



"ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΕ ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΤΟ ΟΡΥΧΕΙΟ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ"

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ
Π.Κ.

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ,

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, Π.Κ.

ΑΝ.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΗΤΙΚΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
Π.Κ.

Ε.ΔΙ.Π,

ΧΑΝΙΑ

10/2019

«Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών»

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο «ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΣΤΟ ΟΡΥΧΕΙΟ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ» έχει ως σκοπό την δημιουργία ενός συνθετικού μοντέλου με το οποίο θα προσδιοριστεί με ακρίβεια η δομή και η επιφάνεια ολισθήσεις του υπεδάφους στην περιοχή μελέτης, η οποία είναι το λιγνιτωρυχείο στο Αμύνταιο Φλώρινας, με την χρήση συνθετικών δεδομένων, μέσω της διατάξεις πηγής-γεωφώνων και της μεθόδου σεισμικής ανάκλασης.

Στην πραγματοποίηση της εργασίας σημαντικό ρολό έπαιξαν οι βοηθοί του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής της σχολής Μηχανικών Ορυκτών πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης οι κύριοι δρ.Κρητικακης Γεώργιος και δρ.Ανδρονικίδης Νικόλαος που με την αμέριστη βοήθεια τους και την σωστή καθοδήγηση τους με στήριξαν σημαντικά για αυτό και τους ευχαριστώ θερμά.

Ευχαριστώ επίσης οφείλω να εκφράσω στον επιβλέποντα καθηγητή μου Αντώνη Βαφείδη ο οποίος έπαιξε καταλυτικό ρολό στην πραγματοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα πιο συνήθη προβλήματα που παρατηρείται στο ορυχείο Αμύνταιου Φλώρινας σχετίζεται με την ευστάθεια των υπό εκμετάλλευση πρανών της περιοχής στα όποια παρατηρούνται κατολισθήσεις που επηρεάζουν την εκμετάλλευση του κοιτάσματος λιγνίτη.

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι να εξεταστεί με την προσομοίωση και την επεξεργασία συνθετικών δεδομένων σε δυο διαστάσεις, αν η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην απεικόνιση της επιφάνειας ολίσθησης κάτω από την ολισθαίνουσα μάζα στο υπέδαφος, κατά την κατολίσθηση πρανούς στο λιγνιτωρυχείο Αμύνταιου. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον βέλτιστο σχεδιασμό πειράματος σεισμικής ανάκλασης στην περιοχή μελέτης.

Η δημιουργία των συνθετικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε κατά μήκος μιας γεωλογικής τομής ανάμεσα σε δυο προϋπάρχουσες γεωτρήσεις. Στην εν λόγω διπλωματική εργασία γίνεται αναφορά στις κατολισθήσεις και σε σεισμικές μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση των κατολισθήσεων αυτών. Στην συνέχεια ακολουθεί η γεωλογία της περιοχής και γίνεται μια γενική αναφορά στην μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης.

Στην συνέχεια εξετάζεται αναλυτικά η διαδικασία δημιουργίας συνθετικών δεδομένων, με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών μέσω του προγράμματος Matlab και κατάλληλων αλγορίθμων που έχουν αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Στο επόμενο στάδιο παρουσιάζεται η δημιουργία του συνθετικού μοντέλου για την υλοποίηση του οποίου χρησιμοποιήθηκαν τα εξής προγράμματα AutoCAD και Matlab. Η επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων είχε ως βασικό σκοπό την αύξηση της διακριτικής ικανότητας των ληφθέντων σημάτων. Επίσης περιλαμβάνει την απαλοιφή

των απευθείας κυμάτων, την χωροθέτηση πριν την υπέρθεση κατά Kirchhoff και την στατική διόρθωση.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας πρόεκυψε ότι είναι δυνατή η απεικόνιση της επιφάνειας ολίσθησης λιγνιτορυχείου με την χρήση της γεωφυσικής μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης και της μεθοδολογίας επεξεργασίας των δεδομένων.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
1 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΚΑΤΟΛΙΣΘΙΣΕΙΣ-ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΙΣΕΙΣ.....	8
1.1 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	8
1.2 ΑΙΤΙΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	9
1.3 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΙΣΕΙΣ.....	12
2 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	15
2.1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	15
2.2 ΛΙΓΝΙΤΙΚΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	16
2.4 ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ	17
2.5 ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ.	17
3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ- ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗ.....	18
3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	19
3.2 ΤΥΠΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ (ΧΕΡΣΑΙΑΣ) ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	20
3.3 ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	20
3.4 ΥΠΕΔΑΦΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ	23
3.5 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ (NMO CORRECTION)	26
3.6 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΥΠΕΡΘΕΣΗ (STACKING)	28
3.7 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ (MIGRATION)	28
4 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	31
4.1 ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	31
4.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	34
4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	42
4.3.1 ΑΠΑΛΟΙΦΗ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	42
4.3.2 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ KIRCHHOFF (Prestack Kirchhoff migration).....	44
4.3.6 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΗ ΒΑΘΟΥΣ.....	47
4.3.7 ΣΤΑΤΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ(Static Correction)	48
4.4 ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΜΗΜΑΤΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ-ΧΩΡΟΘΕΤΗΜΕΝΗΣ ΤΟΜΗΣ ΒΑΘΟΥΣ.....	49
5 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	51
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	51

σελιδοδείκτης.

5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί**

5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 52

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 53

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... 54

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ-ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΙΣ

ΚΑΤΟΛΙΣΘΙΣΕΙΣ

1.1 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

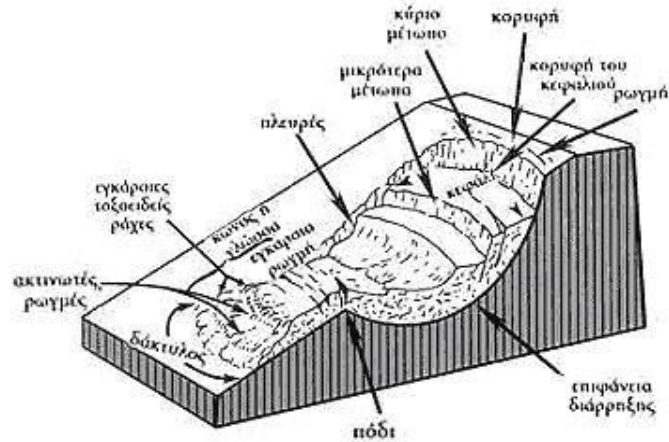
Με την χρήση του ορού Μετακίνηση Μαζών (Mass Wasting ή Mass Movement) μπορούμε να εκφράσουμε τις βαρυτικές μετακινήσεις πετρωμάτων που έχουν αποσαθρωθεί προς τα κατόντη ενός πρανού. Η κατολίσθηση μπορεί να οριστεί ως η νέα ισορροπία της ολισθαίνουσας μάζας ως προς το έδαφος στην οποία είναι δυνατή η ανθρώπινη παρέμβαση για την πλήρη παύση ή τον περιορισμό της δράσης του φαινομένου.

Οι μετακινήσεις των εδαφών μπορούν γενικά να πλήξουν :

- Ορεινά ή πεδινά χωριά ακόμα και μεγάλες αστικές περιοχές.
- Στοές μεταλλείων.
- Οδοποιία και σήραγγες.
- Φράγματα (στα αντρείσματα ή στον ταμιευτήρα του φράγματος).
- Δίκτυα κοινής ωφέλειας και υποθαλάσσιες κατασκευές (υποθαλάσσιες αστοχίες πρανών που γίνονται κυρίως λόγω σεισμού).

Τα χαρακτηριστικά μιας κατολίσθησης είναι τα εξής:

- **Το κυρίως μέτωπο:** Είναι η απότομη επιφάνεια που δημιουργείται στο αδιατάρακτο έδαφος που περιβάλλει την κατολίσθηση.
- **Δευτερεύοντα μέτωπα:** Είναι απότομες επιφάνειες εντός του διαταραγμένου υλικού της κατολίσθησης.
- **Κεφαλή:** Βρίσκεται στην κορυφή της κατολίσθησης και αποτελείται από τα ανώτερα τμήματα των υλικών που κατολίσθησαν.
- **Πόδας της κατολίσθησης:** είναι το ακραίο, χαμηλότερο συνήθως μέρος της κατολίσθησης.



Εικόνα 1.1 Κύρια χαρακτηριστικά τυπικής κατολισθήσεις(Κουκης 2007)

- **Κορυφή:** Είναι το ουσιαστικά αδιατάρακτο υλικό που βρίσκεται στα ψηλότερα σημεία του κύριου μετώπου.
- **Επιφάνεια διάρρηξης:** Είναι η επιφάνεια αποχωρισμού των υλικών που κατολισθαίνουν από το σταθερό υπόβαθρο.
- **Η επιφάνεια ολισθήσεως:** είναι η επιφάνεια εκείνη πάνω στην οποία λαμβάνει χώρα ή μετακίνηση των μαζών που κατολίσθησαν.
- **Ο κώνος ή σωρός της κατολίσθησης:** σχηματίζεται από τη συσσώρευση των υλικών, τα οποία αφού μετακινήθηκαν κατά μία διαδρομή, σταμάτησαν και συγκεντρώθηκαν στη θέση στην οποία η κινητική ενέργεια μηδενίστηκε, δηλαδή στο κάτω μέρος του σώματος της κατολίσθησης.

1.2 ΑΙΤΙΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

«Η εκδήλωση μιας κατολίσθησης εξαρτάται από την γεωλογική σύσταση και δομή των σχηματισμών, την κλίση και τα μηχανικά χαρακτηριστικά (συνοχή, γωνία εσωτερικής τριβής τασικι κατασταση) των γεωυλικών που δομούν το πρανές. Σημαντικό επίσης ρόλο παίζει το νερό με την μορφή υγρασίας, κατείσδυσης, επιφανειακής και υπόγειας ροής. (Στειακάκης, 2010)».

Τα αίτια της εκδήλωσης μίας κατολισθήσεως συνοψίζονται στις βασικές κατηγορίες και αναλύονται παρακάτω :

1. Η κλίση του πρανούς. Είναι βασικός παράγοντας της συχνότητας κατολισθήσεων, ποσοστό (65,6%) παρατηρείται σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο αντίθετα σε περιοχές με πιο ομαλό ανάγλυφο το ποσοστό εμφανίσεις κατολισθήσεων είναι πολύ μικρό (2,9%). Ο καθορισμός γίνεται με βάση τις φυσικές αιτίες ή από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Στις φυσικές αιτίες συγκαταλέγονται κυρίως τεκτονικές κινήσεις ενώ στις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις δηλαδή τα τεχνικά έργα.

2. Η σύσταση και η δομή του πρανούς. Το πρανές αποτελείται από ένα συνδυασμό αποσαθρωμένων πετρωμάτων του μανδύα, με ένα σύνολο διαφόρων φυτοκαλύψεων και ποικίλη περιεκτικότητα σε νερό. Σε περίπτωση που ένα πρανές δομείται αποκλειστικά από συνεκτικά πετρώματα τότε ένα πρανές μπορεί να έχει κλίση ακόμα και της τάξεως των 90 μοιρών. Κάθε πέτρωμα αφενός μεν αποσαθρώνεται, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός μανδύα αποσάθρωσης, αφετέρου σχηματίζονται εσωτερικά επιφάνειες ασυνεχειών (στρώσεις διαρρήξεως) που όταν η κλίση τους είναι ομόρροπη με αυτή του πρανούς επιφέρουν ολισθήσεις και συμβάλουν στο σχηματισμό των κορημάτων. Η σταθερότητα αυτών των κορημάτων εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα, και την διάταξη των επί μέρους κλαστικών υλικών τους.

3. Το νερό. Επηρεάζει καθοριστικά την εκδήλωση κατολισθήσεων, λόγω του κορεσμού και τις φόρτισης που επιφέρει στο υλικό. Δημιουργεί υδροστατικές πιέσεις, αυξομείωση της πίεσης των πόρων, εσωτερική διάβρωση, υποσκαφές καθώς και αποσαθρωτικές διεργασίες, που έχουν ως αποτέλεσμα την χαλάρωση του πετρώματος κατά μήκος των επιφανειακών συνεχειών με τη συνεχή διεύρυνση τους και τη μεταβολή του όγκου στην περίπτωση δημιουργίας παγετού. (Εικ 1.2)



Εικόνα 1.2. Εξιδανικευμένο διάγραμμα για την ανάπτυξη ενός υδροφόρου ορίζοντα σε κολλούβια κατά την διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων σε σχέση με την έντονη αστάθεια της πλαγιάς(Κούκης 2007)

4. Μείωση της συνοχής. Λαμβάνει χώρα με την απόπλυση διαλυτών ορυκτολογικών στοιχείων ή και της ορυκτής κόλλας από το υπόγειο νερό, με αποτέλεσμα την μείωση της συνοχής του εδάφους.

5. Μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής. Μέσω της ροής του νερού στο έδαφος, υφίσταται απομάκρυνση το λεπτόκοκκο υλικό του εδάφους (λόγω εσωτερικής διάβρωσης) με αποτέλεσμα την μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής.

6. Μείωση της ενεργής τάσης. Λόγω της αύξησης της πίεσης των πόρων νερού, προκύπτει μείωση της ενεργής τάσης και κατά συνεπεία μείωση της διατμητικής αντοχής του εδάφους. Αυτό μπορεί να προκληθεί σε μια εδαφική μάζα με την άνοδο της πιεζομετρικής στάθμης.

7. Αύξηση του μοναδιαίου βάρους. Συμβαίνει με την προσθήκη νερού στον εδαφικό σχηματισμό από την επιφάνεια ή με τριχοειδή ανύψωση από ένα χαμηλότερο επίπεδο.

8. Φόρτιση με πρόσθετο βάρος. Προκύπτει ή με φυσικές διεργασίες ή μέσω της ανθρώπινης παρέμβασης. Η φυσικές διεργασίες αφορούν την συσσώρευση φερτών υλικών από προσχώσεις, ενώ η ανθρώπινη παρέμβαση αναφέρεται στην φόρτιση από τεχνικά έργα πάνω στα πρανή.

9. Σεισμική φόρτιση. Ιδιαίτερα σε πρανή που αποτελούνται από χαλαρά ή μικρής συνεκτικότητας υλικά κατά τη διάρκεια του σεισμικού κραδασμού επέρχεται μείωση της συνοχής και το πρανές οδηγείται σε αστοχία.

1.3 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΙΣΕΙΣ

1.1 Σεισμική ανάκλαση.

Η σεισμική ανάκλαση δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό στην διερεύνηση κατολισθήσεων. Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης σε σχέση με άλλες γεωφυσικές τεχνικές, απαιτεί μεγαλύτερη προσπάθεια για την ανάπτυξη των διατάξεων γεωφώνων, ιδιαίτερα σε συνθήκες όπου η τοπογραφία της υπό μελέτη περιοχής είναι τραχιά, καθιστώντας την τεχνική αυτή χρονοβόρα και δαπανηρή. Επίσης για να παραχθούν καλά αποτελέσματα η σεισμική ανάκλαση, χρειάζεται καλό λόγο σήματος προς θόρυβο και εγγραφές κυμάτων υψηλής συχνότητας για την επίτευξη της επιθυμητής ανάλυσης. Αυτές οι δυο συνθήκες μπορεί να είναι δύσκολο να εκπληρωθούν σε κατολισθήσεις, όπου το έδαφος είναι έντονα διαταραγμένο και ετερογενές, επηρεάζοντας την σύνδεση γεωφώνων-εδάφους, εξασθενώντας τα σεισμικά κύματα και παράλληλα δημιουργείται διασπορά κυμάτων.

