ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΤΟ ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΟΜΑΛΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΣΚΟΥΡΑΣ Κ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΑΝ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ

ΧΑΝΙΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

Αφιερώνεται

Στους γονείς μου, Κωνσταντίνο και Κλάουντια

Στην αδερφή μου Εύα

Στη γιαγιά μου Δήμητρα

Στους φίλους μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Αντώνιο Βαφείδη Καθηγητή και Πρόεδρο του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, τόσο για την ανάθεση του θέματος, όσο και για την άψογη συνεργασία και πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου και τον Λέκτορα κ. Εμμανουήλ Στειακάκη για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή καθώς και τον τελικό έλεγχο και τις σημαντικές παρατηρήσεις που έκαναν επί της εργασίας.

Τέλος πρέπει να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον διδάκτορα Γεώργιο Κρητικάκη και τον υποψήφιο διδάκτορα Νικόλαο Ανδρονικίδη του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Μηχανικούς Ορυκτών Πόρων, για την βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της πραγματοποίησης και της επεξεργασίας των μετρήσεων καθώς και τις υποδείξεις τους κατά τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων της ηλεκτρκής και σεισμικής τομογραφίας, για τη χαρτογράφηση του ανθρακικού υπόβαθρου και τη μελέτη των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών του οροπεδίου Ομαλού Χανίων.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν 2 σεισμικές γραμμές 115m και 7 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας 450m η κάθε μία αντίστοιχα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τον Μάιο του 2009 και τον Οκτώβριο του 2009 στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα μιας δειγματοληπτικής γεώτρησης που είχε ανορυχθεί στην περιοχή (Γεώτρηση 325) και μιας ακόμα γραμμής ηλεκτρικής τομογραφίας (Τ3) που υπήρχε από μετρήσεις πού είχαν γίνει το έτος 2003.

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας με το λογισμικό πακέτο RES2DINV, και της σεισμικής τομογραφίας με το λογισμικό πακέτο SeisImager.

Στη συνέχεια έγινε υπέρθεση της σεισμικής γραμμής 5 με τμήμα της ηλεκτρικής γραμμής 5 και αντίστοιχα για τη γραμμή 7. Επίσης έγινε συνδυασμένη απεικόνιση της ηλεκτρικής γραμμής 1 με την ηλεκτρική γραμμή Τ3 και την γεώτρηση 325.

Τελικά, από συνδυασμό των μετρήσεων αυτών με παλαιότερες προκύπτει ότι το πάχος των προσχώσεων αυξάνεται προς τα ΝΔ της περιοχής μελέτης.

Το βάθος που εμφανίζονται οι ανθρακικοί σχηματισμοί είναι από 40m εώς τα 100m.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γνώση της γεωλογικής δομής μιας περιοχής, αποτελούν αναγκαία και σημαντικά βήματα για τον σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνικών έργων, για τη διερεύνηση γεωτεχνικών προβλημάτων κ.α.

Η επιστήμη της γεωφυσικής, μέσω των γεωφυσικών ερευνών, στοχεύει στη συλλογή πληροφοριών γεωλογικού ενδιαφέροντος και στην αξιοποίησή τους για πρακτικούς σκοπούς. Οι γεωφυσικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί, αποσκοπούν στον χαρακτηρισμό των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους και στην εύρεση των ιδιοτήτων τους.

Ένα από τα κύρια προβλήματα της περιοχής του οροπεδίου του Ομαλού αποτελεί ο καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος. Η εύκολη δίοδος του νερού στα κάρστ έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εκμετάλλευση του για διάφορες χρήσεις όπως άρδευση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή των μεθόδων σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, για τη χαρτογράφηση του ανθρακικού υπόβαθρου και τη μελέτη των επιφανειακών γεωλογικών στρωμάτων για τους γεωλογικούς σχηματισμούς του ΝΑ τμήματος του οροπεδίου του Ομαλού, Νομού Χανίων, θέση στην οποία σχεδιάζεται να κατασκευαστεί λιμνοδεξαμενή.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν 2 σεισμικές γραμμές μήκους 115m και 7 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας μήκους 450m η κάθε μία.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και ερμηνεία των σεισμικών δεδομένων χρησιμοποιώντας το λογισμικό πακέτο SeisImager, ενώ η επεξεργασία των δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας έγινε με το πρόγραμμα RES2DINV.

