

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

A.M.:2010020018



**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΟΡΥΧΕΙΟ
ΤΗΣ ΜΑΥΡΟΠΗΓΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ**



Τριμελής Επιτροπή

Βαφείδης Αντώνιος (Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης - επιβλέπων)

Σουπιός Παντελής (Καθηγητής Τ.Ε.Ι Κρήτης Σχ. Εφαρμοσμένων Επιστημών)

Κρητικάκης Γεώργιος (Ε.ΔΙ.Π. Πολυτεχνείου Κρήτης)

<<Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σ' αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών>>.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο:<<ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΟΡΥΧΕΙΟ ΤΗΣ ΜΑΥΡΟΠΗΓΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ>> έχει ως στόχο την δημιουργία ενός πειραματικού μοντέλου το οποίο στην πράξη θα προσδιορίσει με ακρίβεια , την δομή του υπεδάφους στις δύο τομές μελέτης, στην περιοχή του λιγνιτωρυχείου της Μαυροπηγής, με την χρήση συνθετικών δεδομένων, χρησιμοποιώντας την διάταξη πηγής- γεωφώνων και την μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης.

Στην ολοκλήρωση της εργασίας καταλυτικό ρόλο έπαιξε ο βοηθός του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, δρ. Κρητικάκης Γεώργιος ο οποίος με την συνεχή παρακολούθηση της εξέλιξης της εργασίας , την καθοδήγησή του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του, αποτέλεσε σημαντικό στήριγμα στις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν. Για τον λόγο αυτό, αλλά και για την αμέριστη συμπαράσταση που μου έδειξε, τον ευχαριστώ θερμά.

Ευχαριστίες επίσης οφείλονται σε όλους όσους βοήθησαν αλλά και σ' αυτούς που παραχώρησαν ανιδιοτελώς συνθετικά ή πραγματικά δεδομένα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ.Αντώνιο Βαφείδη και τον βοηθό του εργαστηρίου Νικόλαο Ανδρονικίδη για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα συνηθισμένο πρόβλημα που παρατηρείται στην περιοχή της Μαυροπηγής Κοζάνης σχετίζεται με την ευστάθεια των πρανών εκμετάλλευσης, η οποία επηρεάζεται από τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής.

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να ερευνηθεί με την προσομοίωση και την επεξεργασία δισδιάστατων συνθετικών δεδομένων, αν η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην χαρτογράφηση της δομής του υπεδάφους, η οποία χαρακτηρίζεται από απότομες κλίσεις των παρειών του σχιστολιθικού υποβάθρου, στην περιοχή του λιγνιτωρυχείου της Μαυροπηγής Κοζάνης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, μπορούν χρησιμοποιηθούν στο βέλτιστο σχεδιασμό πραγματικού πειράματος σεισμικής ανάκλασης στην περιοχή μελέτης.

Η δημιουργία των συνθετικών σεισμικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε κατά μήκος 2 γεωλογικών τομών, οι οποίες προέκυψαν από γεωτρίτικα δεδομένα της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής γίνεται αναφορά στη Γεωλογία της περιοχής μελέτης και ακολουθεί μια γενική αναφορά στη μέθοδο σεισμικής ανάκλασης.

Παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία δημιουργίας των συνθετικών δεδομένων, με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών μέσω του προγράμματος Matlab και κατάλληλων αλγορίθμων οι οποίοι αναπτύχθηκαν στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του πολυτεχνείου Κρήτης.

Ακολουθεί η επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων, όπου κύριος σκοπός των διαδικασιών αυτών είναι η αύξηση του λόγου του σήματος προς το θόρυβο και η βελτίωση της διακριτικής ικανότητας των δεδομένων. Η επεξεργασία περιλαμβάνει τις διαδικασίες της εισαγωγής τεχνητού θορύβου, της αναδιάταξης των δεδομένων σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP sorting), τον υπολογισμό της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας, της διόρθωσης της κανονικής χρονικής απόκλισης (NMO correction), της σεισμικής υπέρθεσης (stacking) και της σεισμικής χωροθέτησης (Migration). Για δημιουργία μίας καλύτερης απεικόνισης των τομών της σεισμικής υπέρθεσης και χωροθέτησης χρησιμοποιήθηκε και το πρόγραμμα Transform.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προέκυψε ότι είναι δυνατή η χαρτογράφηση του σχιστολιθικού υποβάθρου στην περιοχή μελέτης με την χρήση της μεθόδου σεισμικής ανάκλασης και της μεθοδολογίας απόκτησης και επεξεργασίας των σεισμικών δεδομένων που αναπτύχθηκαν. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατέστη δυνατή η απεικόνιση μόνο των τμημάτων του υποβάθρου που είχαν ήπια κλίση, ενώ η χαρτογράφηση αυτών με μεγάλη κλίση, προέκυψε συμπερασματικά από την μορφολογία των απεικονισθέντων τμημάτων του υποβάθρου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
1.1 Περιοχή μελέτης.....	5
1.1.1 Γεωλογία περιοχής μελέτης.....	5
1.1.2 Θέση περιοχής μελέτης.....	7
1.2 Μέθοδος σεισμικής ανάκλασης.....	10
1.2.1 Είδη Σεισμικών Κυμάτων.....	10
1.2.2 Βασικές Αρχέςδιάδοσηςτων ελαστικών κυμάτων.....	12
1.2.3 Σεισμικές πηγές – Γεώφωνα- Πείραμα σεισμικής ανακλασης	13
1.3 Μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών.....	16
1.4 Όρια απορρόφησης (Absorbing boundaries).....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ2	
2.1 Δημιουργία συνθετικών δεδομένων.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
3.1 Επεξεργασία συνθετικών δεδομένων (Εισαγωγή).....	27
3.2 Εισαγωγή θορύβου.....	27
3.3 Αναδιάταξη δεδομένων σε καταγραφές κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMPsorting).....	28
3.4 Ανάλυση ταχυτήτων-Δυναμική διόρθωση-Σεισμική υπέρθεση.....	32
3.4.1 Ανάλυση ταχυτήτων (velocityanalysis).....	32
3.4.2 Δυναμική διόρθωση (NMOcorrection).....	34
3.4.3 Σεισμική υπέρθεση (stacking).....	36
3.5 Σεισμική Χωροθέτηση (Migration) με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ4	
Συμπεράσματα–Προτάσεις.....	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η ευρύτερη περιοχή δομείται από προαλπικούς, αλπικούς και μεταλπικούς σχηματισμούς. Ο οικισμός της Μαυροπηγής είναι δομημένος επάνω σε δύο κυρίως γεωλογικές μονάδες (Σχήμα 1.1):

1. Πετρώματα υποβάθρου. Σε αυτά βρίσκεται δομημένο το ΔΝΔ μέρος του οικισμού. Αποτελούνται από τεφρούς, ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους του Μ. Τριαδικού – Κ. Λιασίου (T3-J5.k), οι οποίοι επικάθονται στο κρυσταλλικό υπόβαθρο των μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch) του Παλαιοζωικού.

2. Σχηματισμός Προαστίου. Περιλαμβάνει κυρίως πολυγενετικά κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης μεγάλου πάχους του Κατ. Βιλλαφραγκίου. Στο σχηματισμό αυτό είναι θεμελιωμένο το μεγαλύτερο μέρος του οικισμού.

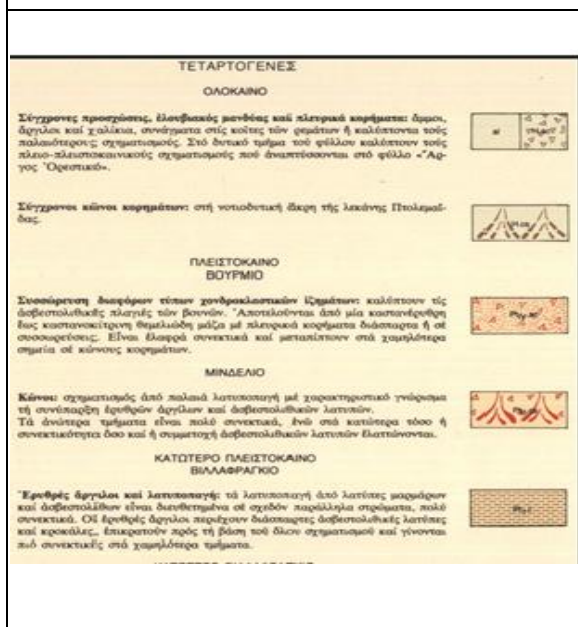
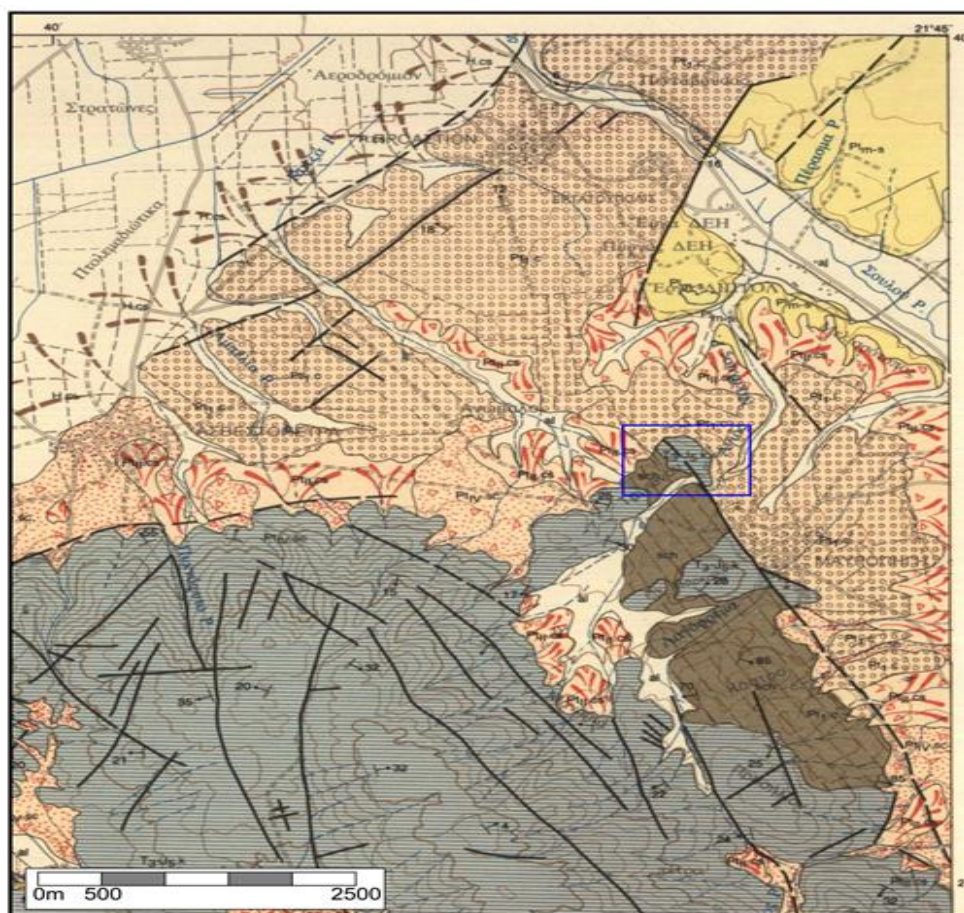
Πιο αναλυτικά οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή μελέτης είναι με σειρά από τους παλαιότερους προς τους νεώτερους οι ακόλουθοι:

1. Αμφιβολιτικοί και μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι και γνεύσιοι του προαλπικού Πελαγονικού υποβάθρου.

2. Μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα, όπως κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα που συσχετίζονται με την Τριαδική – Ιουρασική περίοδο της αλπικής ιζηματογένεσης.

Οι δύο αυτές ομάδες πετρωμάτων, εμφανίζονται σε ασυμφωνία, με τον σχηματισμό των μαρμάρων-κρυσταλλικών ασβεστόλιθων, τεκτονικά απωθημένο πάνω στους υποκείμενους σχιστόλιθους-γνευσίους.

Ενδιάμεσα των δύο αυτών σχηματισμών, εμφανίζεται τόσο σε δείγματα γεωτρήσεων όσο και σε πρηνή της ευρύτερης περιοχής, η έντονα τεκτονισμένη ζώνη επώθησης πάχους από μερικά μέτρα έως και 10-15m. Πρόκειται επί της ουσίας για ένα τεκτονικό mélange, με σχιστολιθικής κυρίως προέλευσης υλικό. Πάνω από τους προαναφερόμενους γεωλογικούς σχηματισμούς, έχει αποτεθεί σε ασυμφωνία κατά το Νεογενές, σειρά κλαστικών ιζημάτων (μάργες, αμμούχες μάργες, αργιλούχες μάργες κλπ), πάχους μερικών εκατοντάδων μέτρων, εντός των οποίων αναπτύσσονται σημαντικής ανάπτυξης λιγνιτικές ενδιαστρώσεις. Πάνω από τον Νεογενές, έχει αποτεθεί σε ασυμφωνία κατά το Τεταρτογενές, σειρά κλαστικών ιζημάτων, ποταμοχερσαίας προέλευσης (Αγιουτάντης, 2012).



Σχήμα 1.1: Απόσπασμα του δημοσιευμένου γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Σιάτιστα - Ι.Γ.Μ.Ε., 1982) στην ευρύτερη περιοχή της Μαυροπηγής (πάνω) και το υπόμνημα του χάρτη (κάτω).

1.1.2. ΘΕΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην δορυφορική εικόνα (Σχήμα 1.2) φαίνονται ο οικισμός της Μαυροπηγής (περιοχή μελέτης) και το ομόνυμο ορυχείο βόρεια του οικισμού



Σχήμα 1.2: Περιοχή γεωφυσικής διασκόπησης (πηγή: GoogleEarthTM)

Στο σχήμα 1.3 φαίνονται σε κάτοψη οι γεωλογικές τομές ΑΑ' και ΒΒ' με κίτρινο χρώμα, καθώς και οι σεισμικές γραμμές Α₁Α₂ και Β₁Β₂. Οι συντεταγμένες των άκρων των γραμμών ΑΑ', ΒΒ', Α₁Α₂ και Β₁Β₂ παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (σε ΕΓΣΑ).

	X	Y		X	Y
A	306763,46	4479957,85	B	307402,41	4479196,74
A'	308210,41	4480406,18	B'	308558,37	4480164,18
A1	306510,07	4480232,068	B1	308471,0314	4480089,052
A2	307003,224	4480032,137	B2	307705,3801	4479457,266

1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της γεωλογικής δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Τα ελαστικά κύματα παράγονται τεχνητά στην επιφάνεια της γης ή σε μικρό βάθος, διαδίδονται μέσα στα στρώματα του φλοιού όπου υφίστανται συνεχείς ανακλάσεις και διαθλάσεις σε διαχωριστικές επιφάνειες και καταγράφονται από γεώφωνα που τοποθετούνται σε μικρές αποστάσεις από το σημείο παραγωγής των κυμάτων, συνήθως μικρότερες από το επιθυμητό βάθος 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).

1.2.1 ΕΙΔΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Τα σεισμικά κύματα είναι ελαστικά κύματα τα οποία προκαλούν πολύ μικρή παραμόρφωση των πετρωμάτων κατά την διέλευσή τους μέσα από αυτά. Τα σεισμικά κύματα διακρίνονται σε διαφορετικά είδη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά διάδοσής των. Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες: στην πρώτη ανήκουν τα κύματα χώρου και στην δεύτερη τα επιφανειακά κύματα. Στα κύματα χώρου η διαταραχή διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις στερεού σώματος π.χ. της γης, ενώ στα επιφανειακά κύματα η διαταραχή διαδίδεται σε διαχωριστικές επιφάνειες όπως η επιφάνεια της Γης.

Κύματα χώρου είναι τα **διαμήκη (P)** και τα **εγκάρσια (S)**.

Στα διαμήκη κύματα (P), τα υλικά σημεία που συνιστούν τα πετρώματα ταλαντώνονται παράλληλα με την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τα διαμήκη κύματα διαδίδονται με τη μεγαλύτερη ταχύτητα, από τα άλλα είδη σεισμικών κυμάτων. Η ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων εξαρτάται από τις σταθερές του Lamé, λ και μ και από τη πυκνότητα ρ :

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (1.1)$$

Τα κύματα P είναι ευκολότερο να αναγνωρισθούν και γι αυτό χρησιμοποιούνται κατά κόρον στις σεισμικές μεθόδους για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη δομή των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης.

Στα εγκάρσια κύματα, η διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων είναι κάθετη προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Η ταχύτητα διάδοσης των εγκαρσίων κυμάτων δίνεται από τη σχέση:

$$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad 1.2)$$

Τα εγκάρσια κύματα μπορούν να διαδοθούν σε οποιοδήποτε μέσο, αρκεί να παρουσιάζει έστω και την ελάχιστη αντίσταση στην κάμψη δηλαδή ο συντελεστής ακαμψίας μ (ή το μέτροδιατμητικής παραμόρφωσης) να είναι διάφορος του μηδενός. Στα ρευστά όμως $\mu=0$ και η ταχύτητα διάδοσης των εγκαρσίων κυμάτων είναι ίση με μηδέν. Δηλαδή, τα εγκάρσια κύματα δεν διαδίδονται στα ρευστά (υγρά και αέρια).

Από τη σύγκριση των (1.1) και (1.2) προκύπτει ότι η ταχύτητα διάδοσης των εγκαρσίων κυμάτων είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων. Γι αυτό, τα εγκάρσια κύματα φθάνουν σε ορισμένο σταθμό μετά τα διαμήκη κύματα και συμβολίζονται με το S (secondus).