Η σεισμική ανάκλαση στην απεικόνιση επιφάνειας ολίσθησης έχει εφαρμοστεί σε διαφορές μελέτες. Οι Bruno και Marillier(2000) χρησιμοποίησαν την μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης για την απεικόνιση της επιφάνειας ολίσθησης μεταξύ ενός στρώματος διαταραγμένου γύψου και ενός στρώματος αδιατάρακτου γύψου. Εντόπισαν την επιφάνεια ολίσθησης περίπου στα 50m, ενώ ο διπλός χρόνος διαδρομής ήταν 50ms. Εφάρμοσαν σίγαση για χρόνους άνω των 50 ms για την απαλοιφή των διαθλώμενων κυμάτων. Ο Ferruci (2000) χρησιμοποίησε την σεισμική ανάκλαση σε μια περιοχή μεταμορφωμένων πετρωμάτων, στην οποία κατάφερε να απεικονίσει την γεωλογική δομή του υπεδάφους σε βάθος 100m έως 400m αλλά δεν κατάφερε να απεικονίσει την επιφάνεια διάρρηξης καθώς χρειαζόταν καλύτερη υπεδαφική κάλυψη για να πραγματοποιηθεί η απεικόνιση αυτή. Ο Brady (2006) με την μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης προσπάθησε να απεικονίσει την κατολίσθηση στην περιοχή Valley στο Draper, Utah, ΗΠΑ, κατά την πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε η μέθοδος κοινού σημείου βάθους. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας ένα σύστημα καταγραφής 48 καναλιών σε περιοχές με τραχύ έδαφος με απότομες κλίσεις. Τα γεώφωνα είχαν συχνότητα 28 Hz ρυθμίστηκαν σε ισαπόσταση 3 m. Οι θέσεις πηγής τοποθετήθηκαν σε ισαπόσταση 3 m. Έτσι η ονομαστική υπεδαφική κάλυψη (fold) ήταν 24.

Παρατηρήθηκαν ανακλάσεις και διαθλάσεις με ταχύτητες μεταξύ 1100 και 1400 m / s, ενώ εντοπίστηκαν επίσης ανακλάσεις και διαθλάσεις με ταχύτητες μεταξύ 500 και 700 m / s. Αυτές οι αποκλίσεις δείχνουν πιθανή αλλαγή λιθολογικού χαρακτήρα.

2.Σεισμική διάθλαση. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην ερμηνεία των πρώτων αφίξεων στα σεισμικά σήματα και προϋποθέτει ότι η ταχύτητα αυξάνεται με το βάθος. Η σεισμική διάθλαση χρησιμοποιείται ευρέως στη τεχνική γεωλογία για την απεικόνιση του υπεδάφους, ενώ έχει αποδειχτεί μέσω έρευνας ότι είναι εφαρμόσιμη στις κατολισθήσεις, καθώς τόσο (S-) κύματα όσο και τα διαμήκη (P-) κύματα είναι γενικά χαμηλότερα στο στρώμα κατολισθήσεως, απ' ότι στο έδαφος το οποίο έχει διαταραχτεί. Διαφορές μελέτες δείχνουν η συγκεκριμένη μέθοδος ενδείκνυται για τον εντοπισμό του αδιατάραχτου στρώματος κάτω από την κατολίπηση. Τα δεδομένα χρόνου διαδρομής ερμηνεύονται με μεθόδους όπως η GRM, η οποία είναι σε θέση να πραγματοποιήσει την χαρτογράφηση ενός μη επίπεδου διαθλαστήρα.

Ο Mauritsch (2000) εφάρμοσε την τεχνική GRM για την έρευνα των μεγάλων κατολισθήσεων στην περιοχή Carnic της νότιας Αυστρίας, που επηρεάζει πλαγιές με σύνθετη γεωλογική δομή από ασβεστόλιθο, δολομιτικά συγκρίμματα, ψαμμίτες και σχιστόλιθους. Η έρευνα επεσήμανε μια ισχυρή αύξηση της ταχύτητας (από 400 m/s έως 3600-4000 m/s) των κυμάτων P. Η μέθοδος δεν μπόρεσε να εντοπίσει την επιφάνεια ολίσθησης κυρίως βοήθησε στον προσδιορισμό της εσωτερικής σύνθεσης των μαζών. Σε αυτή την περίπτωση, η μέθοδος της διάθλασης περιοριζόταν σε βάθος από μερικά μέτρα έως 30 μέτρα.

3.Σεισμική τομογραφία. Η τεχνική της σεισμικής τομογραφίας αποτελείται από την αντιστροφή των χρόνων πρώτων αφίξεων, για να αποκτηθεί μια εικόνα της κατανομής της ταχύτητας των P κυμάτων στο έδαφος. Η συγκεκριμένη μέθοδος σε σύγκριση με την κλασσική σεισμική διάθλαση απαιτεί περισσότερα δεδομένα χρόνου διαδρομής και προσπάθεια πεδίου. Χρησιμοποιήθηκε σε κατολισθήσεις και έδειξε σημαντική μείωση των P κυμάτων στην ασταθή μάζα.

Ο Méric (2005) πραγματοποίησε ένα σεισμικό προφίλ μήκους 300 μέτρων κατά μήκος του δυτικού ορίου της μεγάλης κατολίπησης "Séchilienne" (γαλλικές Άλπεις). Η μέθοδος έδειξε ισχυρές αντιθέσεις στην ταχύτητα, με τιμές V_p που κυμαίνονται από 500 m/s στην

επιφάνεια έως 4000 m/s σε βάθος 25m. Επισημάνθηκε επίσης σημαντική μείωση της πλευρική ταχύτητα προς τα ανατολικά (από 4000 m/s έως 2000 m/s) οριοθετώντας το όριο κατολίσθησης.

Μετρήσεις σεισμικού θορύβου (μέθοδος H / V). Οι μετρήσεις σεισμικού θορύβου χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια στη σεισμική μηχανική, για να προσδιορίσουμε την ταχύτητα των διαμηκών (P) κυμάτων σε στρώσεις εδάφους που επικαλύπτουν το υπόβαθρο. Για ένα ενιαίο ομοιογενές μαλακό στρώμα, αυτή η θεμελιώδης συχνότητα δίνεται από $f = A / 4h$ όπου A είναι η ταχύτητα διάδοσης των εγκαρσίων (S-) κυμάτων (A) του μαλακού στρώματος και το h είναι το πάχος της στρώσης. Γνωρίζοντας μια εκτίμηση του Vs το χρησιμοποιούμε στον υπολογισμό του πάχους του μαλακού στρώματος, ενώ εμφανίζονται δυσκολίες σε ετερογενή εδάφη. Καθώς οι επιφάνειες ολίσθησης μπορεί να παράγουν αντιθέσεις ταχύτητας κύματος διάτμησης, η μέθοδος μπορεί να ανιχνεύσει απευθείας αυτές τις επιφάνειες. Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε από τον (Meric, 2005) από τον οποίο παρατηρήθηκε ότι η τεχνική αυτή αποδίδει σταθερά προφίλ ταχύτητας κύματος διάτμησης σε σχέση με το βάθος σε δύο κατολισθήσεις στις οποίες την εφάρμοσε.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η λεκάνη του Αμυνταίου βρίσκεται στο κέντρο της υδρολογικής λεκάνης που σχηματίζουν τα όρη Βέρνο, Βόρας Άσκιο και Βέρμιο, και περιλαμβάνει τις λίμνες Βεγορίτιδα, Πετρών και Χειμαδίτιδα και Ζάζαρη και καταλαμβάνει μια συνολική έκταση της τάξεως των 355 km². Την πεδιάδα της λεκάνης την διασχίζει ο ποταμός Αμύντας ο οποίος αποστραγγίζει το έλος της χειμαδίτιδας μέσω συστήματος καναλιών και αποχέτευσης τάφρου. Η μορφολογία της περιοχής κρίνεται σχετικά ομαλή, τα υψόμετρα που συναντάμε είναι μεταξύ +660μ και +595. Στην περιοχή συναντάμε 13 οικισμούς, προς το βορρά τους οικισμούς Βέγγορα Ξινό Νερό και Σωτήρα, νοτιοδυτικά συναντάμε τον οικισμό Βαλτόνερα, ενώ νότια τον οικισμό Ανάργυροι. Στο πεδινό τμήμα της περιοχής βρίσκονται οι οικισμοί Ροδώνας, Φανός και Πεδινό, βορειοδυτικά της περιοχής και οι Φιλώτας και Λεβαία ή Λακκιά ανατολικά (Εικόνα 2.1). Στα δυτικά όρια της περιοχής βρίσκεται ο οικισμός Αετός ακριβώς στις παρυφές του όρους Βέρνου.



Εικόνα 2.1 Κάτοψη Λιγνιτωρυχείου Αμυνταίου(Περιοχή-Γραμμή μελέτης)

2.2 ΛΙΓΝΙΤΙΚΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ

Η λιγνιτοφόρα σειρά στην λεκάνη Αμυνταίου απαρτίζεται από δυο σειρές , την ανώτερη και την κατώτερη. Η κατώτερη σειρά αποτελείται από τους σχηματισμούς Βάσης και Βέγγορας ενώ η ανώτερη από το σχηματισμό Πτολεμαΐδας. Στην κατώτερη σειρά συναντάμε λιγνιτοφορία τύπου ξυλίτη. Ως πηγή τροφοδότησης των παραπάνω σχηματισμών θεωρούνται τα κρυσταλλικά πετρώματα των δυτικών περιθωρίων της λεκάνης και τα ανθρακικά από τα ανατολικά, τα όποια αποτέθηκαν μέσα στις λίμνες της περιοχής.

Ο σχηματισμός Πτολεμαΐδας έχει πάχος περίπου 250μ και μειώνεται σημαντικά στους περιφερικούς τομείς φτάνοντας τα 70μ. Αποτελείται εναλλασσόμενα στρώματα αργίλων, αργιλούχων άμμων και ιλύων, και απολιθωματοφόρων με τεφρή ως τεφροπράσινη χροιά. Τα μεσαία μέλη του σχηματισμού αποτελούνται από εναλλαγές μαργαϊκών, αργιλικών – αργιλοαμμούχων και λιγνιτικών στρωμάτων. Τα κατώτερα μέλη του σχηματισμού Πτολεμαΐδας αποτελούνται από εναλλαγές αμμούχων αργίλων, λεπτόκοκκων αργιλούχων άμμων και άμμου με μάργες. (ΙΓΜΕ, 1997)

2.4 ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ

Οι εδαφικές υποχωρήσεις εμφανίζουν μεγάλο ενδιαφέρον όσο αναφορά την μελέτη της περιοχής. Οι βασικές περιοχές που παρατηρούνται εδαφικές διαρρήξεις είναι οι περιοχές ανάμεσα στους οικισμούς Βαλτόνερων και Αναργύρων οι οποίες αναφέρθηκαν για πρώτη φορά το 2001 στον οικισμό των Αναργύρων και το 2006 παρόμοια φαινόμενα εμφανίστηκαν στον οικισμό Φανό ο οποίος έχει απόσταση 4 km από το ορυχείο. Οι εδαφικές διαρρήξεις συνάδουν με τις κύριες τεκτονικές γραμμές με κατεύθυνση ΒΑ – ΝΔ. Οι κατακόρυφες παραμορφώσεις είναι εντονότερες δίπλα στο ορυχείο με άλματα 0.5 – 1 μέτρα ενώ μειώνονται προς τα ΝΔ. οι διαρρήξεις επηρεάζουν έντονα τις κατοικημένες περιοχές γύρω από το ορυχείο, προκαλώντας ζημιές σε κτήρια, δρόμους ακόμα και κατάρρευση οικοδομημάτων.

2.5 ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ.

Η νεοτεκτονική και σύγχρονη τεκτονική δράση της περιοχής είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αντίστοιχη δράση του ευρύτερου Ελληνικού χώρου (Αιγαίο και γύρω περιοχές), η οποία βρίσκεται κάτω από ένα εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο που δρα από το Μέσο-Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι σήμερα. Η αρχική μεγάλη λεκάνη Φλώρινας-Πτολεμαϊδας, που αναπτύχθηκε κατά τη διεύθυνση του κύριου ορεογραφικού άξονα των Ελληνίδων, δηλαδή ΒΔ-ΝΑ, και οι σχεδόν κάθετες σ' αυτή υπολεκάνες έχουν τεκτονική προέλευση. Σαν πιθανότερη ηλικία της αρχικής δημιουργίας της λεκάνης θεωρείται εκείνη του Μέσου-Ανώτερου Μειόκαινου (Παυλίδης, 1985). Δύο κύριες διευθύνσεις ρηγμάτων δεσπόζουν στην περιοχή, η πρώτη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης συνδέεται με τα αρχικά στάδια εξέλιξης της λεκάνης και η δεύτερη ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης με τα νεότερα στάδια. Τα ρήγματα της διεύθυνσης έχουν μεγάλο μήκος, αλλά είναι καλυμμένα στο μεγαλύτερό τους μέρος με νεότερα ιζήματα. Τα συνιζηματογενή ρήγματα με μεταβαλλόμενο άλμα που παρατηρήθηκαν στα Πλειστοκαινικά ιζήματα συνηγορούν για το ότι η περιοχή βρίσκεται σε τεκτονική δράση από το Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι τουλάχιστον το

Μέσο Τεταρτογενές συνεχώς, αφετέρου είναι ενδείξεις για μια πιθανή συνεχιζόμενη ενεργό τεκτονική δράση. Πέρα από αυτά όμως, για ορισμένα ρήγματα της περιοχής υπάρχουν επιπρόσθετα στοιχεία για την ενεργό δράση τους (Μαράτος 1960,Ματαράγκος 1981, Μουντράκης 1983).

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ- ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Με την μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης παρέχεται η δυνατότητα προσδιορισμού της γεωλογικής δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται με την παραγωγή ελαστικών κυμάτων τα οποία παράγονται στην γήινη επιφάνεια ή σε σημεία του εδάφους με μικρό βάθος, μέσω της διάδοσης των κυμάτων αυτών στα στρώματα του φλοιού εντός του οποίου υφίστανται συνεχείς διαθλάσεις και ανακλάσεις σε διαχωριστικές επιφάνειες. Τα κύματα αυτά καταγράφονται από γεωφωνα τα οποία έχουν τοποθετηθεί σε μικρές αποστάσεις από το σημείο το οποίο παράγονται τα κύματα, αποστάσεις συνήθως μικρότερες από το βάθος διασκόπησης.

«Στο παρελθόν, η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην έρευνα κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου για τον εντοπισμό δομών στις οποίες είναι πιθανή η παγίδευση αυτών. Σήμερα η εφαρμογή της έχει επεκταθεί στους τομείς ανίχνευσης υπογείων υδάτων και γεωθερμικών πεδίων στη μελέτη του φλοιού της γης, σε χαρτογραφήσεις αρχαιολογικών χώρων καθώς και σε μελέτες θεμελίωσης» (Βαφείδης, 1993).

3.1 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 οποίοι επιτρέπουν την αποφυγή πολύπλοκων υπολογισμών. Οι κυριότεροι από τους νόμους αυτούς, είναι η αρχή του Huygens, η αρχή του Fermat, (ή αρχή του Ήρωνα) και ο νόμος του Snell που αναφέρονται παρακάτω» (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 μας δίνει τη θέση του μετώπου κύματος για κάθε χρονική στιγμή, δεν εξηγεί όμως κυματικά φαινόμενα όπως η περίθλαση των σεισμικών κυμάτων σε ανώμαλες διαχωριστικές επιφάνειες (π.χ. ρήγματα).

Αρχή του Fermat

Ο προσδιορισμός της διαδρομής του ελάχιστου χρόνου που ακολουθεί η σεισμική ακτίνα εφόσον η πηγή και το γεώφωνο βρίσκονται σε διαφορετικά στρώματα αναφέρεται ως 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 διαμήκες κύμα προσπέσει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, τα σημεία της επιφάνειας αυτής γίνονται εστίες διαμήκων 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.

3.2 ΤΥΠΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ (ΧΕΡΣΑΙΑΣ) ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Τα γεώφωνα είναι όργανα που παρουσιάζουν ευαισθησία στις εδαφικές κινήσεις, είναι τα όργανα που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις χερσαίες διασκοπήσεις. Τα πιο διαδεδομένα γεώφωνα στις σεισμικές διασκοπήσεις είναι αυτά της κατακόρυφης συνιστώσας. Αποτελούνται από μαγνήτη ο οποίος είναι σταθερά συνδεδεμένος με το περίβλημα του οργάνου και το πηνίο. Τα σήματα που λαμβάνονται από τα όργανα ενισχύονται με την βοήθεια σειсмоγράφου, στην συνέχεια ψηφιοποιούνται και καταγράφονται σε μαγνητικό μέσο (ψηφιακός καταγραφέας), αυτό πραγματοποιείται με την χρήση συστήματος καταγραφής της εδαφικής κίνησης. Επίσης χρησιμοποιούνται και οι σεισμικές πηγές οι οποίες ουσιαστικά διοχετεύουν σεισμική ενέργεια στο έδαφος, πρέπει να είναι επαναληπτικές ενώ ελέγχεται ο χρόνος διοχέτευσης της σεισμικής ενέργειας στο έδαφος.

