



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΤΙΣ ΒΑΥΑΡΙΚΕΣ ΑΛΠΕΙΣ»**

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΑΘ. ΑΡΓΥΡΗΣ



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (Επιβλέπων)

ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΡΗΤΙΚΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Ε.ΔΙ.Π.

ΧΑΝΙΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2019

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Οι πεποιθήσεις και τα αποτελέσματα που υπάρχουν σ' αυτή την μελέτη αντανakλούν τον συντάκτη και δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι καταγράφουν τις επιστημονικές τοποθετήσεις των κ. Καθηγητών.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης κάτω από την εποπτεία του Καθηγητή κ. Αντώνιου Βαφείδη. Η συγκεκριμένη μελέτη εξετάζει την επεξεργασία και την επεξήγηση συνθετικών δεδομένων.

Στην αποπεράτωση της μελέτης ουσιαστικό ρόλο διαδραμάτισε ο επιβλέπων Καθηγητής, κ. Αντώνιος Βαφείδης ο οποίος με την εποπτεία του και τις καίριες παρατηρήσεις του, υπήρξε αξιόλογος συμπαραστάτης στις δυσκολίες που προέκυψαν. Προφανώς για αυτή την αιτία, καθώς και την τεράστια υποστήριξη που μου προσέφερε, τον υπερευχαριστώ τα μέγιστα.

Εξχωριστά, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον βοηθό του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, Δρ. Γεώργιο Κρητικάκη ομοίως και στον Δρ. Νικόλαο Οικονόμου για την προσεχτική παρακολούθηση της πορείας της μελέτης καθώς και για τις επακριβείς βελτιώσεις του. Τέλος να ευχαριστήσω πάρα πολύ τον Δρ. Νικόλαο Ανδρονικίδη που με βοήθησε και μου στάθηκε σε κάθε δυσκολία που παρουσιάστηκε την τελευταία στιγμή στην διπλωματική μου εργασία.

Εν κατακλείδι, είναι αναγκαίο να εκφράσω την αρμόζουσα ευγνωμοσύνη στην στενή οικογένεια μου, αρχικά τον θείο μου Αρχιμανδρίτη Ιερόθεο Αργύρη Ιεροκήρυκα και φυσικά τον πατέρα, την μητέρα και τον αδελφό μου, που με ενίσχυσαν και μου συμπαραστάθηκαν με ποικίλους και διαφόρους τρόπους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τη διαχείριση συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης για την παρακολούθηση κατολισθήσεων σε περιοχή των Βαυαρικών Άλπεων. Αρχικά, καταγράφεται αναλυτικά ο τρόπος και η διαδικασία δημιουργίας των συνθετικών δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, εφαρμόστηκε η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών με τη χρήση του περιβάλλοντος Matlab και σχετικών αλγορίθμων. Η όλη διαδικασία έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει τη στατική διόρθωση των συνθετικών δεδομένων, τον υπολογισμό της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας, τη σεισμική χωροθέτηση και τη σεισμική υπέρθεση (stacking). Για την επίτευξη βελτιωμένης αναπαράστασης της τομής σεισμικής υπέρθεσης έγινε χρήση του προγράμματος Transform.

Ακόμη, πραγματοποιήθηκε χωροθέτηση πριν την υπέρθεση, κατά την οποία χωροθετήθηκαν τα δεδομένα της κοινής πηγής, καθώς και κάθε πηγής μεμονωμένα, και κατόπιν προστέθηκαν τα χωροθετημένα στοιχεία από το σύνολο των πηγών, με στόχο τη διαμόρφωση της χωροθετημένης πλέον σεισμικής τομής. Στην διαδικασία της υπέρθεσης αθροίζονται όλα τα σειсмоγράμματα, το οποίο συνεπάγεται την αύξηση του πλάτους των κυμάτων που ανακλώνται και επιπλέον την ενίσχυση του σήματος των σεισμικών ανακλάσεων.

Από την επεξεργασία προέκυψε ότι η σεισμική ανάκλαση είναι κατάλληλη μέθοδος για την απεικόνιση της ζώνης ολίσθησης. Η απεικόνιση των στρωμάτων είναι περιορισμένη λόγω μικρού αριθμού πηγών. Για την καλύτερη απεικόνιση των ανακλαστήρων, προτείνεται η αύξηση τους πλήθους των σεισμικών πηγών από έξι τουλάχιστον σε είκοσι. Επιπλέον, κρίνεται κατάλληλο να επαναληφθεί η διαδικασία της στατικής διόρθωσης χρησιμοποιώντας μοντέλο δύο στρωμάτων για τον ακριβέστερο υπολογισμό της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	11
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	13
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	16
1.1. Κατολισθήσεις	16
1.2. Ταξινόμηση των Κατολισθητικών Φαινομένων	17
1.2.1. Παράμετροι ταξινόμησης	17
1.2.2. Βασικά συστήματα ταξινόμησης	17
1.3. Ταχύτητα κατολισθήσεων και καταστρεπτικότητα	23
1.4. Ο έλεγχος των Κατολισθήσεων	25
1.5. Γεωφυσικές Μέθοδοι στη Μελέτη Κατολισθήσεων	25
1.5.1. Γεωφυσική έρευνα	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ	28
2.1. Εισαγωγή	28
2.2. Σεισμική Ανάκλαση	30
2.3. Εφαρμογές της Μεθόδου Σεισμικής Ανάκλασης	31
2.4. Οι βασικές αρχές της σεισμικής ανάκλασης	32
2.4.1. Η αρχή Huygens (Ολλανδός μαθηματικός και επιστήμων)	32
2.4.2. Αρχή Fermat	32
2.4.3. Νόμος του Snell	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	34
3.1. Προσομοίωση	34
3.1.1. Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Διαφορών	35
3.1.2. Ορισμός για την οριζόντια και την κατακόρυφο έκταση ενός σεισμικού μοντέλου	36
3.1.3. Προσδιορισμός της Ελάχιστης ταχύτητας διαδόσεως των S-κυμάτων (Vs)	37
3.1.4. Η σεισμική πηγή παράγει μία κυρίαρχο συχνότητα	38
3.1.5. Η Ισαπόσταση των σεισμικών δεκτών	38
3.1.6. Αναζητώντας τα αρχεία του προγράμματος PSV_SYNTHETICS	39
3.1.7. Πως θα επιτύχουμε την διακριτοποίηση ενός μοντέλου	40
3.1.8. Εφαρμογή του προγράμματος PSV_SYNTHETICS	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	46
4.1. Αποκοπή Απευθείας Κυμάτων	46
4.2. Εισαγωγή Δεδομένων (χωρίς απευθείας) και Παραμέτρων του Πειράματος	47
4.3. Στατική Διόρθωση	48

<i>Συνάρτηση (function) για στατική διόρθωση.....</i>	<i>49</i>
<i>4.4. Δημιουργία μοντέλου μέσης τετραγωνικής ταχύτητας.....</i>	<i>52</i>
<i>4.5. Χωροθέτηση των συνθετικών δεδομένων κοινής πηγής.....</i>	<i>55</i>
<i>4.6. Δημιουργία Χωροθετημένης Σεισμικής Τομής</i>	<i>58</i>
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	67

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 1.1: Ταξινόμηση της μετακίνησης των πρανών κατά Varnes (1978).....</i>	<i>19</i>
<i>Πίνακας 1.2 :Ταξινόμηση των θραύσεων-μετακινήσεων σε ένα βραχώδες πρανές (Hoek-Bray,1977).....</i>	<i>23</i>
<i>Πίνακας 1.3:Κλίμακα της ταχύτητας της μετακίνησης των πρανών (Πηγή: Varnes, 1978).....</i>	<i>24</i>
<i>Πίνακας 4.1: Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.....</i>	<i>47</i>
<i>Πίνακας 4.2: Δοκιμές χωροθέτησης.....</i>	<i>58</i>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Διάκριση ΚΦ (Κατολισθητικά Φαινόμενα) στις πέντε κύριες κατηγορίες με βάση τον τύπο κίνησης του κατολισθαίνοντος υλικού, (Zaruba and Mencl, 1982).....	21
Σχήμα 1.2: Γεωγραφικός χάρτης, όπου αναπαρίστανται τα μέρη της μελέτης μας των Βαυαρικών Άλπεων. Το βέλος σημειώνει το Tegelberg όρος όπου, βρίσκεται η κατολίσθηση που μελετήσαμε στην εργασία μας (Sass and Krautblatter, 2007).	26
Σχήμα 1.3: Πρωταρχικό μοντέλο με τέσσερα στρώματα από τοποθεσία στις Βαυαρικές Άλπεις, συγκεκριμένα στο Tegelberg όρος, όπου χρησιμοποιήσαμε σχετικό συνδυασμό με μεθόδους γεωραντάρ, Σεισμικής και Ηλεκτρικής Τομογραφίας (Schrott and Sass, 2008.)	27
Σχήμα 2.1: Γραφική απεικόνιση της σεισμικής ανάκλασης.....	29
Πηγή: https://slideplayer.gr/slide/2299125/	29
Σχήμα 2.2 Νόμος του Snell.....	34
Σχήμα 3.1: Η ανεύρεση του συνόλου των αλγόριθμων του προγράμματος PSV_SYNTHETICS πάνω στο Current Directory.....	40
Σχήμα 3.2: Εισάγουμε τις αρχικές παραμέτρους για το μοντέλο μας επάνω στο.....	43
Σχήμα 3.3: Η απεικόνιση των στρωμάτων του μοντέλου.....	44
Σχήμα 3.4: Τα συνθετικά δεδομένα της σεισμικής πηγής στα 100m.....	45
Σχήμα 4.1. Πηγή στη θέση 100 μ. (α) Αρχική καταγραφή (β) Αποκοπή απευθείας και μετωπικών κυμάτων.....	46
Σχήμα 4.2:Θέσεις πηγών(κόκκινα αστεράκια) και γεωφώνων(μπλε κύκλοι).....	47
Σχήμα 4.3:Στατική διόρθωση.....	48
Σχήμα 4.4: Οι πηγές στα 52.5 μ στα 75μ, στα 100μ, στα 125μ, στα 147.5μ και στα 175μ. (από πάνω αριστερά προς δεξιά).....	50
Σχήμα 4.5: Στα 52.5 μ στα 75μ, στα 100μ, στα 125μ, στα 147.5μ και στα 175μ. (από πάνω αριστερά προς δεξιά).....	51
Σχήμα 4.6: Μοντέλο ταχυτήτων σε σχέση με το βάθος. Η οριζόντια μαύρη γραμμή υποδεικνύει το βάθος αποκοπής του μοντέλου.	52
Σχήμα 4.7: Μοντέλο ταχυτήτων από 19m και κάτω.....	53
Σχήμα 4.8: Μοντέλο ταχυτήτων σε σχέση με τον χρόνο.....	53
Σχήμα 4.9: Μέση τετραγωνική ταχύτητα σε σχέση με τον χρόνο.....	54
Σχήμα 4.10: Χωροθετημένα δεδομένα κοινής πηγής Θέσεις πηγής: Στα 52.5 μ στα 75μ ,στα 100μ, στα 125μ , στα 147.5μ και στα 175μ. Δοκιμές 3,4,5.....	57
Σχήμα 4.11: Σεισμική τομή χωροθέτησης: 1η Δοκιμή (δεν περιέχει την πηγή στα 175 μέτρα).....	59
Σχήμα 4.12: Σεισμική τομή χωροθέτησης: 2η Δοκιμή.....	60
Σχήμα 4.13: Σεισμική τομή χωροθέτησης: 3η Δοκιμή.....	60

<i>Σχήμα 4.14: Σεισμική τομή χωροθέτησης: 4η Δοκιμή</i>	<i>61</i>
<i>Σχήμα 4.15: Σεισμική τομή χωροθέτησης: 5η Δοκιμή</i>	<i>61</i>
<i>Σχήμα 4.16: Υπέρθυση της χωροθετημένης σεισμικής τομής (5η Δοκιμή) και της ταχύτητας όπου απεικονίζονται εν μέρει οι ανακλαστήρες 1,2 ενώ απεικονίζεται πιο ρηχά ο 3.....</i>	<i>62</i>
<i>Σχήμα 4.17: Υπέρθυση της χωροθετημένης σεισμικής τομής (2η Δοκιμή) και της ταχύτητας όπου απεικονίζονται εν μέρει οι ανακλαστήρες 1,2 ενώ απεικονίζεται πιο ρηχά ο 3.....</i>	<i>63</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1. Κατολισθήσεις

Οι μεγάλες καταστροφές της φύσεως που βλάπτουν τον πλανήτη μας απαρτίζονται ουσιαστική αιτία τραυματισμού ή θανάτου ανθρώπου και περιουσιών με σημαντικές κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις. Τις κύριες φυσικές καταστροφές επιφέρουν οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πλημμύρες καθώς και οι τυφώνες, και βέβαια οι κατολισθήσεις. Σε αρκετές χώρες της γης, οι κατολισθήσεις διακατέχουν την πρώτη αιτία ανάμεσα στα φυσικά καταστρεπτικά φαινόμενα από άποψη πρόκλησης τεραστίων φθορών. Με την αύξηση του πληθυσμού της οικουμένης, την εξάπλωση και το σχηματισμό τεραστίων αστικών κέντρων και την ανέγερση τεχνικών έργων, επήλθε κατακόρυφος αύξηση των περιστατικών αστάθειας τόσο σε φυσιολογικά όσο και σε τεχνητά κατασκευασμένα πρανή.

Οι συνέπειες αυτών των συγκεκριμένων φαινομένων αστάθειας δύνανται να καταταγούν σε άμεσες, όπως η καταστροφή ανθρώπινων ζώων και η απώλεια περιουσιών, και άλλες, όπως το γέμισμα λεκανών και ταμιευτήρων, αποφράξεις ρεμάτων, κατολίσθηση δρόμων ή άλλων αγροτικών εκτάσεων, κ.λ.π..

Τα αίτια των κατολισθήσεων είναι διάφορα και προέρχονται από παράγοντες γεωλογικούς, από τεκτονικούς, από υδρογεωλογικούς, από μεταβλητούς τοπογραφικούς, ακόμα και από μεταβαλλόμενους κλιματικούς παράγοντες. Επιπλέον από παράγοντες που συνδυάζονται ποικίλα με τον πολιτισμένο άνθρωπο και τα τεχνικά του έργα που προκαλούν αστάθμητες αστοχίες και προβλήματα στην επιφάνεια της γης. Οι πρώτες πραγματικά επιστημονικά οργανωμένες κινήσεις για τη σωστή μελέτη και πρόβλεψη έρευνα των κατολισθήσεων άρχισαν κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1950, με αναβαθμίσεις.

Ιδιαίτερως η Ελλάδα, υποφέρει συχνά από κατολισθήσεις, διότι αυτού του είδους φυσικά φαινόμενα υποβοηθούνται από τη γεωλογική σύσταση και δομή, την ειδική τεκτονική και την γεωμορφολογία της Ελλάδος. Το ζήτημα θα μπορούσε αξιολογείται ως ξεχωριστής σημασίας τόσο για την κοινωνία όσο και για την οικονομία, εφόσον οι απαντώμενες επιπτώσεις αφορούν σε φθορές επάνω στα δίκτυα των οδών και τεχνικά

έργα. Επιπλέον επάνω σε ολοκλήρους οικισμούς οι οποίοι πρέπει να εκκενωθούν και να εγκαταλειφθούν για λόγους ασφαλείας και κινδύνου.

1.2. Ταξινόμηση των Κατολισθητικών Φαινομένων

1.2.1. Παράμετροι ταξινόμησης

Κατολισθήσεις αποκαλούνται οι μετακινήσεις ολοκλήρων βράχων ή εδαφικών τμημάτων που γίνονται σε επικλινείς κατά τη μορφή επιφάνειες, υπό την ενέργεια της βαρύτητας.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορα συστήματα για την ταξινόμηση των ποικίλων Κατολισθητικών Φαινομένων βασισμένα κυρίως στις ακόλουθες παραμέτρους: 1) είδος μετακινούμενου όγκου και υλικού, 2) τύπος-μορφή μετακίνησης, 3) περιεκτικότητα σε νερό, 4) ταχύτητα κίνησης, 5) αίτιο και έναυσμα κίνησης (δυναμικό-στατικό φορτίο, πίεση νερού, ανθρώπινος παράγοντας), 6) περιβάλλον μετακίνησης (ξηρά, θάλασσα, λίμνη), 7) γεωμετρία και μορφολογία δημιουργούμενης σταθερής επιφάνειας, 8) καθεστώς φυτοκάλυψης και χρήσης γης, 9) μέγεθος και σπουδαιότητα, 10) σχέση με ενεργότητα (ενεργή κατολίσθηση, ανενεργή, παλιά), 11) ακολουθία μηχανισμών από την αρχή ως το τέλος της μετακίνησης, 12) κλιματικές συνθήκες.

Επίσης οι κλασσικές κατολισθήσεις διακρίνονται ανάλογα με το μέγιστο βάθος της επιφάνειας ολίσθησης σε αβαθείς (shallow) και βαθιές (deep-seated). Οι βαθιές κατολισθήσεις περιλαμβάνουν συνήθως μεγάλου πάχους ύλης ή τμήμα από το βραχώδες υπόβαθρο (bedrock) πρηνών ταυτόχρονα με το επιφανειακό εδαφικό τους κάλυμμα (συνήθως μανδύας αποσάθρωσης) και είναι περιστροφικές ολισθήσεις.

1.2.2. Βασικά συστήματα ταξινόμησης

Τα δύο πιο γνωστά συστήματα ταξινόμησης των κατολισθήσεων, που εξελίχθηκαν βέβαια στην πορεία του χρόνου και είναι γενικότερα αποδεκτά σήμερα, είναι αυτά που προτάθηκαν από τον D. J. Varnes (1978). Και τα δύο βασίζονται στις παρακάτω τέσσερις κύριες παραμέτρους:

- Τύπος κίνησης (5 τύποι: ολισθήσεις, καταπτώσεις, ανατροπές, πλευρικές εξαπλώσεις, ροές-ρεύματα)
- Τύπος υλικού (3 τύποι: βραχώδες, εδαφικό, κορήματα),

- Ταχύτητα κίνησης (7 φάσματα τιμών: από εξαιρετικά ταχεία 5μ/δευτ., έως εξαιρετικά αργή $\leq 50\chi\lambda\sigma\tau/\acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma$)

- Περιεχόμενη υγρασία (4 κατηγορίες: ξηρή κατάσταση, παρουσία υγρασίας αλλά όχι κινούμενο νερό, σημαντική παρουσία νερού κινούμενου ή επιφανειακά λιμνάζοντος, και πλήρως κορεσμένο με νερό υλικό που ρέει σαν ρευστό σε μικρές κλίσεις πρανούς)

Ο τύπος κίνησης και ο τύπος υλικού αποτελούν τα απαραίτητα συστατικά του ονόματος (forming names) κάθε τύπου κατολισθητικού φαινομένου π.χ. ολίσθηση κορημάτων, κατάπτωση βράχων, ροή γαιών, κλπ.

Παρά τις αρχικές διαφορές τα συστήματα αυτά συνέκλιναν σταδιακά και χρησιμοποιούν σήμερα την ίδια βασικά ορολογία. Το σύστημα του Varnes, είναι ίσως πιο εύκολο στην εφαρμογή.

Το αναφερόμενο σύστημα της ταξινόμησης του **Varnes** (1978) περιέχει όλες τις μορφές μετακίνησης που θα ήταν δυνατόν να προκύψουν επάνω σε πρανή. Η κάθε ταξινομική μορφή εκφράζεται από δύο ονομασίες (forming names). Η πρώτη προσδιορίζει τον τεχνικό γεωλογικό τύπο της ύλης το δε άλλο τον τεχνικό γεωλογικό τύπο της μετακινήσεως.

Έτσι, ανάλογα με τον τεχνικό γεωλογικό τύπο του υλικού, διακρίνουμε:

- την κατηγορία των *βραχωδών σχηματισμών (rock)*, όπου η κίνηση αναφέρεται είτε σε συμπαγή-μεμονωμένα τμήματα, είτε σε *βραχομάζα (rock mass)* αποτελούμενη από σύνολο βραχωδών τεμαχών διακεκριμένων μέσω δομικών ασυνεχειών (διακλάσεις, στρώσεις, κλπ) , και

- δύο κατηγορίες *εδαφικών σχηματισμών* : τα *κορήματα (debris)* με επικράτηση αδρομερούς-χονδρόκοκκου υλικού και τις *γαίες (earth)* με επικράτηση του λεπτομερούς-λεπτόκοκκου υλικού

Ανάλογα δε, με τον *τύπο της μετακίνησης*, προβαίνουμε στην κάτωθι κατάταξη:

- *Καταπτώσεις (falls)*
- *Ανατροπές (topples)*
- *Ολισθήσεις (slides)*
- *Πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)*
- *Ροές (flows)*

- *Σύνθετες κινήσεις (complex).*

(στ) Σύνθετες μετακινήσεις (complex)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.
Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών (κατά Varnes, in Schuster-Krizek, 1978).