Συνήθως, το διάνυσμα της μετατόπισης των υλικών σημείων κατά τη διάδοση εγκαρσίων κυμάτων αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Η οριζόντια συνιστώσα συμβολίζεται με το SH. Η άλλη συνιστώσα συμβολίζεται με το SV και βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει το διάνυσμα της διεύθυνσης διάδοσης του κύματος

Οι ελαστικές σταθερές του Lamé προσδιορίζονται από τον συνδυασμό μελέτης των ταχυτήτων διάδοσης των κυμάτων P και S. Η καταγραφή και η συνδυασμένη μελέτη των κυμάτων P και S έχει πρόσφατα βρει εφαρμογή σε τεχνικά έργα όπου για την θεμελίωση π.χ. φράγματος ή γέφυρας είναι απαραίτητη η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων. Επίσης η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων είναι απαραίτητη κατά το στάδιο σχεδιασμού εξόρυξης κοιτασμάτων μαρμάρου, κ.α.

Στη μέθοδο σεισμικής ανάκλασης μελετούμε κυρίως τα ανακλώμενα κύματα P, τα οποία διαδίδονται στην κατακόρυφη διεύθυνση. Στη περίπτωση αυτή, η διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων είναι κατακόρυφη. Αυτά τα κύματα καταγράφονται από γεώφωνα ευαίσθητα στις κατακόρυφες εδαφικές κινήσεις. Συχνά στις καταγραφές από γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας παρατηρούνται εκτός των κυμάτων P και επιφανειακά κύματα.

Στην επιφάνεια της γης διαδίδονται επιφανειακά κύματα Rayleigh, Love και ψευδο-Rayleigh. Το κυριότερο χαρακτηριστικό των επιφανειακών κυμάτων είναι ότι το πλάτος τους ελαττώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης. Σε απόσταση λ από την διαχωριστική επιφάνεια, όπου λ το μήκος κύματος, το πλάτος του επιφανειακού κύματος πρακτικά μηδενίζεται.

1.2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Ο προσδιορισμός του μετώπου κύματος, δηλαδή του γεωμετρικού τόπου των σημείων στα οποία φθάνει το σεισμικό κύμα ταυτόχρονα, γίνεται αρκετά συχνά πολύ πιο γρήγορα, 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):

Αρχή του Huygens

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, κάθε σημείο του μετώπου κύματος, της επιφάνειας δηλαδή όπου τα υλικά σημεία ταλαντώνονται με την ίδια φάση, αποτελεί μια δευτερεύουσα πηγή παραγωγής σεισμικών κυμάτων. Η αρχή αυτή περιγράφει τη θέση του μετώπου κύματος για κάθε χρονική στιγμή, δεν εξηγεί όμως το φαινόμενο της περίθλασης των σεισμικών κυμάτων σε ανώμαλες διαχωριστικές επιφάνειες (π.χ. ρήγματα).

Αρχή του Fermat

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, “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”. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η χάραξη των σεισμικών ακτινών σε ελαστικό μέσο όπου είναι γνωστή η κατανομή ταχύτητας διάδοσης των ελαστικών κυμάτων.

Νόμος του Snell

Όταν ένα κύμα προσπέσει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, τα σημεία της επιφάνειας αυτής γίνονται εστίες ανακλώμενων και διαθλώμενων κυμάτων. Σύμφωνα με τον νόμο του Snell “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”.

1.2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ – ΓΕΩΦΩΝΑ - ΠΕΙΡΑΜΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

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

Σεισμικές Πηγές

Οι κυριότερες πηγές είναι οι εκρήξεις με δυναμίτη και τα απλά μηχανικά κτυπήματα. Οι σεισμικές πηγές διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: αυτές που χρησιμοποιούνται στη ξηρά και αυτές που χρησιμοποιούνται στη θάλασσα.

Οι εκρήξεις με δυναμίτη ήταν η αποκλειστική σχεδόν σεισμική πηγή μέχρι τη δεκαετία 1950. Αυτή η πηγή παράγει διαμήκη και εγκάρσια κύματα υψηλής ενέργειας. Η σύζευξη της πηγής με το έδαφος επιτυγχάνεται με τη τοποθέτηση του εκρηκτικού υλικού μέσα σε ρηχές γεωτρήσεις. Η προετοιμασία για την πραγματοποίηση των εκρήξεων είναι χρονοβόρα. Επίσης για τη χρησιμοποίηση των εκρηκτικών υλών απαιτείται ειδική άδεια, αλλά και έμπειρος πυροτεχνουργός.

Στη ξηρά, εκτός από τις εκρήξεις, σεισμικά κύματα παράγονται με απλά μηχανικά κτυπήματα ή με διαδοχικά περιοδικά κτυπήματα του εδάφους. Οι πηγές αυτές δεν προκαλούν βλάβες, και δεν απαιτούν την διάνοιξη ρηχών γεωτρήσεων. Απλά μηχανικά κτυπήματα δημιουργούνται κατά τη πτώση βάρους από ύψος 3 μέτρων. Η κάτω επιφάνεια του θαλάμου είναι οριζόντια πλάκα η οποία βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος. Ο υδραυλικός δονητής (Vibroiseis) είναι η πιο διαδεδομένη σεισμική πηγή. Αποτελείται από χαλύβδινη πλάκα και υδραυλικό σύστημα παραγωγής ταλαντώσεων (Σχήμα 1.7).

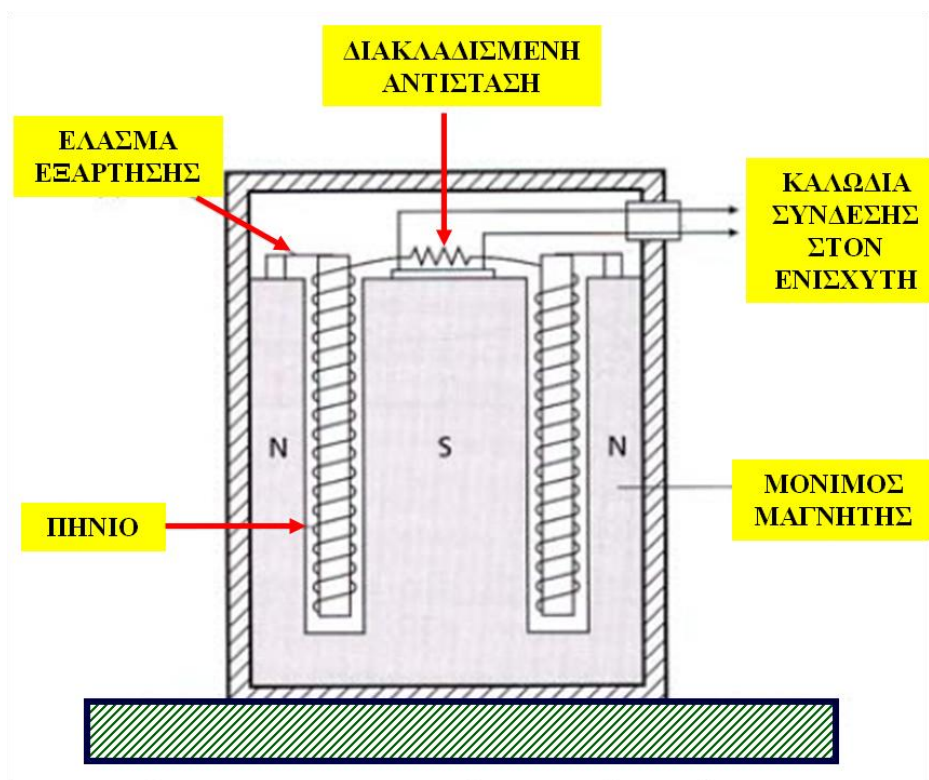
Το Vibroseis παράγει περιοδικά κτυπήματα μικρού πλάτους και συνεχώς αυξανόμενης συχνότητας (από 6-50 Hz). Το Vibroseis παράγει διαμήκη ή εγκάρσια κύματα χωρίς να προκαλεί περιβαλλοντικές καταστροφές με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται ακόμη και σε κατοικημένες περιοχές. Τα σειсмоγράμματα είναι πολύπλοκα λόγω της μεγάλης διάρκειας της κυματομορφής του Vibroseis (περίπου 7 s). Τα σειсмоγράμματα απαλλάσσονται από το μεγάλης διάρκειας σήμα της πηγής, όταν γίνει συσχέτιση των σημάτων με την κυματομορφή της πηγής.



Σχήμα 1.7: Μηχάνημα Vibroseis, η πιο διαδεδομένη σεισμική πηγή. (εικόνα από: <https://www.youtube.com/watch?v=4EI6U0XTNS0>)

Γεώφωνα

Στις χερσαίες διασκοπήσεις, η εδαφική κίνηση γίνεται αισθητή από τα γεώφωνα. Τα πιο διαδεδομένα γεώφωνα, στις σεισμικές διασκοπήσεις είναι τα γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας. Η αρχή λειτουργίας αυτού του οργάνου δίνεται στο σχήμα 1.8. Αποτελείται από μαγνήτη συνδεδεμένο σταθερά στο περίβλημα του οργάνου και πηνίο. Το πηνίο είναι συνδεδεμένο με το περίβλημα του οργάνου με έλασμα και ταλαντώνεται ελεύθερα μέσα στο μαγνητικό πεδίο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Όταν σεισμικά κύματα φθάνουν στο γεώφωνο, ο μαγνήτης πραγματοποιεί την ίδια ακριβώς ταλάντωση με το έδαφος, ενώ το πηνίο πραγματοποιεί διαφορετική ταλάντωση λόγω της μη στερεάς σύνδεσής του με το περίβλημα.



Σχήμα 18: Αρχή λειτουργίας γεωφώνου (εικόνα από <http://geologikathemata.blogspot.gr/2013/02/17.html>)

Αποτέλεσμα αυτού είναι η κίνηση του πηνίου σε σχέση με τον μαγνήτη και η μεταβολή της μαγνητικής ροής στο πηνίο. Η μεταβολή της μαγνητικής ροής προκαλεί διαφορά δυναμικού στα άκρα του πηνίου. Η τάση στα άκρα του πηνίου εξαρτάται από τη ταχύτητα μετατόπισης του εδάφους.

Κατά την πραγματοποίηση διασκόπησης με την μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης τα γεώφωνα τοποθετούνται κατά μήκος της γραμμής μελέτης η οποία περιλαμβάνει και τη θέση της σεισμικής πηγής (Σχ. 1.9). Η χρήση περισσότερων από ένα κάνει πιο εύκολη τη διάκριση των ανακλώμενων κυμάτων στα σειсмоγράμματα και δίνει λεπτομερή εικόνα της δομής του υπεδάφους. Η σεισμική πηγή τοποθετείται στο άκρο της διάταξης των γεωφώνων (απλή συνεχής διάταξη) ή στο μέσο της διάταξης των γεωφώνων (διπλή συνεχής διάταξη,). Στα διαδοχικά πειράματα πηγή και γεώφωνα μετακινούνται κατά μήκος της γραμμής μελέτης διατηρώντας σταθερές τις σχετικές αποστάσεις των γεωφώνων από τη πηγή. Μετατοπίζοντας την διάταξη πηγής-γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης και καταγράφοντας τα ανακλώμενα σεισμικά κύματα εξασφαλίζεται πολλαπλή κάλυψη της επιφάνειας ανάκλασης και λεπτομερές εικόνα για τη δομή του υπεδάφους. Συχνά αναφέρεται ο όρος υπεδαφική κάλυψη (fold) και είναι ο αριθμός των σεισμικών ιχνών από

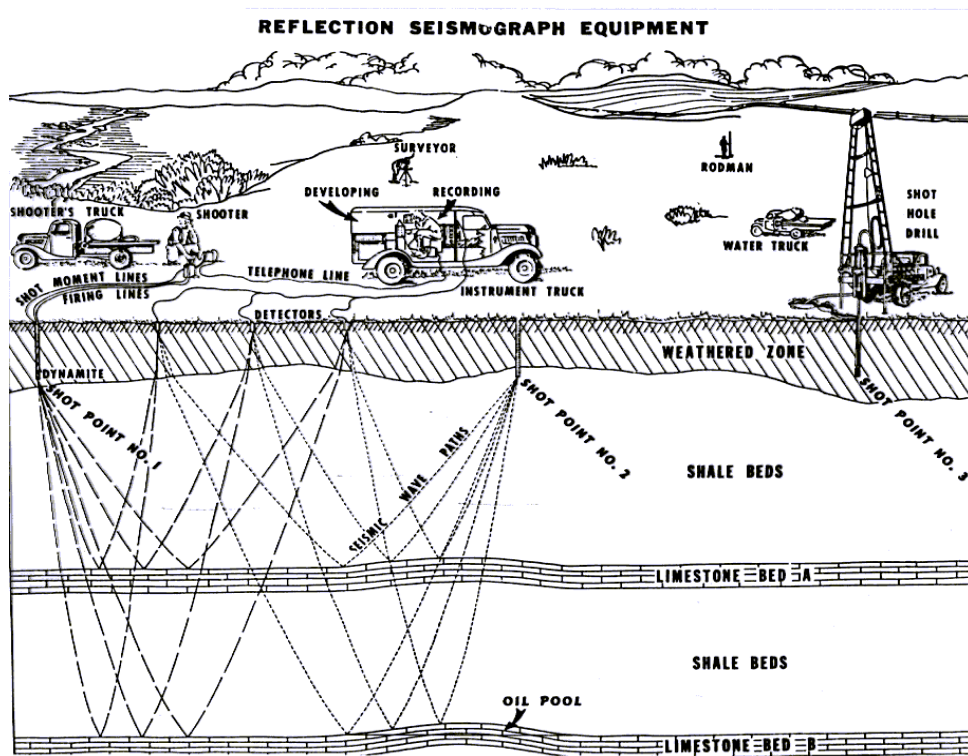
το ίδιο σημείο του ανακλαστήρα (κοινό σημείο βάθους). Η συγκεκριμένη παράμετρος είναι από τις σημαντικότερες στην σεισμική ανάκλαση και δίνεται από την σχέση:

$$\text{Fold} = \min\{\text{Αριθμός Πηγών}, (NC/2) \times (\Delta x / \Delta s)\} \quad (1.3)$$

Όπου : -NC: ο αριθμός των καναλιών του καταγραφικού (σειсмоγράφος)

-Δx: η ισαπόσταση των γεωφώνων

-Δs: η ισαπόσταση των πηγών



Σχήμα 1.9: Χερσαία σεισμική διασκόπηση

1.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

Η διάδοση των σεισμικών σε δίσδιάστατο μέσο περιγράφεται από τη κυματική εξίσωση:

$$\rho(x,z) \partial_{tt} u(x,z,t) = \partial_x [(\lambda(x,z) + 2\mu(x,z)) \partial_x u(x,z,t)] + \partial_x [\lambda(x,z) \partial_z w(x,z,t)] + \\ + \partial_z [\mu(x,z) (\partial_x w(x,z,t) + \partial_z u(x,z,t))]$$

$$\rho(x,z) \partial_{tt} w(x,z,t) = \partial_z [\lambda(x,z) \partial_x u(x,z,t)] + \partial_z [(\lambda(x,z) + 2\mu(x,z)) \partial_z w(x,z,t)] + \\ + \partial_x [\mu(x,z) (\partial_x w(x,z,t) + \partial_z u(x,z,t))]$$

(1.4)

όπου ∂_{tt} δηλώνει δεύτερη μερική παράγωγο ως προς το χρόνο, ∂_x, ∂_z δηλώνει μερική παράγωγο ως προς το x, z , ρ η πυκνότητα και λ, μ οι σταθερές του Lamé.

Η μερική διαφορική εξίσωση (1.4) είναι ομογενής, γραμμική, δεύτερης τάξης και υπερβολικού τύπου. Οι ποσότητες u και w εκφράζουν τη μετατόπιση των υλικών σημείων στην οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση στη περίπτωση που η (1.4) περιγράφει την διάδοση σεισμικών κυμάτων.

Το αντίστοιχο υπό μορφή πινάκων σύστημα διαφορικών εξισώσεων με μερικές παραγώγους το οποίο προέκυψε από τις βασικές εξισώσεις κίνησης στις κατευθύνσεις x και z (1.4) και τις εξισώσεις τάσεων-παραμορφώσεων, που περιγράφουν τον νόμο του Hooke,

$$\partial_t U(x, z, t) = A \partial_x U(x, z, t) + B \partial_z U(x, z, t)$$

(1.5)

όπου οι πίνακες A και B εξαρτώνται από τις μηχανικές ιδιότητες (λ και μ) και την πυκνότητα του μέσου και το διάνυσμα U αποτελείται από 5 στοιχεία τα u, w τις ταχύτητες μετατόπισης στην οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, καθώς και τα $\sigma_{xx}, \sigma_{zz}, \sigma_{xz}$, τα στοιχεία του τανυστή της τάσης (2 κύριες και 1 διατμητική).