3.3 ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Η απόκτηση δεδομένων σεισμικής ανάκλασης καθώς και η καταγραφή των σεισμικών κυμάτων πραγματοποιείται από ένα σύνολο δεκτών που παρουσιάζουν ευαισθησία στην ταχύτητα. Σε περιπτώσεις που η γραμμή μελέτης είναι στη ξηρά ή στην πίεση όταν οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στην θάλασσα. Μέσω των καταγράφων που λαμβάνεται εξάγονται πληροφορίες για τα σημεία της επιφάνειας ανάκλασης, τα όποια χρησιμοποιούνται στην διάκριση σήματος από τον εδαφικό θόρυβο.

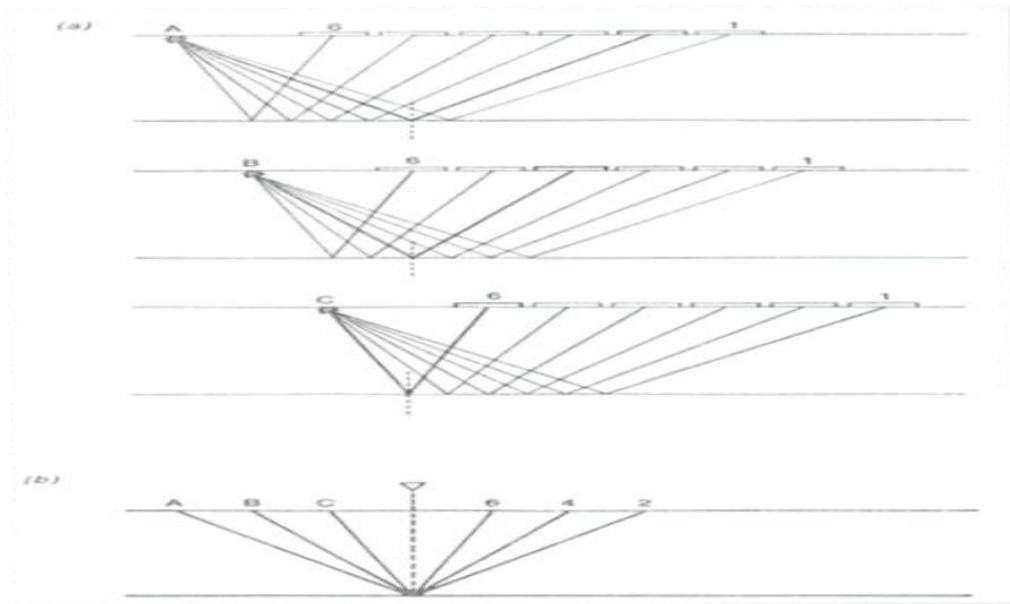
Η διάταξη κοινής πηγής αποτελείται από σεισμικά ίχνη τα όποια προέρχονται μέσω της εκτόνωσης μιας πηγής και των καταγράφων των δονήσεων που προκαλούνται. Η τοποθέτηση πηγών και δεκτών γίνεται συνήθως κατά το μήκος μιας ευθείας (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Σχηματική παράσταση διαφόρων διατάξεων πηγής - δέκτη.

Με την ολοκλήρωση της πρώτης καταγραφής, η συνολική διάταξη πηγής και γεωφωνων μετακινείται κατά το μήκος της γραμμής μελέτης, στην συνέχεια το νέο σήμα της πηγής καταγράφεται από τις θέσεις που έχουν τοποθετηθεί τα γεωφωνα κατά την μετακίνησή τους. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η συλλογή των δεδομένων παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2 Τόσο η ακτίνα 2 της πηγής A όσο και η ακτίνα 4 της πηγής B αλλά και η ακτίνα 6 της πηγής C ταυτίζονται όσο αφορά το σημείο στο οποίο ανακλώνται. Στην περίπτωση που ο ανακλαστήρας είναι παράλληλος της επιφάνειας το σημείο αυτό είναι ακριβώς κάτω από ένα σημείο της επιφάνειας γύρω από το οποίο τα τρία ζευγάρια πηγής-γεωφώνων είναι συμμετρικά κατανομημένα (Εικόνα 3.2.(b)).

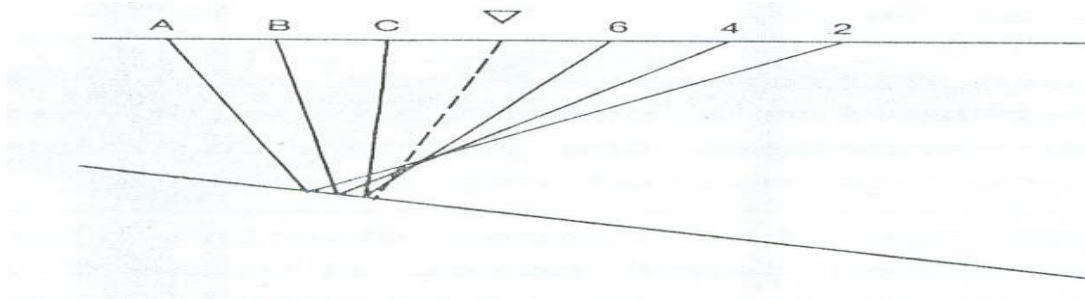
Αυτό το σημείο ονομάζεται “κοινό ενδιαμέσο σημείο” ενώ η προβολή του στην επιφάνεια ανάκλασης ονομάζεται “κοινό σημείο βάθους”. Ο διεθνής συμβολισμός του σημείου αυτού είναι CDP (Common Depth Point).



Εικόνα 3.2: Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου (CMP). (α) Σχηματική αναπαράσταση της απόκτησης των σεισμικών δεδομένων ανάκλασης (β) Ζεύγη πηγών - γεωφώνων στα οποία καταγράφετε ανάκλαση από κοινό σημείο βάθους (CDP) (α) (Sodbinow, 1989).

Μέσω της διάταξης “κοινού σημείου βάθους” παρέχεται ένας σημαντικός αριθμός καταγραφών για κάθε ανακλώμενο σημείο. Το σύνολο αυτών των καταγραφών δίνει την δυνατότητα πολλαπλής κάλυψης της επιφάνειας ανάκλασης. Η πολλαπλή κάλυψη αυτή βοηθά στην διάκριση των ανακλώμενων κυμάτων των σειсмоγραμάτων, με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται μια πιο λεπτομερείς εικόνα της δομής του υπεδάφους.

Η διάταξη “κοινού ενδιάμεσου σημείου” καθώς και η αντίστοιχη διαδικασία επεξεργασίας των καταγραφών, παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα όταν εφαρμόζεται σε επιφάνεια ανάκλασης η οποία είναι οριζόντια. Στην κεκλιμένη επιφάνεια παρατηρείται ότι οι δευτέρες αφίξεις δεν αντιστοιχούν σε ανακλάσεις ενός σημείου αλλά από μια περιοχή, ενώ τα ίχνη μπορεί να μοιράζονται ένα κοινό ενδιάμεσο σημείο αλλά όχι ένα κοινό σημείο βάθους (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Στην περίπτωση κεκλιμένου οριζοντα ανάκλασης το κοινό ενδιαμέσο σημείο δεν συμπίπτει με το κοινό σημείο βάθους (Sodbinow, 1989).

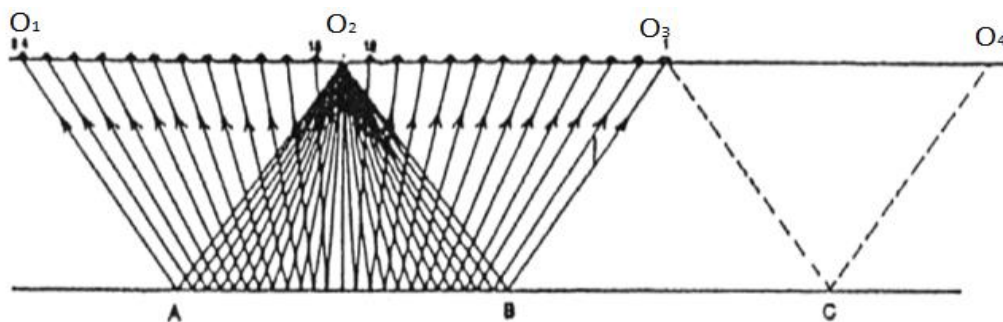
Η διαδικασία κατάταξης των ιχνών που έχουν “κοινό ενδιαμέσο σημείο” ονομάζεται ομαδοποίηση (gathering) ενώ η ακολουθία των σεισμικών ιχνών που δημιουργείται με τον τρόπο αυτό ονομάζεται “διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου” (common midpoint gather).

3.4 ΥΠΕΔΑΦΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ

Η υπεδάφικη κάλυψη (fold) εκφράζεται από τον αριθμό των σεισμικών ιχνών που ανήκουν στην ίδια διάταξη “κοινού ενδιαμέσου σημείου” και είναι από τις κυριότερες παραμέτρους στην σεισμική ανάκλαση. Χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της ισαπόστασης των πηγών αφού εξαρτάται από τον αριθμό των καναλιών (NC) του σειсмоγράφου που καταγράφουν, την ισαπόσταση γεωφώνων (Δx) και την ισαπόσταση των πηγών Δs :

$$\text{Fold} = (\text{NC}/2) * (\Delta x / \Delta s) \quad (3.1)$$

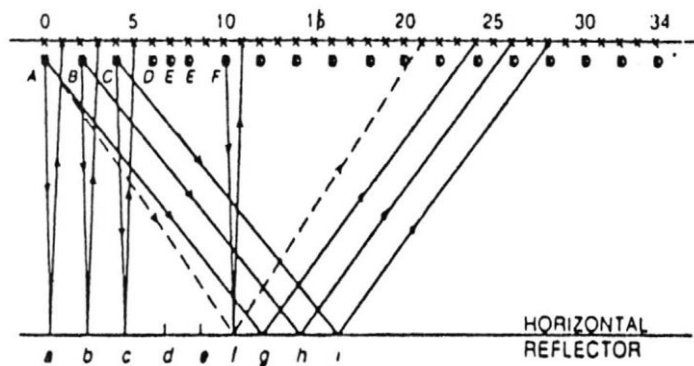
Η Εικόνα 3.4 παρουσιάζει ένα παράδειγμα μοναδιαίας εδαφικής κάλυψης (singlefold recording), η τοποθέτηση των γεωφώνων γίνεται εκατέρωθεν της σεισμικής πηγής η οποία βρίσκεται στο σημείο O_2 και το ανάπτυσμα των γεωφώνων εκτείνεται από το σημείο O_1 έως το σημείο O_3 . Στην περίπτωση αυτή τα ανακλώμενα κύματα προέρχονται από το τμήμα του ανακλαστήρα που βρίσκεται μεταξύ των σημείων A και B. Στη συνέχεια, το τμήμα του αναπτύγματος μεταξύ των σημείων O_1 και O_2 μετακινείται μεταξύ των σημείων B και C. Το ανάπτυσμα καταυτό τον τρόπο μεταφέρεται κατά μήκος της γραμμής μελέτης και λαμβάνονται οι επόμενες καταγραφές.



Εικόνα 3.4: Συμμετρικό ανάπτυγμα μοναδιαίας υπεδαφικής κάλυψης. Το μέσο του αναπτύγματος μετακινείται πάνω στη γραμμή μελέτης (Sheriff and Geldart, 1995).

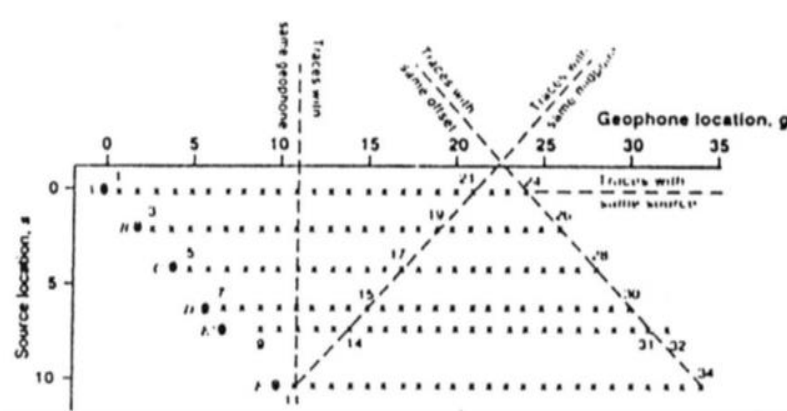
Επιτυγχάνεται η πολλαπλή υπεδαφική κάλυψη μέσω της μεθόδου “κοινού ενδιαμέσου σημείου” παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.5. Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται σεισμική πηγή στο σημείο A και τα γεώφωνα στις θέσεις 1-24. Τα σημεία ανάκλασης είναι τα σημεία a έως g. Μετακινώντας την πηγή στη θέση B αποσυνδέονται τα γεωφωνα 1 και 2 και συνδέονται στο άλλο άκρο του αναπτύγματος τα γεώφωνα 25 και 26. Στην περίπτωση αυτή, τα σημεία ανάκλασης μετατοπίζονται και είναι τα b έως h. Η πηγή C χρησιμοποιείται με τα γεώφωνα 5-28 δίνοντας ανακλάσεις από το c έως το i και ούτω καθεξής μέχρι να καλυφθεί όλο το μήκος της σεισμικής γραμμής. Το ανακλώμενο κύμα που φθάνει στο γεώφωνο 21 προέρχεται από το σημείο ανάκλασης f και την πηγή A. Από το ίδιο σημείο προέρχονται ανακλώμενα κύματα και για τα παρακάτω ζευγάρια πηγής - γεωφώνων. Πηγή B - γεώφωνο 19, πηγή C - γεώφωνο 17, πηγή D - γεώφωνο 15, πηγή E - γεώφωνο 13 και πηγή F - γεώφωνο 11.

Ομαδοποιώντας στη συνέχεια τα 6 σεισμικά ίχνη από το ίδιο “κοινό ενδιαμέσο σημείο” παρατηρείται ότι το σημείο ανάκλασης f δειγματίζεται 6 φορές έχοντας πετύχει υπεδαφική κάλυψη ίση με 6. Στις περισσότερες καταγραφές επιδιώκεται τουλάχιστον υπεδαφική κάλυψη 12, υπεδαφική κάλυψη 24 και 48 είναι συνήθεις.



Εικόνα 3.5: Μέθοδος κοινού ενδιαμέσου σημείου και εφαρμογή πολλαπλής υπεδαφικής κάλυψης. Με x συμβολίζονται τα κέντρα των ομάδων των γεωφώνων (Sheriff and Geldart, 1995).

Προκειμένου να περιγραφεί ο τρόπος συγκέντρωσης των καταγραφών κατά την εφαρμογή της μεθόδου “κοινού ενδιαμέσου σημείου” κατασκευάζονται διαγράμματα υπέρθεσης. Στο διάγραμμα αυτό (Εικόνα 3.6) η τετμημένη αντιστοιχεί στις θέσεις των γεωφώνων (g) και η τεταγμένη στις θέσεις της σεισμικής πηγής (s). Ένα τυχαίο ίχνος το οποίο καταγράφεται στο γεωφώνο g και προέρχεται από την πηγή s απεικονίζεται στο σημείο (g,s) του διαγράμματος υπέρθεσης.



Εικόνα 3.6: Μέθοδος κοινού ενδιαμέσου σημείου και κατασκευή διαγράμματος υπέρθεσης. Με o συμβολίζονται οι πηγές των σεισμικών κυμάτων, ενώ με x τα κέντρα των ομάδων των γεωφώνων. Το διάγραμμα υπέρθεσης αυτό είναι επιφανειακό (Sheriff and Geldart, 1995).

Διαπιστώνεται ότι τα έξι ίχνη τα οποία έχουν κοινό ενδιαμέσο σημείο (common midpoint) το f βρίσκονται σε διαγώνιο, ενώ τα ίχνη με την ίδια οριζόντια απόσταση μεταξύ πηγής και γεωφώνου (common offset) αντιστοιχούν σε σημεία που βρίσκονται σε άλλη διαγώνιο. Σημεία κατά μήκος της οριζόντιας γραμμής αντιστοιχούν σε ίχνη κοινής πηγής και σημεία κατά μήκος της κατακόρυφης γραμμής αντιπροσωπεύουν ίχνη από την κοινή ομάδα γεωφώνων.

