



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΣΤΟ ΟΡΟΣ ΚΛΟΚΟΒΑ ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ



Βλαχοδημητρόπουλος Αλέξιος
Παρασχούδης Παναγιώτης

Επιβλέπων Καθηγητής
Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής Π.Κ.

Εξεταστική Επιτροπή
Μαρκόπουλος Θεόδωρος, Καθηγητής Π.Κ.
Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Κ.

XANIA 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της εναλλαγής των επιφανειακών στρωμάτων (συγκεκριμένα του βάθους εμφάνισης του ασβεστολίθου) με τις μεθόδους σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας, καθώς επίσης και η εκτίμηση της κατάστασης του υποκείμενου ασβεστολίθου, για την επιλογή του κατάλληλου σημείου για την υποστήριξη του τμήματος της μελλοντικής προέκτασης του οδικού άξονα Ε55 στο όρος Κλόκοβα Αιτωλοακαρνανίας.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μας εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο **Βαφείδη Αντώνιο** για τις πολύτιμες γνώσεις, ιδέες και συμβουλές του καθώς και την άποψη μεταξύ μας συνεργασία.

Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο **Ανδρονικίδη Νικόλαο** για τον καθοριστικό του ρόλο και την πολύτιμη προσφορά του για την εκπόνηση της διπλωματικής μας εργασίας.

Επιπρόσθετα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την εταιρία Γενική Μελετών Ε.Π.Ε. “ΙΣΤΡΙΑ” για την παροχή των δεδομένων και τους κυρίους **Οικονόμου Νικόλαο** και **Hamdan Hamdan** για την βοήθεια και τις συμβουλές τους, καθώς και τους κυρίους **Μπουραζάνη Δημήτριο**, **Λατσούδη Νικόλαο** και **Καραπετάκο Προκόπιο** για τη βοήθεια τους στην πραγματοποίηση των μετρήσεων.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους καθηγητές κυρίους **Μανούτσογλου Εμμανουήλ** και **Μαρκόπουλο Θεόδωρο**, οι οποίοι μας τίμησαν αποδεχόμενοι να συμμετάσχουν ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης που έλαβε χώρα στη νότια και νοτιοδυτική πλευρά του όρους Κλόκοβα Αιτωλοακαρνανίας. Η γεωφυσική έρευνα είχε ως στόχο τον εντοπισμό του βάθους υγιών γεωλογικών σχηματισμών (ασβεστόλιθων ή κροκαλοπαγών), στους οποίους θα εδραστεί η επέκταση του οδικού άξονα Ε55 καθώς επίσης και την επιλογή θέσεων όρυξης νέων γεωτρήσεων.

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής σχεδιάστηκε γεωφυσική έρευνα, η οποία περιλαμβάνει 11 γραμμές μελέτης σεισμικής τομογραφίας, συνολικού μήκους 770 m, καθώς και 8 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας, συνολικού μήκους 783 m. Εξαιτίας της μεγάλης κλίσης του πρανούς, για τη λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ομάδα ορειβατών .

Στην εργασία παρατίθενται οι βασικές αρχές της σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας, γίνεται αναφορά στον πειραματικό εξοπλισμό και παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο των μεθόδων επεξεργασίας των σεισμικών και ηλεκτρικών δεδομένων. Επίσης, με βάση το γεωλογικό χάρτη της περιοχής και τις υφιστάμενες γεωτρήσεις έγινε η κατηγοριοποίηση των σχηματισμών σε I αμμοχάλικο , II λατυποπαγή, III ασβεστόλιθο και IV νέα κορήματα. Σε κάθε κατηγορία αντιστοιχήθηκαν οι ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις και οι σεισμικές ταχύτητες που προέκυψαν από την επεξεργασία των γεωφυσικών δεδομένων.

Ακολούθησε υπέρθεση των σεισμικών και ηλεκτρικών τομών από τις οποίες προέκυψε ότι το πάχος του επιφανειακού ασύνδετου σχηματισμού (I, IV) κυμαίνεται από 1 έως 12 m. Οι σχηματισμοί I, IV παρουσιάζουν τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ξεπερνούν τα 1500 και 2000 Ωm αντίστοιχα ενώ η σεισμική ταχύτητα στους εν λόγω σχηματισμούς δεν ξεπερνά τα 1200 m/s. Στους σχηματισμούς II, III η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι μικρότερη από 700 και μεγαλύτερη από 2000 Ωm αντίστοιχα ενώ η σεισμική ταχύτητα ξεπερνά τα 1500 m/s και στους δυο σχηματισμούς.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	ΓΕΝΙΚΑ	1
1.2	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
1.3	ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	6
2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	7
2.1	ΓΕΝΙΚΑ	7
2.2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	9
3	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ – ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	11
3.1	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	11
3.1.1	ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	11
3.1.2	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ.....	13
3.1.2.1	Εισαγωγή	13
3.1.2.2	Μετωπικά κύματα.....	16
3.1.2.3	Απευθείας κύματα	18
3.2	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	21
3.3	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	21
3.4	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	22
4	ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	26
4.1	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	26
4.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	26
4.1.2	ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.....	27
4.1.3	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	30
4.1.4	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	39
4.2	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	40
4.3	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	41
4.4	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	42
5	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	43
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	43
5.2	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ.....	43
5.3	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	69
5.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ	77
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	95
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	99
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	103
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	139

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Γεωφυσική είναι η επιστήμη που εφαρμόζει τους νόμους της φυσικής για να μελετήσει τη Γη. Μελετάει τις φυσικές ιδιότητες της Γης από το κέντρο της μέχρι και την εξωτερική ατμόσφαιρα, δηλαδή περιλαμβάνει την μελέτη της «στερεάς» Γής, της θάλασσας, της ατμόσφαιρας και της ιονόσφαιρας.

Η γεωφυσική έρευνα έχει στόχο την αξιοποίηση των γεωφυσικών γνώσεων για πρακτικούς σκοπούς. Η εφαρμοσμένη γεωφυσική έρευνα έχει μεγάλη πρακτική σημασία διότι με τις γεωφυσικές μεθόδους :

- Μελετάται η δομή και οι γεωδυναμικές διαδικασίες στον φλοιό και στον πάνω μανδύα της Γης που καθορίζουν τις θέσεις πολλών δομών οικονομικής σημασίας.
- Εντοπίζονται στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης δομές που σχετίζονται με κοιτάσματα πετρελαίου ή φυσικών αερίων, με μεταλλεύματα, με πηγές γεωθερμικής ενέργειας, με ορυκτούς άνθρακες κλπ.
- Προσδιορίζονται οι μηχανικές ιδιότητες των επιφανειακών στρωμάτων της Γης που έχουν σχέση με την κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων όπως θεμελιώσεις γεφυρών, φραγμάτων κλπ.

Επίσης, είναι οικονομικές, σχετικά γρήγορες και μη καταστροφικές. Οι βασικότερες κατηγορίες των μεθόδων της γεωφυσικής διασκόπησης είναι:

- Σεισμικές μέθοδοι
- Βαρυτικές μέθοδοι
- Μαγνητικές μέθοδοι
- Ηλεκτρικές μέθοδοι
- Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι
- Ραδιομετρική μέθοδος
- Θερμική μέθοδος

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν σεισμικές και ηλεκτρικές μέθοδοι, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

Ο όρος γεωφυσική διασκόπηση αναφέρεται στη μελέτη της δομής των απρόσιτων στην άμεση παρατήρηση στρωμάτων του γήινου φλοιού, με βάση τις μετρήσεις γεωφυσικών μεγεθών και με εφαρμογή των νόμων της φυσικής.

Οι μέθοδοι σεισμικής διασκόπησης διακρίνονται στις μεθόδους ανάκλασης και διάθλασης. Με τις μεθόδους αυτές επιδιώκεται ο καθορισμός των μεταβολών της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης. Αυτό πραγματοποιείται με μετρήσεις των χρόνων διαδρομής τους μέσα στα στρώματα αυτά. Οι μέθοδοι αυτές είναι οι πιο ακριβείς για τον καθορισμό της δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης.

Με τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης με μετρήσεις ηλεκτρικών ποσοτήτων στην επιφάνεια της. Η ποσότητα που μετράται είναι η ηλεκτρική τάση, ενώ η ποσότητα η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και της οποίας επιδιώκεται συνήθως ο καθορισμός και η μελέτη της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης, είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Οι ηλεκτρικές μέθοδοι εφαρμόζονται επιτυχώς όταν υπάρχει σημαντική αντίθεση στις ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ του υπο μελέτη γεωλογικού σχηματισμού και του ευρύτερου γεωλογικού περιβάλλοντος .

Πρόσφατες αναφορές έδειξαν ότι ο συνδυασμός γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα για τη γεωλογική δομή του υπεδάφους, την στρωματογραφία και τον εντοπισμό πιθανών ανωμαλιών στα πετρώματα.

Συγκεκριμένα η σεισμική τομογραφία που χρησιμοποιήθηκε, έχει αποδειχθεί ένα πολύ αποτελεσματικό εργαλείο απεικόνισης σε πολλές εφαρμογές. Εντούτοις, είναι πολύ σημαντικό να εκτιμηθεί ότι οι σεισμικές εικόνες ταχύτητας πρέπει να ερμηνεύονται και όχι απλά να γίνονται αποδεκτές ως σαφή δεδομένα της δομής που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια. Η ερμηνεία απαιτεί κάποια κατανόηση των περιορισμών αυτής της μεθόδου εξερεύνησης. Υπάρχουν τρεις ουσιαστικές απαιτήσεις, σύμφωνα με τον καθηγητή Michael Worthington, για μια επιτυχή σεισμική τομογραφική έρευνα:

- Καλή κάλυψη σεισμικών ακτίνων μεταξύ των θέσεων πηγής και δεκτών πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος.
- Τα δεδομένα υψηλής συχνότητας (μικρό μήκος κύματος) που είναι σχετικά με το μέγεθος των θαμμένων δομών που αναμένονται, θα πρέπει να εμφανισθούν στην εικόνα.
- Καλή αναλογία του σήματος προς θόρυβο σε σχέση με την διαταραχή των στοιχείων.

Πρωταρχικός ρόλος των γεωφυσικών μελετών είναι η μέτρηση και η απεικόνιση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Ιδιότητες όπως η πυκνότητα, η αγωγιμότητα και ο όγκος, χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν γεωλογικές ιδιότητες όπως η στρωματογραφία, η δομή, ο κορεσμός, το σπάσιμο, και η διαπερατότητα [Geslin et Al, 1994].

Η σεισμική τομογραφία επιτρέπει την επέκταση της πληροφορίας που λαμβάνεται από τις γεωτρήσεις. Αν και οι γεωτρήσεις μας επιτρέπουν την άμεση εξέταση των φυσικών ιδιοτήτων του υπό μελέτη χώρου, ωστόσο υπάρχει μια ανάγκη να ανιχνευθούν και να χαρακτηριστούν τα υπόγεια χαρακτηριστικά γνωρίσματα μακριά και ανάμεσα από τα σημεία των γεωτρήσεων. Την ανάγκη αυτή μπορεί να καλύψει, η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας.

Ωστόσο είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η θέση σημαντικών ζωνών σπασίματος, η εναλλαγή στη λιθολογία, και ο τύπος του πετρώματος, για να σχεδιασθεί κατάλληλα η εφαρμογή της μεθόδου. Ενδεικτικά αναφέρονται δύο παραδείγματα σεισμικών μελετών.

Κατά την διάρκεια των προηγούμενων 20 ετών, το Τμήμα Ενέργειας Ηνωμένων Πολιτειών (DOE) έχει πραγματοποιήσει μια σεισμική έρευνα στο Βουνό Yucca, στο νοτιοδυτικό μέρος της Νεβάδας, με σκοπό να καθορίσει την καταλληλότητα της περιοχής στην αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων σε υπόγειες «αποθήκες». Για τον σκοπό αυτό τοποθετήθηκαν, πηγές σε γραμμή μήκους πέντε χιλιομέτρων και δέκτες (γεώφωνα) σε γραμμή μήκους τριών χιλιομέτρων, πάνω στην κορυφογραμμή των βουνών Yucca και μέσα σε διερευνητική σήραγγα μελέτης, αντίστοιχα.

Τον Μάιο του 2000 στον λόφο **Hill Silbury** εφαρμόστηκε η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας σε συνδυασμό με την πραγματοποίηση 7 γεωτρήσεων, όπου επικεφαλής των γεωφυσικών εργασιών ήταν ο καθηγητής Richard Chandler. Σκοπός της γεωφυσικής

έρευνας αποτελούσε ο προσδιορισμός των κενών και κατά συνέπεια η σταθερότητα του λόφου, προκειμένου να προβλεφθεί τυχόν καθίζηση στις δύο σήραγγες (Atkinson και Merewether) που περνούν μέσα από το λόφο **Hill Silbury**. Τα αποτελέσματα της σεισμικής έρευνας ήταν πολύ καλά γιατί κατά την εφαρμογή της σεισμικής τομογραφίας στην περιοχή μελέτης υπήρξε πυκνή κάλυψη με σεισμικές ακτίνες και προέκυψε σαφής εικόνα της εσωτερικής δομής.

Επίσης, στην ηλεκτρική τομογραφία, η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μια από τις πιο σημαντικές μεθόδους της γεωφυσικής διασκόπησης τόσο από την λειτουργική πλευρά όσο και από την θεωρητική πλευρά. Έχει σκοπό τον καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, ή καλύτερα την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος που ονομάζεται γεωηλεκτρική δομή.

Λόγω χαμηλού κόστους και μεγάλου εύρους εφαρμογών είναι η πιο διαδεδομένη γεωφυσική μέθοδος και χρησιμοποιείται κυρίως στην Υδρογεωλογία, στην Τεχνική Γεωλογία στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην ανεύρεση του βάθους του μητρικού πετρώματος σε τοποθεσίες κατασκευής τεχνητών φραγμάτων, στην αρχαιομετρία κ.τ.λ.

- Κατά την μέθοδο της γεωηλεκτρικής διασκόπησης μετράμε τη διαφορά δυναμικού που προκαλείται από την εισαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη γη.
- Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού αντικατοπτρίζει την δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα στο υπέδαφος, δίνοντας έτσι μια ένδειξη για την ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους.
- Διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν και διαφορετικές ηλεκτρικές αντιστάσεις. Η γνώση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους μπορεί να χρησιμο-ποιηθεί για την έμμεση εύρεση της γεωλογικής δομής και τον εντοπισμό δομών ενδιαφέροντος.
- Με τη μέθοδο αυτή παράγεται στο έδαφος με τεχνητό τρόπο ηλεκτρικό πεδίο. Η ποσότητα που μετριέται είναι η ηλεκτρική τάση και τελικός ο σκοπός είναι ο εντοπισμός δομών, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετική ειδική ηλεκτρική αντίσταση από τα περιβάλλοντα πετρώματα. Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία τεχνητών ηλεκτρικών πεδίων των οποίων οι ιδιότητες επηρεάζονται από τη δομή του υπεδάφους.

Ενδεικτικά αναφέρονται παραδείγματα πραγματοποίησης ηλεκτρικής τομογραφίας μαζί με άλλες γεωφυσικές μεθόδους.

Το 2004 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις οι οποίες είχαν ως στόχο τον προσδιορισμό, με γεωφυσικές μεθόδους, του πάχους των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών πάνω στους οποίους θα εδραστεί η λιμνοδεξαμενή και την υπόδειξη θέσεων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, ενώ έδειξαν ότι τόσο τα αποτελέσματα της σεισμικής διάθλασης όσο και αυτά της ηλεκτρικής τομογραφίας συμφωνούν μεταξύ τους και επιβεβαιώνονται από τα γεωτρητικά στοιχεία. (Βαφείδης και συνεργάτες, 2004).

Επίσης, το 2004 συνδιάστηκαν γεωφυσικές μέθοδοι για τη διερεύνηση της γεωλογικής δομής στο οροπέδιο του Ομαλού και προέκυψε ότι η ηλεκτρική τομογραφία είναι η πλέον κατάλληλη για τον εντοπισμό των διαφόρων στρωμάτων του υπεδάφους και την απεικόνιση των ζητούμενων καρστικών μορφών. (Βαφείδης και συνεργάτες, 2004).

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μέσα στο 2004, γεωφυσική έρευνα στο λατομείο ασβεστολίθων στην περιοχή Ζωφόροι του Ν. Ηρακλείου, προκειμένου να ανιχνευθούν έγκοιλα με τις μεθόδους της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. (Χορευτάκη και συνεργάτες, 2004). Η έρευνα έδειξε ότι υπάρχουν τρία έγκοιλα πληρωμένα με εδαφικό υλικό. Η μελέτη απέδειξε ότι με συνδυασμό γεωφυσικών μεθόδων σε λατομείο, μπορεί να διευκολυνθεί η διαδικασία της εξόρυξης χρησιμοποιώντας την κατάλληλη ποσότητα εκρηκτικών, για την καλύτερη απόληψη του πετρώματος.

1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας (εκτέλεση ηλεκτρικής τομογραφίας και σεισμικής διάθλασης) στις νότιες παρυφές του όρους Κλόκοβα που βρίσκεται βορειοδυτικά της γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου. Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης για τον προσδιορισμό της εναλλαγής των επιφανειακών στρωμάτων (συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό του βάθους εμφάνισης του ασβεστολίθου), καθώς

επίσης και την εκτίμηση της κατάστασης του ασβεστολίθου, για την επιλογή του κατάλληλου σημείου για την υποστήριξη του τμήματος της μελλοντικής προέκτασης του οδικού άξονα E55.

1.3 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η γεωφυσική έρευνα αυτή είχε αρχικά ως στόχο την απεικόνιση των γεωηλεκτρικών και σεισμικών στρωμάτων και εν συνεχεία την ερμηνεία και αντιστοίχιση με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της υπό έρευνας περιοχής.

Η απεικόνιση των σχηματισμών αυτών συντελεί στην αναγνώριση δομών όπως ρήγματα, ασυνέχειες κλπ, που ενδέχεται να δημιουργήσουν προβλήματα στην υποστήριξη και ασφάλεια του έργου και γενικά στον προσδιορισμό των θέσεων που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής.

Με την επεξεργασία των δεδομένων των γεωφυσικών διασκοπήσεων, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας, προσδιορίζεται η ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων και εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων στους επιφανειακούς σχηματισμούς, ενώ με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας προσδιορίζεται η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των επιφανειακών στρωμάτων. Με την κατάλληλη αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων και με την βοήθεια γεωλογικών χαρτών, προκύπτει μια συνολική εικόνα των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης.

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

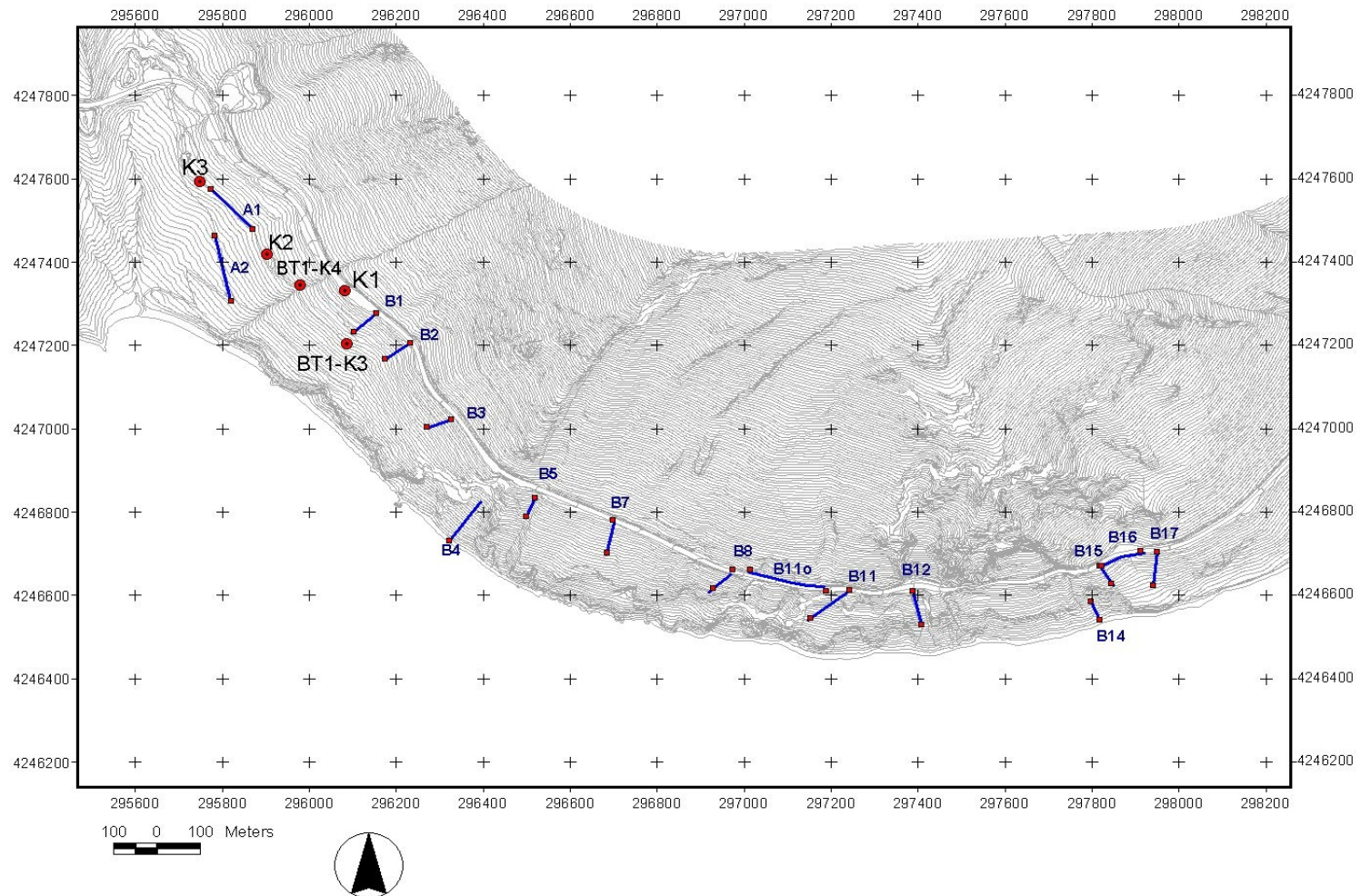
2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το όρος Κλόκοβα βρίσκεται βορειο-δυτικά της γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου. Το ανάγλυφο της περιοχής είναι πολύ έντονο.

Η γεωφυσική έρευνα πραγματοποιήθηκε στο τμήμα της μελλοντικής προέκτασης του οδικού άξονα E55, που βρίσκεται Νότια και Νοτιοδυτικά του όρους Κλόκοβα.



***Σχήμα 2.1:** Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής μελέτης. (Τεχνική Έκθεση “Γεωφυσική Διασκόπηση στο τμήμα Κλόκοβα Αιτωλοακαρνανίας του οδικού άξονα E55”, 2008).*

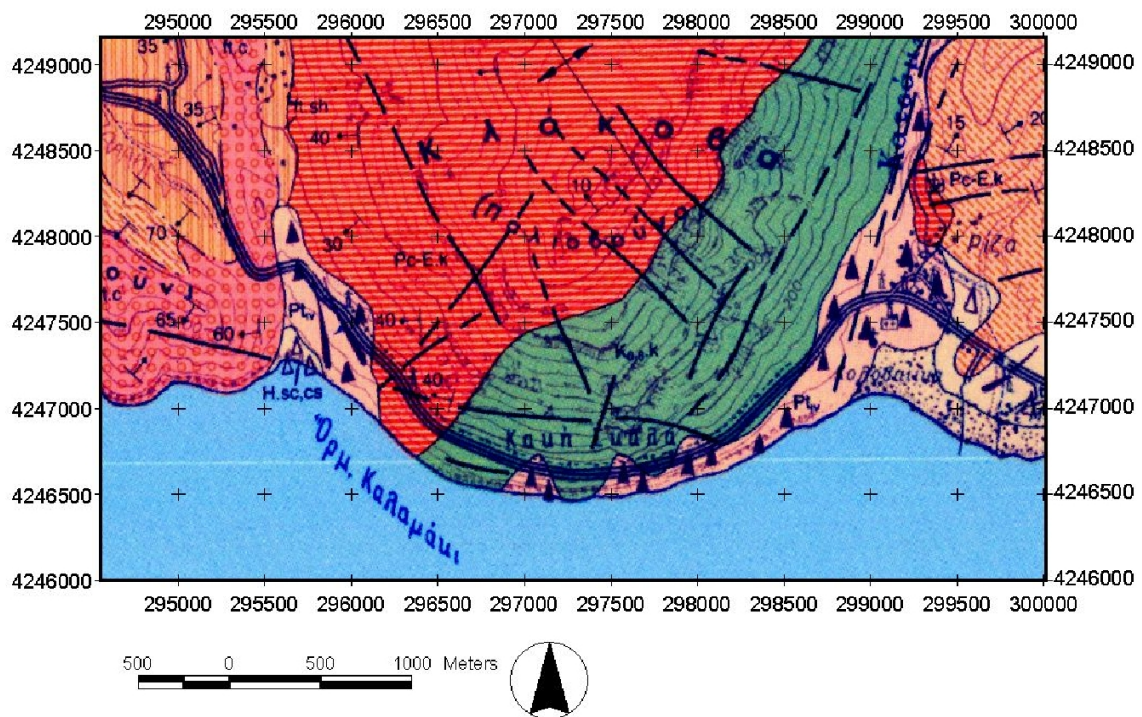


Σχήμα 2.2: Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής μελέτης, με τον οδικό άξονα E55 και τις θέσεις των γραμμών μελέτης. Οι γραμμές γαλάζιου χρώματος αντιστοιχούν στις γραμμές μελέτης τα όρια των οποίων απεικονίζονται με κόκκινα τετράγωνα, ενώ οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε θέσεις υφιστάμενων γεωτρήσεων. (Τεχνική Έκθεση “Γεωφυσική Διασκόπηση στο τμήμα Κλόκοβα Αιτωλοακαρνανίας του οδικού άξονα E55”, 2008).

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

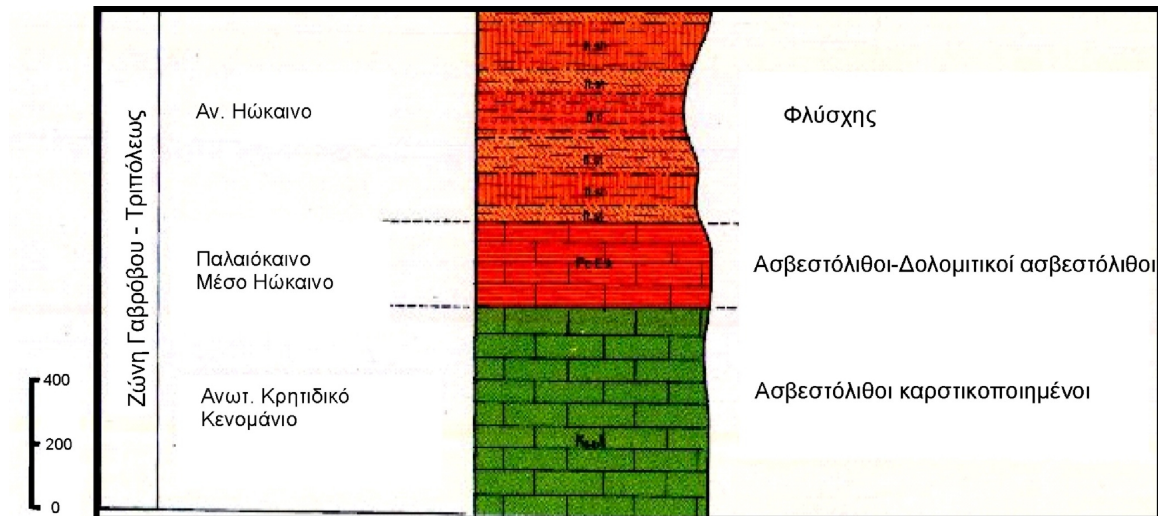
Η περιοχή μελέτης αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι είναι:

- Ασβεστολιθικά κορήματα και επιχώσεις.
- Αργιλώδεις χάλικες καστανού χρώματος ισχυρά συγκολλημένοι με σημαντική συνοχή και αμμοχάλικο πολύ πυκνής απόθεσης.
- Ασβεστολιθικό λατυποπαγές με ασβεστοαμμώδες έως ασβεστοαργιλικό συνδετικό υλικό.
- Ανθρακικοί σχηματισμοί ζώνης Τρίπολης.



Σχήμα 2.3: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. (Τεχνική Έκθεση “Γεωφυσική Διασκόπηση στο τμήμα Κλόκοβα Αιτωλοακαρνανίας του οδικού άξονα E55”, 2008).

Η στρωματογραφική στήλη του όρους Κλόκοβα από το σχετικό φύλλο χάρτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4: Στρωματογραφική στήλη της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως η οποία στην περιοχή μελέτης καλύπτεται από πλευρικά ρυπίδια. (Τεχνική Έκθεση “Γεωφυσική Διασκόπηση στο τμήμα Κλόκοβα Αιτωλοακαρνανίας του οδικού άξονα E55”, 2008).

3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ – ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

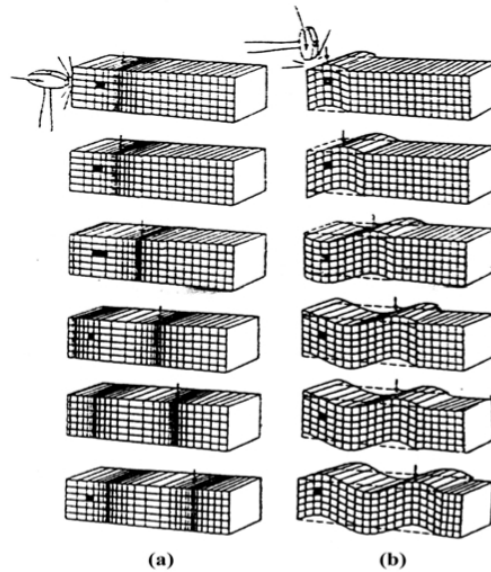
3.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1.1 ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Τα σεισμικά κύματα διακρίνονται σε διαφορετικά είδη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά διάδοσης τους. Διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τα κύματα χώρου και τα επιφανειακά κύματα.

Τα κύματα χώρου διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις στο εσωτερικό των γεωλογικών σχηματισμών και ανάλογα με το είδος της διαταραχής που προκαλούν στην ύλη διακρίνονται σε δύο τύπους κυμάτων, τα διαμήκη (ή επιμήκη ή συμπίεσης ή P) κύματα και τα εγκάρσια (ή διατμητικά ή στρέψης ή S) κύματα.

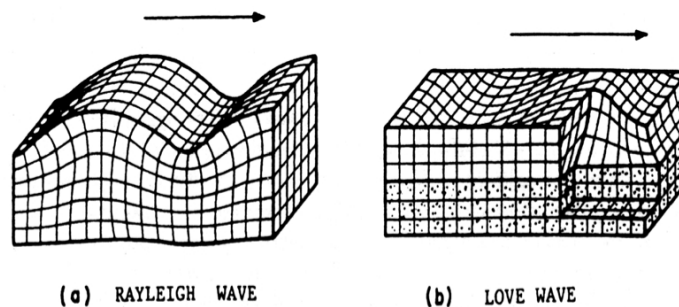
- Τα διαμήκη (ή επιμήκη ή συμπίεσης ή P) κύματα που είναι και τα ταχύτερα, καταγράφονται πρώτα στα σειсмоγράμματα (πρώτες αφίξεις) και διαδίδονται ακτινικά, προκαλώντας πυκνώματα και αραιώματα της ύλης κατά μήκος της διεύθυνσης διάδοσης τους. Η ταχύτητα διάδοσης τους δίνεται σε συνάρτηση των σταθερών Lamé και έχει χαρακτηριστική τιμή στα κορεσμένα εδάφη, όπου ανάλογα με το πορώδες του εδάφους δεν ξεπερνάει τα 1600 – 1800 *m/sec* (Ραπτάκης, 1995).
- Τα εγκάρσια (ή διατμητικά ή στρέψης ή S) κύματα, εμφανίζονται στο σεισμόγραμμα μετά τα P και διαδίδονται εγκάρσια στη διεύθυνση διάδοσής τους, προκαλώντας διατμητική κίνηση στη δομή του υλικού. Η τάξη μεγέθους των ταχυτήτων των κυμάτων αυτών, κυμαίνεται από μερικές δεκάδες *m/sec* για τα χαλαρά και μικρής ακαμψίας εδάφη (ιλύς, μαλακές άργιλοι κ.ά), μέχρι και χιλιάδες *m/sec* για το αποσαθρωμένο ή υγιές βραχώδες υπόβαθρο (γρανίτης, σχιστόλιθος, κ.ά) (Ραπτάκης, 1995). Στο νερό, το μέτρο διάτμησης είναι μηδενικό, με αποτέλεσμα τα κύματα αυτά να μην διαδίδονται.



Σχήμα 3.1: Εδαφική κίνηση κατά τη διάδοση των κυμάτων χώρου. (a) P-κύματα, (b) S-κύματα (Sheriff and Geldart, 1995).

Τα επιφανειακά κύματα μελετήθηκαν για πρώτη φορά από τον Rayleigh, ως κυματικό φαινόμενο (κύματα Rayleigh) στην ελεύθερη επιφάνεια ομογενούς ελαστικού ημιχώρου. Στη συνέχεια ο Love μελέτησε τα SH επιφάνειας (κύματα Love), σε ομογενές στρώμα υπερκείμενο σε ομογενή ημιχώρο, ενώ ο Stoneley μελέτησε τα ομώνυμα κύματα Stoneley επιφάνειας, που διαδίδονται μεταξύ υδάτινου και εδαφικού στρώματος ή στη διαχωριστική επιφάνεια δύο εδαφικών ημιχώρων, όταν όμως ισχύει $\beta_1 \approx \beta_2$ και οι λόγοι ρ_1/ρ_2 και μ_1/μ_2 να κυμαίνονται περίπου στη μονάδα (Sheriff and Geldart, 1995).

Ένας άλλος χαρακτηριστικός τύπος επιφανειακών κυμάτων είναι τα σωληνοκύματα (tube waves), τα οποία διαδίδονται στη διεύθυνση του άξονα, πληρωμένης με νερό γεώτρησης και θεωρούνται σημαντικά για τις πληροφορίες που παρέχουν, για τις ελαστικές ιδιότητες του περιβάλλοντος μέσου.



Σχήμα 3.2: Σχηματικός τρόπος διάδοσης των σεισμικών (a) Rayleigh και (b) Love επιφανειακών κυμάτων (Ραπτάκης, 1995).

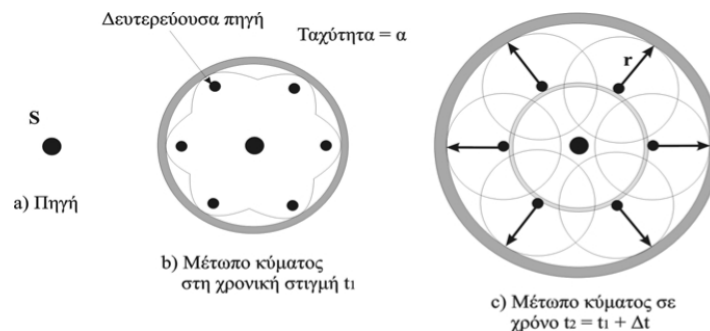
Όπως και στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έτσι και κατά τη διάδοση των ελαστικών κυμάτων ισχύουν δυο βασικές αρχές. Αυτές είναι η αρχή του Huygens και η αρχή του

Fermat. Θεωρούνται βασικές αρχές, γιατί απ' αυτές προκύπτουν εύκολα άλλες αρχές άμεσα εφαρμόσιμες (νόμος διάθλασης, ανάκλασης, περίθλασης).

➤ Η αρχή του **Huygens** ορίζει ότι (Παπαζάχος, 1986) :

«Κάθε σημείο ενός μετώπου κύματος μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί πηγή ενός νέου (δευτερογενούς) κύματος».

Με βάση την αρχή αυτή ορίζονται οι μελλοντικές θέσεις του μετώπου κύματος, όταν είναι γνωστή η θέση του σ' ορισμένη χρονική στιγμή.



Σχήμα 3.3: Σχηματική παράσταση της αρχής του Huygens για ισότροπο μέσο (Παπαζάχος, 1986).

➤ Η αρχή του **Fermat** ορίζει ότι (Παπαζάχος, 1986):

«Το κύμα το οποίο φτάνει σε ορισμένο σημείο από ορισμένη πηγή ακολουθεί το συντομότερο δρόμο από όλους τους δρόμους που είναι δυνατόν να ακολουθήσει, δηλαδή, ακολουθεί αυτόν που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο».

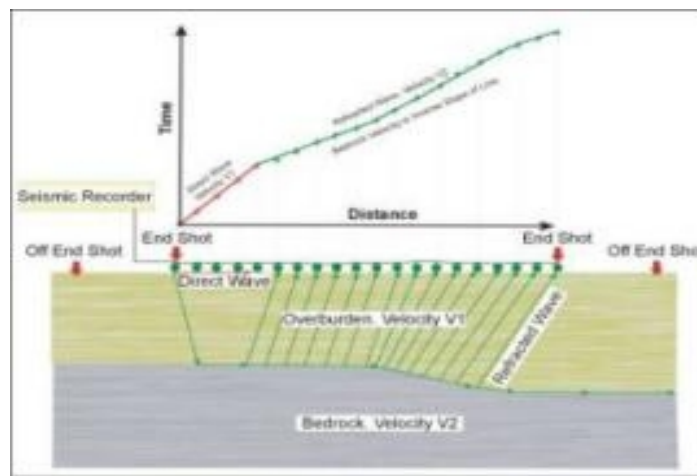
Αν για ένα ελαστικό μέσο δοθεί η κατανομή της ταχύτητας διάδοσης των ελαστικών κυμάτων, με βάση την αρχή του Fermat, χαράσσονται οι σεισμικές ακτίνες των κυμάτων. Συνέπεια της αρχής αυτής αποτελεί το γεγονός ότι οι σεισμικές ακτίνες των κυμάτων τα οποία διαδίδονται μέσα σε ομογενές μέσο είναι ευθείες γραμμές. Αποδεικνύεται επίσης ότι οι νόμοι της ανάκλασης (Βαφείδης 1993) και διάθλασης των ελαστικών κυμάτων μπορούν να προκύψουν από την εφαρμογή της αρχής αυτής.

3.1.2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

3.1.2.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος της σεισμικής διάθλασης είναι μια από τις πλέον χρησιμοποιούμενες σήμερα μεθόδους για να βρεθεί το βάθος του υποβάθρου, ιδιαίτερα για βάθη μικρότερα των 30

μέτρων. Η μέθοδος απαιτεί την ύπαρξη μιας σεισμικής πηγής, συνήθως μια σφύρα για βάθη διασκόπησης μικρότερα των 15 μέτρων, ενώ για μεγαλύτερα βάθη χρησιμοποιείται πίπτων βάρος ή εκρηκτικά. Τα σεισμικά κύματα που παράγονται από τη σεισμική πηγή διασχίζουν το επιφανειακό κάλυμμα και διαθλώνται στις διεπιφάνειες. Κατά την διαδρομή τους στην επιφάνεια επαφής ιζημάτων – υποβάθρου, διαθλώνται και αναδύονται στην επιφάνεια όπου καταγράφονται από ειδικούς αισθητήρες (γεωφώνα). Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η πορεία των διαθλωμένων κυμάτων, η γεωμετρία ενός σεισμικού αναπτύγματος καθώς και το καταγραφικό (σειсмоγράφος).



(a) Instrument layout, refracted waves, and time-distance plot.



(b) Seismograph data recorder. (Geometrics Inc.)

Σχήμα 3.4: Σεισμική διάθλαση: διάταξη υπαίθρου και καταγραφέας (www.geoservice.gr).

Η γεωλογική πληροφορία είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τον σωστό σχεδιασμό του πειράματος και προκειμένου να επιλεγθούν οι κατάλληλες γεωμετρικές παράμετροι (πχ ισαπόσταση γεωφώνων, θέσεις πηγών κτλ).

Το πρώτο βήμα στην επεξεργασία δεδομένων σεισμικής διάθλασης είναι να επιλεγθούν οι λεγόμενες «πρώτες αφίξεις». Στη συνέχεια σχεδιάζεται το δρομοχρονικό διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι χρόνοι άφιξης συναρτήσει της απόστασης μεταξύ γεωφώνων και

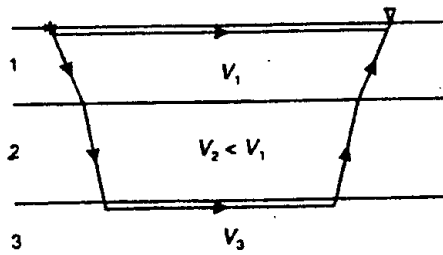
θέσης της πηγής. Λαμβάνεται υπόψη ότι τα διαθλώμενα κύματα είναι πιο γρήγορα από τα ανακλώμενα που φτάνουν τελικά τελευταία. Αυτό συμβαίνει γιατί τα διαθλώμενα κύματα ταξιδεύουν με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα στην επιφάνεια επαφής ιζημάτων – υποβάθρου. Η επεξεργασία γίνεται με υπολογιστή με διάφορους τύπους λογισμικού.

Η μέθοδος της σεισμικής διάθλασης είναι πολύ αποτελεσματική για να δώσει το βάθος υποβάθρου γιατί κατά κανόνα υπάρχει μεγάλη διαφορά στις ταχύτητες διάδοσης των δύο μέσων. Επίσης η τοπογραφία του υποβάθρου δίνεται με σημαντική ακρίβεια (εξαρτάται βέβαια πάντοτε από την απόσταση μεταξύ γεωφώνων).

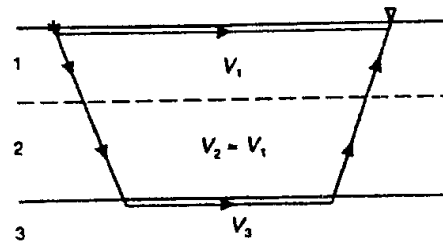
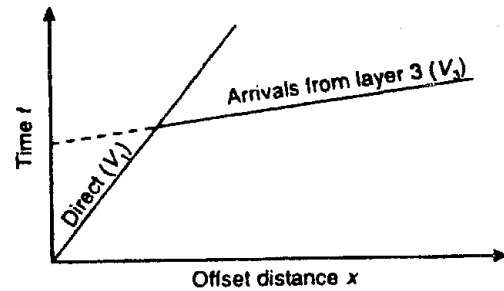
Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι προκειμένου να αποδώσει σωστά τη στρωματογραφία θα πρέπει η ταχύτητα να αυξάνει στην κατακόρυφη διεύθυνση. Αυτό όμως δεν συμβαίνει πάντα, με αποτέλεσμα μερικές φορές, στρώματα χαμηλών ταχυτήτων να μην γίνονται αντιληπτά στο προφίλ.

Η βασική πηγή σφαλμάτων κατά την εφαρμογή της μεθόδου της σεισμικής διάθλασης εντοπίζεται στην αδυναμία της μεθόδου να εντοπίσει ενδιάμεσο στρώμα μικρού πάχους. Μια τέτοια περίπτωση, σημαίνει υπερεκτίμηση του πάχους ορισμένων στρωμάτων, καθώς και τον εσφαλμένο προσδιορισμό της ταχύτητας του στρώματος αυτού. Αυτό συμβαίνει όταν:

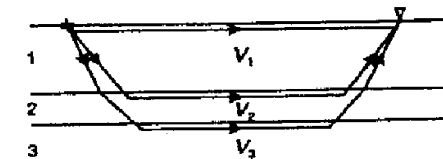
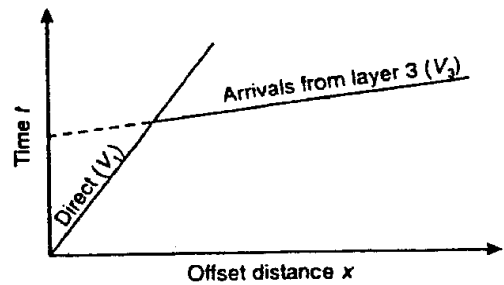
- Η ταχύτητα στο υπερκείμενο στρώμα είναι μεγαλύτερη από αυτή στο υποκείμενο. Σε αυτή την περίπτωση, σύμφωνα με τον νόμο του Snell η σεισμική ακτίνα αποκλίνει από την διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ των δύο στρωμάτων, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η δημιουργία μετωπικών κυμάτων.
- Κάποιο στρώμα έχει ταχύτητα περίπου ίδια με αυτή του υπερκειμένου του. Σε αυτή την περίπτωση δεν είναι δυνατή η δημιουργία μετωπικών κυμάτων λόγω της μικρής αντίθεσης των ταχυτήτων των δύο στρωμάτων.
- Κάποιο στρώμα έχει πολύ μικρό πάχος συγκριτικά με το υπερκείμενο και το υποκείμενο του. Σε αυτή την περίπτωση τα μετωπικά κύματα από το υποκείμενο στρώμα, καταγράφονται πριν από τα αντίστοιχα κύματα του λεπτού στρώματος.



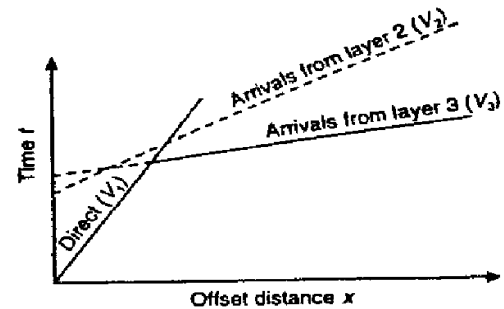
Σχήμα 3.5: Απουσία μετωπικού κύματος στο δεύτερο στρώμα ($V_2 < V_1$) (Reynolds 1997)



Σχήμα 3.6: Απουσία μετωπικού κύματος στο δεύτερο στρώμα ($V_2 \approx V_1$) (Reynolds 1997)



Σχήμα 3.7: Μεταγενέστερη άφιξη μετωπικού κύματος από το δεύτερο στρώμα, λόγω μικρού πάχους (Reynolds 1997)



Η αρχή της μεθόδου αυτής βασίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό των χρόνων διαδρομής των απευθείας κυμάτων και των κυμάτων διάθλασης και στη χρησιμοποίηση των καμπύλων των χρόνων διαδρομής των κυμάτων αυτών, για τον καθορισμό των ταχυτήτων των κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα με θεωρητικές σχέσεις.

Τα σεισμικά κύματα που φθάνουν πρώτα στις θέσεις των γεωφώνων είναι τα μετωπικά και τα απευθείας κύματα.

3.1.2.2 Μετωπικά κύματα

Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας. Η γωνία πρόσπτωσης, i_0 , η γωνία διάθλασης, i_2 , και οι ταχύτητες a_1

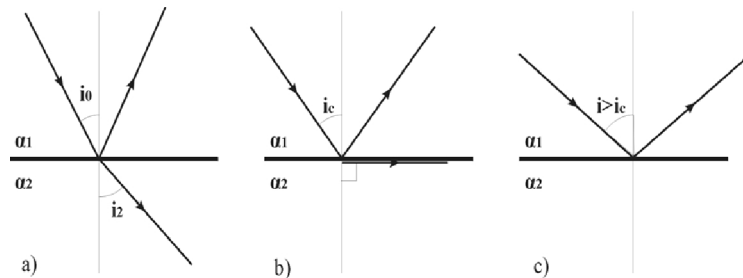
και α_2 στα δύο επιφανειακά στρώματα (Σχήμα 3.8a) συνδέονται μέσω του νόμου του Snell (Βαφειδής 1993):

$$P = \frac{\sin(i_0)}{\alpha_1} = \frac{\sin(i_2)}{\alpha_2}$$

όπου P είναι η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας. Η σεισμική ακτίνα προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια υπό **ορική γωνία**, όταν ισχύει $V_2 > V_1$ και η διαθλώμενη ακτίνα έχει διεύθυνση παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια (Σχήμα 3.8b). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής :

$$\sin(i_c) = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

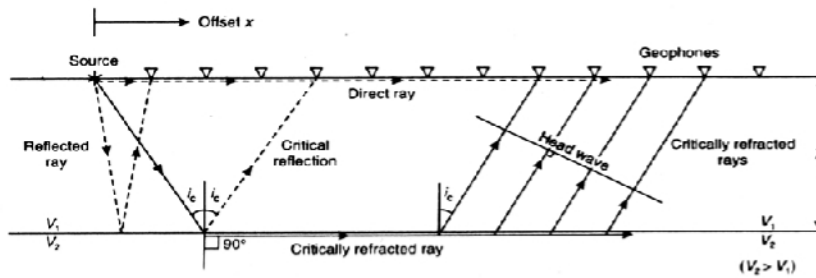
Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση (Σχήμα 3.8c).



Σχήμα 3.8: Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά την πρόσπτωση υπό γωνία a) μικρότερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, b) ίση με την ορική γωνία δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα και c) με γωνία μεγαλύτερη της ορικής παρατηρείται ολική ανάκλαση (Reynolds, 1997).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία ορικά διαθλώμενων σεισμικών κυμάτων, είναι η αύξηση των ταχυτήτων των σεισμικών κυμάτων από τους ρηχότερους προς τους βαθύτερους σχηματισμούς.

Έστω σεισμική ακτίνα η οποία προσπίπτει σε διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία. Τότε το διαθλώμενο κύμα διαδίδεται στο δεύτερο στρώμα παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια (σχήμα 3.8b). Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, κάθε σημείο του διαθλώμενου μετώπου κύματος αποτελεί δευτερεύουσα πηγή σεισμικών κυμάτων. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σεισμικά κύματα τα οποία προέρχονται από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές και αναδύονται στο πρώτο στρώμα (σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9: Σχηματική παράσταση της δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Reynolds, 1997)

Η γωνία των αναδύμενων προς την επιφάνεια σεισμικών ακτίνων με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι ίση με την ορική γωνία. Αυτά τα αναδύμενα σεισμικά κύματα ονομάζονται μετωπικά κύματα.

3.1.2.3 Απευθείας κύματα

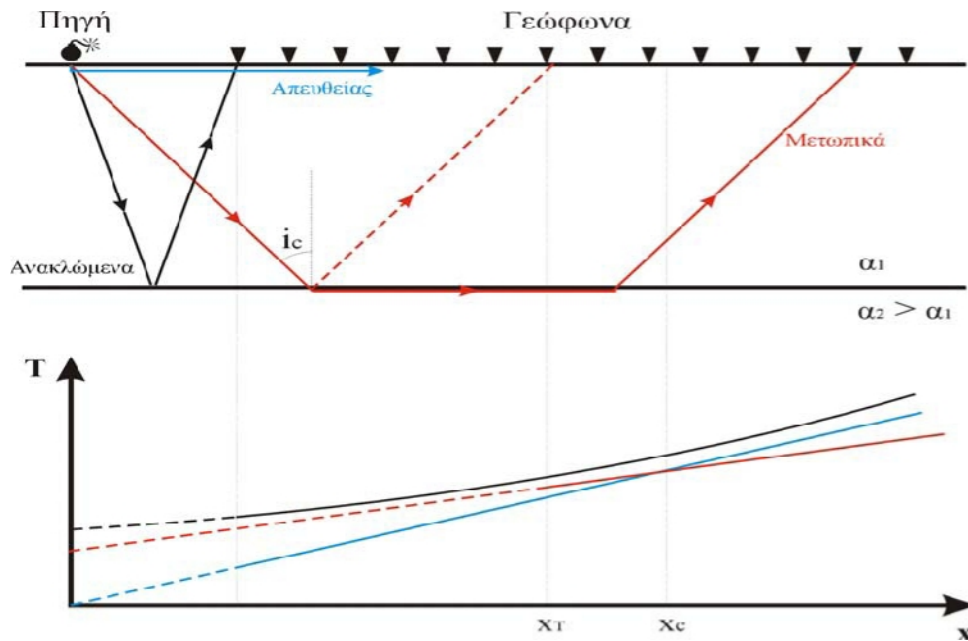
Τα απευθείας κύματα καταγράφονται πρώτα στα γεωφώνα, που βρίσκονται μέχρι ορισμένη απόσταση X_c από το σημείο της πηγής. Η απόσταση αυτή ονομάζεται ορική απόσταση (σχήμα 3.10) και δίνεται από την σχέση (Βαφείδης 1993):

$$X_c = 2 z_1 \sqrt{\frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1}}$$

όπου z_1 είναι το πάχος του πρώτου στρώματος. Αν x είναι η απόσταση ενός γεωφώνου από την πηγή, ο χρόνος διαδρομής (t_1), των απευθείας κυμάτων θα είναι:

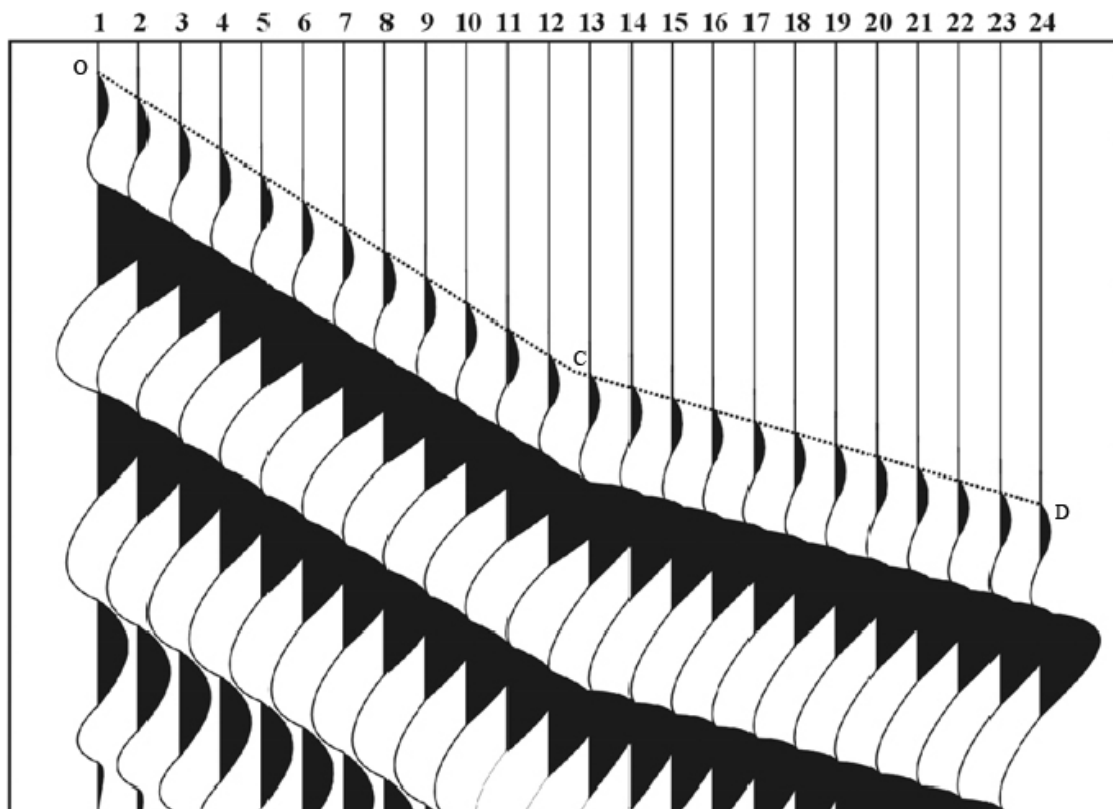
$$t_1 = \frac{x}{V_1}$$

Στην περίπτωση δύο οριζόντιων στρωμάτων (σχήμα 3.10), οι καταγραφές που θα προκύψουν από την σεισμική διάθλαση θα έχουν την μορφή του σχήματος 3.11.