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ			ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ (πρίν τήν κίνηση)	
			Υπόβαθρο	Έδαφος
				Επικρατούν τά άδρομερή ύλικά Επικρατούν τά λεπτόκοκκα ύλικά
Πτώσεις			Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων Πτώσεις γαιών
Ανατροπές			Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων Ανατροπές γαιών
Ολίσθησεις	Περιστροφικές	Λίγες μονάδες	Κάθιση βράχων	Κάθιση κορημάτων Κάθιση γαιών
	Μεταθετικές	Πολλές μονάδες	Ολίσθηση τεμάχους Ολίσθηση βράχων	Ολίσθηση τεμάχους κορημάτων Ολίσθηση κορημάτων Ολίσθηση γαιών Ολίσθηση γαιών
Πλευρικές εκτάσεις			Έκταση βράχων	Έκταση κορημάτων Έκταση γαιών
Ροές			Ροή βράχων (βαθύς έρπυσμός)	Ροή κορημάτων Ροή γαιών (έρπυσμός έδάφους)
Σύνθετες			Συνδυασμός δύο ή περισσότερων κύριων τύπων μετακίνησης	

2019-10-6 12:33

Πίνακας 1.1: Ταξινόμηση της μετακίνησης των πρανών κατά Varnes (1978)

Ας σημειωθεί τέλος ότι, ο τύπος που αναφέρεται στη *σύνθετη* κατολίσθηση δεν εμφανίζεται στην επίσημη, ισχύουσα ταξινόμηση, αν και οι πιο πολλές κατολισθητικές κινήσεις λογίζονται ως πιο σύνθετες. Δηλαδή, αποτελούνται από συνδυασμό περισσότερων ενός τύπου κινήσεων, πλην όμως, *σχεδόν πάντοτε ένας τύπος είναι ο χαρακτηριστικός που επικρατεί*.

Ο **Erskine** (1973), λαμβάνοντας υπόψη ποικίλα περιβαλλοντολογικά δεδομένα, καθώς και όλες τις απαραίτητες επιμέρους χρήσεις γης, προτείνει αυτός πρώτος το κριτήριο που αναφέρεται στην *ενεργότητά τους (activity)*, με βάση το οποίο ταξινομεί τις κατολισθήσεις στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

- *Οι Σταθεροποιημένες κατολισθήσεις* (εκείνες που δεν παρουσιάζουν κάποιες ενδείξεις από πρόσφατη ενεργοποίηση).

- *Πρόσφατα ενεργές σχετικά κατολισθήσεις* (όσες ενεργοποιούνται με πρόσφατες μετατοπίσεις, χωρίς να υφίσταται παρόμοιο παρελθόν).
- *Κατολισθήσεις που πάλι παρουσιάστηκαν αρκετά πρόσφατα* (αφού υπήρξε μια μακρά περίοδος που είχαν σταθερότητα).
- *Ενεργές διαρκώς κατολισθήσεις* (όλες εκείνες που επί μεγάλο χρονικό διάστημα στο παρελθόν ήταν ενεργές και συνεχίζουν να είναι σε δράση και να μην έχουν καμία σταθεροποίηση και σήμερα).

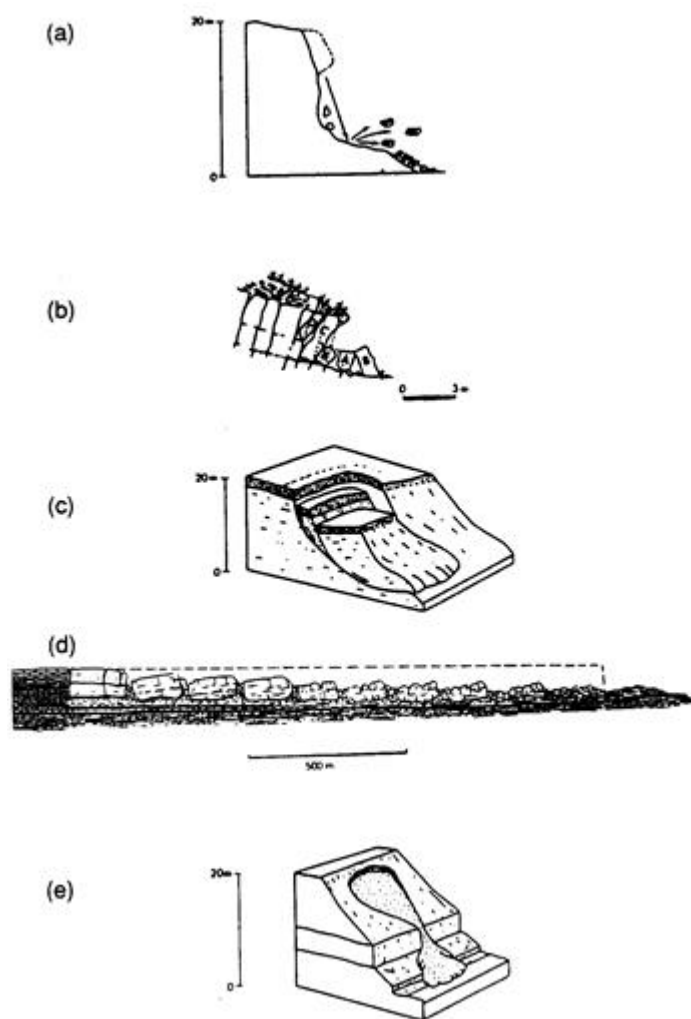
Οι **Zaruba and Mencl** (1982) λαμβάνοντας υπόψιν τα στοιχεία της γεωλογικής δομής της πατρίδας τους ταξινόμησαν τις κατολισθητικές μετακινήσεις σε δύο ομάδες γεωλογικού υλικού:

- Αυτές που αφορούν τους εδαφικούς σχηματισμούς του *τεταρτογενούς καλύμματος* (χαλαρές αποθέσεις, ζώνη αποσάθρωσης ή κερματισμού), και
- Αυτές που αφορούν τη βραχομάζα του προ-τεταρτογενούς υποβάθρου (διάφορες κατηγορίες γεωλογικής δομής)

Οι μορφές μετακίνησης είναι οι κάτωθι:

Οι περιστροφικές, οι μεταθετικές-στρωματοειδείς, οι καταπτώσεις, οι ροές, οι ερπυσμοί, οι συνθλίψεις-εξαπλώσεις μαλακών πετρωμάτων.

Αυτή η κατάταξη είναι αρκετά απλή και γι' αυτό το λόγο έγινε αρκετή χρήση της.



Σχήμα 1.1: Διάκριση ΚΦ (Κατολισθητικά Φαινόμενα) στις πέντε κύριες κατηγορίες με βάση τον τύπο κίνησης του κατολισθαίνοντος υλικού, (Zaruba and Mencl, 1982)

- Οι περιστροφικές κατολισθήσεις είναι ολισθήσεις κυκλικής μορφής και εμφανίζονται κατά κύριο λόγο επάνω σε σχηματισμούς με χαλαρή σύνδεση ή με λογική διαγένεση και παρουσιάζουν εν γένει σημαντικό πάχος.
- Οι καταπτώσεις βράχων λαμβάνουν χώρα σε μεγάλης κλίσεως πρανή, καθώς και σε σχεδόν κάθετες βραχώδεις ακτές. Αναφερόμεθα σε αποσπάσεις μεγάλων ή μικρών τεμαχίων και ακολούθως σε μία κίνηση στην επιφάνεια του πρανού ή σε μια ελεύθερη πτώση στο κενό.

- Οι *ολισθήσεις βραχωδών μαζών* εκδηλώνονται κατά μήκος προετοιμασμένων (μίας, δύο-σφηνοειδείς ή και περισσότερων) πλευρών ασυνέχειας, οι οποίες έχουν κλίση προς το εν λόγω πρηνές.

- Οι *μεταθετικές ή στρωματοειδείς κατολισθήσεις* εκδηλώνονται σε πρηνή, στα οποία τα κορήματα και τα διάφορα υλικά αποσάθρωσης επικάθονται πάνω σε αργιλομαργαϊκά ή διάφορα σχιστολιθικά πετρώματα ή όπου το ίδιο το πέτρωμα είναι σε κατάσταση κερματισμού και αποσάθρωσης. Το πάχος του μετακινούμενου υλικού είναι γενικά μικρό. Το επίπεδο ολίσθησης είναι περίπου παράλληλο προς το φυσικό πρηνές. Ανάλογες κατολισθητικές κινήσεις εκδηλώνονται σε ιζηματογενείς σχηματισμούς με σαφώς εκφρασμένη στρώση και κλίση στρωμάτων ομόρροπη προς το πρηνές.

- Οι *συνθλίψεις-εξαπλώσεις μαλακών πετρωμάτων*, αφορούν πρηνή δομημένα από σύνθετους στρωσιγενείς γεωλογικούς σχηματισμούς, όπως ο φλύσχης, όπου στρώματα μαλακών πετρωμάτων αργιλοπηλίκης σύστασης παρεμβάλλονται μεταξύ σκληρών ανθεκτικών πετρωμάτων. Η υπέρβαση της κρίσιμης μηχανικής αντοχής των μαλακών πετρωμάτων (λόγω του βάρους των υπερκείμενων ή και λόγω αποσάθρωσης) έχει σαν πρώτο αποτέλεσμα την θραύση ή λέπτυνση του πάχους και ταπείνωση της άνω επιφάνειας με ταυτόχρονη πλευρική τους εξάπλωση (spreading). Συνοδευτικό αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η αστοχία και μετακίνηση προς τα κάτω της συνολικής βραχομάζας του πρηνούς αναφοράς.

- Στις γαίες μπορεί να μεταπέσει οποιαδήποτε κατολίσθηση, όταν τα εδαφικά υλικά διαβραχούν, ώστε να επέλθει κορεσμός τους, που έχει σαν συνέπεια την αύξηση του βάρους. Χαρακτηρίζονται από υψηλή κινητική ενέργεια της μάζας που ολισθαίνει. Τα κορήματα θεωρούνται περισσότερο σαν υλικό με συνεχή αλλαγή μετώπου κίνησης και εσωτερική αναδιάταξη του υλικού και όχι σαν ολίσθηση μάζας. Πρόκειται για την γνωστή ταχεία κίνηση πλευρικών κορημάτων φυσικών κλιτύων.

- *Ροή* από ρευστοποίηση της άμμου ή παρεμφερούς κοκομετρικά αδρομερούς υλικού, δύναται να προέλθει τόσο από ξαφνικές αλλαγές του επιπέδου στάθμης των υπόγειων υδάτων, επίσης από δονήσεις. Απόπλυση στρώματος άμμου και ροής είναι δυνατή όταν αμμώδες στρώμα παρεμβάλλεται μεταξύ δύο υδατοστεγών συνεκτικών εδαφικών στρώσεων.

Οι **Hoek και Bray** (1977) στην κατάταξή τους, που θεωρήθηκε η ευρέως αποδεκτή, διακρίνουν διαφόρους τύπους μετακίνησης και κατατάσσονται σε απλές και σύνθετες θραύσεις και αναφέρονται στα πρανή που είναι βραχώδη.

<p>Απλές θραύσεις (ή αστοχίες: failures)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Επίπεδες ολισθήσεις ➤ Κυκλικές ολισθήσεις ➤ Ανατροπές τεμαχών ➤ Πτώσεις τεμαχών
<p>Σύνθετες θραύσεις (ή αστοχίες: failures)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Σφηνοειδείς ολισθήσεις (που ελέγχονται από δύο επιφάνειες) ➤ Ολισθήσεις και ανατροπές ➤ Προοδευτικές θραύσεις-μετακινήσεις

Πίνακας 1.2 :Ταξινόμηση των θραύσεων-μετακινήσεων σε ένα βραχώδες πρανές (Hoek-Bray,1977)

1.3. Ταχύτητα κατολισθήσεων και καταστρεπτικότητα

Η καταστρεπτικότητα μιας κατολίσθησης, είναι μεγάλη ή μικρή ανάλογα με την ταχύτητα με την οποία προχωρά. Ο Varnes (1978) διαχωρίζει τις κατολισθήσεις, με κριτήριο την ταχύτητα προόδου τους, στις αργές, στις μέτριες και στις γρήγορες.

Ταχύτητα μετακίνησης	Χαρακτηρισμός της μετακίνησης
---	έξαιρετικά γρήγορη
---3m/sec	
---	πολύ γρήγορη
---0,3m/min	
---	γρήγορη
---1,5m/d	
---	μέτρια
---1,5m/μήνα	
---	αργή
---1,5m/χρόνο	
---	πολύ αργή
---0,6m/χρόνο	
---	έξαιρετικά αργή

Πίνακας 1.3:Κλίμακα της ταχύτητας της μετακίνησης των πρανών
(Πηγή: Varnes, 1978)

Είναι αλήθεια ότι αρκετές κατολισθήσεις, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν το μέγεθος τους, επιδεικνύουν στη περίοδο της εκδηλώσεώς τους χαρακτήρες μικτής μορφής, με άλλα λόγια κομμάτια, ή το σύνολο της μετακινούμενης ύλης εμφανίζουν διαφοροποιημένες ταχύτητες μεταφοράς.

Επίσης πρωταρχικό γνώρισμα των κατολισθήσεων αναφέρεται στον όγκο μετακίνησης της κατολισθαίνουσας μάζας, που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό στις διάφορες τεχνικές εργασίες που έγιναν στην περιοχή οι οποίες δημιουργήθηκαν για την διασφάλιση των πρανών. Η κατολίσθηση μπορεί να κυμαίνεται από λίγα εκατοστά μέχρι μερικά km, και επιβάλλεται πάντοτε να μελετάται αναφορικά με την ταχύτητα που εξελίσσεται και τον συνολικό όγκο της μετακίνησης.

Θα άξιζε επίσης να καταγραφεί πως οι κατολισθήσεις σε μια εκτεταμένη περιοχή, δεν αναφέρονται μόνο σε μία κατολίσθηση, αλλά σε ομάδα μικρών, καθώς και ογκωδών παρομοίων κατολισθήσεων, οι οποίες, επειδή διατελούν υπό τους ίδιους ή παρομοίους κανόνες δημιουργίας μορφοποιούνται, ομαδικά ή αλυσιδωτά.

1.4.Ο έλεγχος των Κατολισθήσεων

Ο έλεγχος των κατολισθήσεων απαρτίζει ένα τομέα τεραστίας επιστημονικής σπουδαιότητας, εξαιτίας του γεγονότος της καταστρεπτικότητας μιας κατολίσθησης και όλων των ανθρωπίνων ατυχημάτων ή υλικών καταστροφών που απορρέουν εξ αυτών. Ειδικά, για την παρακολούθηση και προστασία κάνουμε χρήση μερικών γεφυρικών μεθόδων όπως π.χ, τη λεγόμενη μέθοδο του Γεωραντάρ και μεθόδους συνδυασμού Σεισμικής μαζί με Ηλεκτρική Τομογραφία (Sass and Krautblatter, 2007 , Schrott and Sass, 2008.). Επίσης, με την εξάπλωση των εντελώς νέων συστημάτων του δορυφορικού εντοπισμού επάνω στην επιφάνεια της γης, χρησιμοποιείται η λίαν αποτελεσματική μέθοδος του Παγκόσμιου Δορυφορικού Προσδιορισμού Θέσης (GPS) με την οποία παρακολουθούμε τις μετακινήσεις επάνω στο φλοιό της γης (Wieczorek and Snyder, 2009).

Επιπλέον, χρησιμοποιούνται οι οπτικές για την ενόργανη παρακολούθηση των κατολισθήσεων και είναι τα ακόλουθα:

- Τοπογραφικά όργανα , σε ένα Ολικό Γεωδαιτικό Σταθμό (Total Station) και μετρητές τύπου GPS.
- Κλισιόμετρα και αποκλισιόμετρα (Inclinometers)
- Πιεζόμετρα (Piezometers)
- Ρωγμόμετρα (Crackmeters)
- Ραντάρ (Radar)
- Γεώφωνα (Geophones)
- Τις Οπικές ίνες (Optic fibers)
- Εκτασιόμετρα

1.5. Γεωφυσικές Μέθοδοι στη Μελέτη Κατολισθήσεων

1.5.1. Γεωφυσική έρευνα

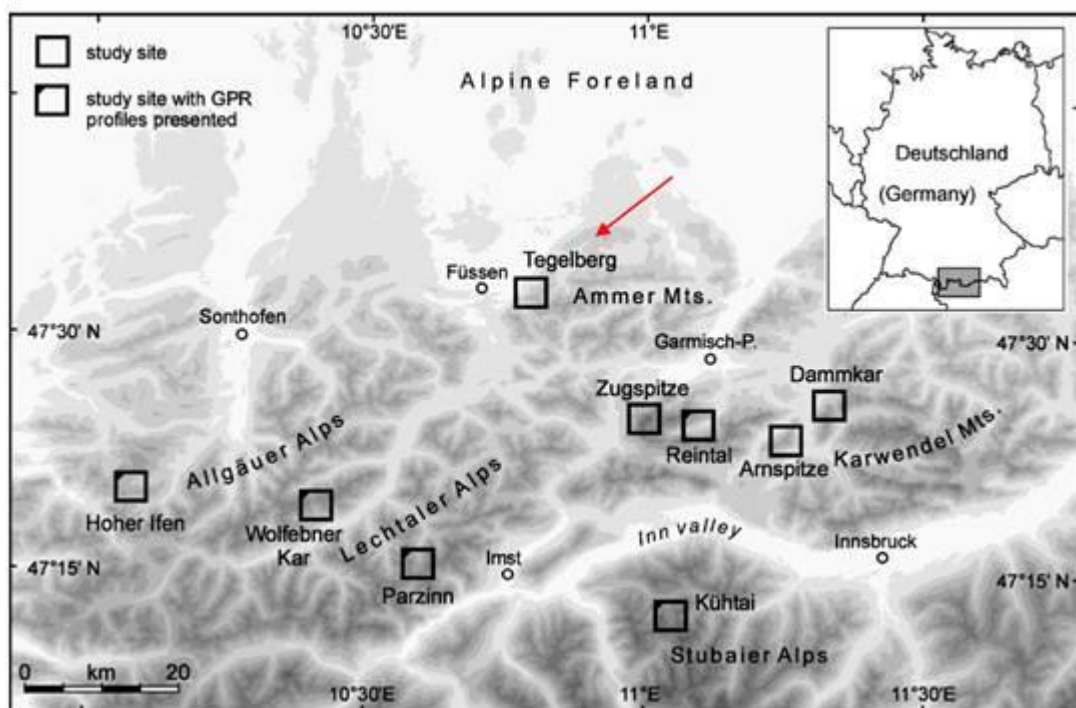
Στο ερευνητικό στάδιο μίας κατολίσθησης, σημαντική είναι η προσφορά της γεωφυσικής, για ταχεία και οικονομική προκαταρκτική αναγνώριση των υπεδαφικών συνθηκών. Οι γεωφυσικές μέθοδοι που έχουν σήμερα βρει μεγάλη εφαρμογή στην έρευνα

των κατολισθήσεων, είναι αυτές της ηλεκτρικής αντίστασης και της σεισμικής διάθλασης.

Η μέθοδος ηλεκτρικής αντίστασης, παρέχει γρήγορα και οικονομικά, μία κατά προσέγγιση εκτίμηση του είδους της ύλης και του βάθους μέχρι του οποίου θα πρέπει να φθάνουν αυτά. Όταν χρησιμοποιείται σε συσχέτισμό με άλλες γεωφυσικές τεχνικές και διαθέσιμες είναι οι γεωλογικές πληροφορίες, τότε η βοήθεια είναι πλέον αποτελεσματική.