Χρησιμοποιώντας το ανάπτυγμα σε σειρά Taylor γύρω από τον χρόνο $t + \kappa$ αν είναι γνωστό το κυματικό πεδίο σε χρονική στιγμή t και το κυματικό πεδίο σε $t + \kappa$, προκύπτει από την παρακάτω σχέση

$$U(x, z, t + \kappa) = U(x, z, t) + \kappa \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{2} \kappa^2 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + O(\kappa^3)$$

(1.6)

Από τις εξισώσεις 1.5 και 1.6, προκύπτει:

$$U(x, z, t + \kappa) = U(x, z, t) + \kappa \left(A \frac{\partial U}{\partial x} + B \frac{\partial U}{\partial z} \right) + \frac{\kappa^2}{2} \left[A \frac{\partial}{\partial x} \left(A \frac{\partial U}{\partial x} + B \frac{\partial U}{\partial z} \right) + B \frac{\partial}{\partial z} \left(A \frac{\partial U}{\partial x} + B \frac{\partial U}{\partial z} \right) \right]$$

(1.7)

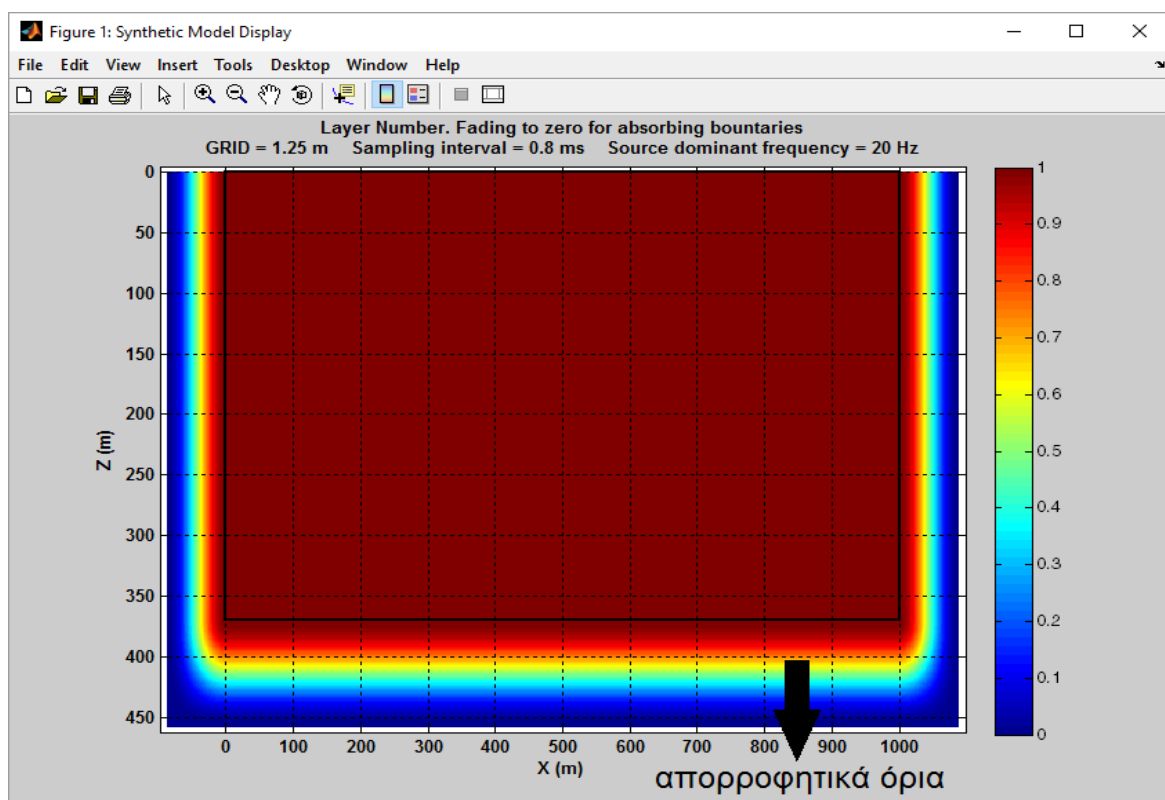
στην οποία στηρίζεται η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών. Περισσότερες λεπτομέρειες παρατίθενται στην διδακτορική διατριβή του κ. Βαφειδής (Vafidis, 1988). Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών είναι εύκολα εφαρμόσιμη σε πολύπλοκα προβλήματα με σχετικά μεγάλη ακρίβεια και αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές αριθμητικές μεθόδους στην

προσομοίωση της σεισμικής κίνησης. Ο χρήστης πρέπει να λαμβάνει υπόψη του το κριτήριο ευστάθειας, όπως και το ελάχιστο βήμα χωρικής διακριτοποίησης που πρέπει να χρησιμοποιήσει σε συνάρτηση με το ελάχιστο μήκος κύματος που θα διαδοθεί στο υπολογιστικό προσομοίωμα για την αποφυγή του φαινομένου της αριθμητικής διασποράς.

1.4 ΟΡΙΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ (ABSORBING BOUNDARIES)

Τα όρια απορρόφησης, είναι οριακές συνθήκες που εισάγονται στα άκρα του μοντέλου, έτσι ώστε να λυθεί το πρόβλημα της διάδοσης των κυμάτων μέσω ενός μέσου μη ορισμένου σε οποιαδήποτε διεύθυνση.

Οι οριακές συνθήκες της ελεύθερης επιφάνειας (άνευ πίεσεως) και της άκαμπτης επιφάνειας (μηδενική ταχύτητα) είναι εύκολο να εφαρμοστούν, αλλά παράγουν ψευδείς αντανακλάσεις (Smith, 1974). Οι απορροφητικές (absorbing) οριακές συνθήκες (Clayton και Engquist, 1977) αφαιρούν την επίδραση των προαναφερόμενων αντανακλάσεων κατά έναν πιο άμεσο και αποδοτικό τρόπο, αλλά όχι εντελώς καθώς είναι σχεδόν αδύνατο να σχεδιαστούν οριακές συνθήκες οι οποίες να απορροφούν τελείως όλα τα είδη κυμάτων.



Σχήμα 1.10: Απορροφητικά όρια (absorbing boundaries) στην περίπτωση ενός στρώματος

Οι μέθοδοι των σύνθετων ορίων απορρόφησης συνδυάζουν συνθήκες ορίων απορρόφησης χαμηλής γωνίας πρόσπτωσης, με βάση την χαρακτηριστική ανάλυση της μονοδιάστατης κυματικής εξίσωσης και την εφαρμογή, είτε ανισότροπου φίλτρου είτε «φίλτρου-σφουγγάρι». Η μέθοδος ανισότροπων φίλτρων ρυθμίζει την κατεύθυνση διάδοσης των κυμάτων, έτσι ώστε η γωνία πρόσπτωσης στο όριο να είναι 90° . Το «φίλτρο-σφουγγάρι» προσδίδει στη μεταβατική ζώνη ένα μηχανισμό διάχυσης ο οποίος αποσβένει επιλεκτικά τα εισερχόμενα κύματα. Αυτές οι μέθοδοι απορροφούν όχι μόνο τα κύματα του χώρου, αλλά και τα επιφανειακά κύματα. Στο όριο του μοντέλου, εισάγεται μία στενή ζώνη μετάβασης, της οποίας το πλάτος είναι μικρότερο απ' ό,τι στην προσέγγιση του «φίλτρου-σφουγγάρι». Αριθμητικά παραδείγματα επεξηγούν την αποτελεσματικότητα των μεθόδων αυτών στην απορρόφηση των τεχνητών ανακλάσεων (Βαφείδης, 1994).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την δημιουργία και επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Matlab και κατάλληλοι αλγόριθμοι οι οποίοι αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής για την προσομοίωση της διάδοσης σεισμικών κυμάτων (P-SV) σε 2 διαστάσεις (εξίσ. 1.4).

Η εντολή για να λειτουργήσει ο αλγόριθμος και να δημιουργηθεί το μοντέλο είναι:

```
>>PSV_SYNTHETICS_VER11;
```

Για την αποφυγή προβλημάτων ευστάθειας και αριθμητικής διασποράς κατά την επίλυση της διαφορικής κυματικής εξίσωσης με την χρήση των πεπερασμένων διαφορών θα πρέπει να πληρούνται οι κατάλληλοι περιορισμοί. Ειδικότερα:

- Για την ευστάθεια θα πρέπει να επαληθευτεί το εξής κριτήριο:

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} * \alpha_{max} \leq \frac{2}{3}$$

Όπου α_{max} : η μέγιστη ταχύτητα των P - κυμάτων, Δt το βήμα χρονικής διακριτοποίησης και Δx το βήμα χωρικής διακριτοποίησης

- Για την αριθμητική διασπορά (μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης με την συχνότητα) θα πρέπει να επαληθευτεί το εξής κριτήριο:

$$\frac{\lambda_{min}}{\Delta x} > 5$$

Όπου $\lambda_{min} = \frac{\alpha_{min}}{f_{max}}$

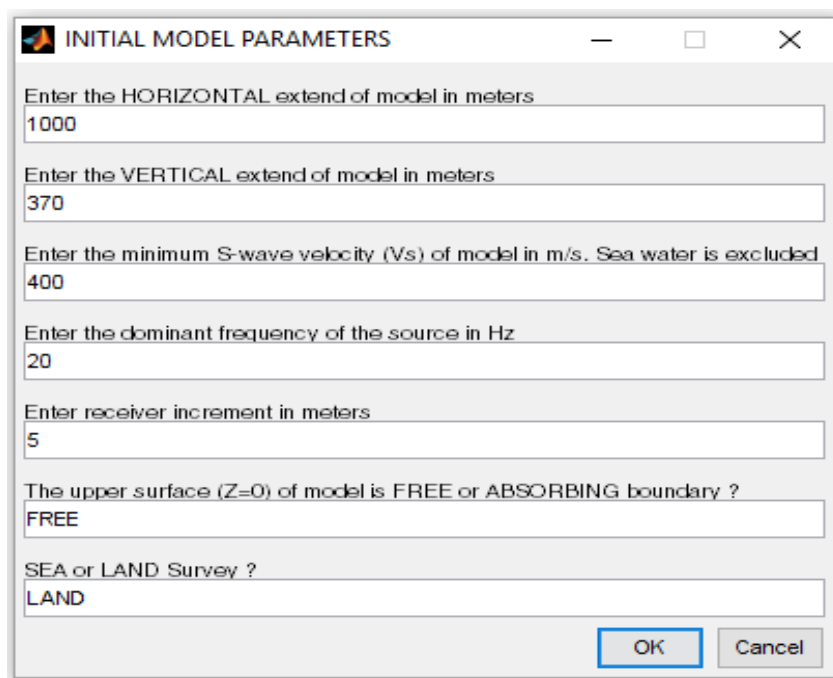
α_{min} : η ελάχιστη ταχύτητα των S - κυμάτων

f_{max} : μέγιστη συχνότητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων

Αφού λοιπόν εφαρμοστούν οι κατάλληλοι περιορισμοί, ορίστηκαν οι παράμετροι του πλέγματος και το χρονικό βήμα $\Delta t = 0.4 \text{ ms}$.

Παρακάτω παρατίθεται η διαδικασία δημιουργίας του σεισμικού μοντέλου το οποίο προήλθε από την γεωλογική τομή BB' (Σχ. 1.5) και στην συνέχεια δημιουργίας συνθετικών δεδομένων. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την AA'.

Αρχικά ζητήθηκε να εισαχθούν οι παράμετροι του μοντέλου, δηλαδή : η οριζόντια έκταση (1000m) και το βάθος του μοντέλου (370m για την σεισμική γραμμή B_1B_2 και 280m για την A_1A_2), η ελάχιστη εγκάρσια ταχύτητα διάδοσης (400m/s), η κυρίαρχη συχνότητα της πηγής (20Hz) και η ισαπόσταση των γεωφώνων (5m)(σχήμα 2.1).



INITIAL MODEL PARAMETERS

Enter the HORIZONTAL extend of model in meters
1000

Enter the VERTICAL extend of model in meters
370

Enter the minimum S-wave velocity (V_s) of model in m/s. Sea water is excluded
400

Enter the dominant frequency of the source in Hz
20

Enter receiver increment in meters
5

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

SEA or LAND Survey ?
LAND

OK Cancel

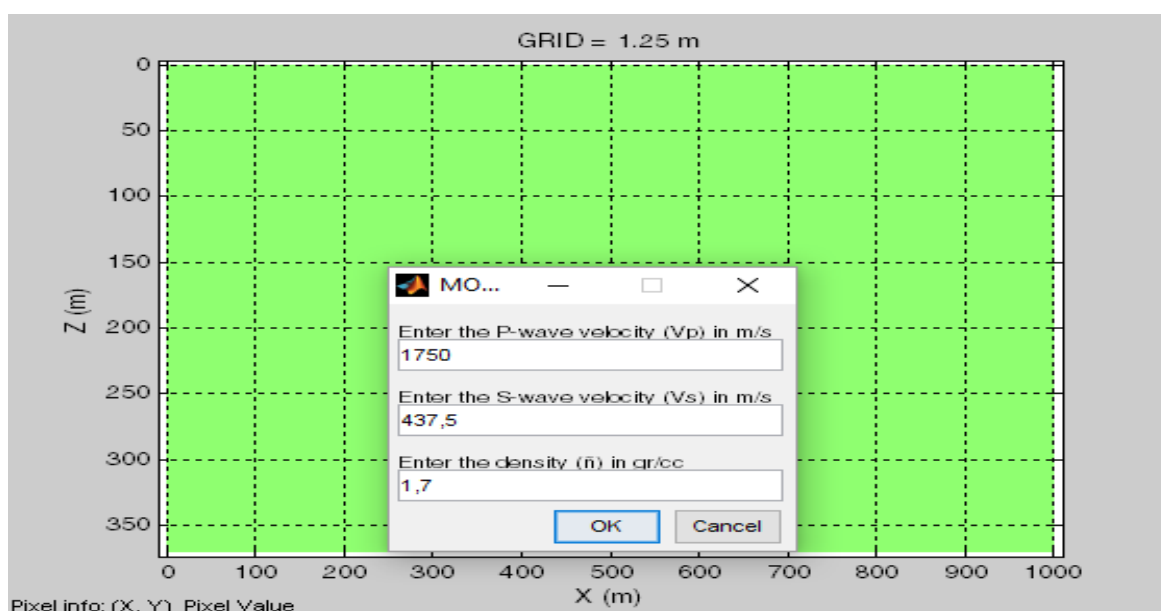
Σχήμα 2.1: Ορισμός αρχικών παραμέτρων μοντέλου (σεισμική γραμμή B_1B_2).

Το επόμενο βήμα ήταν η οριοθέτηση των στρωμάτων του πειράματος. Ο αλγόριθμος δίνει την δυνατότητα στο χρήστη είτε να σχεδιάσει τα όρια του κάθε στρώματος, είτε να εισάγει τις συντεταγμένες του μέσω πινάκων Matlab.

Error! No text of specified style in document.

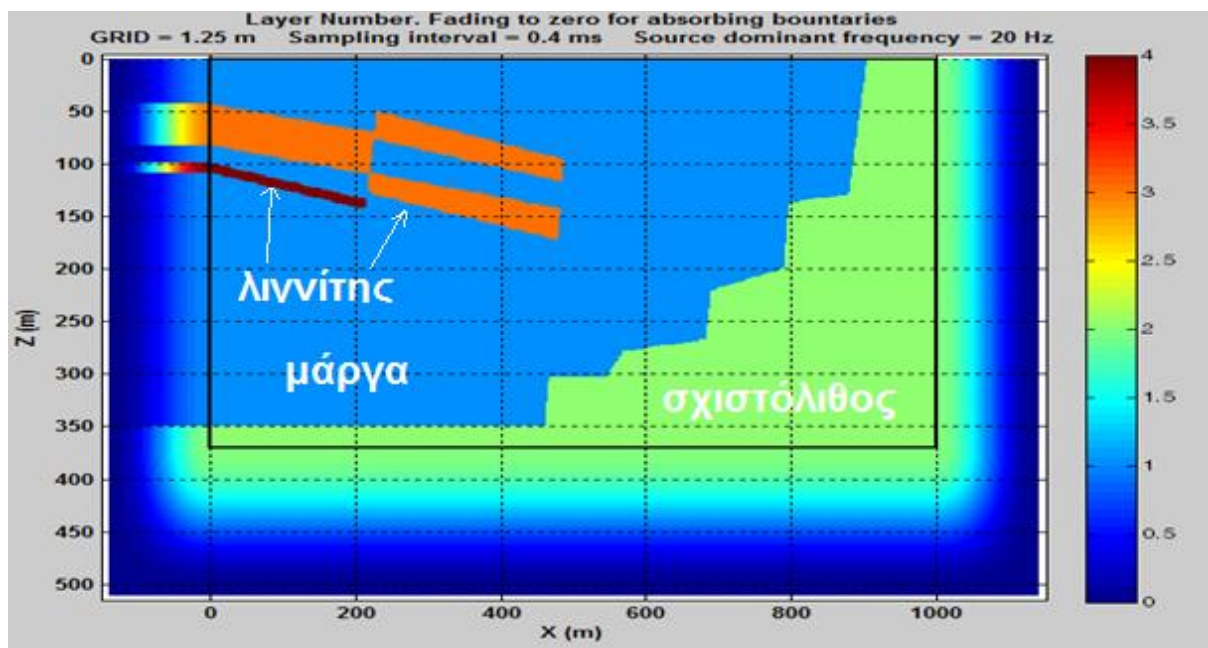
Στην παρούσα διπλωματική εργασία μοντελοποιήθηκαν τρία σεισμικά στρώματα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (Κριτσιώπης, προσωπική επικοινωνία)

- Μάργα: $V_p=1750\text{m/s}$, $V_s=437,5\text{m/s}$, $\rho= 1,7\text{g/cc}$
- Σχιστόλιθος: $V_p=2800\text{m/s}$, $V_s=700\text{m/s}$, $\rho= 2,2\text{g/cc}$
- Λιγνίτης : $V_p=1600\text{m/s}$, $V_s=400\text{m/s}$, $\rho= 1,3\text{g/cc}$



Σχήμα 2.2: Ορισμός των παραμέτρων του πρώτου στρώματος (μάργα).

Στο σχήμα 2.3 φαίνεται η απεικόνιση μετά και την εισαγωγή των τριών στρωμάτων (μάργα με μπλε, σχιστόλιθος με πράσινο, λιγνίτης με κόκκινο και πορτοκαλί). Επίσης έχει γίνει αυτόματα από το πρόγραμμα και η εισαγωγή των απορροφητικών ορίων περιμετρικά του μοντέλου.



Σχήμα 2.3: Το σεισμικό μοντέλο της γραμμής B₁B₂ όπου απεικονίζονται τα 3 στρώματα. Επίσης έχει γίνει εισαγωγή των απορροφητικών ορίων.

Στην συνέχεια, εισάγεται το οριζόντιο ανάπτυγμα πηγών με τις ακόλουθες παραμέτρους: Αριθμός πηγών 55, ισαπόσταση πηγών, 10m και οι συντεταγμένες της πρώτης πηγής (x, z) =(10m,5m) (Σχήμα 2.4).