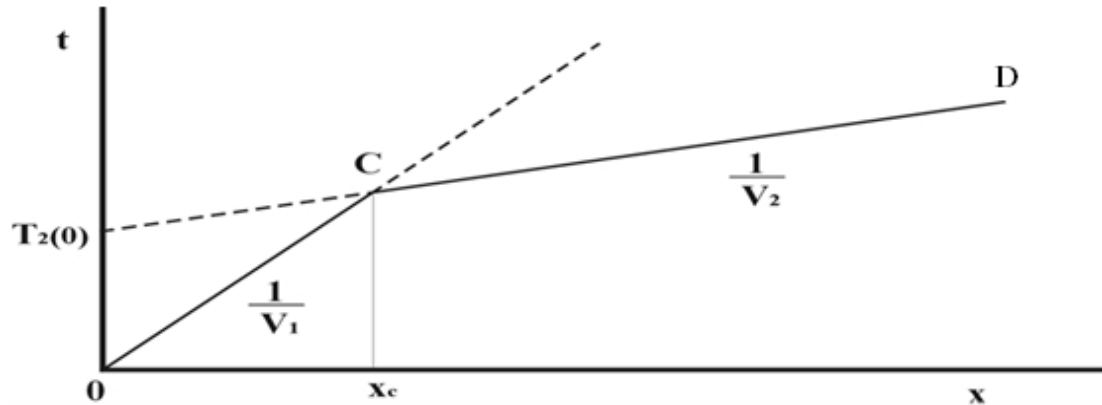
Σχήμα 3.10: Σεισμικές ακτίνες των απευθείας, των μετωπικών και των ανακλώμενων σεισμικών κυμάτων (πάνω) και οι αντίστοιχες καμπύλες διαδρομής των κυμάτων αυτών (κάτω). Παρατηρείται ότι οι πρώτες αφίξεις είναι τα απευθείας κύματα για $x < x_c$ και τα μετωπικά για $x > x_c$.

CHAN



Σχήμα 3.11: Σχηματική παράσταση σεισμικών καταγραφών διάθλασης των οποίων οι πρώτες αφίξεις (διακεκομμένη γραμμή) αντιστοιχούν σε καταγραφές απευθείας (OC) και μετωπικών κυμάτων (CD).

Παρατηρείται ότι ο χρόνος διαδρομής των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων είναι ανάλογος της απόστασης. Επομένως η καμπύλη των χρόνων διαδρομής των κυμάτων αυτών θα είναι γραμμική συνάρτηση της απόστασης πηγής γεωφώνου. Οι καμπύλες των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων παριστάνονται με τις ευθείες OC και CD του σχήματος 3.12 αντίστοιχα.



Σχήμα 3.12: Καμπύλες διαδρομής των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων, όπου $T_2(0)$ είναι ο χρόνος συνάντησης.

Γενικά, η διαδικασία υπολογισμού του πάχους και των ταχυτήτων των στρωμάτων από τις πρώτες αφίξεις των σεισμικών κυμάτων, για τη δομή δύο οριζόντιων στρωμάτων πραγματοποιείται ως εξής (Βαφειδής 1993):

- Οι μετρήσεις του χρόνου διαδρομής και της απόστασης πηγής - γεωφώνου τοποθετούνται σε ένα διάγραμμα $t - x$ (σχήμα 3.12).
- Υπολογίζεται η σεισμική ταχύτητα στο επιφανειακό στρώμα, από την κλίση της ευθείας η οποία σχηματίζεται μετά από την επιλογή σημείων ($V = 1/\text{κλίση}$), που βρίσκονται σε ευθεία η οποία ξεκινάει από την αρχή των αξόνων (ευθεία OC σχήμα 3.12).
- Ακολουθεί ο προσδιορισμός της κλίσης της ευθείας που περνάει από τα υπόλοιπα σημεία (μετωπικά κύματα) και της τομής της με τον άξονα των χρόνων (χρόνος συνάντησης $T_2(0)$ σχήμα 3.12). Από την κλίση της ευθείας αυτής υπολογίζεται η σεισμική ταχύτητα στο δεύτερο στρώμα.
- Προσδιορίζεται η ορική γωνία i_c από τη σχέση: $\sin(i_c) = V_1/V_2$
- Τέλος, υπολογίζεται το πάχος του επιφανειακού στρώματος Z_1 από την σχέση:

$$Z_1 = \frac{T_2(0)V_1}{2 \cos(i_c)}$$

όπου $T_2(0)$ είναι ο χρόνος συνάντησης και ισούται με το άθροισμα των χρόνων καθυστέρησης του σεισμικού κύματος στους κλάδους της σεισμικής ακτίνας που διαδίδεται στο επιφανειακό στρώμα.

Σαν χρόνος καθυστέρησης ορίζεται ο πρόσθετος χρόνος που χρειάζεται να διανύσει το κύμα σε ένα πλάγιο κλάδο, σε αντίθεση με τον χρόνο που θα χρειαζόταν να διανύσει την οριζόντια προβολή του κλάδου αυτού, με τη μέγιστη ταχύτητα που απέκτησε κατά την διαδρομή του.

3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε περιελάμβανε:

- Σεισμογράφο 12 καναλιών GEODE της Geometrics.
- 12 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας ιδιοσυχνότητας 4.5 Hz της Mark Products.
- Μία μπαταρία 12 Volt για την τροφοδοσία του σεισμογράφου.
- Ένα καλώδιο σύνδεσης μπαταρίας - σεισμογράφου.
- Καλώδιο γεωφώνων με 12 απολήξεις.
- Μία βαριοπούλα 5 kg για την δημιουργία σεισμικών δονήσεων.
- Μία σιδερένια πλάκα διαστάσεων 20 cm x 20 cm πάνω στην οποία κρούει η βαριοπούλα.
- Ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο της Mark Products προσαρτημένο στο στέλεχος της βαριοπούλας για την ενεργοποίηση (triggering) της καταγραφής του σεισμογράφου.
- Καλώδιο 100 m για την σύνδεση του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου με τον σεισμογράφο.
- Σιδερένιοι πάσσαλοι για την οριοθέτηση της γραμμής μελέτης.

3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Κατά την εκτέλεση των γεωφυσικών διασκοπήσεων με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή μελέτης, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Αρχικά, επιλέχθηκε το κατάλληλο σημείο πάνω στο οποίο θα έχουμε την γραμμή μελέτης.

- Πάνω στο σημείο αυτό, με τη βοήθεια μιας μετροταινίας, στήνεται η διάταξη των 12 γεωφώνων, τα οποία απήχυν μεταξύ τους 5 m (πρώτο γεωφώνο στα 0 m και το δωδέκατο στα 55 m).
- Τοποθετείται ο 12-κάναλος σειсмоγράφος GEODE στο τέλος της διάταξης .
- Απλώνεται το καλώδιο των γεωφώνων αντιδιαμετρικά από 12-κάναλο σειсмоγράφο φροντίζοντας να υπάρχει μία απόληξη σε κάθε θέση γεωφώνου και συνδέονται τα γεωφώνια με τις απολήξεις αυτές. Η άκρη του καλωδίου αυτού συνδέεται με το σειсмоγράφο.
- Τοποθετείται η σιδερένια πλάκα σε μια προεπιλεγμένη θέση πάνω στη γραμμή μελέτης και συνδέεται το πιεζοηλεκτρικό με τον σειсмоγράφο, μέσω του καλωδίου της πηγής.
- Η βαριοπούλα κρούεται πάνω στην πλάκα και ο σειсмоγράφος αρχίζει αυτόματα να καταγράφει (καταγραφή κοινής πηγής – shot gather) τις εδαφικές ταλαντώσεις που ανιχνεύουν τα γεωφώνια.
- Η καταγραφή αυτή αποθηκεύεται στον σκληρό δίσκο του φορητού υπολογιστή ο οποίος περιέχει το πρόγραμμα που απαιτείται για τη συλλογή των μετρήσεων (Seismodule Controller). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε άλλη προεπιλεγμένη θέση πάνω στη γραμμή μελέτης.
- Όλη η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για τις υπόλοιπες γραμμές μελέτης (11 γραμμές σεισμικής τομογραφίας συνολικά). Επίσης, λαμβάνεται μέριμνα ώστε τα αναπτύγματα των γραμμών μελέτης να οριοθετούνται σε ευθεία.

3.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την επεξεργασία των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα του λογισμικού πακέτου Seisimager, Pickwin και Plotrefa.

Πιο συγκεκριμένα, η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων διάθλασης ακολουθεί 2 στάδια.

Στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Pickwin με το οποίο πραγματοποιείται η επιλογή και η αποθήκευση των πρώτων αφίξεων των σεισμικών καταγραφών. Η διαδικασία που ακολουθείται, περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Εισαγωγή των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης.

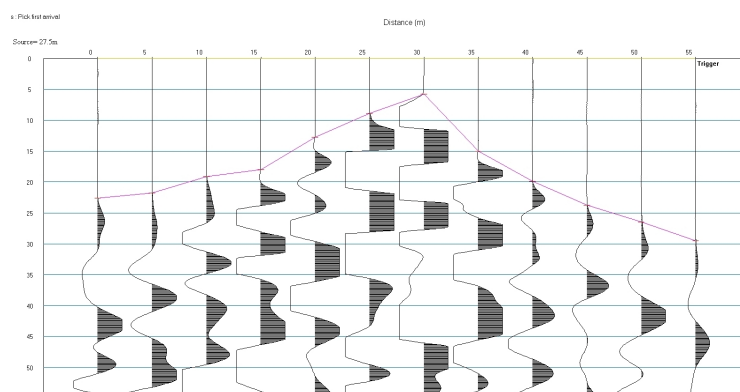
- Επιλογή των πρώτων αφίξεων των σεισμικών κυμάτων (picking) και αποθήκευση αυτών.

Στο δεύτερο στάδιο χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Plotrefa με το οποίο πραγματοποιείται ανάγνωση, ανάλυση και επεξεργασία των αποθηκευμένων πρώτων αφίξεων καθώς και υπολογισμός των σεισμικών ταχυτήτων και του μοντέλου βάθους. Η διαδικασία που ακολουθείται, περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Επεξεργασία των πρώτων αφίξεων.
- Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων.
- Αντιστροφή.
- Προσδιορισμός των σεισμικών ταχυτήτων και του μοντέλου βάθους (σεισμικές τομές).

Τα δεδομένα εισάγονται στο πρόγραμμα επεξεργασίας (PickWin), σε μορφή SEG-2. Μετά την εισαγωγή των δεδομένων, ο χρήστης μπορεί να επέμβει και να διορθώσει τη γεωμετρία του πειράματος, αν είναι απαραίτητο (θέση πηγής, ισαπόσταση γεωφώνων κ.τ.λ.). Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης της εμφάνισης των δεδομένων, προκειμένου να διακρίνονται πιο εύκολα οι πρώτες αφίξεις. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται φίλτρα απομάκρυνσης θορύβου, ενίσχυσης του πλάτους των κυμάτων και μεγέθυνσης στην οριζόντια ή στην κατακόρυφη διεύθυνση.

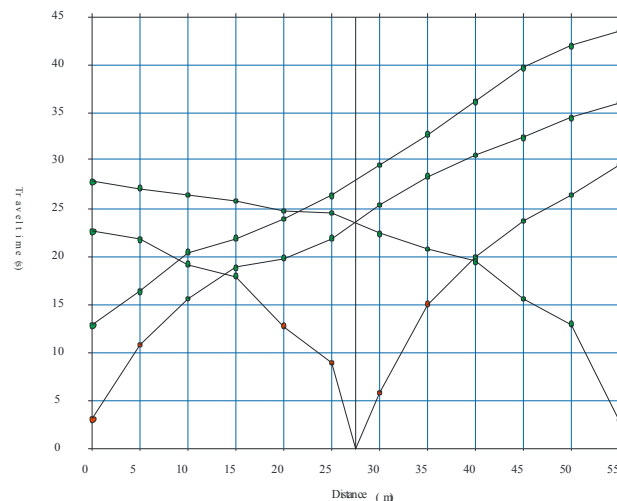
Το πρόγραμμα αρχικά επιλέγει αυτόματα κάποιες θέσεις τις οποίες θεωρεί ως πρώτες αφίξεις των σεισμικών κυμάτων, ενώ παρέχει δυνατότητα ελεύθερης επιλογής στον χρήστη. Πάντα θα πρέπει να γίνεται έλεγχος της αυτόματης επιλογής πρώτων αφίξεων από τον χρήστη.



Σχήμα 3.13: Επιλογή πρώτων αφίξεων (ρόζ γραμμή) σε καταγραφή σεισμικής διάθλασης. Γραμμή μελέτης B15.

Η διαδικασία της εισαγωγής και επεξεργασίας των δεδομένων, ολοκληρώνεται όταν χρησιμοποιηθούν όλα τα αρχεία που αντιστοιχούν στην ίδια γραμμή μελέτης (spread). Ακολουθεί η αποθήκευση του αρχείου (επέκταση .vs), το οποίο συμπεριλαμβάνει όλα τα αρχεία της ίδιας γραμμής μελέτης.

Με το κύριο πρόγραμμα ανάλυσης και ερμηνείας (PlotRefa) πραγματοποιείται η αντιστροφή των πρώτων αφίξεων με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας. Το πρόγραμμα λαμβάνει ως αρχείο εισόδου, το αρχείο εξόδου του προγράμματος Pickwin (αρχεία με επέκταση .vs) και παρέχει τη δυνατότητα της κοινής επεξεργασίας περισσότερων του ενός αναπτύγματος (spreads), που σχηματίζουν ευθεία γραμμή μελέτης. Μετά την εισαγωγή των δεδομένων, δημιουργείται το δρομοχρονικό διάγραμμα (διάγραμμα χρόνου διαδρομής συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης πηγής - γεωφώνου).



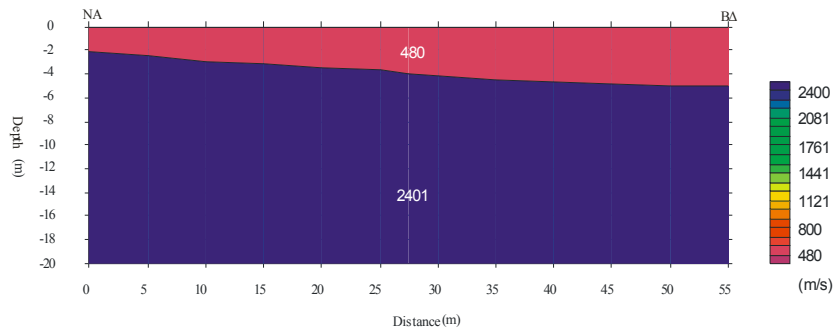
Σχήμα 3.14: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης B15. Οι κύκλοι κόκκινου χρώματος αντιστοιχούν στα απευθείας κύματα, ενώ οι πράσινοι απεικονίζουν τα μετωπικά κύματα.

Ο χρήστης μπορεί να κάνει διορθώσεις, να διαγράψει δεδομένα και να μεταβάλει την κλίμακα. Επιλέγεται ο αριθμός των στρωμάτων. Το σημείο που εμφανίζει αλλαγή κλίσης στην καμπύλη των πρώτων αφίξεων, αποτελεί ένδειξη αλλαγής στρώματος. Τα σεισμικά στρώματα τονίζονται με διαφορετικό χρώμα.

Στη συνέχεια εφαρμόζεται η μέθοδος Αντιστροφής των Χρόνων Καθυστέρησης (Time-Term) και η μέθοδος της Σεισμικής Τομογραφίας (Tomography).

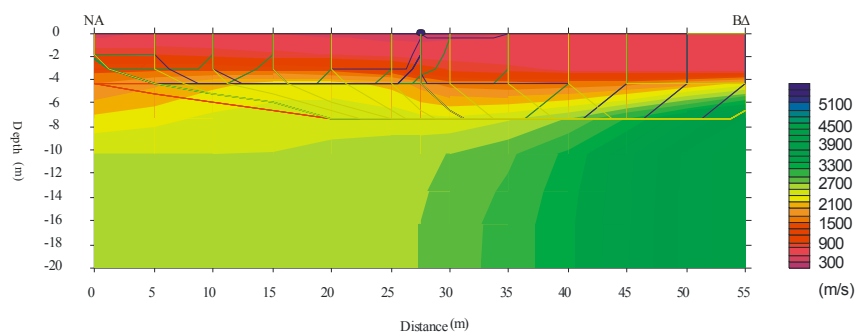
Με την μέθοδο “Time-Term Inversion”, οι χρόνοι καθυστέρησης (delay times) υπολογίζονται αυτόματα (μέσω της γραμμικής μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων), ενώ μπορούν να εισαχθούν τα υψόμετρα στις θέσεις των γεωφώνων. Προκύπτει το αρχικό

μοντέλο βάθους που αποτελείται από δύο στρώματα. Σε κάθε στρώμα αντιστοιχεί μία μέση ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων.



Σχήμα 3.15: Αρχικό μοντέλο βάθους για την γραμμή μελέτης B15. Ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί σε βάθος από την επιφάνεια, ενώ ο οριζόντιος σε απόσταση κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί σε ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Η ταχύτητα του πρώτου στρώματος είναι 480 m/s και του δεύτερου 2401 m/s.

Η μέθοδος της Σεισμικής Τομογραφίας βασίζεται στην σύγκριση των πειραματικών χρόνων πρώτων αφίξεων (που προέκυψαν από το picking των καταγραφών) και των θεωρητικά υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων που προκύπτουν από ένα αρχικό διδιάστατο εδαφικό μοντέλο. Τροποποιώντας επαναληπτικά το αρχικό εδαφικό μοντέλο, πραγματοποιείται η ταύτιση (στα όρια κάποιου αποδεκτού σφάλματος) των συγκρινόμενων χρόνων πρώτων αφίξεων (δρομοχρονικά διαγράμματα). Το εδαφικό μοντέλο που προκύπτει (διδιάσταση κατανομή της σεισμικής ταχύτητας στο υπέδαφος), θεωρείται ότι απεικονίζει την πραγματική κατανομή της σεισμικής ταχύτητας στο υπέδαφος, κάτω από την σεισμική γραμμή μελέτης.



Σχήμα 3.16: Μοντέλο βάθους για την γραμμή μελέτης B15 στο οποίο απεικονίζονται και οι σεισμικές ακτίνες. Ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί σε βάθος από την επιφάνεια, ενώ ο οριζόντιος σε απόσταση κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί σε ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων.

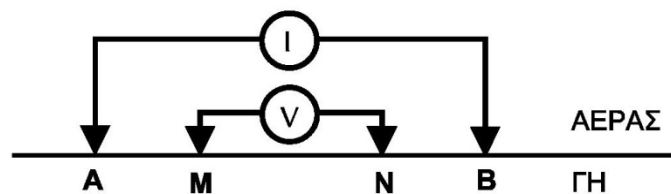
Έτσι, απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία της μεθόδου είναι η εισαγωγή από τον χρήστη ενός αρχικού μοντέλου βάθους και των αντίστοιχων σεισμικών ταχυτήτων των στρωμάτων. Στην παρούσα διπλωματική, κατά την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων με την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας, χρησιμοποιήθηκε ως αρχικό μοντέλο το μοντέλο βάθους και οι σεισμικές ταχύτητες που προέκυψαν από προγενέστερη επεξεργασία (Time-Term Inversion).

4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

4.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

4.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία από τις γεωφυσικές τεχνικές που χρησιμοποιείται ευρύτατα στην διασκόπηση και στον εντοπισμό "ρηχών δομών" είναι η ηλεκτρική μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης, η οποία είναι επίσης γνωστή και ως "μέθοδος συνεχούς ρεύματος". Σκοπός της μεθόδου αυτής αποτελεί ο καθορισμός της κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, δηλαδή της γεωηλεκτρικής δομής αυτού, πραγματοποιώντας μετρήσεις στην επιφάνεια της Γης.



Σχήμα 4.1: Στην εικόνα αυτή φαίνεται μία τυπική διάταξη των τεσσάρων ηλεκτροδίων A, B (ηλεκτρόδια ρεύματος) και M, N (ηλεκτρόδια δυναμικού).

Για τον σκοπό αυτό εισάγεται στο υπέδαφος ηλεκτρικό ρεύμα μέσω δύο ηλεκτροδίων και μετράται η διαφορά δυναμικού που προκαλείται από το εισερχόμενο στο υπέδαφος ρεύμα, σε δύο άλλα ηλεκτρόδια. Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού αντικατοπτρίζει την δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει στο υπέδαφος, δίνοντας έτσι μία ένδειξη για την ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους.

Η εμφάνιση των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης χρονολογείται στις αρχές του εικοστού αιώνα. Πρωτοπόροι στην έρευνα υπήρξαν ο Wenner και ιδιαίτερα ο Schlumberger που το βιβλίο του «**Etude sur la Prospection Electrique du Sous-Sol**» (Σούρλας, 2000) συνέβαλε σημαντικά στη διάδοση των ηλεκτρικών μεθόδων. Με τη χρήση των μεθόδων αυτών επιτεύχθηκε ο εντοπισμός φυσικού αερίου στη Ρουμανία το 1923 και αλατούχων δόμων στη Γαλλία το 1926. Η συστηματική εφαρμογή των ηλεκτρικών διασκοπήσεων άρχισε μετά το 1970 εκμεταλλευόμενη της ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, που πρόσφεραν σημαντική βοήθεια τόσο στη συλλογή όσο και στην επεξεργασία των μετρήσεων.

Βασική επιδίωξη των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της

Γης. Μετρούμενο μέγεθος είναι η ηλεκτρική τάση, από την οποία επιδιώκεται ο καθορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της κατανομής των τιμών της, μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης.

Για την εφαρμογή των ηλεκτρικών γεωφυσικών μεθόδων απαιτείται σημαντική αντίθεση στις ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ του υπό μελέτη γεωλογικού σχηματισμού και του ευρύτερου γεωλογικού περιβάλλοντος.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι της γεωφυσικής διασκόπησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Η **πρώτη** κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων και περιλαμβάνει (Σούρλας, 2000):

- Την μέθοδο του φυσικού δυναμικού.
- Την μέθοδο των τελλουρικών ρευμάτων.

Η **δεύτερη** κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία και περιλαμβάνει:

- Την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.
- Την μέθοδο της επαγόμενης πολικότητας.
- Την μέθοδο των ισοδυναμικών γραμμών.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην Υδρογεωλογία, στη Γεωθερμία, στην Κοιτασματολογία, στην Τεχνική Γεωλογία (όπως στην παρούσα εργασία) και στην Αρχαιολογία.

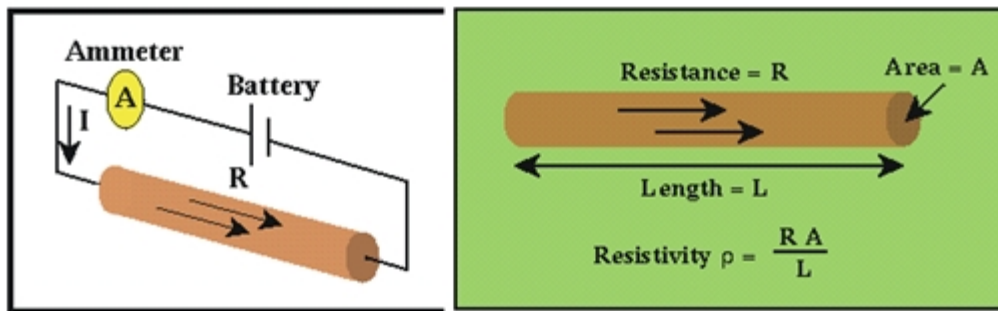
Για τη συλλογή δεδομένων στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα η ηλεκτρική τομογραφία.

4.1.2 ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την ηλεκτρική διασκόπηση. Ο υπολογισμός της στηρίζεται στον νόμο που διατύπωσε το 1827 ο George Simon Ohm (Robinson, 1988) (σχήμα 4.2), σύμφωνα με τον τύπο:

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

όπου η αντίσταση (R) ενός αγωγού ονομάζεται ο σταθερός λόγος της διαφοράς δυναμικού (ΔV) που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού, προς την ένταση (I) του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.



Σχήμα 4.2: Νόμος του Ohm

Η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος (L) του αγωγού, αντίστροφως ανάλογη με το εμβαδόν (A) της τομής του αγωγού και εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

όπου ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού.

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων, SI, είναι το Ωm , μερικές φορές χρησιμοποιείται και η μονάδα $1 \Omega\text{cm}$ όπου $1 \Omega\text{m} = 100 \Omega\text{cm}$. Το αντίστροφο, $\sigma = 1/\rho$, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του πετρώματος, με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα το siemens/m.

Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εδάφους συνδεδεμένα με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνεχούς ρεύματος δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, στο οποίο η γη αποτελεί τον αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος. Το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον θετικό πόλο, ονομάζεται πηγή, ενώ το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο, ονομάζεται γείωση. Επειδή ο αέρας είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, όλο το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο διοχετεύεται στη γη.

Για την κατανόηση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος θεωρείται ότι η γη είναι ομοιογενής και ισότροπη, ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ . Επιπλέον, τα ηλεκτρόδια θεωρούνται σημεία, δηλαδή οι εξισώσεις που προκύπτουν, ισχύουν για σημειακή πηγή και σημειακή γείωση.

Αρχικά, η απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων θεωρείται πολύ μεγάλη, ώστε να μπορεί να μελετηθεί το κάθε ηλεκτρόδιο ξεχωριστά. Το ηλεκτρόδιο - πηγή είναι θετικά φορτισμένο, με αποτέλεσμα η κίνηση των θετικών φορτίων να είναι από το ηλεκτρόδιο προς τη γη. Επειδή η γη θεωρείται ομοιογενής το ρεύμα ρέει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις και οι γραμμές που απεικονίζουν τη ροή (γραμμές ρεύματος) μπορούν να θεωρηθούν ως ακτίνες ημισφαιρικών επιφανειών που έχουν κέντρο την πηγή. Η αντίσταση R στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που παρουσιάζει μία ημισφαιρική δομή (αγωγός) ακτίνας

d , δίνεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση, από το γινόμενο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ με τον λόγο της ακτίνας d προς το εμβαδόν $2\pi d^2$ της ημισφαιρικής επιφάνειας.

$$R = \frac{\rho}{2\pi d}$$

Η διαφορά ΔV_d του δυναμικού V_0 της πηγής από το δυναμικό V_d όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από την πηγή που προκαλείται από τη ροή ρεύματος, έντασης I , μέσα από την ημισφαιρική δομή είναι:

$$\Delta V_d = V_d - V_0 = IR = \frac{I\rho}{2\pi d}$$

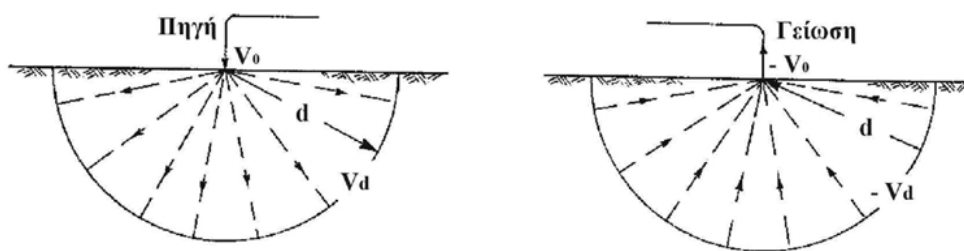
Η επιφάνεια που περιλαμβάνει όλα τα σημεία με το ίδιο δυναμικό ονομάζεται ισοδυναμική επιφάνεια.

Το δυναμικό στη γείωση, το απομακρυσμένο ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της ηλεκτρικής πηγής είναι $-V_0$. Το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο έλκει τα θετικά ηλεκτρικά φορτία, με αποτέλεσμα οι γραμμές ρεύματος να συγκλίνουν προς αυτό από όλες τις διευθύνσεις.

Μία ημισφαιρική δομή ακτίνας d με κέντρο τη γείωση θα παρουσιάζει αντίσταση R στη ροή του ρεύματος σύμφωνα με τη σχέση $R = \rho/2\pi d$. Η διαφορά μεταξύ του δυναμικού $-V_d$ όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από τη γείωση και του δυναμικού της γείωσης $-V_0$ θα είναι:

$$-\Delta V_d = V_0 - V_d = -IR = -\frac{I\rho}{2\pi d}$$

Στην περίπτωση λοιπόν που το ηλεκτρόδιο είναι θετικά φορτισμένο, το ηλεκτρικό ρεύμα απομακρύνεται από αυτό, ενώ όταν το ηλεκτρόδιο είναι αρνητικά φορτισμένο, το ρεύμα συγκλίνει προς αυτό. Και στις δύο περιπτώσεις οι γραμμές ρεύματος αρχίζουν ακτινικά από το ηλεκτρόδιο, ενώ οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι ημισφαιρικές επιφάνειες με κέντρο το ηλεκτρόδιο (σχήμα 4.3). Οι γραμμές ρεύματος είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες.

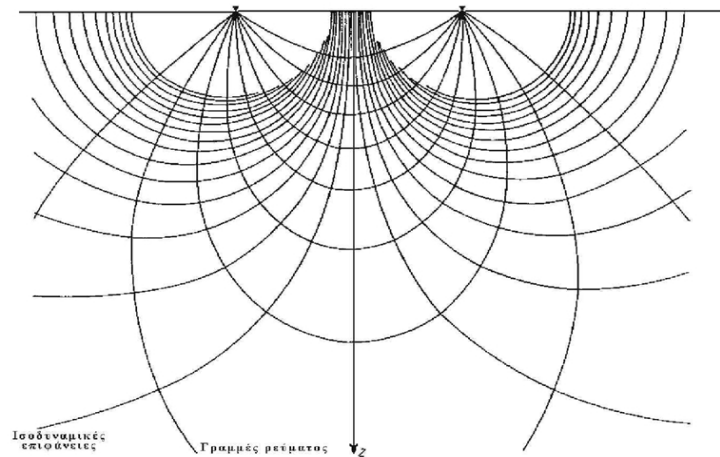


Σχήμα.4.3: Ομοιόμορφη ροή ηλεκτρικών φορτίων προς όλες τις κατευθύνσεις σε ομογενές μέσο (Γκανιάτσος, 2000, Σούρλας, 2000).

Όταν η απόσταση των δύο ηλεκτροδίων θεωρηθεί μικρή, τότε το δυναμικό όλων των σημείων στο έδαφος δίδεται από την παρακάτω σχέση (Βαφείδης, 2001):

$$V = V_{d1} + V_{d2} = V_{d1} - V_0 + V_0 + V_{d2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)$$

Η σχέση αυτή περιγράφει το δυναμικό σε κάθε σημείο του υπεδάφους. Ενώνοντας σημεία ίδιου δυναμικού λαμβάνουμε τις ισοδυναμικές επιφάνειες (Σχήμα 4). Το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει πάντα κάθετα προς τις ισοδυναμικές επιφάνειες.



Σχήμα 4.4: Απεικόνιση του δυναμικού πεδίου με δυναμικές γραμμές

4.1.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Ο σκοπός της μεθόδου της ειδικής αντίστασης είναι να βρεθεί η γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους και έμμεσα να ληφθούν πληροφορίες για τη γεωλογική δομή του υπεδάφους.

Λόγω χαμηλού κόστους και μεγάλου εύρους εφαρμογών είναι η πιο διαδεδομένη γεωφυσική μέθοδος και χρησιμοποιείται κυρίως στην Υδρογεωλογία, στην Τεχνική Γεωλογία στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην ανεύρεση του βάθους του μητρικού πετρώματος σε τοποθεσίες κατασκευής τεχνητών φραγμάτων, στην αρχαιομετρία κ.τ.λ.

- Κατά την μέθοδο της γεωηλεκτρικής διασκόπησης μετράμε τη διαφορά δυναμικού που προκαλείται από την εισαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη γη.
- Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού αντικατοπτρίζει την δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα στο υπεδάφος, δίνοντας έτσι μια ένδειξη για την ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους.

- Διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν και διαφορετικές ηλεκτρικές αντιστάσεις. Η γνώση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έμμεση εύρεση της γεωλογικής δομής και τον εντοπισμό δομών ενδιαφέροντος.

Επειδή η Γη είναι ανομοιογενής και ανισότροπη η μετρούμενη ηλεκτρική αντίσταση είναι συνάρτηση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους και της γεωμετρικής διάταξης των ηλεκτροδίων. Για τον λόγο αυτό εισάγεται ο όρος της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών του υπεδάφους κατά κύριο λόγο εξαρτάται από την ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα, δηλαδή το ρεύμα διαρρέει τους γεωλογικούς σχηματισμούς μέσω των ιόντων που είναι διαλυμένα στο νερό που βρίσκεται στους πόρους τους.

Επομένως, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι συνδυασμός παραγόντων που επηρεάζουν τη συγκέντρωση, σύσταση του νερού που βρίσκεται στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς. Ειδικότερα εξαρτάται από τις υδρολογικές - υδρογεωλογικές συνθήκες, τη χημική σύσταση του νερού, το μέγεθος των πόρων (πορώδες) των σχηματισμών, τις πιθανές διαρρήξεις, διακλάσεις, ρήγματα των σχηματισμών (δευτερογενές πορώδες), τη θερμοκρασία και την πίεση.

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm.m)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	80-250
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Άργιλοι	2-20
Μάργες	20-60
Άμμοι και Χαλίκια κορεσμένα	50-500
Εβαπορίτες (Γύψοι)	200
Μαργαίκοι Ασβεστόλιθοι	150-500
Κροκαλοπαγή βάσεως	200-300
Ψαμμίτες	50-70
ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Φλύσχης	70-80
Σχιστόλιθοι-Οφιόλιθοι	100-300
Ασβεστόλιθοι	>500

Πίνακας 4.1: Ενδεικτικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης διαφόρων πετρωμάτων.

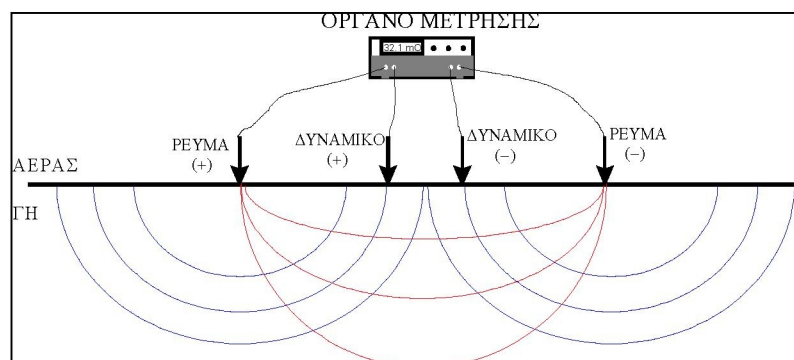
Είναι σημαντικό να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο στάδιο ερμηνείας των δεδομένων της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, για τους παρακάτω λόγους:

- Η ειδική αντίσταση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που μεταβάλλονται εύκολα.
- Οι διακυμάνσεις της ειδικής αντίστασης για τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς έχουν μεγάλο εύρος.
- Δυο τελείως διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί μπορεί να έχουν παρόμοιες ειδικές αντιστάσεις.

Επομένως είναι σημαντικό να δίνεται προσοχή στα εξής:

- Η ερμηνεία των μετρήσεων της ειδικής αντίστασης πρέπει να γίνεται με προσοχή.
- Ασφαλής είναι μόνο η σχετική σύγκριση των ειδικών αντιστάσεων σε μια περιοχή.
- Η μελέτη της ειδικής αντίστασης σε μια περιοχή μπορεί να δώσει (έμμεσα) ασφαλή συμπεράσματα για τη λιθολογία μόνο όταν η ερμηνεία γίνεται συνυπολογίζοντας όλες τις υπάρχουσες πληροφορίες για την περιοχή (γεωλογικοί χάρτες, γεωτρήσεις κ.α.).

Δεδομένου ότι ένα κενό γεμάτο με αέρα παρουσιάζει μια σημαντική αντίθεση στην ηλεκτρική αντίσταση με το περιβάλλον του, είναι εύκολο να εντοπισθεί με τις μεθόδους ηλεκτρικής αντίστασης. Παρόλα αυτά, τα κενά πρέπει να είναι σχετικά ρηχά και όχι περισσότερο από 30 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα ηλεκτροδίων για μεγαλύτερα βάθη πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο και σύνθετο. Όταν το κενό είναι γεμάτο με νερό τότε η αντίθεσή του με το περιβάλλον μικραίνει και ο εντοπισμός γίνεται πιο δύσκολος.



Σχήμα 4.5: Τυπική διάταξη για την μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους.
(www.ims.forth.gr).

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης ή καλύτερα της φαινομένης ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να γίνει με τον εξής τρόπο. Το ηλεκτρικό ρεύμα περνά μέσα στο έδαφος με δύο ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια αυτά είναι μεταλλικά, έχουν μήκος γύρω στα 50 εκατοστά και είναι καρφωμένα στο έδαφος σε συγκεκριμένα διαστήματα. Η δε τάση που δημιουργείται, μετράται σε δύο άλλα ηλεκτρόδια (ίδιων χαρακτηριστικών με τα προηγούμενα). Ένας γεωμετρικός συντελεστής υπολογίζεται για κάθε συνδυασμό 4 ηλεκτροδίων και έπειτα υπολογίζεται η τιμή της φαινομένης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Για τον εντοπισμό κοιλοτήτων γίνονται οι λεγόμενες "γεωηλεκτρικές τομές". Παρόλα αυτά με τα αυτόματα συστήματα πολυηλεκτροδίων γίνονται μετρήσεις πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό των κοιλοτήτων.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι διασκοπήσεων ηλεκτρικής αντίστασης, οι βυθοσκοπήσεις και οι οριζοντιογραφίες.

Με την εφαρμογή των βυθοσκοπήσεων γίνεται προσπάθεια να ερευνηθεί η κατανομή της ειδικής αντίστασης με το βάθος. Η όλη διαδικασία στηρίζεται στο γεγονός ότι το υπέδαφος θεωρείται ότι έχει οριζόντια στρωματογραφία, δηλαδή αποτελείται από διακριτά, οριζόντια, ομογενή και ισότροπα στρώματα. Στην περίπτωση των βυθοσκοπήσεων χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η μέθοδος Schlumberger. Κλασικό πεδίο εφαρμογής της μεθόδου αυτής αποτελεί η έρευνα για τον εντοπισμό υδροφόρων στρωμάτων.

Λαμβάνονται μία σειρά μετρήσεων με συνεχώς αυξανόμενες τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος (τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά). Με την συνεχή αύξηση των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνεται και το βάθος διείσδυσης του ρεύματος. Με τον τρόπο αυτό μετράται η κατακόρυφη κατανομή της ειδικής αντίστασης σε μία στήλη κάτω από το κέντρο της διάταξης.

Οι οριζοντιογραφίες χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό πλευρικών μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αντίθετα με τις βυθοσκοπήσεις, οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων παραμένουν σταθερές και οι μετρήσεις λαμβάνονται μετακινώντας πλευρικά την διάταξη των ηλεκτροδίων με σταθερό βήμα. Με τον τρόπο αυτό χαρτογραφούνται μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε σταθερό βάθος. Κυρίως χρησιμοποιούνται οι διατάξεις Wenner, Διπόλου - Διπόλου και Πόλου - Διπόλου. Οι οριζοντιογραφίες αποτελούν κλασικές μεθόδους χαρτογράφησης των αρχαιολογικών θέσεων.

Ειδικότερα στην αρχαιομετρία χρησιμοποιείται η διάταξη του διπλού ηλεκτροδίου (Twin Probe Array) λόγω της εύκολης ερμηνείας των δεδομένων, της ταχύτητας κάλυψης του χώρου και της σχετικά καλής χωρικής διακριτικότητας της μεθόδου. Η μέθοδος της διπλής

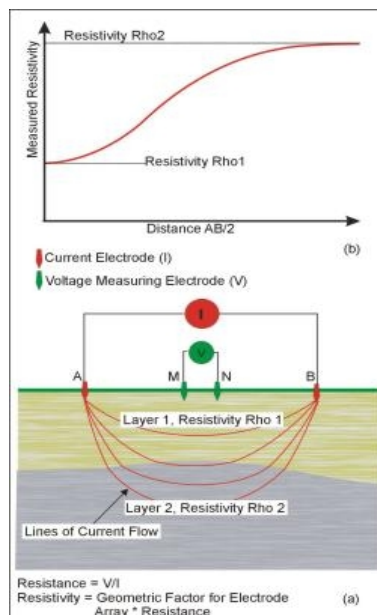
διάταξης χρησιμοποιεί δύο ακίνητα απομακρυσμένα ηλεκτρόδια (ένα για το ρεύμα και ένα για το δυναμικό), που βρίσκονται σε απόσταση ίση με το 30% της απόστασης των κινητών ηλεκτροδίων, από την εκάστοτε περιοχή έρευνας (π.χ. σε απόσταση 15 μέτρων για απόσταση κινητών ηλεκτροδίων ίση με μισό μέτρο). Τα κινητά ηλεκτρόδια (ένα για το ρεύμα και ένα για το δυναμικό) κινούνται ταυτόχρονα και με σταθερό βήμα δειγματοληψίας εντός της υπό εξέτασης περιοχής. Η χωρική διακριτική ικανότητα της διάταξης είναι της τάξης του 1.0α, ενώ το βάθος ανίχνευσης δύναται να φθάσει το 1.0 - 2.0α, όπου α είναι το άνοιγμα των κινητών ηλεκτροδίων. Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι της τάξης των 1 - 0.1 Ω.

Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται η διάταξη του διπλού ηλεκτροδίου όπως αυτή χρησιμοποιείται κατά τις υπαίθριες μετρήσεις.



Σχήμα 4.6: Διάταξη διπλού ηλεκτροδίου. (www.ims.forth.gr).

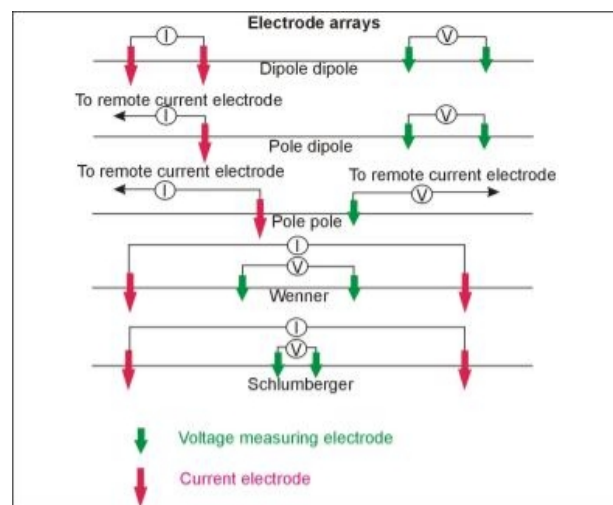
Οι διασκοπήσεις ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να φανούν αρκετά χρήσιμες για τον υπολογισμό του βάθους υποβάθρου, το βάθος υπογείων κενών και άλλων γεωφυσικών στόχων που περιγράφονται παρακάτω.



Σχήμα 4.7: Στο σχήμα φαίνεται μια διάταξη ηλεκτροδίων, οι γραμμές του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη Γη και η αντίστοιχη γεωηλεκτρική καμπύλη που προκύπτει. (www.geoservice.gr).

Στο Σχήμα 4.7 φαίνεται μια διάταξη ηλεκτροδίων, οι γραμμές του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη Γη και η αντίστοιχη γεωηλεκτρική καμπύλη που προκύπτει.

Πολλές διατάξεις ηλεκτροδίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι διατάξεις Schlumberger και Wenner είναι οι πιο συνηθισμένες. Η διάταξη Pole - Pole δίνει ισχυρό σήμα αλλά είναι χρονοβόρα στο ύπαιθρο και απαιτεί μακριά καλώδια. Η διάταξη Dipole - Dipole χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην μεταλλευτική έρευνα. Οι μετρήσεις γίνονται σε σταθερές αποστάσεις ηλεκτροδίων και δυναμικού με τα δύο ζεύγη να απομακρύνονται προοδευτικά το ένα από το άλλο. Τέλος, η διάταξη Pole - Dipole χρησιμοποιείται σήμερα αρκετά γιατί δίνει και αυτή ισχυρή σχέση σήματος προς θόρυβο.



Σχήμα 4.8: Χαρακτηριστικές διατάξεις ηλεκτροδίων. (www.geoservice.gr).

Το πλέον χρησιμοποιούμενο σύστημα διάταξης ηλεκτροδίων είναι το σύστημα Schlumberger. Σε αυτό, τα εξωτερικά ηλεκτρόδια περνούν στο έδαφος το ρεύμα και τα εσωτερικά μετρούν την αντίστοιχη "τάση" που προκαλείται λόγω του ρεύματος που διοχετεύθηκε.

Όταν το διάστημα των ηλεκτροδίων ρεύματος είναι μικρό, η μετρούμενη ηλεκτρική αντίσταση αντιστοιχεί σε εκείνη του πρώτου στρώματος. Όταν το διάστημα ηλεκτροδίων ρεύματος είναι αρκετά μεγάλο, τότε η μετρούμενη ηλεκτρική αντίσταση αντιστοιχεί σε εκείνη του δεύτερου στρώματος.

Η εκτέλεση γεωηλεκτρικών μετρήσεων είναι μια αρκετά σύνθετη διαδικασία, απαιτεί ειδικευμένο προσωπικό με πείρα στην γεωφυσική γιατί υπάρχουν πολλοί κίνδυνοι στην διαδικασία των μετρήσεων. Το πρώτο βήμα είναι η επιλογή της διάστασης της μέτρησης (το ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων ρεύματος). Αυτό εξαρτάται πάντοτε από το ζητούμενο βάθος της έρευνας. Μια γεωηλεκτρική μέτρηση ή διασκόπηση συνίσταται στην διαδοχική μέτρηση

των αντιστάσεων του εδάφους σε διαφορετικά και προοδευτικά αυξανόμενα διαστήματα ηλεκτροδίων ρεύματος με το κέντρο των μετρήσεων να παραμένει πάντοτε στο ίδιο σημείο. Καλό είναι να σχηματίζεται και το διάγραμμα μέτρησης στο πεδίο έτσι ώστε να ελέγχεται και η ποιότητα των μετρήσεων. Εάν ανιχνεύεται κάποιο υπόβαθρο τότε μια αύξηση στις τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης σημαίνει ότι οι γραμμές ρεύματος έχουν φθάσει στο επιθυμητό βάθος.

Εάν τώρα πρόκειται να καταγραφεί ένα προφίλ ηλεκτρικής αντίστασης τότε η καλύτερη διάταξη είναι η Dipole - dipole. Η γεωμετρική μορφή του διπόλου καθορίζει και την διακριτότητα που θα προκύψει από το προφίλ και πρέπει να επιλέγεται πάντοτε πριν τις μετρήσεις ανάλογα με το γεωφυσικό στόχο. Είναι δηλαδή αδύνατο να ανιχνευθούν κοιλότητες μεγέθους 5 μέτρων με δίπολο διαστάσεων μεγαλύτερες από 5 μέτρα. Η ανάλυση επίσης μειώνεται με το βάθος. Γενικά ένας κανόνας είναι να επιλέγεται μήκος διπόλου περίπου στο ήμισυ των αναμενόμενων γεωφυσικών στόχων.

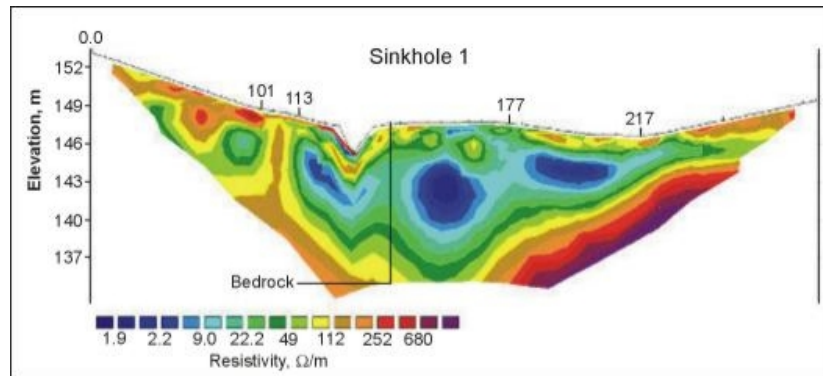
Τα συστήματα πολυηλεκτροδίων μπορούν να εκτελέσουν γρήγορα μετρήσεις προφίλ ηλεκτρικής αντίστασης. Με τα συστήματα αυτά ένας μεγάλος αριθμός ηλεκτροδίων συνδέεται σε ένα όργανο πριν από την καταγραφή. Το ίδιο το σύστημα επιλέγει τα απαιτούμενα ηλεκτρόδια κάνοντας την διαδικασία μετρήσεων πολύ πιο γρήγορη και απλή. Με τον τρόπο αυτό ένας σημαντικός αριθμός δεδομένων και αντίστοιχη γεωφυσική πληροφορία είναι δυνατόν να ανακτηθεί στο ύπαιθρο. Τα συστήματα αυτά είναι πολύ πιο βολικά στην έρευνα για υπόγειες κοιλότητες.



Σχήμα 4.9: Σύστημα πολυηλεκτροδίων στο ύπαιθρο. (www.geoservice.gr).

Πρακτικά δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη επεξεργασία των δεδομένων που έχουν περισυλλεχθεί στο ύπαιθρο πλην από κάποιες τοπογραφικές διορθώσεις και απόρριψη λανθασμένων μετρήσεων.

Τα δεδομένα εισάγονται σε ειδικό λογισμικό αναστροφής το οποίο και δίνει ένα διάγραμμα μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος. Στο σχήμα 4.10 φαίνονται τρεις κοιλότητες μέσα σε βραχώδες οι οποίες είναι γεμάτες με κενό. Πρόκειται για ζώνες ρηγματώσεων.



Σχήμα 4.10: Εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας όπως φαίνεται μετά από την επεξεργασία των δεδομένων. Ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί σε βάθος από την επιφάνεια, ενώ ο οριζόντιος σε απόσταση κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των δομών. (www.geoservice.gr).

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μια πολύ αποτελεσματική μέθοδος για εντοπισμό κοιλοτήτων εφόσον βέβαια αυτές έχουν κάποιο στοιχειώδες μέγεθος.

Σημαντικό της μειονέκτημα είναι η μεγάλη δυσκολία που παρουσιάζει για τον εντοπισμό κοιλοτήτων σε βάθη μεγαλύτερα των 30 μέτρων κυρίως λόγω του απαιτούμενου μεγάλου αριθμού ηλεκτροδίων και της σημαντικής μείωσης της διακριτότητας με το βάθος.

Τα όργανα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, σε απλουστευμένη μορφή αποτελούνται από μία πηγή, ένα βολτόμετρο και ένα αμπερόμετρο. Η πηγή εφαρμόζει τάση V_p και παράγει συνεχές ρεύμα ή εναλλασσόμενο ρεύμα χαμηλής συχνότητας (π.χ. 100Hz). Για την εκτέλεση της μέτρησης είναι επίσης απαραίτητα καλώδια και ηλεκτρόδια (συνήθως ατσάλινοι πάσσαλοι).

Ένα από τα όργανα γεωηλεκτρικών μετρήσεων που χρησιμοποιείται είναι το TERRAMETER SAS 300B της ABEM. Οι βασικές λειτουργίες του οργάνου παρουσιάζονται στο σχήμα 4.11.



Σχήμα 4.11: TERRAMETER SAS 300B της ABEM. (Μέθοδος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, Α.Π.Θ.).

Κατά την εισαγωγή των μεταλλικών ηλεκτροδίων ρεύματος μέσα στη γη δεν υπάρχει τέλεια επαφή μεταξύ του ηλεκτροδίου και του εδάφους. Εμφανίζονται μικρά κενά αέρα τα οποία «δυσκολεύουν» την εισαγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος στη γη σε συνδυασμό με πιθανά χαμηλή υγρασία στο γεωλογικό στρώμα. Η αντίσταση που συναντά το ηλεκτρικό ρεύμα ώστε να εισέλθει στο έδαφος ονομάζεται **αντίστασης επαφής R_c** και δεν πρέπει να συγχέεται με την ηλεκτρική αντίσταση των γεωλογικών σχηματισμών R που μετράμε κατά τη διεξαγωγή των γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων. Η αντίσταση επαφής μετριέται επίσης σε Ohm και συνήθως είναι της τάξης των 200 - 2000 Ohm (0.2 - 2 KOhm). Υψηλές τιμές της αντίστασης επαφής μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στην ποιότητα των γεωηλεκτρικών μετρήσεων για αυτό και στην πράξη προσπαθούμε να τη μειώσουμε με διάφορους τρόπους π.χ. με το να βρέχουμε τις θέσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος με αλατόνερο.