1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι λιμνοδεξαμενές είναι μικροί ταμιεύτηρες επιφανειακών υδάτων, που κατασκευάζονται είτε μέσα στις κοίτες χειμάρρων (επιποτάμιες), είτε έξω απο αυτές σε φυσικές ή τεχνητές λεκάνες κατάκλυσης (εξωποτάμιες).

Σήμερα με τον όρο <<λιμνοδεξαμενή>> αναφέρονται συνήθως οι εξωποτάμιοι ταμιευτήρες επιφανειακών υδάτων (εξωποτάμια λιμνοδεξαμενή). Πρόκειται για λεκάνες κατάκλυσης, που διαμορφώνονται με εκσκαφές και φράσσονται με ανάχωμα το οποίο κατασκευάζεται σε επιλεγμένη περιοχή με κατάλληλα μορφολογικά χαρακτηριστικά, συνήθως αμφιθεατρκής μορφής.

Πρόκειται για σύνθετα έργα αποτελούμενα από τρία διακριτικά τεχνικά έργα:

- Τον χώρο του ταμιευτήρα που διαμορφώνεται τεχνητά, όπως προαναφέρθηκε.
- Το φράγμα εκτροπής στο χείμαρρο του οποίου θα αξιοποιηθούν οι απορροές.
- Τον αγωγό μεταφοράς του νερού από το φράγμα εκτροπής εώς τον ταμιευτήρα.

Οι εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές κατασκευάζονται έξω από την κοίτη μικρών χειμάρρων ή ποταμών, σε φυσικές συνήθως κοιλότητες του εδάφους που προσφέρονται για αποθήκευση νερού, χωρίς απαραίτητα να εξετάζεται αν το έδαφος είναι διαπερατό ή όχι.

Η φυσική κοιλότητα που επιλέγεται για την κατασκευή της λιμνοδεξαμενής φράσσεται στα τμήματα όπου το φυσικό ανάγλυφο είναι χαμηλότερα από τη στέψη της δεξαμενής, με αναχώματα που κατασκευάζονται από τα υλικά των εκσκαφών διαμόρφωσης της λεκάνης κατάκλυσης.

Ο τρόπος κατασκευής του αναχώματος είναι παρόμοιος με αυτόν των χωμάτινων ή λιθόρριπτων φραγμάτων και ακολουθούνται οι ίδιες προδιαγραφές συμπύκνωσης, στράγγισης και σεισμικής απόκρισης και ελέγχεται με επιτόπου εργαστήριο δοκιμών εδαφομηχανικής. Οι τυχόν εκσκαφές γίνονται για την οριζοντίωση του πυθμένα, αλλά και για τη διαμόρφωση επίπεδων επιφανειών στα πρανή της δεξαμενής ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα της και να είναι στη συνέχεια εύκολη, εφόσον χρειάζεται, η κάλυψή τους με αδιαπέρατη μεμβράνη από πλαστικό (γεωμεμβράνη).

Η γεωμεμβράνη χρησιμοποιείται όταν το έδαφος δεν είναι στεγανό, για την κάλυψη τόσο του πυθμένα όσο και των πρανών. Κατά κανόνα τοποθετείται πάνω σε ένα στρώμα γαιωδών προιόντων της εκσκαφής, κατάλληλης κοκκομετρικής σύνθεσης και στη συνέχεια επικαλύπτεται με ένα στρώμα από τα ίδια υλικά ή αφήνεται ακάλυπτη, αφού αγκυρωθεί με βάρη για την προστασία από τον άνεμο και τον κυματισμό. Έτσι πλέον, η στεγανότητα δεν αποτελεί κυρίαρχο κριτήριο επιλογής μιας θέσης, λόγω ευρείας χρήσης των μεμβρανών.