SOURCE PARAMETERS
—
□
×

Source dominant frequency is 20 Hz

Source increment and coordinates must be multiple of 1.25 m

Enter the No of shots

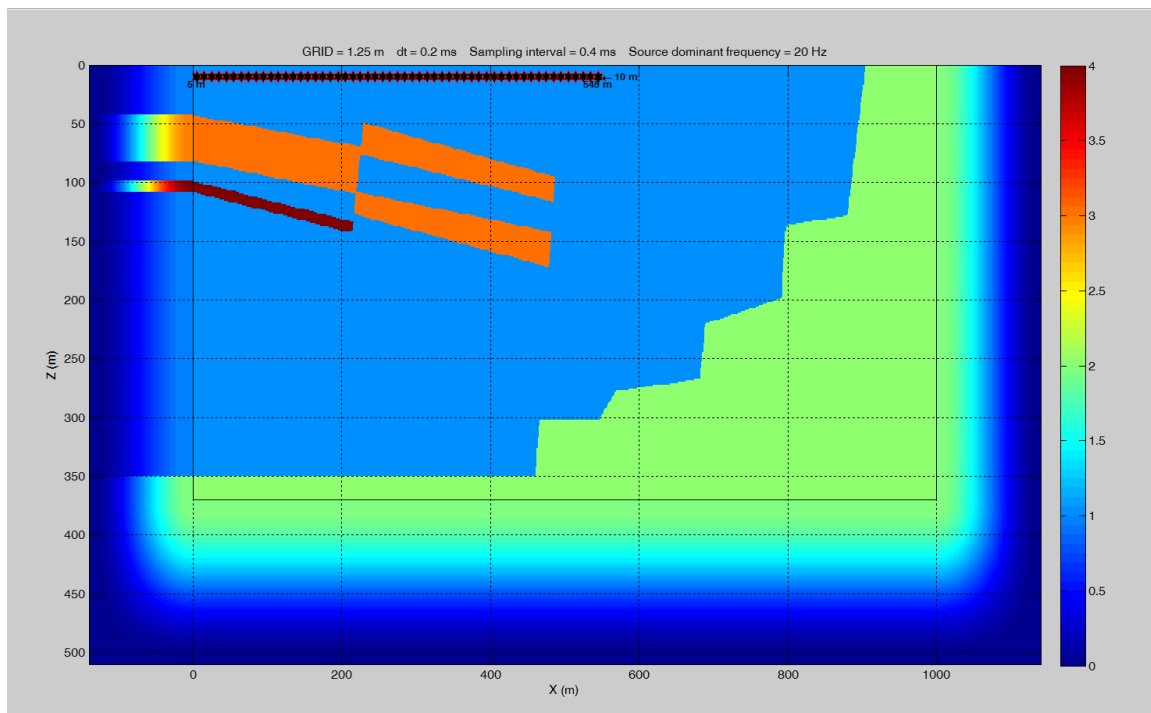
Enter the shot increment

Enter the X coordinate of source (m)

Enter the Z coordinate of 1st source

Σχήμα 2.4: Παράμετροι πηγών

Και το πρόγραμμα εμφανίζει (με κόκκινα αστέρια) τις αντίστοιχες θέσεις της πηγής (Σχήμα 2.5).



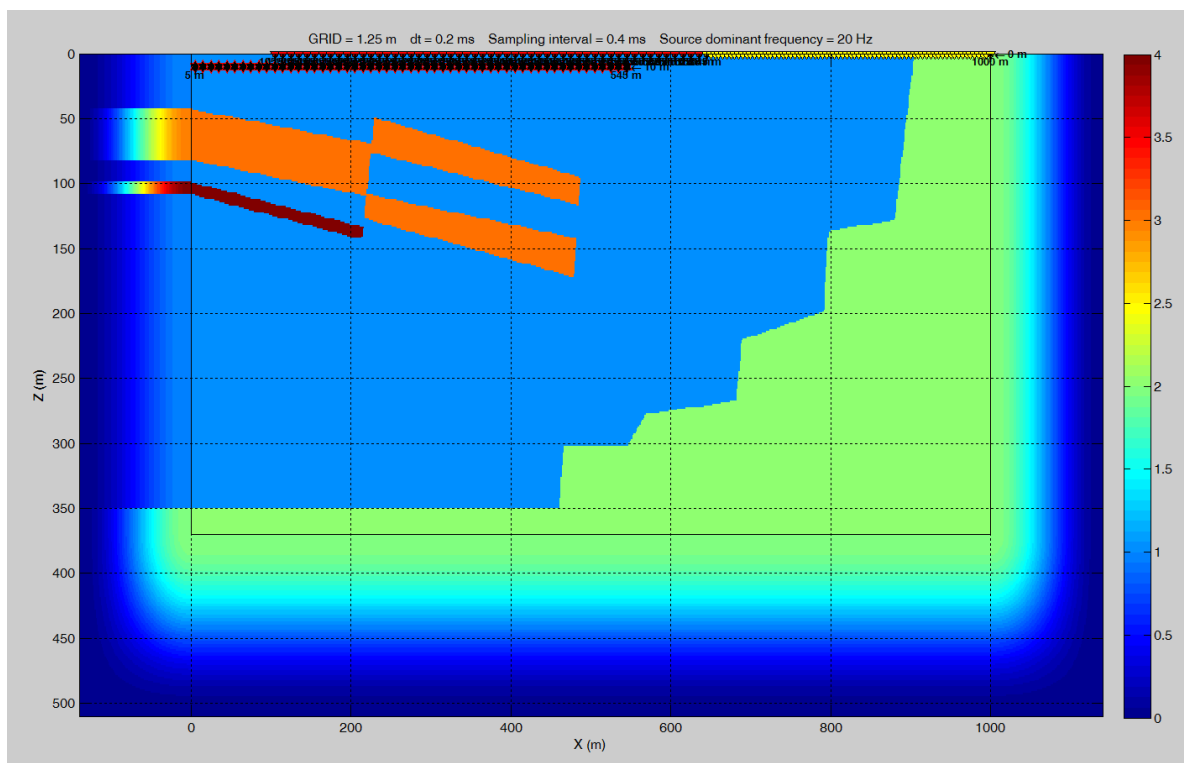
Σχήμα 2.5: Θέσεις της σεισμικής πηγής

Ακολούθως, επιλέγεται το ανάπτυγμα γεωφώνων με τις ακόλουθες παραμέτρους: Αριθμός γεωφώνων 72 , Ισαπόσταση γεωφώνων 5m, z γεωφώνων 0m, x 1^{ου} γεωφώνου 105m και η μετακίνηση του αναπτύγματος των γεωφώνων =10m (Σχήμα 2.6).

Σχήμα 2.6: Παράμετροι γεωφώνων

Στο Σχήμα 2.7 εμφανίζονται τόσο οι θέσεις της πηγής, όσο των γεωφώνων από την αρχική μέχρι την τελική θέση των μετρήσεων.

Ομοίως με τις πηγές, η θέση του πρώτου γεωφώνου από κάθε ανάπτυγμα γεωφώνων και το σύνολο των γεωφώνων του τελευταίου αναπτύγματος (απεικονίζονται με τρίγωνα) πάνω στο μοντέλο (Σχήμα 2.7).

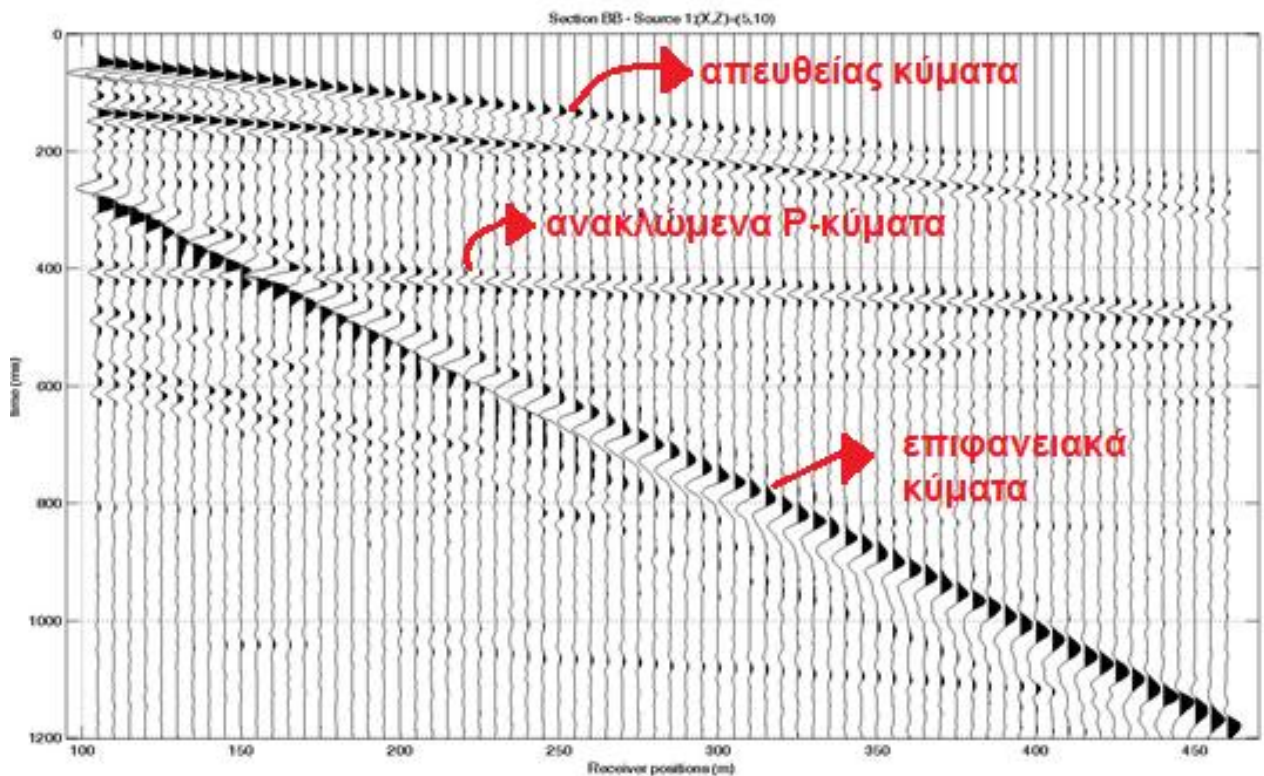


Σχήμα 2.7: Ανάπτυγμα πηγών και γεωφώνων

Τέλος εισάγεται ο συνολικός χρόνος καταγραφής σε 1200ms και επιλέγεται να μην γίνει απεικόνιση και αποθήκευση στιγμότυπων (snapshots) του κυματικού πεδίου σε προκαθορισμένες χρονικές στιγμές (Σχήμα 2.8).

Σχήμα 2.8: Χρονικές παράμετροι

Στο σχήμα 2.9 απεικονίζεται μία καταγραφή κοινής πηγής για την τομή BB'. Απεικονίζεται η οριζόντια συνιστώσα V_z της ταχύτητας. Η καταγραφή αφορά την πρώτη πηγή η οποία βρίσκεται στην θέση $(X,Z)=(5,10)$, το πρώτο γεώφωνο στην θέση $(X,Z)=(105,0)$ και το τελευταίο στην θέση $(X,Z)=(460,0)$. Διακρίνονται τα απευθείας κύματα, τα ανακλώμενα P-κύματα και τα επιφανειακά κύματα.



Σχήμα 2.9: Συνθετικές σεισμικές καταγραφές για το μοντέλο της σεισμικής γραμμής B_1B_2 και την 1η πηγή. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται οι θέσεις των γεωφώνων, ενώ στον κατακόρυφο ο χρόνος σε ms.

Τα αρχεία εξόδου της προσομοίωσης έχουν κατάληξη:

- *.SRC (αρχεία με τις θέσεις της πηγής)
- *.RCV (αρχεία με τις θέσεις των γεωφώνων)
- *.SMP(αρχεία με τις παραμέτρους του σεισμικού μοντέλου)

Καθώς επίσης και τα αρχεία με τις ταχύτητες ταλάντωσης

V_x με την οριζόντια συνιστώσα

V_z με την κατακόρυφη συνιστώσα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων από το λογισμικό Matlab(TM).

Μετά την δημιουργία των συνθετικών δεδομένων, ακολούθησε εισαγωγή θορύβου, η αναδιατάξη των από καταγραφές κοινής πηγής σε κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP), η διόρθωση της κανονικής χρονικής απόκλισης στα δεδομένα.

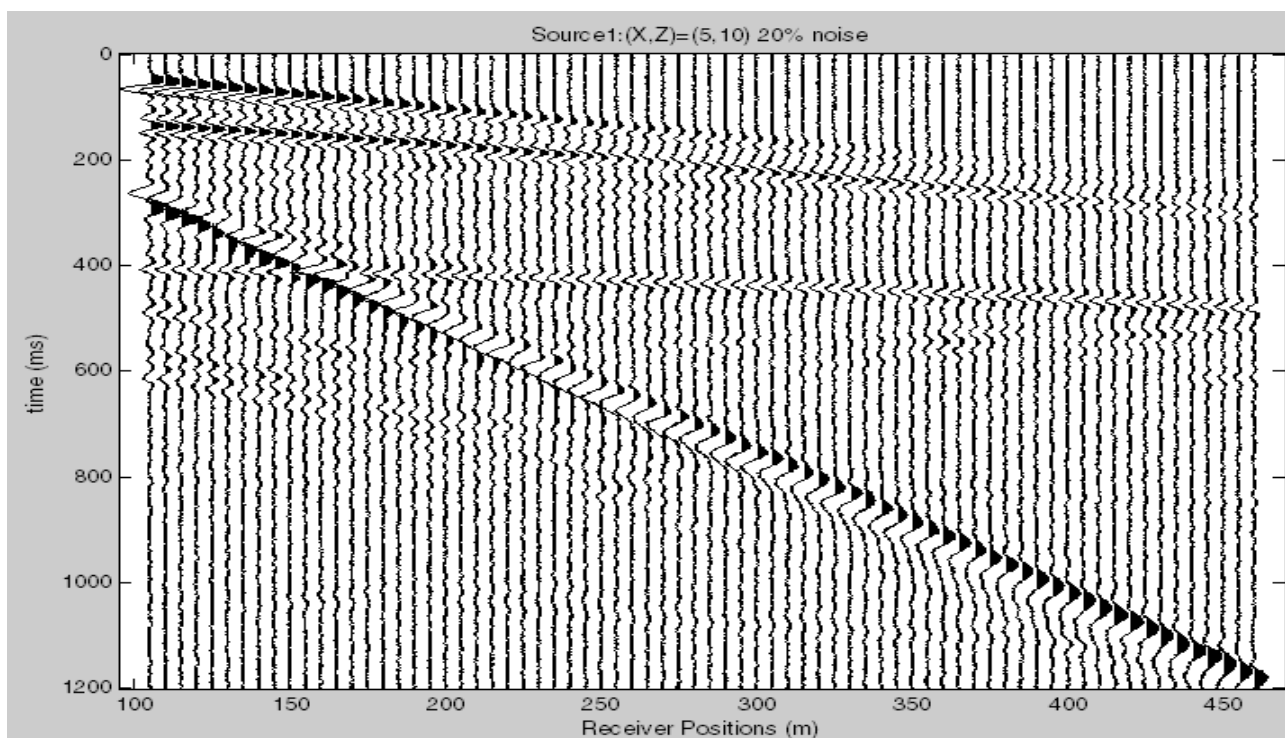
Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε σεισμική υπέρθεση δηλαδή η άθροιση των σειсмоγραμμάτων που έχουν κοινό ενδιαμέσο σημείο (CMP) μεταξύ σεισμικής πηγής-γεωφώνου και έχουν υποστεί δυναμική διόρθωση (NMO). Τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας είναι η σεισμική χωροθέτηση (Migration) δηλαδή η ανακατασκευή και σωστή τοποθέτηση των επιφανειών ανάκλασης που παρουσιάζουν κλίση σε μια τομή υπέρθεσης.

3.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

Για να προσομοιωθούν τα δεδομένα μας με μεγαλύτερη αληθοφάνεια, εισάγεται θόρυβος 20% στο αρχικό συνθετικό σεισμόγραμμα ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- Κανονικοποίηση των δεδομένων κοινής πηγής και εκτίμηση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της κατακόρυφης ταχύτητας ταλάντωσης σωματιδίων
- Δημιουργία δεδομένων θορύβου με ίδια μέση τιμή και 20% της αντίστοιχης τυπικής απόκλισης των συνθετικών δεδομένων και πρόσθεση στα κανονικοποιημένα Vz δεδομένα
- Αποκανονικοποίηση των δεδομένων

.Στο Σχήμα 3.1 εμφανίζονται τα συνθετικά δεδομένα με θόρυβο για τα ίχνη κοινής πηγής (1η) και για το σεισμικό μοντέλο της σεισμικής γραμμής B₁B₂.



Σχήμα 3.1: Συνθετικές σεισμικές καταγραφές για το μοντέλο της σεισμικής γραμμής B_1B_2 (ίδιες με αυτές του σχήματος 2.9). Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται οι θέσεις των γεωφώνων, ενώ στον κατακόρυφο ο χρόνος σε ms.