3.5 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ (NMO CORRECTION)

«Πριν την άθροιση των σεισμικών ιχνών της διάταξης κοινού ενδιαμέσου σημείου, είναι απαραίτητη η εφαρμογή της δυναμικής διόρθωσης. 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 συμπίπτουν και βρίσκονται στη θέση του κοινού ενδιαμέσου σημείου της διάταξης»(Μπραουδάκη 2004).

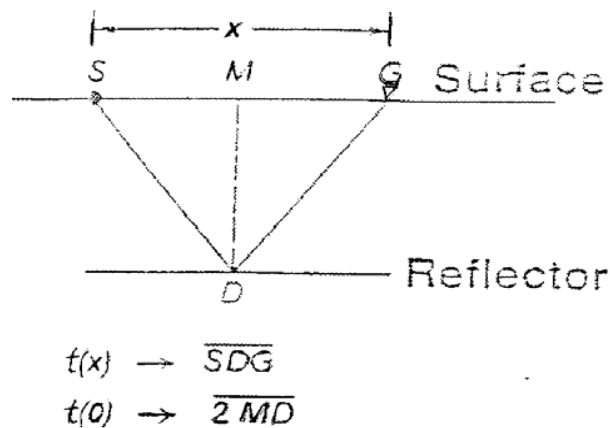
“Η κανονική χρονική απόκλιση” (NMO correction) υπολογίζεται από τη σχέση:

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

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 υπολογίζεται από την ανάλυση ταχύτητας και

$t(0)$: ο διπλός κάθετος χρόνος (two-way-time) που χρειάζεται το κύμα για να διατρέξει την απόσταση MD δύο φορές (Εικόνα 3.7)

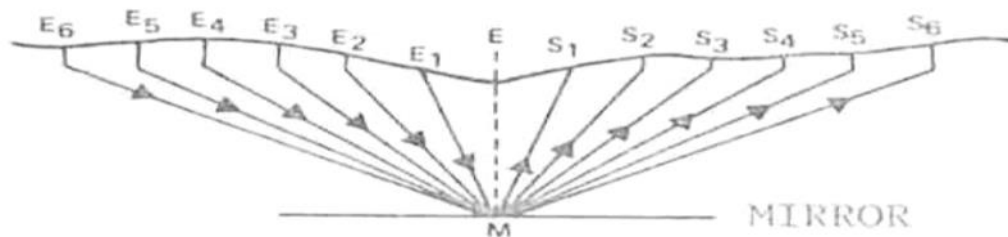


Εικόνα 3.7: Γεωμετρία κανονικής διόρθωσης για την περίπτωση οριζόντιου ανακλαστήρα (Yilmaz 1987)

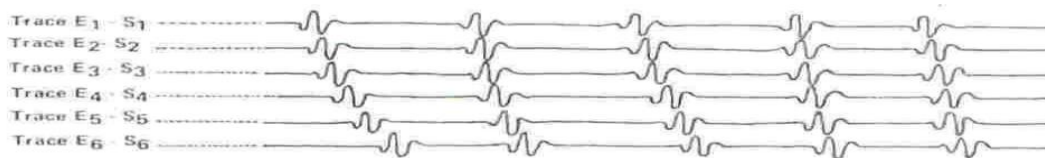
Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι η κανονική χρονική απόκλιση αυξάνει ανάλογα με την απόσταση πηγής-γεωφώνου (offset), ενώ μειώνεται με το διπλό χρόνο κατακόρυφης ακτίνας $t(0)$ και την αύξηση των τιμών της ταχύτητας (V_{NMO}). Είναι σημαντικό στην ίδια

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).

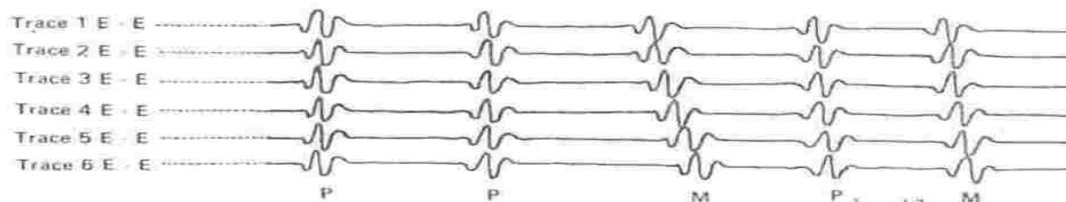
Στην Εικ.3.8 που ακολουθεί φαίνεται η διαδικασία της δυναμικής διόρθωσης που οδηγεί σε αθροισμένα ίχνη (Cordier,1985).



Εικόνα 3.8 6 ζεύγη πηγών-δεκτών (υπεδαφική κάλυψη ίση με 6) που αντιστοιχούν στο ίδιο κοινό ενδιάμεσο σημείο (Ε).



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 3.9: Παράδειγμα δυναμικών διορθώσεων που οδηγούν σε ένα αθροισμένο ίχνος (Cordier, 1985). (α) Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου για τα 6 ίχνη που θα αθροιστούν. Τα ίχνη φαίνονται πριν τη δυναμική διόρθωση και έχουν τοποθετηθεί κατά σειρά ως προς την απόσταση της πηγής (ή του δέκτη) από το κοινό ενδιάμεσο σημείο, (β) Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου για τα 6 ίχνη μετά τη δυναμική διόρθωση, (γ) Σεισμικό ίχνος που προέκυψε από την σεισμική υπέρθεση των 6 διορθωμένων ως προς την δυναμική διόρθωση ιχνών.

Ο υπολογισμός της δυναμικής διόρθωσης στα σειсмоγράμματα, διάταξης κοινού ενδιάμεσου σημείου γίνεται με τον ίδιο τρόπο τόσο στις οριζόντιες όσο και στις κεκλιμένες

διαχωριστικές επιφάνειες. Όταν όμως η ανάκλαση προέρχεται από οριζόντια διαχωριστική επιφάνεια, η ταχύτητα V_{NMO} ισούται με τη μέση τετραγωνική ταχύτητα.

Μετά τη δυναμική διόρθωση και την άθροιση (stacking) των σεισμικών ιχνών, παρατηρείται, ενίσχυση των πλατών των ανακλώμενων κυμάτων αλλά και μείωση του όγκου των δεδομένων κατά το ποσό της υπεδαφικής κάλυψης. Τα σεισμικά ίχνη κοινού ενδιαμέσου σημείου αθροιζόμενα δημιουργούν τη σεισμική τομή υπέρθεσης

3.6 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΥΠΕΡΘΕΣΗ (STACKING)

Η άθροιση των σειсмоγραμάτων που έχουν κοινό ενδιαμέσο σημείο μεταξύ της πηγής και του γεωφώνου ονομάζεται σεισμική υπέρθεση. Για να εφαρμοστεί η υπέρθεση πρέπει να συλλεχτούν τα σειсмоγραματα κοινού ενδιαμέσου σημείου, να εφαρμοστεί σε αυτά δυναμική διόρθωση και στην συνέχεια να αθροιστούν. Για να εφαρμοστεί η εν λόγω διαδικασία κρίνεται αναγκαίος ο καθορισμός των ταχυτήτων διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα γεωλογικά στρώματα τα όποια βρίσκονται υπό μελέτη. Είναι σημαντικό για τον ακριβή υπολογισμό των διορθώσεων, αλλά και για το μετασχηματισμό του χρόνου διαδρομής σε βάθος αλλά και στη σεισμική χωροθέτηση (migration).

Στις περιπτώσεις που παρατηρείται οριζόντια και επίπεδη στρωμάτωση, η τομή υπέρθεσης προσομοιάζει την αντίστοιχη την γεωλογική τομή. Όταν όμως εφαρμόζεται σε τομές με πολύπλοκη γεωλογία η αντίστοιχη γεωλογική τομή μπορεί να εμφανίζει αποκλίσεις από την σεισμική τομή υπέρθεσης. Αυτό συμβαίνει διότι ενώ η ανακλώμενη ακτίνα είναι κάθετη στον ανακλαστήρα, η ίδια ακτίνα στην τομή υπέρθεσης σχεδιάζεται κάτω από το κοινό ενδιαμέσο σημείο.

Η υπέρθεση εφαρμόζεται για να αυξηθεί ο λόγος σήματος προς θόρυβο, για την βελτίωση του αρχικού σήματος σε σχέση με τις πολλαπλές ανακλάσεις και την εξασθένιση τους, την μείωση του όγκου των δεδομένων, επίσης καθιστά δυνατή την εμφάνιση των ιχνών σε μία μορφή που μοιάζει με αυτή της μηδενικής απόστασης.

3.7 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ (MIGRATION)

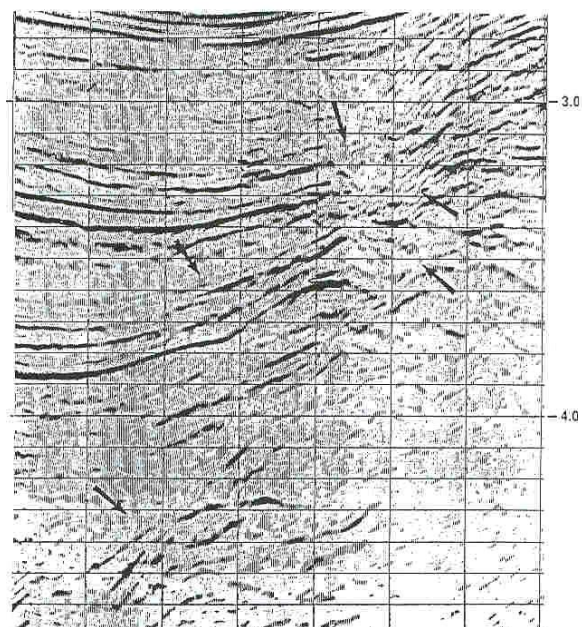
«Σκοπός της σεισμικής χωροθέτησης είναι η ανακατασκευή και σωστή τοποθέτηση των επιφανειών ανάκλασης που παρουσιάζουν κλίση (dipping seismic events) σε μία τομή

υπέρθεσης. Είναι πολύ συνηθισμένο φαινόμενο, οι ορίζοντες που εμφανίζονται σε μία τέτοια τομή να παρουσιάζουν μικρότερη κλίση και μεγαλύτερο μήκος σε σχέση με τους αντίστοιχους ορίζοντες στη γεωλογική τομή» (Yilmaz, 1987). Η χωροθέτηση καθιστά τη σεισμική τομή συγκρίσιμη με την αντίστοιχη γεωλογική.

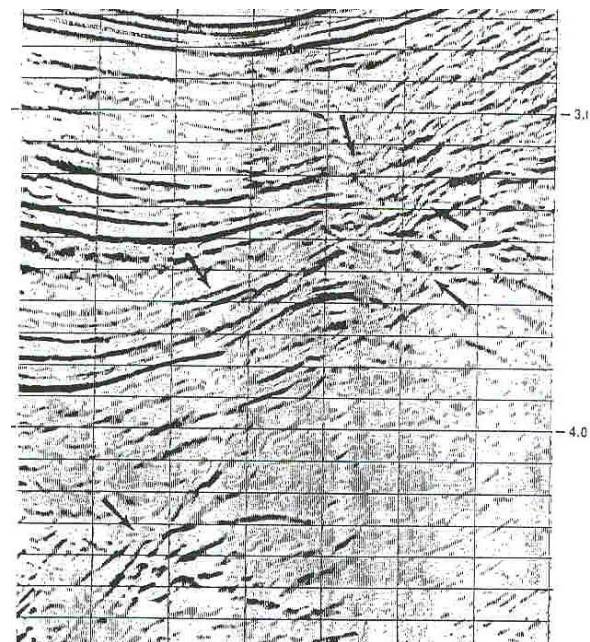
Η χωροθέτηση είναι από τα πιο πολύπλοκες διαδικασίες επεξεργασίας σεισμικών δεδομένων συνεπώς απαιτεί και πολλούς υπολογισμούς, θεωρείται επίσης αναντικατάστατη στο κύκλο εργασιών κατά την επεξεργασία των δεδομένων αυτών, καθώς συμβάλει σημαντικά στην αύξηση της χωρικής διακριτικής ικανότητας της σεισμικής τομής.

Η σεισμική χωροθέτηση είναι το στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων που εφαρμόζεται συνήθως μετά την σεισμική υπέρθεση εάν από αυτή έχει εξασφαλιστεί καλός λόγος σήματος προς θόρυβο. Μπορεί να εφαρμοστεί και πριν την υπέρθεση σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και δύσκολη γεωλογία καθώς η υπέρθεση εξομαλύνει και κάποιες φορές καταστρέφει αρκετές πληροφορίες ανάκλασης όπως έδειξαν οι Schultz, Sherwood (1980) και Hatton et al. (1981) Εικόνα 3.10 α & β). Όταν η χωροθέτηση χρησιμοποιείται πριν την υπέρθεση υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερο υπολογιστικό χρόνο.

Τέλος η σεισμική χωροθέτηση, έχει την δυνατότητα βελτίωσης των τομών υπέρθεσης οι οποίες προέρχονται από περιοχές με ρήγματα. Κατά την πρόσπτωση των ελαστικών κυμάτων στα άκρα ρηγματωμένων στρωμάτων, εμφανίζεται το φαινόμενο της περίθλασης. Η σεισμική χωροθέτηση επανατοποθετεί όλες τις αφίξεις που προέρχονται από την περίθλαση στην κορυφή αυτής και έτσι επιτυγχάνεται ακριβέστερη απεικόνιση των τεκτονικών ρηγματωμένων περιοχών.



(α)



(β)

Εικόνα 3.10: Εφαρμογή χωροθέτησης στην ίδια περιοχή α) μετά την υπέρθεση, β) πριν την υπέρθεση όπου παρατηρείται βελτίωση των αποτελεσμάτων (Γεωργιά, 1998).