Ο μηχανισμός με τον οποίο οι αντιστάσεις επαφής επηρεάζουν την ποιότητα των μετρήσεων φαίνεται παρακάτω:

Η μετρούμενη ηλεκτρική αντίσταση προκύπτει ως γνωστόν από τη σχέση :

$$R = \frac{V_{MN}}{I_{AB}}$$

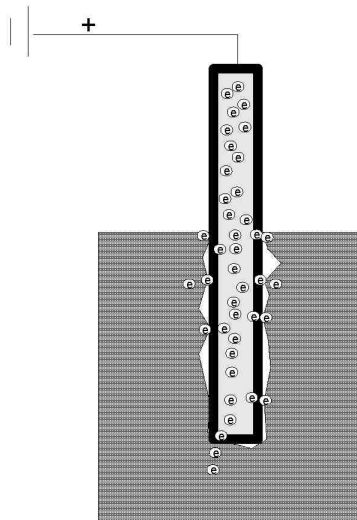
Για κάθε σταθερή θέση ηλεκτροδίων A,B,M,N η μετρούμενη αντίσταση R είναι η ίδια ανεξάρτητα από την ένταση του ρεύματος I_{AB} . Αυτό σημαίνει ότι όσο πιο μεγάλης έντασης ρεύμα I_{AB} εισάγουμε στη γη τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το δυναμικό V_{MN} που καταγράφουμε. Αντίστροφα, όσο πιο μικρής έντασης ρεύμα I_{AB} εισάγουμε στη γη τόσο μικρότερο θα είναι και το δυναμικό V_{MN} που καταγράφουμε. Με δεδομένο ότι το βολτόμετρο του οργάνου που καταγράφει το δυναμικό έχει πεπερασμένη ακρίβεια (π.χ. τυπικά 0.1 mV) είναι φανερό ότι με την εισαγωγή ρεύματος I_{AB} μικρής έντασης

κινδυνεύουμε η τιμή του μετρούμενου δυναμικού να είναι εκτός της ακρίβειας του οργάνου. Επομένως στην πράξη επιθυμούμε να λαμβάνουμε μετρήσεις με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ένταση ρεύματος I_{AB} .

Η αντίσταση επαφής R_c σχετίζεται άμεσα με την ένταση του ρεύματος I_{AB} που εισάγουμε. Θεωρώντας ότι η μέγιστη τάση της πηγής του οργάνου είναι V_{π} η ένταση του ρεύματος δίνεται από τη σχέση:

$$I_{AB} = \frac{V_{\pi}}{R_c}$$

Άρα, δεδομένου ότι η μέγιστη τάση της πηγής του οργάνου V_{π} είναι σταθερή για κάθε όργανο και δίνεται από το κατασκευαστή η ένταση του ρεύματος I_{AB} αυξάνεται ή μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με την αντίσταση επαφής.



Σχήμα 4.12: Σχηματική αναπαράσταση του τί συμβαίνει όταν περνάει ρεύμα από την επαφή ενός ηλεκτροδίου ρεύματος με το έδαφος. (Μέθοδος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, Α.Π.Θ.).

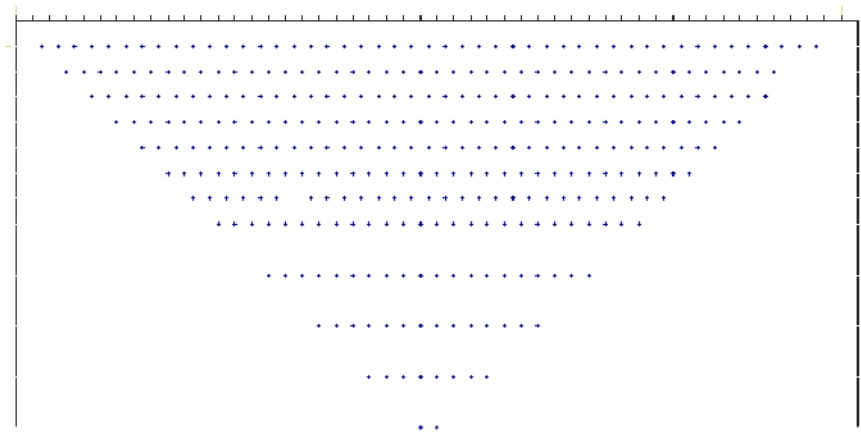
4.1.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας και τα αποτελέσματά της μπορούν να συγκριθούν σε ακρίβεια με τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων. Στην ηλεκτρική τομογραφία, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στη μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια διεύθυνση, εντοπίζοντας έτσι ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως π.χ. μεταπτώσεις.

Πολύ σημαντικός είναι ο καθορισμός της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος πριν να ξεκινήσει η χαρτογράφηση, καθώς από αυτή την απόσταση εξαρτάται το βάθος μέχρι το οποίο οι σχηματισμοί στο υπέδαφος επιδρούν στη διαμόρφωση της τιμής της ρ_a .

Μια σειρά από μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης πραγματοποιείται μετακινώντας τη διάταξη των ηλεκτροδίων από θέση σε θέση κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Οι τιμές αυτές, κατά μήκος αρκετών παράλληλων γραμμών, τοποθετούνται σε χάρτη φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων.

Στη συνέχεια, μπορεί να γίνει επεξεργασία των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης χρησιμοποιώντας κάποια υπολογιστικά προγράμματα για τον υπολογισμό προσεγγιστικών τιμών της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.



Σχήμα 4.13: Διάταξη των δεδομένων στην ψευδοτομή του υπεδάφους (Σούρλας, 2000)

4.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται συνήθως κατά την εφαρμογή της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελείται από πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όργανα μέτρησης του δυναμικού και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, ηλεκτρόδια και μονωμένα καλώδια μεγάλου μήκους.

Κατά την πραγματοποίηση των γεωηλεκτρικών τομογραφιών ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι:

- Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού είναι απλές ανοξείδωτοι ράβδοι από χάλυβα.
- Ακόντια και σημαίες για τη σήμανση της γραμμής ανάπτυξης των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού.

- Πυξίδα για το προσανατολισμό της γραμμής μελέτης.
- Δοχεία μεταφοράς αλατούχου ύδατος για τη βελτίωση επαφής του συστήματος "ηλεκτρόδιο - γη".
- Όργανο Μέτρησης: Κατά την εκτέλεση της γεωηλεκτρικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε όργανο μέτρησης ειδικών αντιστάσεων, STING-R1, α) το οποίο εισάγει στην γη ρεύμα AC, που η ένταση του κυμαίνεται μεταξύ 0,1-200 mA και β) μετράει τάση σε τάξη μεγέθους 0,05 Volt.

4.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Κατά την εκτέλεση των γεωηλεκτρικών τομογραφιών ακολουθείται η εξής διαδικασία:

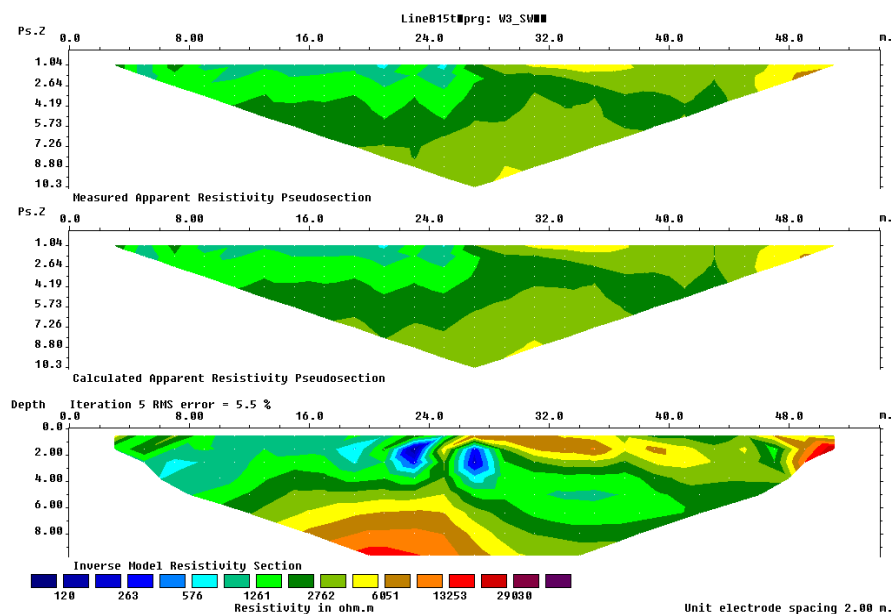
- Λαμβάνεται μέριμνα ώστε η ανάπτυξη των γραμμών ρεύματος να γίνεται σε ευθεία και όσο το δυνατόν παράλληλα στην παράταξη των τοπογραφικών φαινομένων.
- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια κατά μήκος της γραμμής μελέτης, όπου το κάθε ηλεκτρόδιο απέχει απόσταση a από το άλλο. Ταυτόχρονα τοποθετούνται αριθμημένες σημαίες δίπλα στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια.
- Συνδέεται το όργανο με τα καλώδια, και τοποθετείται δίπλα στη γραμμή μελέτης.
- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του επιλεγμένου κέντρου σε απόσταση $MN/2$ και $AB/2$ αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων A, B με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματοποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος i και δυναμικού V . Στη συνέχεια τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος σε μεγαλύτερη απόσταση $AB/2$ και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.
- Οι διαδοχικές στάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος (AB) γίνονται σύμφωνα με τις αποστάσεις (m) που φαίνονται στον πίνακα μετρήσεων.
- Το κέντρο μετακινείται κατά απόσταση a σύμφωνα με τον πίνακα μετρήσεων και επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις όπως στο προηγούμενο βήμα.
- Οι αποστάσεις των ημιαναπτυγμάτων $AB/2$ και οι μετρούμενες τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταγράφονται σε ειδικά διαμορφωμένα έντυπα για την αργότερη επεξεργασία τους

4.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ επιτυγχάνεται με την χρήση του λογισμικού πακέτου Res2dinv. Το Res2dinv (έκδοση 3.4) καθορίζει αυτόματα δισδιάστατο (2-D) μοντέλο ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα δεδομένα της ηλεκτρικής τομογραφίας (Griffiths and Barker 1993). Αυτό το πρόγραμμα αντιστρέφει δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν με τη χρήση μεγάλου αριθμού ηλεκτροδίων.

Χρησιμοποιείται μη γραμμική τεχνική ελαχίστων τετραγώνων για την αντιστροφή των δεδομένων (deGroot-Hedlin and Constable, 1990, Loke and Barker, 1996) τα οποία συλλέχθηκαν με οποιαδήποτε από τις παρακάτω διατάξεις: Wenner, πόλου-πόλου, διπόλου-διπόλου, πόλου-δίπολου, Schlumberger, Wenner - Schlumberger και τις ορθογώνιες σειρές. Ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί ψευδοτομές με έως και 650 ηλεκτρόδια και 6500 σημεία δεδομένων.

Σύμφωνα με το πρόγραμμα, εισάγονται τα δεδομένα από το αρχείο dat. Αφού πραγματοποιηθεί η αντιστροφή των δεδομένων παρουσιάζονται στην οθόνη τρεις τομές. Υπάρχει η δυνατότητα να μην ληφθούν υπόψη μετρήσεις οι οποίες έχουν μεγάλο σφάλμα. Επίσης παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης του αριθμού των επαναλήψεων της διαδικασίας της αντιστροφής. Ακόμα, στα αποτελέσματα του προγράμματος συγκαταλέγεται και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS.



Σχήμα 4.14: Εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας για την γραμμή μελέτης B15, όπως φαίνεται μετά από την επεξεργασία των δεδομένων. Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών.

5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας (εκτέλεση ηλεκτρικών τομογραφιών και σεισμικής διάθλασης). Στόχος της έρευνας είναι η χαρτογράφηση της γεωλογικής δομής, για τον εντοπισμό της εναλλαγής των επιφανειακών στρωμάτων και πιο συγκεκριμένα του βάθους εμφάνισης του ασβεστολίθου, καθώς επίσης και για τον προσδιορισμό έγκοιλων και διακλάσεων, για την επιλογή του κατάλληλου σημείου για την υποστήριξη του τμήματος της μελλοντικής προέκτασης του οδικού άξονα Ε55 στο όρος Κλόκοβα Αιτωλοακαρνανίας.

5.2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Ακολουθεί ο πίνακας 5.1 με τα χαρακτηριστικά της κάθε γραμμής μελέτης σεισμικής τομογραφίας:

Γραμμή Μελέτης	Μέγιστο Βάθος Διασκόπησης (m)	Μήκος (m)	Ισαπόσταση Σταθμών (m)
A1	17	110	5
A2	20	110	5
B2	20	55	5
B3	14	55	5
B4	11	55	5
B5	11	55	5
B7	17	55	5
B14	20	55	5
B15	8	55	5
B16	11	110	5
B17	8	55	5

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά γραμμών μελέτης σεισμικής διάθλασης.

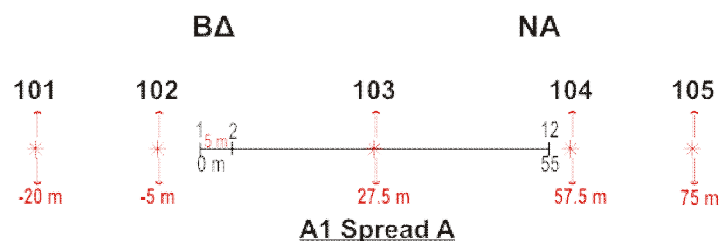
Στο σχήμα 5.1 φαίνεται η θέση των γραμμών μελέτης πάνω στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής. Οι γραμμές A1 και A2 πραγματοποιήθηκαν σε κοντινές αποστάσεις από τις υφιστάμενες γεωτρήσεις K2, K3.



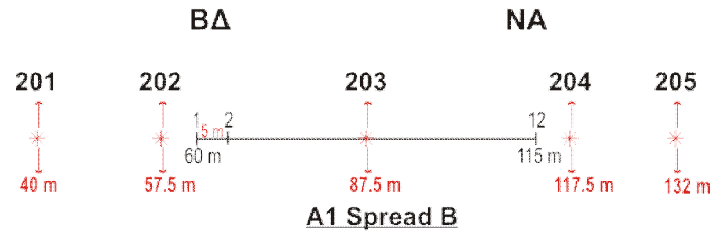
Σχήμα 5.1: Θέση των γραμμών μελέτης στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής.

Γραμμή A1

Σύμφωνα με τα παρακάτω σχήματα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή A1 έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2. Αποτελείται από δύο αναπτύγματα (spreads) 12 γεωφώνων μήκους 55 m το κάθε ένα. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε και ηλεκτρική τομογραφία (παρουσιάζεται στην ενότητα 5.3).

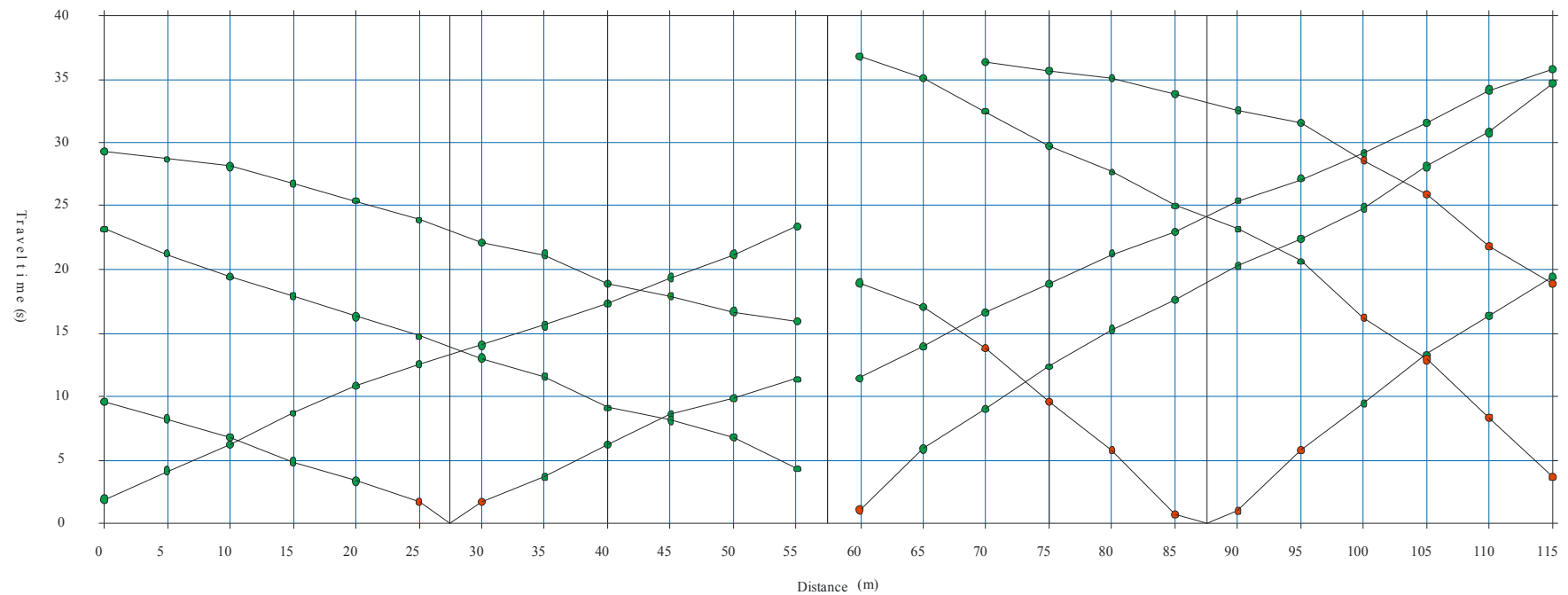


Σχήμα 5.2: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης A1, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

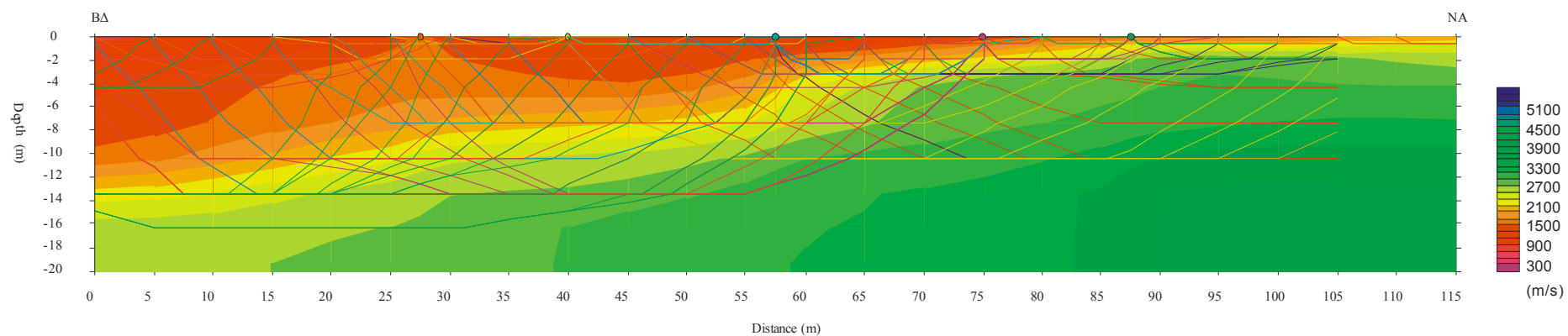


Σχήμα 5.3: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread B της σεισμικής γραμμής μελέτης A1, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύονται δυο στρώματα, και η σύγκριση των διαγραμμάτων της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων τους. Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



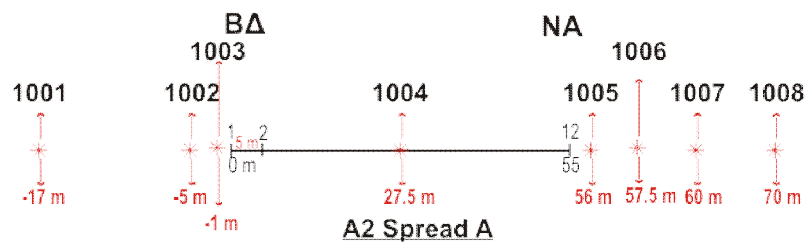
Σχήμα 5.4: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης A1. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας και οι πράσινοι σε μετωπικά κύματα.



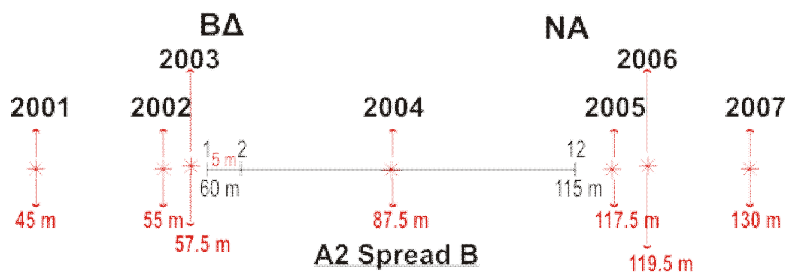
Σχήμα 5.5: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης A1.

Γραμμή A2

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή A2 έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2. Αποτελείται από δύο αναπτύγματα (spreads) 12 γεωφώνων μήκους 55 m το κάθε ένα. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε και ηλεκτρική τομογραφία (παρουσιάζεται στην ενότητα 5.3).

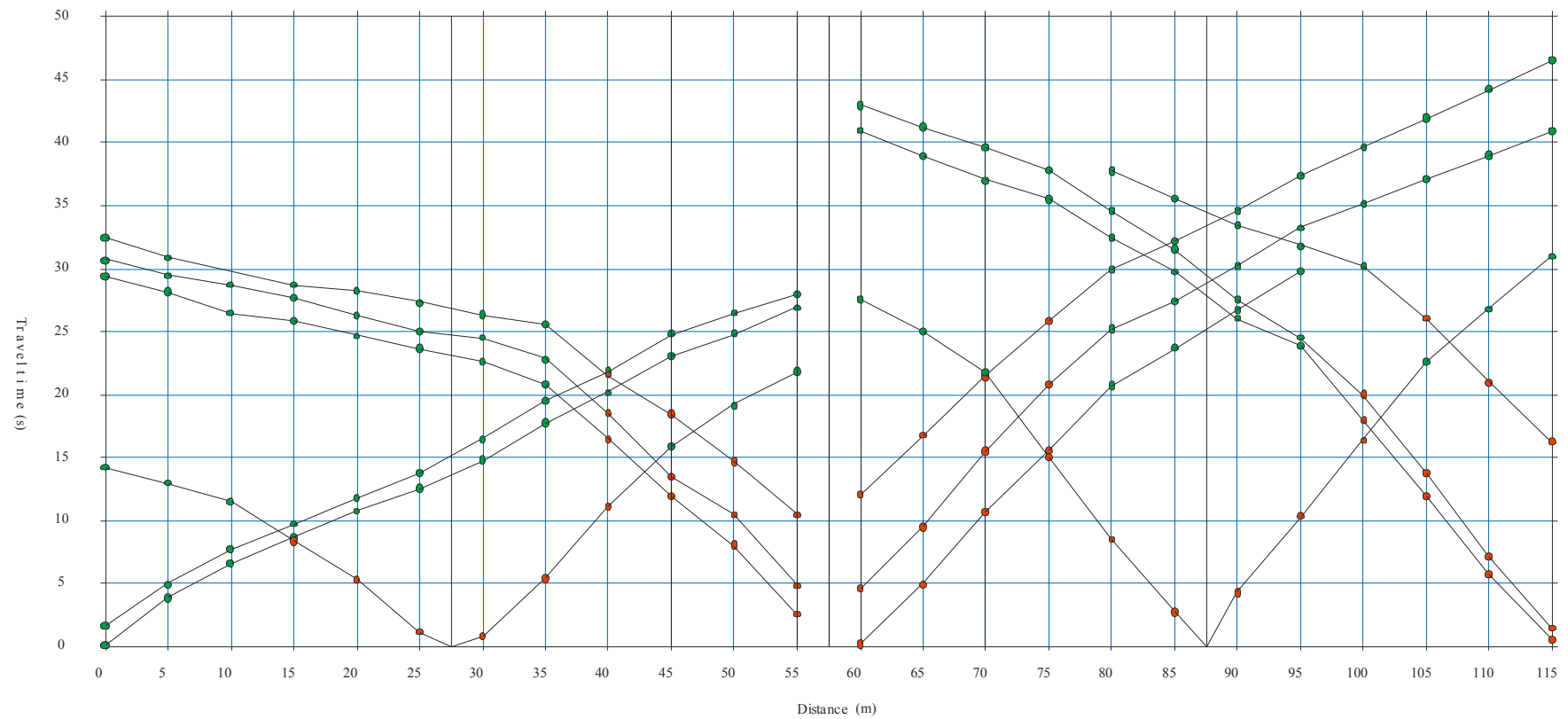


Σχήμα 5.6: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης A2, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

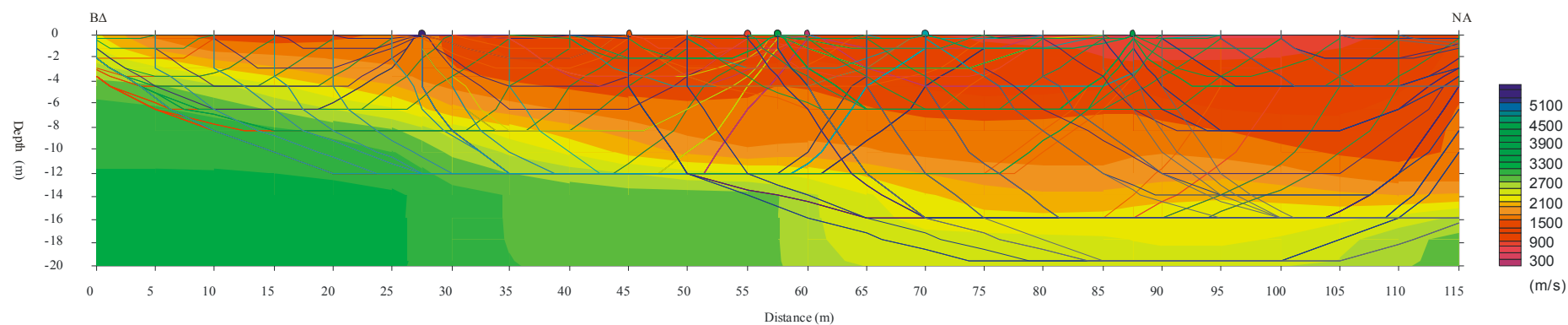


Σχήμα 5.7: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread B της σεισμικής γραμμής μελέτης A2, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύονται δυο στρώματα, και η σύγκριση των διαγραμμάτων της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων τους. Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



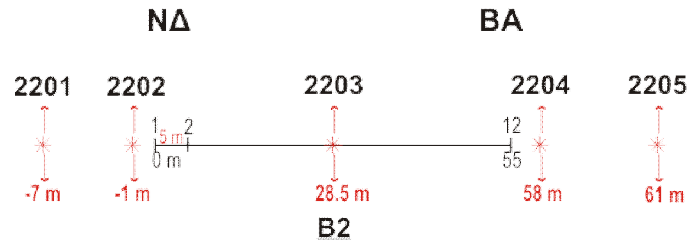
Σχήμα 5.8: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης A2. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας και οι πράσινοι σε μετωπικά κύματα.



Σχήμα 5.9: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης A2.

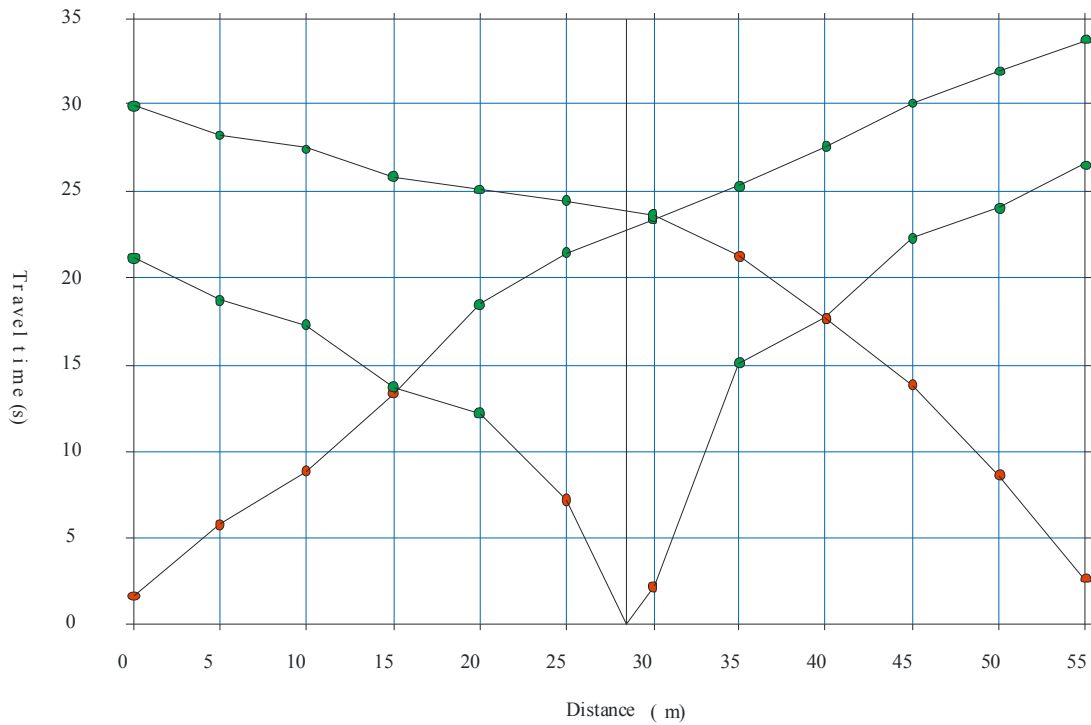
Γραμμή B2

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή B2 έχει διεύθυνση ΝΔ έως ΒΑ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε και ηλεκτρική τομογραφία (παρουσιάζεται στην ενότητα 5.3).

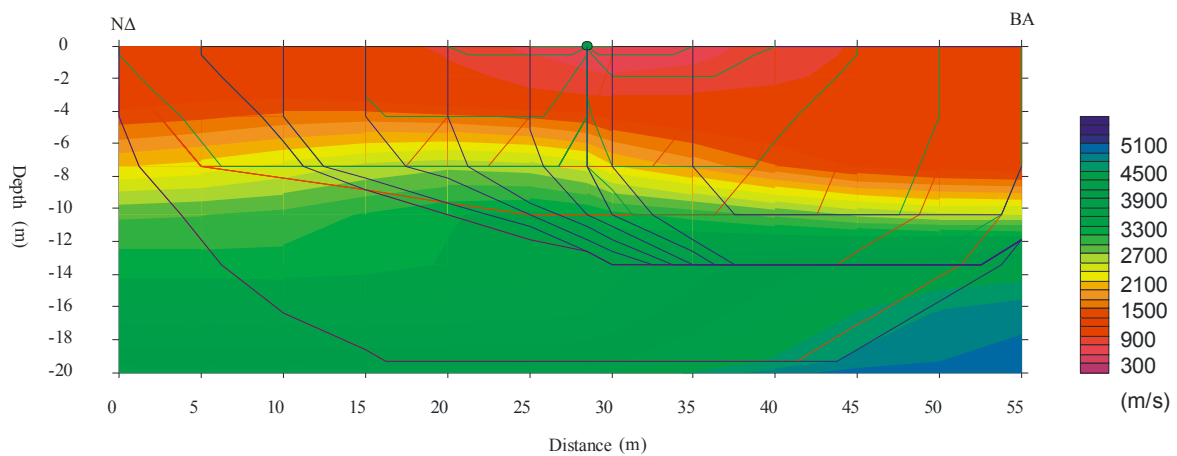


Σχήμα 5.10: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης B2, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύονται δυο στρώματα, και η σύγκριση των διαγραμμάτων της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων τους. Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



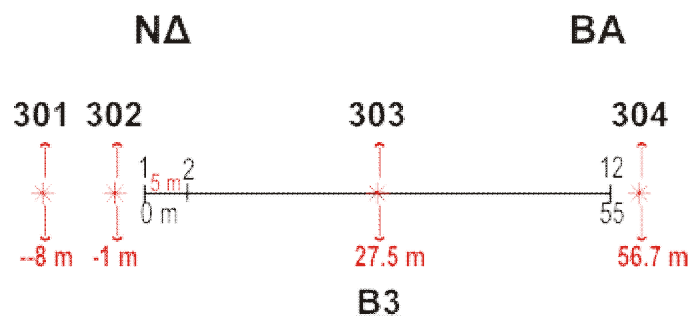
Σχήμα 5.11: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης B2. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας και οι πράσινοι σε μετωπικά κύματα.



Σχήμα 5.12: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης B2.

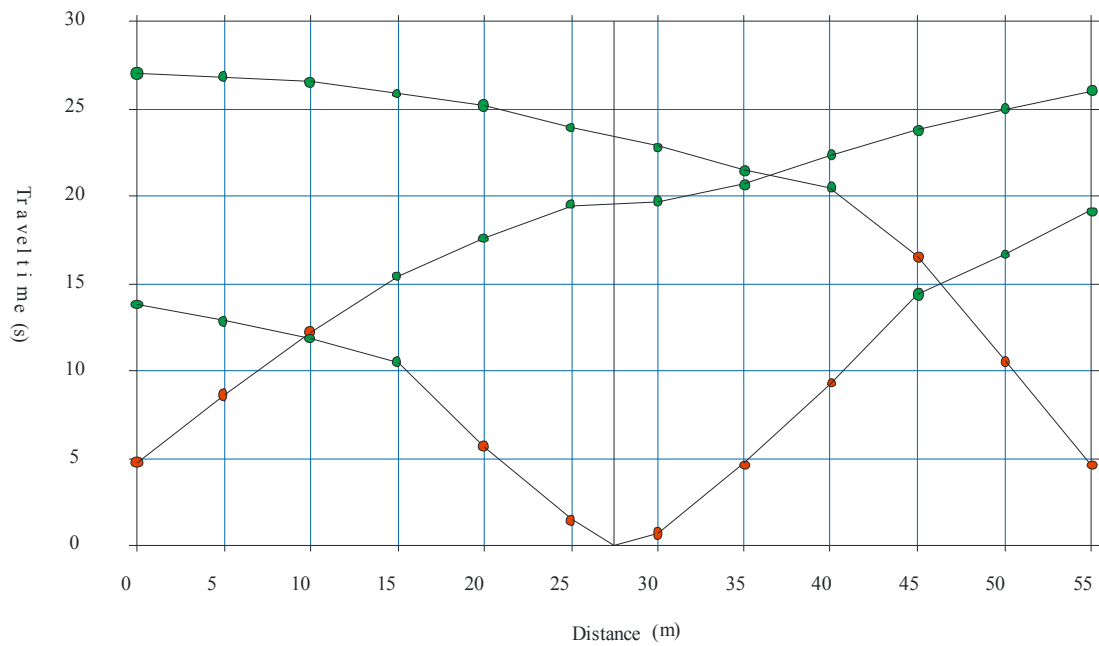
Γραμμή Β3

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή Β3 έχει διεύθυνση ΝΔ έως ΒΑ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε και ηλεκτρική τομογραφία (παρουσιάζεται στην ενότητα 5.3).

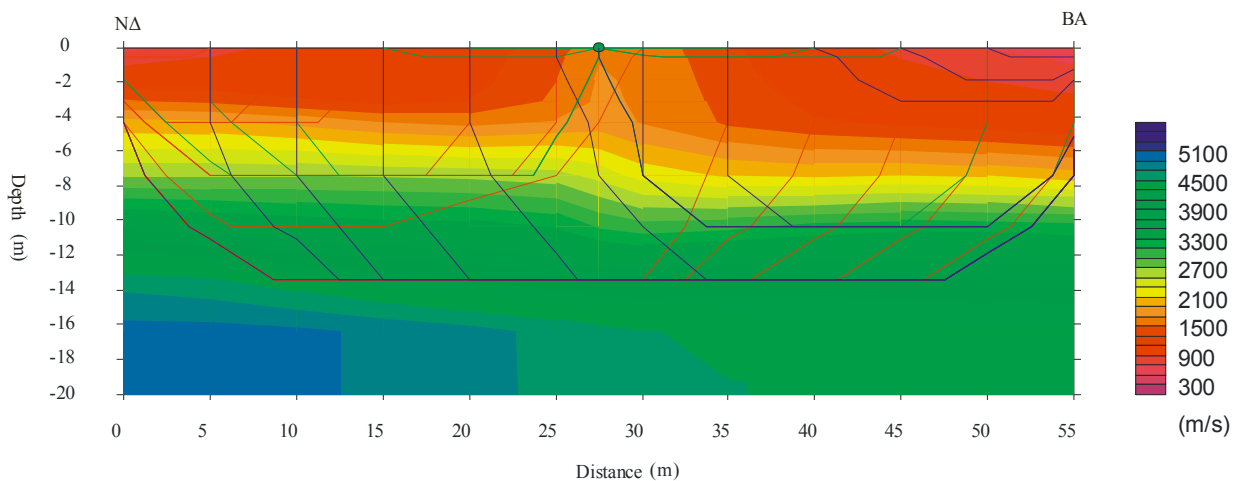


Σχήμα 5.13: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης Β3, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύονται δυο στρώματα, και η σύγκριση των διαγραμμάτων της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων τους. Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



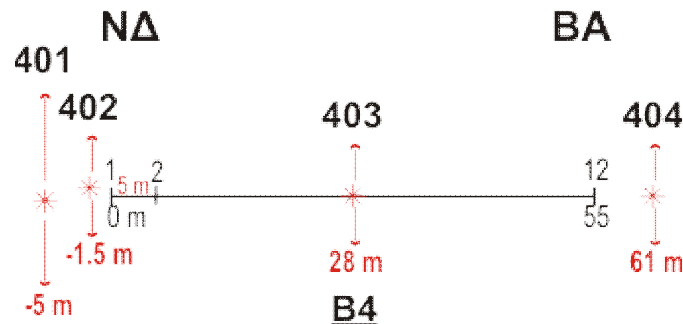
Σχήμα 5.14: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης B3. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας και οι πράσινοι σε μετωπικά κύματα.



Σχήμα 5.15: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης B3.

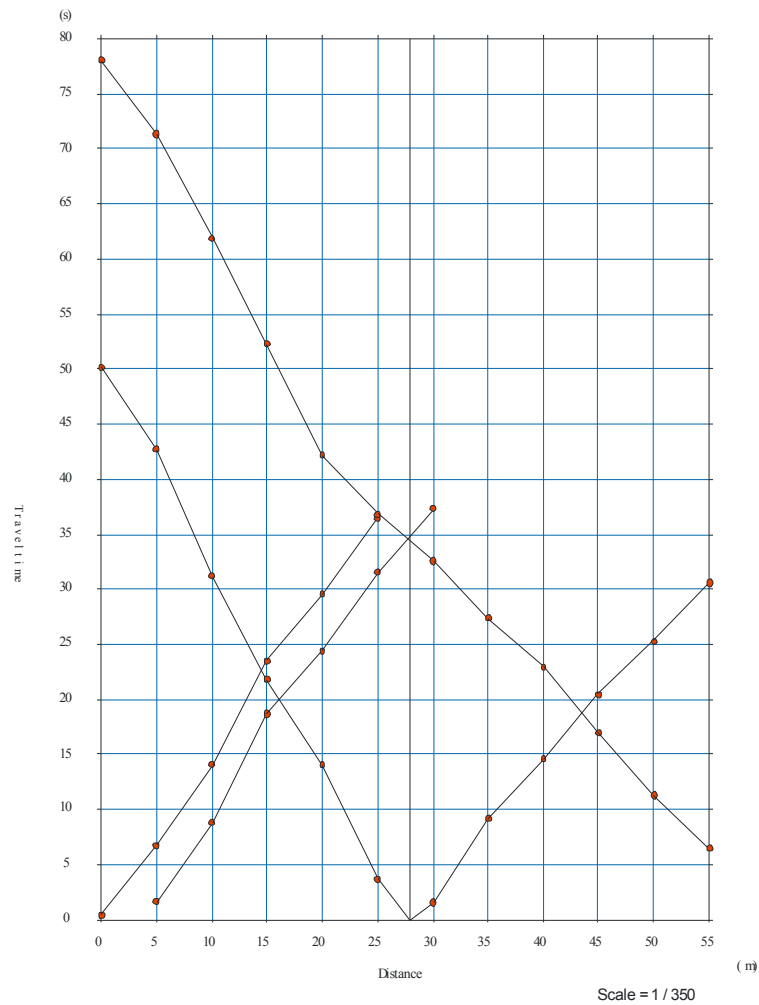
Γραμμή B4

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή B4 έχει διεύθυνση ΝΔ έως ΒΑ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2.

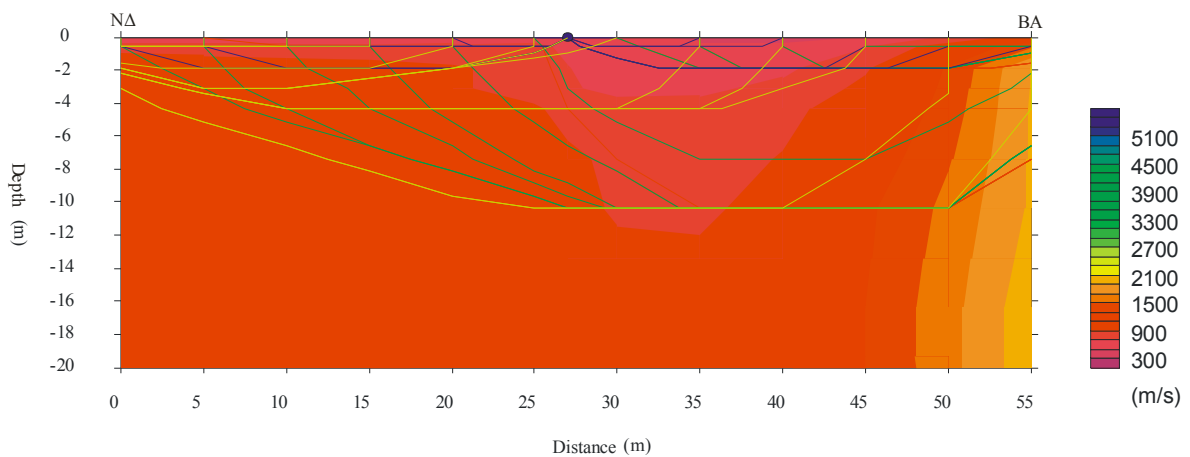


Σχήμα 5.16: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης B4, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύεται ένα στρώμα και το διάγραμμα σεισμικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων. Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



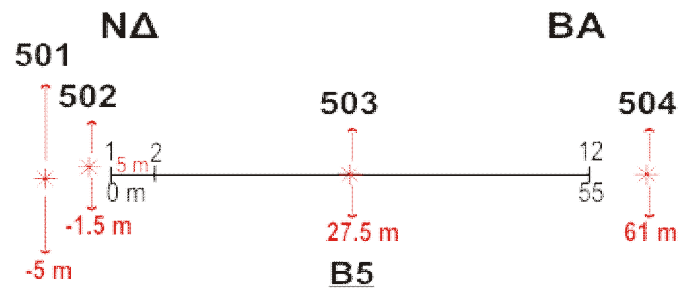
Σχήμα 5.17: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης B4. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας κύματα.



Σχήμα 5.18: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης B4.

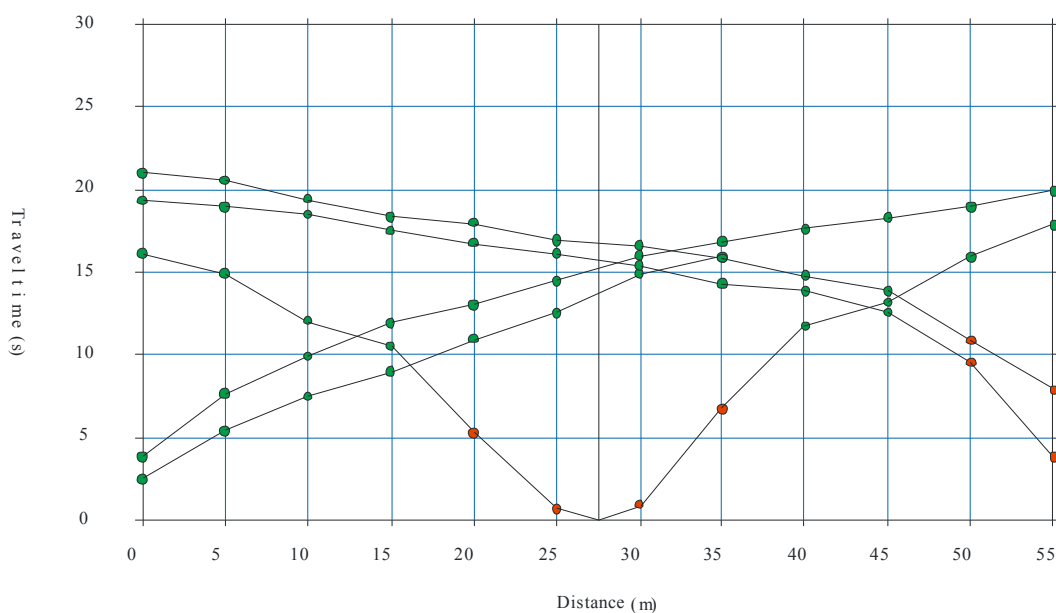
Γραμμή B5

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή B5 έχει διεύθυνση ΝΔ έως ΒΑ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2.

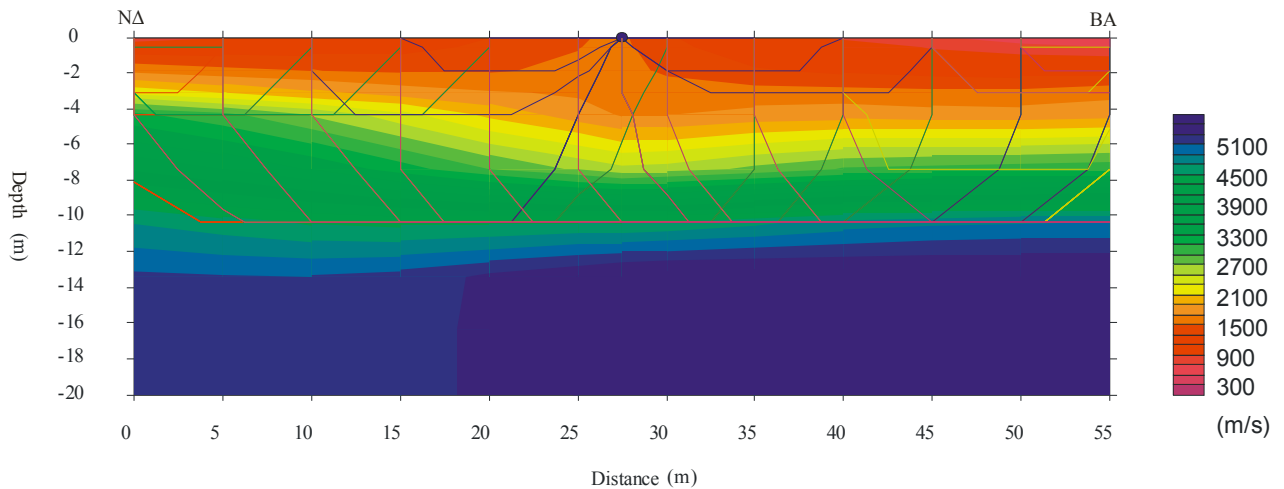


Σχήμα 5.19: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης B5, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύεται ένα στρώμα και το διάγραμμα σεισμικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων. Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



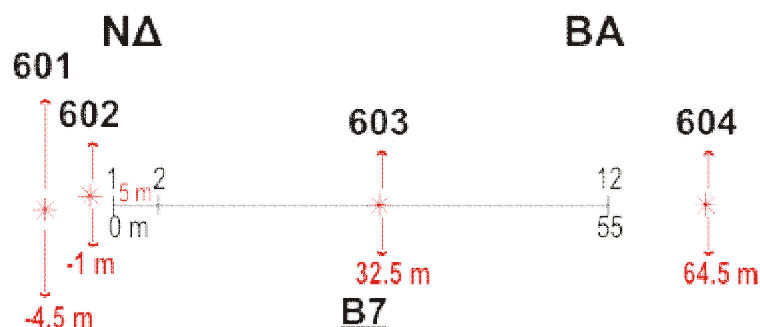
Σχήμα 5.20: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης B5. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας και οι πράσινοι σε μετωπικά κύματα.



Σχήμα 5.21: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης B5.

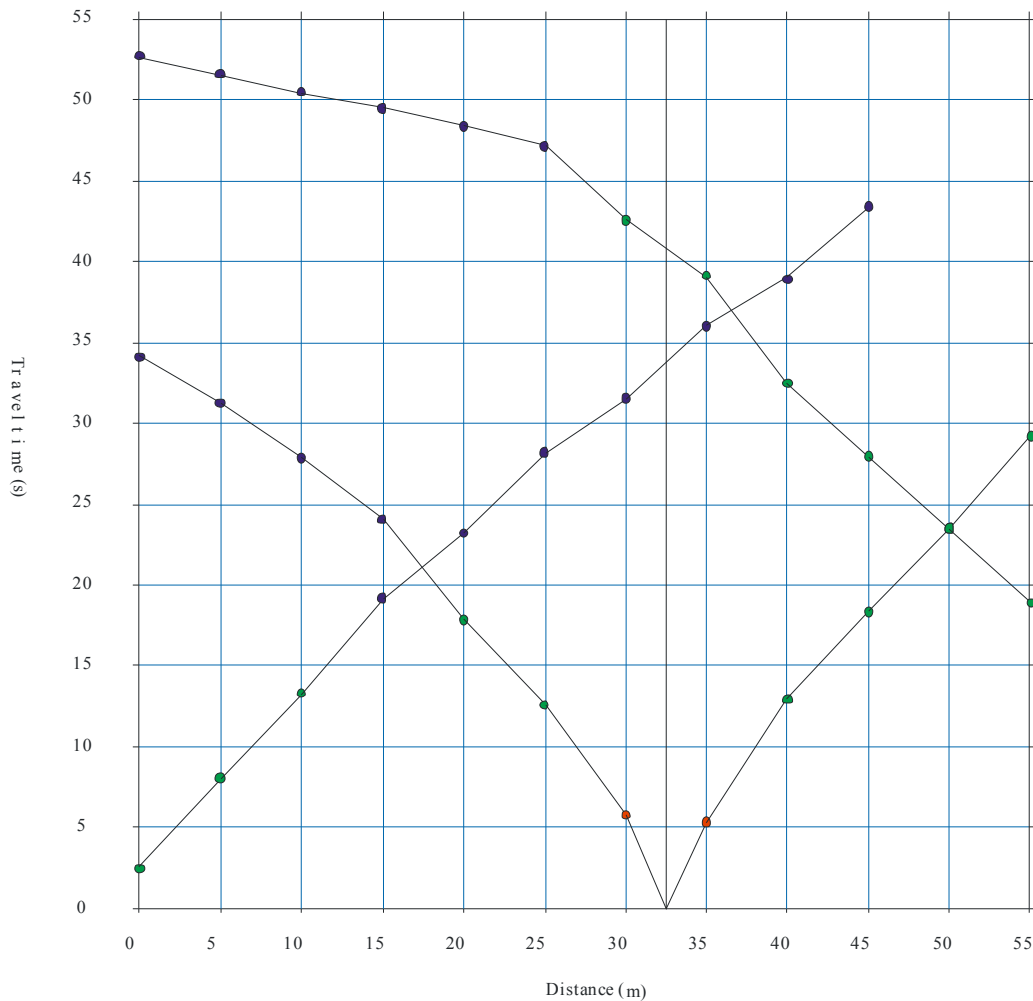
Γραμμή B7

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή B7 έχει διεύθυνση ΝΔ έως ΒΑ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2.

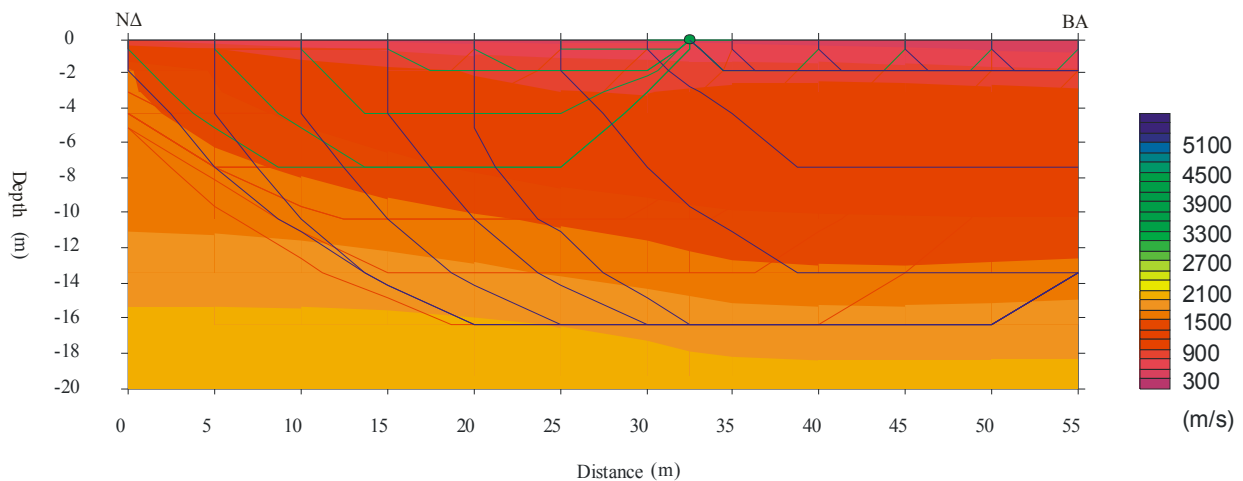


Σχήμα 5.22: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης B7, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύεται ένα στρώμα και το διάγραμμα σεισμικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων. Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



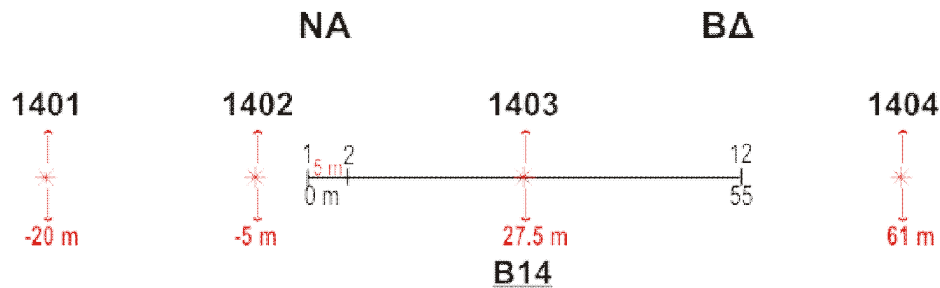
Σχήμα 5.23: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης B7. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας και οι πράσινοι σε μετωπικά κύματα.