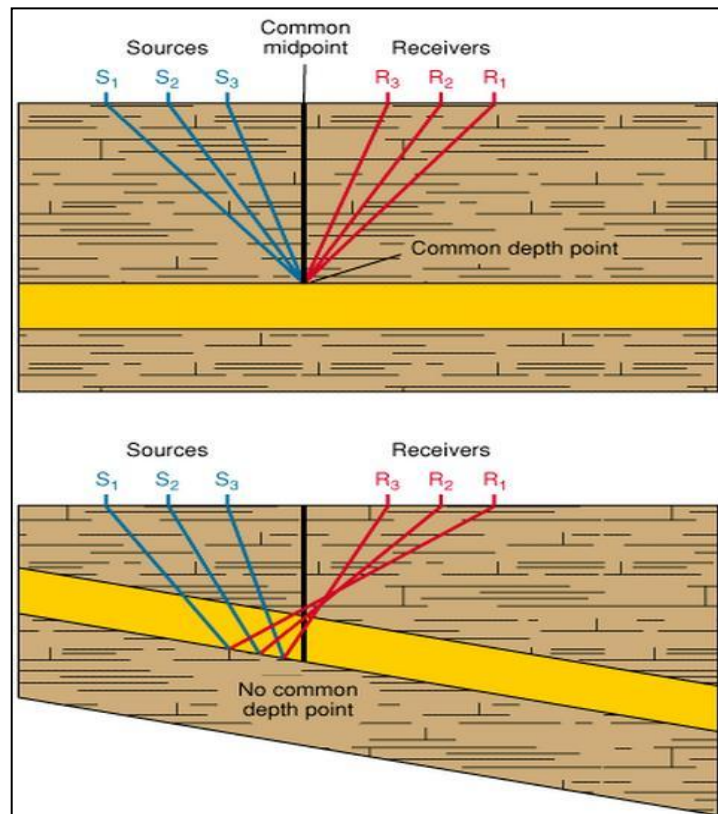
3.3 ΑΝΑΔΙΑΤΑΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΚΟΙΝΟΥ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ (CMP sorting)

Μετά την εισαγωγή θορύβου, τα δεδομένα μετατρέπονται από καταγραφές κοινής πηγής σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου. Αυτή είναι η αναδιάταξη απαιτεί πληροφορίες από την γεωμετρία του πειράματος.

Να σημειωθεί ότι ο όρος κοινού σημείου βάθους (common depth point) (CDP) συχνά χρησιμοποιεί αντί του όρου κοινού ενδιάμεσου σημείου (common midpoint) (Yilmaz, 1987).

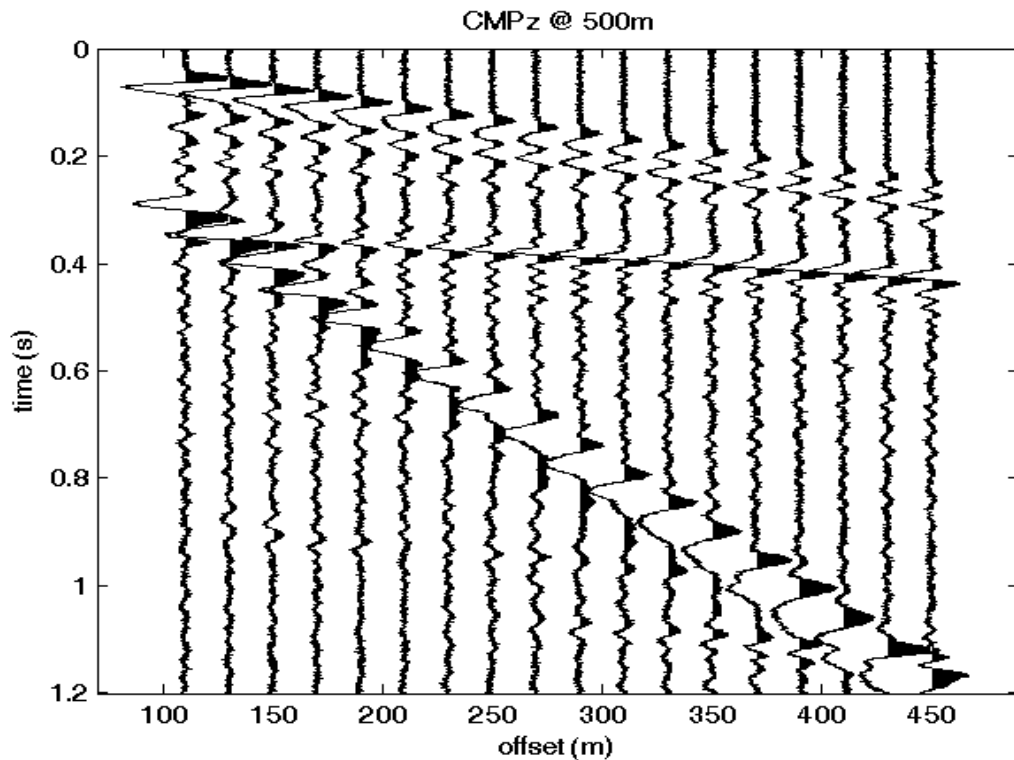
Η διάταξη “κοινού ενδιάμεσου σημείου” και η αντίστοιχη διαδικασία επεξεργασίας των καταγραφών, είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν η επιφάνεια ανάκλασης είναι οριζόντια και πολύ λιγότερο όταν η ίδια επιφάνεια είναι κεκλιμένη. Στη δεύτερη

περίπτωση, οι διάφορες 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 (Σχήμα 3.2)



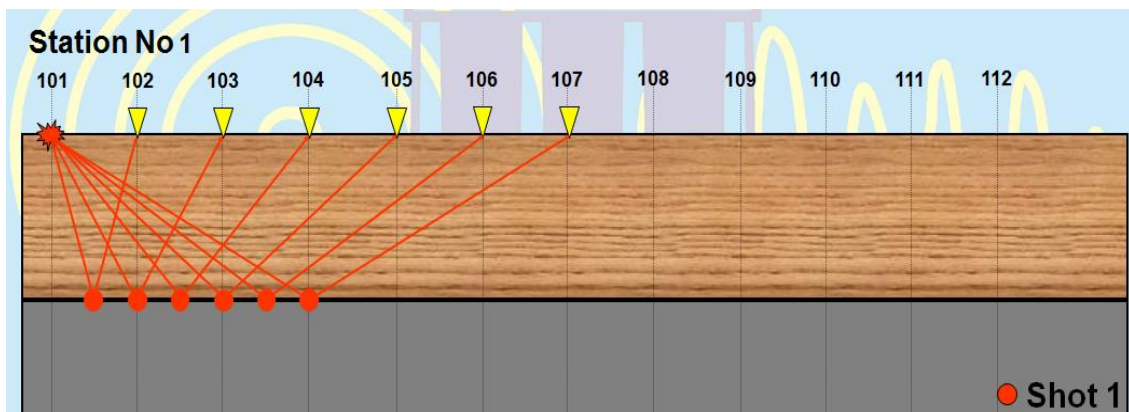
Σχήμα 3.2: Σεισμική ακτίνες από οριζόντιο (πάνω) και κεκλιμένο ανακλαστήρα (κάτω) για διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου (http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/c/common_depth_point.aspx).

Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζονται 18 σεισμικά ίχνη για το κοινό ενδιαμέσο σημείο στα 500m του μοντέλου της σεισμικής γραμμής B₁B₂, συναρτήσε της απόστασης των δεκτών από την εκάστοτε πηγή. Το συγκεκριμένο κοινό ενδιαμέσο σημείο παρουσιάζει μέγιστη υπεδαφική κάλυψη.

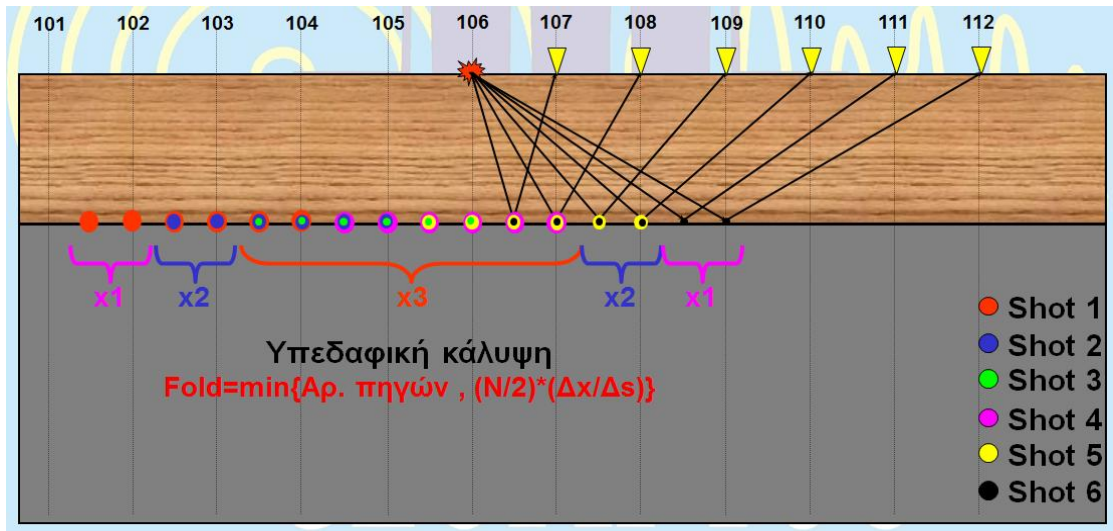


Σχήμα 3.3: Απεικόνιση καταγραφών Vz. κοινού ενδιάμεσου σημείου στα 500m , για το σεισμικό μοντέλο της σεισμικής γραμμής B₁B₂.

Στα παρακάτω σχήματα παριστάνεται η διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου όπου ελαστικά κύματα παράγονται από 6 πηγές και καταγράφονται από 6 γεωφώνω. Αρχικά η πηγή βρίσκεται στην θέση 101 (Σχήμα 3.4). Στην συνέχεια μετακινείται στα σημεία 101, 102, 103, 104, 105 και 106. Και παράλληλα μετακινείται και το ανάπτυγμα των γεωφώνων μέχρι και η τελευταία πηγή να φτάσει στην θέση 106. Στο σχήμα 3.5 φαίνονται τα σημεία από τα οποία καταγράφηκαν ανακλώμενα κύματα σε περισσότερα του ενός ίχνη (2 ή και 3) για διαφορετικά ζεύγη πηγών-γεωφώνων. Με διαφορετικό χρώμα απεικονίζονται σεισμικές ακτίνες για διαφορετική θέση πηγής.

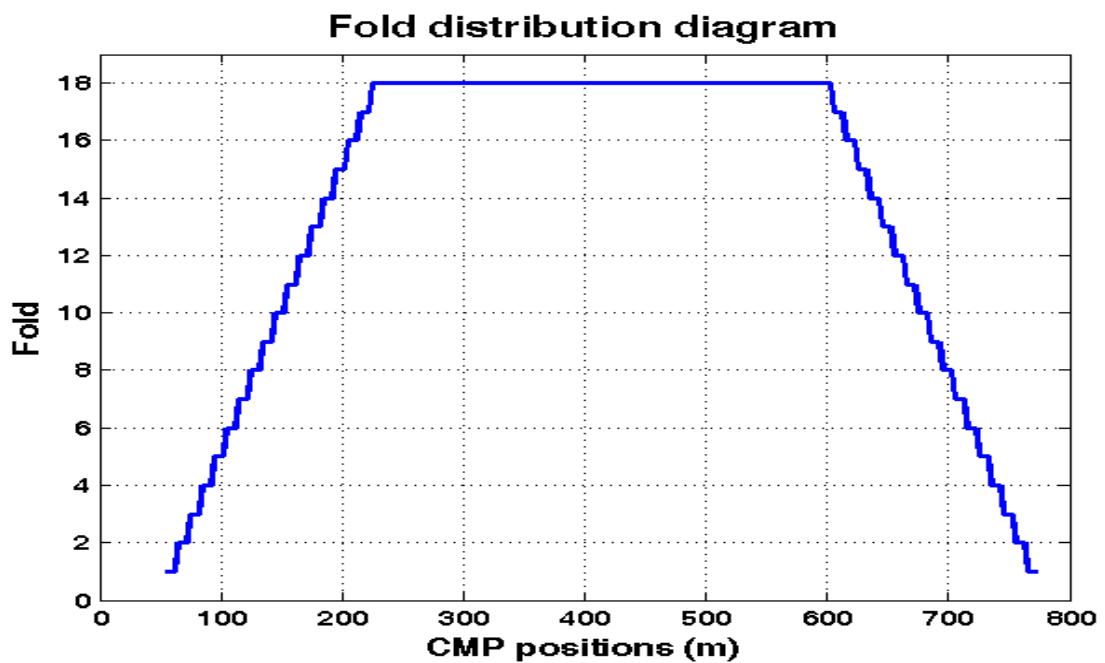


Σχήμα 3.4: Αρχικό ανάπτυγμα πηγής-γεωφώνων. Η 1^η πηγή στην θέση 101.



Σχήμα 3.5: Τελικό ανάπτυγμα με την 6^η πηγή στην θέση 106. Παρατηρείται ότι η μέγιστη υπεδαφική κάλυψη είναι ίση με τρία .

Σύμφωνα με την σχέση 1.3 το fold είναι 18 $Fold = \min\{55, (72/2) \cdot (5/10)\} = \min\{55, 18\}$ και είναι ίδιο και για τις δύο σεισμικές γραμμές (σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6: υπεδαφικής κάλυψης κατά μήκος της σεισμικής γραμμής .

3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ-ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ-ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΥΠΕΡΘΕΣΗ

3.4.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Οι τιμές της τμηματικής ταχύτητας των σεισμικών στρωμάτων έχουν οριστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Εκτός από αυτές τις τιμές για τον υπολογισμό της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας (V_{rms}), είναι απαραίτητες οι αντίστοιχες τιμές του διπλού κατακόρυφου χρόνου διαδρομής (T_0). Η μέση τετραγωνική ταχύτητα ορίζεται από την παρακάτω σχέση

$$V_n = \left[\frac{\sum_{j=1}^n \alpha_j^2 t_j}{\sum_{j=1}^n t_j} \right]^{\frac{1}{2}}$$

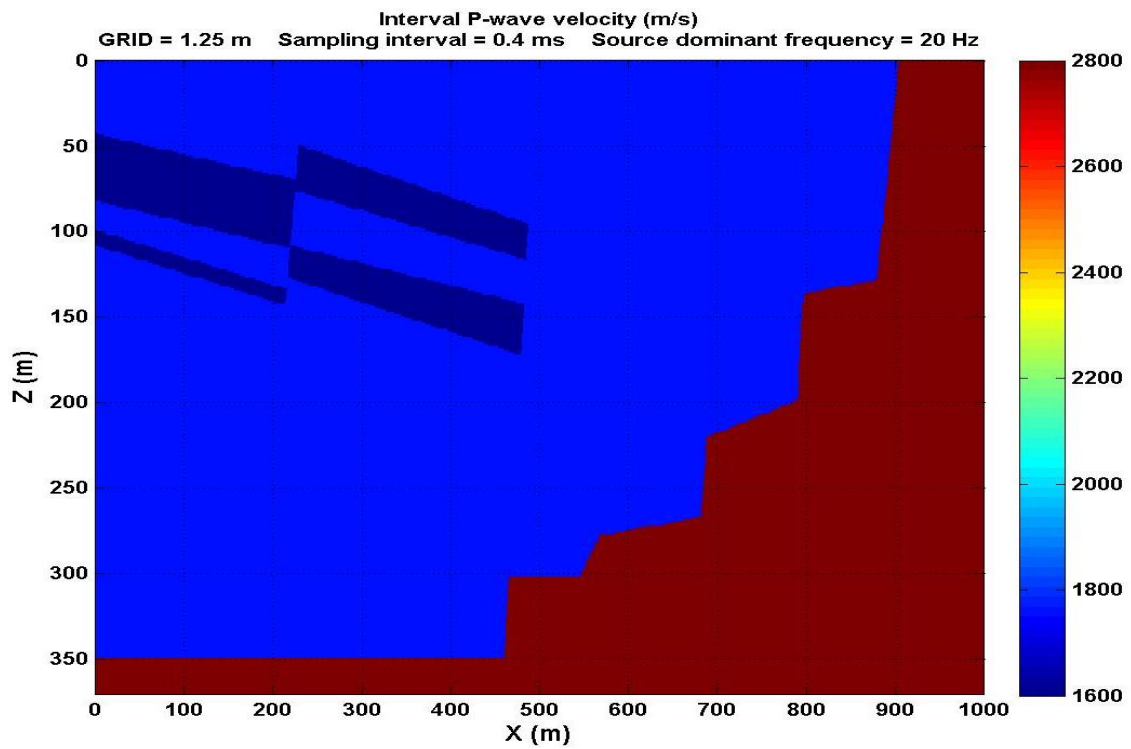
(3.1)

Όπου:

V_n : η μέση τετραγωνική ταχύτητα

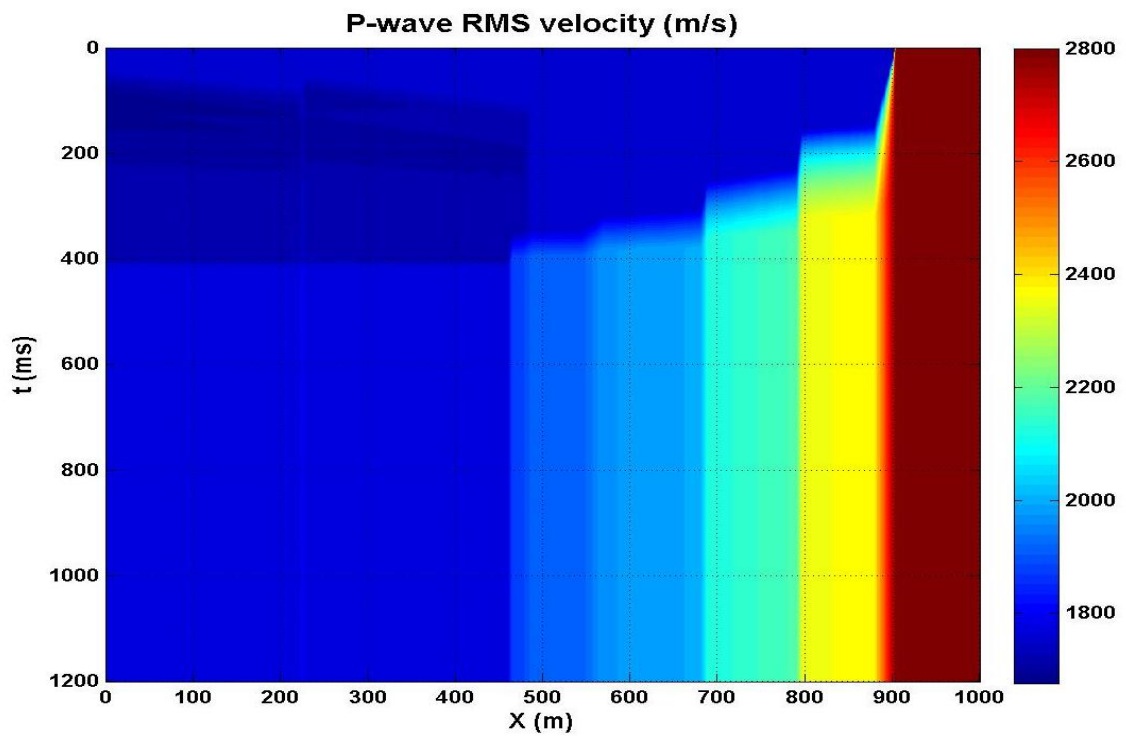
α_j : η ταχύτητα διάδοσης του σεισμικού κύματος στο στρώμα j

t_j : ο διπλός χρόνος διαδρομής στο στρώμα j



Σχήμα 3.7: Μοντέλο τμηματικής ταχύτητας της σεισμικής γραμμής B_1B_2 (m/s).