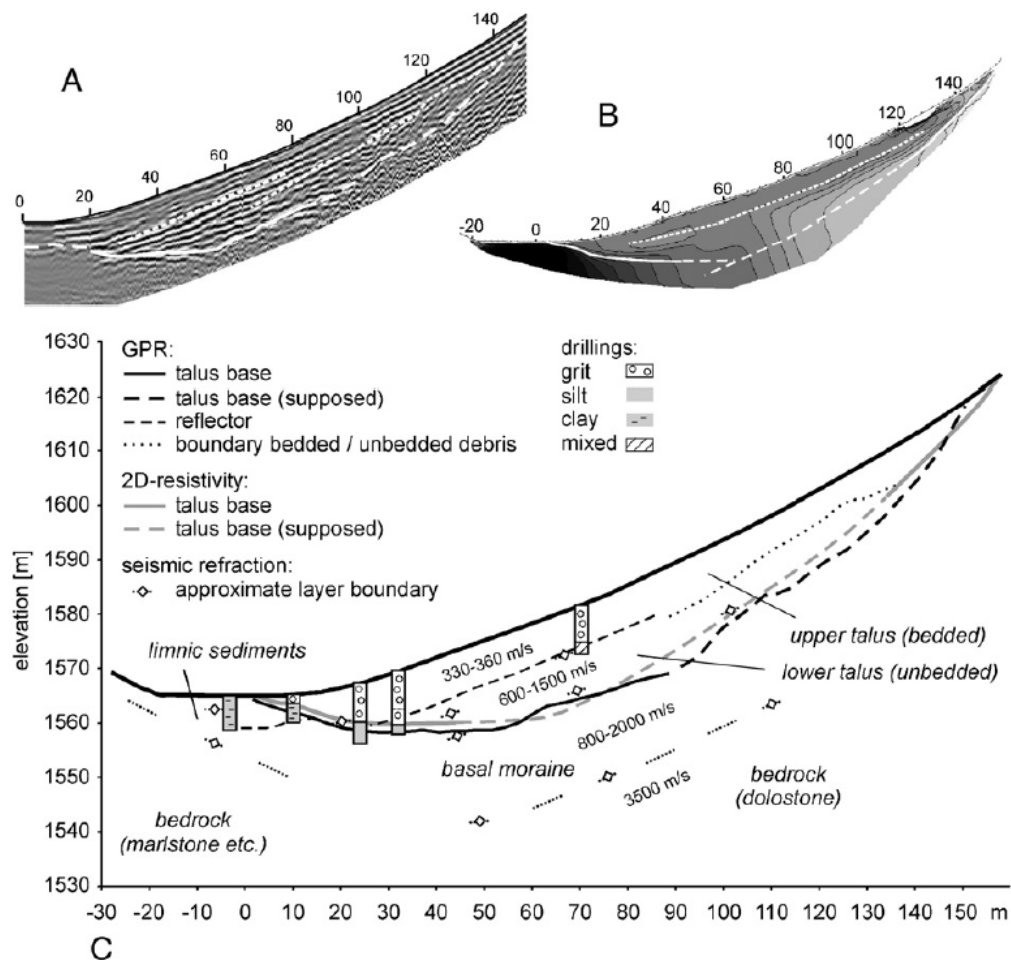
Η μέθοδος σεισμικής διάθλασης είναι επίσης πολύ χρήσιμη στην περιχάραξη μίας κατολίσθησης πολύπλοκης φύσης. Σε μερικές θέσεις όμως η αξιοπιστία της ερμηνείας σεισμικών στοιχείων είναι αμφίβολη, εάν δεν υπάρχουν άλλα κριτήρια όπως η λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση.

Στην διπλωματική εξετάζεται μια περιοχή που ανήκει στις Άλπεις της Βαυαρίας. Συγκεκριμένα στο Tegelberg, ένα όρος με υψόμετρο 1881 m που βρίσκεται σε ένα από τα 16 ομόσπονδα κράτη της Γερμανίας, τη Βαυαρία. Η μελέτη της σεισμικής διάθλασης πραγματοποιήθηκε από τους ερευνητές σε μια πλαγιά μέτριας κλίσεως 21° και βατά απόκρυμνη που είχε πλευρικά κορήματα.



Σχήμα 1.2: Γεωγραφικός χάρτης, όπου αναπαρίστανται τα μέρη της μελέτη μας των Βαυαρικών Άλπεων. Το βέλος σημειώνει το Tegelberg όρος όπου, βρίσκεται η κατολίσθηση που μελετήσαμε στην εργασία μας (Sass and Krautblatter, 2007).

Το πρωταρχικό μοντέλο στην περιοχή των Άλπεων της Βαυαρίας και στο Tegelberg όρος. Το μοντέλο ανέκυψε από μεθόδους γεωραντάρ, με ηλεκτρική τομογραφία και σεισμική διάθλαση. Στο μοντέλο μας η επιφάνεια ολίσθησης βρίσκεται μεταξύ του πηλτικού υποβάθρου και των πλευρικών κορημάτων. Είναι η υπό κλίση διακεκομμένη μαύρη γραμμή που εμφανίζεται στο κάτωθι σχήμα.



Σχήμα 1.3: Πρωταρχικό μοντέλο με τέσσερα στρώματα από τοποθεσία στις Βαυαρικές Άλπεις, συγκεκριμένα στο Tegelberg όρος, όπου χρησιμοποιήσαμε σχετικό συνδυασμό με μεθόδους γεωραντάρ, Σεισμικής και Ηλεκτρικής Τομογραφίας (Schrott and Sass, 2008.)

Η εργασία στηρίχθηκε στο μοντέλο όπου εισήχθη στο σχετικό πρόγραμμα σχεδίασεως, ώστε να μεταβληθεί και να λάβει ψηφιακή μορφή. Κατόπιν, πραγματοποιήθηκαν οι αναγκαίες διαδικασίες για να επιτευχθεί η προσομοίωση, δημιουργώντας συνθετικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας του μαθηματικούς αλγορίθμους PSV_SYNTHETICS μέσα σε περιβάλλον Matlab.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ πως το αρχικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε λήφθηκε από την διπλωματική του Ακριτίδη Μάριου ο οποίος πραγματοποίησε προσομοίωση διασκόπησης σεισμικής διάθλασης και δημιούργησε συνθετικά δεδομένα για 5 διαφορετικές σεισμικές πηγές οι οποίες ήταν οι ακόλουθες: πρώτη πηγή στα 5 m, δεύτερη στα 52,5m όπου χρησιμοποιήθηκε και στην συγκεκριμένη εργασία, όπως επίσης και στα 100m, καθώς και η τέταρτη πηγή στα 147,5 m κ τέλος η πέμπτη πηγή στα 195m. (Ακριτίδης, 2018)

Εν συνεχεία στη συγκεκριμένη εργασία δημιουργήθηκαν άλλες 3 διαφορετικές θέσεις πηγών κατά μήκος του μοντέλου στα 75m, στα 125m και στα 175m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

2.1. Εισαγωγή

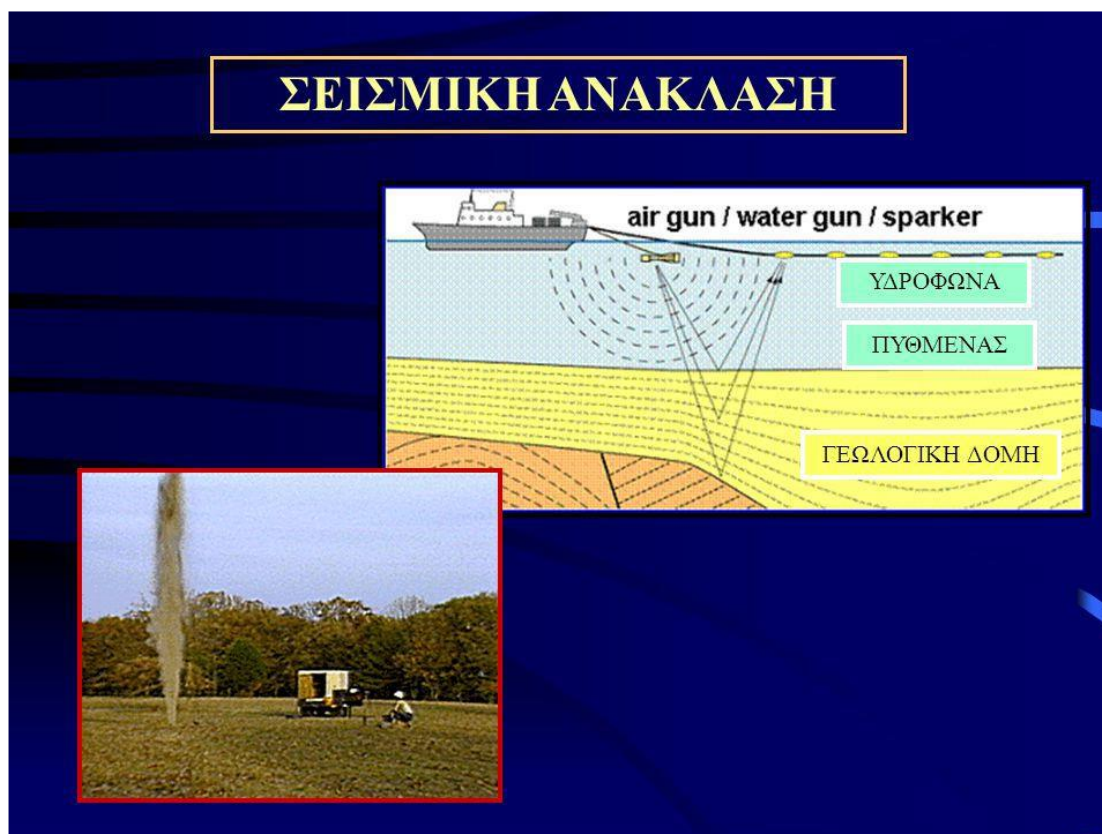
Ανάκλαση αποκαλείται εκείνο το φαινόμενο κατά το οποίο αλλάζει η διεύθυνση που διαδίδεται το μέτωπο ενός κύματος δια μέσω του ιδίου υλικού, επάνω στην επιφάνεια διαχωρισμού δύο υλικών. Τα συνήθη παραδείγματα ανάκλασης είναι εκείνα των κυματικών μορφών του ήχου και του ύδατος.

Είναι γνωστό ότι με την επιστημονική αυτή μέθοδο προσδιορίζεται η γεωλογική δομή μίας περιοχής, με στοιχεία που προκύπτουν από τις μεταβολές στην διάδοση των διαφόρων ειδών ελαστικών κυμάτων. Συγκεκριμένα παράγουμε διάφορα ελαστικά κύματα με πηγές επάνω επιφάνεια της γης ή της θαλάσσης ή σε μικρά βάθη. Τα εν λόγω κύματα μεταφέρονται δια μέσου των στρωμάτων του φλοιού, στα οποία υφίστανται διαδοχικές ανακλάσεις ή και διαθλάσεις επάνω στα επίπεδα των διαχωριστικών επιφανειών. Κατόπιν καταγράφουμε τα κύματα αυτά με ειδικά όργανα-δέκτες τα γεώφωνα και τα υδρόφωνα τα οποία έχουμε στήσει σε κάποια μικρή σχετικά απόσταση από την πηγή ή και σε κάποιο μικρό βάθος το οποίο όμως επιβάλλεται να είναι πολύ μικρότερο σχετικά από το εκείνο το βάθος όπου επιθυμούμε να πραγματοποιήσουμε την διασκόπηση.

Η σεισμική ανάκλαση χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο επειδή παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Οι σεισμικές καταγραφές συλλέγονται σε μικρές αποστάσεις πηγής- δέκτη.

- Λειτουργεί χωρίς να εξαρτάται από τους τρόπους δια των οποίων η ταχύτητα μεταφοράς της κίνησης αλλάζει ανάλογα με το βάθος.
- Οι σεισμικές καταγραφές ερμηνεύονται πιο εύκολα και με άμεσο τρόπο χωρίς να επηρεάζονται από την περιπλοκότητα της γεωλογικής δομής.



Σχήμα 2.1: Γραφική απεικόνιση της σεισμικής ανάκλασης

Πηγή: <https://slideplayer.gr/slide/2299125/>

Ένας τυπικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στις μεθόδους της σεισμικής ανάκλασης αποτελείται από:

- **Σεισμική πηγή:** Αποτελεί μια συσκευή, η οποία διοχετεύει την σεισμική ενέργεια μέσα στο έδαφος. Αυτές οι συσκευές πρέπει να είναι επαναληπτικές και πρέπει να ελέγχεται ο μετρήσιμος χρόνος εκπομπής της σεισμικής κυματικής ενέργειας προς το εσωτερικό του εδάφους ή του ύδατος.
- **Γεώφωνα:** αποτελούν τις συσκευές, οι οποίες καταγράφουν την κίνηση του εδάφους η οποία παράγεται από μια σεισμική πηγή.
- **Υδρόφωνα:** χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τον εντοπισμό και την καταγραφή των διαφόρων κυμάτων πίεσης τα οποία όμως προέρχονται από διάφορες σεισμικές πηγές μέσα στη θάλασσα.

- **Σύστημα καταγραφής:** το οποίο αποθηκεύει την εδαφική κίνηση, την οποία καταγράφουν τα γεώφωνα.

Οι συγκεκριμένες γεωφυσικές μέθοδοι είναι διαδεδομένες και χρησιμοποιούνται τόσο για βαθιές όσο και για τις ρηχές διασκοπήσεις. Αυτή η μεθοδολογία εφαρμόζεται εδώ και εννέα δεκαετίες. Αυτή η μεθοδολογία κρίνεται πολύ ικανοποιητική επάνω στην διερεύνηση των διαφόρων κοιτασμάτων πετρελαίου ή και φυσικού αερίου, και γι' αυτό το λόγο έχει επικρατήσει και θεωρείται ως η πιο φερέγγυα για το θέμα αυτό.

Η μέθοδος αυτή αναπαριστά ολόκληρη τη γεωλογική κατάσταση σε μεγάλο βάθος πολλών χιλιομέτρων. Η μέθοδος στηρίζεται επάνω στους νόμους των διαφόρων ελαστικών κυμάτων που προκύπτουν με τη λειτουργία κάποιας πηγής, όπως δυναμίτη, συστοιχία κάποιων ειδικών αεροβόλων, διάφορα vibroseis κ.τ.λ.. Τα κύματα μεταφέρονται δια μέσου των στρωμάτων του φλοιού, και κατόπιν ανακλώνται ή και διαθλώνται επάνω στις διάφορες διαχωριστικές επιφάνειες και διεγείρουν τα γεώφωνα. Ενώ για τις θαλάσσιες διασκοπήσεις τα ειδικά υδρόφωνα μετρούν τη διαφορά της πίεσης του ύδατος σε συνάρτηση με το χρόνο. Κατά αυτόν τον τρόπο τα καταγεγραμμένα κύματα σε συνάρτηση με το χρόνο συνθέτουν το λεγόμενο σεισμόγραμμα.

2.2.Σεισμική Ανάκλαση

- Οι λεγόμενες σεισμικές μέθοδοι θεωρούνται λίαν ακριβείς για τον καθορισμό της υφής και της δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης.

- Με τη μέθοδο αυτή δεν είναι εφικτή η μέτρηση οποιασδήποτε ιδιότητας του πετρελαίου αλλά εντοπίζονται δομές, όπου είναι πιθανή η παγίδευση πετρελαίου(έμμεση μέθοδος).

- Στη συγκεκριμένη μέθοδο κάνουμε μελέτη για τα κύματα P που έχουν ανακλαστεί, και κινούνται κατακόρυφα. Εν προκειμένω η κίνηση και η διεύθυνση ταλάντωσης των διαφόρων υλικών σημείων μας είναι κάθετος. Αυτοί οι κυματισμοί καταφθάνουν στα γεώφωνα που είναι εξαιρετικά ευαίσθητα ώστε να καταμετρούν τις διάφορες κατακόρυφες εδαφικές μετακινήσεις. Πολλές φορές μαζί με τις επιθυμητές καταγραφές της κατακόρυφης συνιστώσας των κυμάτων P καταμετρώνται και διάφορα άλλα επιφανειακά κύματα από άλλες πηγές ή αιτίες ή θορύβους.

- Στη μέθοδο αυτή, τα κύματα της ανάκλασης καταγράφονται από το γεώφωνα, που τοποθετήθηκαν πλησίον της γης την επιφάνεια. Από τις καταγραφές μετρώνται οι διάφοροι χρόνοι επιστροφής που χρειάζονται τα ανακλώμενα κύματα. Από τους καταγεγραμμένους χρόνους που απαιτούνται για τη διαδρομή υπολογίζονται τόσο η σεισμική ταχύτητα, όσο και η διάσταση των γεωλογικών υλικών. Σε αυτή τη παράγραφο θα προσδιορίσουμε τους χρόνους διαδρομής ανακλώμενων κυμάτων σε οριζόντια διαχωριστική επιφάνεια. Οι ίδιες αρχές εφαρμόζονται και στη περίπτωση που εμφανίζονται περισσότερες από μία διαχωριστικές επιφάνειες. Οι σχέσεις που προκύπτουν χρησιμοποιούνται στην μελέτη όχι μόνο των επιφανειακών στρωμάτων αλλά και βαθύτερων στρωμάτων του φλοιού της γης.

2.3. Εφαρμογές της Μεθόδου Σεισμικής Ανάκλασης

Η εν λόγω μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης, εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1914 από τον канаδό εφευρέτη Fessenden που αφού μέτρησε το χρόνο που έκαναν τα ανακλώμενα κύματα να επιστρέψουν από τον πυθμένα της θάλασσας κατόπιν υπολόγισε το βάθος της. Αυτή η μέθοδος πανομοιότυπα και στην εποχή μας είναι η πιο διαδεδομένη στη γεωφυσική. Η τεράστια ωφέλεια έγκειται στο γεγονός ότι μπορούμε να κάνουμε λεπτομερή χαρτογράφηση των διαφόρων επιφανειών ασυνέχειας με ανάλογη πιστότητα όπως από εκείνη που προκύπτει από τα στοιχεία των γεωτρήσεων. Ακόμη είναι εφικτή η χαρτογράφηση γεωλογικών στρωμάτων που υπάρχουν σε τεράστια βάθη χωρίς να χρειάζεται να υπάρχει αρκετά μεγάλη απόσταση ανάμεσα στα γεώφωνα, ενώ δεν υφίστανται αλλαγές στις μετρήσεις που προέρχονται από στρώματα με χαμηλή σεισμική ταχύτητα. Αυτό επιτυγχάνεται με μεγάλη ακρίβεια, τόση έχουμε και στην χαρτογράφηση των επιφανειακών στοιχείων. Κατά τα προηγούμενα χρόνια, η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόστηκε αποτελεσματικά για την αναζήτηση και τον εντοπισμό διαφόρων εκμεταλεύσιμων κοιτασμάτων πετρελαίου αλλά και φυσικού αερίου. Δηλαδή για τον προσδιορισμό των γεωλογικών υλικών που έχουν πιθανόν παγιδεύσει υδρογονάνθρακες. (Παγιαλάκης, 2014)

Στην εποχή μας αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται σε πολλές άλλες περιπτώσεις επιστημονικών ερευνών:

- Στον εντοπισμό εκμεταλευσίμων γεωθερμικών πεδίων
- Στην αναλυτική μελέτη των υλικών των κοντινών επιπέδων του φλοιού της γης

- Στην δημιουργία χαρτογραφήσεων αρχαιολογικών χώρων και μάλιστα πολύ παλιών εποχών

- Και τέλος σε εξειδικευμένες μελέτες θεμελιώσεως μεγάλων τεχνικών έργων πχ. Γεφυρών, ουρανοξυστών, δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος ,φυσικού αερίου κ.α. (Βαφειδης 1993).

Είναι φυσικό, μια σωστή μελέτη που στηρίζεται σε διάφορες σεισμικές τεχνικές να υποστηρίζεται αναγκαστικά από στοιχεία που προέρχονται από άλλες γεωφυσικές μετρήσεις και άλλα γεωλογικά στοιχεία, αλλά και κυρίως από τα πραγματικά δεδομένα των γεωτρήσεων στην εν λόγω περιοχή.

2.4. Οι βασικές αρχές της σεισμικής ανάκλασης

2.4.1. Η αρχή Huygens (Ολλανδός μαθηματικός και επιστήμων)

Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, κάθε σημείο της σφαιρικής επιφανείας του μετώπου ενός κύματος λειτουργεί ως σημειακή πηγή από την οποία ξεκινούν δευτερογενή κύματα. Αυτό σημαίνει πως, αφού παρέλθει χρόνος t , προκύπτει ένα καινούριο σημείο στο μέτωπο του κύματος που λειτουργεί ως νέα πηγή, έτσι δημιουργείται μια επιφάνεια που είναι εφαπτομένη στις νέες δευτερογενείς σημειακές πηγές. Επιφάνεια που περιβάλλει τα νέα σφαιρικά κύματα.

Εφαρμόζοντας την συγκεκριμένη αρχή θα έχουμε ένα κυματικό μέτωπο κατά την $t=t_1$ χρονική στιγμή και κατόπιν ένα άλλο δευτερογενές κυματικό μέτωπο κατά την $t=t_2$ χρονική στιγμή, που είναι ομόκεντρο με το πρώτο αλλά με ακτίνα $r_2=(t_2-t_1)*v$, όπου νείναι η ταχύτητα του κύματος. (Παπαδόπουλος, 2010).

2.4.2. Αρχή Fermat

Η εν λόγω αρχή που ονομάζεται, αρχή του ελαχίστου χρόνου αναφέρει πως ένα κύμα που κινείται ανάμεσα σε δύο σημεία ακολουθεί τη διαδρομή εκείνη, στην οποία ο χρόνος θα είναι ο μικρότερος από όλες τις άλλες διαδρομές μεταξύ της πηγής και του γεωφώνου. Αυτό σημαίνει πρακτικά πως τα σεισμικά κύματα κινούνται στις διαδρομές εκείνες που θα κάνουν πιο μικρό χρόνο.

Εάν λοιπόν τηρήσουμε την συγκεκριμένη αρχή του Fermat, εξάγεται το συμπέρασμα πως η διαδρομή του κύματος υποχρεωτικά είναι ευθύγραμμη, όταν κινείται σε ένα υλικό με μία σταθερή ταχύτητα.

Προφανώς λοιπόν αυτό το φαινόμενο λαμβάνει χώρα διότι ανάμεσα σε δύο σημεία η συντομότερη οδός είναι η ευθεία. Και καθώς η ταχύτητα παραμένει σταθερή η ευθεία γραμμή ανάμεσα στα δύο σημεία θα αποτελεί τον ελάχιστο χρόνο διάδοσης. Πρέπει να σημειώσουμε πως, όταν κάποιο κύμα κινείται ξεκινώντας από αρχική σημειακή πηγή, τότε το μέτωπο αυτού πρέπει να λαμβάνεται ως να είναι επίπεδο. (Παπαδόπουλος, 2010).