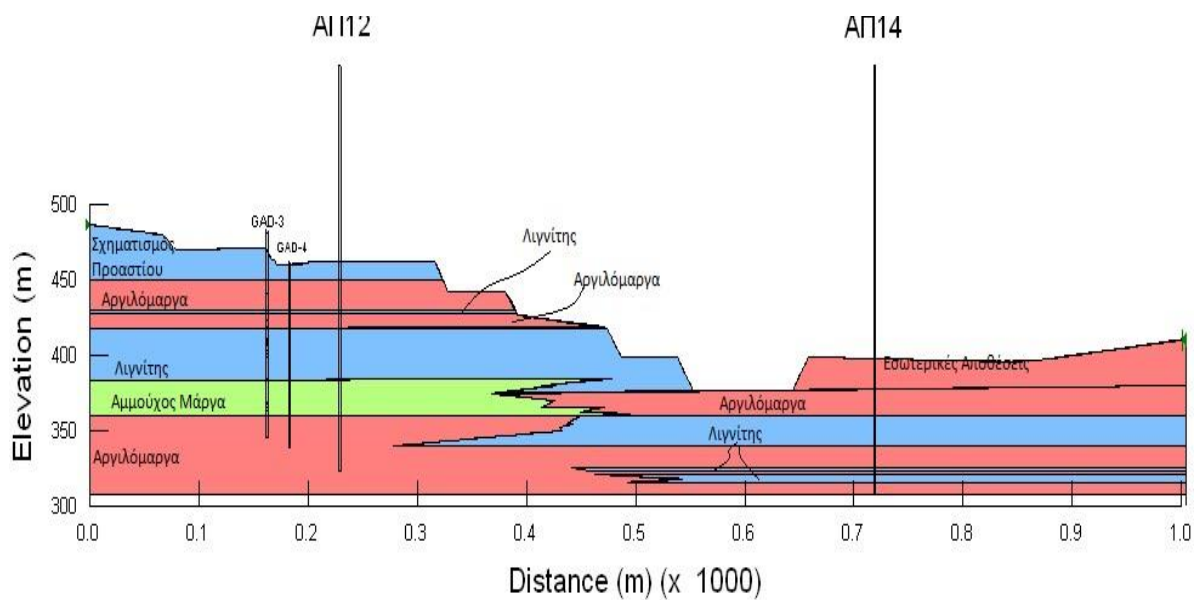
4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

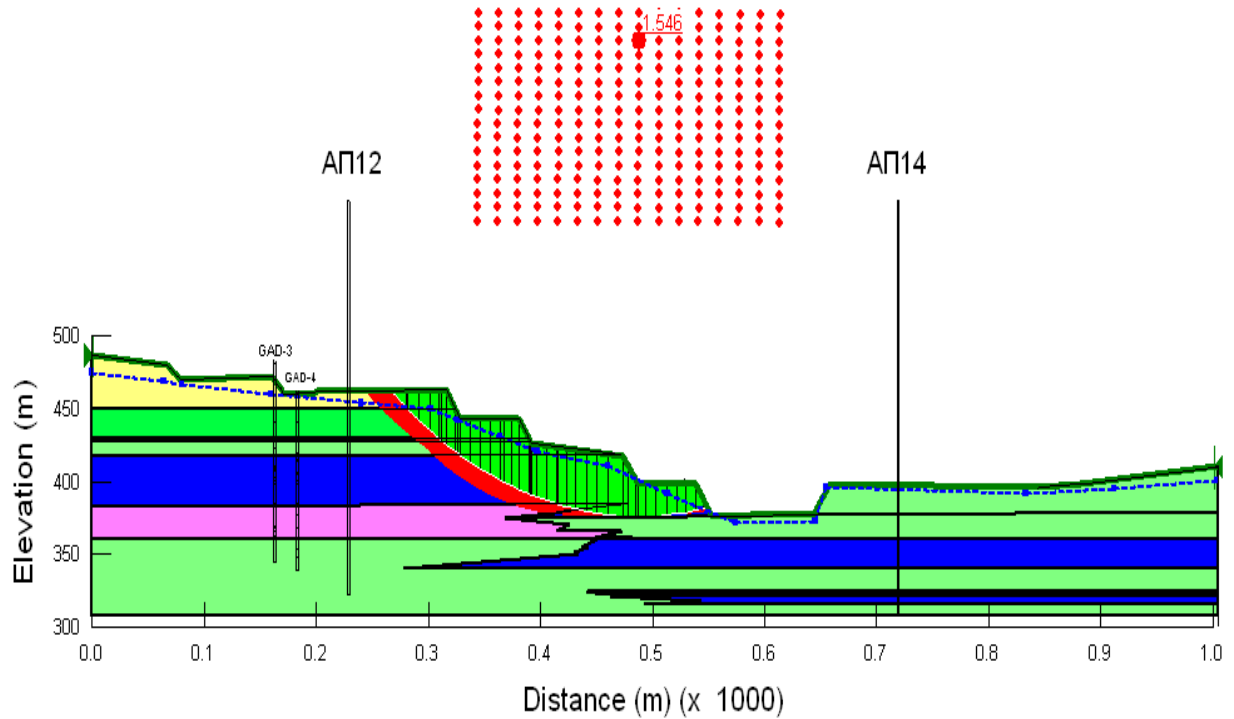
Για την πραγματοποίηση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από την διπλωματική εργασία της (Μπολγκοράνου, 2015). Στην διπλωματική (Μπολγκοράνου, 2015) αξιολογήθηκαν επιλεγμένοι μηχανισμοί κινητικότητας και πραγματοποιήθηκε ανάλυση της ευστάθειας των δυτικών πρανών του Ορυχείου χρησιμοποιώντας μεθόδους οριακής ισορροπίας. Με αφορμή την κατολίσθηση που ελαβε (11-7-2017) που πραγματοποιήθηκε πρανή του ορυχείου Αμυνταίου, σχεδιάστηκε υποθετική σεισμική γραμμή που διέρχεται από την περιοχή της κατολίσθησης. Η σεισμική γραμμή (Εικόνα 4.1) η οποία εξετάστηκε είναι ανάμεσα σε δυο γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή του ορυχείου Αμυνταίου (Εικόνα 4.2). Με την χρήση του λογισμικού AutoCAD και λαμβάνοντας τα δεδομένα από την συγκεκριμένη απεικόνιση, πραγματοποιήθηκε ψηφιοποίηση του μοντέλου για τον καθορισμό συντεταγμένων σε οριζόντια έκταση και σε βάθος σε (m).



Εικόνα 4.1: Προβολή της υπό εξέταση τομής-εγκάρσια στα πρανή (Μπολγκοράνου, 2015)



Εικόνα 4.2: Προβολή των στρωμάτων της υπό εξέταση τομής (Μπολγκοράνου, 2015)



Εικόνα 4.3 Τομή του υπεδάφους ανάμεσα στις γεωτρήσεις ΑΠ12 & ΑΠ14. Με κόκκινο χρώμα έχει σχεδιαστεί η πιθανή επιφάνεια ολίσθησης του πρανούς. (Μπολγγορανού, 2015)

Για την δημιουργία του μοντέλου στο λογισμικό AutoCAD θεωρήθηκε αρχικά ότι το μοντέλο αποτελείται από δυο στρώματα το υπερκείμενο στρώμα και το στρώμα υποβάθρου το οποίο αποτελείται από το σύνολο των στρωμάτων κάτω από το υπερκείμενο στρώμα. Θεωρήθηκε επίσης ότι το υπερκείμενο στρώμα ολίσθησε κατά μήκος επιφάνειας ολίσθησης. Η επιφάνεια αυτή αντιστοιχεί στο κατώτερο τμήμα της ζώνης ολίσθησης, όπως αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 4.2 με κόκκινο χρώμα. Με την χρήση του προγράμματος μετρήθηκαν τα τετραγωνικά του υπερκειμένου στρώματος τα όποια πολλαπλασιάστηκαν με ένα συντελεστή επιπλήσματος (1.3). Με βάση τα τετραγωνικά τα όποια προέκυψαν σχεδιάστηκε το υπερκείμενο λιγνιτοφόρο στρώμα το οποίο ολίσθησε καθώς και το στρώμα υποβάθρου. Στην συνέχεια το σύνολο των σημείων από τα οποία αποτελούνται τα δυο στρώματα χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του μοντέλου τμηματικών ταχυτήτων στο λογισμικό MatLab.

4.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για τη δημιουργία και επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Matlab^(TM), κατάλληλοι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης για την προσομοίωση της διάδοσης σεισμικών κυμάτων (P-SV) σε 2 διαστάσεις με τη χρήση πεπερασμένων διαφορών. 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 του αριθμητικού σχήματος των πεπερασμένων διαφορών θα πρέπει να επαληθευτεί το εξής κριτήριο:

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} * \alpha_{\max} \leq \frac{2}{3} \quad (4.1)$$

όπου: α_{\max} : η μέγιστη ταχύτητα των P – κυμάτων, Δt το βήμα χρονικής διακριτοποίησης και Δx το βήμα χωρικής διακριτοποίησης.

Πιο συγκεκριμένα έχουμε ότι $2100 \text{ m/s} * \Delta t / 5 \leq 2/3$. Άρα έχουμε ότι $\Delta t \leq 1.98 \text{E-}4 \text{ s}$ και ως εκ τούτου επιλέχθηκε η στογγυλοποιημένη τιμή $\Delta t = 1 \text{E-}4 \text{ s}$, δηλαδή 0,1 ms, το το βήμα χωρικής διακριτοποίησης $\Delta x = 0,2174 \text{ m}$

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

$$\frac{\lambda_{\min}}{\Delta x} > 6 \quad (4.2)$$

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

όπου:

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

f_{\max} : μέγιστη συχνότητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων που ισούτε περίπου με 2.5 φορές την κεντρική συχνότητα κυμάτων.

Το κριτήριο αυτό πρέπει να επαληθευτεί καθώς μέσω της αριθμητικής διασποράς προκαλούνται σφάλματα φάσης (phase error). Τα σφάλματα φάσης επέρχονται λόγω της αντικατάστασης της διαφορικής εξίσωσης με μία εξίσωση διαφορών. Τα σφάλματα φάσης παράγουν μεταβολή στην ταχύτητα φάσης με τη συχνότητα (διασπορά χρόνου) ή τον κυματαριθμό (διασπορά χώρου). Κύματα τα οποία διαδίδονται σε ένα διακριτό δίκτυο διασκορπίζονται σταδιακά με την αύξηση του χρόνου διαδρομής.

Για την δημιουργία του συνθετικού μοντέλου έγινε εισαγωγή δυο στρωμάτων συνεπώς και μιας διεπιφάνειας. Πιο συγκεκριμένα το υπερκείμενο στρώμα το οποίο θεωρήθηκε ότι πρόεκυψε μετά την κατολίσθηση, με μέγιστο βάθος τα (120m). Σαν υποκείμενο στρώμα θεωρήσαμε το υπόβαθρο με μέγιστο βάθος τα (160m). Κατά την δημιουργία του μοντέλου πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των εξής παραμέτρων (Εικόνα 4.3), πιο συγκεκριμένα ορίζεται η οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση του μοντέλου (600m & 140m, αντίστοιχα). Εισήχθησαν επίσης η ελάχιστη τιμή της ταχύτητας των S-κυμάτων 1000 m/s η συχνότητα της πηγής σε 100Hz αλλά και η ισαπόσταση των γεωφώνων σε 5m ενώ στην ανώτερη επιφάνεια του μοντέλου δεν τοποθετήθηκαν απορροφητικά όρια (free).

INITIAL MODEL PARAMETERS

Enter the HORIZONTAL extend of model in meters
600

Enter the VERTICAL extend of model in meters
140

Enter the minimum S-wave velocity (V_s) of model in m/s. Free air and sea water is excluded
1000

Enter the dominant frequency of the source in Hz
100

Enter receivers spacing in meters
5

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

MARINE or LAND Survey ?
LAND

OK Cancel

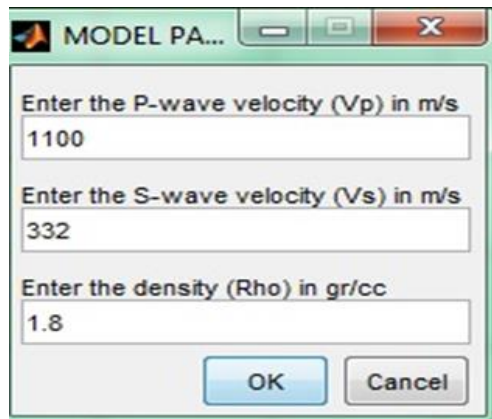
Εικόνα 4.4 Εισαγωγή αρχικών παραμέτρων του μοντέλου

Στην συνέχεια χρειάστηκε να οριοθετηθούν τα δυο στρώματα. Ο αλγόριθμος δίνει την δυνατότητα εισαγωγής στρωμάτων μέσω πινάκων στο λογισμικό Matlab (πίνακας Π1.1, πίνακας Π 1.2) οι οποίοι παρατίθενται στον παραάρτημα ή την σχεδίαση αυτών μέσω του προγράμματος. Εφόσον σχεδιαστούν τα στρώματα απαιτείται η εισαγωγή των ταχυτήτων διάδοσης των P και S-κυμάτων καθώς και την πυκνότητα πινάκας (πίνακας 4.1) Στον Πίνακα 4.1 συνοψίζονται οι παράμετροι των στρωμάτων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αλγόριθμοι προσομοίωσης, διαχειρίζονται το στρώμα του αέρα ως κενό χωρίο, δηλαδή κανένα σεισμικό ή ακουστικό κύμα δεν διαδίδεται μέσα σε αυτό. Ωστόσο, στη διεπιφάνεια του στρώματος αυτού και του υποκείμενου του εφαρμόζονται όλες οι κατάλληλες συνθήκες μιας ελεύθερης επιφάνειας (π.χ. για την δημιουργία επιφανειακών κυμάτων)

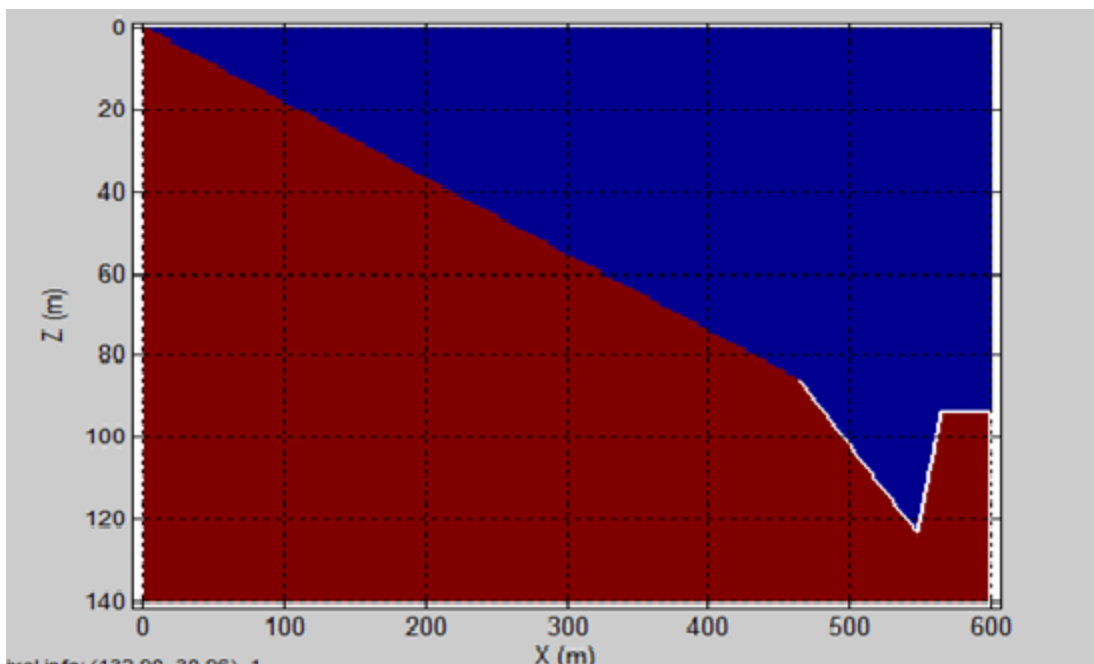
Πινάκας 4.1 : Διαμήκη (V_p) και εγκάρσια (V_s) ταχύτητα και πυκνότητα (ρ) κάθε στρώματος

ΣΤΡΩΜΑ	$V_p(\text{m/s})$	$V_s(\text{m/s})$	$\rho(\text{g/cm}^3)$
Υπερκείμενο Στρώμα ολισθαίνουσας Μάζας	1100	332	1.8
Στρώμα Υποβάθρου	2000	1200	2,5

Τα στρώματα του μοντέλου εισήχθησαν τμηματικά. Αρχικά εισάγονται οι παράμετροι του αέρα στην συνέχεια το υπερκείμενο στρώμα και τελευταίο τοποθετήθηκε το στρώμα υποβάθρου καθώς και οι παράμετροι του κάθε στρώματος (Εικόνα 4.5),(Εικόνα 4.6),(Εικόνα 4.7),(Εικόνα 4.8). Στις περιοχές που τα στρώματα επικαλύπτονται τις κοινές θέσεις τις λαμβάνει το στρώμα που κατά σειρά εισάγεται τελευταίο.