Σχήμα 5.24: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης B7.

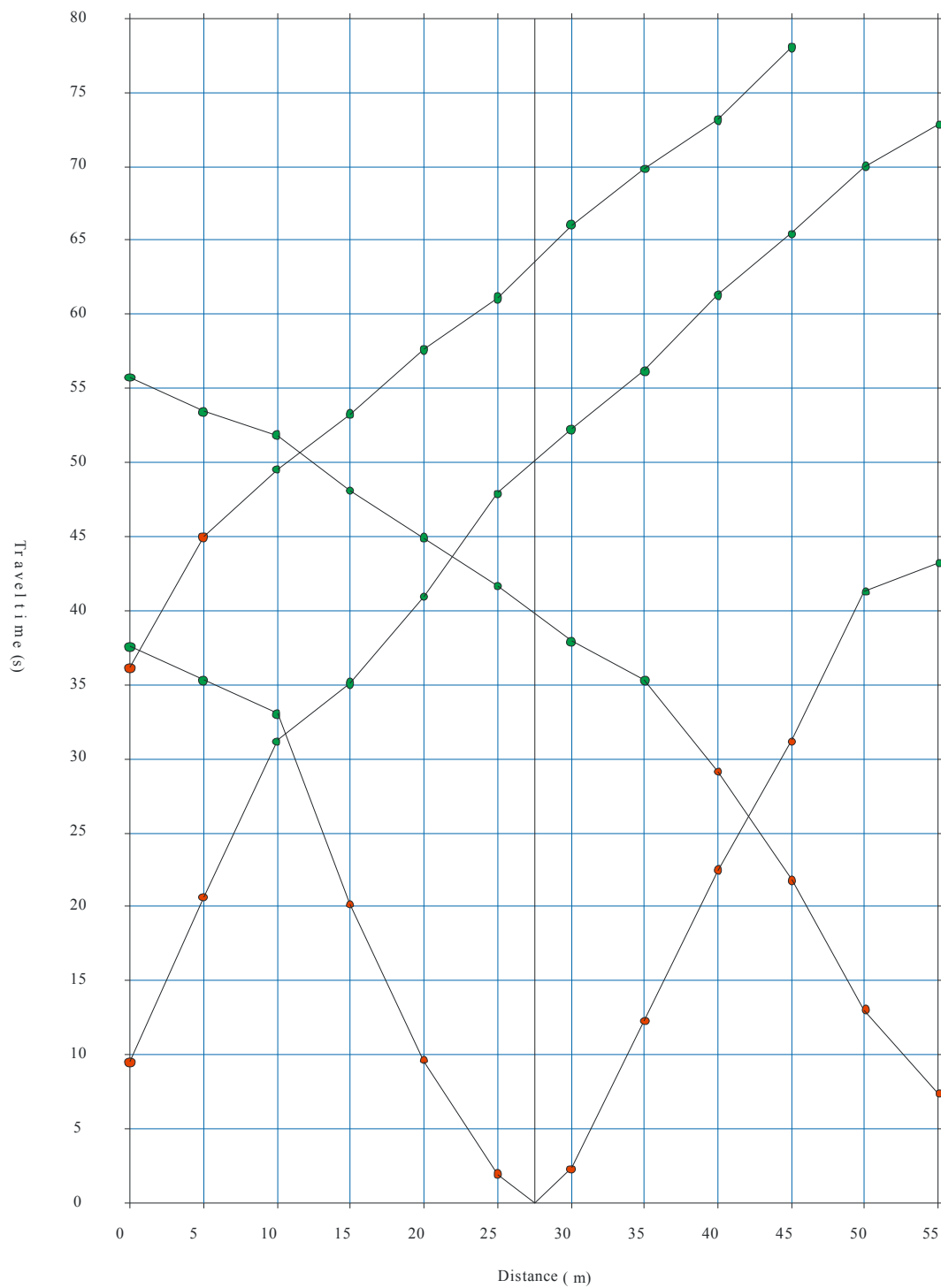
Γραμμή B14

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή B14 έχει διεύθυνση ΝΑ έως ΒΔ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε και ηλεκτρική τομογραφία (παρουσιάζεται στην ενότητα 5.3).

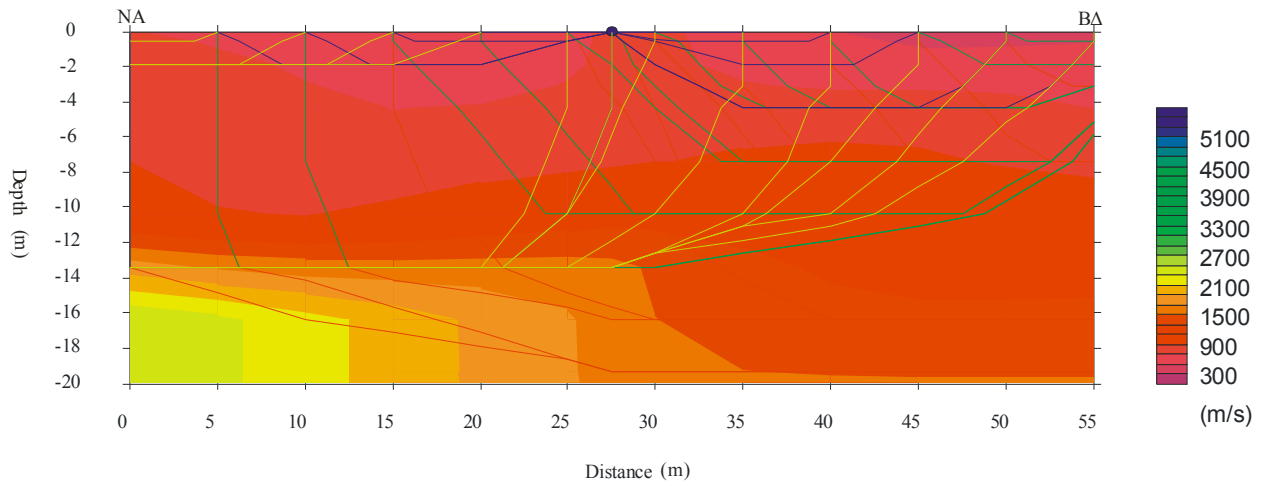


Σχήμα 5.25: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης B14, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύονται δυο στρώματα, και η σύγκριση των διαγραμμάτων της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων τους. Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



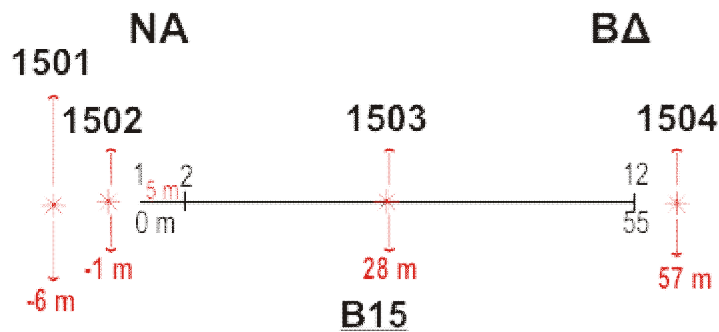
Σχήμα 5.26: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης B14. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας και οι πράσινοι σε μετωπικά κύματα.



Σχήμα 5.27: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης B14.

Γραμμή B15

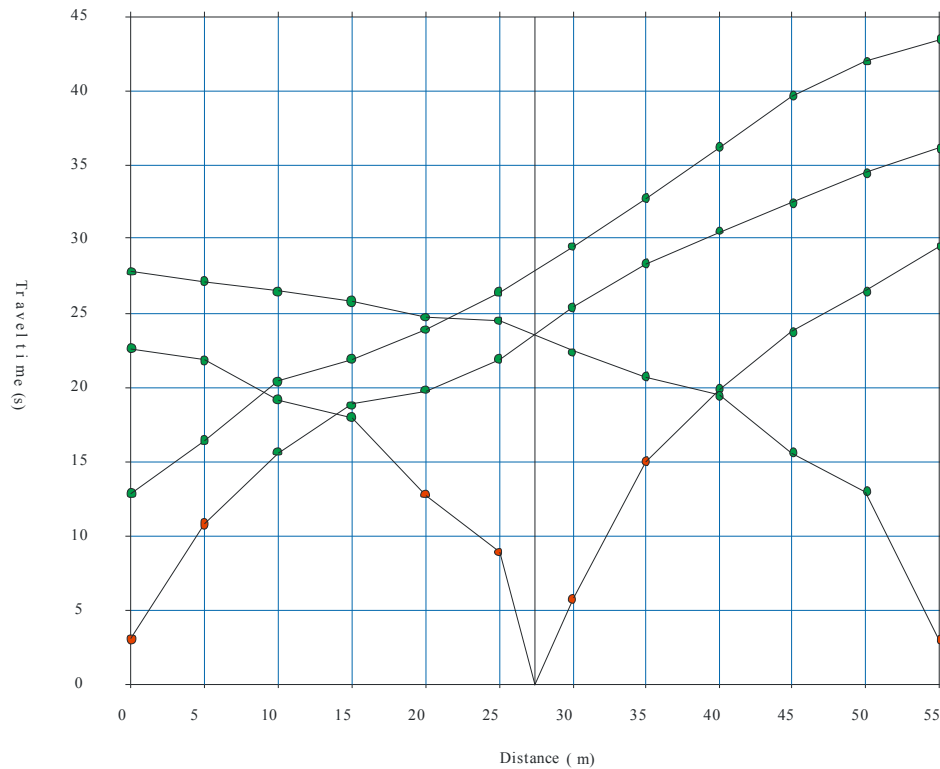
Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή B15 έχει διεύθυνση ΝΑ έως ΒΔ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε και ηλεκτρική τομογραφία (παρουσιάζεται στην ενότητα 5.3).



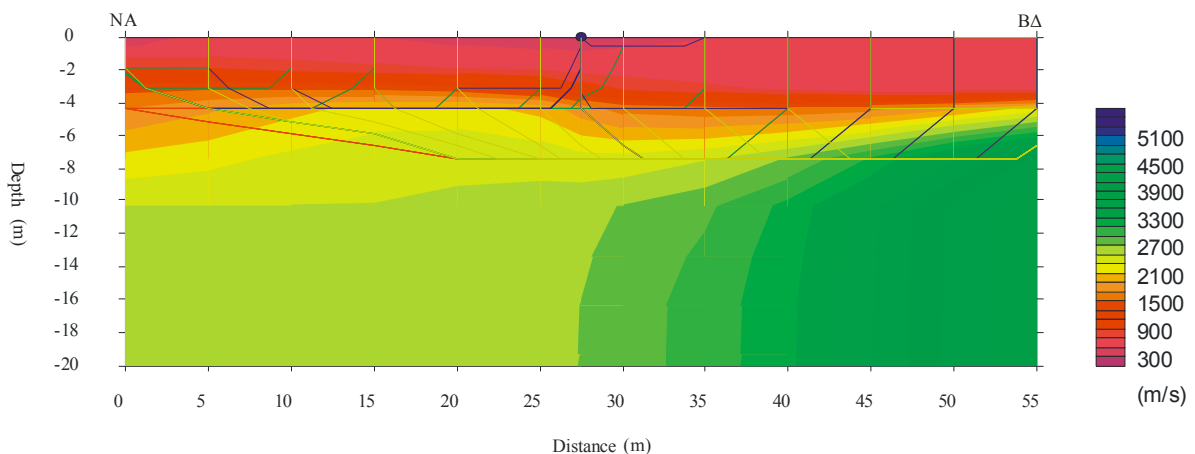
Σχήμα 5.28: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης B15, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύονται δυο στρώματα, και η σύγκριση των διαγραμμάτων της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων τους.

Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



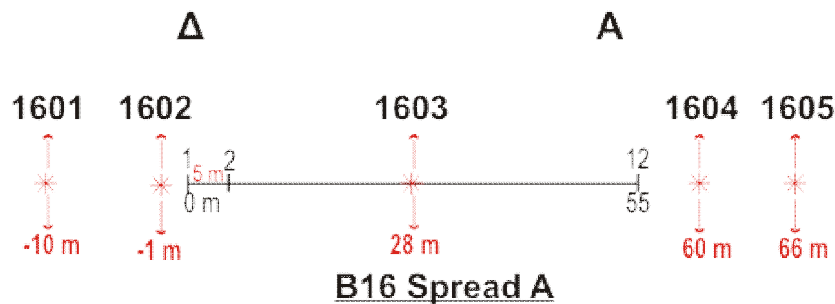
Σχήμα 5.29: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης B15. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας και οι πράσινοι σε μετωπικά κύματα.



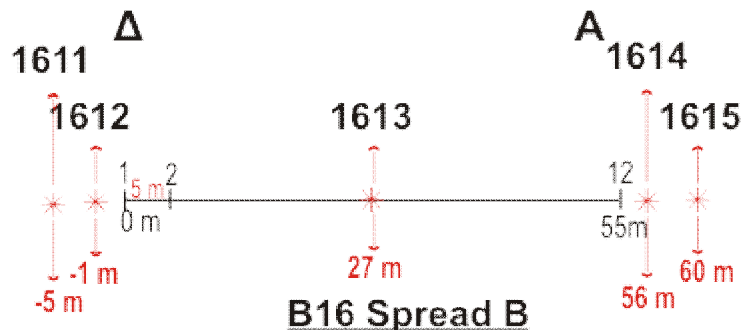
Σχήμα 5.30: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης B15.

Γραμμή B16

Σύμφωνα με τα παρακάτω σχήματα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή B16 έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2. Αποτελείται από δύο αναπτύγματα (spreads) 12 γεωφώνων μήκους 55 m το κάθε ένα. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε και ηλεκτρική τομογραφία (παρουσιάζεται στην ενότητα 5.3).

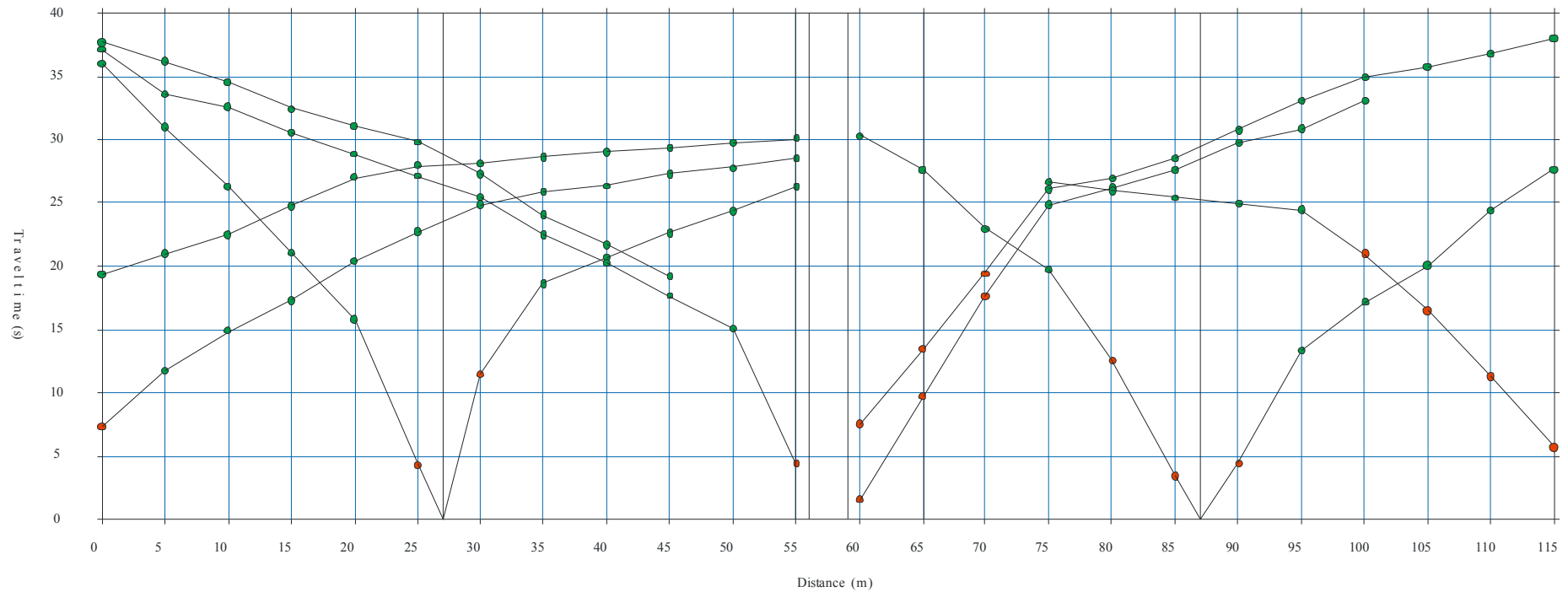


Σχήμα 5.31: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης B16, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

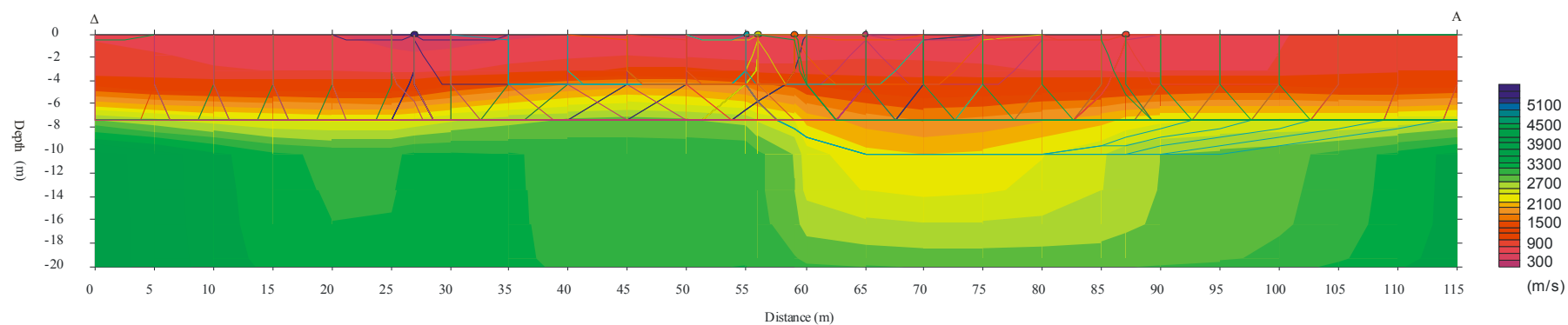


Σχήμα 5.32: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread B της σεισμικής γραμμής μελέτης B16, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύονται δυο στρώματα, και η σύγκριση των διαγραμμάτων της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων τους. Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



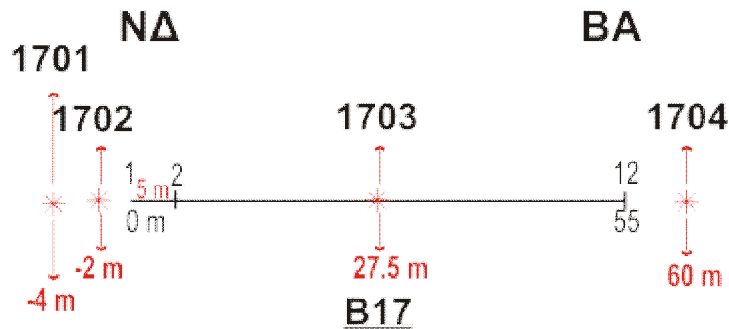
Σχήμα 5.33: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης B16. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας και οι πράσινοι σε μετωπικά κύματα.



Σχήμα 5.34: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης B16.

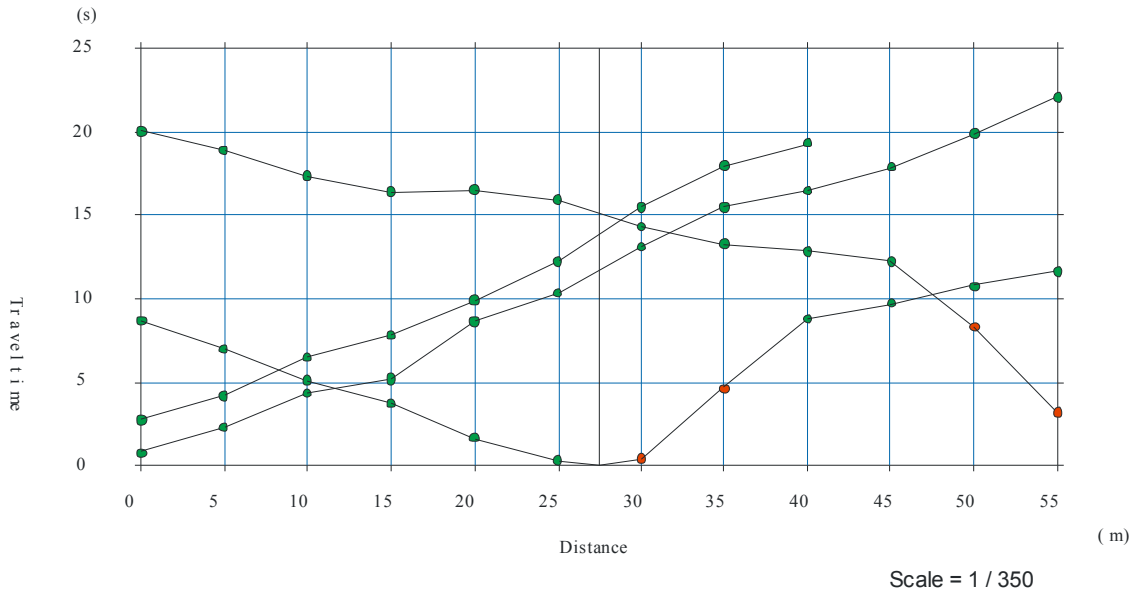
Γραμμή B17

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των αναπτυγμάτων της γραμμής μελέτης, η γραμμή B17 έχει διεύθυνση ΝΔ έως ΒΑ και η γεωγραφική της θέση φαίνεται στο σχήμα 2.2. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε και ηλεκτρική τομογραφία (παρουσιάζεται στην ενότητα 5.3).

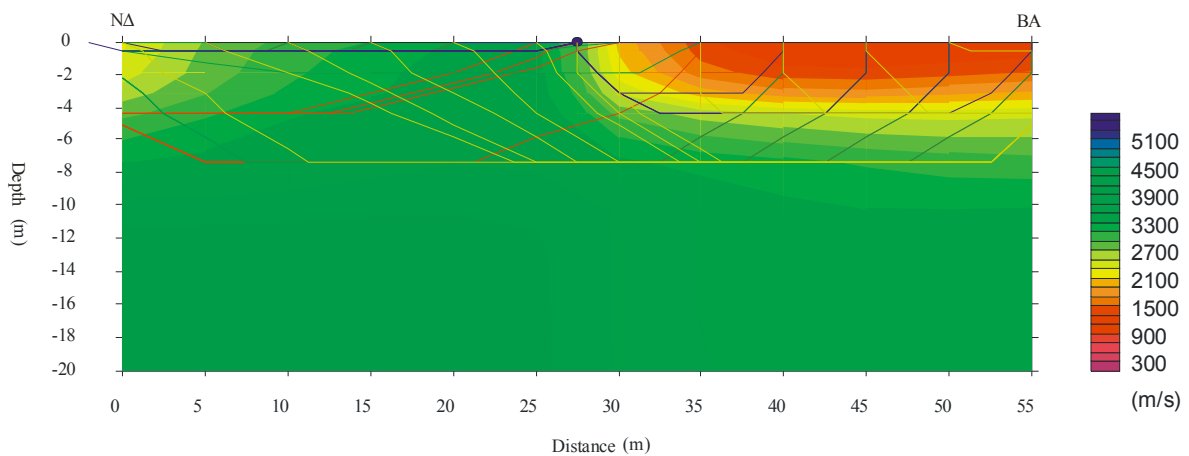


Σχήμα 5.35: Γεωμετρία του αναπτύγματος Spread A της σεισμικής γραμμής μελέτης B17, όπου απεικονίζονται με αστερίσκο οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-12. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων, όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Στο επάνω μέρος αναγράφεται η διεύθυνση της γραμμής μελέτης ενώ στο κάτω η θέση της σεισμικής πηγής.

Στη συνέχεια παρατίθενται το δρομοχρονικό διάγραμμα, από το οποίο προκύπτει ότι στη γραμμή μελέτης ανιχνεύονται δυο στρώματα, και η σύγκριση των διαγραμμάτων της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων τους. Οι καταγραφές της σεισμικής διάθλασης για κάθε γραμμή μελέτης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



Σχήμα 5.36: Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης B17. Οι κόκκινοι κύκλοι αντιστοιχούν σε απευθείας και οι πράσινοι σε μετωπικά κύματα.



Σχήμα 5.37: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας όπου φαίνονται και οι σεισμικές ακτίνες. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης B17.

5.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

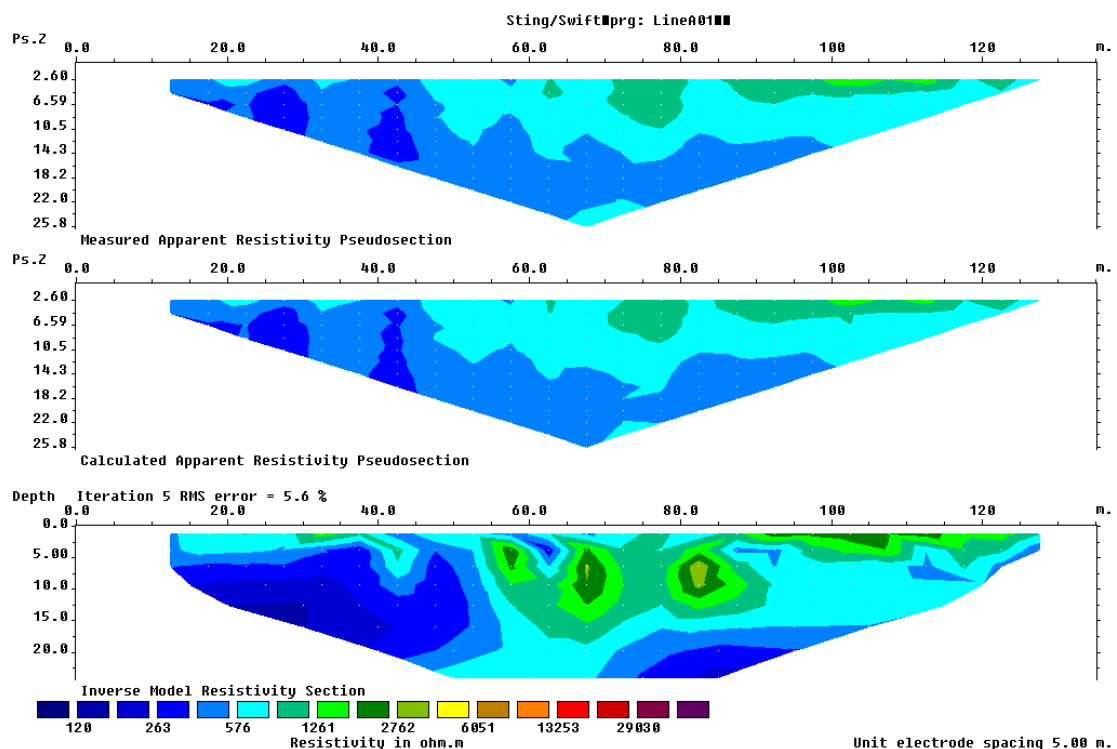
Ακολουθεί ο πίνακας 5.2 με τα χαρακτηριστικά της κάθε γραμμής μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας:

Γραμμή Μελέτης	Μέγιστο Βάθος Διασκόπησης (m)	Μήκος (m)	Ισαπόσταση Σταθμών (m)
A1	30	135	5
A2	36	162	6
B2	18	81	3
B3	18	81	3
B14	12	54	2
B15	12	54	2
B16	24	108	4
B17	24	108	4

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά γραμμών μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας.

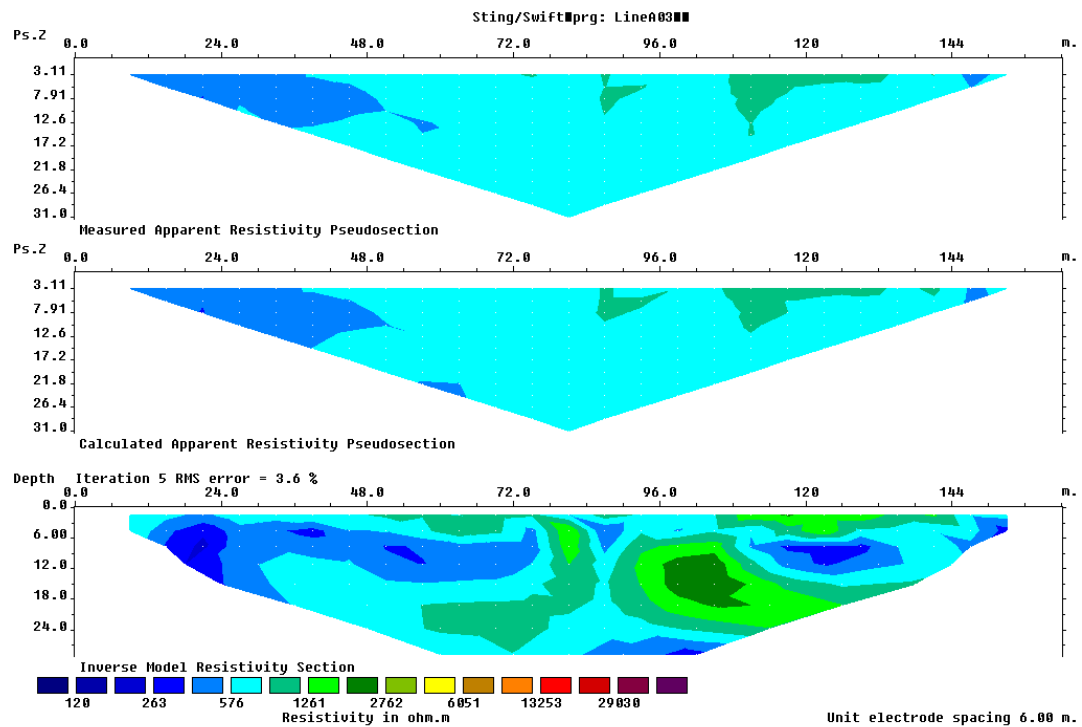
Ακολουθούν οι εικόνες ηλεκτρικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων τους.

Γραμμή A1



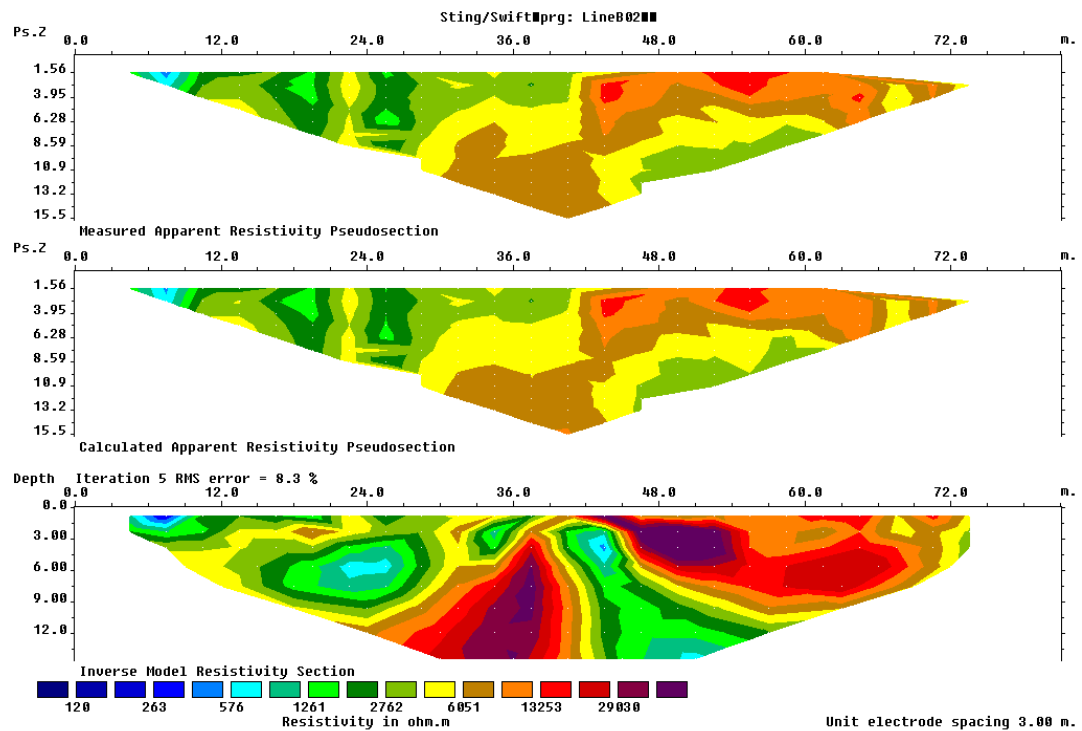
Σχήμα 5.38: Εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας για την γραμμή μελέτης A1, όπως φαίνεται μετά από την επεξεργασία των δεδομένων. Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών.

Γραμμή A2

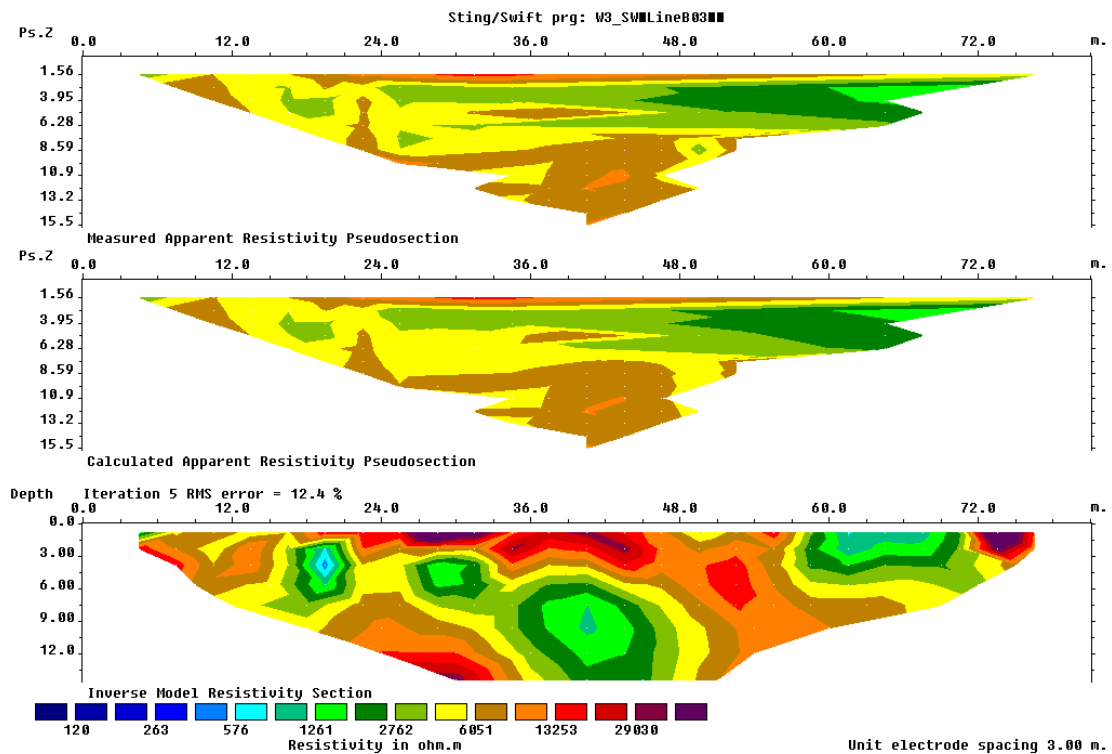


Σχήμα 5.39: Εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας για την γραμμή μελέτης A2, όπως φαίνεται μετά από την επεξεργασία των δεδομένων. Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών.

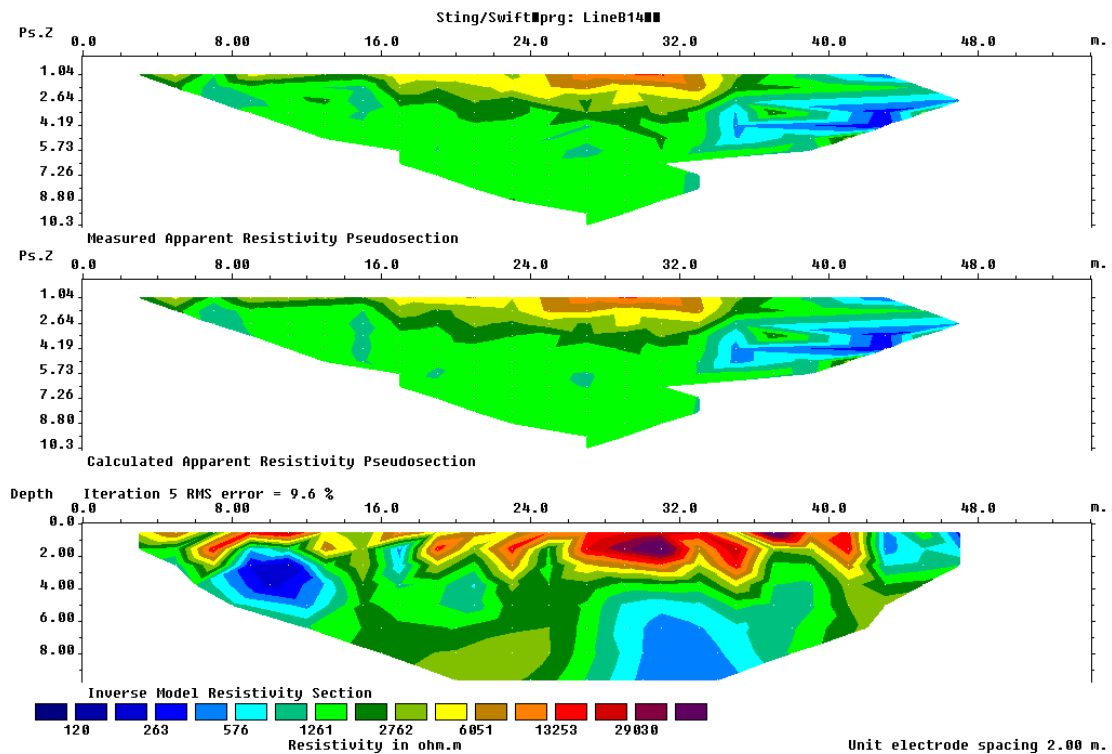
Γραμμή B2



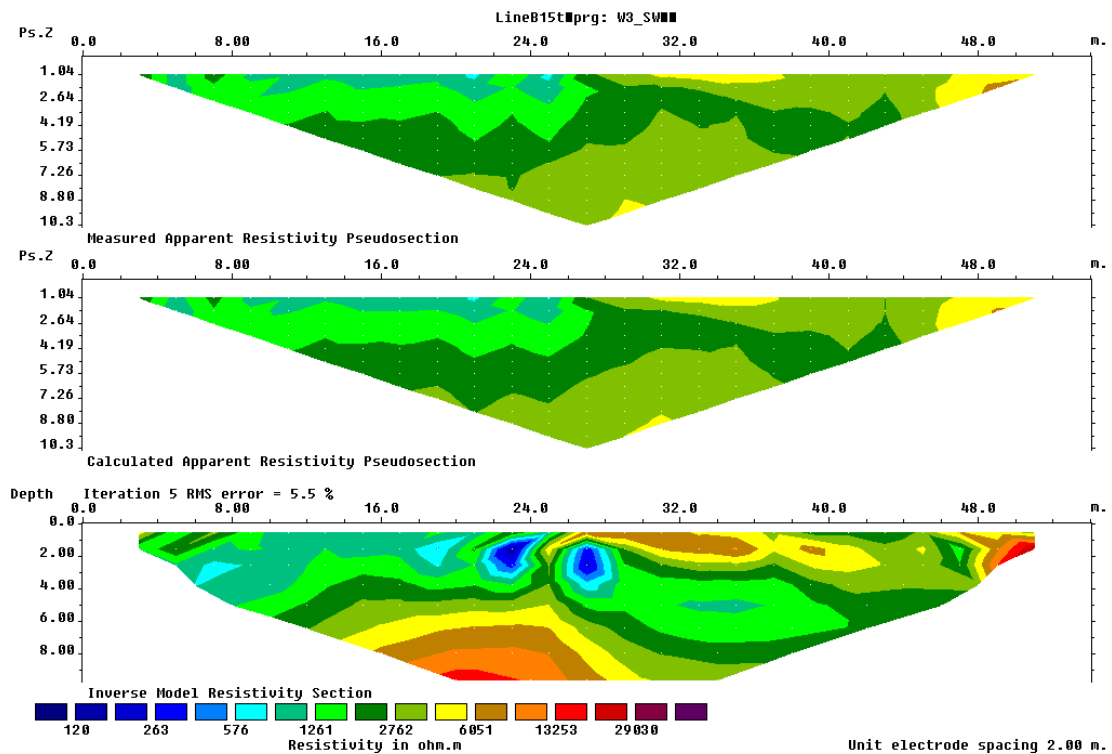
Σχήμα 5.40: Εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας για την γραμμή μελέτης B2, όπως φαίνεται μετά από την επεξεργασία των δεδομένων. Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών.

Γραμμή Β3

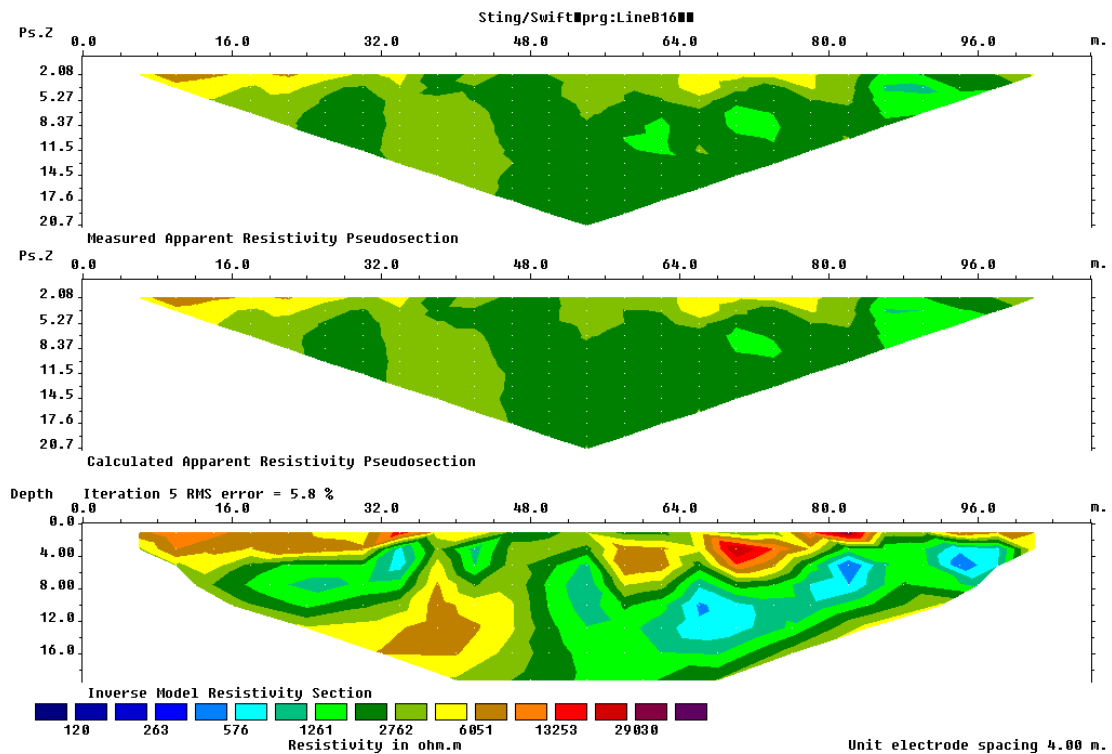
Σχήμα 5.41: Εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας για την γραμμή μελέτης Β3, όπως φαίνεται μετά από την επεξεργασία των δεδομένων. Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών.

Γραμμή B14

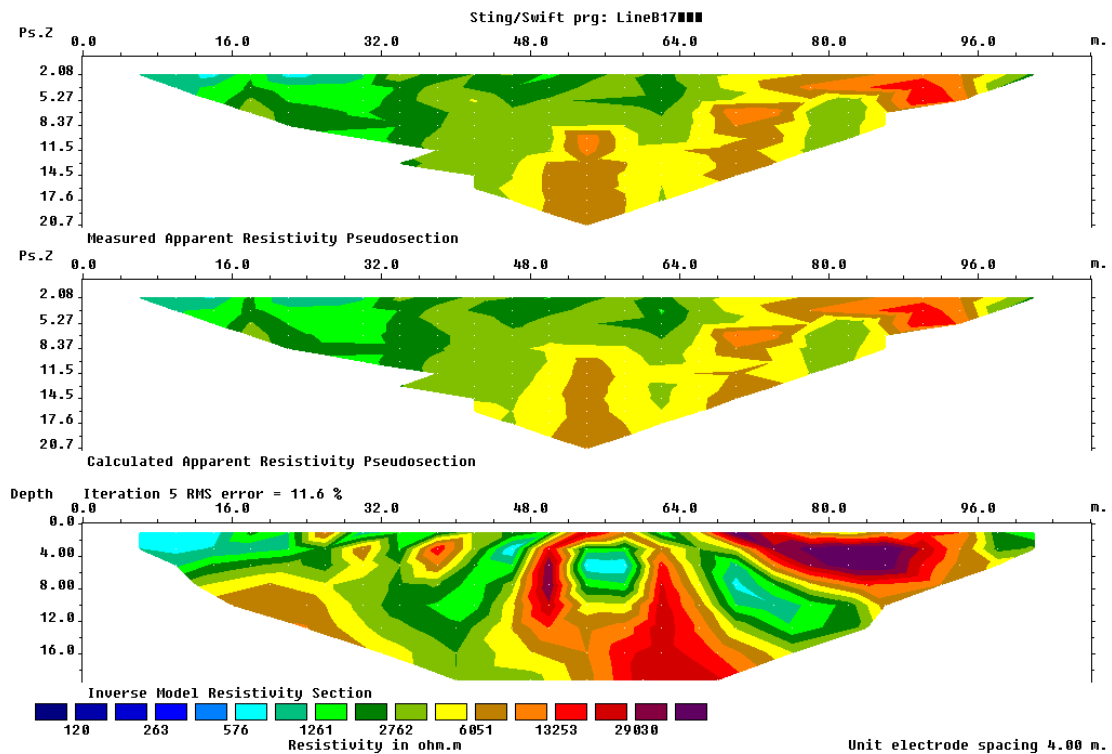
Σχήμα 5.42: Εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας για την γραμμή μελέτης B14, όπως φαίνεται μετά από την επεξεργασία των δεδομένων. Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών.

Γραμμή B15

Σχήμα 5.43: Εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας για την γραμμή μελέτης B15, όπως φαίνεται μετά από την επεξεργασία των δεδομένων. Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών.

Γραμμή B16

Σχήμα 5.44: Εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας για την γραμμή μελέτης B16, όπως φαίνεται μετά από την επεξεργασία των δεδομένων. Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών.

Γραμμή B17

Σχήμα 5.45: Εικόνα ηλεκτρικής τομογραφίας για την γραμμή μελέτης B17, όπως φαίνεται μετά από την επεξεργασία των δεδομένων. Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών.

5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ

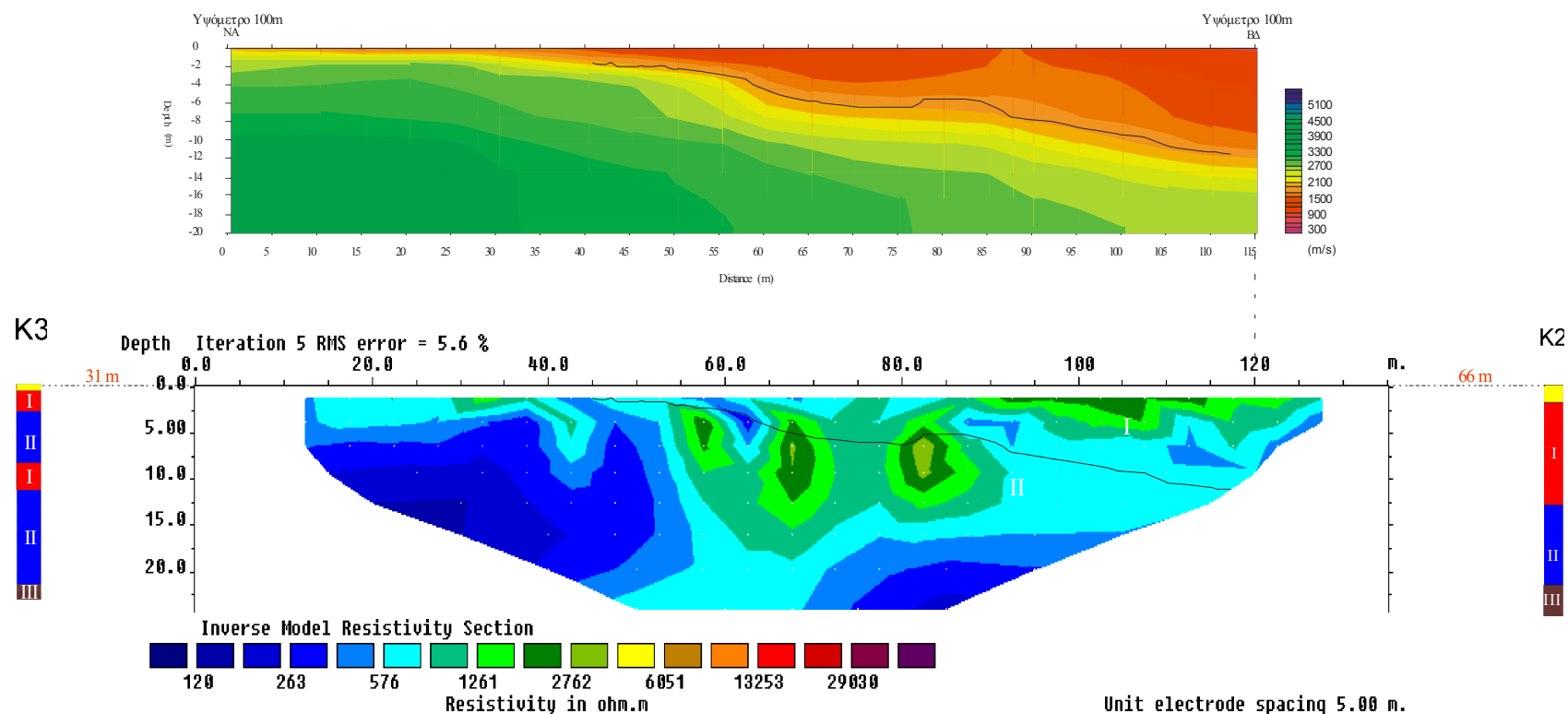
Στον πίνακα 5.3 αναφέρονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μαζί με τον συμβολισμό που χρησιμοποιήθηκε στα μοντέλα βάθους της γεωηλεκτρικής δομής και οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων τους.

A/A	Ονομασία	Περιγραφή	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ωm)	Σεισμική ταχύτητα (m/s)	Κωδικός
1	Νέα κορήματα (Σάρα)	Ασβεστολιθικά κορήματα και επιχώσεις	> 2000	< 1000	IV
2	Αμμοχάλικο	Αργιλώδεις χάλικες καστανού χρώματος ισχυρά συγκολλημένοι με σημαντική συνοχή και αμμοχάλικο πολύ πυκνής απόθεσης	> 1500	< 1000	I
3	Λατυποπαγή	Ασβεστολιθικό λατυποπαγές με ασβεστοαμμώδες έως ασβεστοαργιλικό συνδετικό υλικό	< 700	> 1500	II
4	Ασβεστόλιθος	Ασβεστόλιθος	> 2000	> 2500	III

Πίνακας 5.3: Γεωλογικοί σχηματισμοί, οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων τους στην περιοχή μελέτης.

Στη συνέχεια παρατίθεται η σύγκριση των διαγραμμάτων σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων τους.