2.4.3. *Νόμος του Snell*

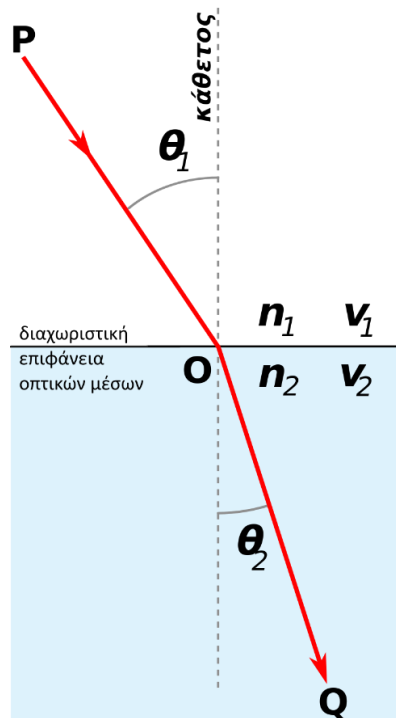
Όταν έχουμε την πρόσπτωση ενός διαμήκους κύματος επάνω σε μία διαχωριστική επιφάνεια δύο διαφορετικών υλικών τότε όλα τα σημεία αυτής της επιφάνειας καθίστανται νέες εστιακές πηγές για κύματα που διαθλώνται και ανακλώνται.

Κατά τον συγκεκριμένο 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» (σχήμα 2.4.3-1).

$$n_2/n_1 = v_1/v_2 = \eta_{\mu 1}/\eta_{\mu 2}$$

όπου v, η ταχύτητα σε m/s

n , ο δείκτης διάθλασης του υλικού



Σχήμα 2.2 Νόμος του Snell.

Πηγή:https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%A3%CE%BD%CE%B5%CE%BB

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1.Προσομοίωση

Για να επιτύχουμε την προσομοίωση χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα PSV_SYNTHETICS, που έχει λειτουργήσει στην γλώσσα προγραμματισμού Matlab, με τον εξοπλισμό του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής.

Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι του προγράμματος PSV_SYNTHETICS δύνανται να λειτουργήσουν αποτελεσματικά, ώστε να επιτευχθεί μία προσομοίωση για την διάδοση των σεισμικών κυμάτων P (διαμήκη) και SV (εγκάρσια). Κατ' αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνουμε τη δημιουργία των συνθετικών δεδομένων σε δύο διαστάσεις, αφού χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών (Vafidis, 1988).

3.1.1. Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Διαφορών

Η Γεωφυσική επιστήμη, μεταχειρίζεται, συνήθως πιο απλά προσομοιώματα για το εσωτερικό της Γης. Στην πραγματικότητα το εσωτερικό της γης συναπαρτίζεται από πολυμόρφους γεωλογικούς σχηματισμούς που παρουσιάζουν διάφορες πλευρικές ασυνέχειες. Αυτές οι ασυνέχειες εμφανίζουν μια λίαν περίπλοκη γεωμετρία, αλλά και η σύσταση τους είναι επίσης ανομοιογενής. Αυτό έχει σαν φυσικό επακόλουθο οι γεωφυσικές ιδιότητες μέσα στον ίδιο χώρο, εσωτερικά, να έχουν μεγάλη μεταβλητότητα. Αυτό το γεγονός, προσθέτει πολλές δυσκολίες στις μελέτες μας της γεωφυσικής, διότι πραγματικά είναι σχεδόν αδύνατο να προσδιοριστούν αξιόπιστες και λεπτομερής λύσεις, τόσο για την τρισδιάστατο προσομοίωση, όσο και για την πιο απλή δισδιάστατο.

Ένα ιδιαίτερο αντικείμενο της επιστήμης της Σεισμολογίας κρίνεται το ζήτημα που αναφέρεται στην επίλυση της εξίσωσης της σεισμικής κίνησης. Για να επιτύχουμε την επίλυση αυτής της εξίσωσης με αναλυτικές μεθόδους, είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε διάφορες σχετικά απλές προσομοιώσεις για τις δομές στο εσωτερικό της γης σε μια ή και δύο διαστάσεις. Στην πραγματική επιστήμη μας, όταν τα προσομοιώματα γίνουν αρκετά πολύπλοκα, ή έστω ρεαλιστικά για την εσωτερική δομή του πλανήτη μας, δεν μας αποδίδουν ορθές λύσεις και αποτελέσματα με τις αναλυτικές μεθόδους. Κατά ανάγκη όμως, για την συγκεκριμένη επίλυση των ζητημάτων, εφαρμόζουμε μεθόδους που λογίζονται προσεγγιστικές-αριθμητικές.

Στην μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών (Π.Δ) γίνεται χρήση, του πλέγματος. Για να την εφαρμόσουμε σωστά, αναγκαστικά πρέπει να καλύψουμε τον χώρο με ένα κάναβο (grid) και κατόπιν να προχωρήσουμε τους υπολογισμούς. Πρέπει να δημιουργήσουμε μια συνεχή συνάρτηση, που να συσχετίζει μαθηματικά τον χώρο και τον χρόνο, η οποία θα αναπαριστά τις διάφορες τιμές επάνω στα τμήματα του καννάβου. Σημειώνουμε πως, αυτή η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών, θεωρείται ως μια από τις πιο αξιόπιστες αριθμητικές μεθόδους επάνω στην προσομοίωση της σεισμικής κινήσεως. Αυτή η αξιοπιστία στηρίζεται στο ότι εφαρμόζεται με ευκολία επάνω σε περίπλοκα προβλήματα, και αποδίδει μια ικανοποιητική ακρίβεια, και επίσης είναι βαθιά υπολογιστικά. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της είναι η δυνατότητα να καταστρωθεί σε έναν κώδικα κατάλληλο για υπολογιστές και για τα προγράμματα που αυτοί χρησιμοποιούν αποτελεσματικά.

Σημειώνουμε με έμφαση, ότι παρά τα προτερήματα της μεθόδου, υποκρύπτονται μεγάλοι κίνδυνοι με την εφαρμογή της. Επειδή είναι απλή σχετικά μέθοδος την επιλέγουν πολλοί χρήστες χωρίς να έχουν συνείδηση των κινδύνων τεραστίων λαθών, που προκύπτουν από τις απλοποιήσεις οι οποίες εφαρμόστηκαν. Μερικοί επιστήμονες επιλέγουν τη μέθοδο με μοναδική συλλογιστική την σχετική ευκολία της εφαρμογής της. Έτσι, ο χρήστης οφείλει να λάβει υπόψιν το κριτήριο της ευστάθειας της αριθμητικής λύσης και κατ' αυτόν τον τρόπο να αποφύγει τις πιθανές αστάθειες που θα αλλάξουν την ορθότητα της λύσεως. Επίσης, πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψιν το ελάχιστο βήμα, όπου παρατηρείται διαφοροποίηση των υλικών. Πρέπει δηλαδή, να καταστρώσει σωστά τη συνάρτηση που θα καταγράφει το ελάχιστο μήκος κύματος, που θα χρησιμοποιείται στο υπολογιστικό προσομοίωμα. Τότε μόνο θα αποφευχθεί το φαινόμενο της αριθμητικής διασποράς.

Τονίζουμε πως, στη συνέχεια θα αναλύσουμε τους συγκεκριμένους περιορισμούς που πρέπει να λάβουμε υπόψιν, ώστε να εκτελείται σωστά η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών και οι αλγόριθμοι του PSV_SYNTHETICS να αποδίδουν ορθά αποτελέσματα.

3.1.2. Ορισμός για την οριζόντια και την κατακόρυφο έκταση ενός σεισμικού μοντέλου

Πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψιν τους περιορισμούς του μεγάλου κόστους για την αποθήκευση και τους υπολογισμούς, εκείνους που αναφέρονται στην διαδικασία της προσομοίωσης επάνω στην διάδοση των λεγομένων σεισμικών κυμάτων. Τουτέστιν, οι διαστάσεις που πρέπει να προσδιορίζουν το μοντέλο να λαμβάνονται κατά το δυνατόν οι ελάχιστες.

Για να καθορίσουμε τις σωστές διαστάσεις του μοντέλου οφείλουμε να προσδιορίσουμε τα κάτωθι στοιχεία:

- Τη συγκεκριμένη γεωλογική δομή την οποία επιθυμούμε να περιγράψουμε.
- Να συμπεριλάβουμε τις παραμέτρους που προσδιορίζουν με ακρίβεια τις θέσεις τόσο των πηγών των σεισμικών κυμάτων, όσο και τους δέκτες αυτών, για να επιτυγχάνονται οι σωστές καταγραφές.

- Φυσικά το εν λόγω μοντέλο, επιβάλλεται να διαθέτει αρκετά μεγάλες διαστάσεις ώστε να είναι εφικτή η τοποθέτηση εντός του μοντέλου όλων των δεκτών και των πηγών.

3.1.3. Προσδιορισμός της Ελάχιστης ταχύτητας διαδόσεως των S-κυμάτων (V_s)

Πρέπει να σημειώσουμε πως, η ελάχιστη ταχύτητα διαδόσεως που αναφέρεται στα S-κύματα συνδέεται με το ζήτημα του περιορισμού της αριθμητικής διασποράς (Vafidis, 1988; Manning, 2007; Σκαρλατούδης, 2009).

Στην προκειμένη κατάσταση του PSV_SYNTHETICS αλγορίθμου, πρέπει να ορίσουμε τις δύο μέγιστες τιμές της διαστάσεως του κελιού, την οριζόντιο και την κάθετο, έτσι ώστε να λειτουργήσει σωστά το μοντέλο μας και να εκπληρώνει το σημαντικό κριτήριο της αριθμητικής διασποράς. Είναι αναγκαίο να είναι 15 φορές υποπολλαπλάσιο από εκείνο το μήκος των συγκεκριμένων σεισμικών κυμάτων. Εκείνων δηλαδή που μεταδίδονται με την πιο μικρή ταχύτητα, την $V_{s\text{ελάχιστη}}$. Σε εναλλακτική περίπτωση πρέπει να είναι υποπολλαπλάσιο 6 φορές από το ελάχιστο μήκος κύματος των σεισμικών κυμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται στο μοντέλο. Επεξηγώντας τα πράγματα βλέπουμε στον τύπο που ακολουθεί:

$$GRID \leq \frac{\lambda_{\min}}{6} = \frac{V_{s\min}}{6 \cdot f_{\max}} \approx \frac{V_{s\min}}{6 \cdot 2.5 \cdot f_{\text{dom}}} \quad (3.1)$$

Είναι δε GRID το μέγεθος του κελιού του μοντέλου μελέτης. Το λ_{\min} είναι, το ελάχιστο μήκος κύματος των διαδιδόμενων στο μοντέλο μας σεισμικών κυμάτων. Το $V_{s\min}$ είναι η ελάχιστη ταχύτητα, με την οποία διαδίδονται τα S κύματα. Το f_{dom} προσδιορίζει την κυρίαρχο συχνότητα που εκπέμπεται από τη σεισμική πηγή. Και τέλος, $f_{\max} \approx 2.5 \times f_{\text{dom}}$ καθορίζει την μέγιστη συχνότητα με την οποία διαδίδονται τα σεισμικά κύματα.

3.1.4. Η σεισμική πηγή παράγει μία κυρίαρχο συχνότητα

Η κυρίαρχη συχνότητα της σεισμικής πηγής συνδέεται με τον περιορισμό της συγκεκριμένης αριθμητικής διασποράς η οποία αναφέρεται στο σχήμα των πεπερασμένων διαφορών στον οποίο επίσης αναφέρεται και η ελάχιστη ταχύτητα V_{smin} . Η κυρίαρχη συχνότητα και η ελάχιστη ταχύτητα V_s επιλύουν την εξίσωση μας, την Εξ. 3.1 .

Προφανώς, όταν έχουμε σημαντικές τιμές στην κυρίαρχο συχνότητα, με δεδομένη την V_s ελάχιστη ταχύτητα ελαττώνεται αντίστροφα το ελάχιστο μήκος κύματος, των συγκεκριμένων σεισμικών κυμάτων που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο μας. Κατά αυτόν τον τρόπο έχουμε ως συνέπεια να αυξάνουμε την διακριτική ικανότητα επάνω στα σεισμικά κύματα. Αυτό όμως μεγαλώνει με γεωμετρικό τρόπο τον χρόνο υπολογισμού που χρειαζόμαστε αλλά και τις απαιτήσεις του σε μνήμη. Αυτό συμβαίνει διότι προβαίνουμε σε πιο λεπτομερή υπολογισμούς, αφού τα κελιά του μοντέλου τα μετατρέψαμε σε πιο μικρό μέγεθος.

3.1.5. Η Ισαπόσταση των σεισμικών δεκτών

Είναι σημαντικό να επιλέξουμε την απόσταση μεταξύ των δεκτών, δηλαδή να έχουμε μεταξύ τους ισαπόσταση.

Για το πρόγραμμα PSV_SYNTHETICS, είναι απαραίτητο χωρογραφικά να τοποθετηθούν επάνω στον κόμβο του μοντέλου ο κάθε δέκτης και η πηγή. Είναι αναγκαίο, οι θέσεις, τόσο των δεκτών όσο και των πηγών να είναι με συνυφασμένο τρόπο με του μοντέλου την διακριτοποίηση.

Ειδικά ο μαθηματικός αλγόριθμος του προγράμματος PSV_SYNTHETICS, επιβάλλει να επιλέγουμε διάσταση GRID των κελιών του μοντέλου με βάση τον Μ.Κ.Δ, ήτοι τον μέγιστο κοινό διαιρέτη των μεγεθών της ισαπόστασης dx που έχουν οι δέκτες και του κριτηρίου $\lambda_{min}/6$, της εξισώσεως 3.1 για τον υπολογισμό του Μ.Κ.Δ εφαρμόζουμε την κάτωθι μαθηματική σχέση:

$$GRID = MK\Delta \left\{ dx, \frac{\lambda_{min}}{6} \right\} \quad (3.2)$$

Έστω ότι από την εξίσωση 3.1 εξάγεται $\lambda_{min}/6 = 2.4$ m. Τότε είναι λάθος σχεδιαστικό να ορίσουμε ισαπόσταση για τους δέκτες 5 m. Διότι τότε θα έπρεπε αναγκαστικά να επιλέξουμε αυτόματο τρόπο διάσταση GRID ίση με 1 m, σ' αυτή την περίπτωση θα

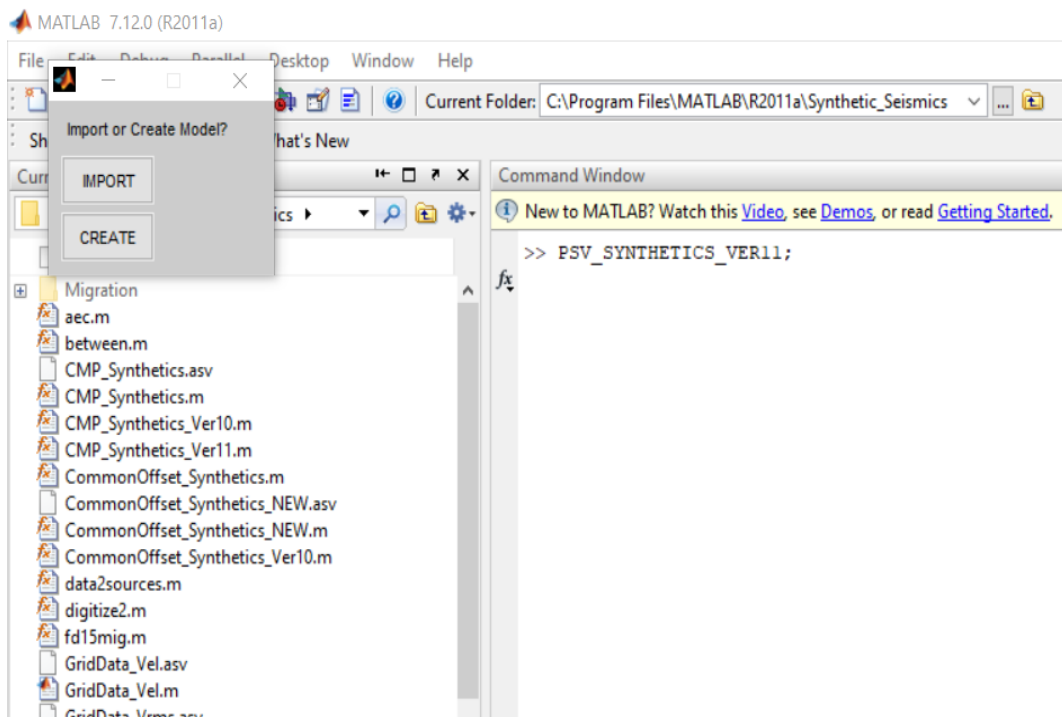
αυξάναμε κατά πολύ τον αριθμό των κόμβων που θα είχε το μοντέλο μας και συνεπώς θα είχαμε μεγάλο χρόνο για τους υπολογισμούς μας.

Για να είμαστε σωστοί εν προκειμένω επιβάλλεται να επιλέξουμε ισαπόσταση δεκτών 12 m, ώστε να προκύπτει $12/2.4=5$. Βέβαια ακόμα σε πολλές περιπτώσεις υφίστανται δυσκολίες που μας περιορίζουν γεωμετρικά στον τρόπο που θα σχεδιάσουμε το σεισμικό μας πείραμα. Και τότε αναγκαστικώς θα καταφύγουμε σε συμβιβαστική και μέση λύση επιλέγοντας ισαπόσταση μικρότερη, δηλαδή 10 m και τότε βέβαια το GRID θα γίνει $10/5=2$ m, μια τιμή που είναι αρκετά κοντά στις απαιτήσεις της εξισώσεως 3.1.

3.1.6. Αναζητώντας τα αρχεία του προγράμματος PSV_SYNTHETICS

Για να δύναται η Matlab να ανέβρει και να εκτελέσει τους απαραίτητους αλγορίθμους της, τα αρχεία *.m, δηλαδή του προγράμματος PSV_SYNTHETICS, επιβάλλεται να εκτελεστούν οι κάτωθι ενέργειες:

- Πρέπει συνολικά τα σχετικά αρχεία να τοποθετηθούν στο Current Directory. Επομένως πρέπει να ορίσουμε ως Current Directory έναν φάκελο ειδικό Synthetic_Seismics στον οποίο να περιέχονται τα αρχεία που χρησιμοποιούμε.
- Στην συνέχεια καθορίζουμε αυτόν τον φάκελο Synthetic_Seismics που περιέχει τα αρχεία αυτά, καθώς επίσης και τους υποφακέλους, να είναι προεπιλεγμένοι φάκελοι μέσα από τους οποίους η Matlab θα αναζητήσει τους συγκεκριμένους αλγορίθμους για να τους τρέξει υπολογιστικά.



Σχήμα 3.1: Η ανεύρεση του συνόλου των αλγορίθμων του προγράμματος PSV_SYNTHETICS πάνω στο Current Directory

3.1.7. Πως θα επιτύχουμε την διακριτοποίηση ενός μοντέλου

Για να επιτύχουμε την προσομοίωση για την διάδοση P και SV σεισμικών κυμάτων δυσδιάστατα, 2D χρησιμοποιώντας τις πεπερασμένες διαφορές κάνουμε το εξής: Πραγματοποιείται με την διακριτοποίηση επάνω σε ένα παραλληλόγραμμο γεωμετρικό μοντέλο, θέτοντας για τον χώρο, Z βάθος και X οριζόντια διάσταση, κατά διάφορα κελιά cells.

Προφανώς έκαστο κελί, εφάπτεται με το διπλανό του μέσω κόμβων, του μοντέλου που δημιουργήθηκε. Έκαστο κελί διαθέτει προκαθορισμένο μέγεθος GRID, είναι δε ίση και στις δύο διαστάσεις, την οριζόντιο X και την κατακόρυφο Z. Στο εν λόγω μοντέλο οι διαστάσεις X και Z είναι 90x200m.

Συνεπώς έκαστο κελί πρέπει να οριοθετείται αναγκαστικά από τρία στοιχεία:

- Από την ταχύτητα της διαδόσεως των κυμάτων P την V_p ,
- Επίσης από την ταχύτητα διαδόσεως των S-κυμάτων, την V_s , ως και
- την πυκνότητα, ρ .

Από καθένα κόμβο διέρχονται οι λεγόμενες διαχωριστικές επιφάνειες των διαφοροποιημένων σεισμικών στρωμάτων, που ωστόσο δεν δύνανται να επιφέρουν διχοτόμηση στο κελί. Βεβαίως, επάνω στους κόμβους τοποθετούμε αναγκαστικώς τις πηγές και τους δέκτες των κυμάτων.