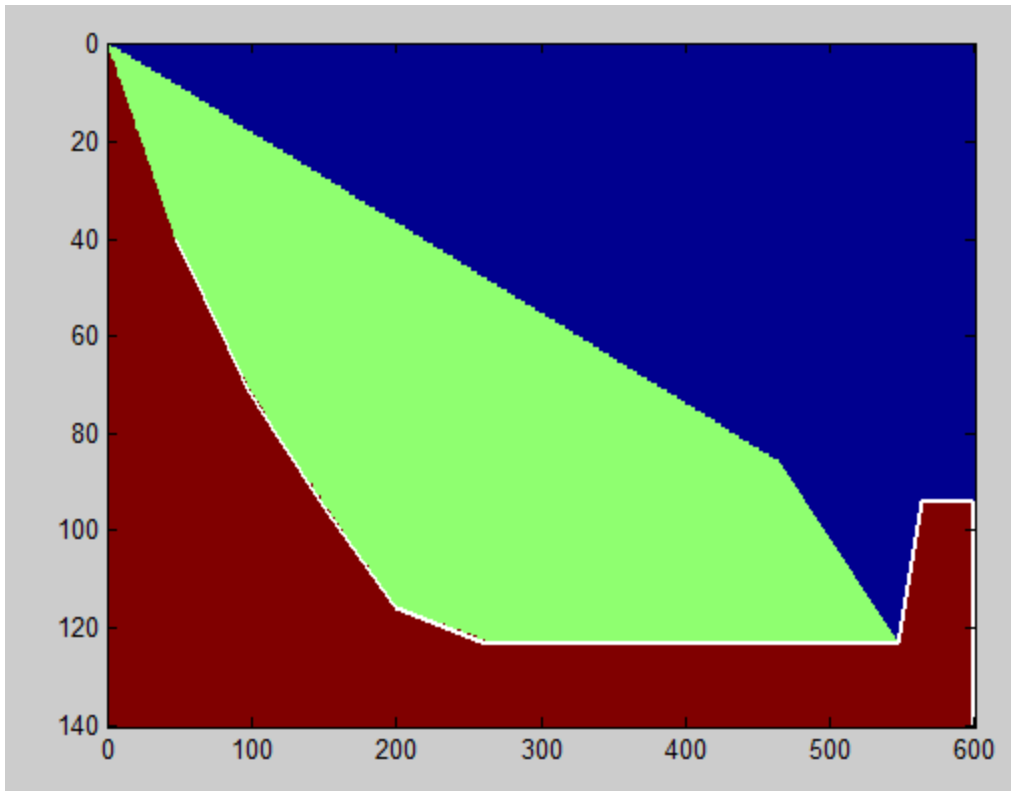


Εικόνα 4.5 Εισαγωγή παραμέτρων υπερκείμενου στρώματος ολισθαίνουσας μάζας



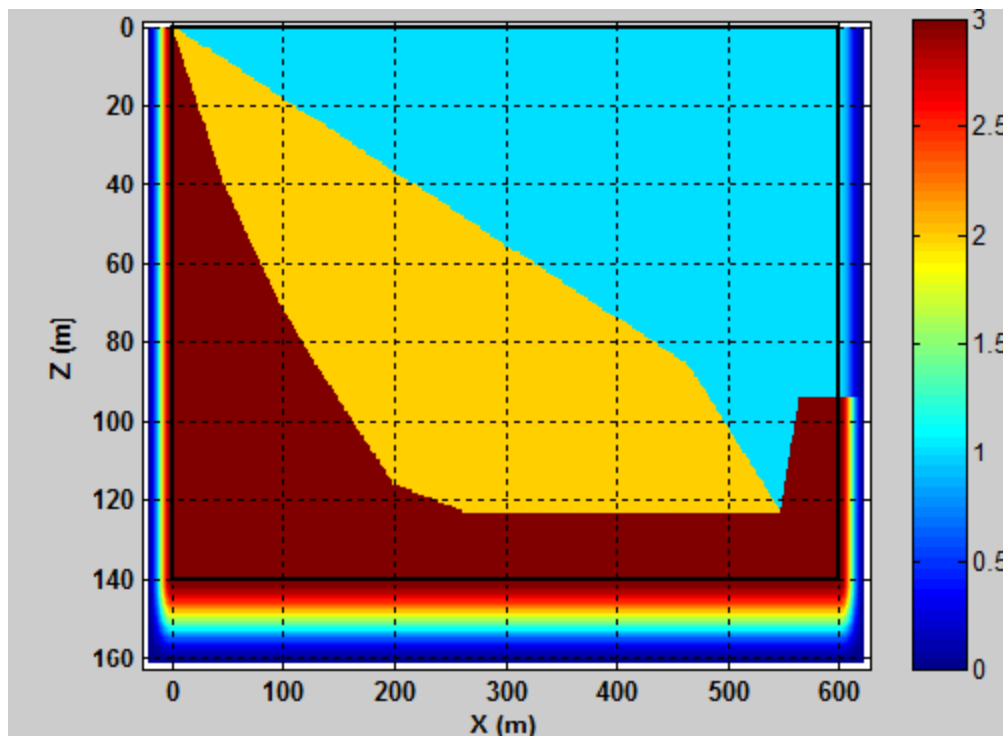
Εικόνα 4.6 Εισαγωγή υπερκείμενου στρώματος ολισθαίνουσας μάζας (με χρώμα καφέ)

Εικόνα 4.7 Εισαγωγή παραμέτρων στρώματος υποβάθρου



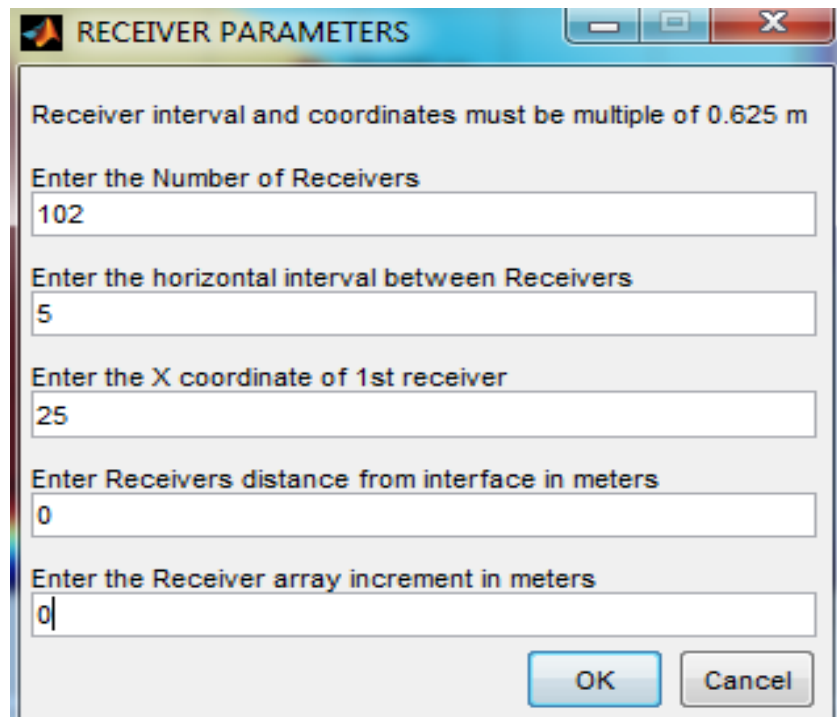
Εικόνα 4.8 Εισαγωγή στρώματος υποβάθρου(καφέ χρώμα ενώ με πράσινο χρώμα φαίνεται το υπερκείμενο στρώμα)

Μετά τη εισαγωγή των στρωμάτων και των παραμέτρων τους προκύπτει το τελικό μοντέλο ταχυτήτων. Το μοντέλο ταχυτήτων αποτελείται από δυο στρώματα το στρώμα υποβάθρου (πορτοκαλί επιφάνεια), το υπερκείμενο στρώμα (καφέ επιφάνεια). Η επιφάνεια γαλάζιου στρώματος αντιστοιχεί στο στρώμα του αέρα, ενώ το τμήμα του μοντέλου που αντιστοιχεί στο κάτω μέρος του αντιστοιχεί στα όρια απορρόφησης και στις πλευρες του μοντελου. Ο όρος Grid είναι το ελάχιστο βήμα χωρικής διακριτοποίησης ενώ ο όρος sampling interval εκφράζει το χρόνο μεταξύ της καταγραφής δεδομένων (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.9 Τελικό μοντέλο

Στην συνέχεια χρειάστηκε να ορίσουμε τις παραμέτρους πηγής-γεωφωνου, δηλαδή των αριθμό των γεωφωνων(102), την ισαπόσταση τους στα 5m καθώς και τη θέση του πρώτου γεωφωνου (Εικόνα 4.10). Η εισαγωγή των γεωφώνων έγινε με την χρήση της εντολής «follow an interface (along x axis)», καθώς η επιφάνεια μελέτης ήταν κεκλιμένη, ενώ οι θέσεις των πηγών χρησιμοποιώντας πινάκες που καθόριζαν την θέση τους, ακόμα εισήχθη ο χρόνος καταγραφής (Εικόνα 4.11), (Εικόνα 4.12),(πίνακας 4.13). Τα γεώφωνα παρέμειναν σταθερά στο σύνολο του πειράματος ενώ οι πηγές κατά την διάρκεια καταγραφής εισήχθησαν ανα δεκάδες.



RECEIVER PARAMETERS

Receiver interval and coordinates must be multiple of 0.625 m

Enter the Number of Receivers
102

Enter the horizontal interval between Receivers
5

Enter the X coordinate of 1st receiver
25

Enter Receivers distance from interface in meters
0

Enter the Receiver array increment in meters
0

OK Cancel

Εικόνα 4.10 Εισαγωγή παραμέτρων γεωφώνων



MENU


Vertical or Horizontal source spread ?

Vertical

Horizontal

Load Positions

Εικόνα 4.11 Εισαγωγή θέσεων πηγών



MENU

Vertical, Horizontal or Terrain receiver deployment ?

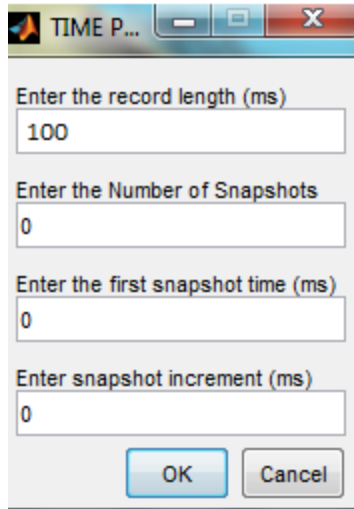
Vertical

Horizontal

Follow an Interface (along X axis)

Load positions

Εικόνα 4.12 Εισαγωγή θέσης γεωφώνων



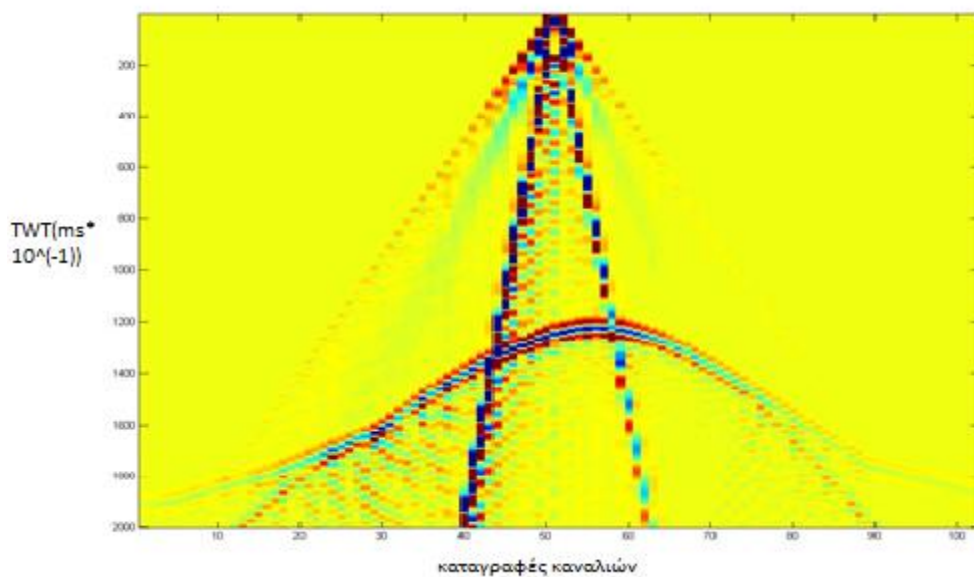
Εικόνα 4.13 Εισαγωγή χρόνου καταγραφής

4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

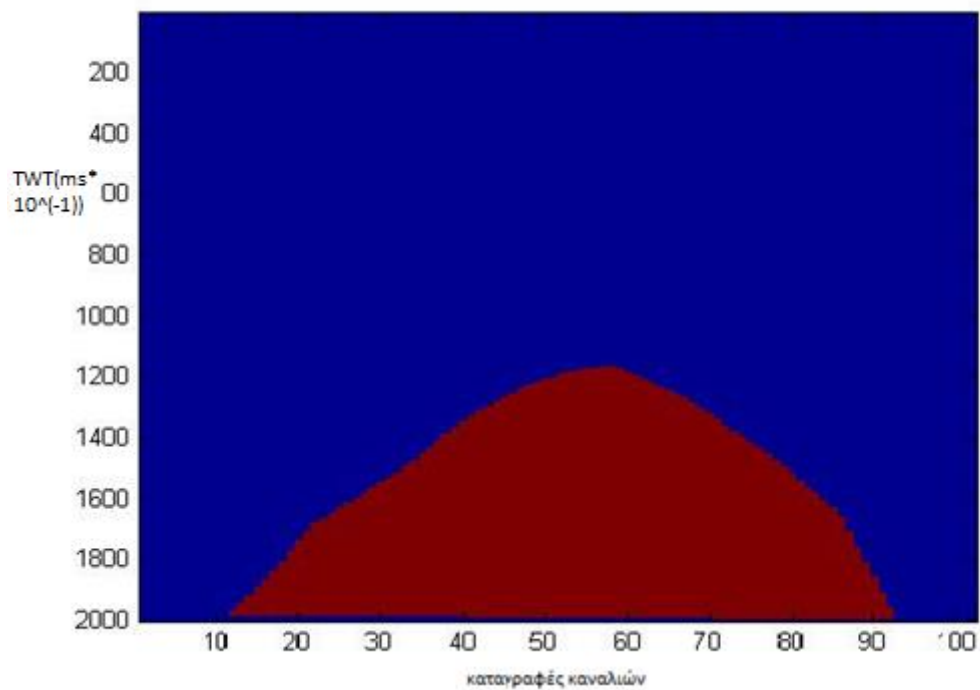
Μετά την λήψη των συνθέτων δεδομένων, για την επεξεργασία τους πραγματοποιήθηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά έγινε απαλοιφή των καταγραφών από τα απευθείας κύματα των καταγραφών κοινής πηγής, για κάθε γεώφωνο. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της σεισμικής χωροθέτησης για κάθε πηγή και η υπερθεση τους. Επόμενο στάδιο ήταν η επεξεργασία με την διαδικασία της σεισμικής μετατροπής βάθους (Depth conversion). Τελευταίο στάδιο ήταν η στατική διόρθωση των δεδομένων που πρόεκυψαν από την σεισμική μετατροπή βάθους.

4.3.1 ΑΠΑΛΟΙΦΗ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

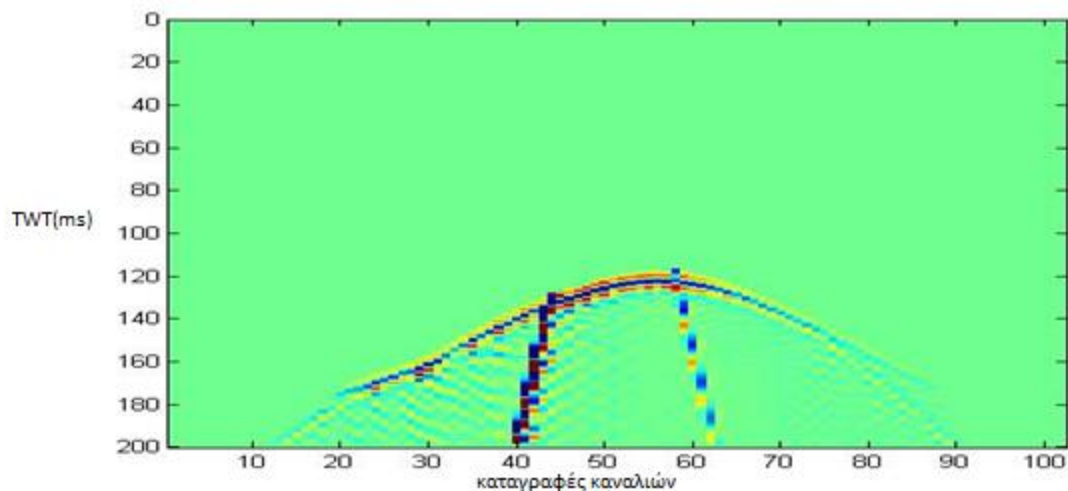
Κατά την διαδικασία την επεξεργασίας των δεδομένων που πρόεκυψαν από της καταγραφές κρίθηκε απαραίτητη η απαλοιφή των απευθείας κυμάτων. Η διαδικασία αυτή έλαβε χώρα με την χρήση «φίλτρου» (Εικόνα 4.15) στο λογισμικό matlab με αποτέλεσμα το κύριο τμήμα των απευθείας κυμάτων να απομακρυνθεί σημαντικά. Το φίλτρο πρόεκυψε από το σύνολο των σημείων που περικλείονται γύρω από την καμπύλη της ανάκλασης (Εικόνα 4.14),(Εικόνα 4.16).