Γραμμή Α1



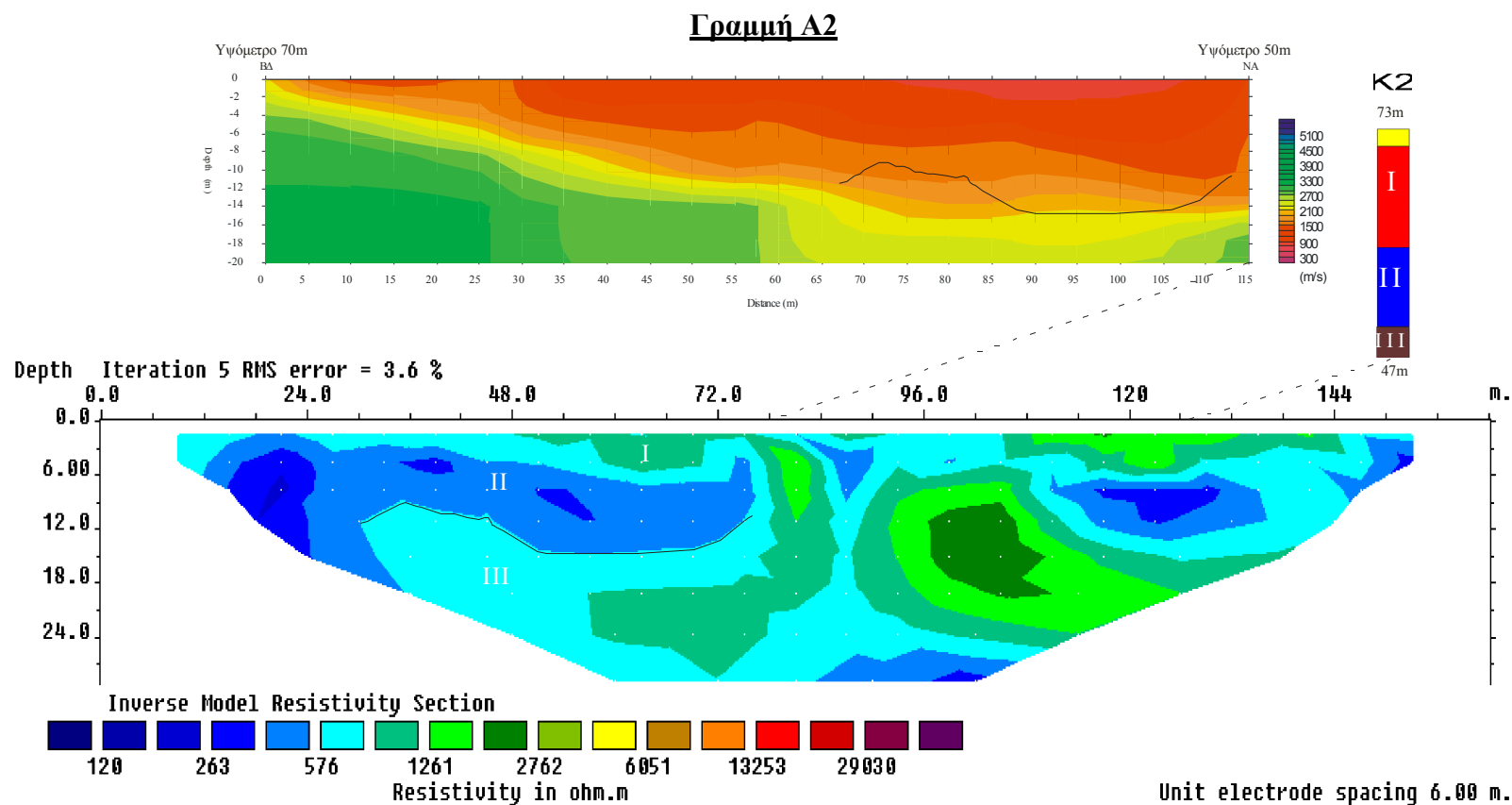
Σχήμα 5.46: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας (πάνω) και γεωηλεκτρικής δομής (κάτω). Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Στο πάνω σχήμα, η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό, ενώ στο κάτω σχήμα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των δομών. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια των επιφανειακών στρωμάτων. Γραμμή μελέτης Α1.

Από τη σύγκριση των γεωφυσικών τομών προκύπτει ότι οι ζώνες υψηλότερης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων αποδίδονται σε πιο συνεκτικούς σχηματισμούς, ενώ οι ζώνες χαμηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και σεισμικής ταχύτητας αποδίδονται σε περισσότερο ασύνδετους σχηματισμούς με πιθανότητα κορεσμού σε νερό ή ύπαρξης εγκοίλων τα οποία είναι πληρωμένα με αργιλικά υλικά. Επίσης, σχηματισμοί με χαμηλή σεισμική ταχύτητα και υψηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι πιθανό να περιέχουν κενά, διακλάσεις, ρήγματα κτλ, ενώ ζώνες με υψηλή σεισμική ταχύτητα και χαμηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση αποδίδονται σε συνεκτικούς σχηματισμούς κορεσμένους σε νερό.

Στη γραμμή μελέτης A1, η διεπιφάνεια του επιφανειακού στρώματος (αμμοχάλικο) και τους στρώματος ασβεστολίθων παρατηρείται στην ηλεκτρική τομογραφία σε οριζόντια απόσταση 45 m και βάθος 1.5 m περίπου και εκτείνεται περίπου μέχρι τα 120 m οριζόντια και 11 m βάθος. Αντίστοιχα φαίνεται η διεπιφάνεια και στην σεισμική τομογραφία.

Στην σεισμική τομογραφία κάτω από την διεπιφάνεια των δυο στρωμάτων παρατηρούνται σχετικά υψηλές σεισμικές ταχύτητες (πάνω από 1500 m/s), που σημαίνει ότι είναι πιθανό το πέτρωμα να είναι υγιές. Όμως, στην ηλεκτρική τομογραφία παρατηρούνται ιδιαίτερα μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (στο μεγαλύτερο μέρος είναι κάτω από 600 ohm·m), οπότε είναι πιθανό το πέτρωμα να είναι κορεσμένο σε νερό. Στην περιοχή που εκτείνεται από τα 57 m μέχρι τα 90 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 5 m με 15 m περίπου, παρατηρούνται σχετικά υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (1200 – 2800 ohm·m) σε αντίθεση με τις χαμηλές τιμές της ευρύτερης περιοχής. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι η περιοχή αποτελείται από αδιαπέρατο σχηματισμό.

Τέλος, προτείνεται να ορυχθούν δυο γεωτρήσεις, στα 30 m και 70 m οριζόντιας απόστασης.

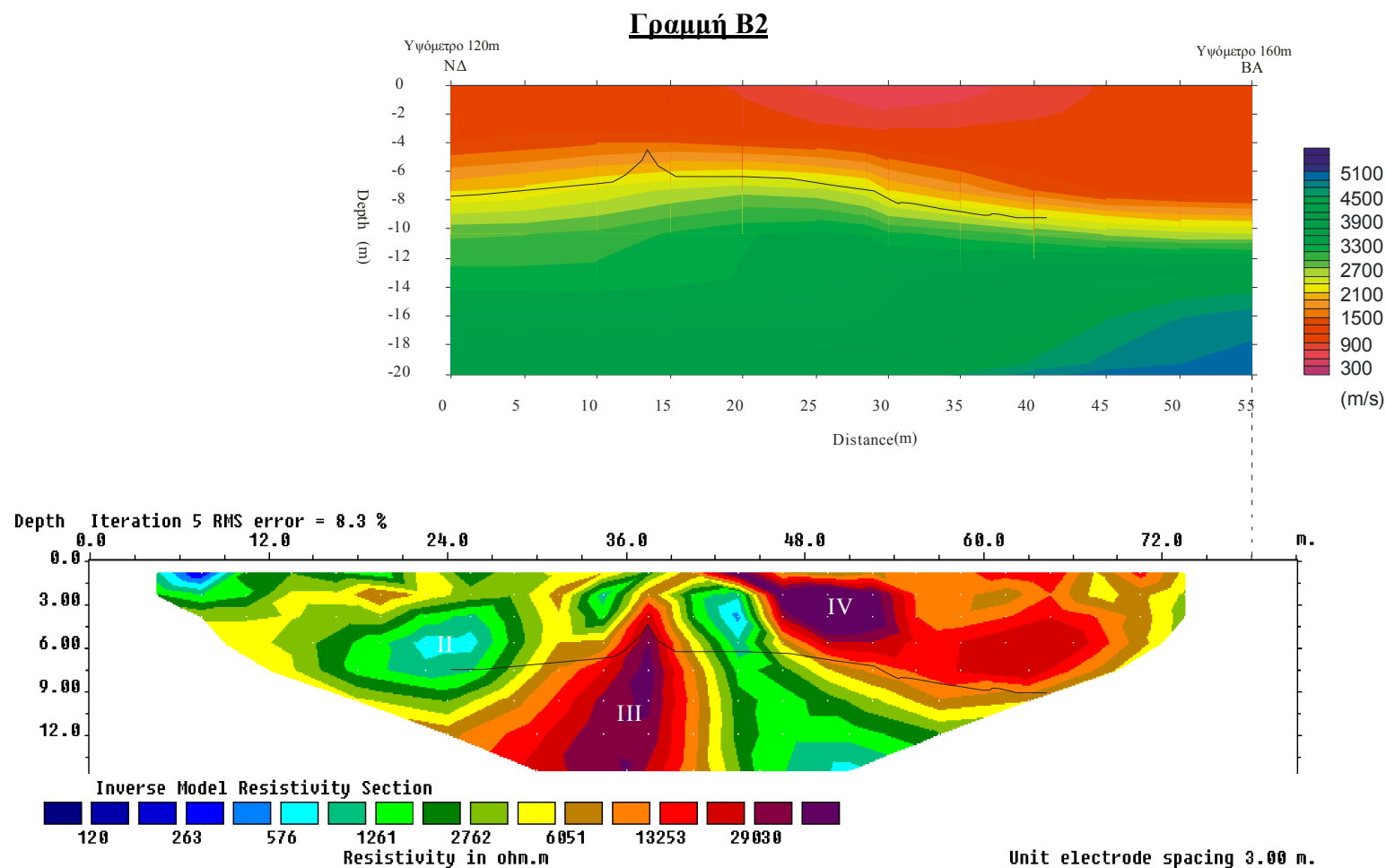


Σχήμα 5.47: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας (πάνω) και γεωηλεκτρικής δομής (κάτω). Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Στο πάνω σχήμα, η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό, ενώ στο κάτω σχήμα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των δομών. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια των επιφανειακών στρωμάτων. Γραμμή μελέτης Α2.

Στη γραμμή μελέτης A2, τα 115 m οριζόντια απόστασης της σεισμικής γραμμής συμπίπτουν με τα 78 m οριζόντια απόστασης της ηλεκτρικής γραμμής, όπως φαίνεται και από την διακεκομμένη γραμμή στο σχήμα 5.8. Για τον λόγο αυτό δεν είναι εφικτός ο ακριβής προσδιορισμός της διεπιφάνειας των δυο στρωμάτων. Έτσι, η διεπιφάνεια του επιφανειακού στρώματος (λατυποπαγές, αμμοχάλικο) και του στρώματος ασβεστολίθων παρατηρείται στην ηλεκτρική τομογραφία σε οριζόντια απόσταση 30 m και βάθος 12 m περίπου και εκτείνεται περίπου μέχρι τα 78 m οριζόντια και 9 m βάθος. Αντίστοιχα φαίνεται η διεπιφάνεια και στην σεισμική τομογραφία.

Στην σεισμική τομογραφία κάτω από την διεπιφάνεια των δυο στρωμάτων παρατηρούνται σχετικά υψηλές σεισμικές ταχύτητες (πάνω από 1200 m/s), που σημαίνει ότι είναι πιθανό το στρώμα του ασβεστολίθου να είναι υγιές. Όμως, στην ηλεκτρική τομογραφία παρατηρούνται ιδιαίτερα μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (στο μεγαλύτερο μέρος είναι κάτω από 600 ohm·m), που σημαίνει πως είναι πιθανό το πέτρωμα να είναι κορεσμένο σε νερό. Στην περιοχή που εκτείνεται από τα 56 m μέχρι τα 78 m οριζόντια απόστασης και βάθους 18 m με 27 m περίπου, παρατηρούνται υψηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (1000 ohm·m) σε σχέση με τις χαμηλές τιμές της ευρύτερης περιοχής. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι η περιοχή αποτελείται από αδιαπέρατο σχηματισμό.

Τέλος, προτείνεται να ορυχθεί γεώτρηση στα 66 m οριζόντιας απόστασης.

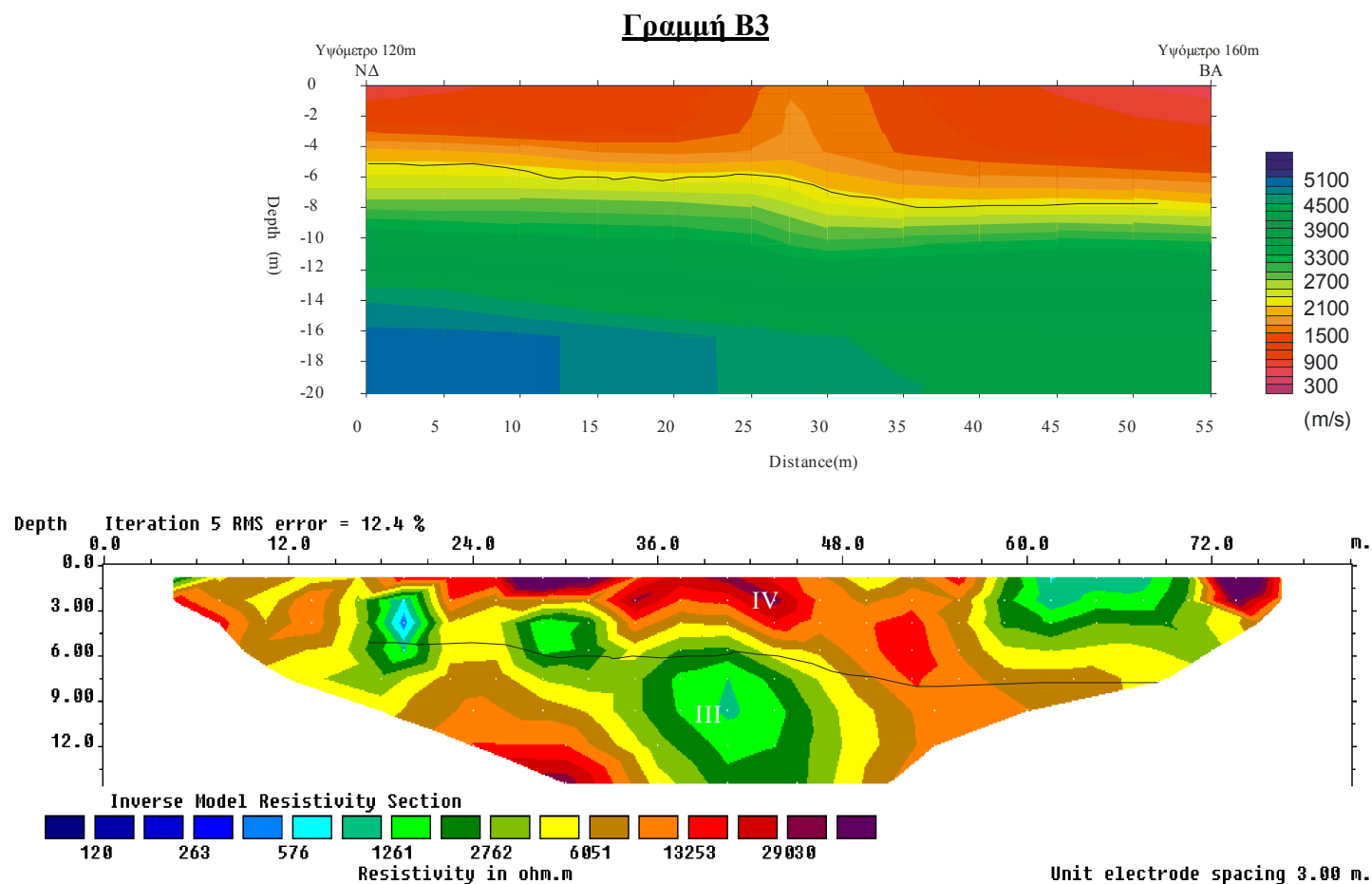


Σχήμα 5.48: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας (πάνω) και γεωηλεκτρικής δομής (κάτω). Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Στο πάνω σχήμα, η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό, ενώ στο κάτω σχήμα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των δομών. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια των επιφανειακών στρωμάτων. Γραμμή μελέτης Β2.

Στη γραμμή μελέτης B2, η διεπιφάνεια του επιφανειακού στρώματος (κορήματα, λατυποπαγή) και τους στρώματος ασβεστολίθων παρατηρείται στην ηλεκτρική τομογραφία σε οριζόντια απόσταση 24 m και βάθος 7.5 m περίπου και εκτείνεται περίπου μέχρι τα 64 m οριζόντια και 9 m βάθος. Αντίστοιχα φαίνεται η διεπιφάνεια και στην σεισμική τομογραφία.

Στην σεισμική τομογραφία κάτω από την διεπιφάνεια των δυο στρωμάτων παρατηρούνται σχετικά υψηλές σεισμικές ταχύτητες (πάνω από 2000 m/s), που σημαίνει ότι είναι πιθανό το στρώμα του ασβεστολίθου να είναι υγιές. Επίσης, το ίδιο φαίνεται και στην ηλεκτρική τομογραφία όπου παρατηρούνται τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μεγαλύτερες από 2000 ohm·m. Όμως στην περιοχή που εκτείνεται από τα 33 m μέχρι τα 39 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 5 m με 15 m περίπου, παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (πάνω 30.000 ohm·m). Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι η περιοχή έχει μη πληρωμένες διακλάσεις. Επίσης, στην περιοχή που εκτείνεται από τα 45 m μέχρι τα 54 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 12 m περίπου, παρατηρούνται χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (περίπου 600 ohm·m) και υψηλές σεισμικές ταχύτητες. Αυτό ίσως να δείχνει ότι η περιοχή είναι κορεσμένη σε νερό ή περιέχει έγκοιλα πληρωμένα με αργιλικά υλικά.

Τέλος, προτείνεται να ορυχθεί γεώτρηση στα 36 m οριζόντιας απόστασης.



Σχήμα 5.49: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας (πάνω) και γεωηλεκτρικής δομής (κάτω). Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Στο πάνω σχήμα, η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό, ενώ στο κάτω σχήμα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των δομών. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια των επιφανειακών στρωμάτων. Γραμμή μελέτης Β3.

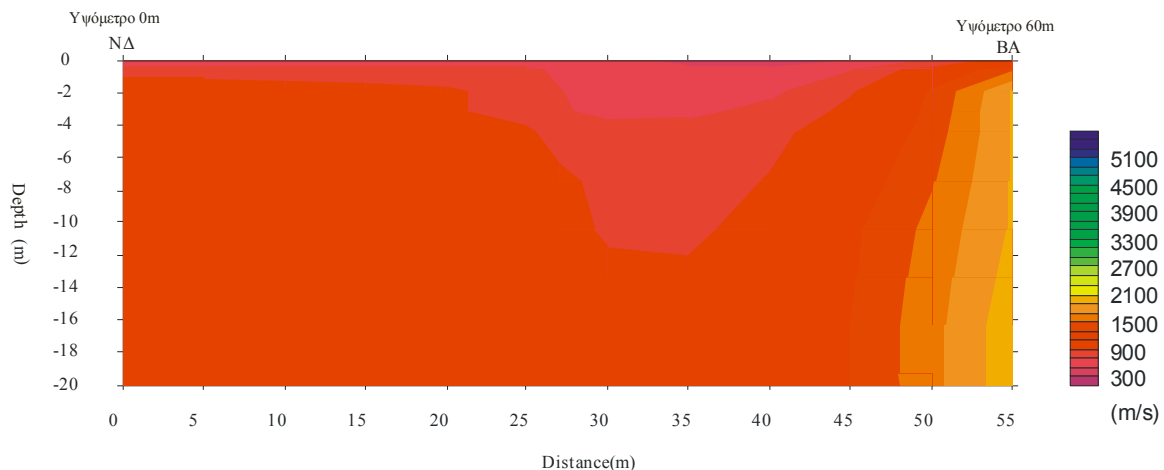
Στη γραμμή μελέτης B3, η διεπιφάνεια του επιφανειακού στρώματος (κορήματα) και τους στρώματος ασβεστολίθων παρατηρείται στην ηλεκτρική τομογραφία σε οριζόντια απόσταση 18 m και βάθος 5 m περίπου και εκτείνεται περίπου μέχρι τα 69 m οριζόντια και 8 m βάθος. Αντίστοιχα φαίνεται η διεπιφάνεια και στην σεισμική τομογραφία.

Στην σεισμική τομογραφία κάτω από την διεπιφάνεια των δυο στρωμάτων παρατηρούνται σχετικά υψηλές σεισμικές ταχύτητες (πάνω από 2100 m/s), που σημαίνει ότι είναι πιθανό το στρώμα του ασβεστολίθου να είναι υγιές. Επίσης, το ίδιο φαίνεται και στην ηλεκτρική τομογραφία όπου παρατηρούνται τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μεγαλύτερες από 1300 ohm.m. Όμως στην περιοχή που βρίσκεται στα 39 m οριζόντιας απόστασης και βάθος 9 m περίπου, παρατηρούνται χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (περίπου 600 ohm.m). Έτσι, είναι πιθανό η περιοχή να είναι κορεσμένη σε νερό ή να περιέχει έγκοιλα πληρωμένα με αργιλικά υλικά.

Τέλος, προτείνεται να ορυχθεί γεώτρηση στα 39 m οριζόντιας απόστασης.

Γραμμή B4

Στην γραμμή αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε γεωηλεκτρική τομή επειδή παρουσιάστηκε θόρυβος στις μετρήσεις και το σφάλμα που προέκυψε ήταν υψηλό. Για τον λόγο αυτό δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα για τον χαρακτηρισμό του υπεδάφους.



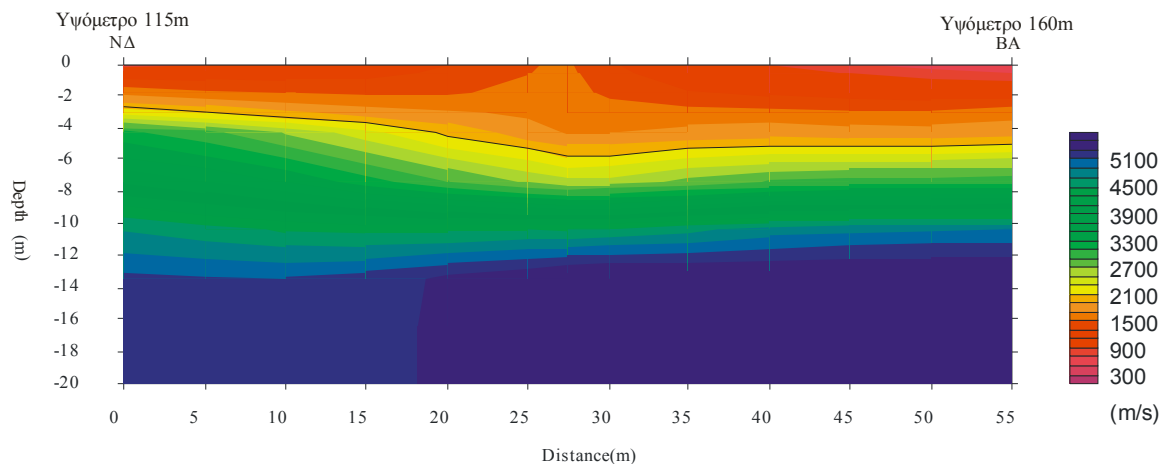
Σχήμα 5.50: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Γραμμή μελέτης B4.

Επίσης, δεν παρατηρήθηκαν μετωπικά κύματα. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο, σχετικά με την διάταξη και τις θέσεις των πηγών, βάθος που βρίσκεται η διεπιφάνεια.

Για μια καλύτερη εικόνα της περιοχής, προτείνεται να πραγματοποιηθεί ξανά ηλεκτρική τομογραφία.

Γραμμή B5

Στην γραμμή αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε γεωηλεκτρική τομή επειδή παρουσιάστηκε θόρυβος στις μετρήσεις και το σφάλμα που προέκυψε ήταν υψηλό. Για τον λόγο αυτό δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα για τον χαρακτηρισμό του υπεδάφους.



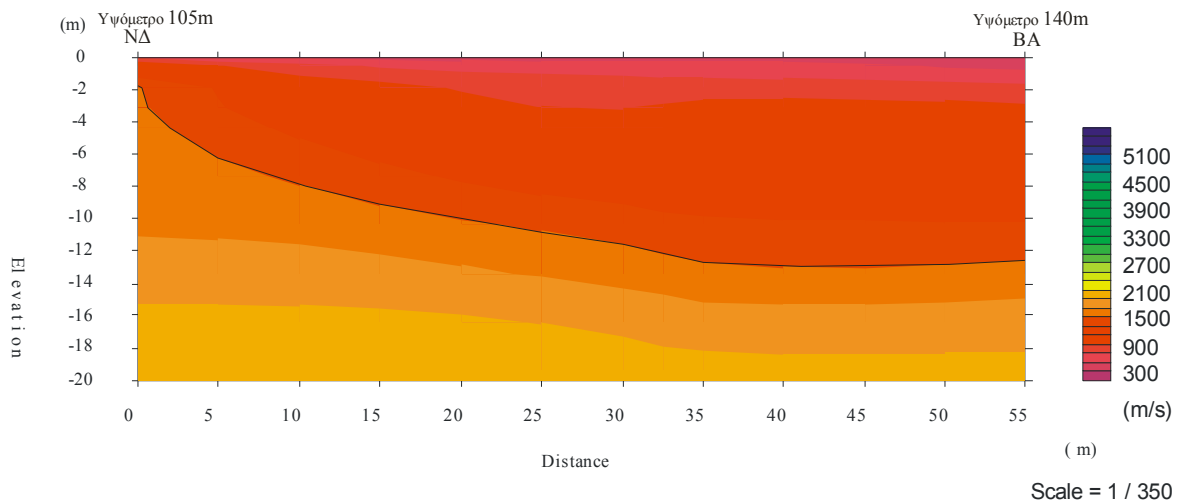
Σχήμα 5.51: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια των επιφανειακών στρωμάτων. Γραμμή μελέτης B5.

Η διεπιφάνεια του επιφανειακού στρώματος και του στρώματος ασβεστολίθων παρατηρείται σε βάθος 3 m στην αρχή της γραμμής μελέτης (NΔ) και φθάνει τα 5 m περίπου στο τέλος της (ΒΑ). Κάτω από την διεπιφάνεια παρατηρούνται σχετικά υψηλές σεισμικές ταχύτητες (πάνω από 2100 m/s), που σημαίνει ότι είναι πιθανό το στρώμα του ασβεστολίθου να είναι υγιές.

Για μια καλύτερη εικόνα της περιοχής, προτείνεται να πραγματοποιηθεί ξανά ηλεκτρική τομογραφία.

Γραμμή B7

Στην γραμμή αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε γεωηλεκτρική τομή επειδή παρουσιάστηκε θόρυβος στις μετρήσεις και το σφάλμα που προέκυψε ήταν υψηλό. Για τον λόγο αυτό δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα για τον χαρακτηρισμό του υπεδάφους.

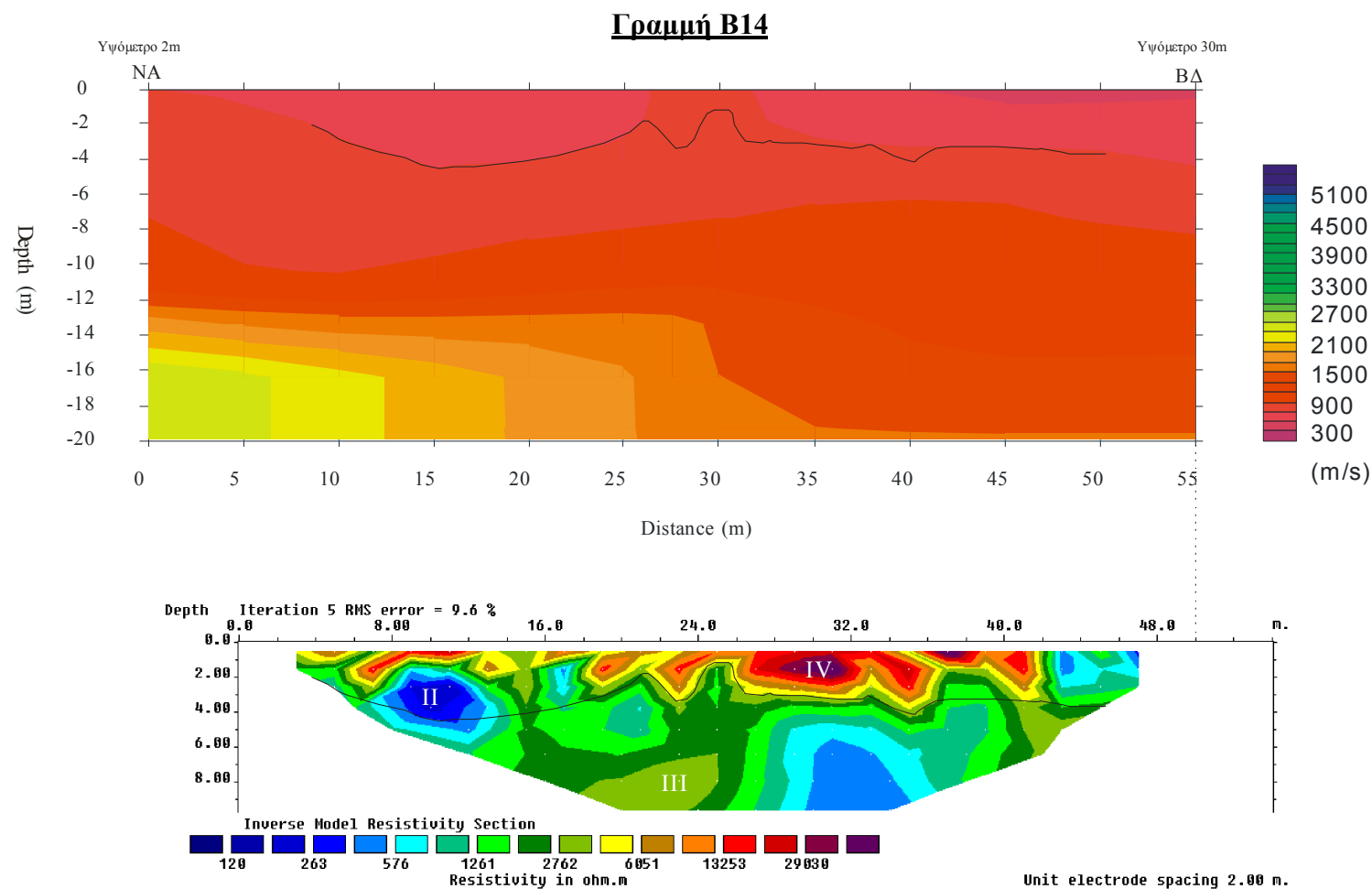


Σχήμα 5.52: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας. Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα.

Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια των επιφανειακών στρωμάτων. Γραμμή μελέτης B7.

Η διεπιφάνεια του επιφανειακού στρώματος και τους στρώματος ασβεστολίθων παρατηρείται σε βάθος 2 m στην αρχή της γραμμής μελέτης (NΔ) και φθάνει τα 12 m περίπου στο τέλος της (ΒΑ). Κάτω από την διεπιφάνεια παρατηρούνται σεισμικές ταχύτητες με εύρος 1500 m/s - 2100 m/s, που είναι ακριβώς οι τιμές της σεισμικής ταχύτητας που αναμένουμε στην περιοχή.

Για μια καλύτερη εικόνα της περιοχής, προτείνεται να πραγματοποιηθεί ξανά ηλεκτρική τομογραφία.

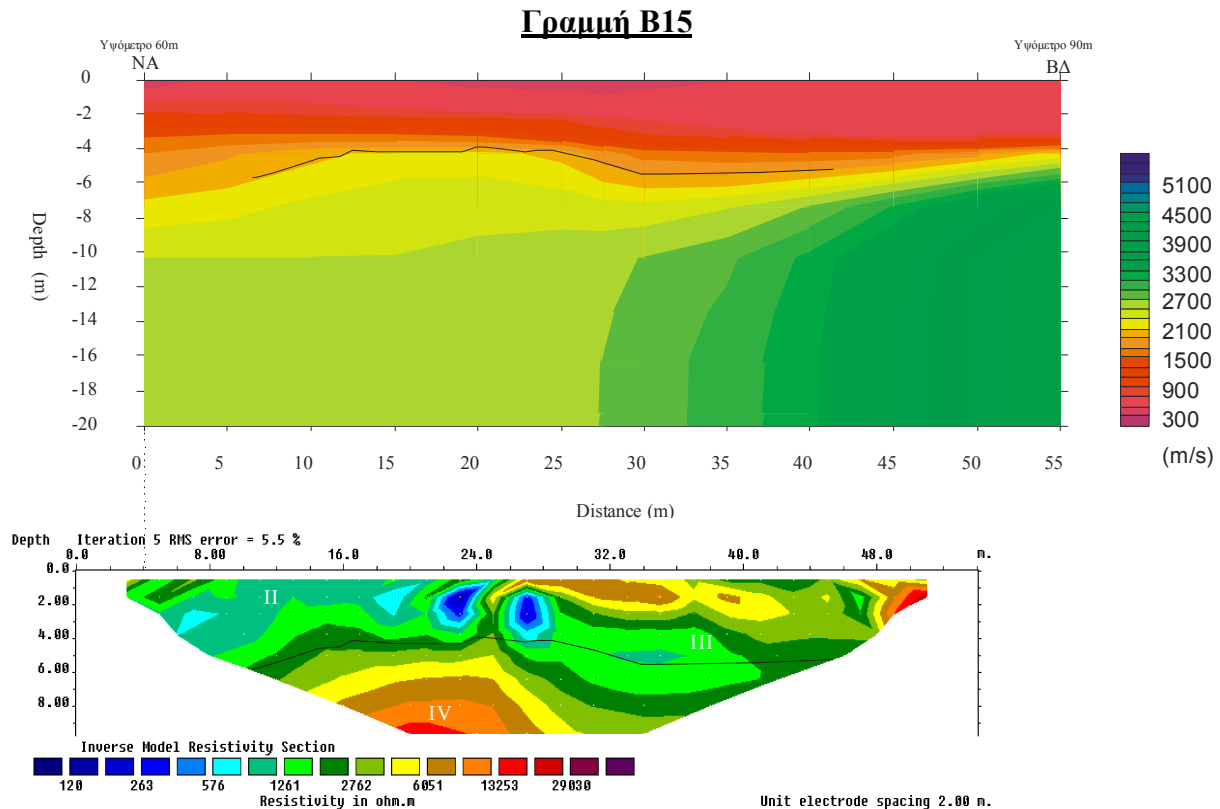


Σχήμα 5.53: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας (πάνω) και γεωηλεκτρικής δομής (κάτω). Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Στο πάνω σχήμα, η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό, ενώ στο κάτω σχήμα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των δομών. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια των επιφανειακών στρωμάτων. Γραμμή μελέτης B14.

Στη γραμμή μελέτης B14, η διεπιφάνεια του επιφανειακού στρώματος (λατυποπαγή, κορήματα) και τους στρώματος ασβεστολίθων παρατηρείται στην ηλεκτρική τομογραφία σε οριζόντια απόσταση 4 m και βάθος 2 m περίπου και εκτείνεται περίπου μέχρι τα 46 m οριζόντια και 4 m βάθος. Αντίστοιχα φαίνεται η διεπιφάνεια και στην σεισμική τομογραφία.

Στην σεισμική τομογραφία κάτω από την διεπιφάνεια των δυο στρωμάτων παρατηρούνται χαμηλές σεισμικές ταχύτητες (γύρω στα 500 m/s), που σημαίνει ότι είναι πιθανό το στρώμα του ασβεστολίθου να μην είναι υγιές. Στο μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής τομογραφίας παρατηρούνται τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης πάνω από 1200 ohm.m. Όμως, στην περιοχή που εκτείνεται στα 8 m με 12 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 5 m περίπου, καθώς και στην περιοχή που εκτείνεται στα 30 m με 36 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 5 m με 9 m περίπου, παρατηρούνται αρκετά χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (κάτω από 600 ohm.m) σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι περιοχές αυτές είναι κορεσμένες σε νερό ή περιέχουν έγκοιλα πληρωμένα με αργιλικά υλικά.

Τέλος, προτείνεται να ορυχθούν γεωτρήσεις στα 10 m και 31 m οριζόντιας απόστασης.

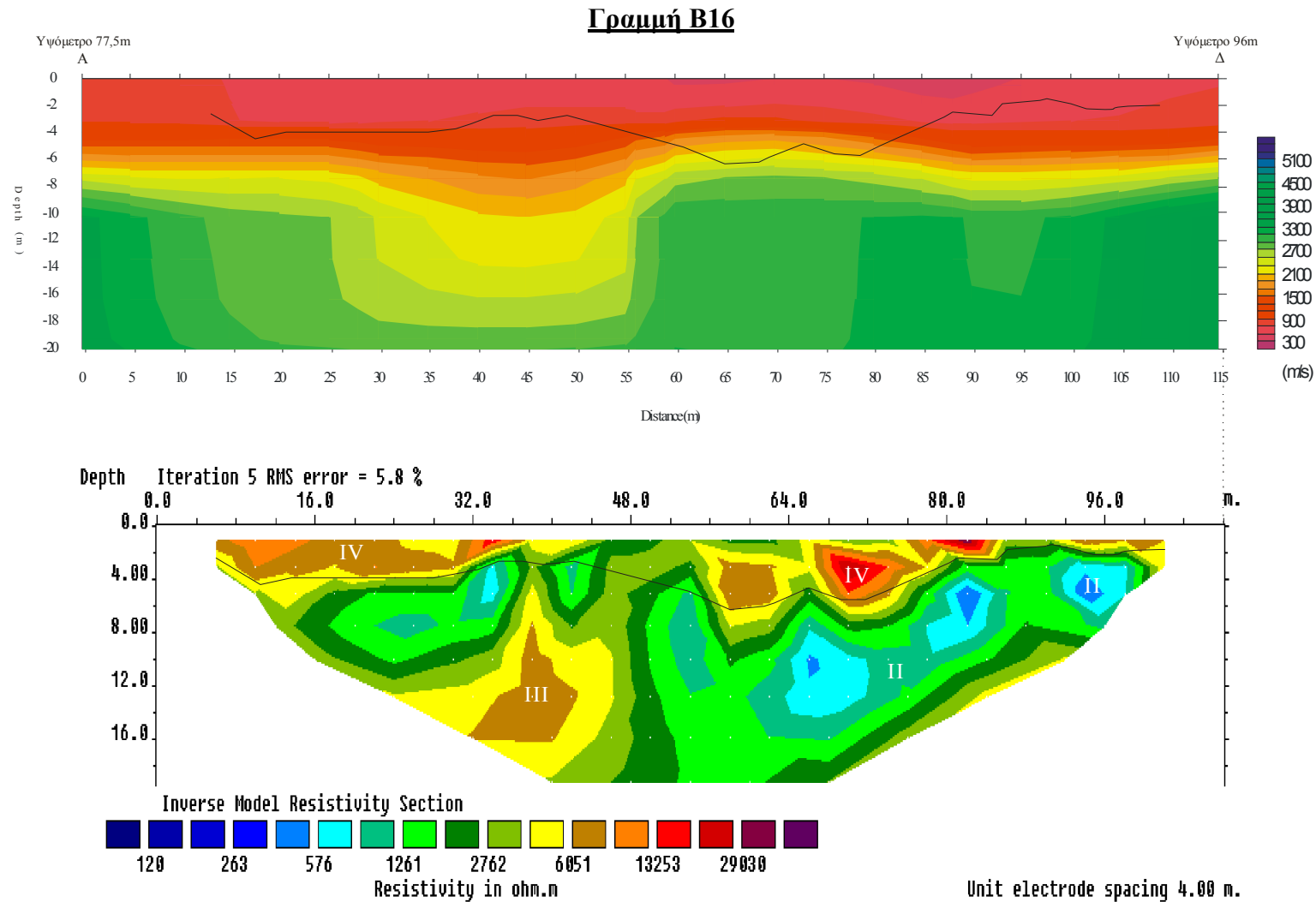


Σχήμα 5.54: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας (πάνω) και γεωηλεκτρικής δομής (κάτω). Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Στο πάνω σχήμα, η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό, ενώ στο κάτω σχήμα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των δομών. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια των επιφανειακών στρωμάτων. Γραμμή μελέτης B15.

Στη γραμμή μελέτης B15, η διεπιφάνεια των στρωμάτων παρατηρείται στην ηλεκτρική τομογραφία σε οριζόντια απόσταση 10 m και βάθος 6 m περίπου και εκτείνεται περίπου μέχρι τα 46 m οριζόντια και 5 m βάθος. Αντίστοιχα φαίνεται η διεπιφάνεια και στην σεισμική τομογραφία.

Στην σεισμική τομογραφία κάτω από την διεπιφάνεια των δυο στρωμάτων παρατηρούνται υψηλές σεισμικές ταχύτητες (πάνω από 2000 m/s), που σημαίνει ότι είναι πιθανό το στρώμα του ασβεστολίθου να είναι υγιές. Στο μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής τομογραφίας παρατηρούνται τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης γύρω στα 1200 ohm.m. Όμως, στην περιοχή που εκτείνεται στα 18 m με 22 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 9 m περίπου, παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (πάνω από 25.000 ohm.m) σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι η περιοχή αυτή έχει μη πληρωμένες διακλάσεις.

Τέλος, προτείνεται να ορυχθεί γεώτρηση στα 20 m οριζόντιας απόστασης.

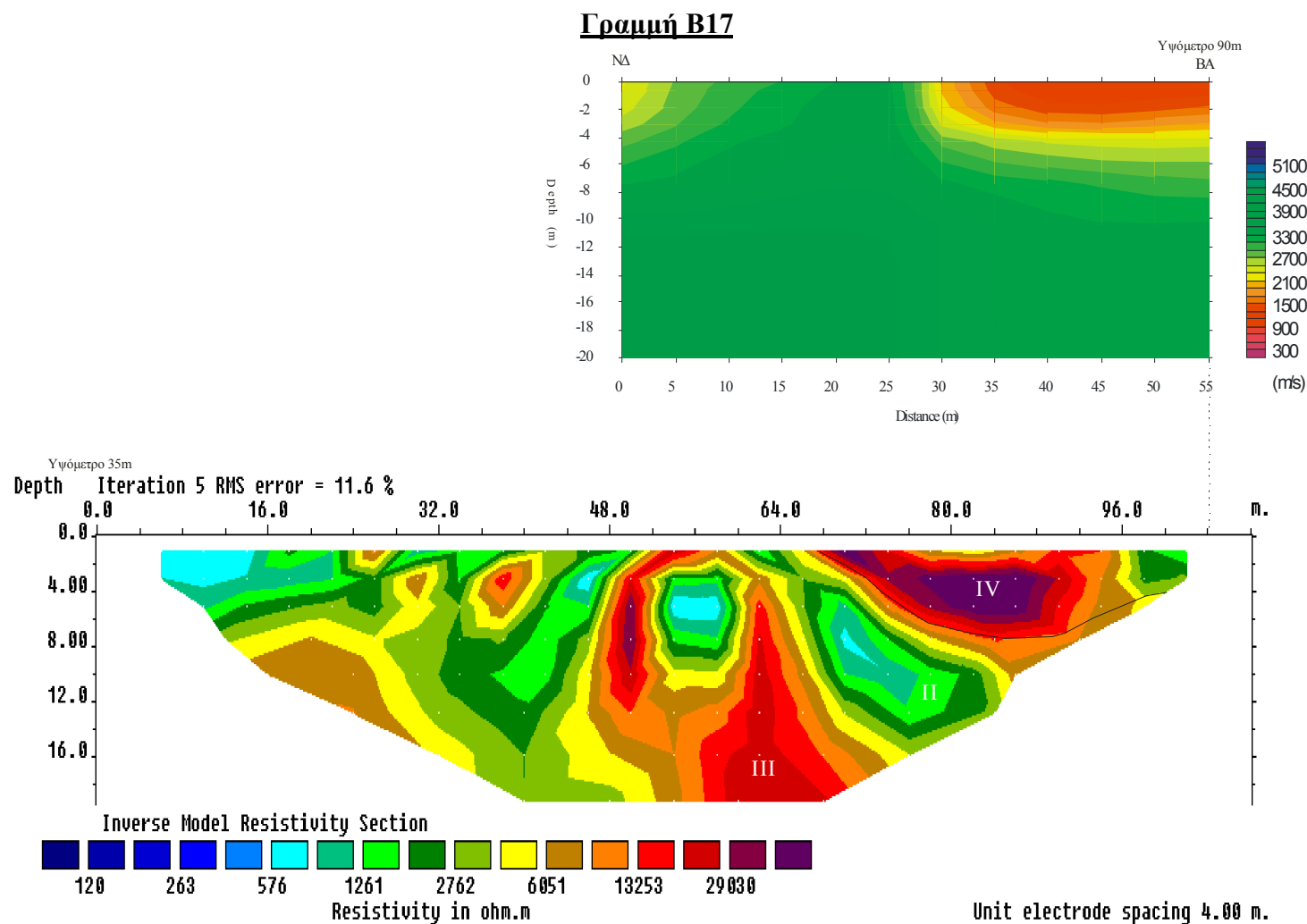


Σχήμα 5.55: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας (πάνω) και γεωηλεκτρικής δομής (κάτω). Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Στο πάνω σχήμα, η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό, ενώ στο κάτω σχήμα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των δομών. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια των επιφανειακών στρωμάτων. Γραμμή μελέτης B16.

Στη γραμμή μελέτης B16, η διεπιφάνεια του επιφανειακού στρώματος (κορήματα) και τους στρώματος ασβεστολίθων παρατηρείται στην ηλεκτρική τομογραφία σε οριζόντια απόσταση 6 m και βάθος 2 m περίπου και εκτείνεται περίπου μέχρι τα 102 m οριζόντια και 2 m βάθος. Αντίστοιχα φαίνεται η διεπιφάνεια και στην σεισμική τομογραφία.

Στην σεισμική τομογραφία κάτω από την διεπιφάνεια των δυο στρωμάτων παρατηρείται ένα εύρος σεισμικών ταχυτήτων από 800 m/s ως και 3500 m/s, που σημαίνει ότι είναι πιθανό κατά περιοχές το στρώμα του ασβεστολίθου να μην είναι συνεκτικό. Στο μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής τομογραφίας παρατηρούνται κανονικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (πάνω από 1200 ohm·m). Όμως, στην περιοχή που βρίσκεται στα 36 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 8 m με 16 m περίπου, παρατηρούνται πιο υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (περίπου 7000 ohm·m) σε σχέση με την ευρύτερη περιοχή. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι η περιοχή αυτή έχει μη πληρωμένες διακλάσεις. Επίσης, στις περιοχές που βρίσκονται στα 31 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 4.5 m, στα 68 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 12.5 m περίπου, στα 82 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 6 m και στα 95 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 5 m, παρατηρούνται μικρές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (κάτω από 600 ohm·m). Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι περιοχές αυτές είναι κορεσμένες σε νερό ή περιέχουν έγκοιλα πληρωμένα με αργιλικά υλικά.

Τέλος, προτείνεται να ορυχθούν γεωτρήσεις στα 34 m, στα 68 m, στα 82 m και 95 m οριζόντιας απόστασης.



Σχήμα 5.56: Μοντέλο βάθους σεισμικής τομογραφίας (πάνω) και γεωηλεκτρικής δομής (κάτω). Στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα απεικονίζονται η οριζόντια απόσταση και κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε m και το βάθος από την επιφάνεια σε m, αντίστοιχα. Στο πάνω σχήμα, η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό, ενώ στο κάτω σχήμα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των δομών. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στην διεπιφάνεια των επιφανειακών στρωμάτων. Γραμμή μελέτης B17.

Στη γραμμή μελέτης B17, είναι εφικτός ο ακριβής προσδιορισμός της διεπιφάνειας των δυο στρωμάτων μόνο σε ένα μικρό τμήμα της ηλεκτρικής τομογραφίας, λόγω του μειωμένου αριθμού των κοινών δεδομένων σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας. Έτσι, η διεπιφάνεια του επιφανειακού στρώματος (κορήματα) και τους στρώματος ασβεστολίθων παρατηρείται στην ηλεκτρική τομογραφία σε οριζόντια απόσταση 66 m και βάθος 1 m περίπου και εκτείνεται περίπου μέχρι τα 100 m οριζόντια και 4 m βάθος. Αντίστοιχα φαίνεται η διεπιφάνεια και στην σεισμική τομογραφία.

Στην σεισμική τομογραφία κάτω από την διεπιφάνεια των δυο στρωμάτων παρατηρούνται υψηλές σεισμικές ταχύτητες (πάνω από 2100 m/s), που σημαίνει ότι είναι πιθανό το στρώμα του ασβεστολίθου να είναι υγιές. Το ίδιο φαίνεται και στην ηλεκτρική τομογραφία όπου παρατηρούνται κανονικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (πάνω από 5000 ohm·m. Στην περιοχή που εκτείνεται από τα 68 m μέχρι τα 76 m οριζόντιας απόστασης και βάθους 8 m περίπου, παρατηρούνται ιδιαίτερα χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (κάτω από 600 ohm·m) σε σχέση με τις υψηλές τιμές της ευρύτερης περιοχής. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι περιοχές αυτές είναι κορεσμένες σε νερό ή περιέχουν έγκοιλα πληρωμένα με αργιλικά υλικά.

Τέλος, προτείνεται να ορυχθεί γεώτρηση στα 72 m οριζόντιας απόστασης.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η γεωφυσική διασκόπηση πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους της σεισμικής διάθλασης (11 γραμμές μήκους 770 m) και ηλεκτρικής τομογραφίας (8 γραμμές μήκους 783 m) σε πρανή με μεγάλη κλίση. Από τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης και τα δεδομένα των υφιστάμενων γεωτρήσεων προέκυψε η κατηγοριοποίηση των σχηματισμών που παρατίθεται στον κάτωθι πίνακα ο οποίος συμπληρώθηκε με τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των γεωφυσικών δεδομένων.

A/A	Ονομασία	Περιγραφή	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ωm)	Σεισμική ταχύτητα (m/s)	Κωδικός
1	Νέα κορήματα (Σάρα)	Ασβεστολιθικά κορήματα και επιχώσεις	> 2000	< 1000	IV
2	Αμμοχάλικο	Αργιλώδεις χάλικες καστανού χρώματος ισχυρά συγκολλημένοι με σημαντική συνοχή και αμμοχάλικο πολύ πυκνής απόθεσης	> 1500	< 1000	I
3	Λατυποπαγή	Ασβεστολιθικό λατυποπαγές με ασβεστοαμμόδες έως ασβεστοαργιλικό συνδετικό υλικό	< 700	> 1500	II
4	Ασβεστόλιθος	Ασβεστόλιθος	> 2000	> 2500	III

Πίνακας 6.1: Γεωλογικοί σχηματισμοί, οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων τους στην περιοχή μελέτης.

Στις γραμμές μελέτης A1 και A2 το επιφανειακό στρώμα I έχει πάχος από 1.5 έως 12 m και εμφανίζει σεισμική ταχύτητα που κυμαίνεται από 400 έως 1000 m/s. Ακολουθεί το II με πάχος 10 m περίπου και σεισμική ταχύτητα γύρω στα 1500 m/s ενώ ο υποκείμενος ασβεστόλιθος (III) εμφανίζει μεγαλύτερη ταχύτητα. Θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω το τμήμα της γραμμής A1 που εκτείνεται από τα 57 μέχρι τα 90 m οριζόντιας απόστασης και σε βάθος 5 m με 15 m περίπου στο οποίο παρατηρούνται σχετικά υψηλές τιμές ειδικής

ηλεκτρικής αντίστασης (1200 - 2800 Ωm) σε αντίθεση με τις χαμηλότερες τιμές της ευρύτερης περιοχής (500 Ωm).

Στις γραμμές μελέτης B2 και B3, τα επιφανειακά στρώματα II και IV έχουν πάχος από 5 έως 9 m και εμφανίζουν σεισμική ταχύτητα που κυμαίνεται από 700 μέχρι 1500 m/s. Ακολουθεί το III με ταχύτητα που φθάνει μέχρι τις 4000 m/s.

Στην γραμμή μελέτης B14 τα επιφανειακά στρώματα II και IV έχουν πάχος από 2 έως 4 m περίπου και εμφανίζουν σεισμική ταχύτητα που φθάνει τα 1000 m/s. Ακολουθεί το III εντός του οποίου και συγκεκριμένα στο τμήμα που εκτείνεται από τα 30 μέχρι τα 36 m οριζόντιας απόστασης και σε βάθος 5 και 9 m περίπου παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (κάτω από 600 Ωm) από αυτές που εμφανίζει ο εν λόγω σχηματισμός στην ευρύτερη περιοχή. Για αυτό προτείνεται να ορυχθεί γεώτρηση στα 31 m της γραμμής μελέτης. Στην γραμμή μελέτης B15 τα επιφανειακά στρώματα II και IV έχουν πάχος γύρω στα 6 και 4 m περίπου και εμφανίζουν σεισμική ταχύτητα που φθάνει τα 2000 και 1000 m/s αντίστοιχα.

Στη γραμμή μελέτης B16 το επιφανειακό στρώμα IV έχει πάχος από 1 έως 5 m και εμφανίζει σεισμική ταχύτητα που κυμαίνεται από 400 μέχρι 900 m/s. Ακολουθεί το II με πάχος που ξεπερνά τα 15 m στο κέντρο περίπου της γραμμής με ταχύτητες μεγαλύτερες από 2000 m/s. Το III εμφανίζεται κάτω από το II από την αρχή της γραμμής μέχρι τα 47 m περίπου και από τα 68 μέχρι το τέλος περίπου της γραμμής με σεισμική ταχύτητα μεγαλύτερη από 2500 m/s. Το τμήμα του σχηματισμού III που εμφανίζεται στην αρχή της γραμμής χαρακτηρίζεται ως συμπαγής εξαιτίας των υψηλά σχετικά τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (περίπου 7000 Ωm). Στην γραμμή B17 εμφανίζεται επιφανειακά στην αρχή της γραμμής το II ενώ μετά τα 50 m της γραμμής εμφανίζεται το IV με πάχη που φθάνουν τα 14 και 6 m αντίστοιχα.

Στην γραμμή μελέτης B17 προτείνεται να γίνει προέκταση της σεισμικής γραμμής προς τα νοτιοδυτικά, ώστε να καλύπτει την αντίστοιχη γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας και να είναι δυνατή η υπέρθεση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων.

Συνοψίζοντας, στην ευρύτερη περιοχή το πάχος των επιφανειακών στρωμάτων κυρίως I και IV, κυμαίνεται από 1 έως 12 m. Επίσης η διακύμανση στην σεισμική ταχύτητα του ασβεστόλιθου μπορεί να φθάσει μέχρι τα 2500 m/s γεγονός που δηλώνει την ανομοιογένεια που παρουσιάζει ο σχηματισμός στην περιοχή μελέτης.

