttc=0:0.002:10.002;  
figure;pcolor(cn,ttc,stmig2);  
shading interp;  
colormap(seismic(1));  
set(gca,'ydir','reverse','xaxislocation','top','yaxislocation','left','layer','top','linewidth',2,  
tickDir','out','box','on');  
title(['Migrated Section– Vrms – AGC']);  
xlabel('Position(m));
```

```
ylabel('TWT (s)');  
colorbar;  
caxis([-0.4 0.4]);  
load('InterfacesInTime.mat');  
  
%i=6106 as position Xt, Zt(6106)=10.000 m  
Xtnew=Xt(6106:end);  
Ztnew=Zt(6106:end);  
  
% presentation Επίπεδα  
hold on  
plot(Xtnew,Ztnew,'k','MarkerSize',0.1);  
plot(Xtnew,Ztnew,'r','MarkerSize',0.1);
```