Εικόνα 4.14 καταγραφή κοινής πηγής στην θέση 275m



4.15 Εισαγωγή «φίλτρου για απαλοιφή απευθείας κυμάτων



1

Εικόνα 4.16 Απαλοιφή απάθειας κυμάτων στη θέση 275m

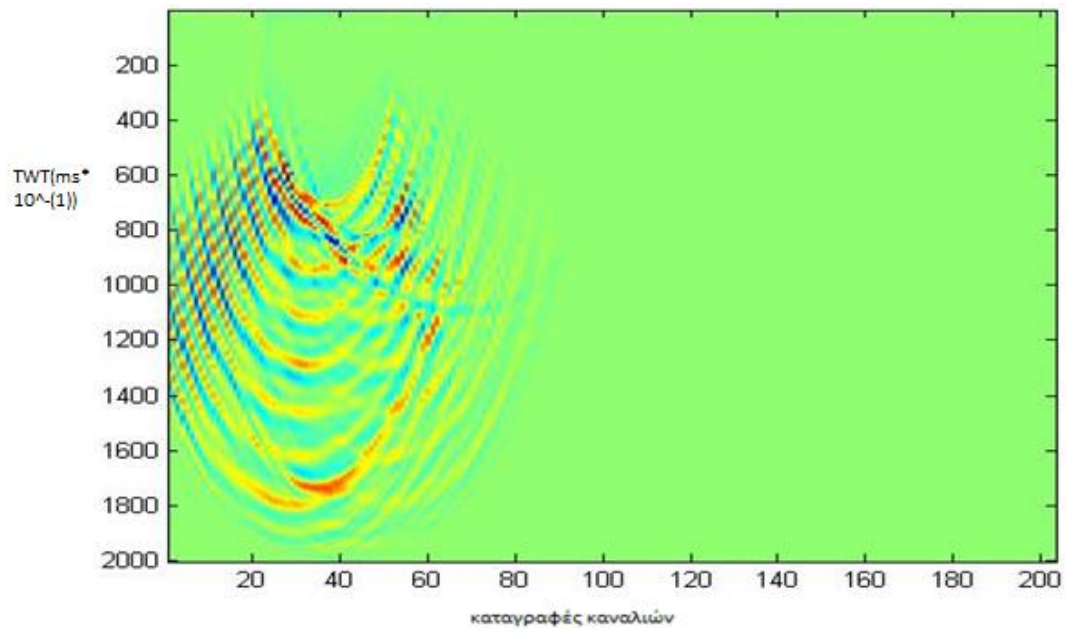
4.3.2 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ

KIRCHHOFF (Prestack Kirchhoff migration)

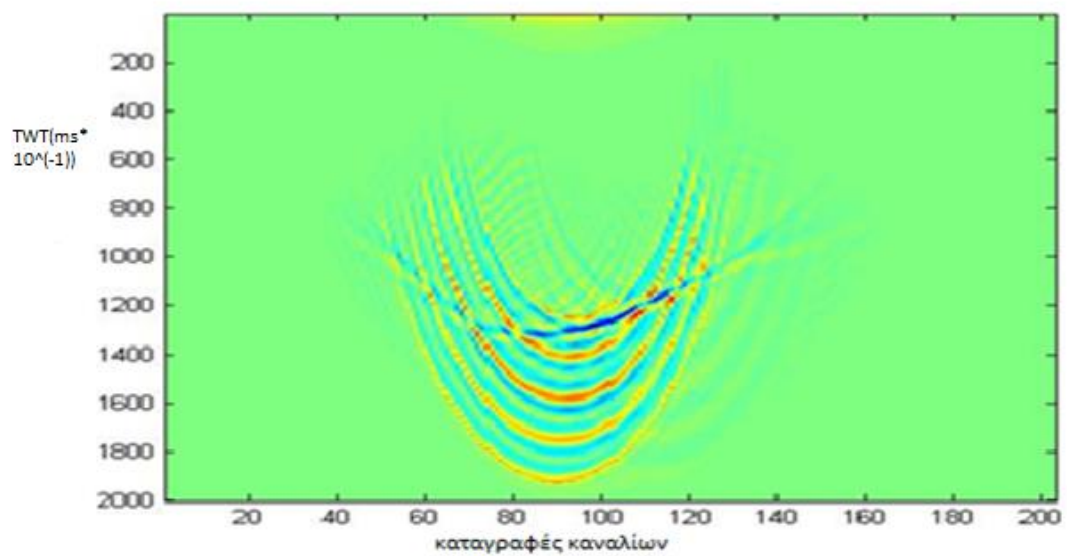
Η μέθοδος χωροθέτησης κατά Kirchhoff είναι μια μέθοδος επεξεργασίας εικόνας, η οποία είναι σχετικά γρήγορη σε σχέση με άλλες μεθόδους χωροθέτησης, ενώ αποτυπώνει με ακρίβεια το υπέδαφος, παρουσιάζει επίσης τυχόν ανωμαλιών που υπάρχουν.

Η χωροθέτηση κατά Kirchhoff βασίζεται στην αρχή του (Hagedoorn, 1954). Αρχικά θεωρείται ότι η ταχύτητα του μέσου είναι σταθερή v . Τα δεδομένα της μη χωροθετημένης τομής, που βρίσκονται κατά μήκος της καμπύλης περίθλασης, αθροίζονται για να δώσουν το πλάτος του αντιστοίχου σημείου στην τομή χωροθέτησης. Αν τα σημεία που αποτελούν την καμπύλη περίθλασης αντιστοιχούν στο χωροθετημένο σήμα κάθε πηγής (Εικόνα 4.17), (Εικόνα 4.18) (Εικόνα 4.19), τότε τα αθροιζόμενα θα δώσουν ανάλογη τιμή, ενώ αν αντιστοιχούν σε θόρυβο αθροιζόμενα θα δώσουν πολύ μικρή τιμή. Συνεπώς η μέθοδος χωροθέτησης μέσω της άθροισης θεωρεί κάθε σημείο της μη χωροθετημένης τομής σαν κομμάτι περίθλασης, για αυτό ένας ανακλαστήρας θεωρείται ως μέρος πολύ κοντινών σημείων περίθλασης (Sheriff and Gelbart) (Εικόνα 4.20).

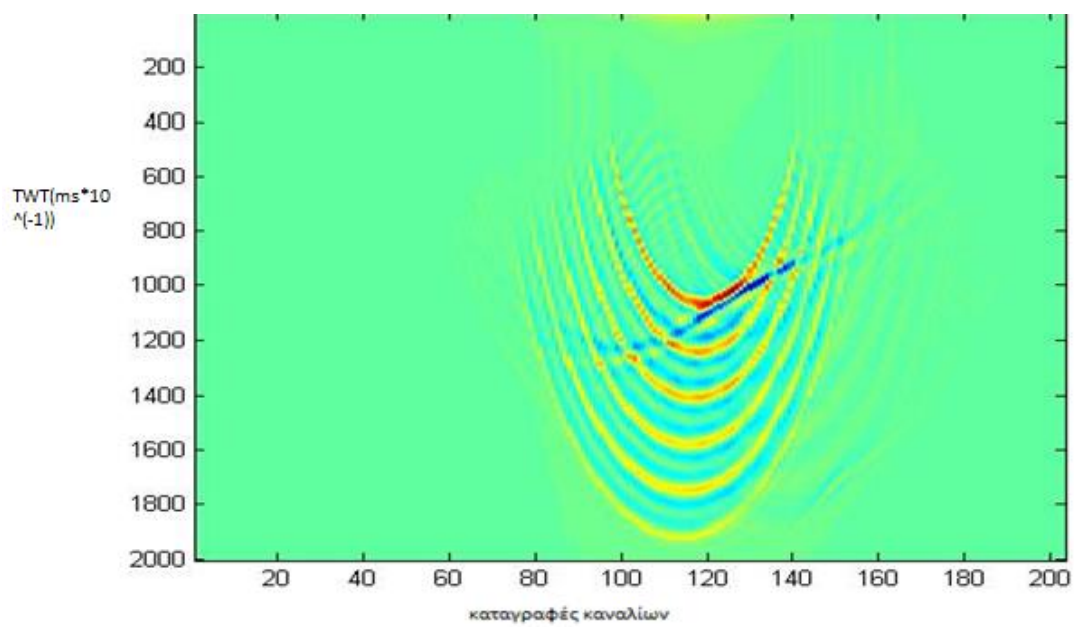
Για την ευκολία των υπολογισμών και λόγω του ότι το αντικείμενο ενδιαφέροντος ήταν η απεικόνιση της επιφάνειας ολίσθησης χρησιμοποιήθηκε σταθερή ταχύτητα κατά τη χωροθέτηση Kirchhoff στο πρώτο στρώμα. Με αυτό το τρόπο έχουμε καλή απεικόνιση της επιφάνειας ολίσθησης.



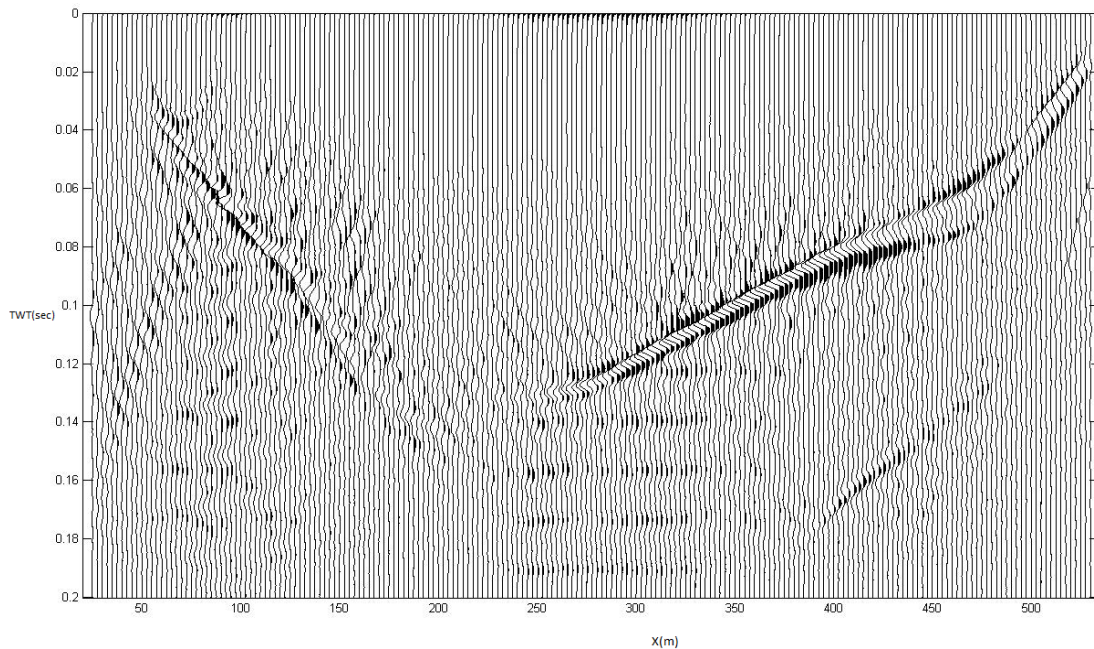
4.17 Καταγραφή πηγής στην θέση 125m



4.18 Καταγραφή χωροθετημένης πηγής στην θέση 275



4.19 Καταγραφή πηγής στην θέση 275m



Εικόνα 4.20 Σεισμική χωροθέτηση κατά Kirchhoff πριν την υπέρθεση

4.3.6 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΗ ΒΑΘΟΥΣ

Η σεισμική μετατροπή βάθους έγινε με σκοπό την σύγκριση των δεδομένων που έχουν προκύψει από την σεισμική χωροθέτηση κατά Kirchhoff με το συνθετικό μοντέλο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με τη μετατροπή των δεδομένων χρόνου σε δεδομένα βάθους χρησιμοποιώντας την απλή εξίσωση