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο τμηματικής ταχύτητας της σεισμικής γραμμής B_1B_2 (Σχήμα 3.7) και την εξ. 3.1 προκύπτει το μοντέλο της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας (Σχήμα 3.8)



Σχήμα 3.8: Μοντέλο μέσης τετραγωνικής τμηματικής ταχύτητας της σεισμικής γραμμής B_1B_2 (m/s).

3.4.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ (NMO CORRECTION)

Πριν την άθροιση των σεισμικών ιχνών της διάταξης κοινού ενδιαμέσου σημείου, είναι απαραίτητη η εφαρμογή της διόρθωσης της κανονικής χρονικής απόκλισης. Η διόρθωση αυτή εφαρμόζεται στους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων για τα παραπάνω σεισμικά ίχνη 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 ο δέκτης βρίσκονται στη θέση του κοινού ενδιαμέσου σημείου της διάταξης (Μπραουδάκη 2004).

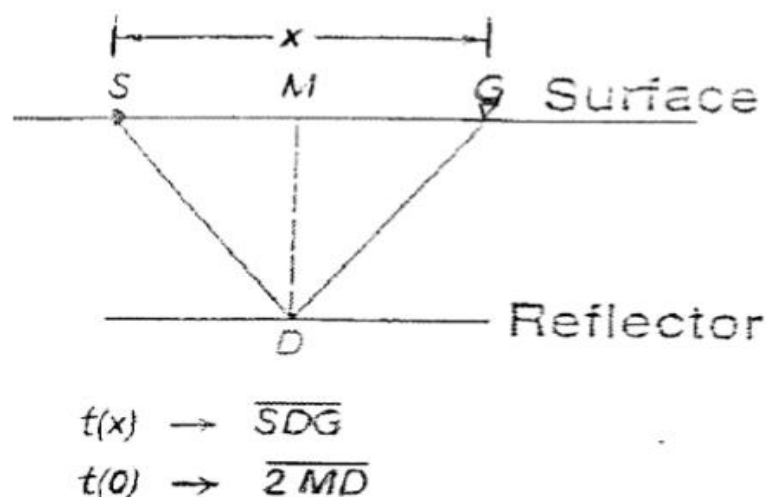
Η κανονική χρονική απόκλιση (NMO correction) υπολογίζεται από τη σχέση

$$\Delta T_{NMO} = t(x) - t(0) = t(0) * \left\{ \left[1 + \left(\frac{x}{V_{NMO} * t(0)} \right)^2 \right]^{1/2} - 1 \right\} \quad (3.2)$$

Όπου $t(x)$: ο διπλός χρόνος διαδρομής και αναφέρεται σε γεώφωνο που απέχει από την πηγή απόσταση x

V_{NMO} : η ταχύτητα υπέρθεσης NMO, η οποία προσεγγίζεται από την V_{RMS} και

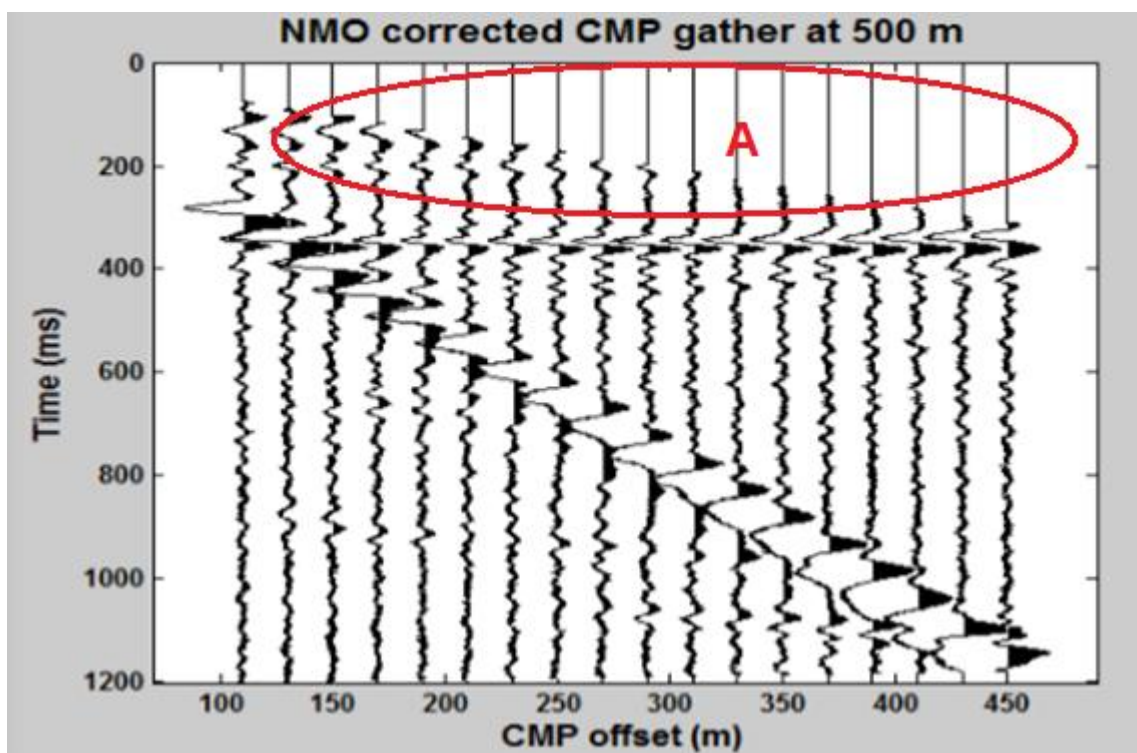
$t(0)$: ο διπλός κάθετος χρόνος (two-way-time) που χρειάζεται το κύμα για να διατρέξει την απόσταση MD δύο φορές (Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9: Διανυθέντα διαστήματα και αντίστοιχοι διπλοί χρόνοι για ανακλώμενα κύματα με απόσταση πηγής γεωφώνου x και 0 για την περίπτωση οριζόντιου 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}). Μεγάλες τιμές διόρθωσης NMO προκαλούν χρονική επιμήκυνση (stretch) των ανακλώμενων κυματομορφών προκαλώντας την υπέρμετρη παραμόρφωσή τους. Για τον λόγο αυτό καταγραφές οι οποίες υπόκεινται σε μεγάλες διορθώσεις NMO (π.χ. επιμήκυνση >30%) συνήθως απορρίπτονται (μηδενίζονται τα πλάτη τους), όπως φαίνεται στην περιοχή A του σχήματος 3.10 (συγκρινόμενο με το σχήμα 3.3).

Είναι σημαντικό στην ίδια εξίσωση να χρησιμοποιηθεί η σωστή ταχύτητα του μέσου. Αν η χρησιμοποιούμενη ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από την πραγματική, η διόρθωση είναι μικρότερη της πραγματικής (undercorrection), ενώ αν η ταχύτητα είναι μικρότερη από την πραγματική ταχύτητα του μέσου, η διόρθωση είναι μεγαλύτερη της πραγματικής (overcorrection).

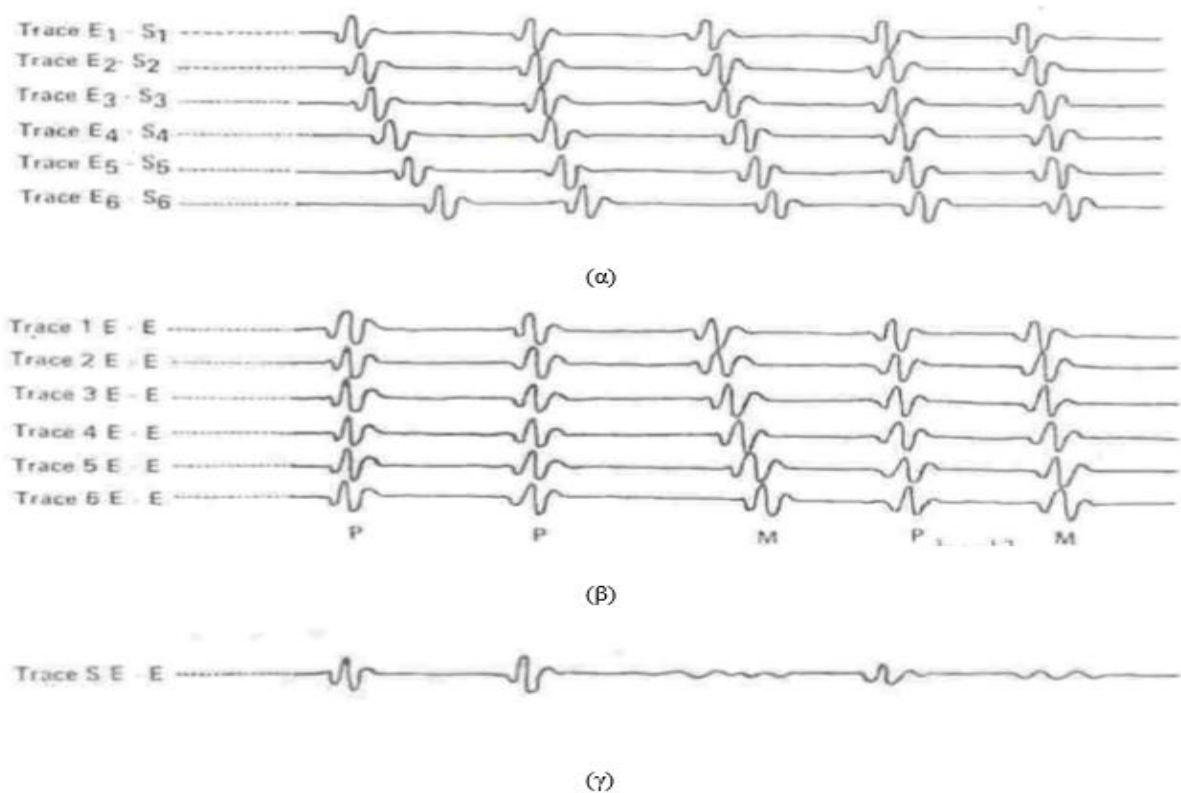


Σχήμα 3.10: Σεισμικά ίχνη για το κοινό ενδιαμέσο σημείο στα 500m μετά την Δυναμική διόρθωση NMO για το σεισμικό μοντέλο της σεισμικής γραμμής B_1B_2 .

*Παρατηρείται ότι οι ανακλάσεις από τον στρώμα του λιγνίτη χάνονται λόγω του ότι χαρακτηρίζονται από παραμόρφωση μεγαλύτερη από 30% (αύξηση της διάρκειας της κυματομορφής) .

3.4.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΥΠΕΡΘΕΣΗ(STACKING)

Η σεισμική υπέρθεση ενισχύει το σήμα των σεισμικών ανακλάσεων με αντίστοιχη μείωση του τυχαίου θορύβου. Αυτό επιτυγχάνεται με την άθροιση σειсмоγραμμάτων που έχουν κοινό ενδιαμέσο σημείο μεταξύ σεισμικής πηγής και γεωφώνου (CommonMidpoint, CMP). Η άθροιση έχει ως συνέπεια να δίνουν μεγάλο συνολικό πλάτος (σήμα) μόνο οι καταγραφές που οφείλονται σε ανάκλαση των κυμάτων, γιατί οι καταγραφές αυτές βρίσκονται σε φάση ενώ οι καταγραφές του θορύβου αλληλοαναιρούνται. Η άθροιση ή υπέρθεση (stacking) αυξάνει τον λόγο του σήματος προς το θόρυβο με συνέπεια την ανάδειξη των σημάτων ανάκλασης (Σχήμα 3.11).

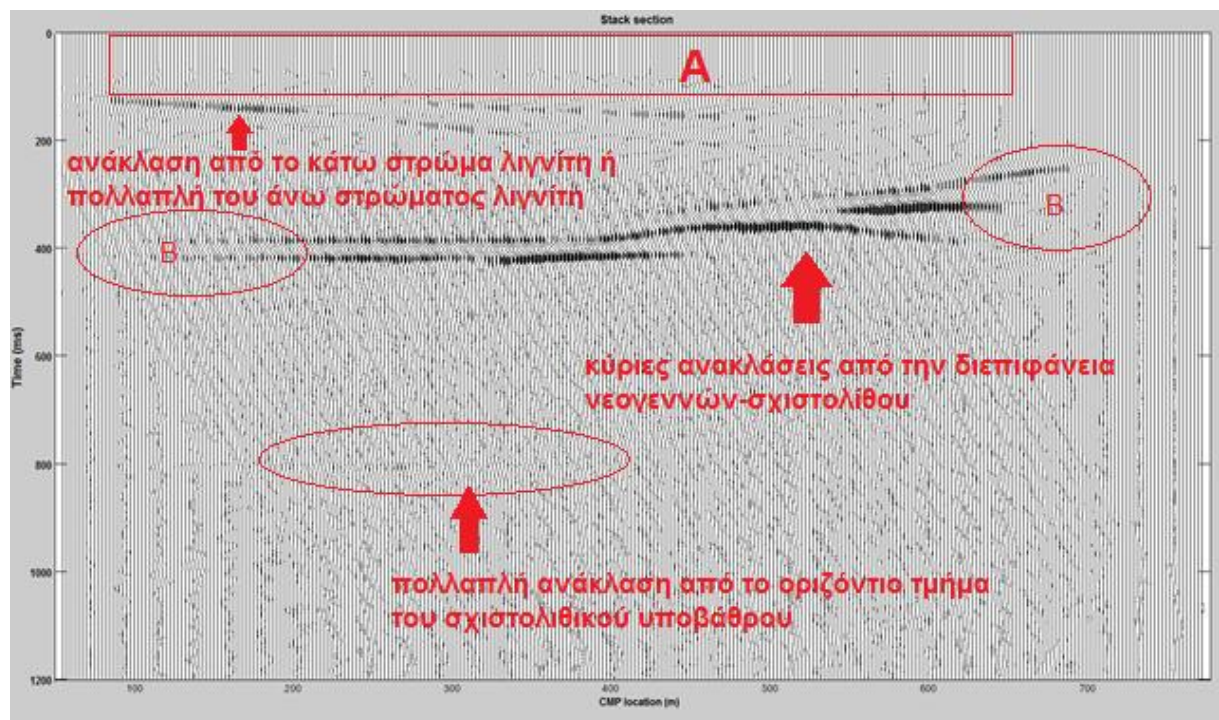


Σχήμα 3.11: Παράδειγμα διόρθωσης NMO και σεισμικής υπέρθεσης (Cordier, 1985). (α) Διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου με 6 ίχνη. Τα ίχνη φαίνονται πριν τη δυναμική διόρθωση και έχουν τοποθετηθεί κατά σειρά ως προς την απόσταση της πηγής (ή του δέκτη) από το κοινό ενδιαμέσο σημείο, (β) Διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου για τα 6 ίχνη μετά τη διόρθωση NMO, (γ) Σεισμικό ίχνος που προέκυψε από την σεισμική υπέρθεση των 6 διορθωμένων ως προς την διόρθωση NMO.