Τέλος, προτείνεται να ορυχθούν γεωτρήσεις στις παρακάτω θέσεις:

- Στην γραμμή A1 , στα 30 m και 70 m οριζόντιας απόστασης.
- Στην γραμμή A2 , στα 66 m οριζόντιας απόστασης.
- Στην γραμμή B2 , στα 36 m οριζόντιας απόστασης.
- Στην γραμμή B3 , στα 39 m οριζόντιας απόστασης.
- Στην γραμμή B14 , στα 10 m και 31 m οριζόντιας απόστασης.
- Στην γραμμή B15 , στα 20 m οριζόντιας απόστασης.
- Στην γραμμή B16 , στα 34 m, 68 m, 82 m και 95 m οριζόντιας απόστασης.
- Στην γραμμή B17 , στα 72 m οριζόντιας απόστασης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

1. Βαφείδης Α., (1993), Εφαρμοσμένη Γεωφυσική 1: Σεισμικές Μέθοδοι, Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
2. Βαφείδης Α., (2001), Εφαρμοσμένη Γεωφυσική 2 Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
3. Βαφείδης Α., (2004), “Γεωφυσική διασκόπηση στο οροπέδιο του Ομαλού, Ν. Χανίων”,
4. Βαφείδης Α., (2004), “Συμβολή της Ηλεκτρικής Τομογραφίας και της Σεισμικής Διάθλασης στην επιλογή θέσης για τη δημιουργία Λιμνοδεξαμενής στην Κουντούρα, Δ. Πελεκάνου, Ν. Χανίων”.
5. Βαφείδης, Α., Hamdan, H., Ανδρονικίδης, Ν., Δασύρας, Α., Κρητικάκης, Γ., Κουκαδάκη, Μ., Κουμάκης, Ν., Λαμπαθάκης, Σ., Μανούτσογλου, Ε., Οικονόμου, Ν., Παπακωνσταντίνου, Κ., Σπανουδάκης, Ν., (2004), “Συμβολή της Ηλεκτρικής Τομογραφίας και της Σεισμικής Διάθλασης στην Επιλογή Θέσης για την Δημιουργία Λιμνοδεξαμενής στην Κουντούρα, Δ. Πελεκάνου, Ν. Χανίων”, Έκθεση, ΓΕΩΤΕΚ ΕΠΕ, ΟΑΔΥΚ, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
6. Βαφείδης, Α., (2005), Γεωφυσική Διασκόπηση για την Εκτίμηση Σεισμικής Ταχύτητας Επιφανειακών Σχηματισμών σε Περιοχή του Μοχού Ηρακλείου, Έκθεση Γεωφυσικής Έρευνας, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής.
7. Βαφείδης Α., (2006), “Γεωφυσική Διασκόπηση στο Τμήμα Λυγαριά-Περιβόλι του οδικού άξονα Ε65”.

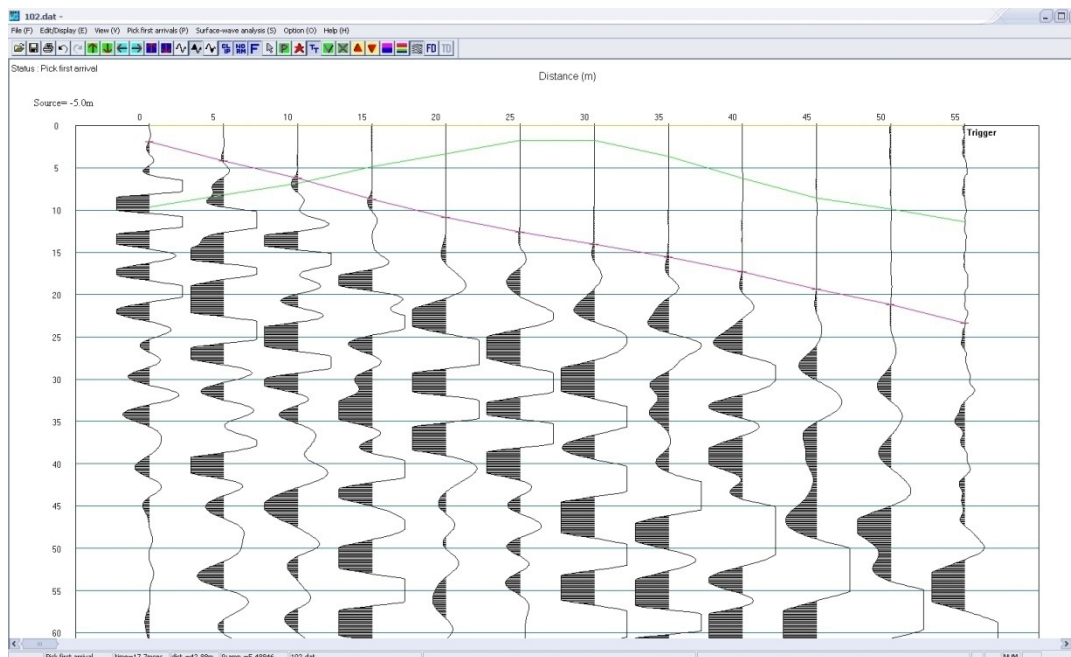
8. Γκανιάτσος, Ι. (2000), “Γεωηλεκτρική Τομογραφία σε τρεις Διαστάσεις”, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
9. Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού SeisImager, (2003), Manual, Version 3.0, OYO Corporation.
10. Καστρινάκης, Σ., (2007), Σεισμική Τομογραφία για την Εκτίμηση της Ταχύτητας Διάδοσης Διαμήκων και Εγκάρσιων Κυμάτων στην Περιοχή Φαράγγι Αποκορώνου-Χανίων, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής.
11. Παπαζάχος Β. (1986), “Εισαγωγή Στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική”, Εκδόσεις “Ζήτη”, Θεσσαλονίκη.
12. Ραπτάκης, Δ., (1995), “Συμβολή στον Προσδιορισμό της Γεωμετρίας και των Δυναμικών Ιδιοτήτων των Εδαφικών Σχηματισμών και στη Σεισμική Απόκριση τους”, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
13. Σούρλας, Γ., (2000), “Συμβολή της Γεωφυσικής Διασκόπησης στην Αναζήτηση Θαμμένων Αρχαιοτήτων στην Ίτανο, Λασιθίου.”, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
14. Τσούσης Π., (2007), “Σεισμική Τομογραφία στο τμήμα Λυγαριά-Περιβόλι του οδικού άξονα Ε65”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής.
15. Εταιρία Γεωλογικών & Γεωφυσικών Ερευνών, <http://www.geoservice.gr/>
16. Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών (ΙΜΣ) - Ίδρυμα Τεχνολογίας & Έρευνας (ΙΤΕ), <http://www.ims.forth.gr/>
17. Βαφείδης Α., (2008), “Γεωφυσική Διασκόπηση στο τμήμα Κλόκοβα Αιτωλοακαρνανίας του οδικού άξονα Ε55”, Έκθεση γεωφυσικής έρευνας, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής.

Διεθνής

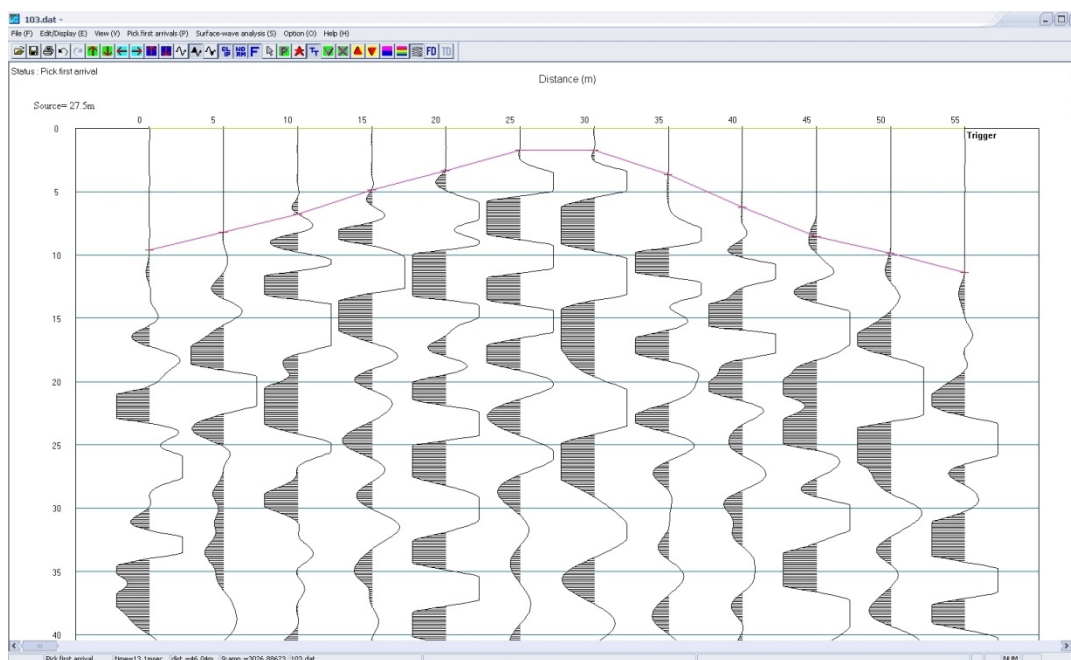
1. Griffiths D.H. and Barker R.D.(1993). “Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology”. *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.
2. Horeftaki (2004). «Integrated Geophysical Survey at Zoforoï Quarry, Iraklion, Crete»
3. Lankston, W. R., 1990, *High-Resolution Refraction Seismic Data Acquisition and Interpretation*, Geotechnical and Environmental Geophysics, Vol. I, Ward, S., ed., Society of Exploration Geophysicists.
4. McCann, D.M. and Fenning, P. J., (1995), “Estimation of rippability and excavation conditions from seismic velocity measurements”, Geological Society of London, Engineering Special Publication, Vol. 10, p. 335-343.
5. RES2DINV user’s manual version 3.4
6. Reynolds, M. J., (1997), *An introduction to applied and environmental geophysics*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

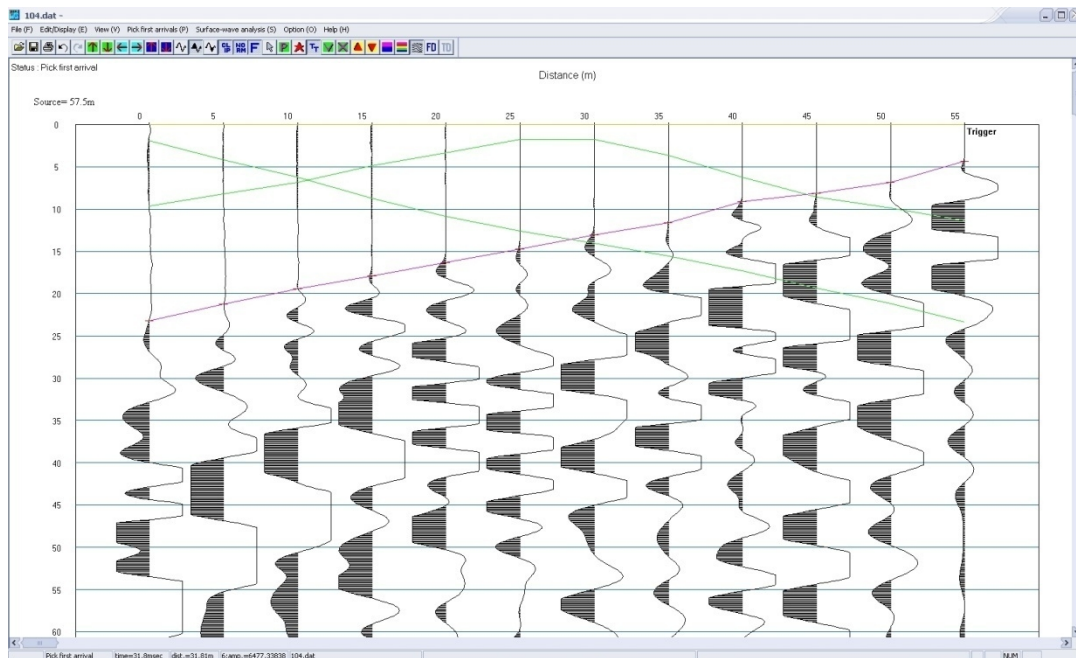
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ A1 SPREAD A



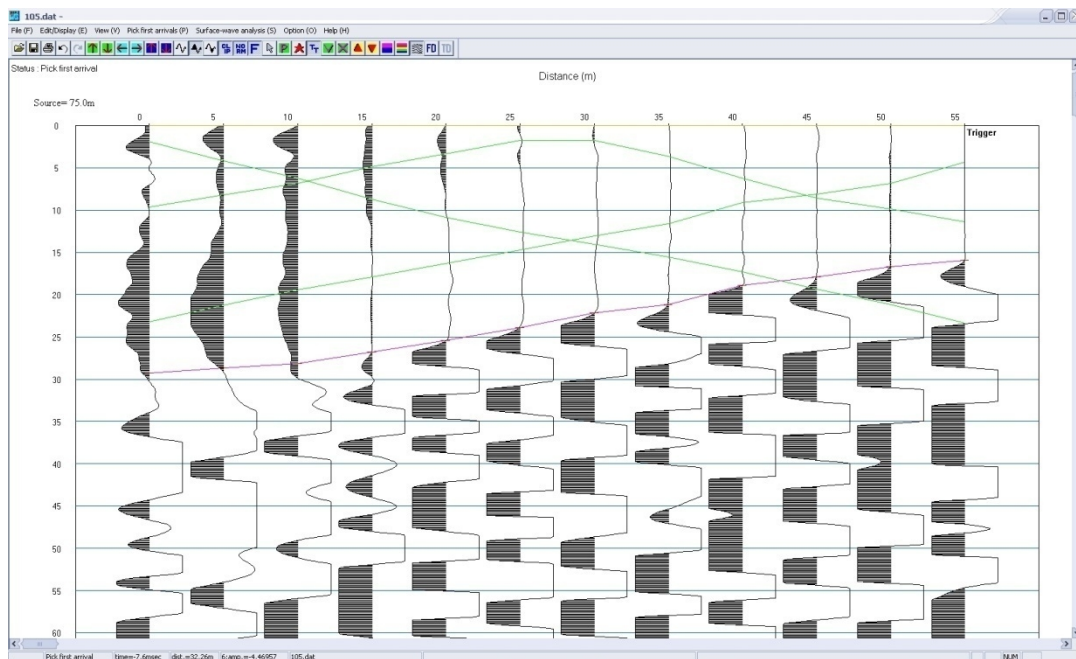
Καταγραφή 102



Καταγραφή 103

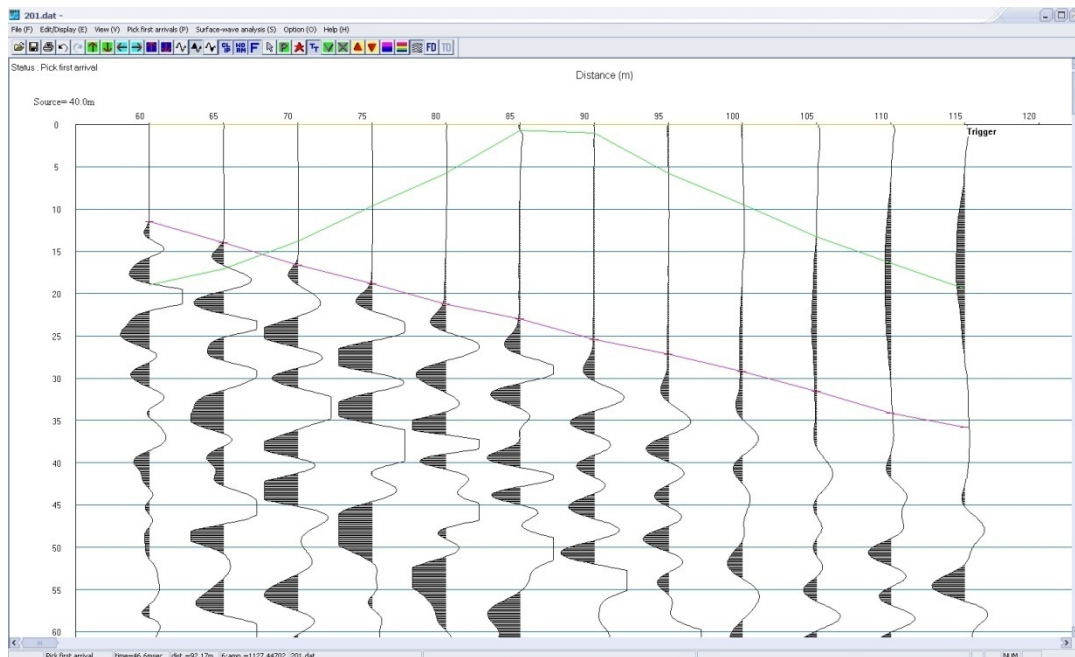


Καταγραφή 104

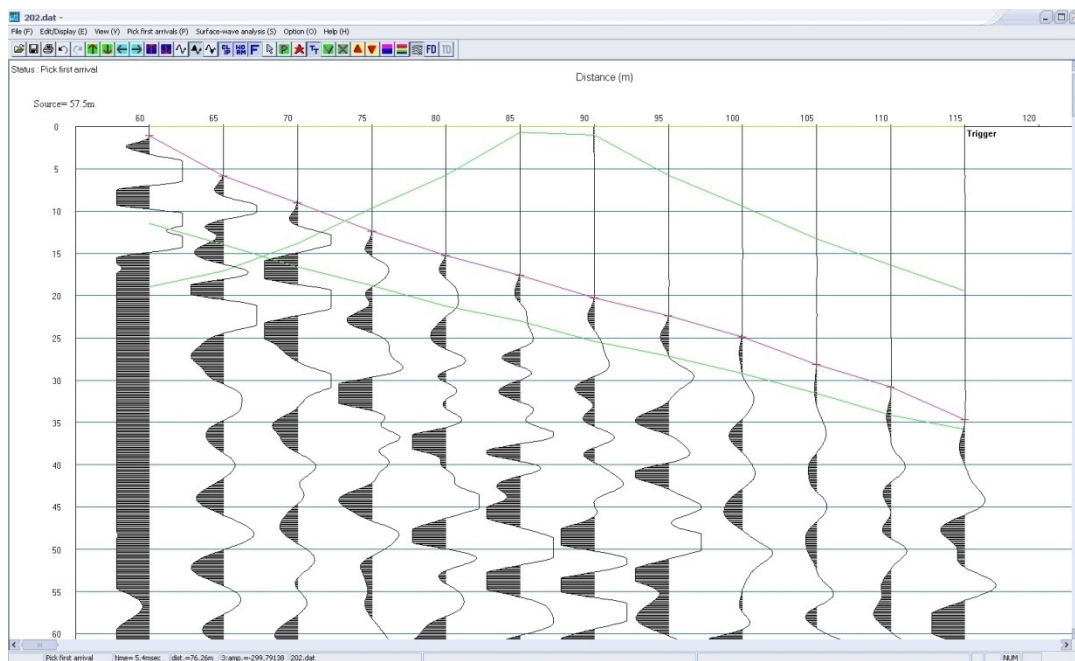


Καταγραφή 105

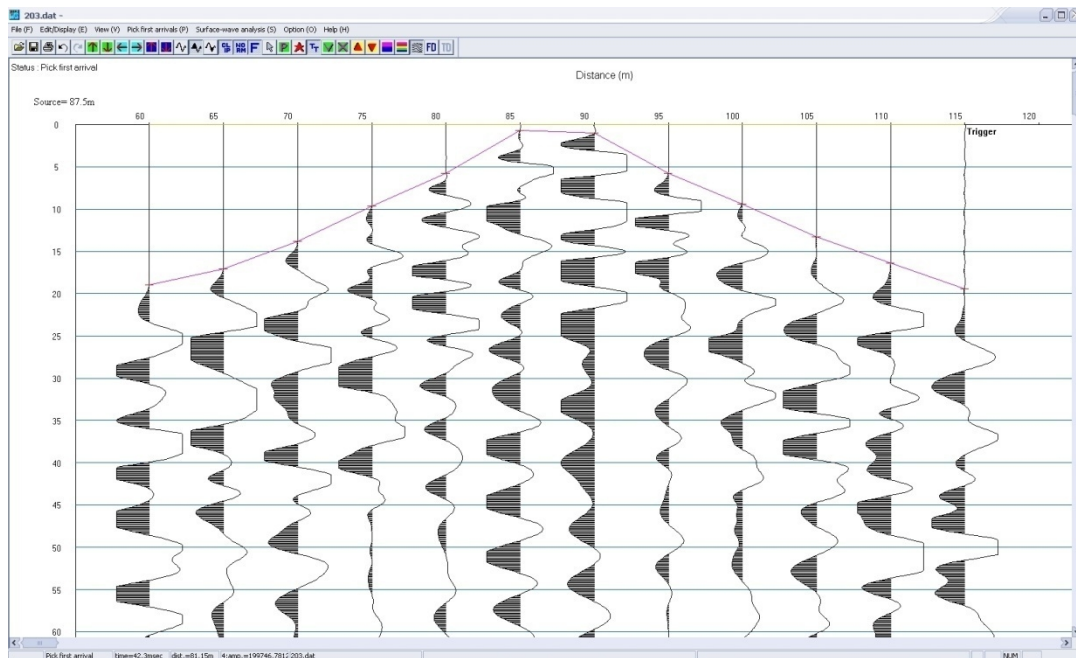
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ A1 SPREAD B



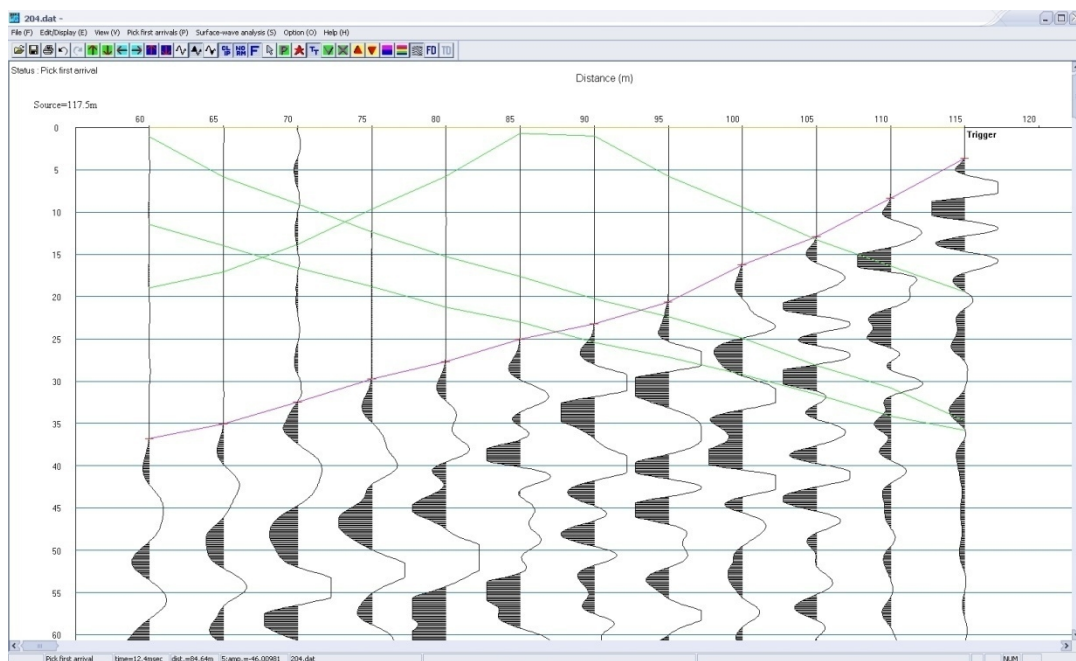
Καταγραφή 201



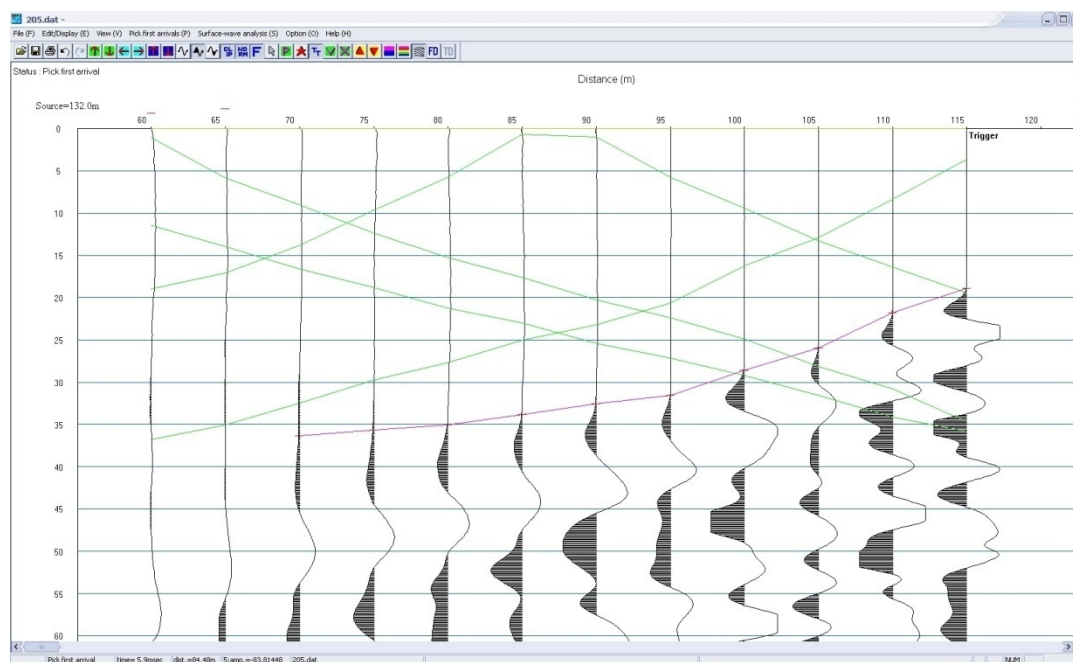
Καταγραφή 202



Καταγραφή 203

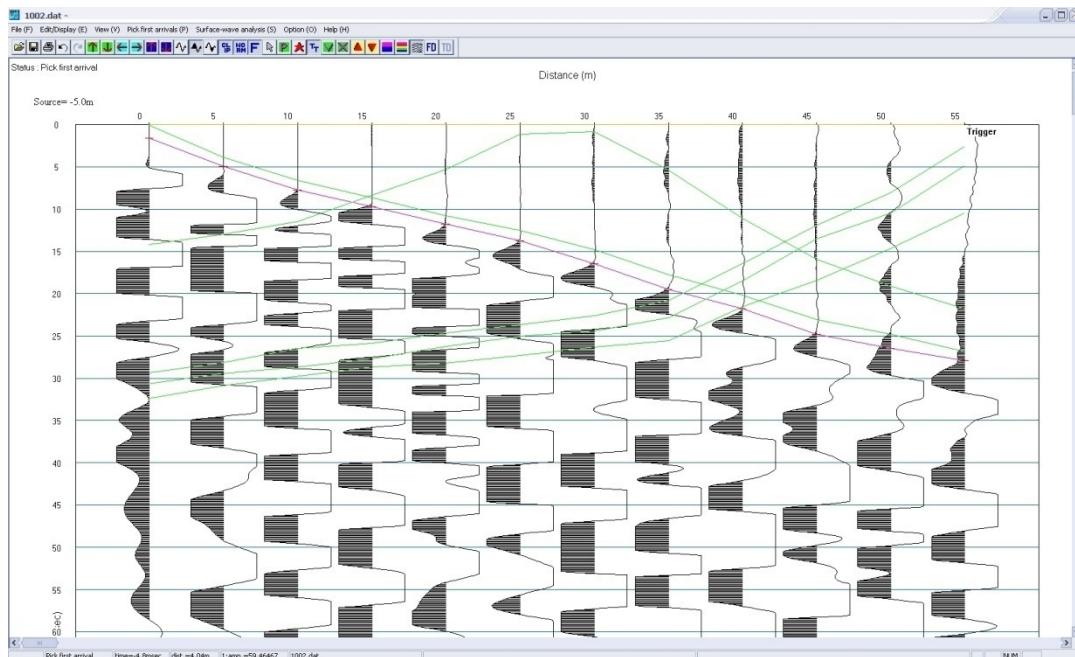


Καταγραφή 204

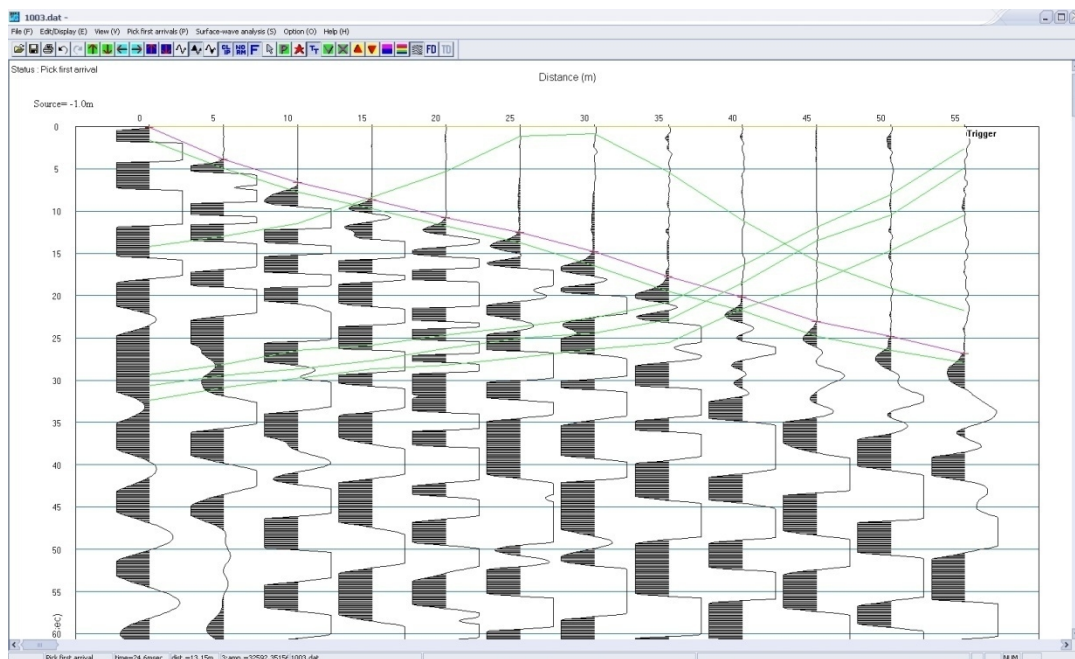


Καταγραφή 205

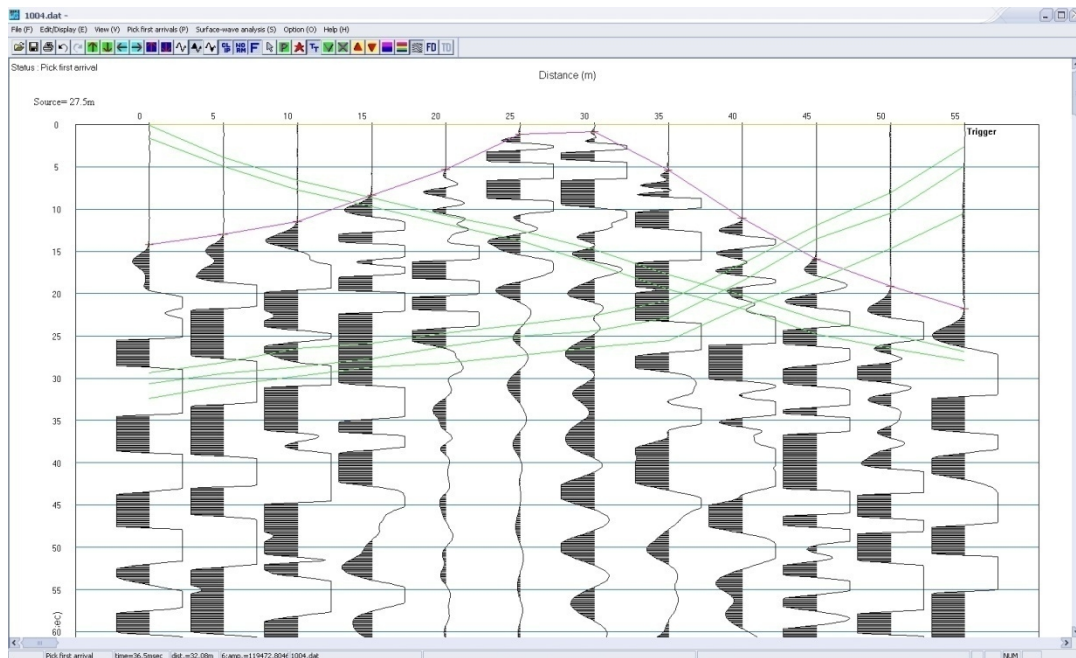
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ A2 SPREAD A



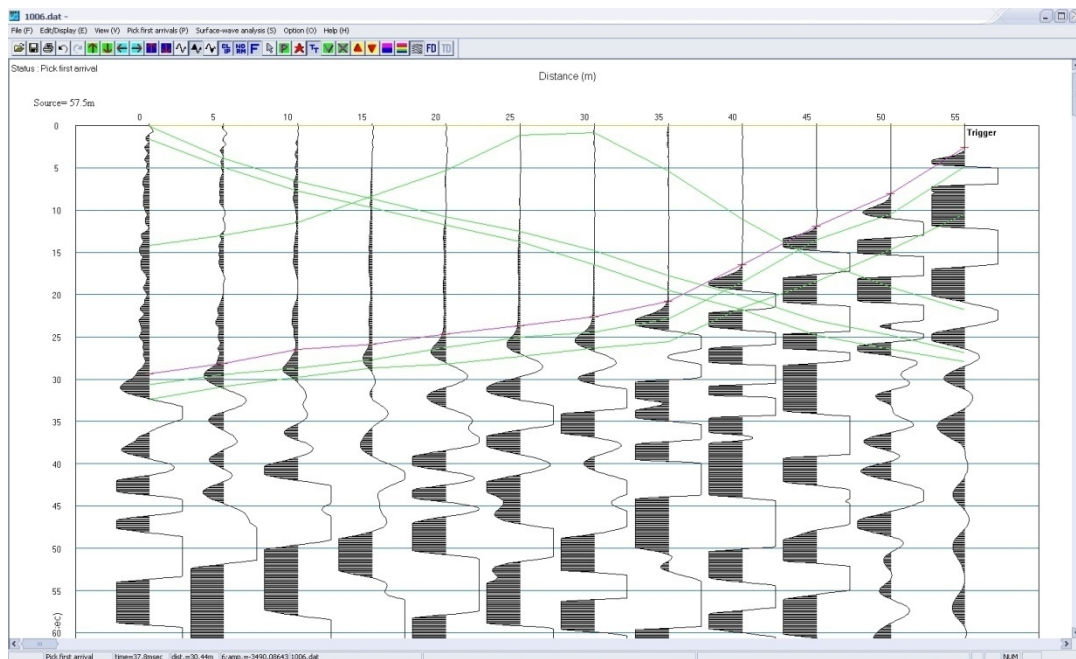
Καταγραφή 1002



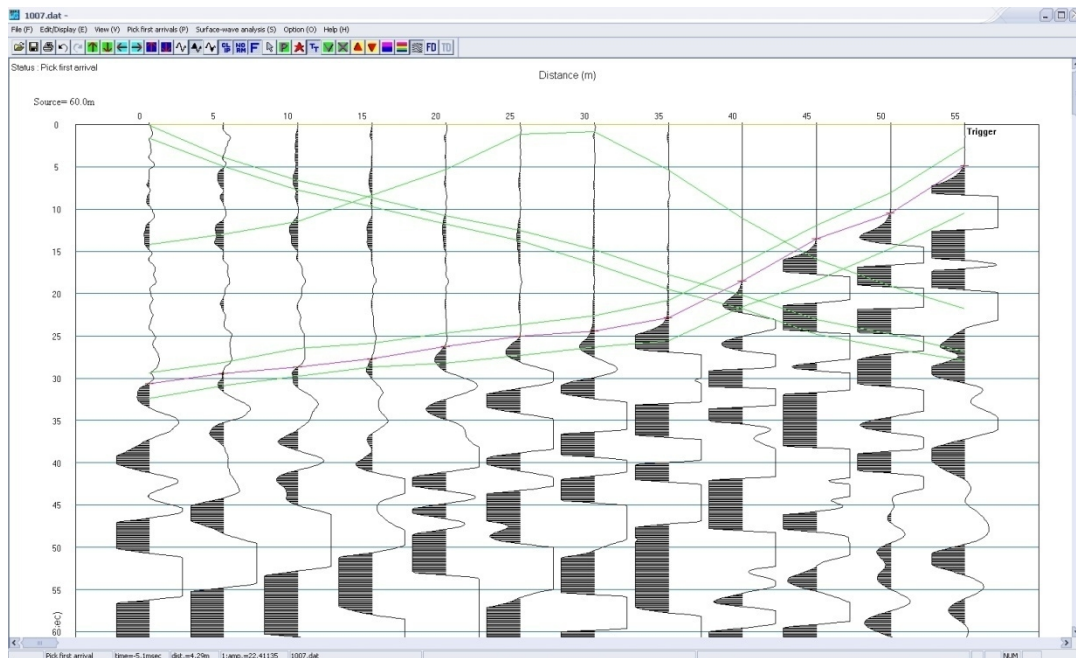
Καταγραφή 1003



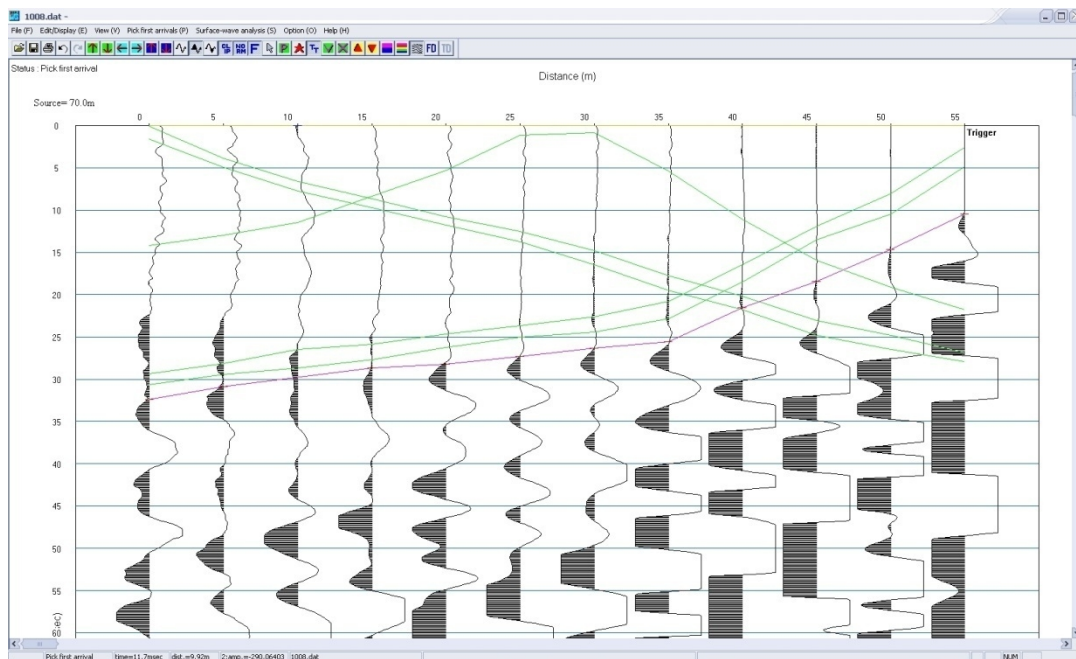
Καταγραφή 1004



Καταγραφή 1006

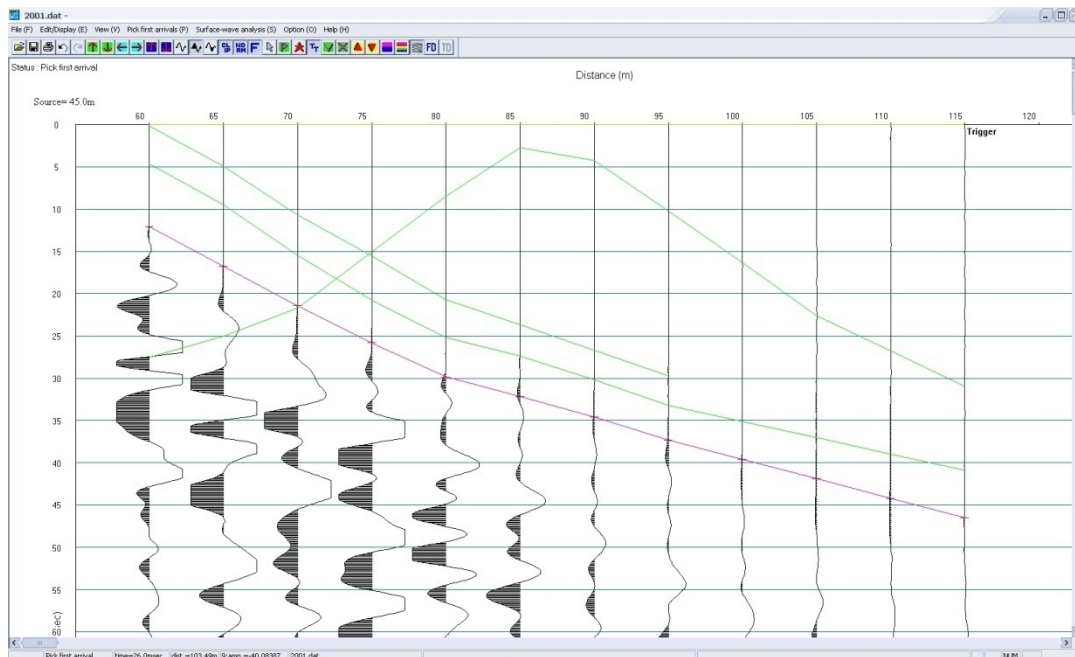


Καταγραφή 1007

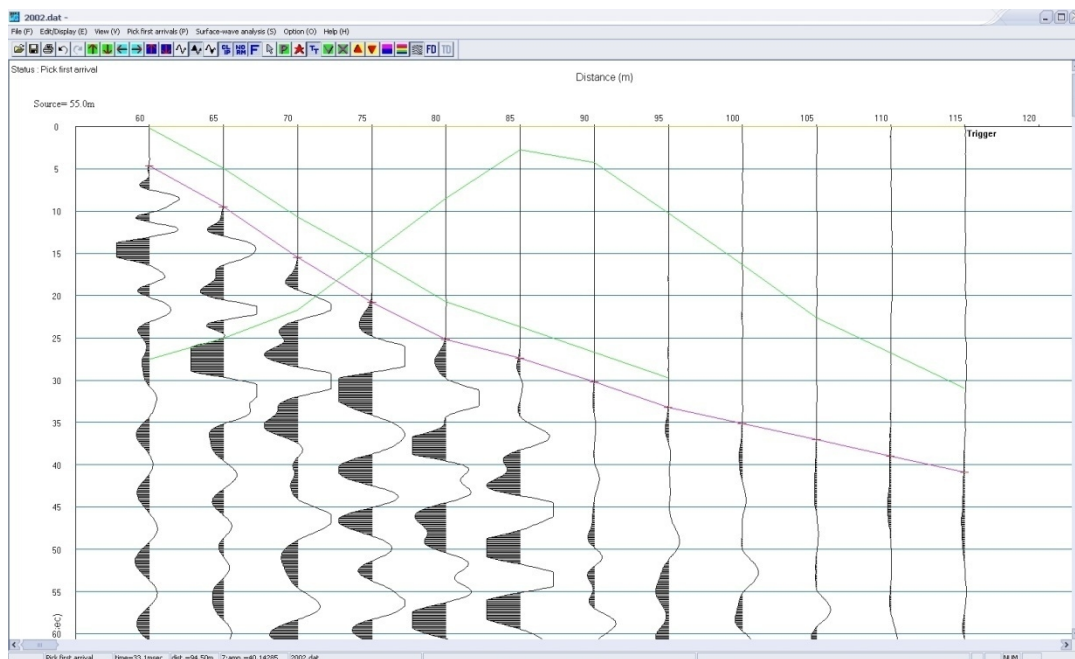


Καταγραφή 1008

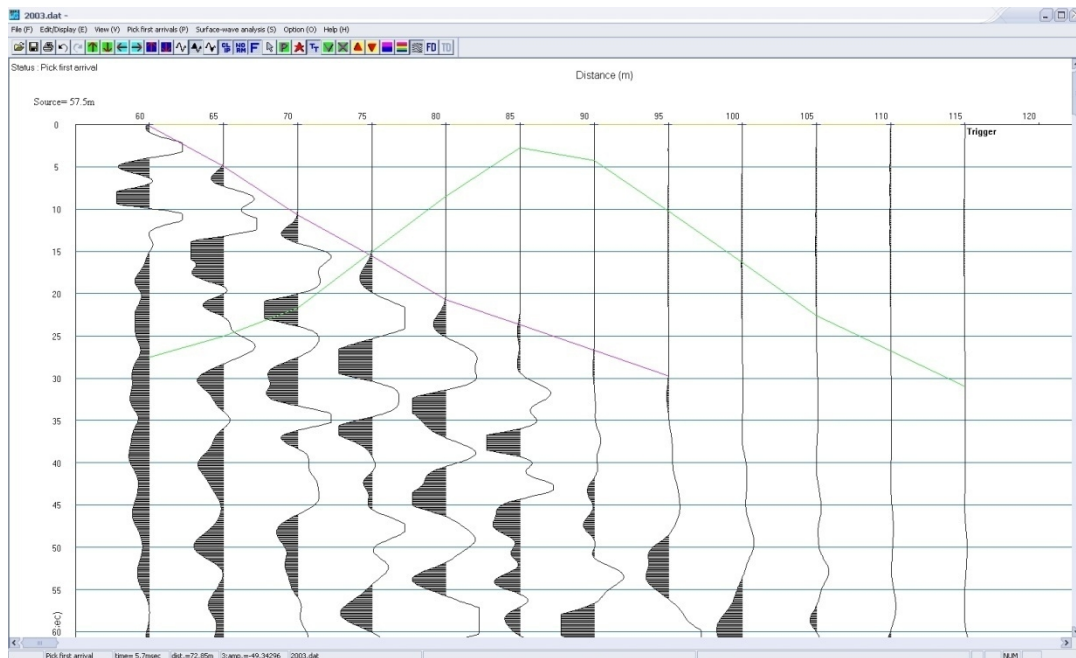
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ A2 SPREAD B