$$D=v*(twt/2)$$

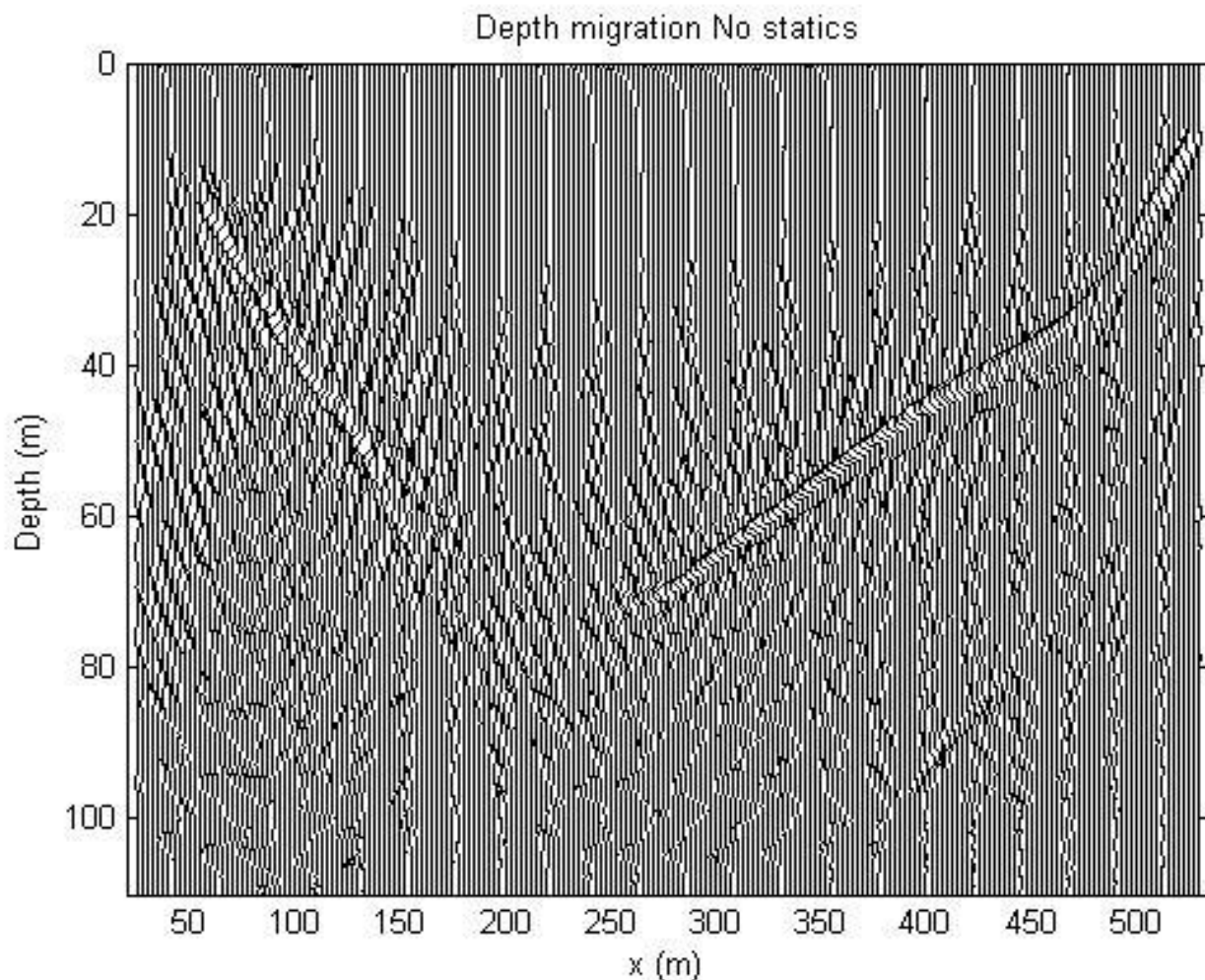
Οπου

D = βάθος

V =ταχύτητα =1200m/s

twt = διπλός χρόνος διαδρομής

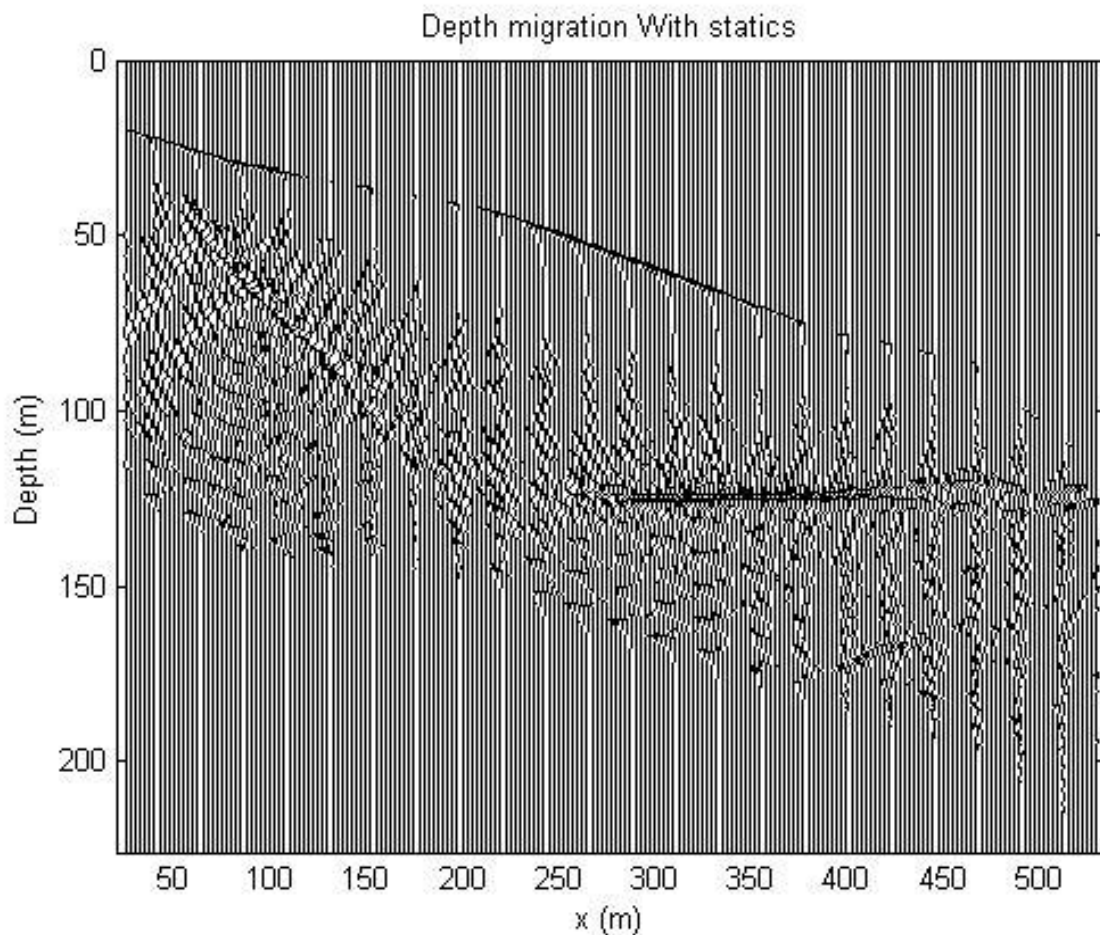
Τα αποτελέσματα της μετατροπής αυτής εμφανίζονται παρακάτω (Εικόνα 4.21)



Εικόνα 4.21 Σεισμική τομή βάθους

4.3.7 ΣΤΑΤΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ(Static Correction)

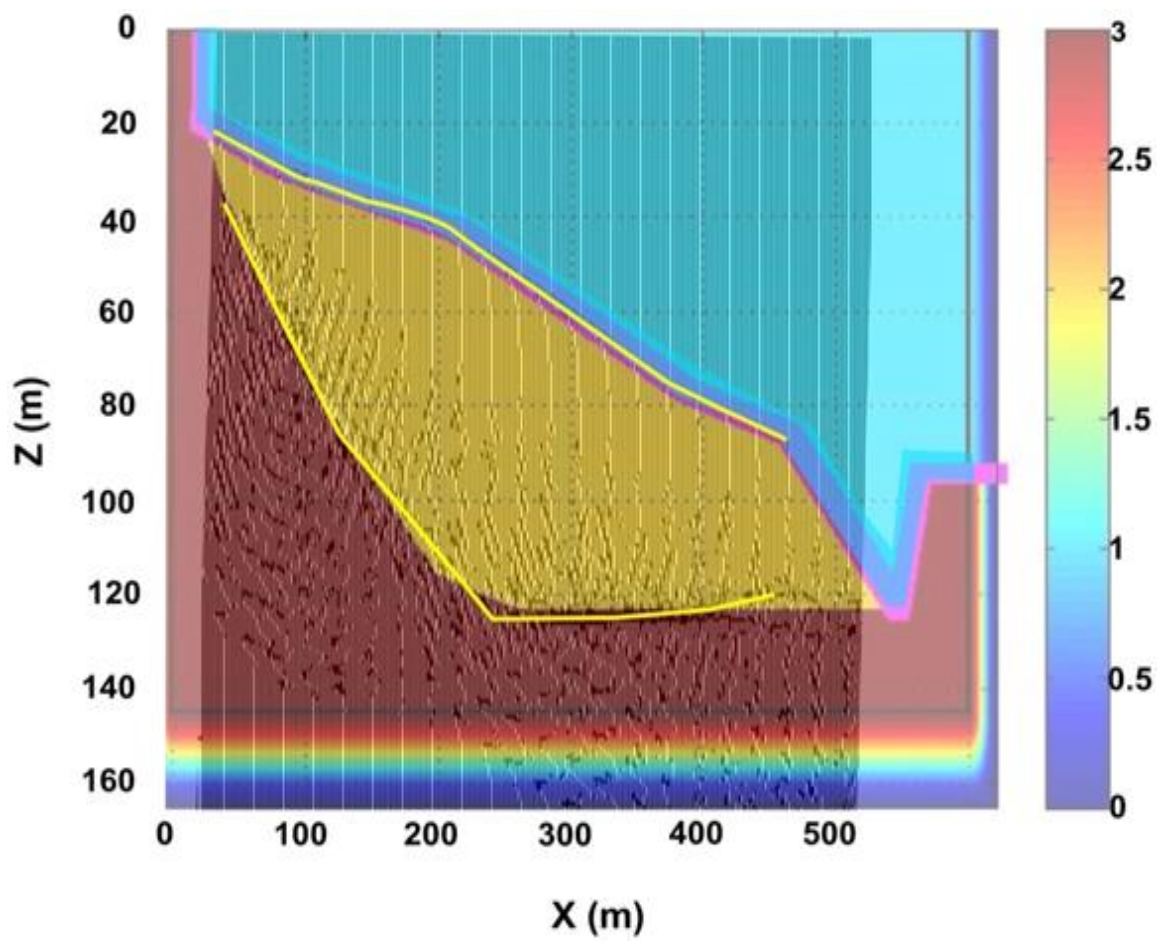
Η στατική διορθώση εφαρμόζεται με σκοπό την εξουδετέρωση των επιφανειακών επιδράσεων στα σεισμικά δεδομένα που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της γης. Η στατική διόρθωση υψομέτρου (field statics) εκμηδενίζει τις διαφορές στους χρόνους αφίξεων των ανακλωμένων κυμάτων που οφείλονται στις υψομετρικές διαφορές πηγών-γεωφώνων. (Εικόνα 4.22)



Εικόνα 4.22 Τομή βάθους κατά μήκος της γραμμής μελέτης

4.4 ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΜΗΜΑΤΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ-ΧΩΡΟΘΕΤΗΜΕΝΗΣ ΤΟΜΗΣ ΒΑΘΟΥΣ

Για να συγκρίνουμε το τελικό αποτέλεσμα της μεθόδου σεισμικής ανάκλασης πραγματοποιήθηκε η υπέρθεση του μοντέλου ταχυτήτων με την χωροθετημένη τομή βάθους από το αποτέλεσμα της οποίας κρίθηκε ότι η μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα, καθώς συναντάμε την επιφάνεια ολίσθησης στο ίδιο σχεδόν βάθος με το συνθετικό μοντέλο ενώ απεικονίζεται αρκετά καλά τα όρια των στρωμάτων (κίτρινες γραμμές) (Εικόνα 4.23).



Εικόνα 4.23 Υπερθεση μοντελου τμηματικων ταχυτήτων ταχυτητων-χωροθετημένης τομής βάθους

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν στην παρούσα εργασία είναι δυνατή η απεικόνιση της επιφάνειας ολίσθησης λιγνιτοφόρου κοιτάσματος με την χρήση της γεωφυσικής μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης και της μεθοδολογίας επεξεργασίας των δεδομένων.

5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι προτάσεις που προκύπτουν είναι να εξετασθούν τα συνθετικά δεδομένα με θόρυβο με σκοπό την καλύτερη απεικόνιση της επιφάνειας ολίσθησης, αλλαγή τρόπου απόκτησης δεδομένων π.χ.: πύκνωση πηγών (5m) και πύκνωση γεωφώνων (2.5m), με αυτό τον τρόπο θα έχουμε πιο αναλυτική απεικόνιση του υπεδάφους, ακόμα δημιουργία πιο αντιπροσωπευτικού μοντέλου στο οποίο θα εισήχθη η λεπτομερείς γεωλογία της περιοχής μελέτης καθώς και εφαρμογή της στατικής διόρθωσης πριν την χωροθέτηση Kirchhoff.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βαφείδης Α., 1993, Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι - Σεισμικές μέθοδοι, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
2. Γεωργιλά Κ. Θ., 1998, Συμβολή της σεισμικής ανάκλασης στην επίλυση υδρογεωλογικών προβλημάτων, Μεταπτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.
3. Ιορδανίδης Α., (2002), Οργανική Γεωχημεία και Πετρολογία του Λιγνιτικού Κοιτάσματος Αμυνταίου, *Διδακτορική Διατριβή*, Θεσσαλονίκη. σελ. 19-24
4. ΙΓΜΕ, (1997), Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος κλίμακας 1:50.000, φύλλο Πτολεμαΐδας, Αθήνα.
5. Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., «Γεωλογία τεχνικών έργων», Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2007.
6. Λουπασάκης Κ., (2014), Σημειώσεις διαλέξεων μαθήματος «Εδαφομηχανική και Στοιχεία Θεμελιώσεων» ακαδημαϊκό έτος 2013-2014, Αθήνα.
7. Ματαράγκος Δ., (1981). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος. Φύλλο Βεύη, κλ. 1: 50.000, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
8. Μαράτος Γ., (1960), Λιγνιτοφόρος λεκάνη Αμυνταίου – Βεύης – Φλώρινης. 1 – 46
9. Μουντράκης Δ., (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. *Πραγματεία για Υψηλεσία, Παν/μιο Θεσ/νίκης*, 289 σελ.
10. Μπολγοράνου Μ. (2015) Διπλωματική εργασία Διερεύνηση ευστάθειας πρανών της ανοικτής εκσκαφής του λιγνιτωρυχείου Αμυνταίου
11. Μπραουδάκη Γ. Καλλιόπη, (2004), Σεισμικά Ανάκλασης στο Ιόνιο, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολ. Κρήτης.
12. Παυλίδης Σ., (1985), Νεοτεκτονική Εξέλιξη της Λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία), Θεσσαλονίκη
13. Στειακάκης Εμμ. (2010), Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας-Εδαφομηχανικής, Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Brady T ,2006 Investigation at Little Valley Landslide in Draper,Utah
2. Bruno, F., and Marillier, F., 2000, Test of high-resolution seismic reflection and other geophysical techniques on the Boup Landslide in the Swiss Alps: Survey in Geophysics, v. 21, p.333-348
3. Cordier J.-P., Velocities in Reflection Seismology, Seismic reflection method.
4. Ferrucci, F., et al., 2000, Seismic prospecting of a slope affected by deep-seated
5. Hagedoorn, J. G., 1954, A process of seismic reflection interpretation: Geophys. Prosp., 2, 85-127.
6. Hatton, L., L. K. Larner, and B. S. Gibson, 1981, Migration of seismic data from inhomogeneous media: Geophysics,46, 751-767.
7. Mauritsch 2000, Geophysical investigation of large landslides in the Carnic Region of southern Austria
8. Meric, O., Garambois, S., Jongmans, D., Wathelet, M., Chatelain, J.L., and Vengeon, J.M., 2005, Application of geophysical methods for the investigation of the large gravitational mass movement of Sechilienne, France: Canadian Geotechnical journal, v. 42, pp. 1105-1111
9. Schultz, P.S., and Sherwood, J.W.C., 1980, Depth migration before stack: Geophysics, 45, 376
10. Sheriff R. E. and Geldart L. P., 1995, Exploration seismology. Cambridge Univ. Press.
11. Sodbinow E. S. 1989, Stacking, Filtering, and Display, Exploration Geophysics. GP 406
12. Yilmaz O., 1987, Seismic data processing Society of Exploration Geophysicists

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π1.1 Συντεταγμένες σημείων υπερκείμενου στρώματος ολισθαίνουσας μάζας(Πάνω όριο υπερκείμενου στρώματος)

ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ ΣΤΡΩΜΑ ΟΛΙΣΘΑΙΝΟΥΣΑΣ ΜΑΖΑΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Z(m)	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ X(m)
ΘΕΣΗ 1 ^η	0	0
ΘΕΣΗ 2 ^η	0	22,15
ΘΕΣΗ 3 ^η	19,42	22,15
ΘΕΣΗ 4 ^η	29,54	85,3
ΘΕΣΗ 5 ^η	43,02	217
ΘΕΣΗ 6 ^η	77,02	388
ΘΕΣΗ 7 ^η	86,04	464,73
ΘΕΣΗ 8 ^η	123,36	546,98
ΘΕΣΗ 9 ^η	94,16	563,9

Πίνακας Π1.2 Συντεταγμένες σημείων υποβάθρου(Πάνω όριο κατώτερου στρώματος)

ΣΤΡΩΜΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Z(m)	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ X(m)
------------------	--------------------	--------------------

ΘΕΣΗ 1^η	0	0
ΘΕΣΗ 2^η	0	22,15
ΘΕΣΗ 3^η	19,42	22,15
ΘΕΣΗ 4^η	26,85	30,49
ΘΕΣΗ 5^η	31,23	35,42
ΘΕΣΗ 6^η	35,96	40,74
ΘΕΣΗ 7^η	40,36	47,75
ΘΕΣΗ 8^η	46,75	57,96
ΘΕΣΗ 9^η	58,02	76,44
ΘΕΣΗ 10^η	66,37	90,15
ΘΕΣΗ 11^η	70,86	97,51
ΘΕΣΗ 12^η	81,38	119,22
ΘΕΣΗ 13^η	95,63	151,6
ΘΕΣΗ 14^η	115,96	199,3
ΘΕΣΗ 15^η	122,16	251,64
ΘΕΣΗ 16^η	123,36	261,75
ΘΕΣΗ 17^η	123,36	546,98
ΘΕΣΗ 18^η	94,16	563,9

Πίνακας Π 1.3 συντεταγμένων πηγών

ΘΕΣΕΙΣ ΠΗΓΩΝ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ Z(m)	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ X(m)
Θέση 1	25	5
Θέση 2	35	10
Θέση 3	45	15
Θέση 4	55	20
Θέση 5	65	25
Θέση 6	75	30
Θέση 7	85	35
Θέση 8	95	40
Θέση 9	105	45
Θέση 10	115	50
Θέση 11	125	55
Θέση 12	135	60
Θέση 13	145	65
Θέση 14	155	70
Θέση 15	165	75
Θέση 16	175	80
Θέση 17	185	85
Θέση 18	195	90
Θέση 19	205	95
Θέση 20	215	100
Θέση 21	225	105
Θέση 22	235	110
Θέση 23	245	115
Θέση 24	255	120
Θέση 25	265	125
Θέση 26	275	130
Θέση 27	285	135
Θέση 28	295	140

Θέση 29	305	145
Θέση 30	315	150
Θέση 31	325	155
Θέση 32	335	160
Θέση 33	345	165
Θέση 34	355	170
Θέση 35	365	175
Θέση 36	375	180
Θέση 37	385	185
Θέση 38	395	190
Θέση 39	405	195
Θέση 40	415	200
Θέση 41	425	205
Θέση 42	435	215
Θέση 43	445	220
Θέση 44	455	225
Θέση 45	465	230
Θέση 46	475	235
Θέση 47	485	240
Θέση 48	495	245
Θέση 49	505	250
Θέση 50	515	255
Θέση 51	525	260