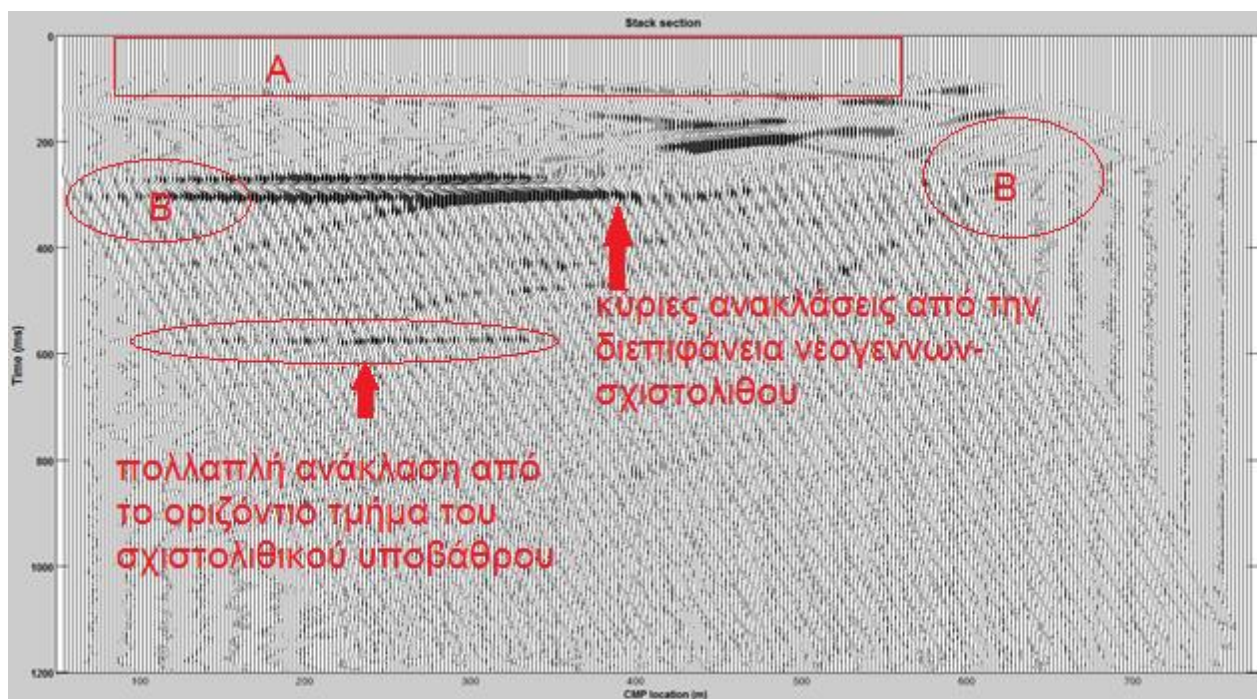
Στα σχήματα 3.12 και 3.13, εμφανίζεται η κύρια ανάκλαση από την διεπιφάνεια νεογενών-σχιστολίθου. Οι κύριες ανακλάσεις B εμφανίζουν μικρότερα πλάτη λόγω μειωμένης υπεδαφικής κάλυψης (<18) (μέγιστο fold=18 από τα 220m-600m σύμφωνα με το σχήμα 3.6). Επίσης εμφανίζεται πολλαπλή ανάκλαση από το άνω όριο τμήμα του σχιστολιθικού υποβάθρου στο οριζόντιο τμήμα του. Οι αναμενόμενες ανακλάσεις στα 60-90ms από τον λιγνίτη (A) της τομής και στις εμφανίζουν πολύ μικρά πλάτη (επιρροή της παραμόρφωσης

της δυναμικής διόρθωσης). Επίσης παρατηρείται ανάκλαση από το βαθύτερο στρώμα λιγνίτη ή πιθανόν πολλαπλή του άνω στρώματος λιγνίτη.

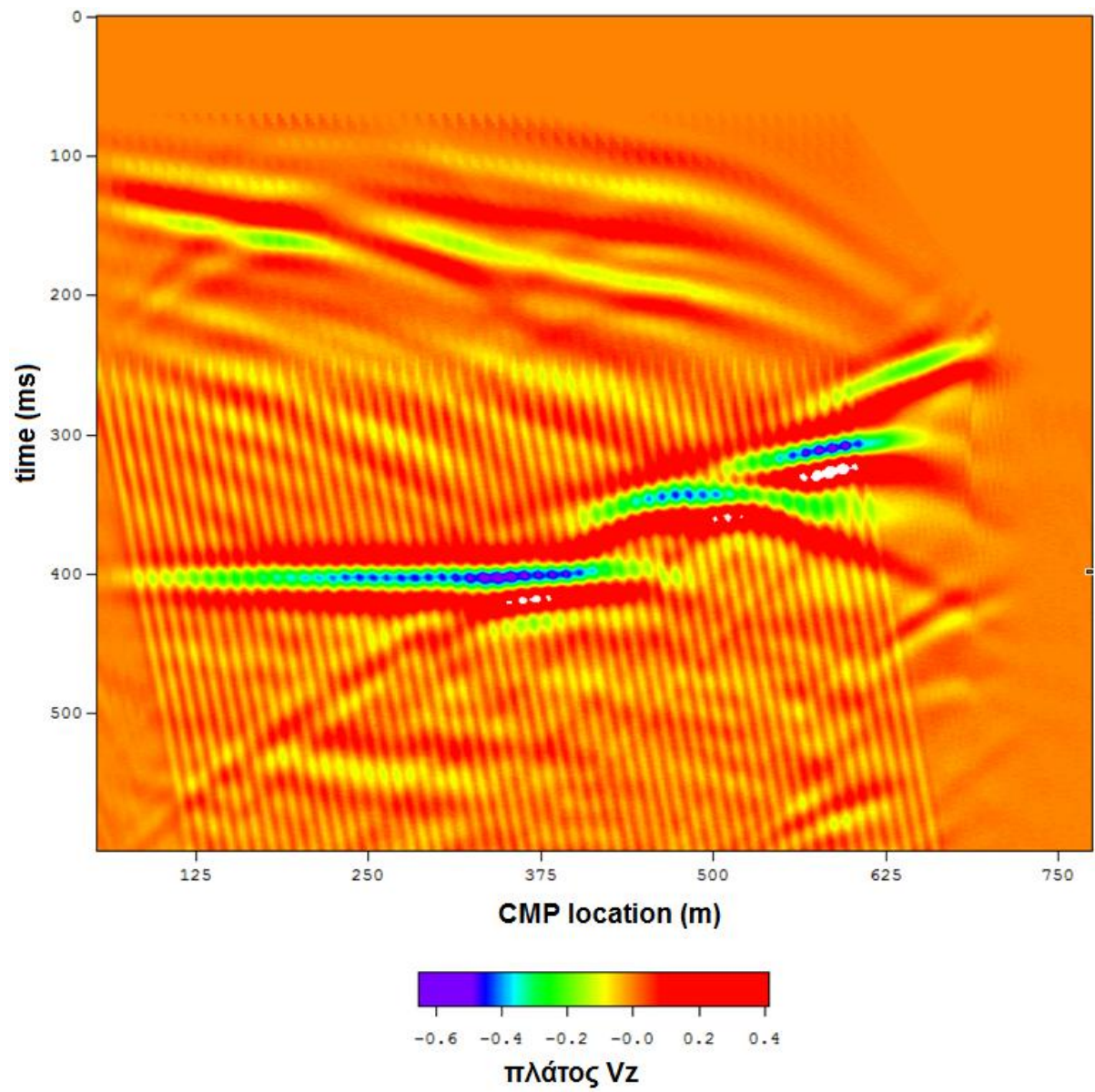
Στην συνέχεια παρατίθενται οι τομές υπέρθεσης για τις σεισμικές γραμμές A_1A_2 και B_1B_2 με την χρήση του προγράμματος transform (Σχήματα 3.14 και 3.15). Σ'αυτές τις τομές ο διπλός κατακόρυφος χρόνος περιορίστηκε μέχρι τα 600ms. Επίσης έγινε προσπάθεια η ίδια κατακόρυφη απόσταση στον χρόνο να αντιστοιχεί στην ίδια οριζόντια απόσταση .



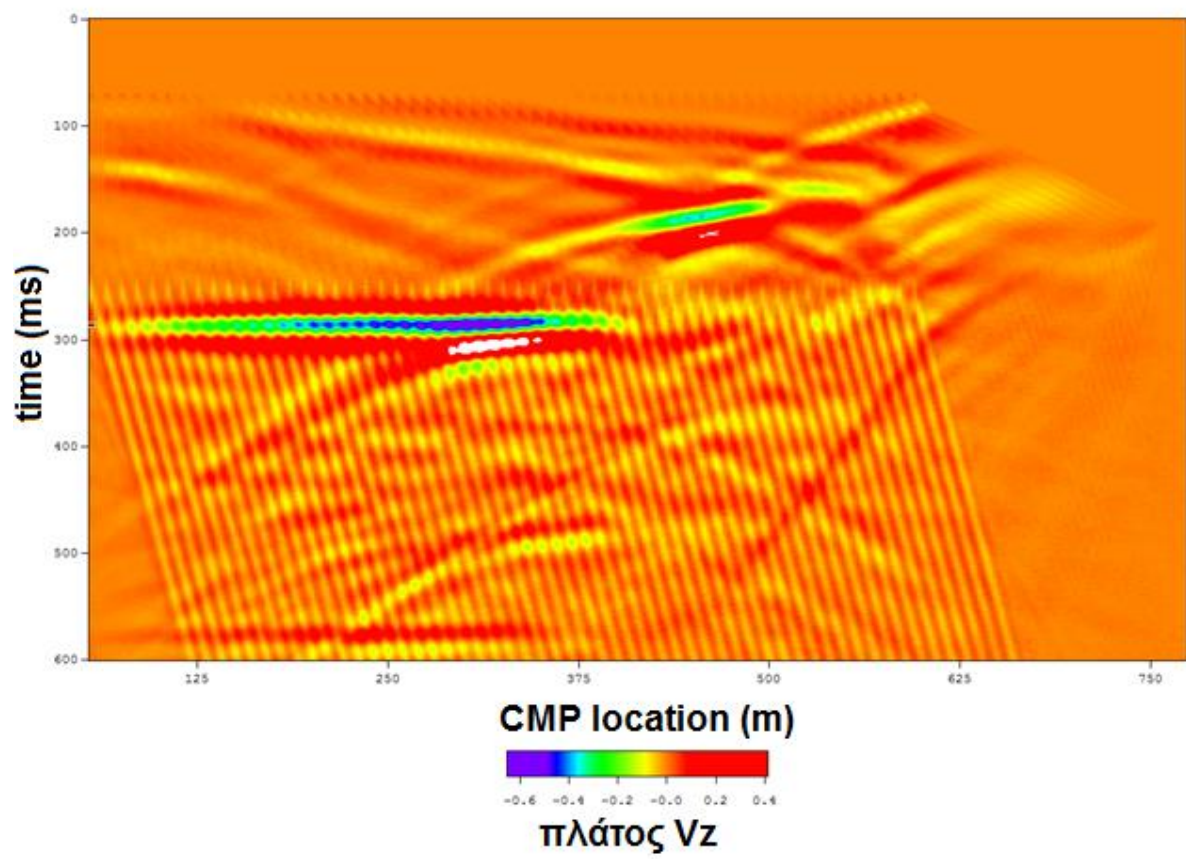
Σχήμα 3.12: Σεισμική τομή υπέρθεσης για το μοντέλο της σεισμικής γραμμής B_1B_2 . Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε ms και στον οριζόντιο οι θέσεις CMP.



Σχήμα 3.13: Σεισμική τομή υπέρθεσης για το μοντέλο της σεισμικής γραμμής A_1A_2 . Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε ms και στον οριζόντιο οι θέσεις CMP.



Σχήμα 3.14: Σεισμική τομή υπέρθεσης B_1B_2 στο πρόγραμμα transform. Διπλός κατακόρυφος χρόνος 400ms αντιστοιχεί σε βάθος 350m.



Σχήμα 3.15: Σεισμική τομή υπέρθεσης A_1A_2 στο πρόγραμμα transform. Διπλός κατακόρυφος χρόνος 285ms αντιστοιχεί σε βάθος 250m.

3.5 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ (MIGRATION) ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

Η σεισμική χωροθέτηση αυξάνει τη χωρική διακριτική ικανότητα και διορθώνει στη σεισμική τομή υπέρθεσης τις κλίσεις των κεκλιμένων ανακλαστήρων, μετακινώντας τις ανακλάσεις σε ρηχότερες θέσεις. Η σεισμική χωροθέτηση εφαρμόστηκε μετά την υπέρθεση των σειсмоγραμμάτων (poststack migration). Επιλέχθηκε η χωροθέτηση με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών (Finite-Difference Migration).

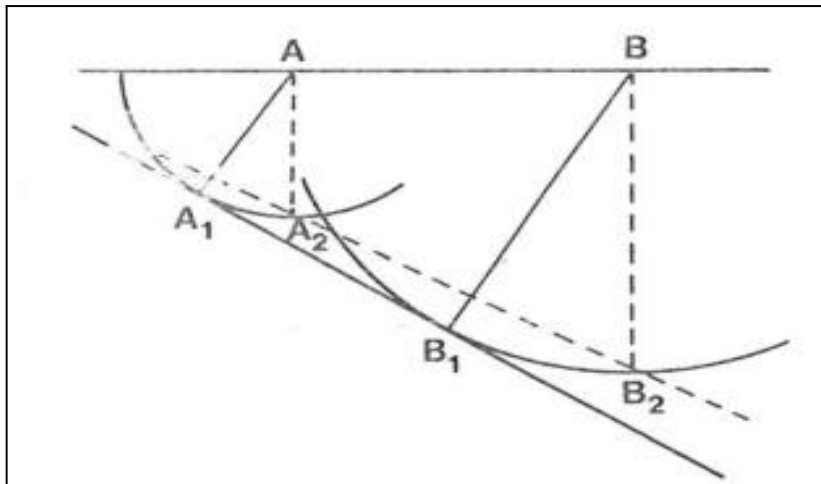
Η σεισμική χωροθέτηση πεπερασμένων διαφορών βασίζεται στην προσέγγιση που περιγράφεται από τον Claerbout (1972). Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών χρησιμοποιεί την αρχή της προς τα κάτω συνέχειας (downward continuation) του κυματικού πεδίου που ισοδυναμεί με μετακίνηση των γεωφώνων βαθύτερα μέσα στη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

Η σεισμική χωροθέτηση είναι μέθοδος επεξεργασίας η οποία είναι απαραίτητη για τη γεωλογική ερμηνεία των σεισμικών δεδομένων. Είναι υπεύθυνη για τη σωστή τοποθέτηση και ανακατασκευή των σεισμικών ανακλάσεων. Στην πράξη, η σεισμική χωροθέτηση εφαρμόζεται σαν τελευταίο στάδιο μετά την σεισμική υπέρθεση, (migration) βελτιώνει τη χωρική διακριτική ικανότητα τοποθετώντας τις σεισμικές ανακλάσεις στη σωστή θέση.

Στην περίπτωση που τα ανακλώμενα κύματα προέρχονται από κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια, η χαρτογράφηση των σημείων ανάκλασης οδηγεί σε λανθασμένα συμπεράσματα σχετικά με το βάθος και την κλίση της διαχωριστικής επιφάνειας. Η πραγματική πορεία των σεισμικών ακτίνων δεν είναι κατακόρυφη αλλά κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια. Η σεισμική χωροθέτηση διορθώνει στην σεισμική τομή τις κλίσεις των κεκλιμένων ανακλαστικών επιφανειών μετακινώντας τις ανακλάσεις σε ρηχότερες θέσεις.

Η σεισμική χωροθέτηση πραγματοποιείται με την ακόλουθη μέθοδο, στη περίπτωση που τα ανακλώμενα κύματα προέρχονται από κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια. Αν θεωρηθούν δυο σημεία Α και Β πάνω στην επιφάνεια της Γης Στην σεισμική υπέρθεση τα σημεία ανάκλασης θεωρείται ότι βρίσκονται κάτω από τα Α και Β και οδηγούν σε λανθασμένα συμπεράσματα όσον αφορά το βάθος και την κλίση της διαχωριστικής επιφάνειας. Στην περίπτωση αυτή η πραγματική πορεία των σεισμικών ακτίνων δεν είναι κατακόρυφη αλλά κάθετη στην διαχωριστική επιφάνεια. Με βάση αυτό το γεγονός (Σχήμα 3.16) παρουσιάζεται η σωστή θέση της διαχωριστικής επιφάνειας. Αν δεν γίνει η διόρθωση θα

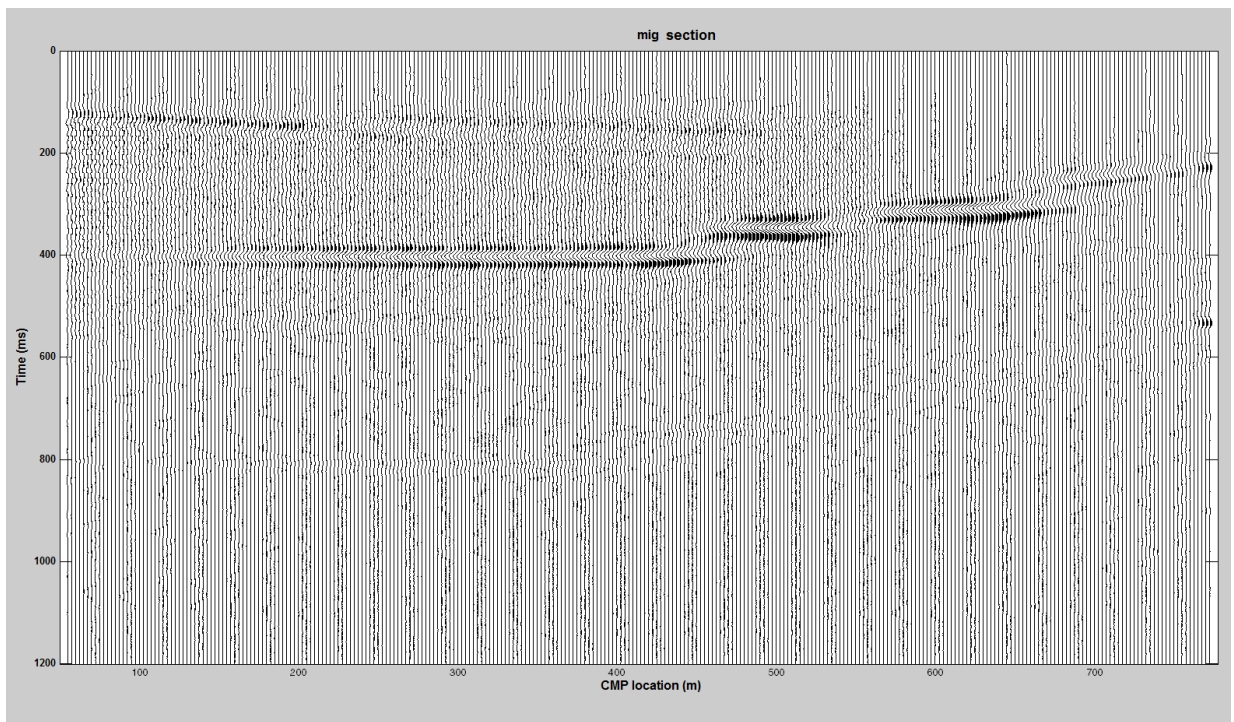
αποτυπωθεί ως ανακλαστήρας η επιφάνεια A_2B_2 λανθασμένα και όχι η επιφάνεια A_1B_1 η οποία είναι και η πραγματική.