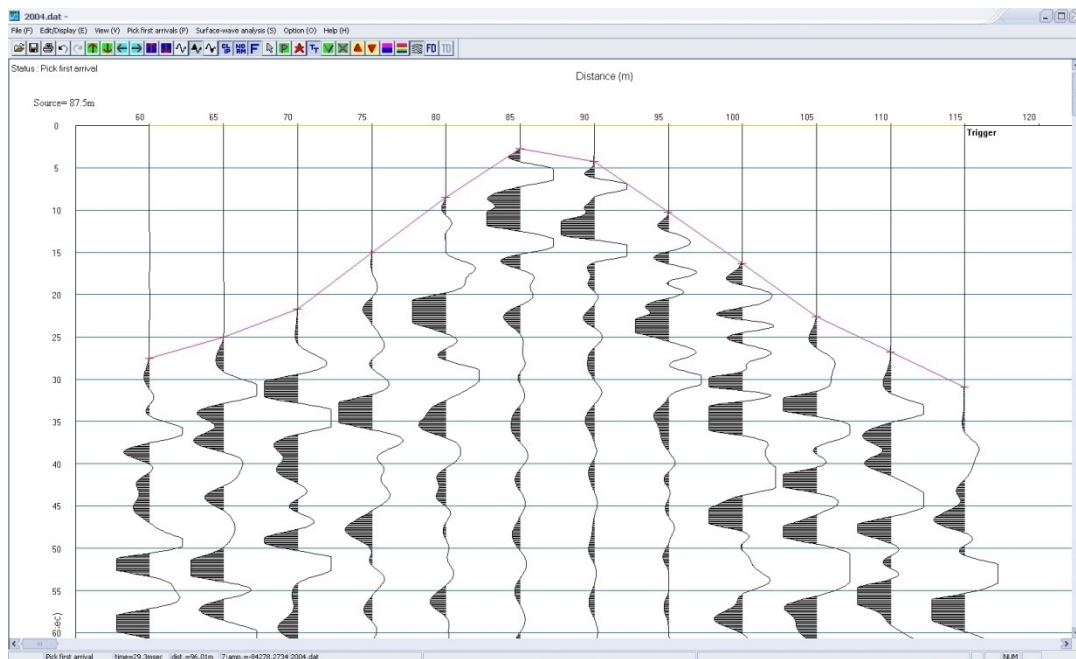
Καταγραφή 2001



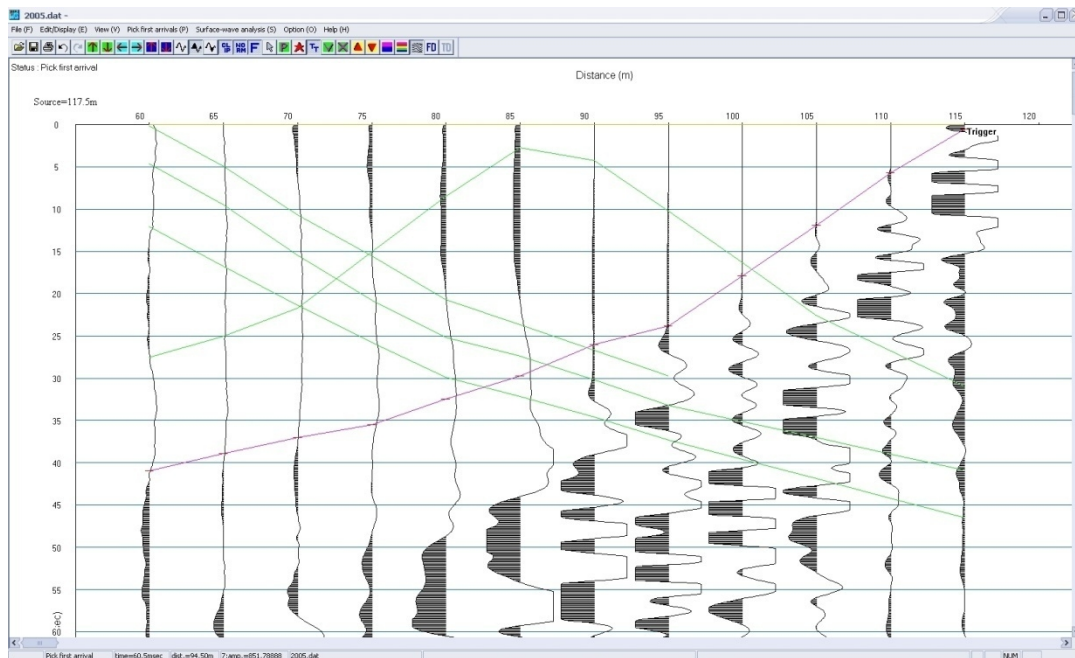
Καταγραφή 2002



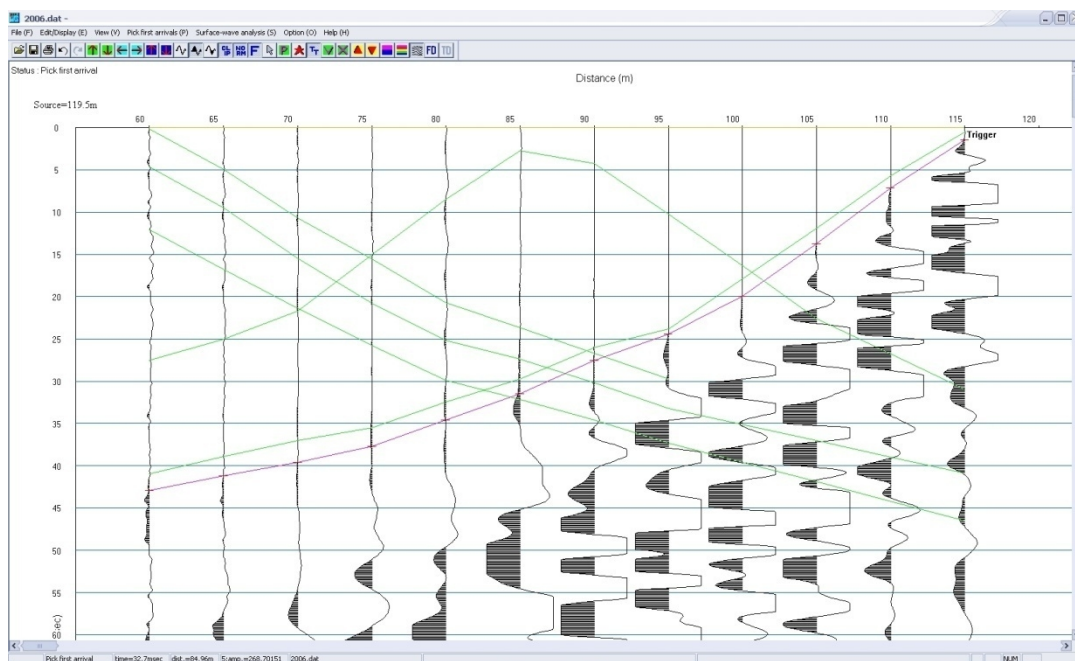
Καταγραφή 2003



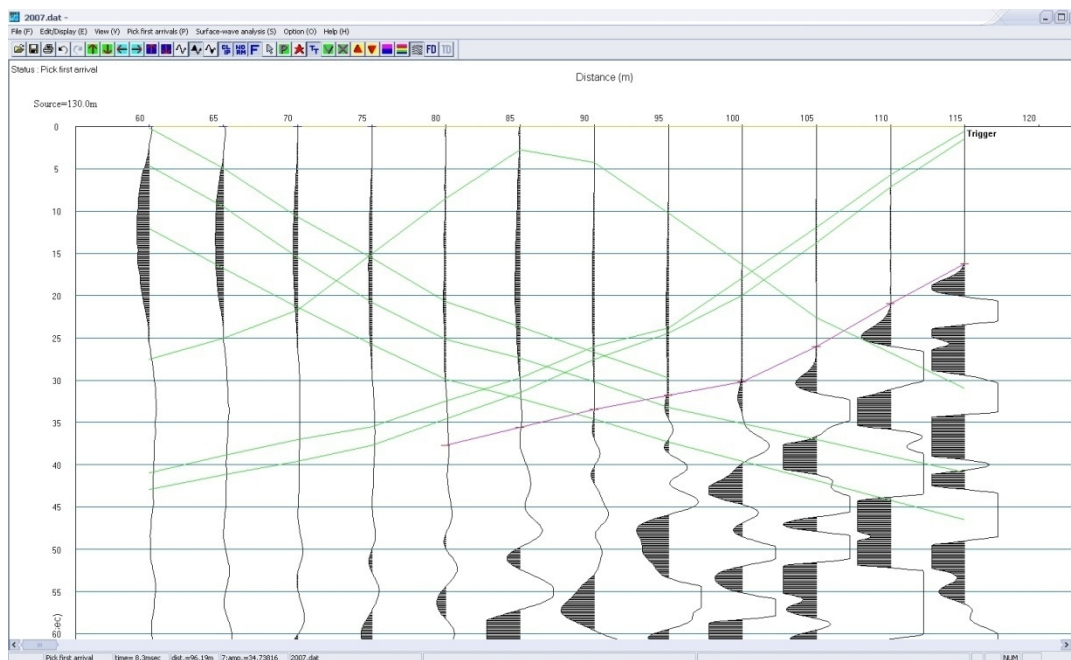
Καταγραφή 2004



Καταγραφή 2005

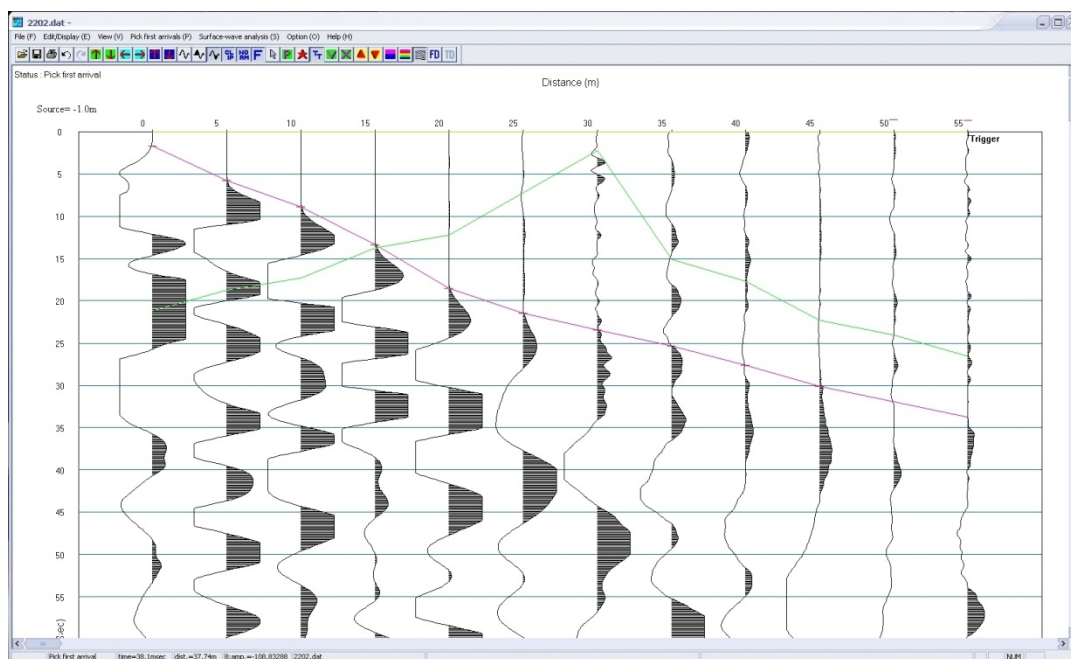


Καταγραφή 2006

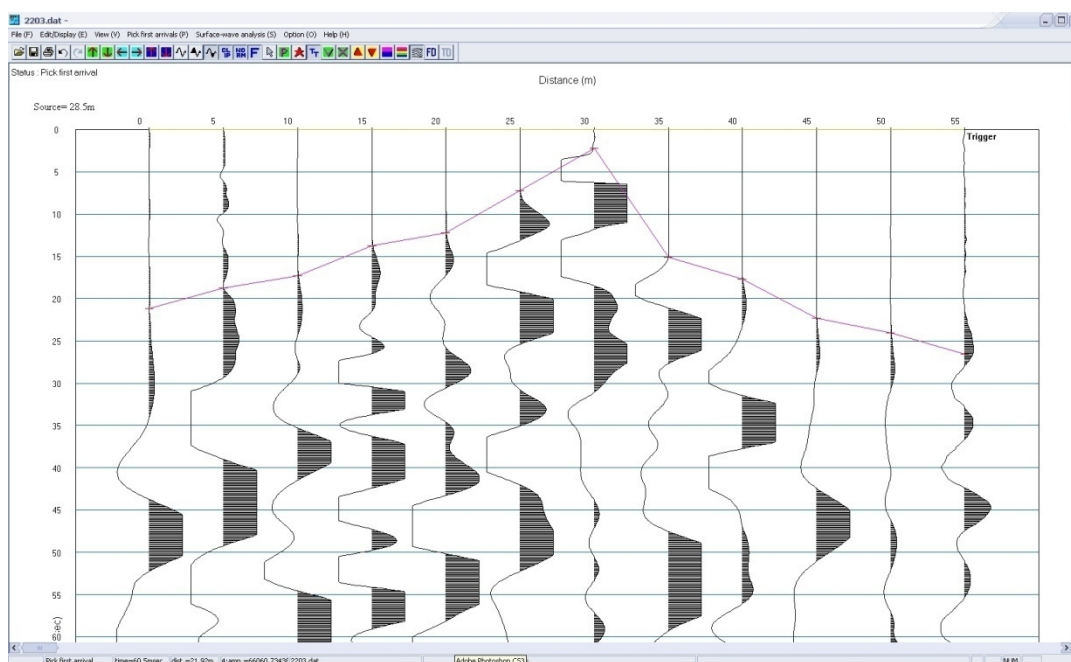


Καταγραφή 2007

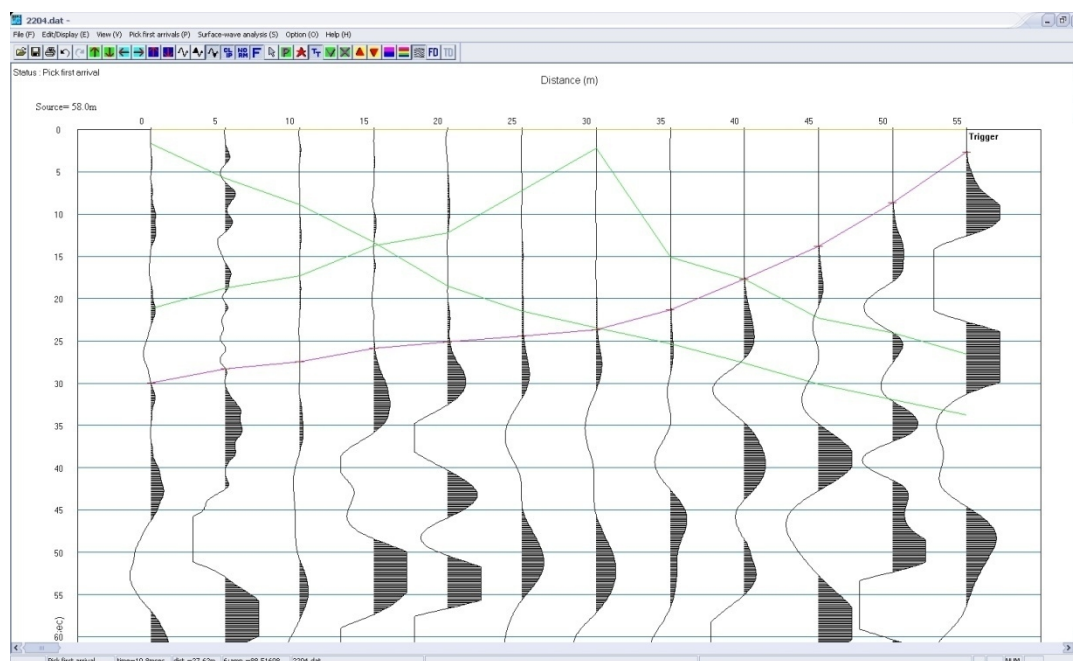
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ Β2



Καταγραφή 2202

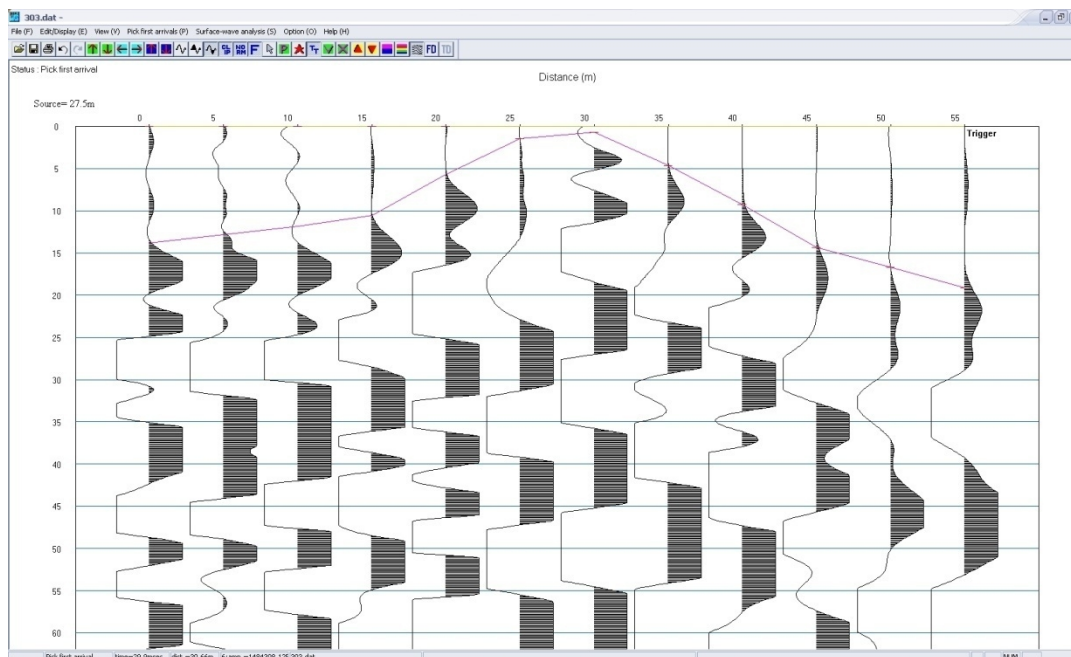


Καταγραφή 2203

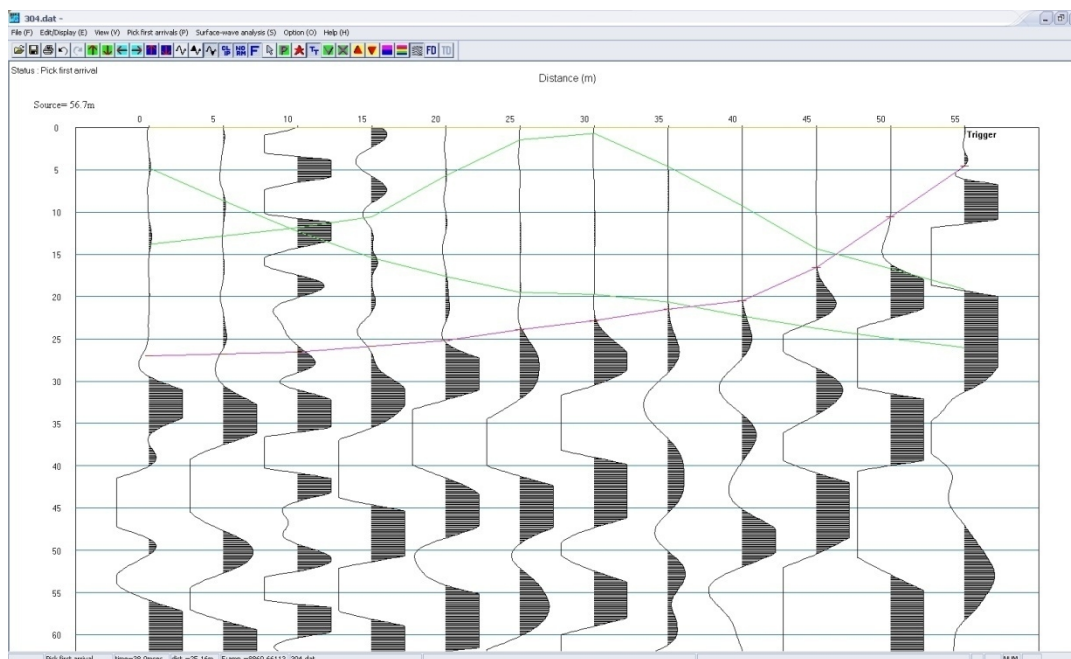


Καταγραφή 2204

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ Β3

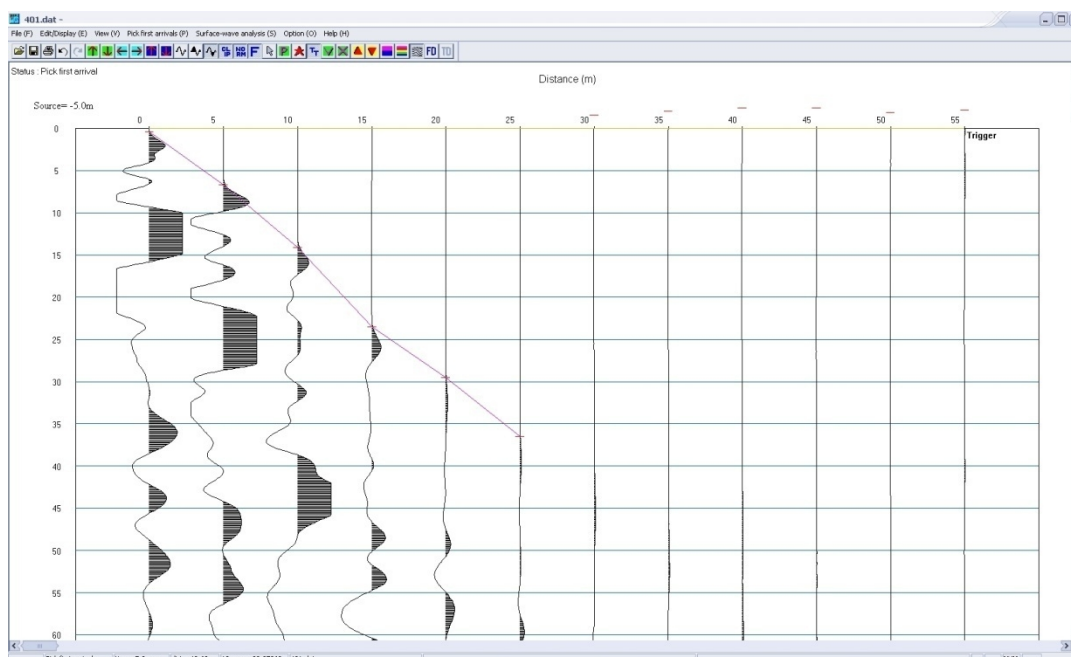


Καταγραφή 303

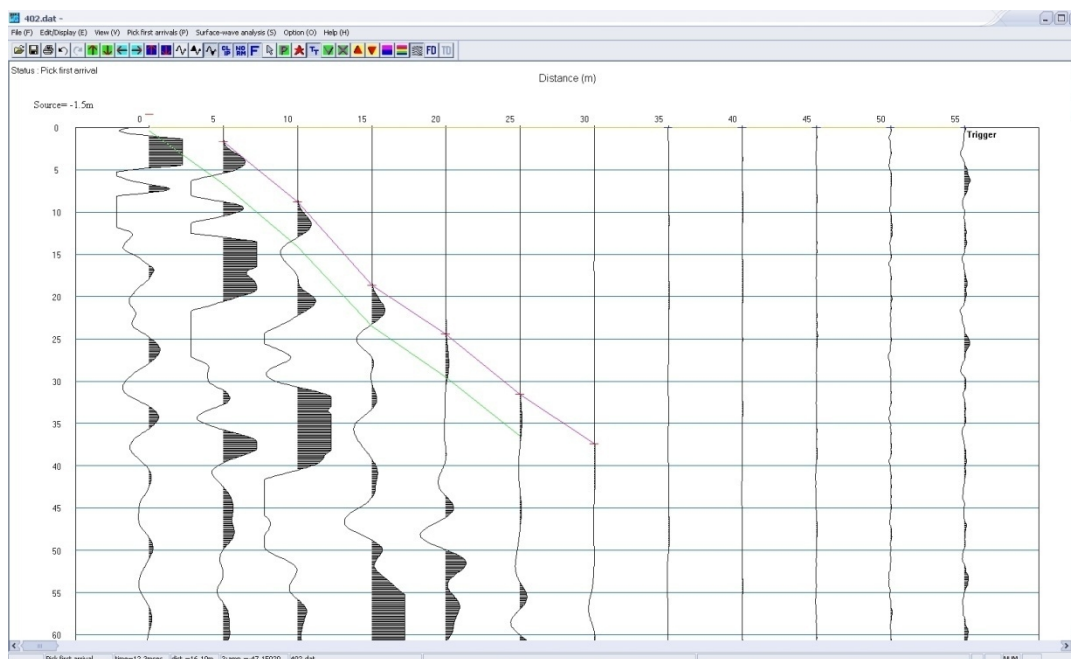


Καταγραφή 304

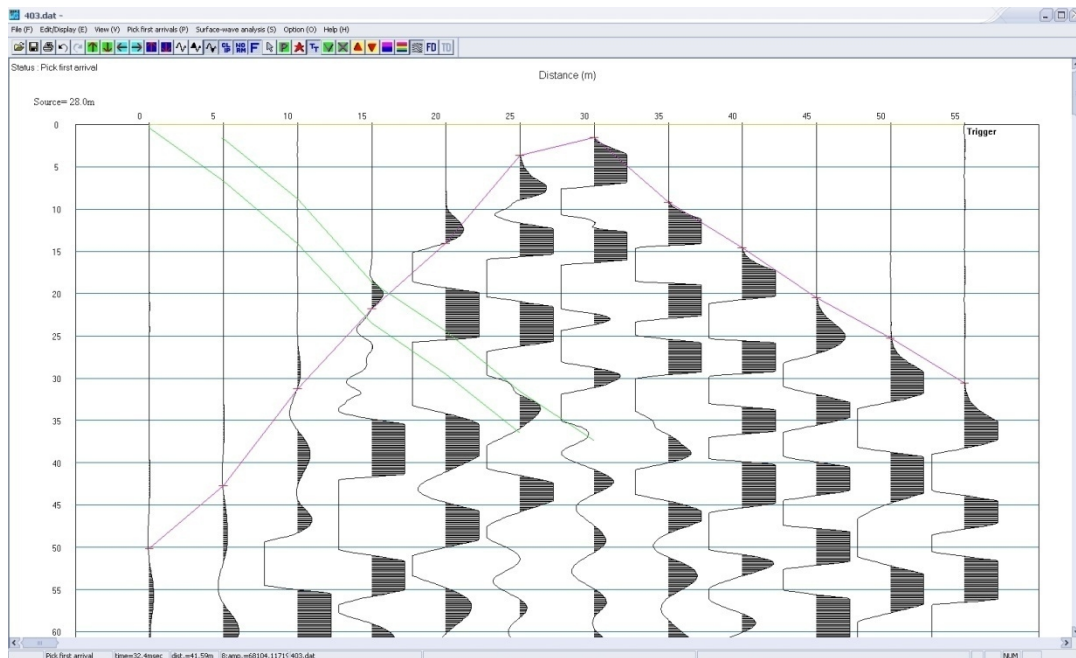
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ Β4



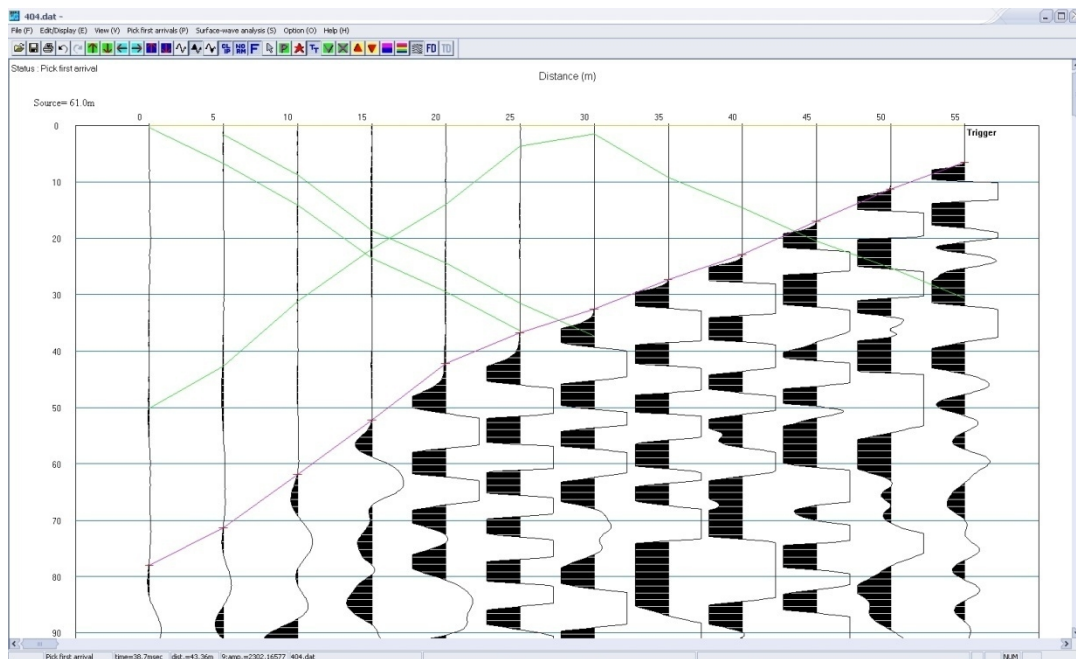
Καταγραφή 401



Καταγραφή 402

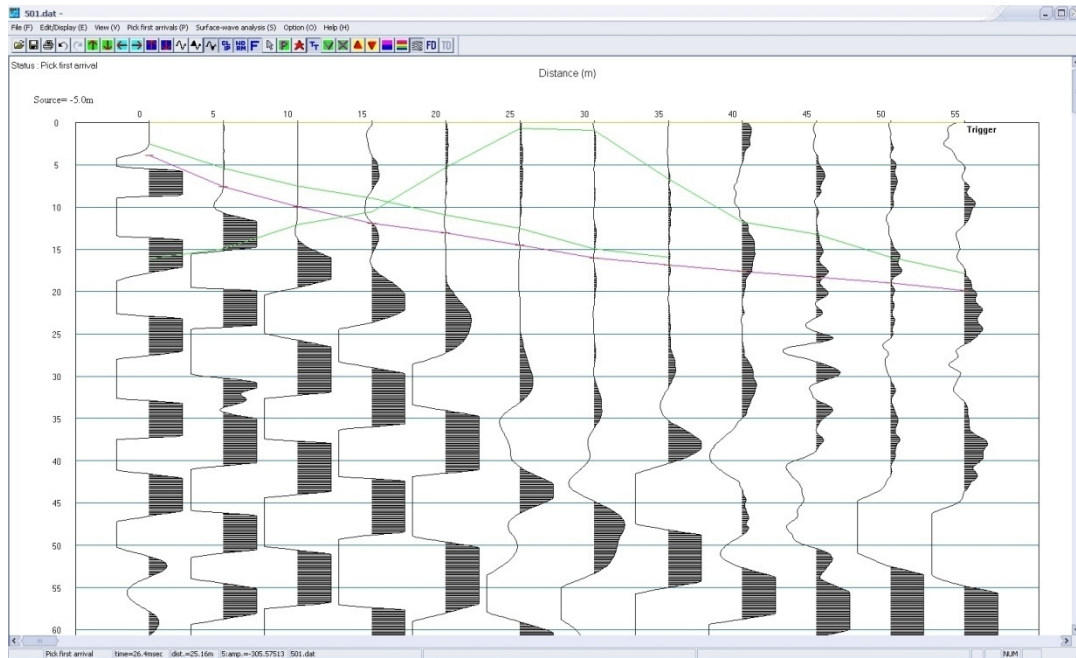


Καταγραφή 403

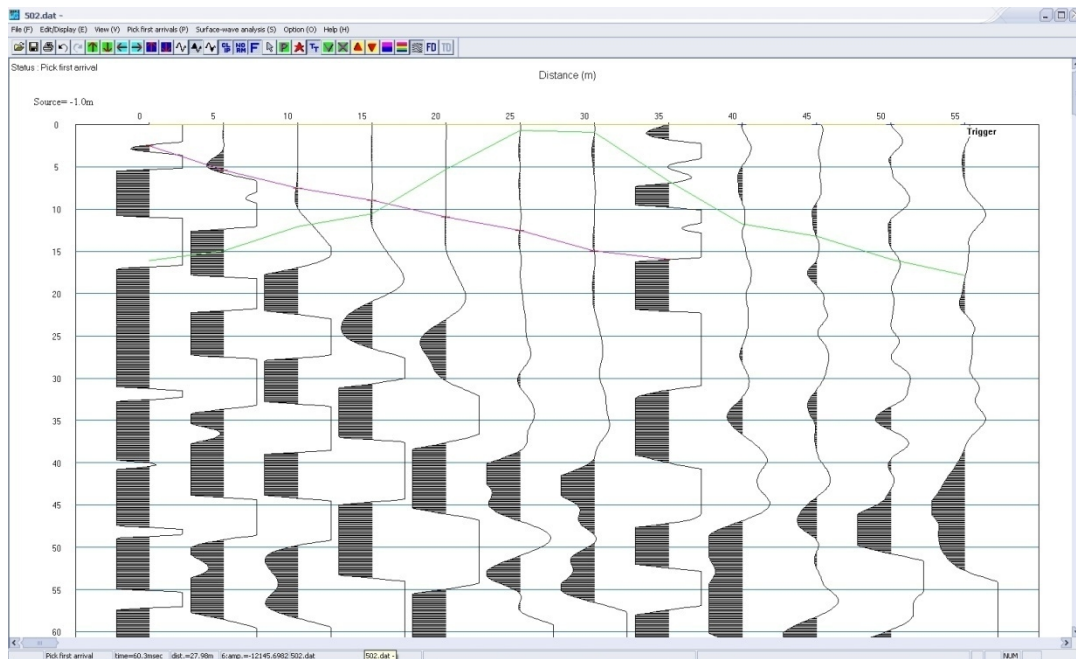


Καταγραφή 404

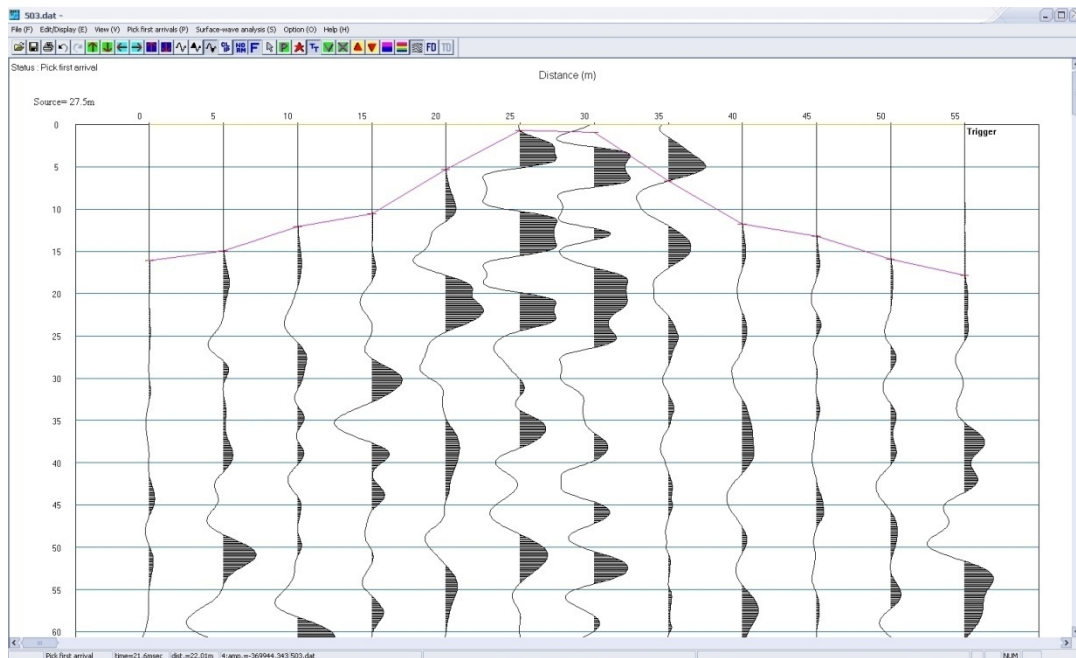
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ Β5



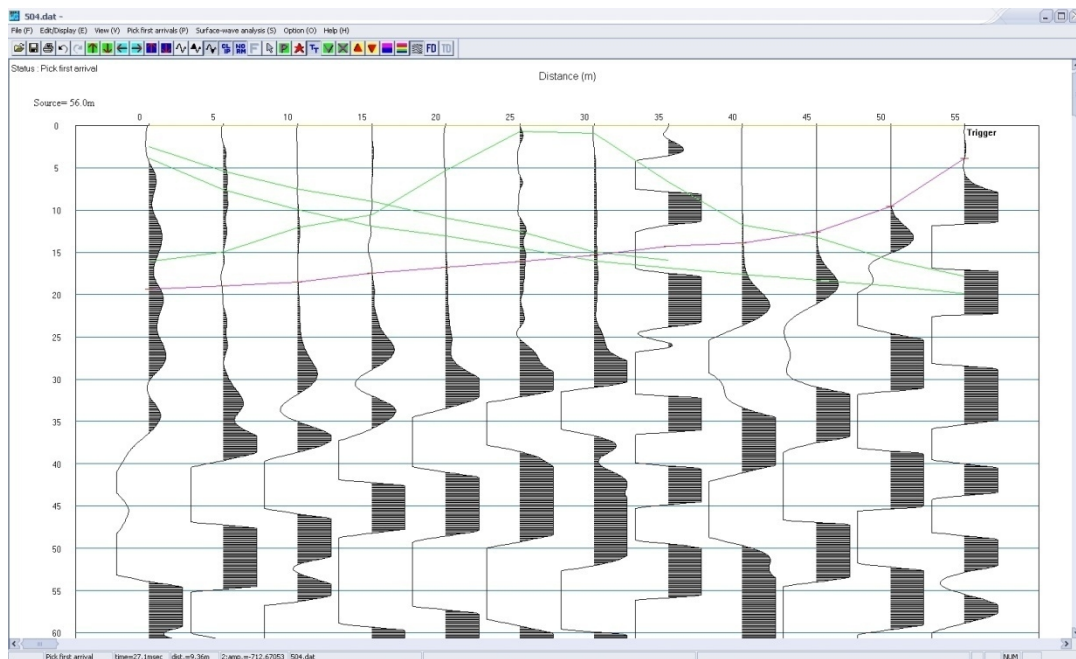
Καταγραφή 501



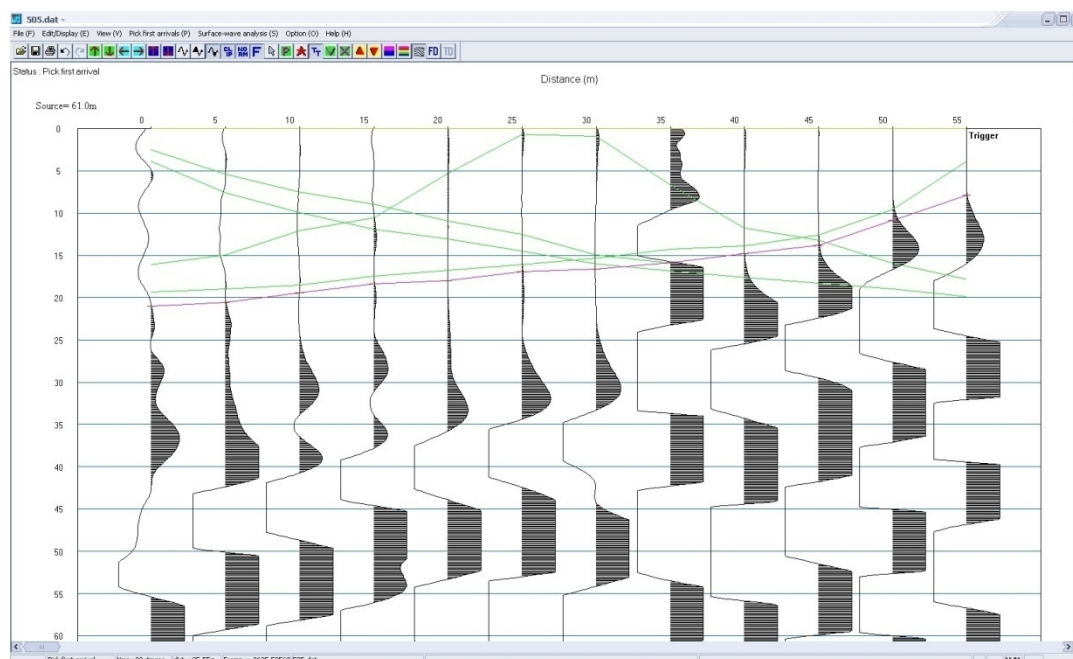
Καταγραφή 502



Καταγραφή 503

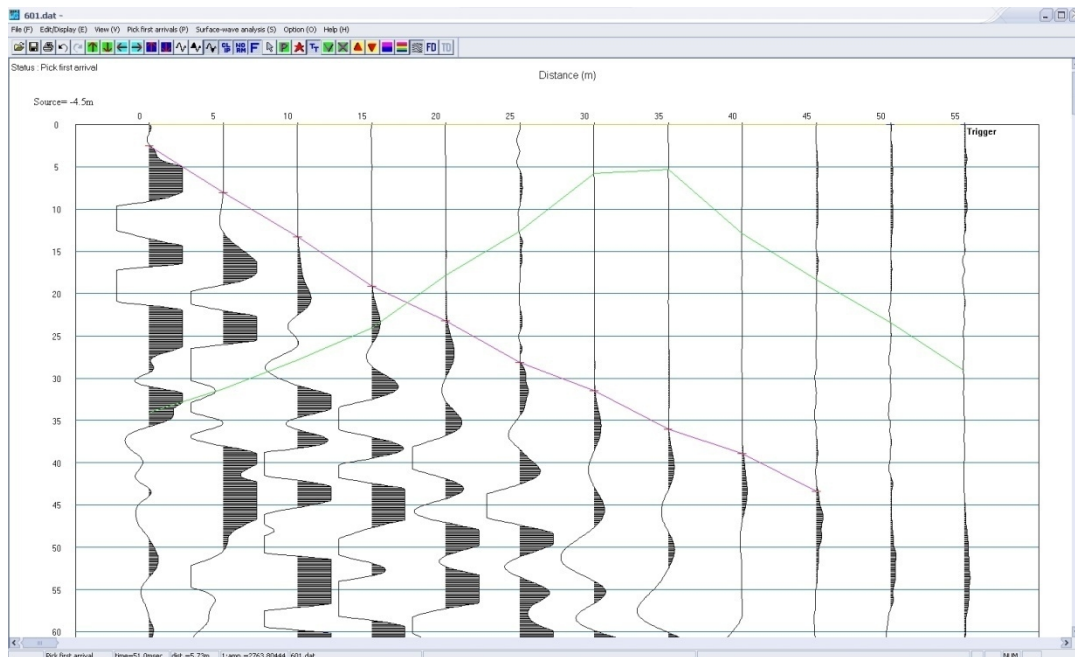


Καταγραφή 504

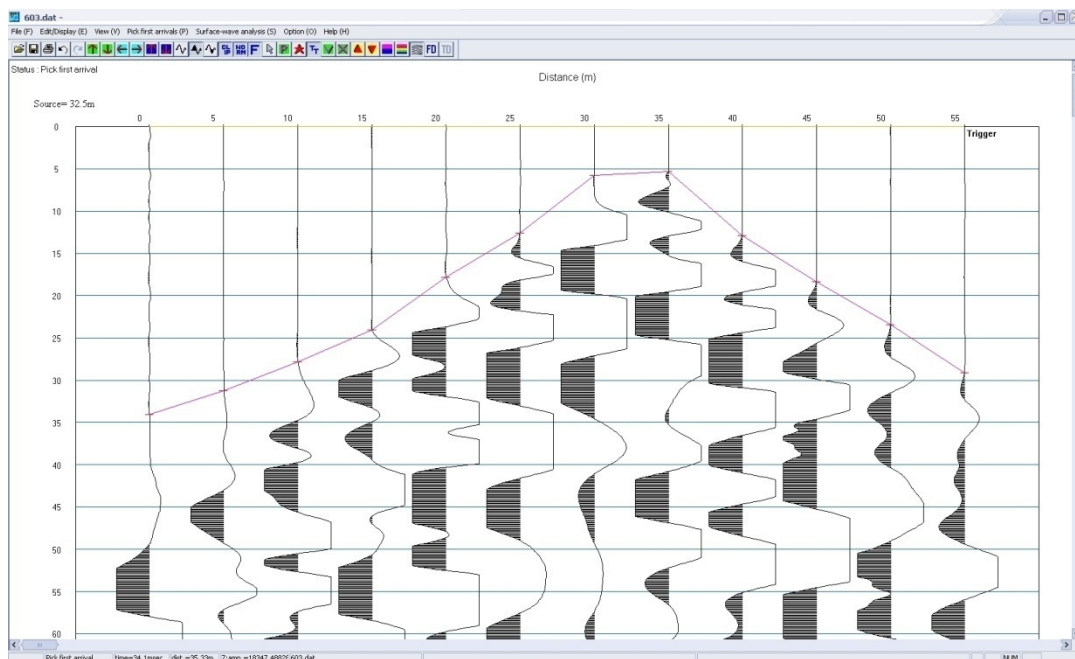


Καταγραφή 505

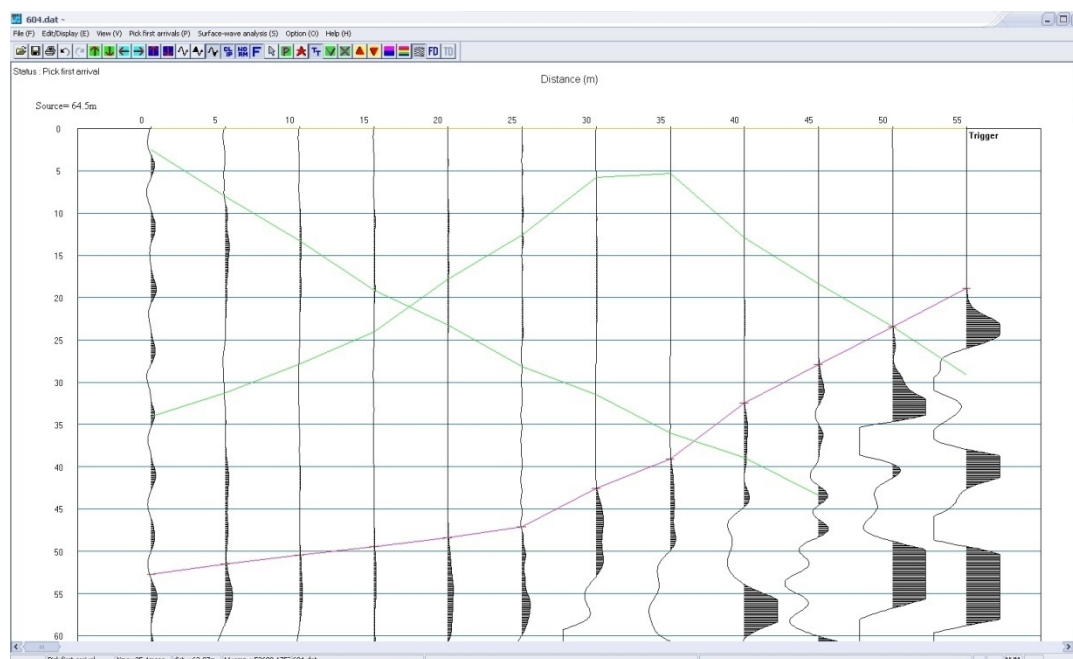
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ Β7



Καταγραφή 601

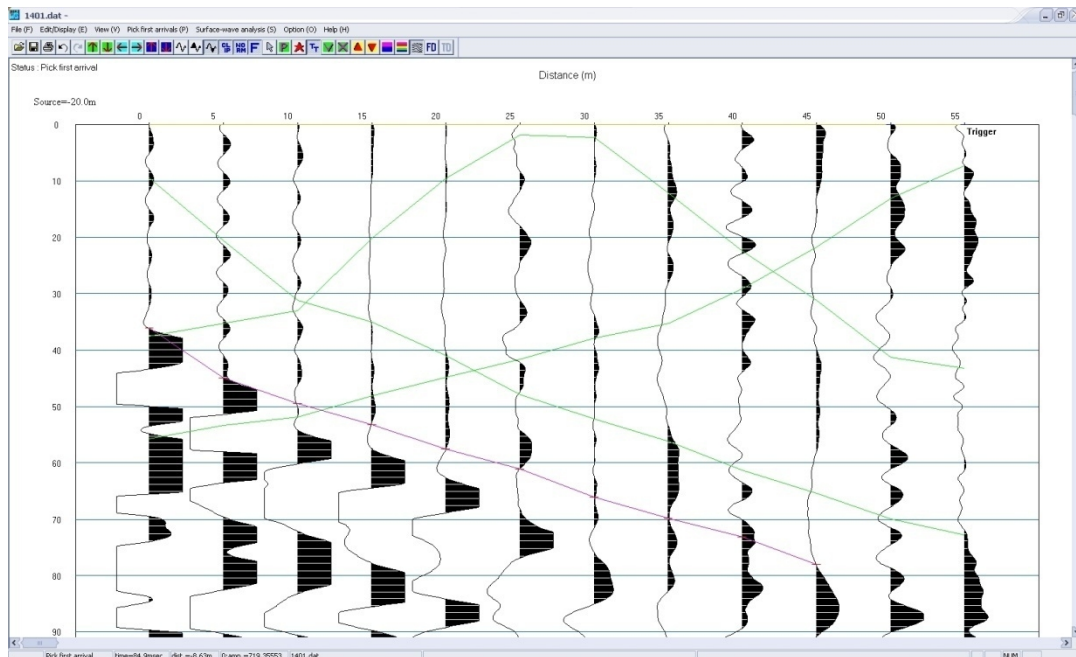


Καταγραφή 603

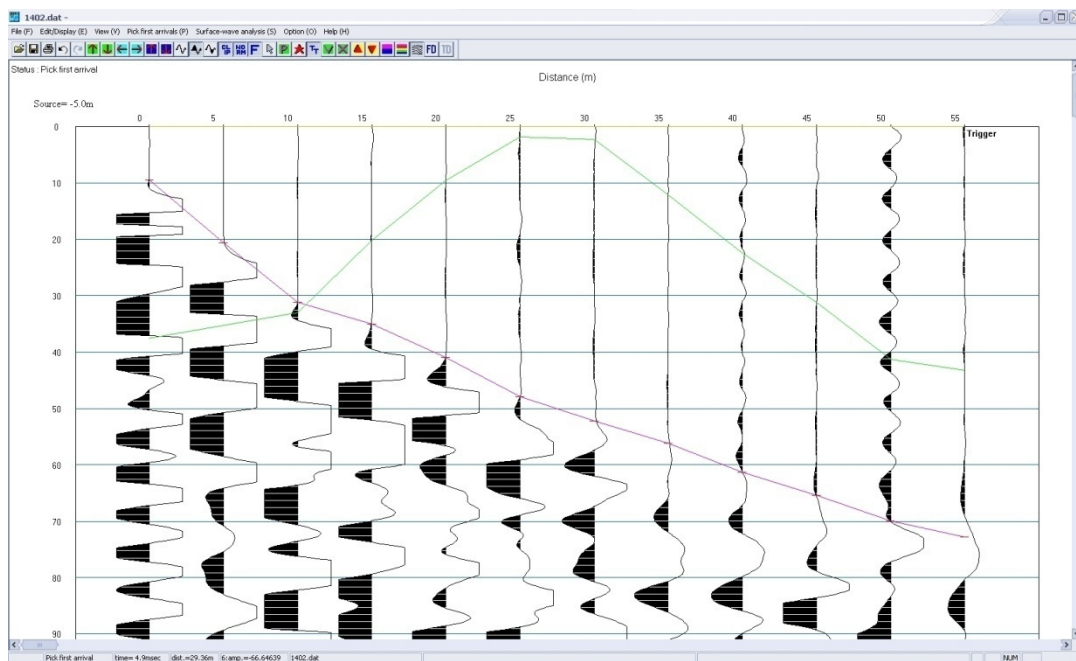


Καταγραφή 604

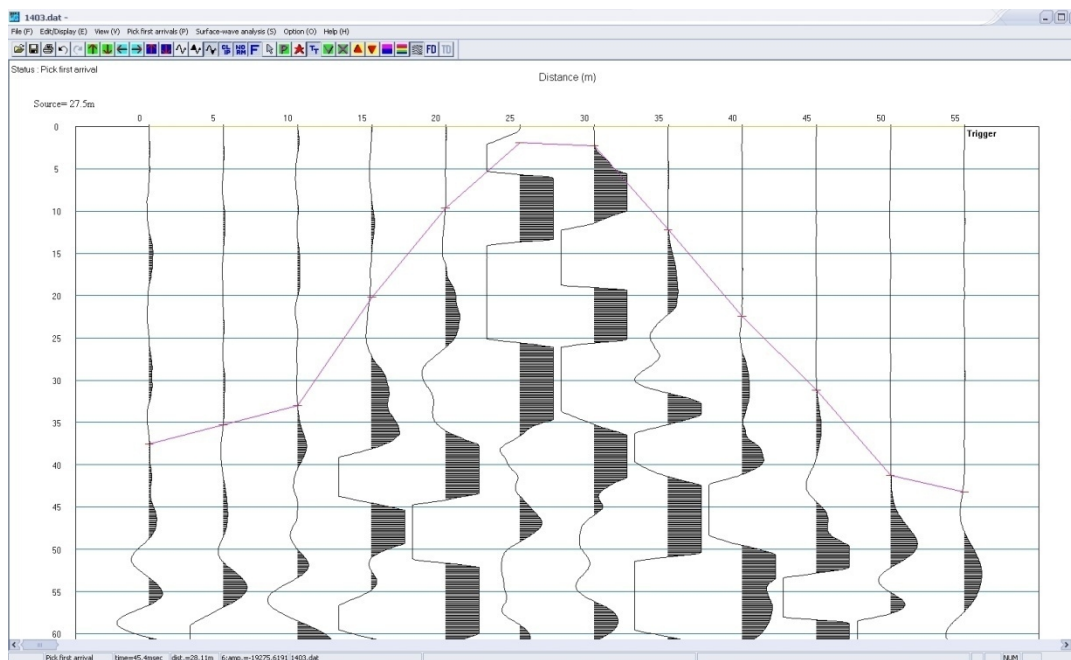
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ B14



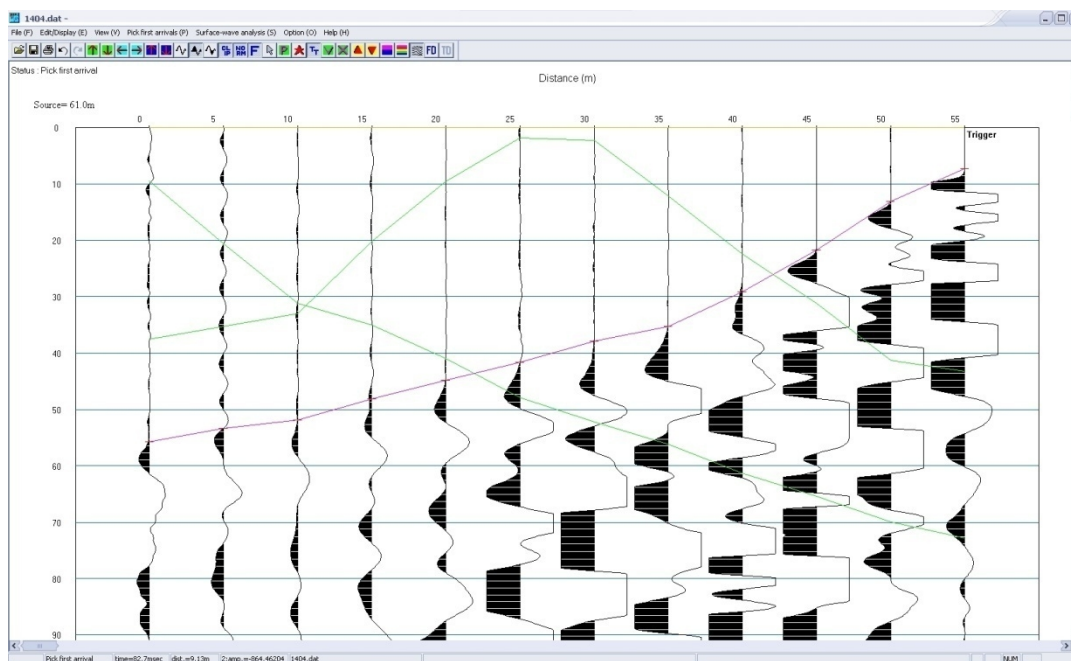
Καταγραφή 1401



Καταγραφή 1402

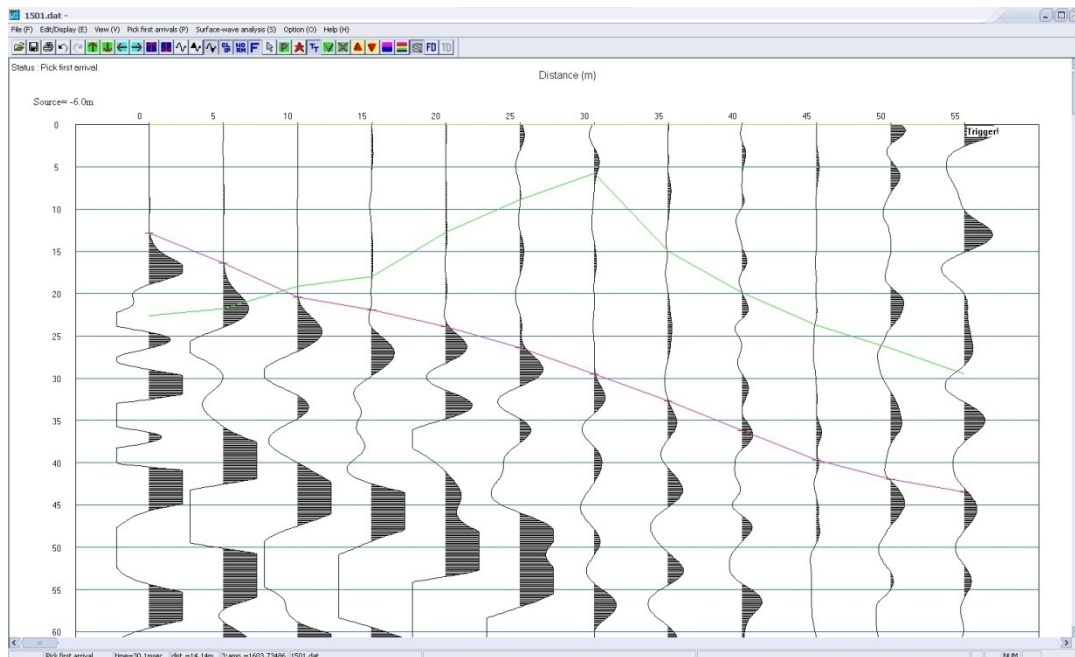


Καταγραφή 1403

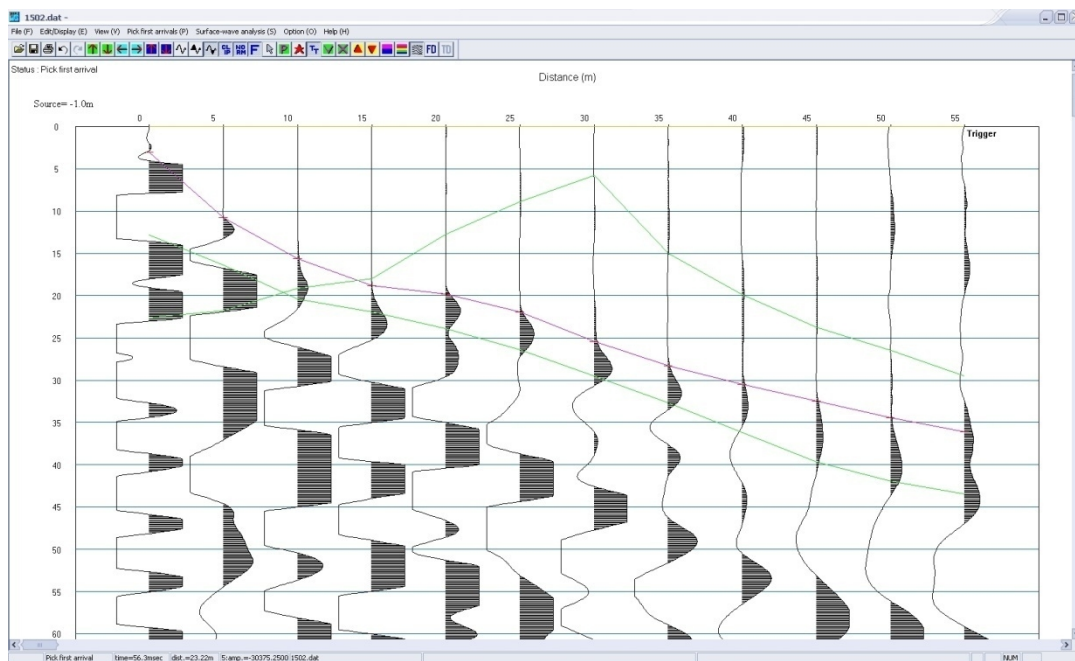


Καταγραφή 1404

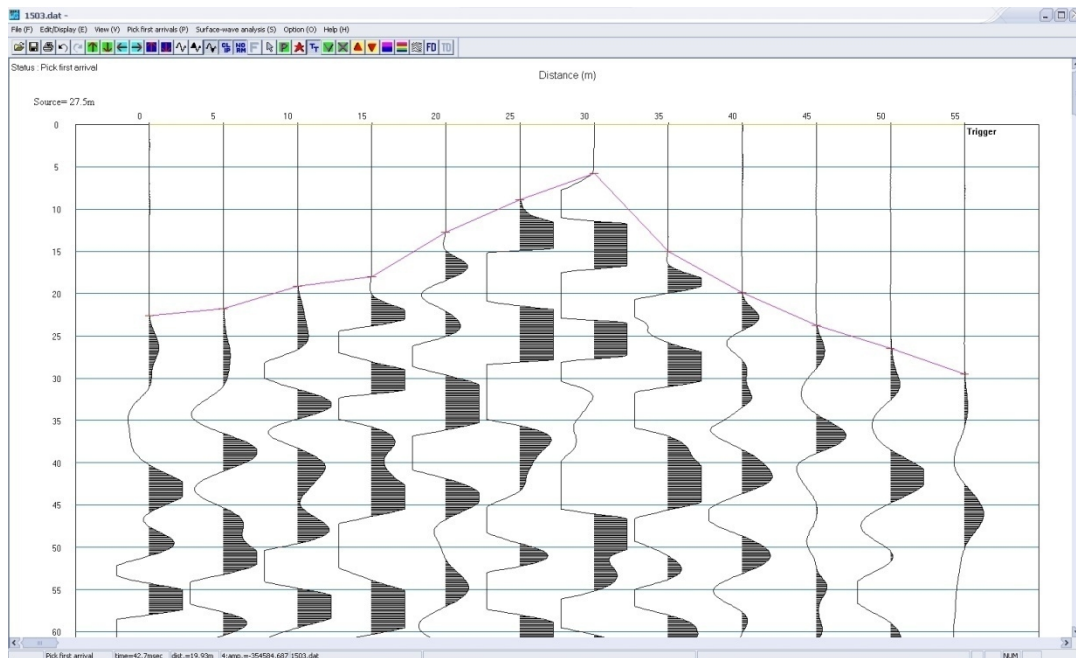
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ B15