Επιπροσθέτως, η μεταφορά για το κυματικό πεδίο μέσα στον χώρο με την επίλυση της κυματικής εξισώσεως, πραγματοποιείται σε χρονικώς διακριτά στάδια. Αυτό γίνεται εκτελώντας κατά διαστήματα δειγματοληψίες, *sampling interval*. Και κατ' αυτόν τον τρόπο περατώνεται η διάρκεια της καταγραφής σε χρόνο συγκεκριμένο.

Αναγκαστικώς λοιπόν, προτού εκτελέσουμε το πρόγραμμα *PSV_SYNTHETICS* πρέπει να διαθέτουμε τα απαραίτητα στοιχεία και μεγέθη, αφενός του σεισμικού μοντέλου και αφετέρου τις διάφορες καταγεγραμμένες παραμέτρους των σεισμικών στοιχείων. Πιο ειδικά οι συγκεκριμένες παράμετροι του σεισμικού μοντέλου είναι οι ακόλουθοι:

- Οι διαστάσεις του μοντέλου το μήκος του και το βάθος του μετρούμενα με μονάδα το μέτρο
- Το γεωμετρικό σχήμα σε δύο διαστάσεις των στρωμάτων του εν λόγω μοντέλου
- Οι δύο ταχύτητες των κυμάτων P και S μετρούμενες σε m/s
- Η πυκνότητα εκάστου στρώματος του μοντέλου

Προσδιορίζουμε τις παραμέτρους των καταγραφών των σεισμικών στοιχείων ως εξής:

- Την κεντρική συχνότητα της σεισμικής πηγής σε μονάδες Hz
- Την ισαπόσταση μετρούμενη σε μονάδες μέτρου m στην περίπτωση που έχουν ενεργοποιηθεί πολλές πηγές καθώς και τη συγκεκριμένη θέση των σεισμικών μας πηγών.
- Την ισαπόσταση, πάλι σε μέτρα m, όταν χρησιμοποιούμε πολλούς δέκτες, ως και τα σημεία όπου τοποθετήσαμε τους δέκτες μας τα γεώφωνα ή τα υδρόφωνα
- Την χρονική διάρκεια κατά την οποία πραγματοποιήσαμε την μέτρηση, σε μονάδες ms

3.1.8. Εφαρμογή του προγράμματος PSV_SYNTHETICS

Στη γραμμή εντολών Command Window γράφουμε την επόμενη εντολή

>> *PSV_SYNTHETICS_VER12ELEV;*

Κατόπιν, καλούμαστε να επιλέξουμε αν θα χρησιμοποιήσουμε κάποιο ήδη παλαιό μοντέλο που υπάρχει, ή εάν θα κατασκευάσουμε ένα καινούριο μοντέλο.

Στην δεύτερη περίπτωση, όπου κατασκευάζουμε μοντέλο, καλούμαστε από το πρόγραμμα να ολοκληρώσουμε αναγκαστικώς τα τέσσερα επόμενα βήματα:

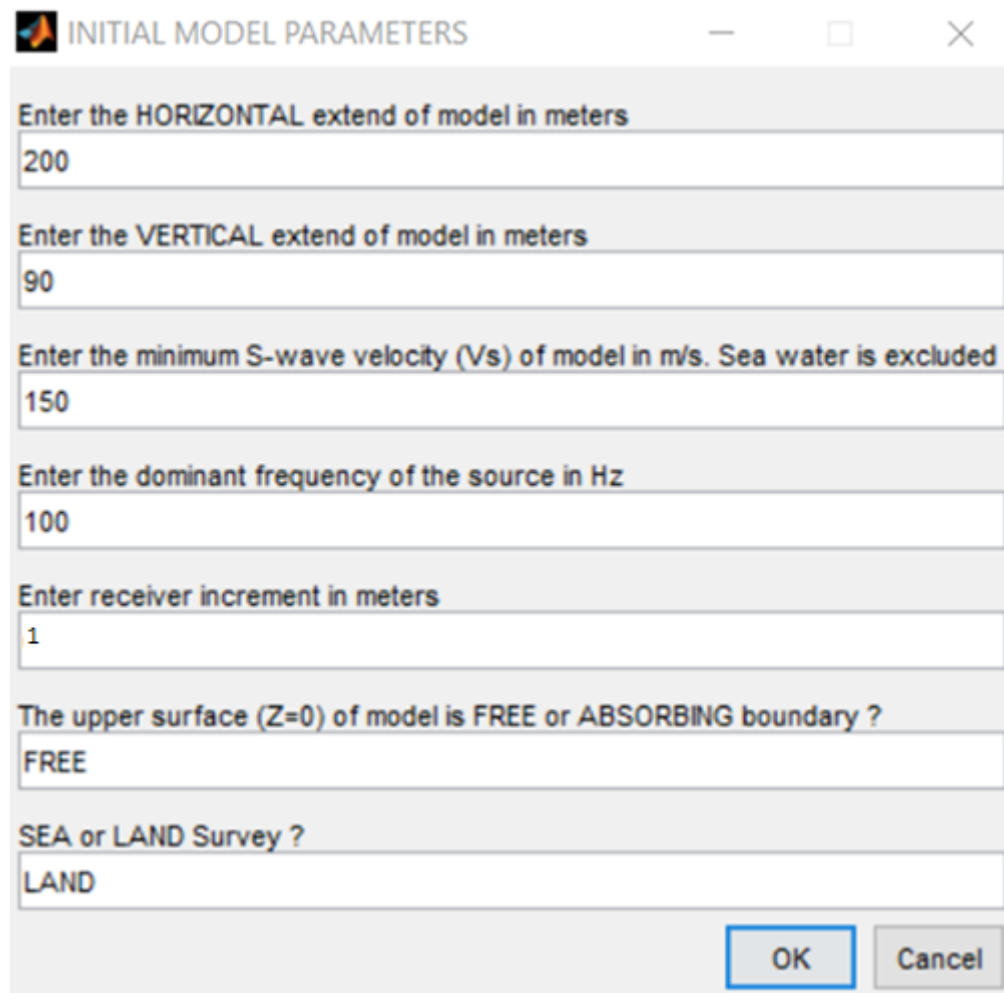
1. Να ορίσουμε τις αρχικές παραμέτρους του μοντέλου μας.
2. Να προσδιορίσουμε το γεωμετρικό σχήμα εκάστου στρώματος του μοντέλου μας.
3. Να καθορίσουμε τις ταχύτητες των κυμάτων, P και S,
4. Και να καταγράψουμε τις πυκνότητες εκάστου από τα στρώματα του μοντέλου μας.

Πρέπει να καθορίσουμε τις αρχικές παραμέτρους του μοντέλου, με πολύ μεγάλη προσοχή διότι αυτό έχει τεράστια σημασία για την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων. Διότι, αυτές οι παράμετροι θα προσδιορίσουν την ορθότητα της διακριτοποίησης του μοντέλου μέσα στο χώρο. Δηλαδή με τον υπολογισμό της διαστάσεως των κελιών του μοντέλου. Επίσης την διακριτοποίηση επάνω στην διαδικασία για την διάδοση της σεισμικής ενεργείας μέσα στον χρόνο. Επιλέγουμε το διάστημα που πραγματοποιούμε την δειγματοληψία μέσα στον χρόνο,.

Οι πρωτογενείς παράμετροι μας για το μοντέλο, οι οποίες επιβάλλεται να προσδιορίσουμε σ' αυτή την φάση είναι αυτές που ακολουθούν:

- Η οριζόντια έκταση για το μοντέλο σε μέτρα, ,στα 200m.
- Η κατακόρυφος, το βάθος, δηλαδή την έκταση που καταλαμβάνει το μοντέλο σε μέτρα , στα 90 m.
- Η ελάχιστη ταχύτητα της διαδόσεως των κυμάτων S,η Vs μετρούμενη σε m/s. Σημειώνουμε πως αυτή δεν αναφέρεται για την ταχύτητα ενός στρώματος που διαθέτει μια διατμητική αντοχή μηδενική. Για παράδειγμα, ένα στρώμα θαλάσσης. Για την περίπτωση του δικού μας μοντέλου επιλέγουμε ταχύτητα 150 m/s.
- Επιλέγουμε την κυρίαρχο συχνότητα για την σεισμική πηγή σε Hz, στα 100Hz
- Η ισαπόσταση ανάμεσα στους δέκτες, τα γεώφωνα ή τα υδρόφωνα σε μέτρα m στο 1m.

- Κάνουμε την εφαρμογή των απορροφητικών ορίων για την επιφάνεια, όπου $Z=0$ του μοντέλου, για ελεύθερη επιφάνεια.
- Προσδιορίζουμε τον τύπο για το στρώμα επιφανείας



INITIAL MODEL PARAMETERS

Enter the HORIZONTAL extend of model in meters
200

Enter the VERTICAL extend of model in meters
90

Enter the minimum S-wave velocity (V_s) of model in m/s. Sea water is excluded
150

Enter the dominant frequency of the source in Hz
100

Enter receiver increment in meters
1

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

SEA or LAND Survey ?
LAND

OK Cancel

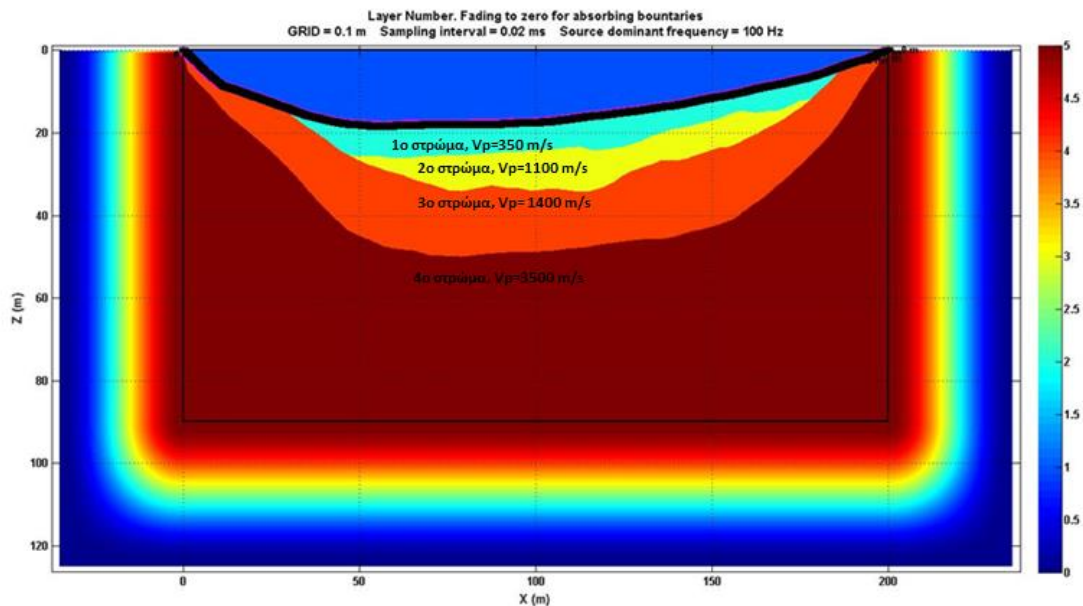
Σχήμα 3.2: Εισάγουμε τις αρχικές παραμέτρους για το μοντέλο μας επάνω στο

Στην περίπτωση μας κάναμε τους καταλλήλους περιορισμούς με βάση τα προηγούμενα κριτήρια και ορίσαμε τις παραμέτρους του πλέγματος καθώς και το βήμα του χρόνου σε $\Delta t=0.02\text{ms}$. Οι διαστάσεις εκάστου κελιού προσδιορίζονται δια των ισαποστάσεων των κόμβων στις διευθύνσεις X και Z , όπου $\Delta x=\Delta z=1\text{ m}$.

Εν τέλει, δημιουργήσαμε τρία επιπλέον στρώματα μέσα στο αρχικό αφού εισαγάγαμε τα σχετικά αρχεία *.smr.

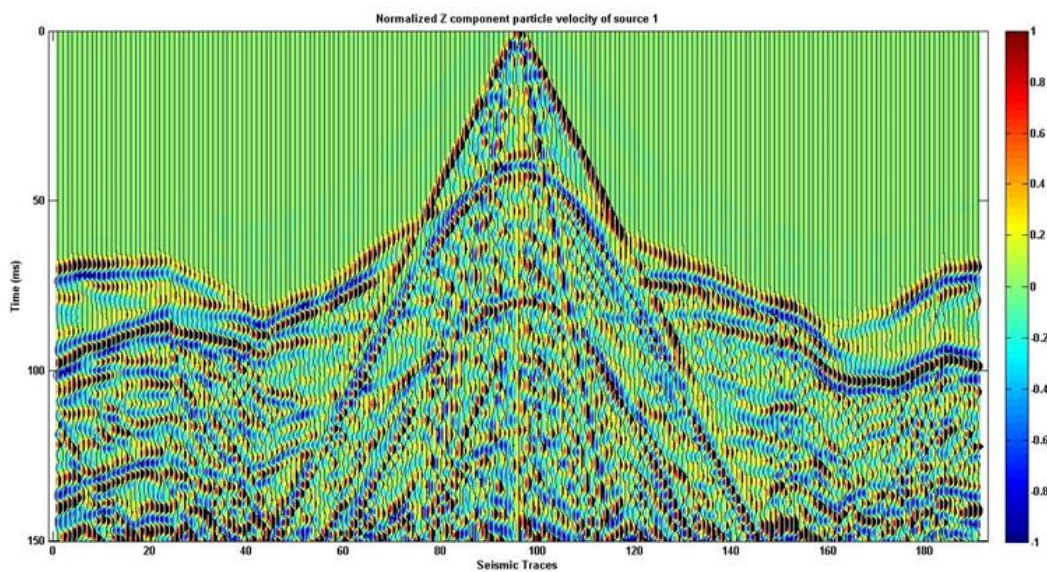
Χρησιμοποιήθηκαν 191 γεωφωνα από την οριζόντια θέση (X) 5m έως την θέση 195 m με ισοαπόσταση 1 m και 6 πηγές οι θέσεις των οποίων παρατίθενται στον Πίνακα 4.1 (βλ. παράγραφο 4.2). Η κατακόρυφη συντεταγμένη (Z) των γεωφώνων ακολουθεί την ελεύθερη επιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων. Ο χρόνος καταγραφής ορίστηκε 150 ms.

Το παρακάτω μοντέλο προήλθε από διπλωματική που εκπονήθηκε στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής(Ακριτιδής, 2018). Τα σεισμικά στρώματα προέκυψαν από την ψηφιοποίηση των αντίστοιχων στρωμάτων του εδαφικού μοντέλου που απεικονίζεται στο Σχήμα 1.3. Το σεισμικό μοντέλο στράφηκε δεξιόστροφα κατά 16.7° έτσι ώστε να περιορισθεί η οριζόντια και κατακόρυφη εξάπλωση του και να μειωθεί ο συνολικός υπολογιστικός χρόνος της προσομοίωσης.



Σχήμα 3.3: Η απεικόνιση των στρωμάτων του μοντέλου

Εκτελώντας την προσομοίωση για κάθε σεισμική πηγή ξεχωριστά δημιουργήθηκαν τα συνθετικά δεδομένα για κάθε θέση σεισμικής πηγής.

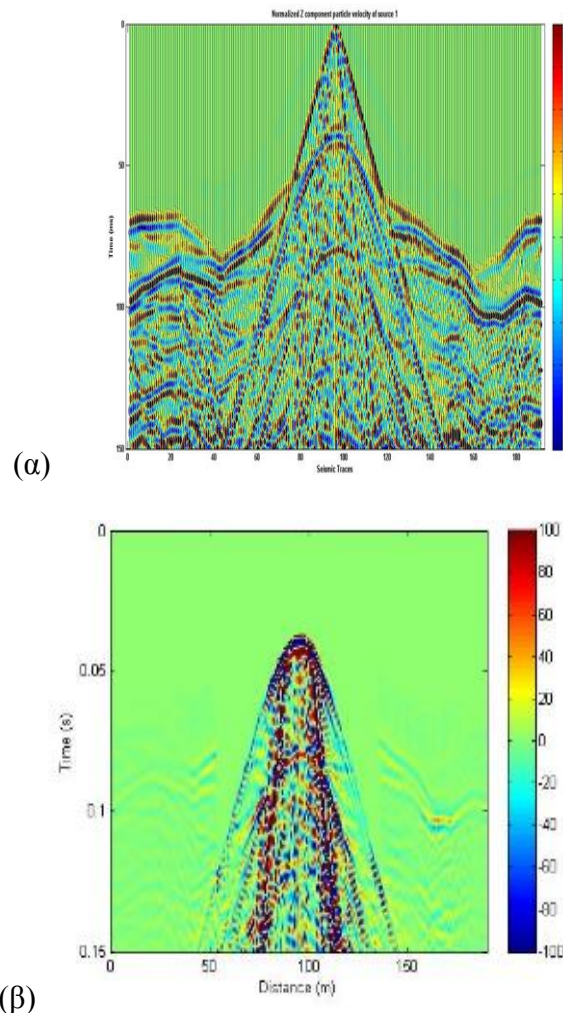


Σχήμα 3.4: Τα συνθετικά δεδομένα της σεισμικής πηγής στα 100m

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟ- ΜΕΝΩΝ

4.1. Αποκοπή Απευθείας Κυμάτων

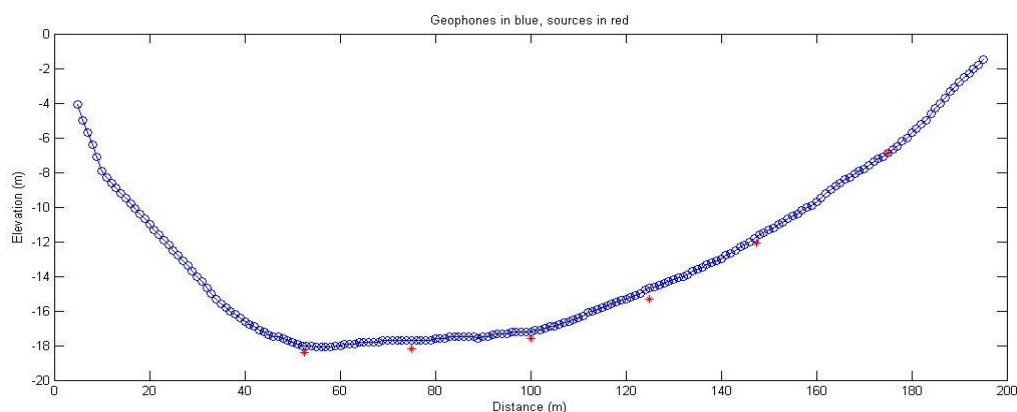
Χρησιμοποιήθηκε ένα φίλτρο B η αλλιώς μάσκα για να απομακρυνθούν τα απευθείας κύματα και να αναδειχθούν τα ανακλώμενα (Σχήμα 4.1). Το φίλτρο B με τιμές 0 και 1 πολλαπλασιάζεται με τα δεδομένα, δηλαδή $V_z \cdot B = V_{zm}$ με αποτέλεσμα τα φιλτραρισμένα δεδομένα να αποσβένουν τα απευθείας κύματα. Αυτή η διαδικασία έγινε για 6 πηγές, στα 52.5 μ στα 75μ ,στα 100μ, στα 125μ , στα 147.5μ και στα 175μ.



**Σχήμα 4.1. Πηγή στη θέση 100 μ. (α) Αρχική καταγραφή (β) Αποκοπή απευ-
θείας και μετωπικών κυμάτων.**

4.2. Εισαγωγή Δεδομένων (χωρίς απευθείας) και Παραμέτρων του Πειράματος

Τα γεωφώνα και οι πηγές τοποθετήθηκαν επί του εδάφους (Σχήμα 4.2), το οποίο παρουσίαζε έντονη τοπογραφία και για αυτό το λόγο εφαρμόστηκε η στατική διόρθωση.



Σχήμα 4.1: Θέσεις πηγών(κόκκινα αστεράκια) και γεωφώνων(μπλε κύκλοι)

ΠΗΓΕΣ	X(m)	52.5	75	100	125	147.5	175
	Y(m)	- 18.4	- 18.2	- 17.6	- 15.3	-12.1	- 6.9
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ VR	350 m/s						
ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	-19 m						
ΟΝΟΜΑ ΑΡΧΕΙΟΥ	work_S@52p5mVxVz1m-mat work_source@75m.SMP_V-mat work_S@100mVxVz1m-mat work_source@125m.SMP_V-mat work_S@147p5mVxVz1m-mat work_source@175m.SMP_V-mat						

Πίνακας 4.1: Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν

Παρακάτω παρατίθενται οι εντολές που εκτελέστηκαν και αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε για 6 πηγές, στα 52.5 μ στα 75μ ,στα 100μ, στα 125μ , στα 147.5μ και στα 175μ.