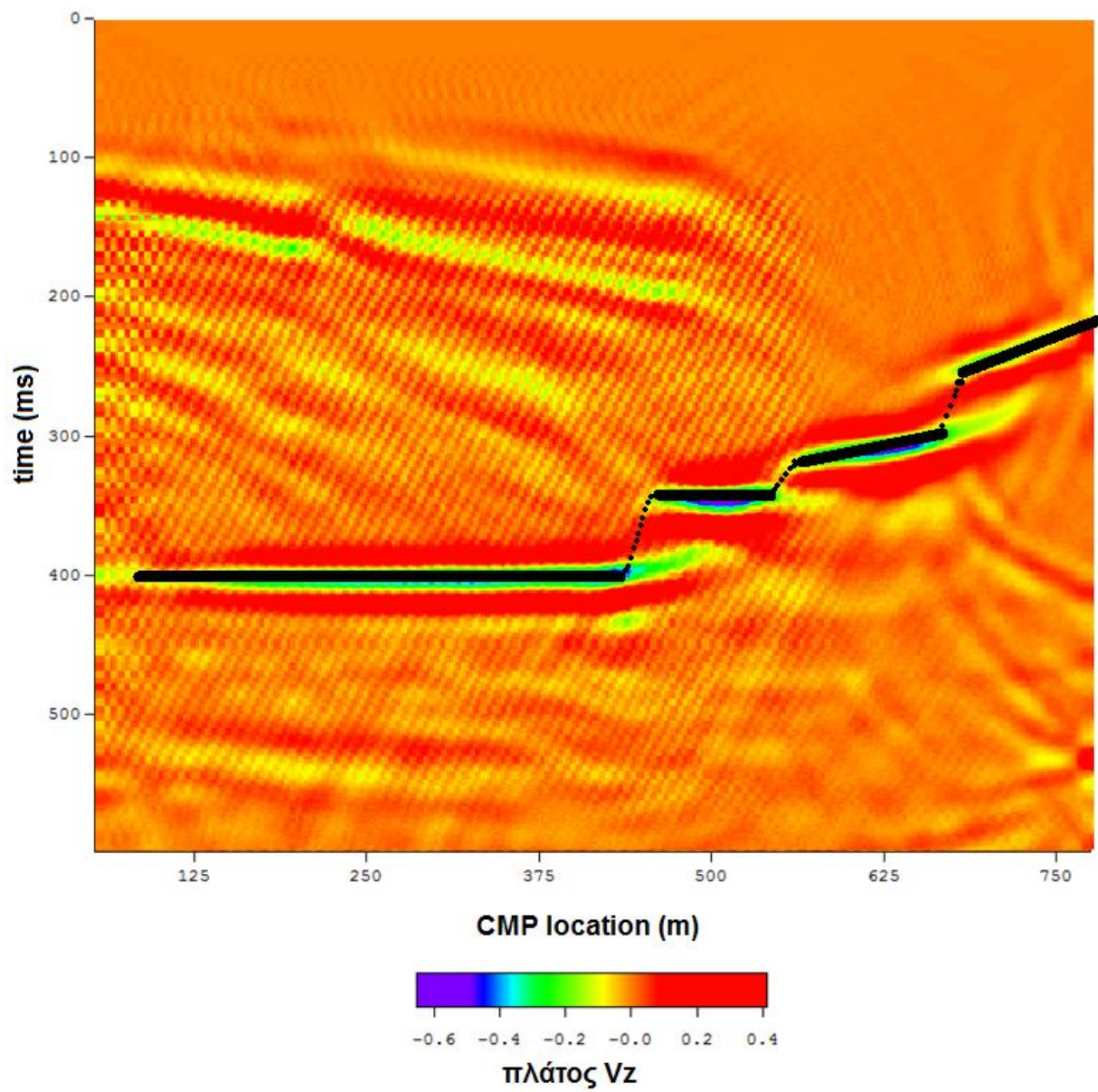
Σχήμα 3.16: Παράδειγμα σεισμικής χωροθέτησης κεκλιμένου ανακλαστήρα από την θέση A_2B_2 στην σεισμική τομή υπέρθεσης στην πραγματική θέση A_1B_1 (ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ Ι ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ, Αντώνης Βαφείδης)

Στις τομές χωροθέτησης παρακάτω παρατηρείται ότι έχει αλλάξει η κλίση των ανακλαστήρων. Επίσης στις απεικονίσεις φαίνονται τα κατώτερα και τα μεσαία τμήματα του άνω ορίου του σχιστολιθικού υποβάθρου ενώ δεν διακρίνονται (σχεδόν απουσιάζουν) τα ανώτερα τμήματα (Σχήματα 3.17-3.20).

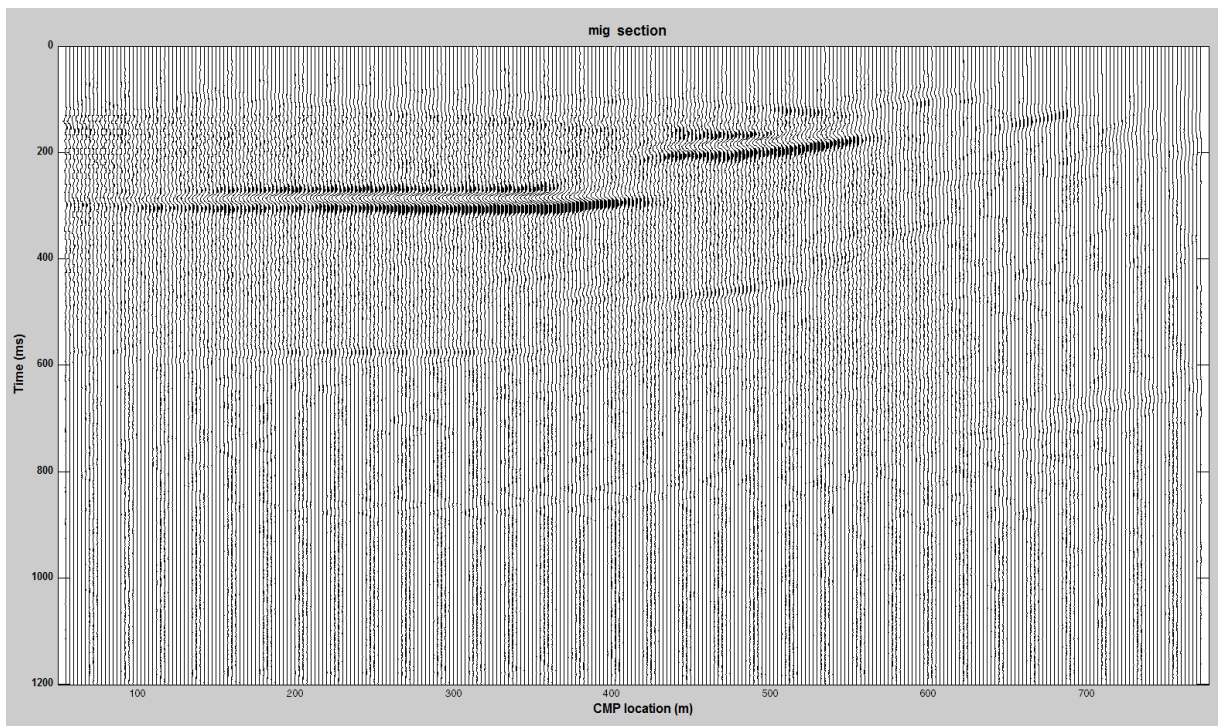
Επίσης, οι διεπιφάνειες του άνω ορίου του σχιστόλιθου με μεγάλη κλίση δεν απεικονίζονται, όμως αυτή η κλίση υπολογίζονται από τα άκρα των διεπιφανειών με τις μικρές κλίσεις. Στο Σχήμα 3.21 παρουσιάζεται εν κατακλίδει το διάγραμμα ροής της επεξεργασίας των συνθετικών δεδομένων που ακολουθήθηκε σε αυτό το κεφάλαιο.



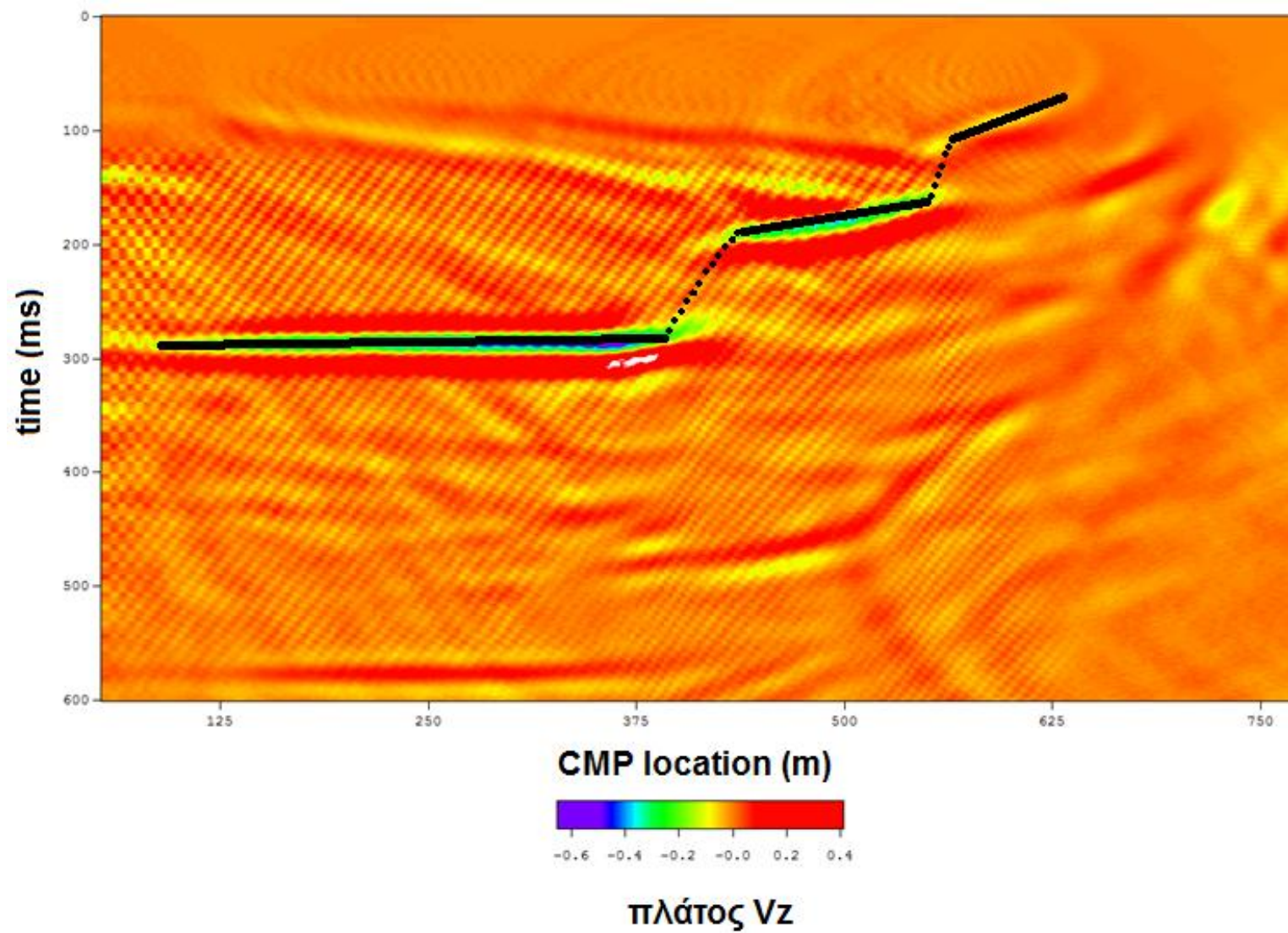
Σχήμα 3.17:Χωροθετημένη σεισμική τομή για τη σεισμική γραμμή B_1B_2 . Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε ms και στον οριζόντιο οι θέσεις CMP.



Σχήμα 3.18: Χωροθετημένη σεισμική τομή υπέρθεσης B_1B_2 στο πρόγραμμα transform. Διπλός κατακόρυφος χρόνος 400ms αντιστοιχεί σε βάθος 350m.



Σχήμα 3.19: Χωροθετημένη σεισμική τομή για τη σεισμική γραμμή A_1A_2 . Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε ms και στον οριζόντιο οι θέσεις CMP.



Σχήμα 3.20: Χωροθετημένη σεισμική τομή υπέρθεσης A_1A_2 στο πρόγραμμα transform Διπλός κατακόρυφος χρόνος 285ms αντιστοιχεί σε βάθος 250m.



Σχήμα 3.21: Τυπικό διάγραμμα ροής επεξεργασίας . *Στην προκειμένη περίπτωση δεν έγινε ανάλυση της ταχύτητας διότι υπήρχε έτοιμο το μοντέλο ταχυτήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με την προσομοίωση και την επεξεργασία δισδιάστατων συνθετικών δεδομένων, η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης απεικόνισε τον ανακλαστήρα στο άνω όριο του σχιστολιθικού υποβάθρου, ο οποίος χαρακτηρίζεται από απότομες κλίσεις, στην περιοχή του λιγνιτωρυχείου της Μαυροπηγής Κοζάνης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, μπορούν χρησιμοποιηθούν στο βέλτιστο σχεδιασμό πραγματικού πειράματος σεισμικής ανάκλασης στην περιοχή μελέτης.

Η δημιουργία των συνθετικών σεισμικών δεδομένων κατά μήκος 2 γεωλογικών τομών, οι οποίες προέκυψαν από γεωτρίτικα δεδομένα της ευρύτερης περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών μέσω του προγράμματος Matlab.

Η επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων βελτίωσε τη διακριτική ικανότητα των δεδομένων. Η επεξεργασία περιλαμβάνει τις διαδικασίες της εισαγωγής τεχνητού θορύβου, της αναδιάταξης των δεδομένων σε καταγραφές κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP sorting), τον υπολογισμό της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας, της διόρθωσης της κανονικής χρονικής απόκλισης (NMO correction), της σεισμικής υπέρθεσης (stacking) και της σεισμικής χωροθέτησης (Migration). Για δημιουργία μίας καλύτερης απεικόνισης των τομών της σεισμικής υπέρθεσης και χωροθέτησης χρησιμοποιήθηκε και το πρόγραμμα Transform.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προέκυψε ότι είναι δυνατή η χαρτογράφηση του σχιστολιθικού υποβάθρου στην περιοχή μελέτης με την χρήση της μεθόδου σεισμικής ανάκλασης και της μεθοδολογίας απόκτησης και επεξεργασίας των σεισμικών δεδομένων που αναπτύχθηκαν. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατέστη δυνατή η απεικόνιση μόνο των τμημάτων του υποβάθρου που είχαν ήπια κλίση, ενώ η χαρτογράφηση αυτών με μεγάλη κλίση, προέκυψε συμπερασματικά από την μορφολογία των απεικονισθέντων τμημάτων του υποβάθρου.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Την εφαρμογή της αποσυνέλιξης, για να αυξηθεί η χρονική διακριτική ικανότητα των δεδομένων.
- Δοκιμές με μεγαλύτερο ποσοστό θορύβου για να διαπιστωθεί αν ο σχεδιασμός του πειράματος και η μεθοδολογία επεξεργασίας θα δώσει εξίσου ικανοποιητικά με τα τρέχοντα αποτελέσματα.
- Την αύξηση του αριθμού των σεισμικών πηγών για να απεικονιστεί το ρηχότερο μέρος του ανακλαστήρα στο άνω όριο του σχιστολιθικού υποβάθρου.

- Λιγότερο ποσοστό stretching για την ανάδειξη του ρηχότερου στρώματος των λιγνιτών (στην παρούσα επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε 30%) .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγιουτάντης Ζ.(2012), «ΜΕΛΕΤΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΜΑΥΡΟΠΗΓΗΣ»
2. Βαφείδης Α., 1993, Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι – Σημειώσεις προπτυχιακού μαθήματος, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
3. Βαφείδης Α., (2001), Εφαρμοσμένη Γεωφυσική 2 Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
4. Claerbout, J. F., and Doherty, S. M., 1972, Downward continuation of moveout corrected seismograms: Geophysics, v. 37, p. 741-768.
5. Clayton R. and Engquist B., 1977, Absorbing boundary conditions for acoustic and elastic wave equations, Bull. Seism. Soc. Am., v. 67, pp. 1529-1540
6. Cordier J.-P., Velocities in Reflection Seismology, Seismic reflection method.
7. Lax P. and B. Wendroff, 1964, Difference schemes for hyperbolic equation with high order accuracy, Comm. in Pure and Applied Math, v. 17. p.381-398
8. Μαρίνος Β. Τομέας Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης) ΕΞΑΜΗΝΙΑΙΑ ΕΚΘΕΣΗ με τίτλο:<< ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ Δ.Δ. ΜΑΥΡΟΠΗΓΗΣ ΤΟΥ Δ. ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ>>.
9. Μούχου Αποστολία διπλωματική 2014 με τίτλο: <<ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΝΟΤΙΟ ΑΙΓΑΙΟ>>
10. Μπραουδάκη Καλλιόπη, 2004, Σεισμικά Ανάκλασης στο Ιόνιο, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολ. Κρήτης.
11. Smith W. D., 1974, A nonreflecting plane boundary for wave propagation problems, J. Comp. Phys., v. 15, 492-508
12. Vafidis Antonios, 1988, Supercomputer Finite Difference Methods for Seismic wave propagation, PhD Thesis, University of Alberta.
13. Yilmaz O., 1987, Seismic data processing Society of Exploration Geophysicists.

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ & ΑΛΛΕΣ ΠΗΓΕΣ

- <http://www.themos-sa.gr/proj/index.php>
- <https://www.youtube.com/watch?v=4El6U0XTNS0>
- http://geologikathemata.blogspot.gr/2013/02/1_17.html
- http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/c/common_depth_point.aspx
- **GoogleEarth**
- **Μηχανή Αναζήτησης Google**
- **Geosysta** (προφορική επικοινωνία)
- **Κριτσιώπης** (προφορική επικοινωνία)