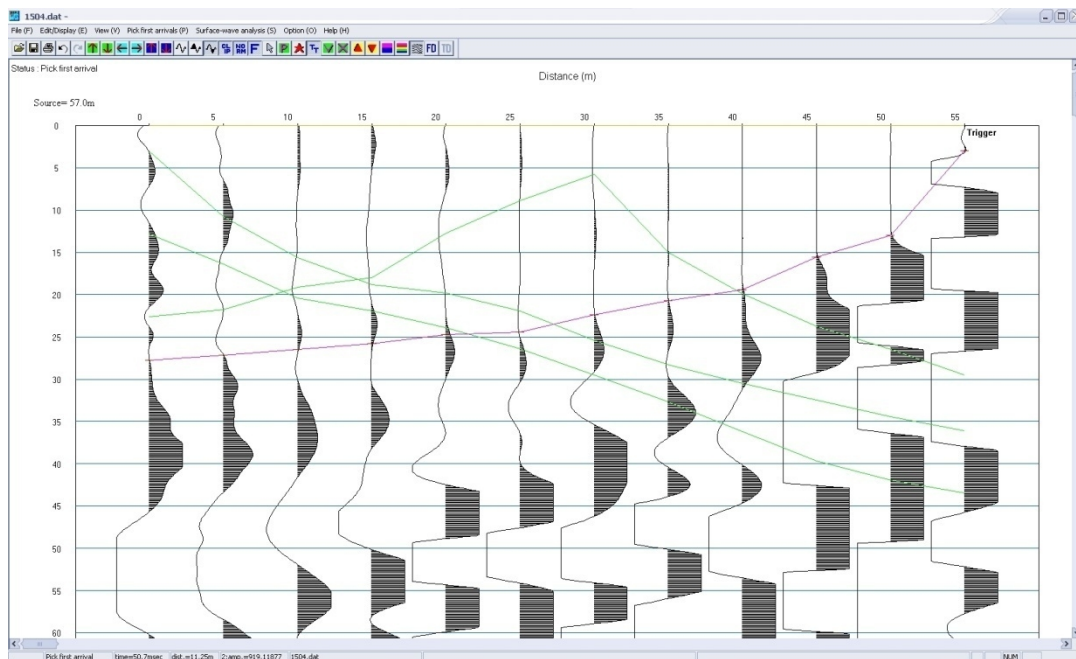
Καταγραφή 1501



Καταγραφή 1502

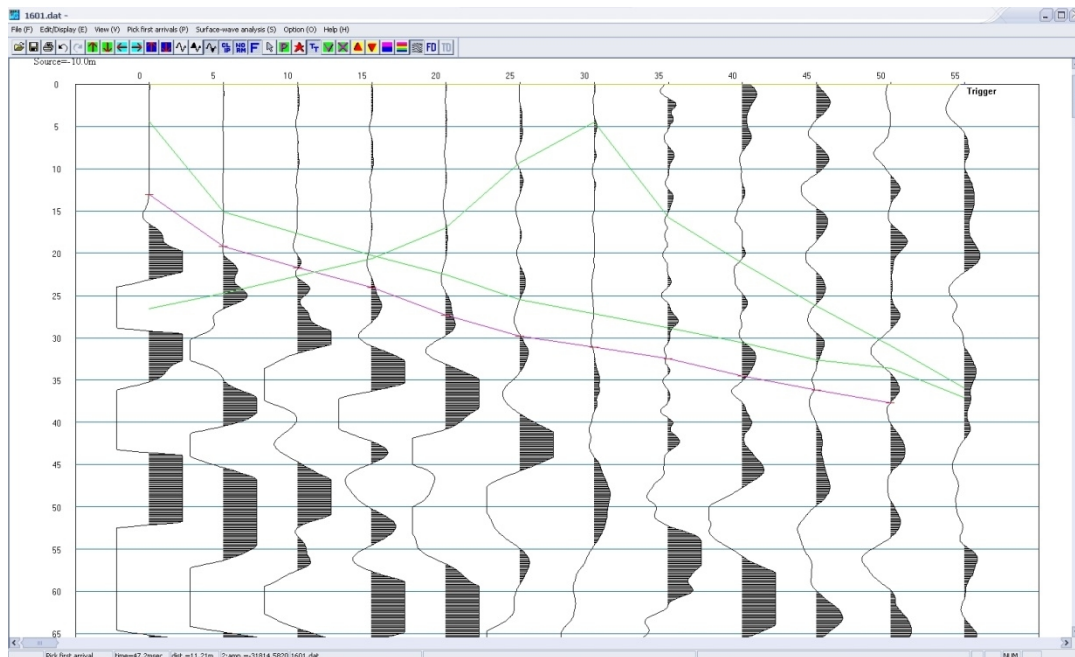


Καταγραφή 1503

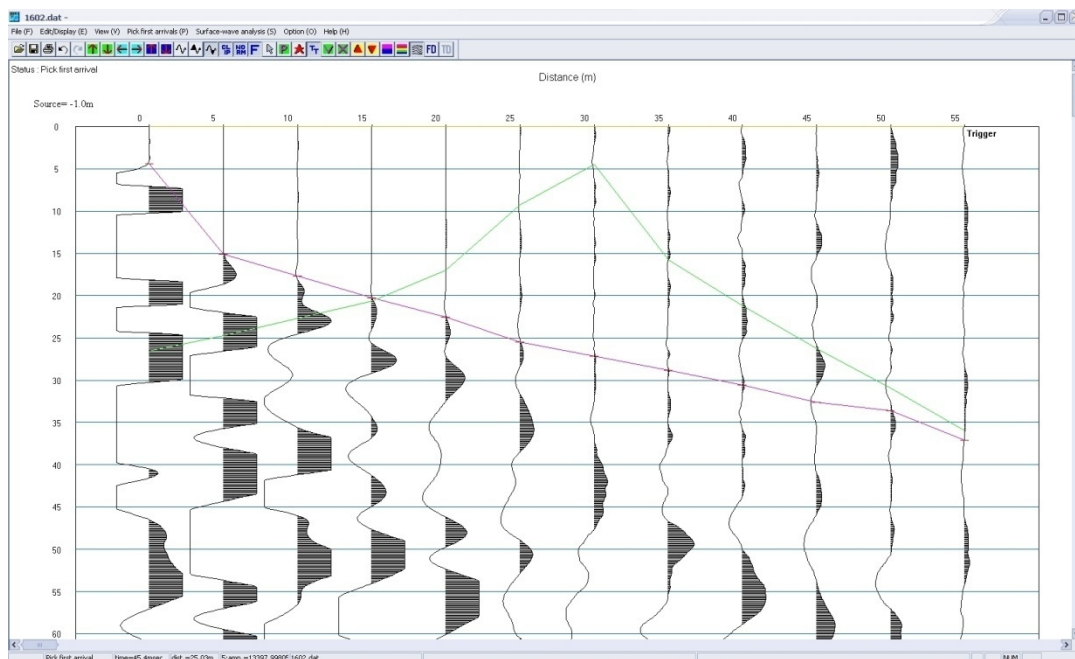


Καταγραφή 1504

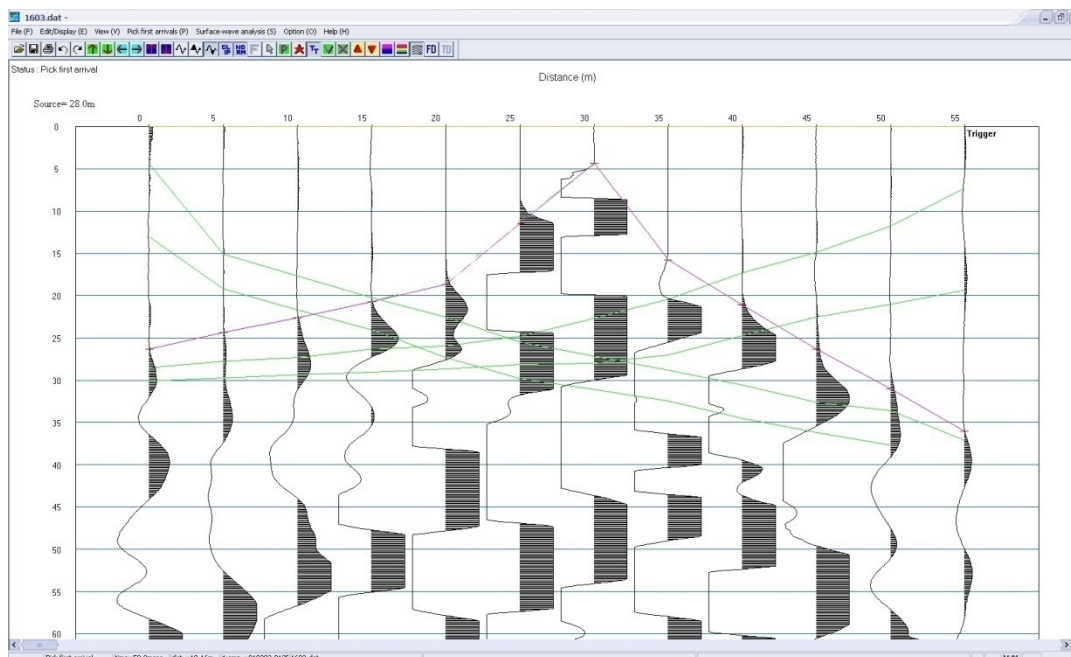
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ B16 SPREAD A



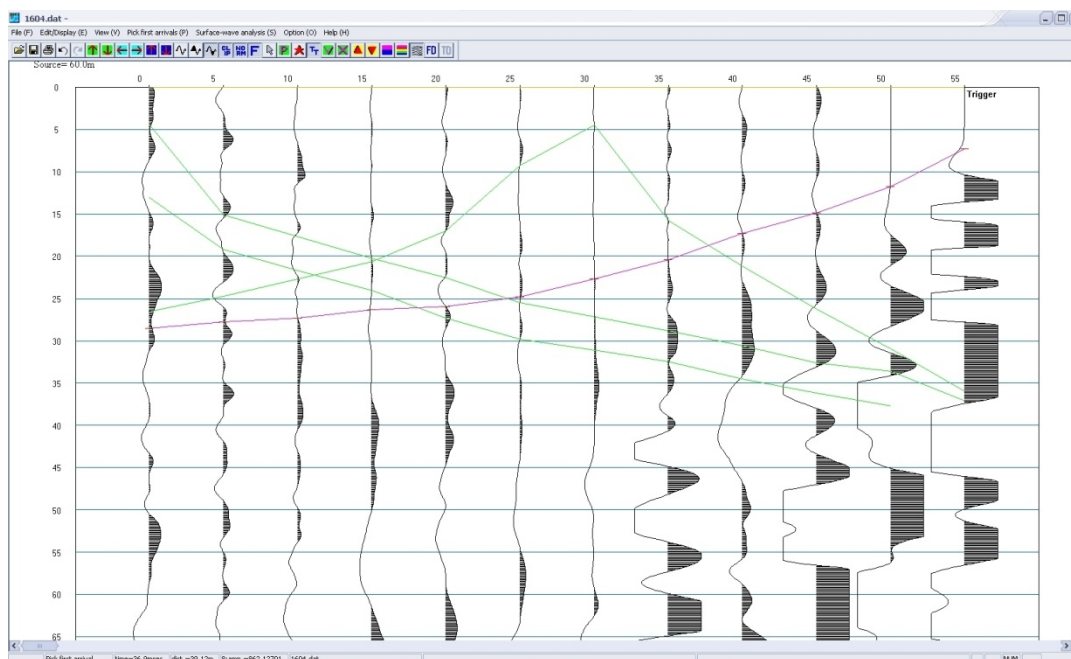
Καταγραφή 1601



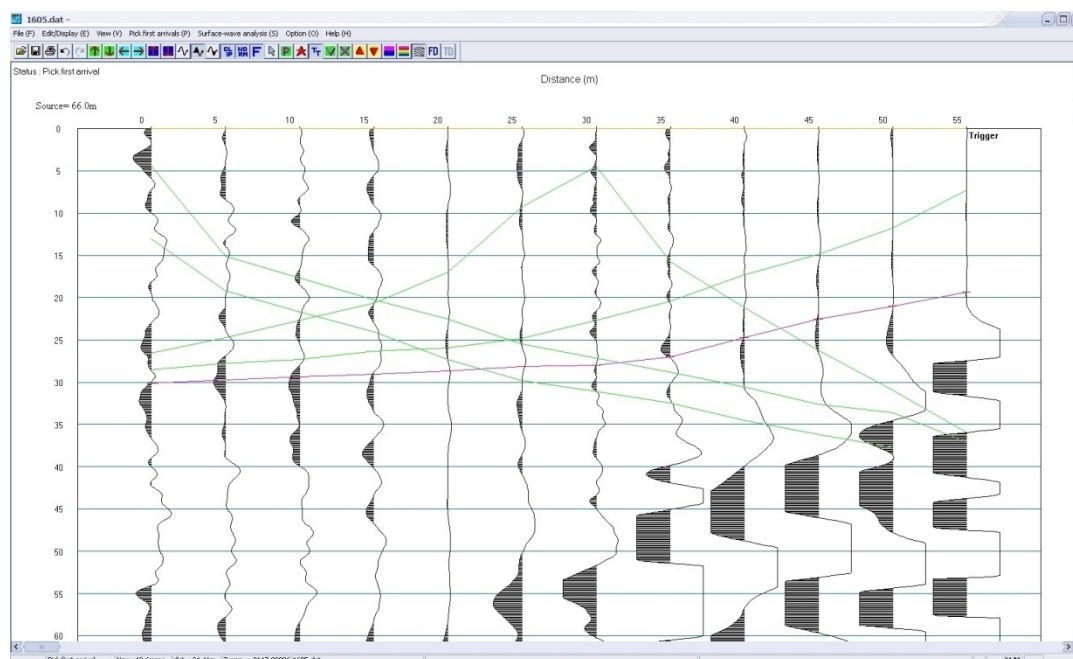
Καταγραφή 1602



Καταγραφή 1603

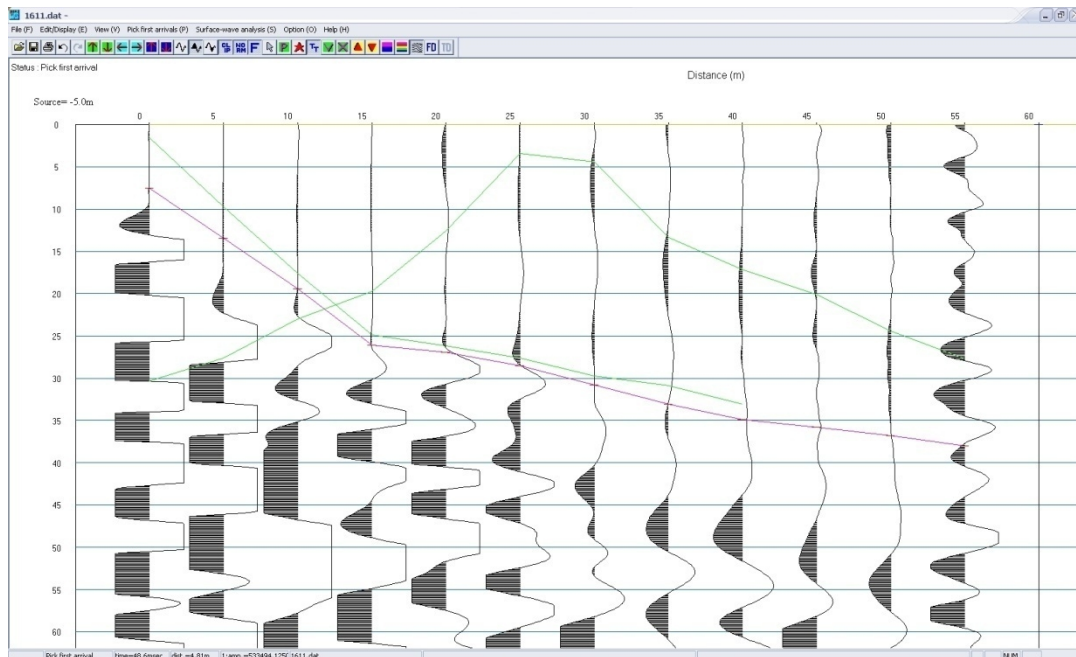


Καταγραφή 1604

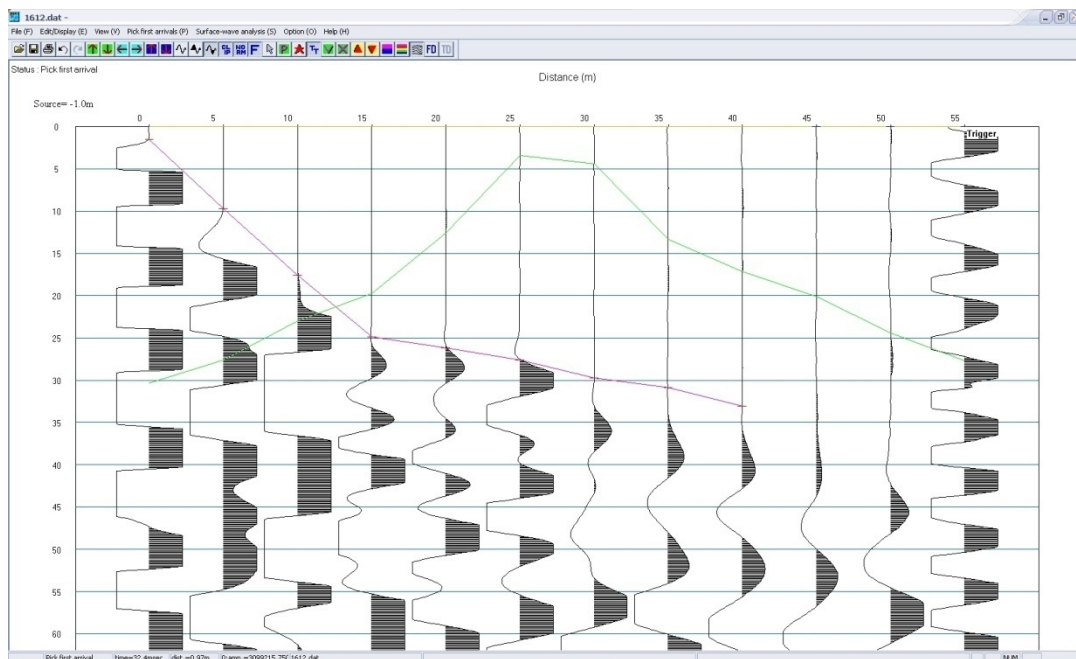


Καταγραφή 1605

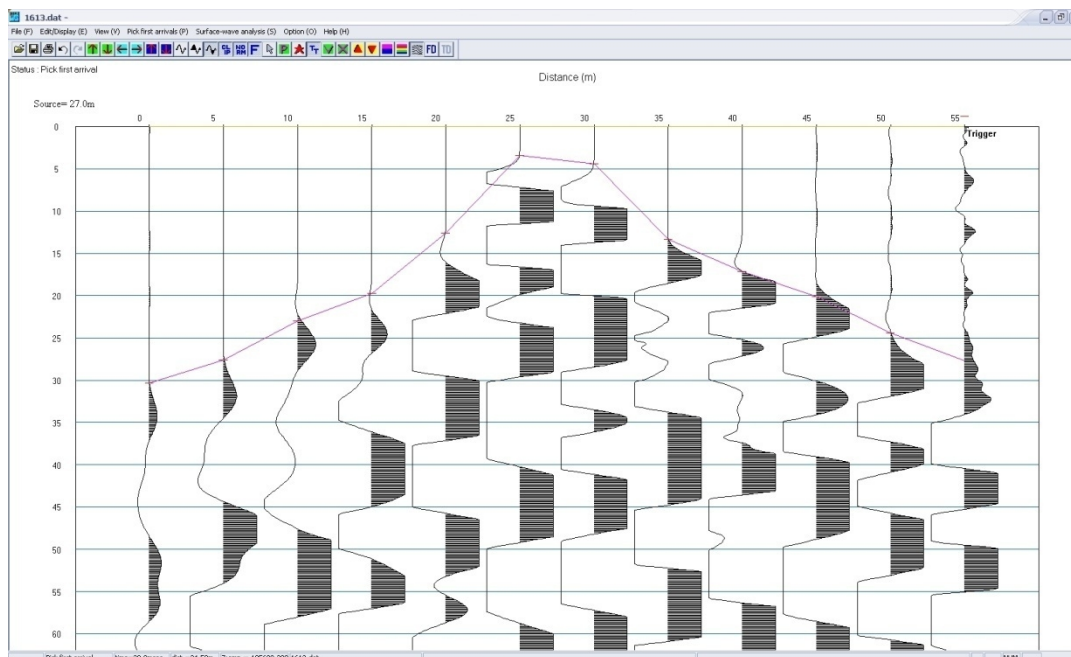
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ B16 SPREAD B



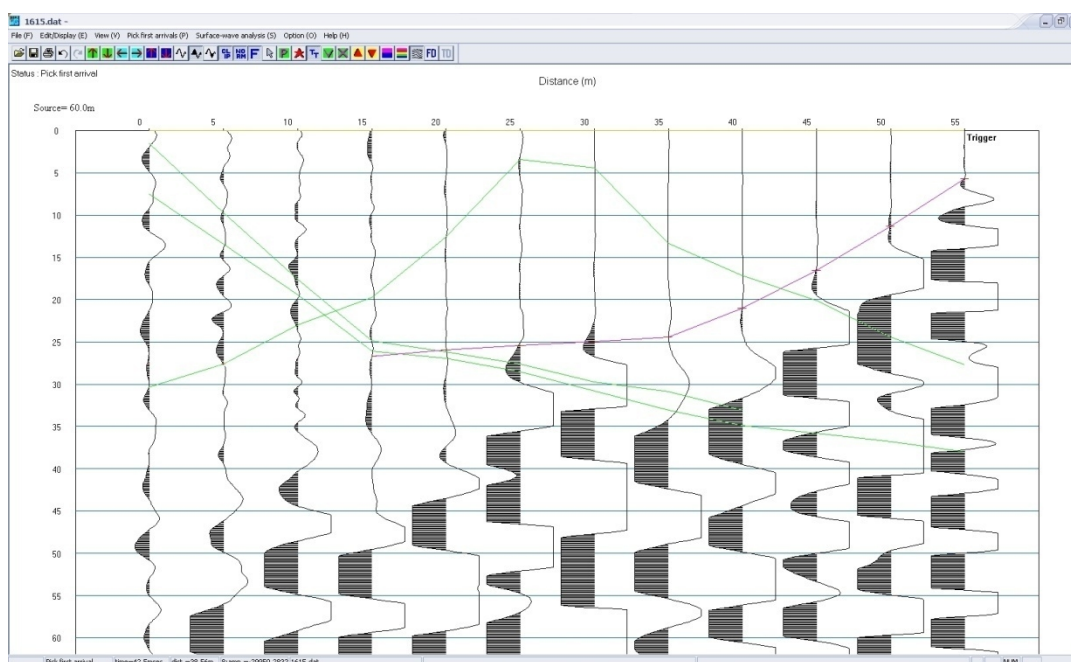
Καταγραφή 1611



Καταγραφή 1612

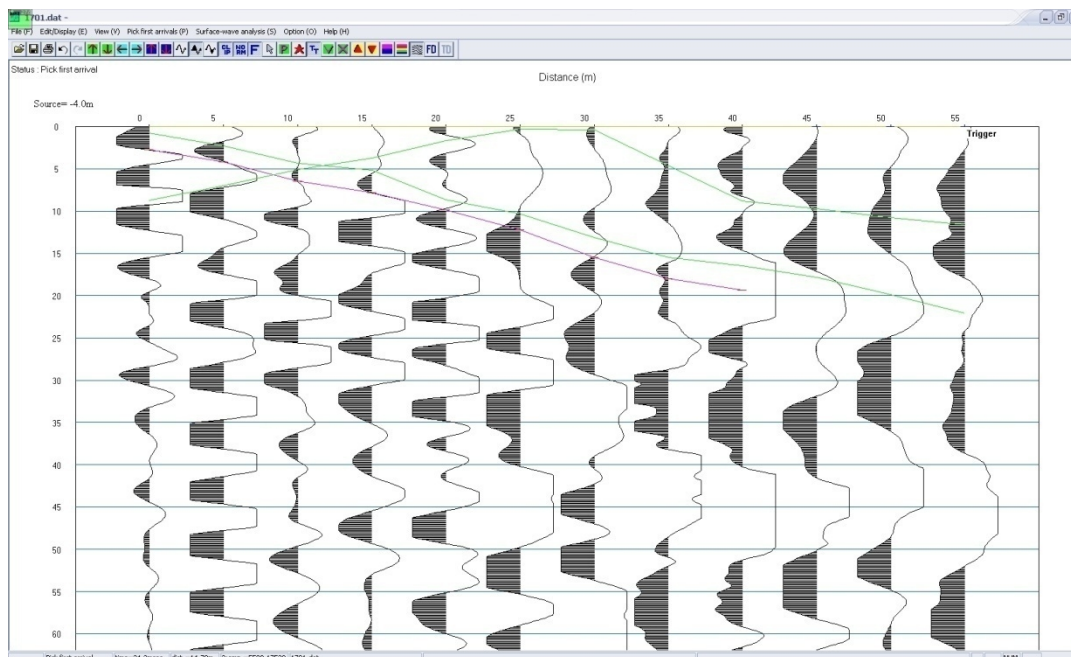


Καταγραφή 1613

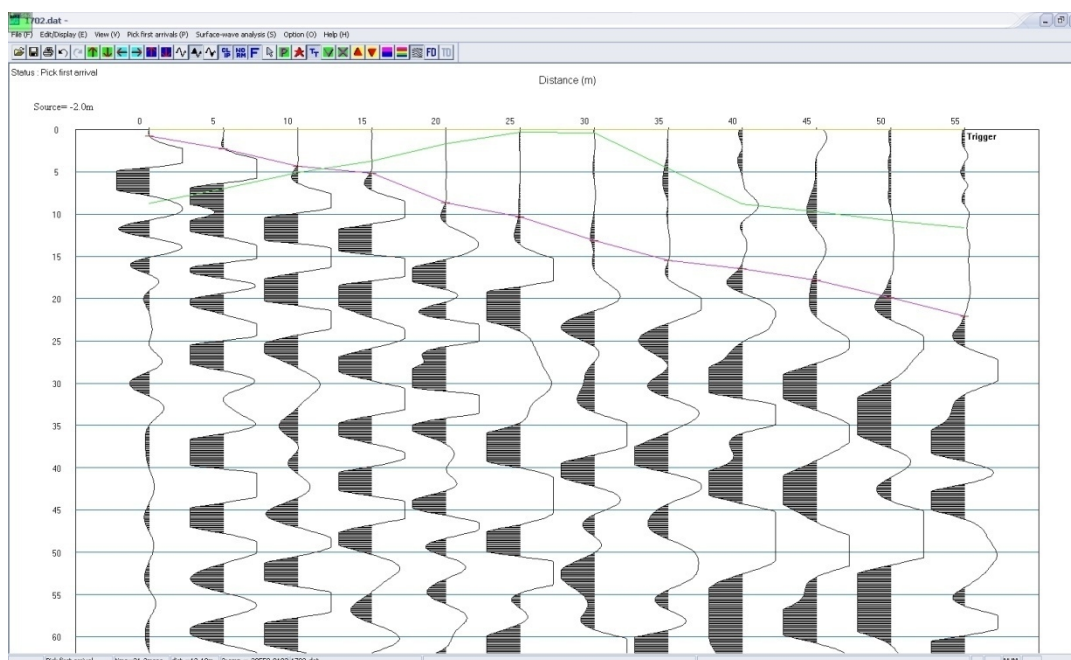


Καταγραφή 1615

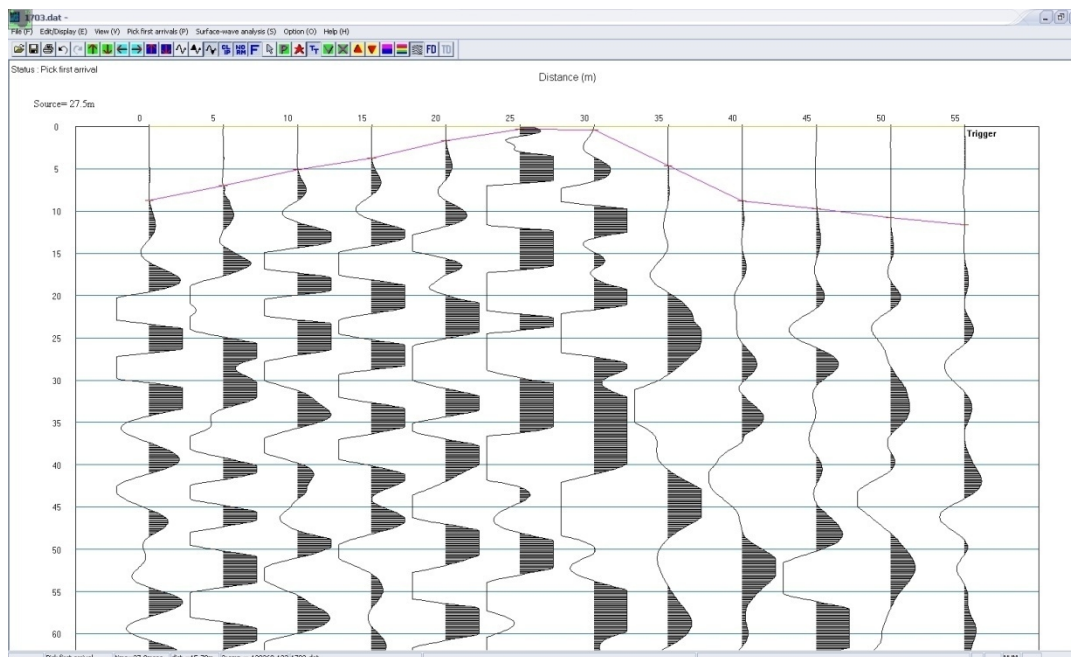
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ B17



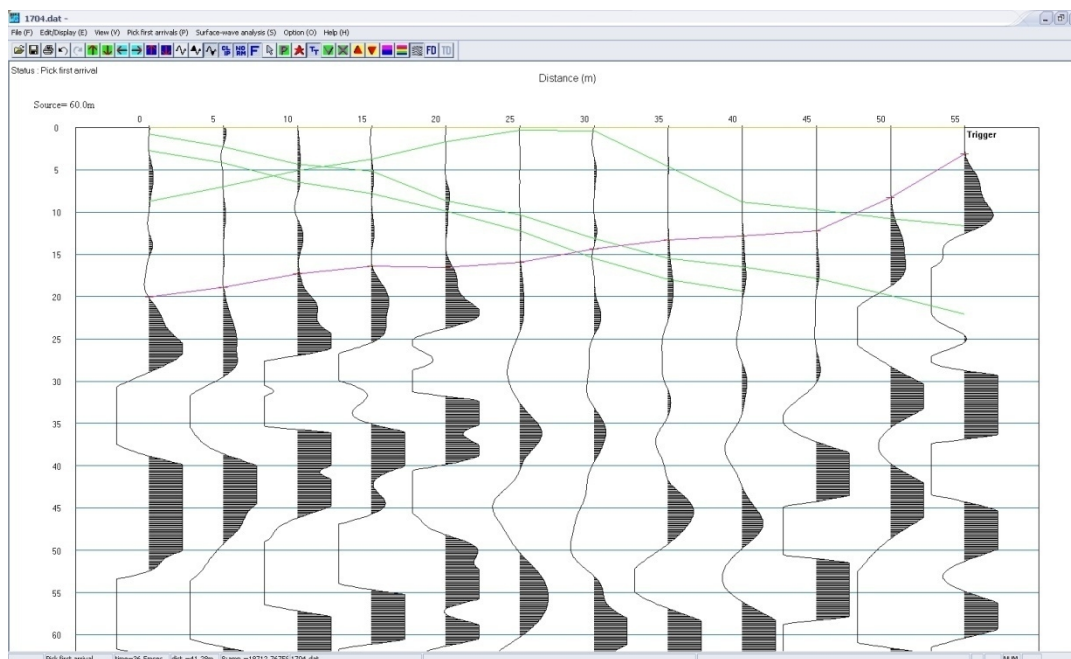
Καταγραφή 1701



Καταγραφή 1702



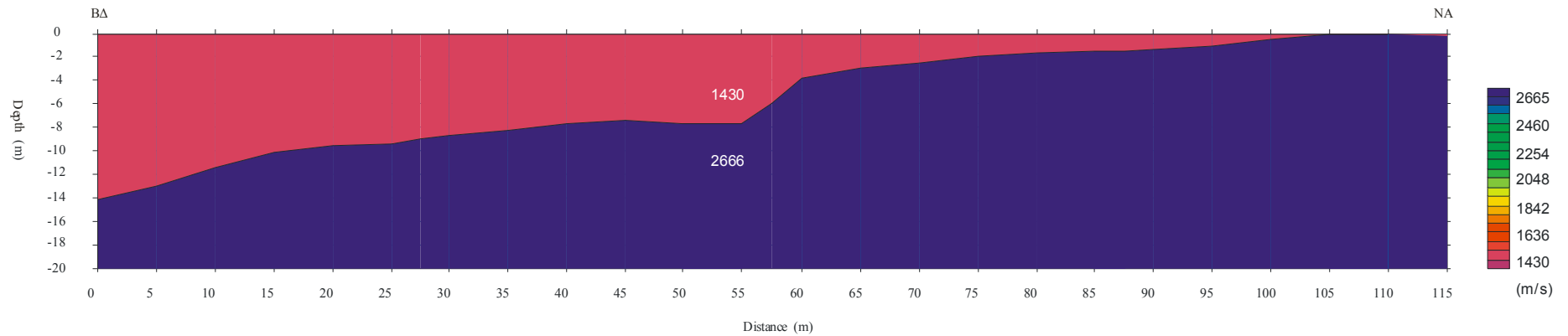
Καταγραφή 1703



Καταγραφή 1704

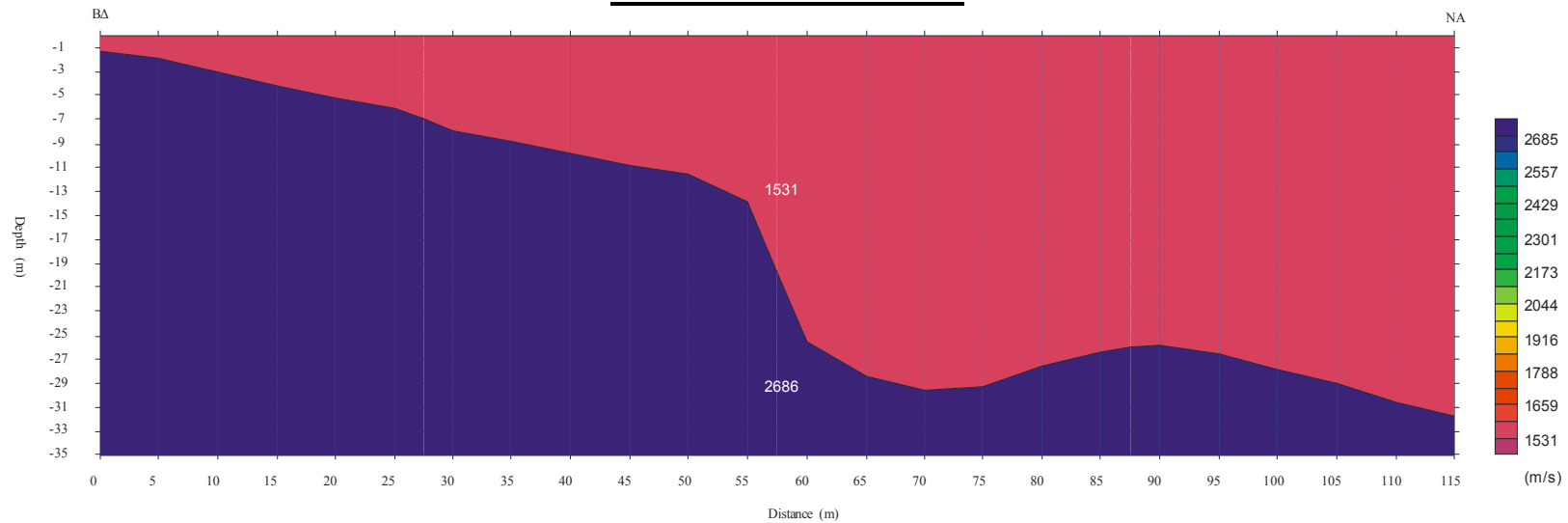
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
ΑΡΧΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΑΘΟΥΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ
ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ Α1



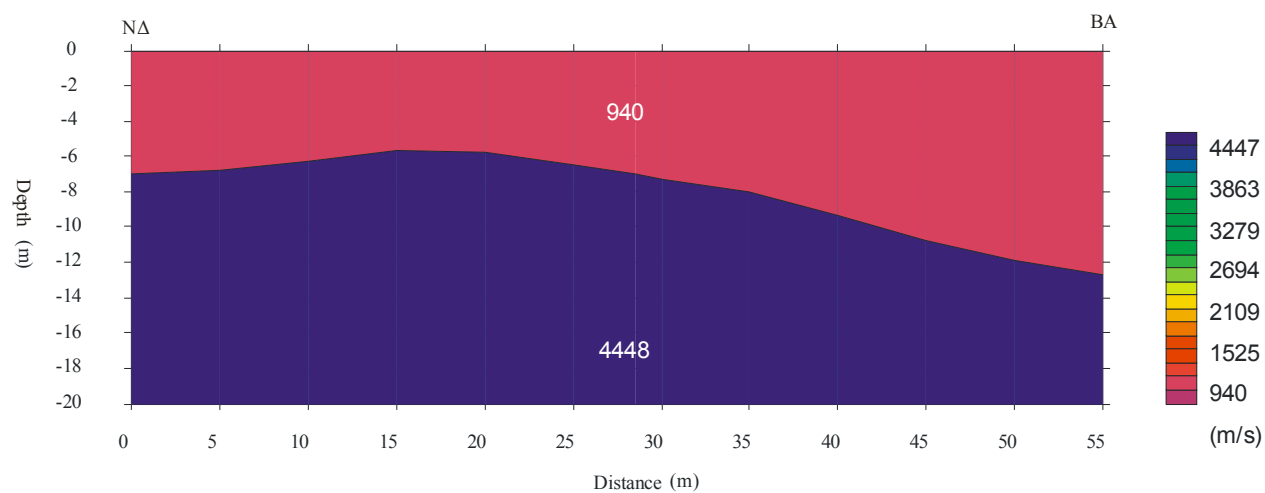
Αρχικό μοντέλο βάθους

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ Α2



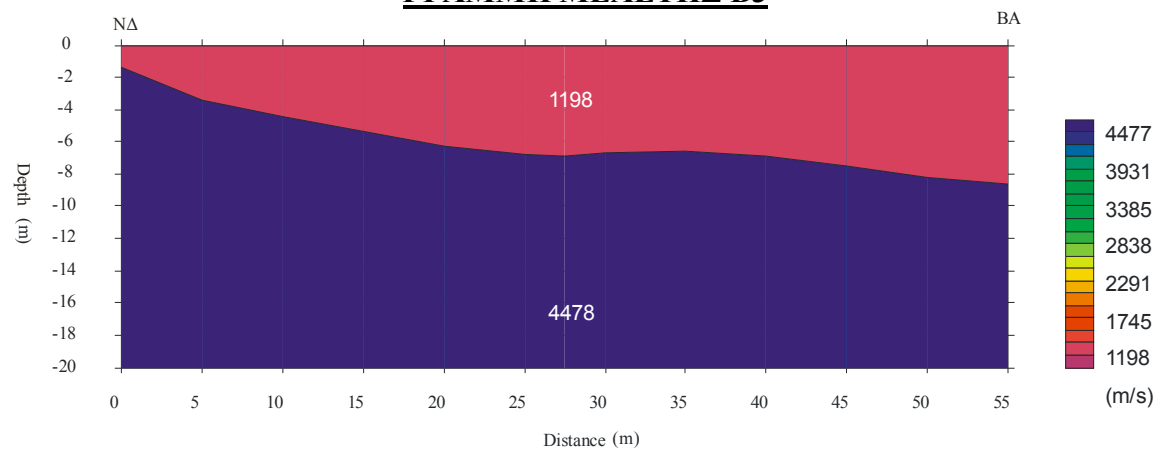
Αρχικό μοντέλο βάθους

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ B2



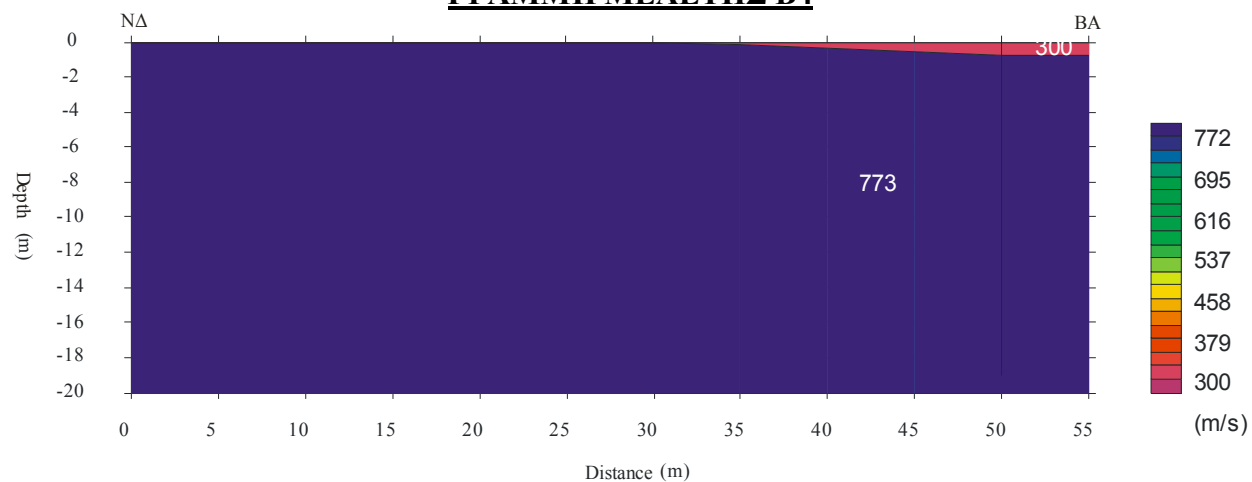
Αρχικό μοντέλο βάθους

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ B3



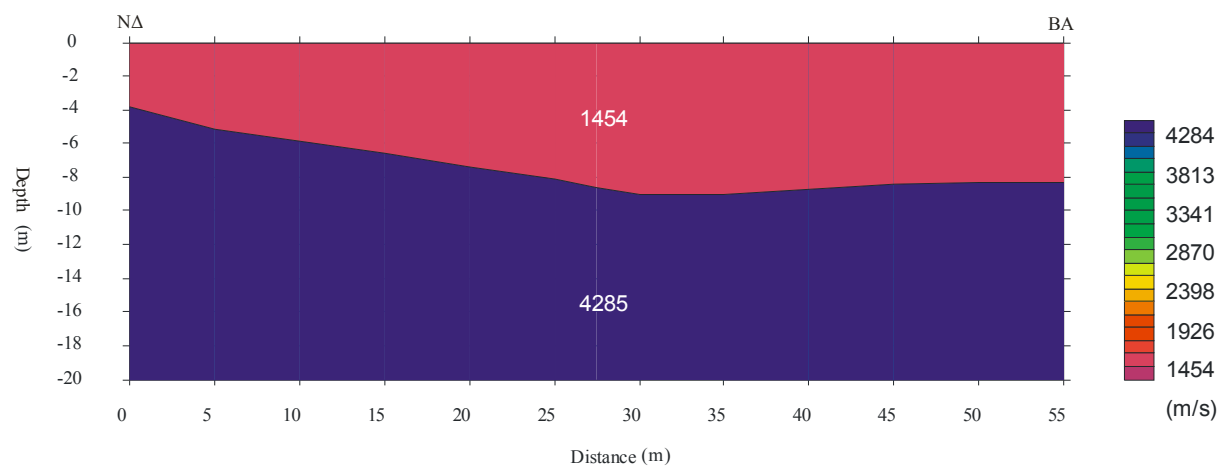
Αρχικό μοντέλο βάθους

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ B4

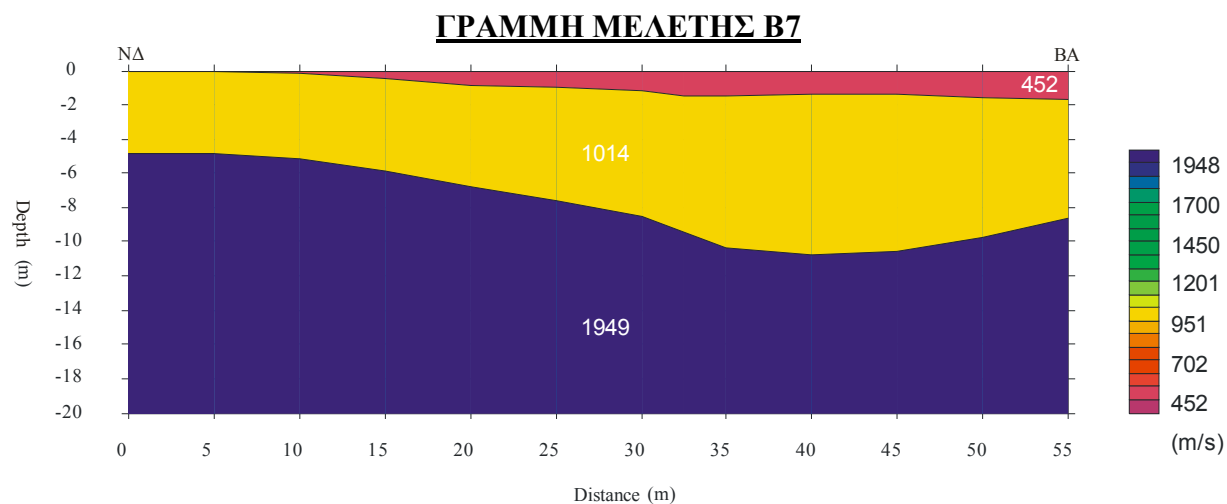


Αρχικό μοντέλο βάθους

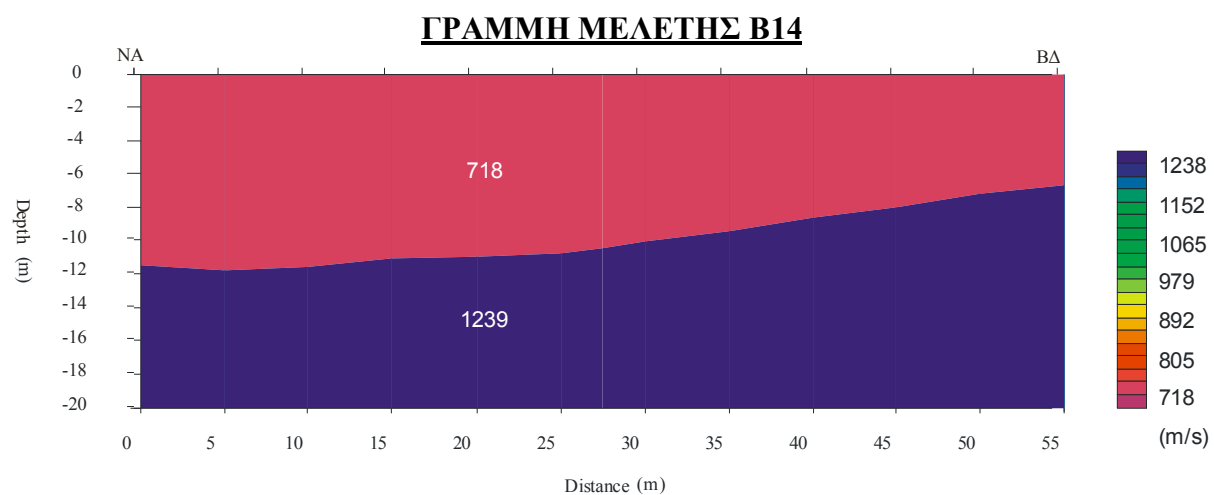
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ B5



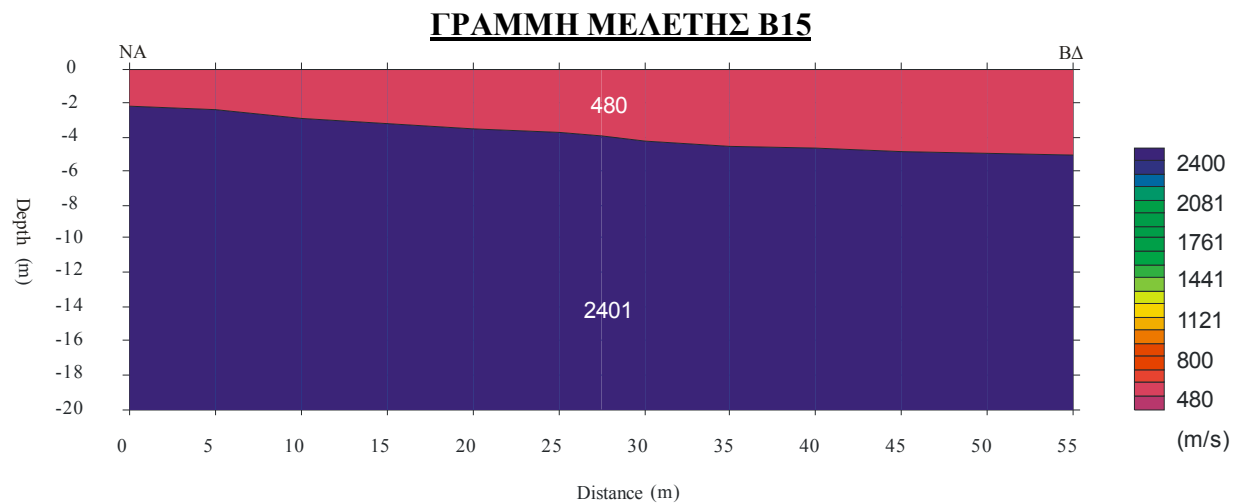
Αρχικό μοντέλο βάθους



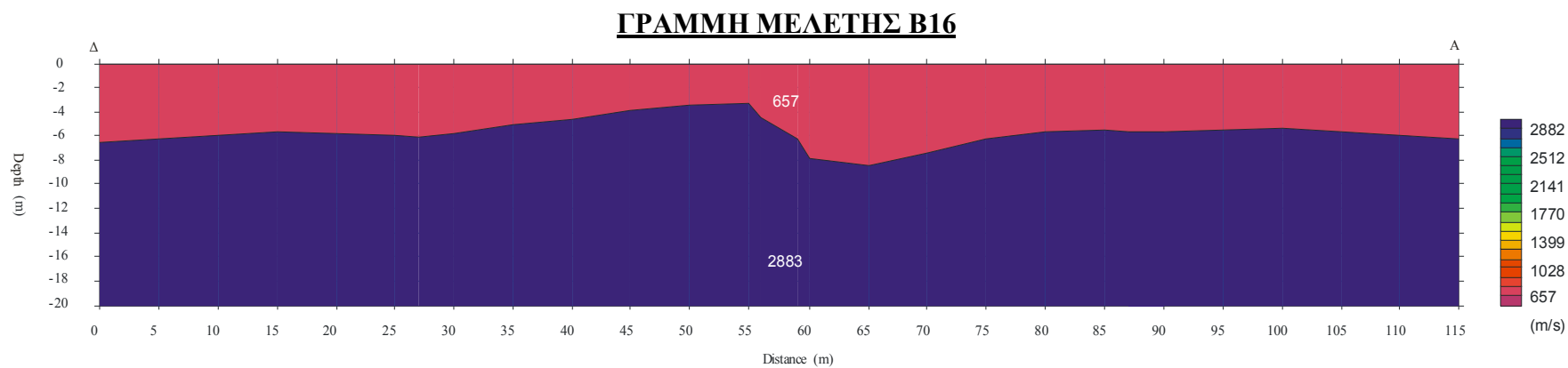
Αρχικό μοντέλο βάθους



Αρχικό μοντέλο βάθους



Αρχικό μοντέλο βάθους



Αρχικό μοντέλο βάθους