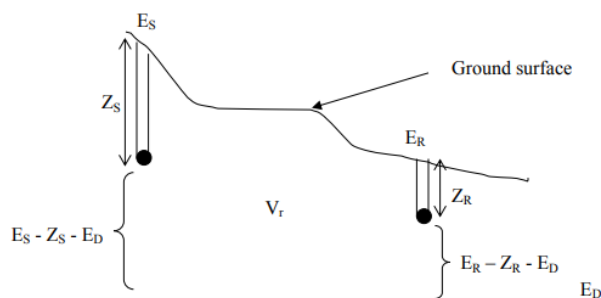
Αρχικά διαβάζετε και φορτώνονται τα δεδομένα της κάθε πηγής πριν και μετά την διόρθωση. (παράρτημα, 1^{ος} κώδικας)

4.3. Στατική Διόρθωση

Στη συνέχεια για κάθε πηγή εφαρμόστηκε στατική διόρθωση η οποία μειώνει τους χρόνους διαδρομής των ακακλώμενων κυμάτων και απεικονίζονται τα δεδομένα πριν και έπειτα την διόρθωση. Ο λόγος που γίνεται η στατική διόρθωση είναι για να έρθουν πηγές και γεώφωνα στο ίδιο υψόμετρο. Η εξίσωση στατικής διόρθωσης για τις θέσεις πηγής και δέκτη είναι:

$$T_D = (E_s + E_R - 2 * E_D) / V_r$$

Elevation Statics



Σχήμα 4.3: Στατική διόρθωση.

Πηγή: <https://faculty.kfupm.edu.sa/es/ashuhail/undergraduate/geop320/Notes/Ch6/Ch6-Statics-2013.pdf>

T_D: Στατική διόρθωση

E_s: Υψόμετρο στην θέση της πηγής

E_R: Υψόμετρο στην θέση του γεωφώνου

E_D : Υψόμετρο στο επίπεδο αναφοράς

V_r: Ταχύτητα αναφοράς

ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: E_D=-19 m υψόμετρο

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: V_r=350m/s

Κανονικά, δεν θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί σταθερή ταχύτητα αναφοράς V_r=350m/s για όλο το μοντέλο διότι στα άκρα του οι δέκτες (γεώφωνα) είναι τοποθετημένοι σε στρώματα με μεγαλύτερη ταχύτητα (1400 m/s, βλ. Σχήμα 3.3). Η προετοιμασία των δεδομένων για την στατική διόρθωση πραγματοποιήθηκε με τους κώδικες που παρατίθενται στο παράρτημα (2^{ος} κώδικας), ενώ παρακάτω ακολουθεί η συνάρτηση (elevstatics) που πραγματοποιεί την στατική διόρθωση.

Συνάρτηση (function) για στατική διόρθωση

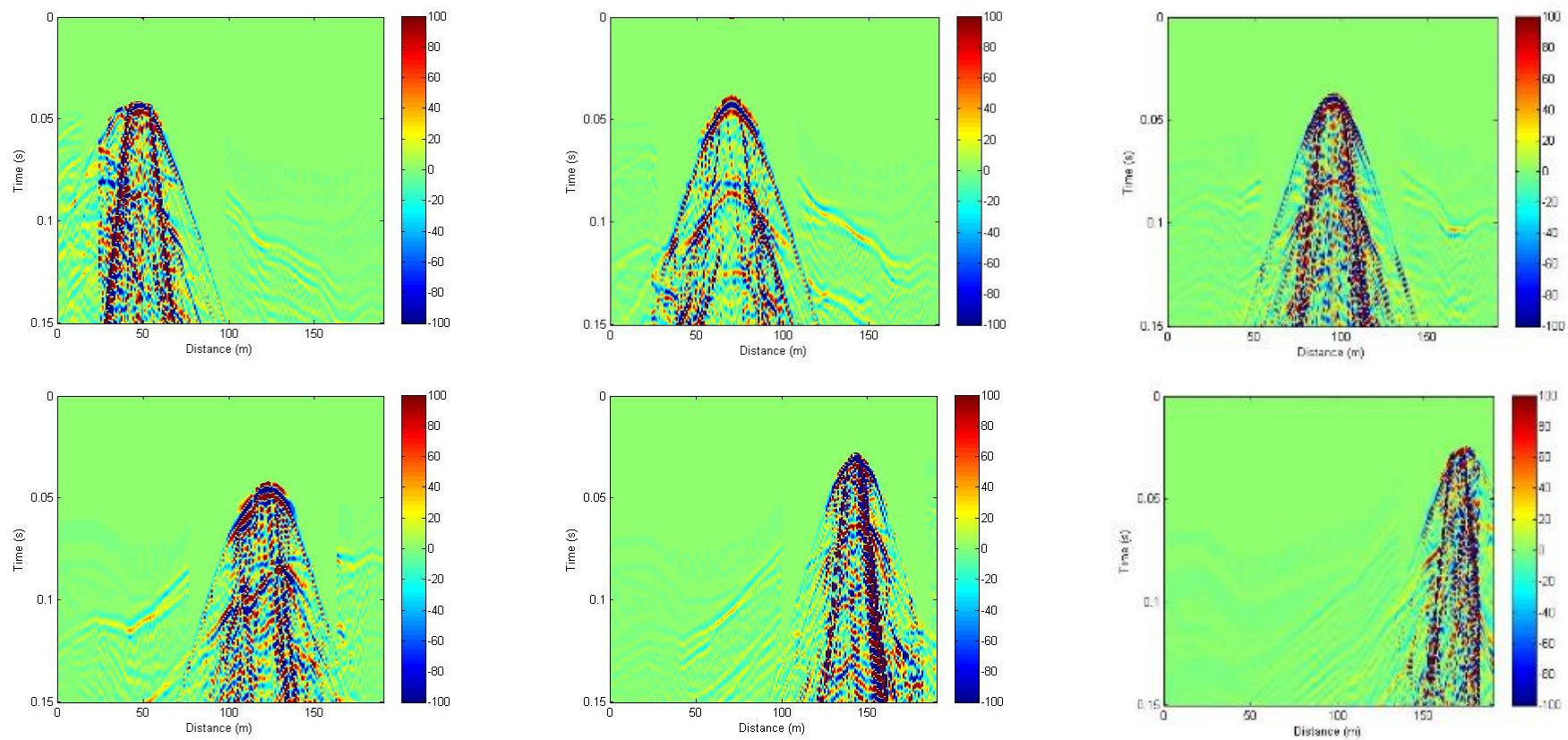
```
function [datacor, Td]=elevstatics(shotelev, recelev, datumelev,Vr,data,dt)
% dt :ms
IVr=1000/Vr;
% ypologismos tis statikisdiorthosis(Td) se ms
% shotelev: apolytoypsometro tis pigis
% recelev: apolytoypsometrotougeofonou
% datumelev: apolytoypsometro tis epifaniasanaforas
% Vr:taxytitastoepifaniakostroma(m/s)
% IVr:vradititastoepifaniakostroma(ms/m)

for k=1:length(recelev)
Td(k)=(shotelev+recelev(k)-2*datumelev).*IVr; % ms
end

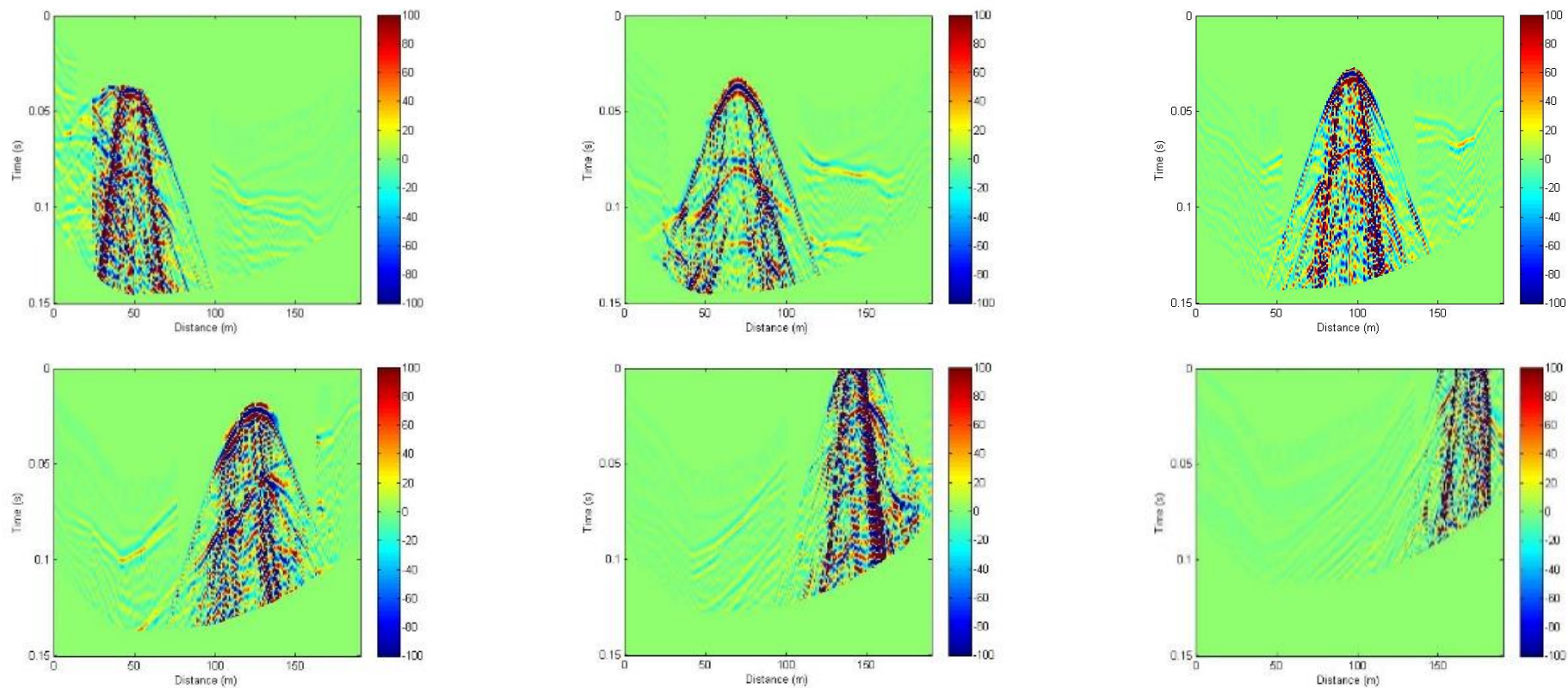
sized=size(data);

% statikidiorthosistaixni
% tmin:diktisgiathndiorthosi
% sized(1):arithmos ton digmatontouxnous
datacor=data.*0;
for k=1:length(Td)
tmin=floor(Td(k)./dt)+1;
datacor(1:sized(1)-tmin+1,k)=data(tmin:end,k);
end
```

Τα κάτωθι σχήματα απεικονίζουν τα δεδομένα πριν και μετά τη στατική διόρθωση η οποία μειώνει τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων.



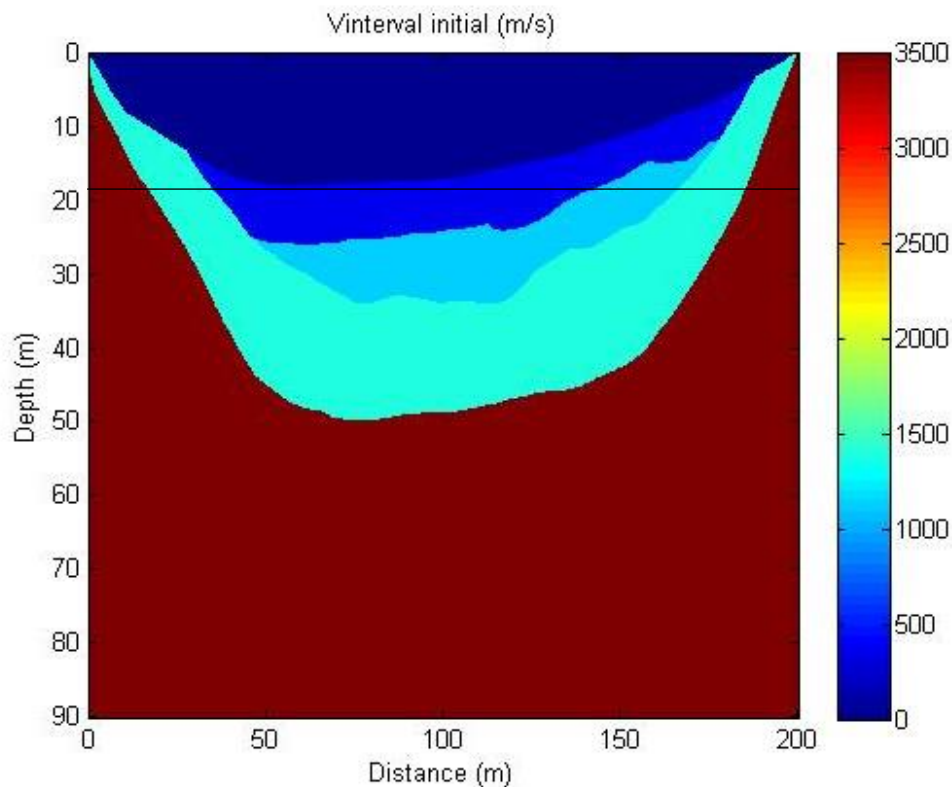
Σχήμα 4.4: Οι πηγές στα 52.5 μ στα 75μ, στα 100μ, στα 125μ, στα 147.5μ και στα 175μ. (από πάνω αριστερά προς δεξιά)



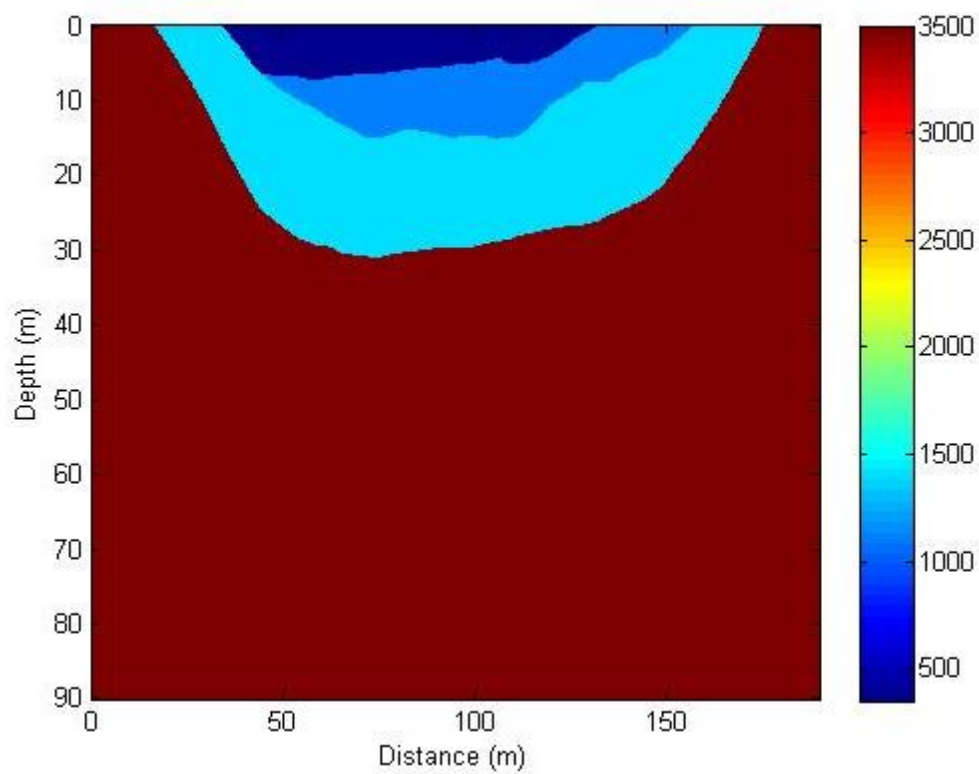
Σχήμα 4.5: Στα 52.5 μ στα 75μ, στα 100μ, στα 125μ, στα 147.5μ και στα 175μ. (από πάνω αριστερά προς δεξιά)

4.4. Δημιουργία μοντέλου μέσης τετραγωνικής ταχύτητας

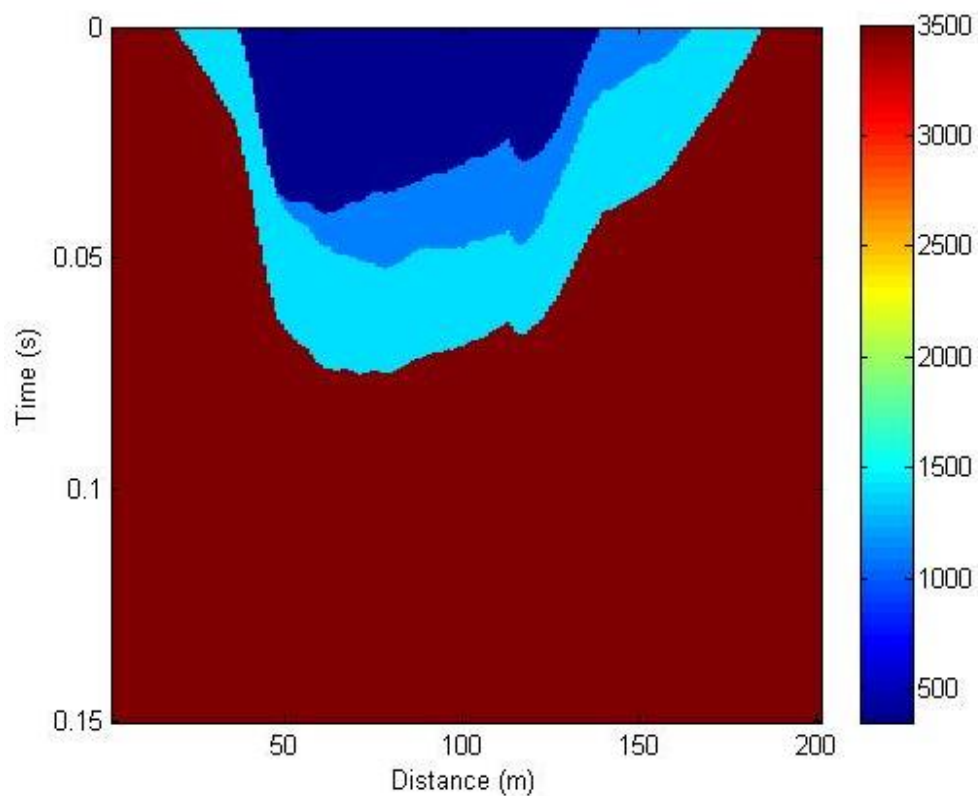
Αρχικά δημιουργήθηκε μοντέλο ταχυτήτων συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 4.6). Εφαρμόστηκε η στατική διόρθωση θέτοντας ως επιφάνεια αναφοράς το επίπεδο του μοντέλου που βρίσκεται σε βάθος 19m. Για να επιτευχθεί αυτό αποκόπηκαν τα πρώτα 19m του μοντέλου και προστέθηκαν στο τέλος του, έτσι ώστε το συνολικό του βάθος να παραμείνει ίσο με 90m (Σχήμα 4.7). Εν συνεχεία από το αρχείο των τμηματικών ταχυτήτων ως προς το βάθος (του νέου αποκομμένου μοντέλου) υπολογίστηκαν οι τμηματικές ταχύτητες ως προς τον χρόνο (διπλός κατακόρυφος χρόνος- Σχήμα 4.8) . Το αρχείο των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων (Σχήμα 4.9) προέκυψε από το μοντέλο των πραγματικών ταχυτήτων ως προς τον χρόνο (Σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.6: Μοντέλο ταχυτήτων σε σχέση με το βάθος. Η οριζόντια μαύρη γραμμή υποδεικνύει το βάθος αποκοπής του μοντέλου.



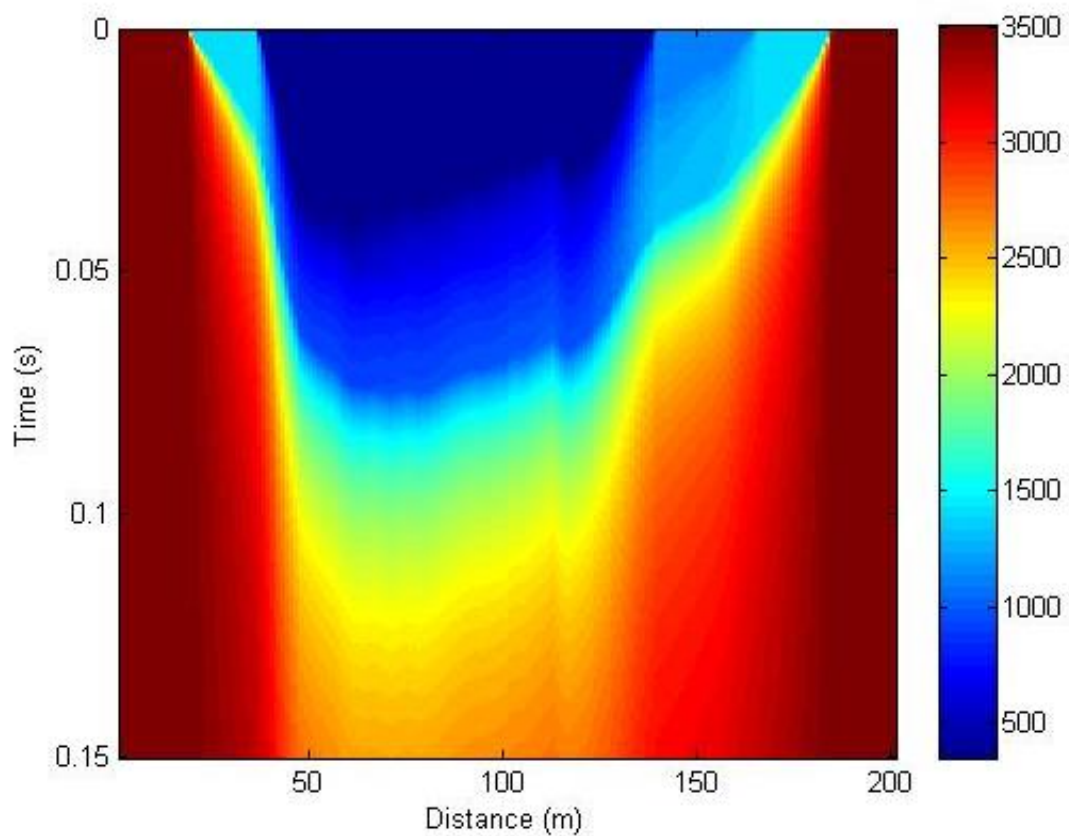
Σχήμα 4.7: Μοντέλο ταχυτήτων από 19m και κάτω.



Σχήμα 4.8: Μοντέλο ταχυτήτων σε σχέση με τον χρόνο

Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε μοντέλο μέσω των τετραγωνικών ταχυτήτων με την χρήση του παρακάτω αλγόριθμου στην matlab. (παράρτημα, 3^{ος} κώδικας)

Η μέση τετραγωνική ταχύτητα η οποία χρειάζεται στην χωροθέτηση υπολογίστηκε παραπάνω από την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε στρώμα του μοντέλου.



Σχήμα 4.9: Μέση τετραγωνική ταχύτητα σε σχέση με τον χρόνο

4.5. Χωροθέτηση των συνθετικών δεδομένων κοινής πηγής

Αύτη η μέθοδος χρησιμοποιείται για την σωστή τοποθέτηση και ανακατασκευή των ανακλαστήρων. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας τα σεισμικά κύματα ακολουθούν κατά βάση πορεία αντίθετη από εκείνη που ακολουθούν στο πείραμα. Για την ακρίβεια τα σεισμικά κύματα που διαδίδονται από την επιφάνεια της γης προς την διαχωριστική επιφάνεια διαδίδονται με μία ταχύτητα ίση με το μισό της πραγματικής ταχύτητας. Η εφαρμογή της χωροθέτησης εξασφαλίζει:

A) Τη σωστή θέση στις επιφάνειες της ανάκλασης

B) Την βελτίωση της χωρικής διακριτικής ικανότητας

Γ) Όλες τις αφίξεις οι οποίες προκύπτουν από την περίθλαση στην θέση όπου βρίσκεται η άκρη της δομής, δηλαδή στις περιοχές που είναι έντονο το φαινόμενο της περίθλασης.

Αυτή η διαδικασία γίνεται για την απεικόνιση των ανακλαστήρων. Σε δεδομένα ίδιου υψομέτρου ο αλγόριθμος θεωρεί ότι η πηγή και τα γεώφωνα βρίσκονται στο ίδιο υψόμετρο.

Χρησιμοποιήθηκε η εξής συνάρτηση για να εκτελεστεί η διαδικασία της χωροθέτησης: $[shotmig,tmig,xmig]=kirk_shot(shotrec,t,x,xshot,velmod,tv,xv)$

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

shotrec: καταγραφή κοινής πηγής

t: διάνυσμα χρόνου

x: διάνυσμα απόστασης

xshot: θέση πηγής

velmod: μοντέλο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας

tv: διάνυσμα χρόνου του μοντέλου μέσης τετραγωνικής ταχύτητας

xv: διάνυσμα απόστασης του μοντέλου μέσης τετραγωνικής ταχύτητας

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΞΟΔΟΥ

shotmig: χωροθετημένα δεδομένα κοινής πηγής

tmig: διάνυσμα χρόνου των χωροθετημένων δεδομένων

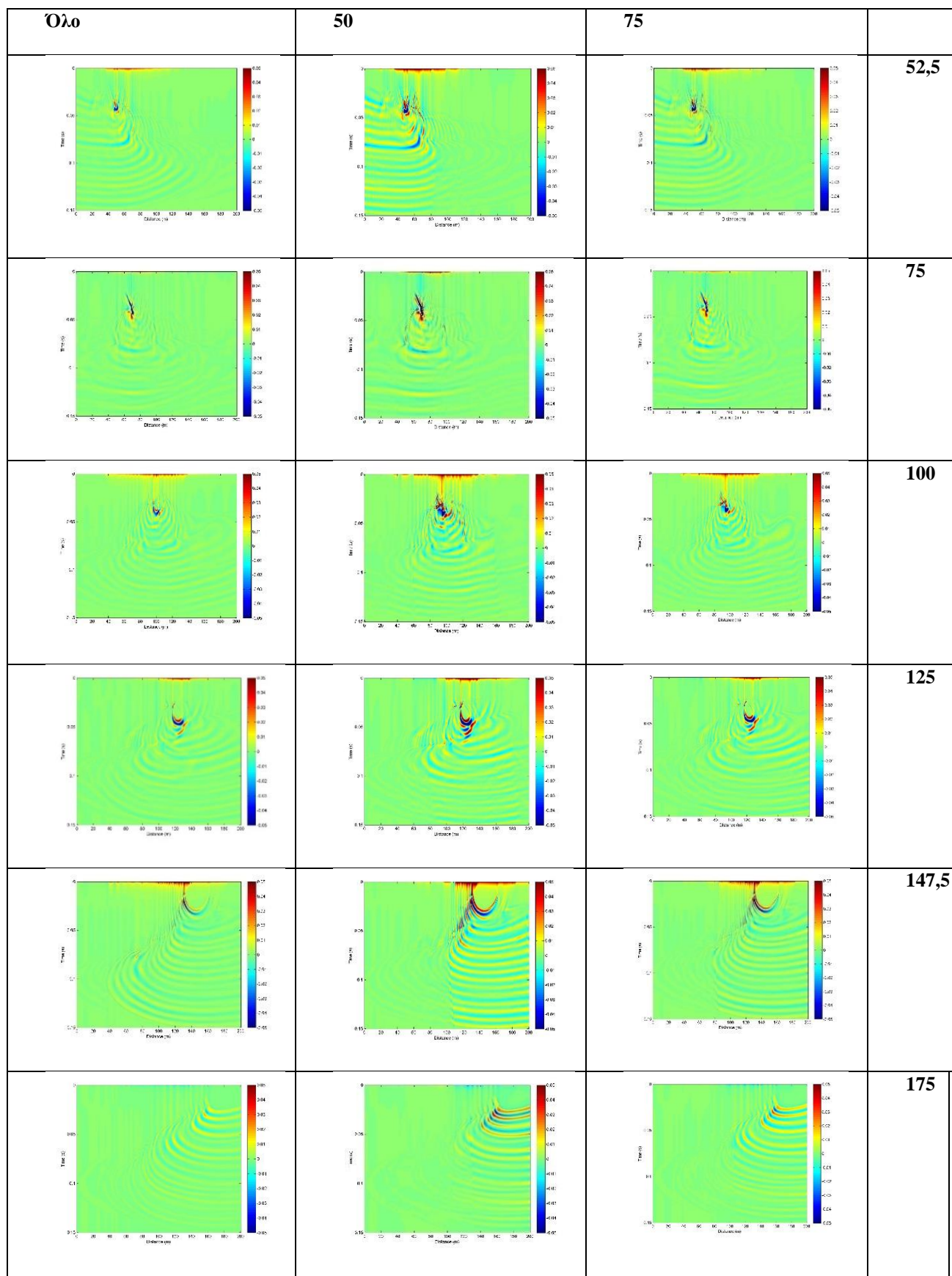
xmig: διάνυσμα απόστασης των χωροθετημένων δεδομένων

Στον παραπάνω αλγόριθμο χωροθέτησης υπάρχει η δυνατότητα για επιλογή του παράθρου χωροθέτησης στην οριζόντια διεύθυνση.

APERTURE: πόσα γεώφωνα συμβάλουν ή χρησιμοποιούνται στην χωροθέτηση.

Τέλος πραγματοποιήθηκαν συνολικά πέντε δοκιμές.

Το κάτωθι σχήμα αποτυπώνει τις διαφορετικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν αλλάζοντας την ταχύτητα και το aperture.



Σχήμα 4.10: Χωροθετημένα δεδομένα κοινής πηγής Θεσεις πηγής: Στα 52.5 μ στα 75μ ,στα 100μ, στα 125μ , στα 147.5μ και στα 175μ. Δοκιμές 3,4,5

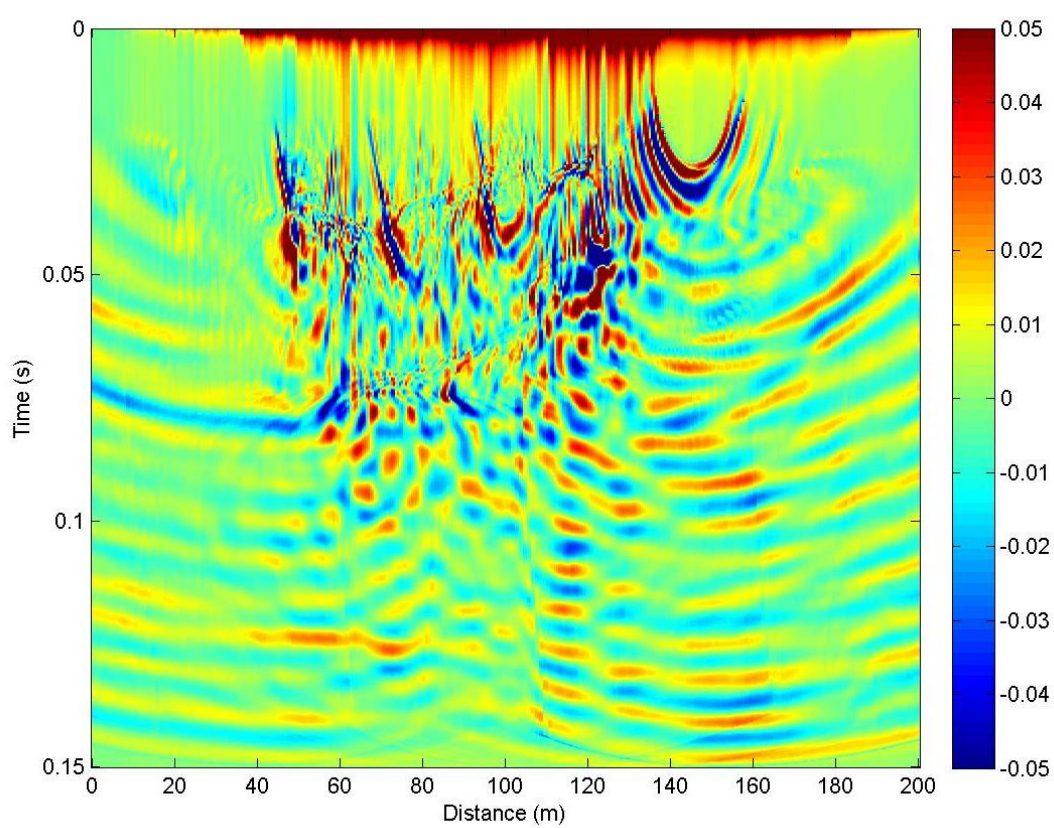
Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούνται διάφορες δοκιμές στην ταχύτητα, προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή τοποθέτηση των ανακλαστήρων στην σωστή τους θέση. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιούνται διότι η μέση τετραγωνική ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε για την χωροθέτηση είναι αντιπροσωπευτική για μοντέλα με οριζόντιους ανακλαστήρες, αλλά όχι σε περιπτώσεις που παρατηρούνται κεκλιμένοι ανακλαστήρες ή έντονη πλευρική μεταβολή της ταχύτητας.

ΔΟΚΙΜΕΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ	APERTURE (ίχνη που χρησιμοποιούμε στη χωροθέτηση)
1η	70 %	50
2η	80 %	50
3η	100 %	50
4η	100 %	75
5η	100 %	όλο

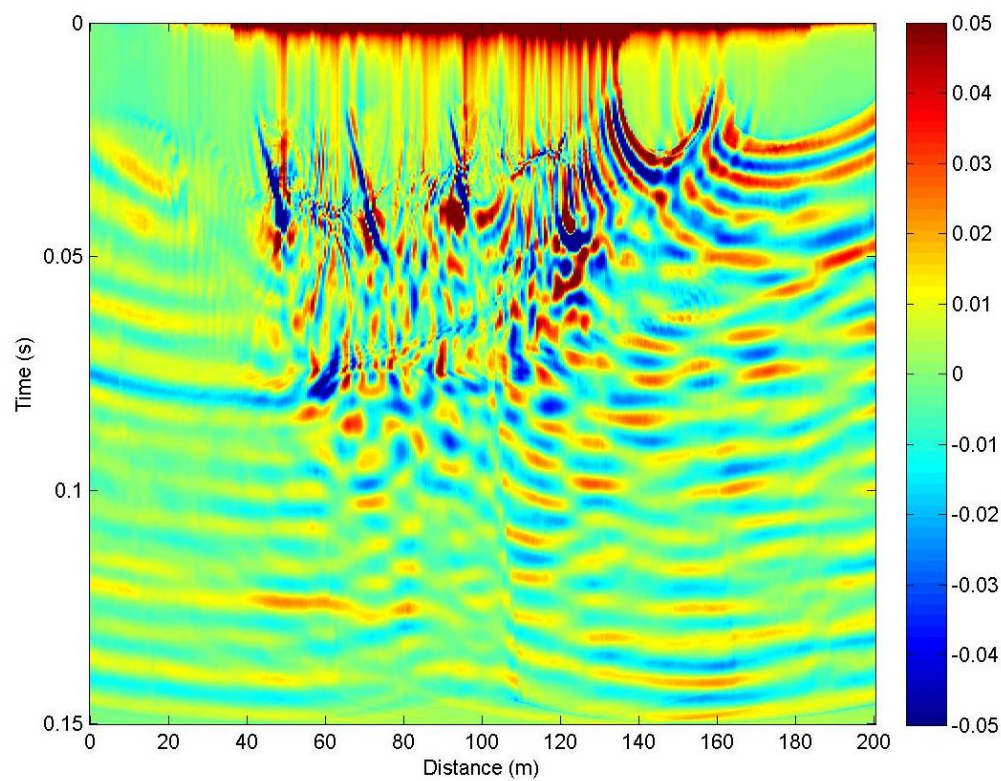
Πίνακας 4.2: Δοκιμές χωροθέτησης

4.6. Δημιουργία Χωροθετημένης Σεισμικής Τομής

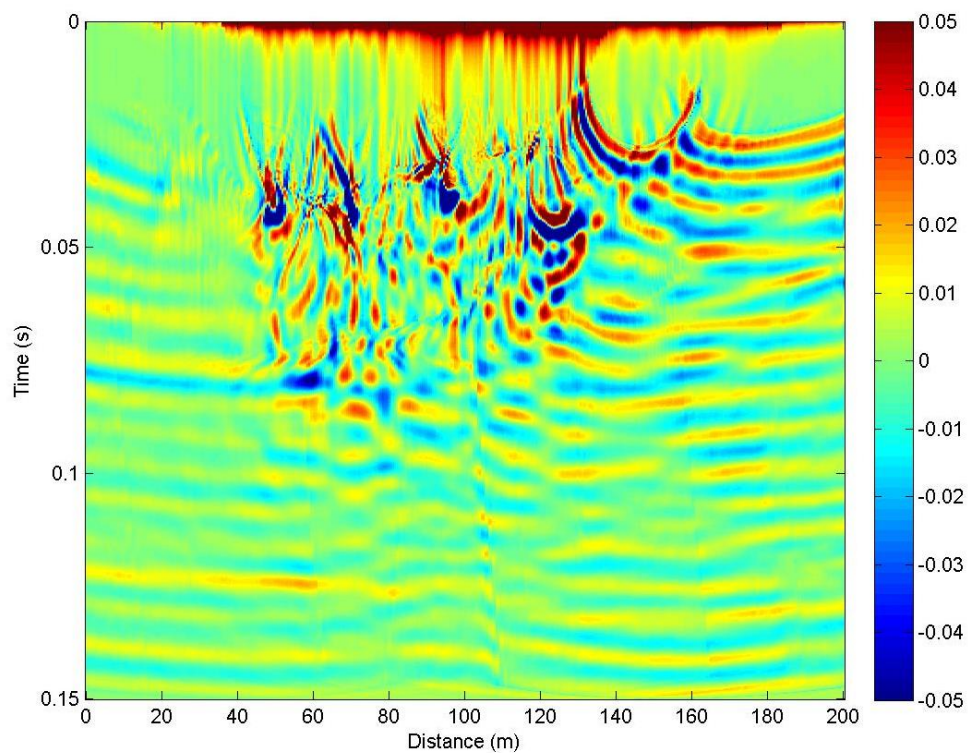
Αθροίζοντας τα δεδομένα που αντιστοιχούν στις εικόνες της κάθε στήλης, που αντιστοιχούν σε διαφορετικές πηγές, προκύπτουν οι παρακάτω σεισμικές τομές χωροθέτησης όπου παρατηρούμε ανακλώμενα κύματα. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε σύγκριση των σεισμικών τομών με το μοντέλο ταχυτήτων, όπου απεικονίζονται εν μέρει οι ανακλαστήρες 1,2 ενώ απεικονίζεται πιο ρηχά ο 3. Στα ακόλουθα Σχήματα (4.11-4.15) παρατηρείται η τμηματική απεικόνιση των ανακλαστήρων (και όχι ως συνεχόμενων διεπιφανειών). Το γεγονός αυτό οφείλεται στον περιορισμένο αριθμό των πηγών. Επίσης, στα Σχήματα 4.16 και 4.17 παρατηρείται, ότι ανάλογα με την απομείωση της ταχύτητας που χρησιμοποιείται για την χωροθέτηση οι ανακλαστήρες τοποθετούνται πλησιέστερα προς την σωστή τους θέση.



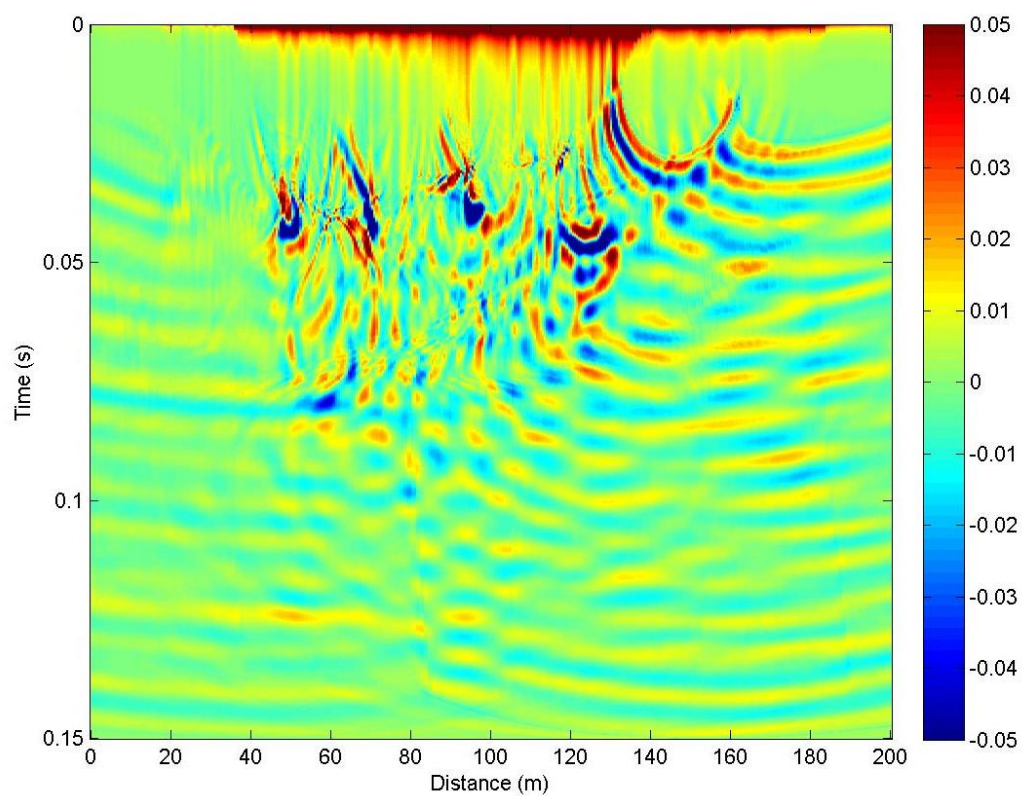
Σχήμα 4.11: Σεισμική τομή χωροθέτησης: 1η Δοκιμή (δεν περιέχει την πηγή στα 175 μέτρα)



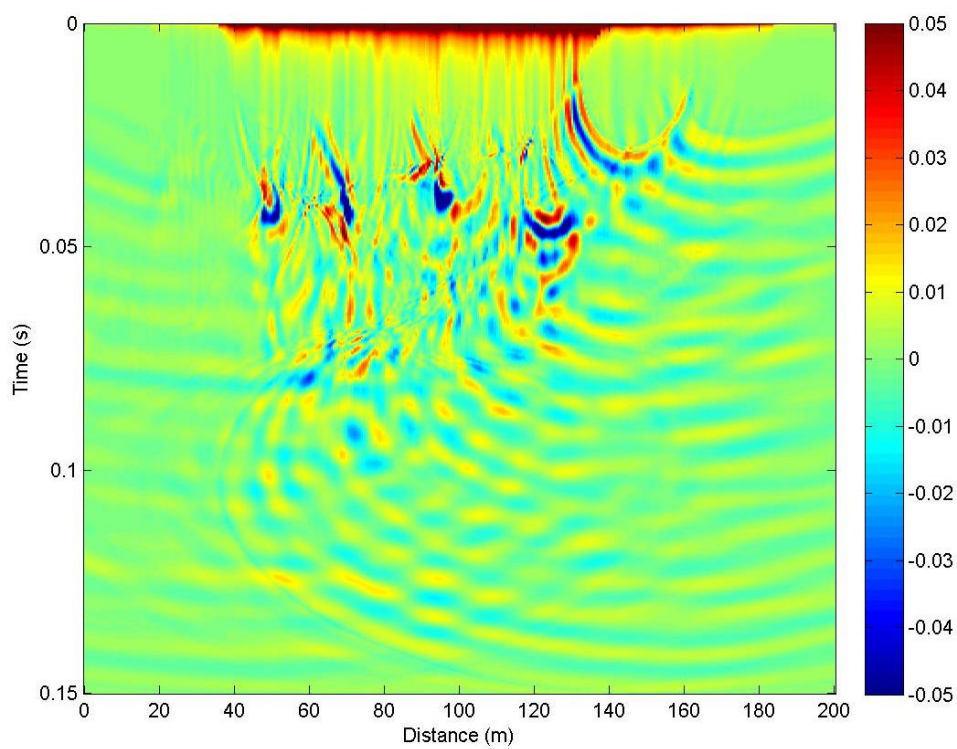
Σχήμα 4.12: Σεισμική τομή χωροθέτησης: 2η Δοκιμή



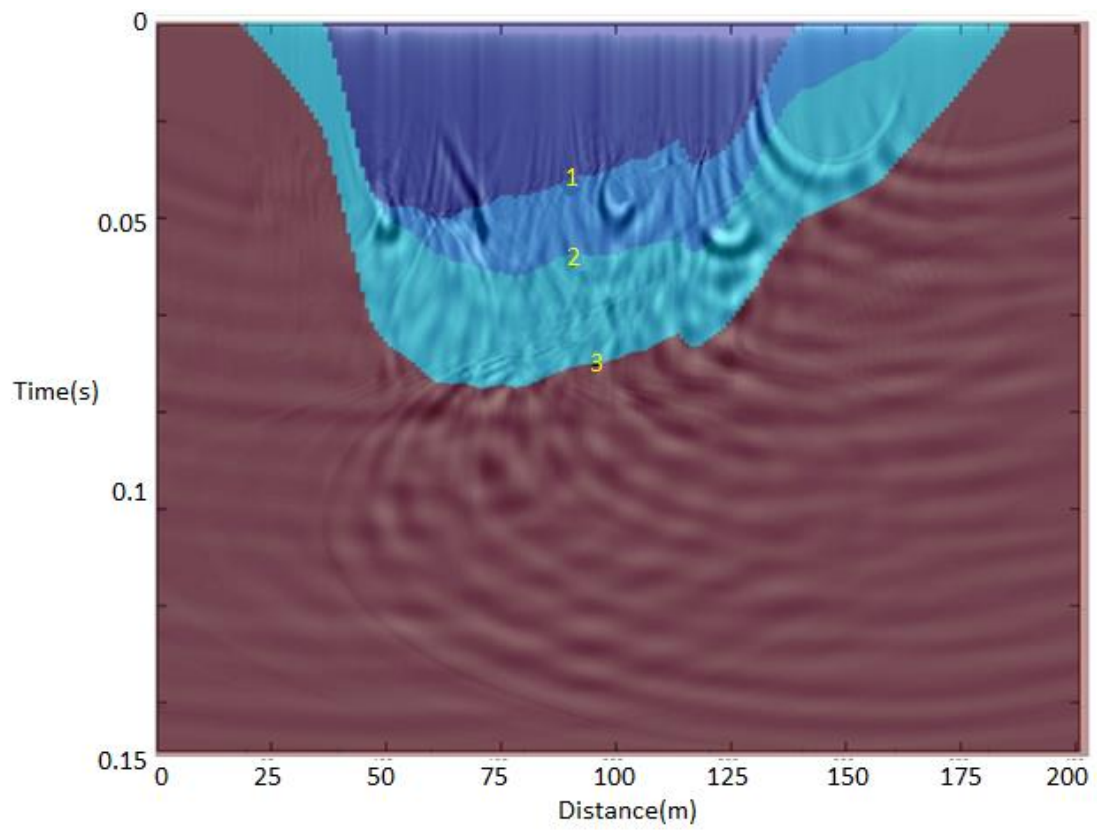
Σχήμα 4.13: Σεισμική τομή χωροθέτησης: 3η Δοκιμή



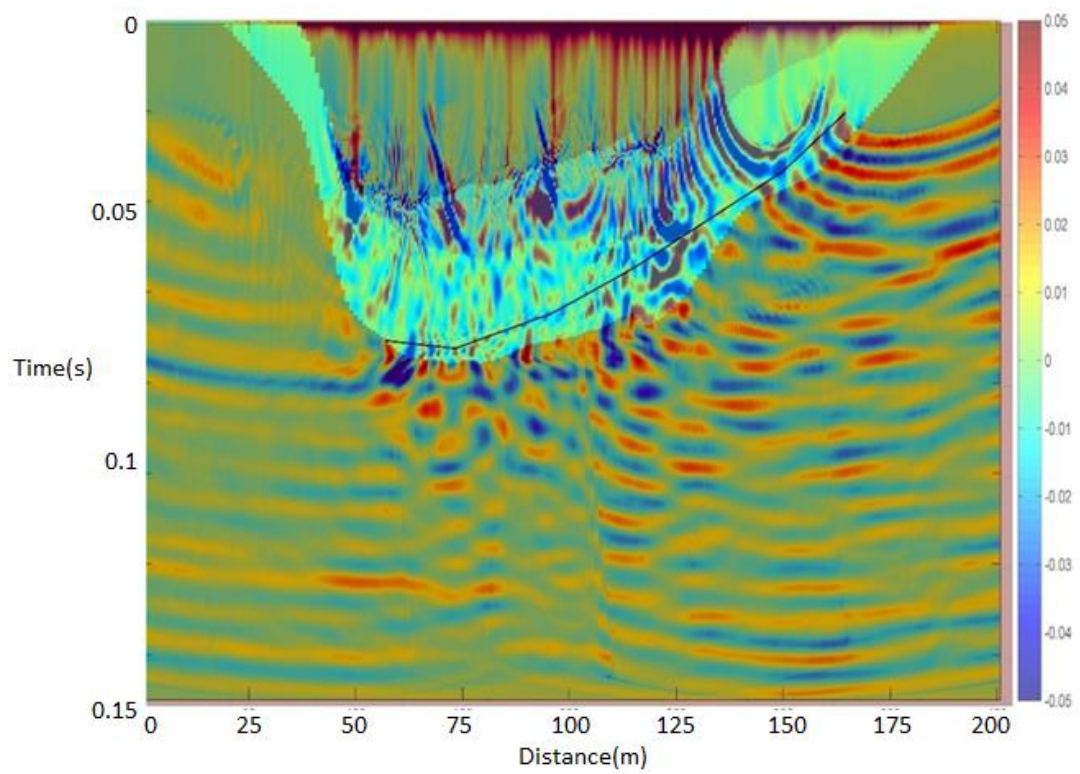
Σχήμα 4.14: Σεισμική τομή χωροθέτησης: 4η Δοκιμή



Σχήμα 4.15: Σεισμική τομή χωροθέτησης: 5η Δοκιμή



Σχήμα 4.16: Υπέρθωση της χωροθετημένης σεισμικής τομής (5η Δοκιμή) και της ταχύτητας όπου απεικονίζονται εν μέρει οι ανακλαστήρες 1,2 ενώ απεικονίζεται πιο ρηγά ο 3.



Σχήμα 4.17: Υπέρθεση της χωροθετημένης σεισμικής τομής (2η Δοκιμή) και της ταχύτητας όπου απεικονίζονται εν μέρει οι ανακλαστήρες 1,2 ενώ απεικονίζεται πιο ρηχά ο 3.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την επεξεργασία προέκυψε ότι η σεισμική ανάκλαση είναι κατάλληλη μέθοδος για την απεικόνιση της ζώνης ολίσθησης. Ωστόσο, παρατηρήθηκε τμηματική απεικόνιση των ανακλαστήρων (και όχι ως συνεχόμενων διεπιφανειών), γεγονός που οφείλεται στον περιορισμένο αριθμό των πηγών. Προτείνεται να γίνει επανασχεδιασμός του πειράματος δηλαδή να αυξηθεί το πλήθος των σεισμικών πηγών από έξι τουλάχιστον στις είκοσι για την καλύτερη απεικόνιση των ανακλαστήρων με ισαπόσταση πηγών πέντε μέτρα.

Επίσης, προτείνεται να επαναληφθεί η διαδικασία της στατικής διόρθωσης χρησιμοποιώντας μοντέλο δύο στρωμάτων έτσι ώστε να ληφθεί υπόψιν ότι στα άκρα του μοντέλου οι δέκτες (γεώφωνα) είναι τοποθετημένοι σε στρώματα με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Στα αποτελέσματα της χωροθέτησης παρατηρείται, ότι ανάλογα με την απομοίωση της ταχύτητας που χρησιμοποιείται για την χωροθέτηση, οι ανακλαστήρες τοποθετούνται πλησιέστερα προς την σωστή τους θέση. Για τον λόγο αυτό προτείνεται να πραγματοποιηθούν επιπρόσθετες δοκιμές χρησιμοποιώντας μεγαλύτερο εύρος τιμών σεισμικής ταχύτητας συμπεριλαμβανομένων και μεγαλύτερων από το 100% του αρχικού μοντέλου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

1. Erskine (1973), Landslides in the vicinity of the Fort Randall Reservoir, South Dakota, U.S. Geol. Survey Prof . Paper 675, 64 p.
2. Hoek and Bray (1977), Rock slope engineering, Civil and mining, 4th edition, Duncan C Wyllie and Christopher W Mah.
3. Manning, P. M., 2007, Techniques to enhance the accuracy and efficiency of finite difference modelling for the propagation of elastic waves, PhD thesis, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.
4. Sass O. and Krautblatter M., 2007. Debris flow-dominated and rockfall dominated talus slopes: Genetic models derived from GPR measurements, *Geomorphology* 86, 176–192.
5. Schrott L. and Sass O., 2008. Application of field geophysics in geomorphology: Advances and limitations exemplified by case studies. *Geomorphology* 93, 176–192.
6. Vafidis A., 1988. Supercomputer Finite Difference Methods for Seismic Wave Propagation PhD thesis, The University of Alberta, Edmonton, Canada.
7. Varnes D.J., 1978. Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) *Landslides, analysis and control*, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., 11–33.
8. Wieczorek, G.F. and Snyder, J.B., 2009. Monitoring slope movements, Geological Society of America, Boulder, Colorado, USA, 245–271.
9. Zaruba – Mencl (1982) *Landslides and Their Control*, Volume 31, 2nd Edition, Elsevier Science.

Ελληνική

10. Ακριτίδης Μάριος- Στυλιανός, 2018, Συμβολή της σεισμικής τομογραφίας και της τεχνολογίας κατανεμημένων αισθητήρων σεισμικών κυμάτων (οπτικής ίνας) στην απεικόνιση του υπεδάφους για την παρακολούθηση κατολισθήσεων, διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείου Κρήτης.
11. Βαφείδης Α., 1993, Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι - Σεισμικές μέθοδοι, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
12. Παγιαλάκης Μιχαήλ, 2014, προσομοίωση δεδομένων σεισμικής ανάκλασης για το σχεδιασμό διασκόπησης στο θαλάσσιο χώρο του Πατραϊκού χώρου, διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείου Κρήτης.
13. Παπαδόπουλος Δ. Τ. Εισαγωγή στη Γεωφυσική, 2010.
14. Σκαρλατούδης Ανδρέας, 2009. Προσομοίωση της σεισμικής κίνησης με τη χρήση δισδιάστατων και τρισδιάστατων μοντέλων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1^{ος} κώδικας

```
cd C:\Users\teoalfa\Documents\MATLAB\source@75m
loadmodel2_grid_0p1.SMP.SRC-mat
AA{1,1}=-Source.positions(1,1);

loadmodel2_grid_0p1.SMP.RCV-mat
AA{1,2}=-Receivers.positions{1,1};

AA{1,3}=datumelev; %datum elevation
AA{1,4}=350;%shallow velocity m/s
loadwork_source@75m.SMP_V-mat
AA{1,5}=Vzm;
AA{1,6}=0.02;Dt se ms
AA75=AA;
% *****

cdC:\Users\teoalfa\Documents\MATLAB\source@125m
loadmodel2_grid_0p1.SMP.SRC-mat
AA{1,1}=-Source.positions(1,1);

loadmodel2_grid_0p1.SMP.RCV-mat
AA{1,2}=-Receivers.positions{1,1};

AA{1,3}=datumelev; %datum elevation
AA{1,4}=350; %shallow velocity m/s
loadwork_source@125m.SMP_V-mat
AA{1,5}=Vzm;
AA{1,6}=0.02;
AA125=AA;
% *****

cdC:\Users\teoalfa\Documents\MATLAB\source@175m
loadsource@75m.SMP.SRC-mat
AA{1,1}=-Source.positions(1,1);

loadsource@75m.SMP.RCV-mat
AA{1,2}=-Receivers.positions{1,1};

AA{1,3}=datumelev; %datum elevation
AA{1,4}=350; %shallow velocity m/s
loadwork_source@175m.SMP_V-mat
AA{1,5}=Vzm;
AA{1,6}=0.02;
AA175=AA;

% *****8
cdC:\Users\teoalfa\Documents\MATLAB\source@52p5m
%load source@75m.SMP.SRC -mat
```

```

AA{1,1}=-18.4;

%load source@75m.SMP.RCV -mat
AA{1,2}=-Receivers.positions{1,1};

AA{1,3}=datumelev; %datum elevation
AA{1,4}=350; %shallow velocity m/s
loadwork_S@52p5mVxVz1m-mat
AA{1,5}=Vzm;
AA{1,6}=0.02;
AA52p5=AA;
% ****8
% ****8
cdC:\Users\teoalfa\Documents\MATLAB\source@100m
%load source@75m.SMP.SRC -mat
AA{1,1}=-17.6;

%load source@75m.SMP.RCV -mat
AA{1,2}=-Receivers.positions{1,1};

AA{1,3}=datumelev; %datum elevation
AA{1,4}=350; %shallow velocity m/s
loadwork_S@100mVxVz1m-mat
AA{1,5}=Vzm;
AA{1,6}=0.02;
AA100=AA;
% ****8
% ****8
cdC:\Users\teoalfa\Documents\MATLAB\source@147p5m
%load source@75m.SMP.SRC -mat
AA{1,1}=-12.1;

%load source@75m.SMP.RCV -mat
AA{1,2}=-Receivers.positions{1,1};

AA{1,3}=datumelev; %datum elevation
AA{1,4}=350; %shallow velocity m/s
loadwork_S@147p5mVxVz1m-mat
AA{1,5}=Vzm;
AA{1,6}=0.02;
AA147p5=AA;

```

2ος κώδικας

```

cdC:\Users\teoalfa\Documents\MATLAB\
AAA=AA52p5;%ALLAZW MONO AYTO
%dimiourgiedomenonendiorthomenongia to ypsometro(statikidiorthosi)
%datacor:diorthomenadedomena

```

```

[datacor52p5, Td52p5]=elevstatics(AAA{1,1}, AAA{1,2}, AAA{1,3}, AAA{1,4},
AAA{1,5}, AAA{1,6});
t=0:0.02:length(AAA{1,5}(:,1))*0.02-0.02;
geophint=1; %geophone interval
x=0:geophint:length(AAA{1,5}(1,:))*geophint-geophint;

%plots
figure;imagesc(x,t,AAA{1,5}, [-50 50]);colormap(bone)
xlabel('Distance (m)');ylabel('Time (ms)');title('Shot gather before elevaton statics
cors')

figure;imagesc(x,t,datacor52p5, [-50 50]);colormap(bone)
xlabel('Distance (m)');ylabel('Time (ms)');title('Shot gather after elevaton statics
cors')

```

3ος κώδικας

```

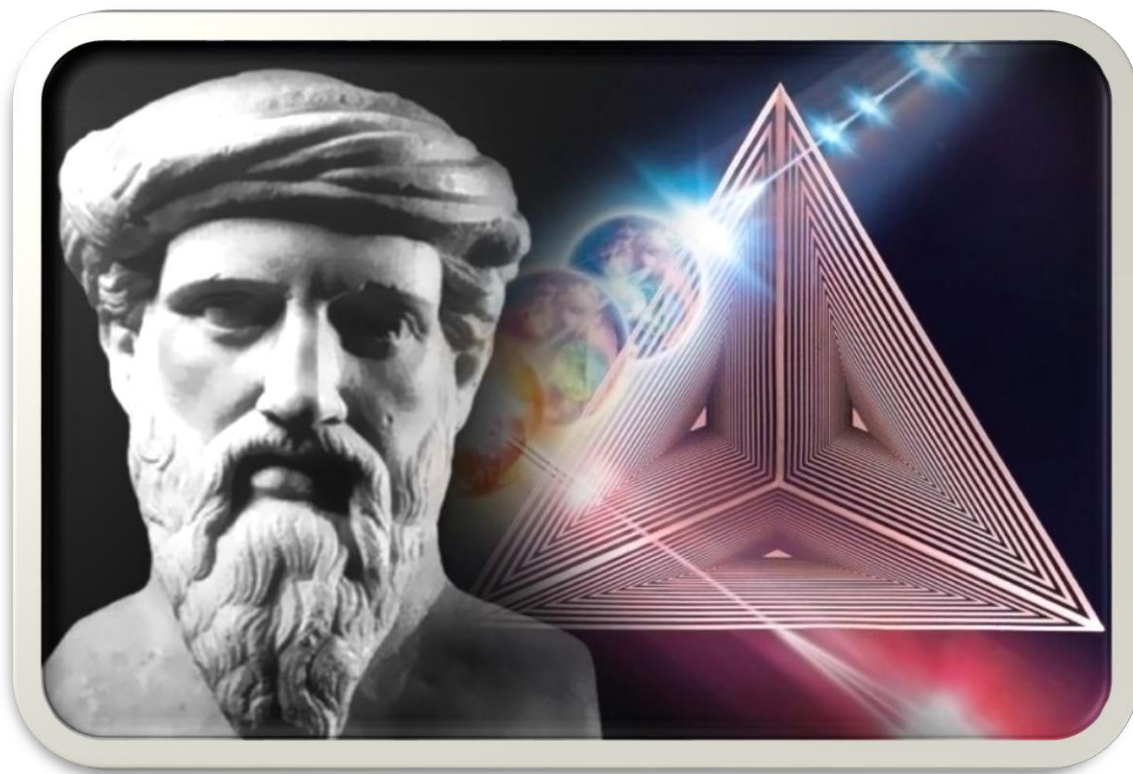
% Vint(z) to Vint(t)
%t: TWT
%thelei to "findVelz" stoidio path
%vint_T=zeros(1500,201);%0 PINAKAS poythaexei V interval alla se time
vint_t=ones(7502,201)*3500;
dt=0.00002;z=0:0.1:90;count=0;tmax=dt*(length(vint_t(:,1))-1);
for ix=6:10:1961;
count=count+1;
[t1,t2]=vint2t(vint(:,ix),z,100);% vinteinai to vinterval_depth (p.x f)
count1=1;index=1;
for t=0:dt:tmax%0.076;%it apo to t toufindVelz
if t>2*t2(end)
vint_t(count1,count)=vint(end,ix);
count1=count1+1;
else
[indexnew,vint_t(count1,count)]=findVelz(vint(:,ix),t2,t,index);
count1=count1+1;
index=indexnew;
end
end
end
figure;imagesc(vint_t);

```

```

%Vint(t) to Vrms(t)
t=0:dt:0.15002;
for kk=1:length(vint_t(1,:));
vrms_4(:,kk)=vint2vrms(vint_t(:,kk),t,t');
end
figure;imagesc(vrms_4);
%prestack migration
x=5:195; t=0:0.00002:0.15002;
xv=0:200; tv=t;
C=AA100{1,5};

```

“Η Επιστημονική γνώση αποτελείται
από δύο διαφορετικά πράγματα:
Από τόν Ορισμό και από την Απόδειξη”

Ο Πυθαγόρας εξ’ Σάμου (580 π.Χ. - 496 π.Χ.)
Έλλην Φιλόσοφος, Γεωμέτρης, Θεωρητικός της Μουσικής και Μαθηματικός.