Το υλικό κατασκευής της μπορεί να είναι πολυμερισμένο πλαστικό όπως το ειδικά επεξεργασμένο PVC (χλωριούχο πολυβινύλιο), ή το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) απλού τύπου ή ενισχυμένου με γεώπλεγμα (διπλή μεμβράνη-COEX).

Λόγω της απλότητας της κατασκευής της η εξωποτάμια λιμνοδεξαμενή είναι οικονομικά συμφέρουσα για εφαρμογή σε μικρής έκτασης αρδευτικά δίκτυα. Από γεωτεχνικής πλευράς η λύση της λιμνοδεξαμενής προσφέρεται για εφαρμογές σε ποικίλες γεωλογικές συνθήκες, ενώ περιβαλλοντικά είναι αποδεκτή λόγω της περιορισμένης ανάγκης εκχέρσωσης περιοχών δανειοθαλάμων και της ασήμαντης επίδρασης στα οικοσυστήματα που υπάρχουν κατά μήκος των ποταμών καθώς και στις κατάντη περιοχές που τυχόν τροφοδοτούνται από τις απορροές του χειμάρρου.

Στις περιοχές που κατασκευάστηκαν λιμνοδεξαμενές άρχισαν να αντιμετωπίζονται με αποτελεσματικό τρόπο οι επικρατούσες συνθήκες απερήμωσης και έκτοτε επικρατεί ένα καθεστώς αναπτυξιακής πνοής. Παράλληλα αναπτύχθηκαν αξιόλογα οικοσυστήματα χλωρίδας και πανίδας στο νέο περιβάλλον , που δημιούργησε η παρουσία του νερού. Έτσι αναβαθμίστηκε και η οικολογική αξία των περιοχών.

Οι <<τεχνητές λίμνες>> που δημιουργήθηκαν μπορούν να αποτελέσουν πόλο έλξης για αναψυχή του ανθρώπινου δυναμικού που διαβιώνει στην ευρύτερη ζώνη, αλλά και για τις επενδύσεις αγρο-τουριστικών μονάδων κλπ.

Έτσι, στις περιοχές αυτές, παρατηρείται σήμερα μια αξιοσημείωτη αναζωγόνηση του κοινωνικού ιστού και αρχίζουν αναπτυξιακές προσπάθειες με νέες δυναμικές. Ήδη διαφαίνεται ότι τα έργα αυτά επιδρούν θετικά σε μια νέα <<τουριστική κατάσταση>> που τείνει να διαμορφωθεί όσον αναφορά στη φυσιολατρία. (Καπλανίδης κ.ά, 2003).

Οι περιπτώσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί γεωφυσικές μέθοδοι για τον σχεδιασμό λιμνοδεξαμενών είναι πολλές (Βαφείδης κ.ά, 2004), (Hudyma et al.,2005).

1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Γεωγραφικά ο Ομαλός βρίσκεται στον Νομό Χανίων. Γενικά πάντως, η γεωλογική τομή των Λευκών Ορέων στην περιοχή του Ομαλού είναι: πετρώματα φυλλιτών-χαλαζιτών, κάλυμμα Τρυπαλίου, τυπικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι του ομώνυμου καλύμματος, (στρώματα Γκιγκίλου και δολομίτης). Συγκεκριμένα η διαδοχή των γεωλογικών σχηματισμών στην περιοχή αυτή από τα ανώτερα προς τα βαθύτερα τμήματα είναι η εξής:

• Επιφανειακά παρατηρούνται σύγχρονες αποθέσεις (al, dl), παράκτιοι άμμοι (al), προσχώσεις (al), κροκαλοπαγή (pl), ασβεστιτικοί ψαμμίτες (pl), κίτρινες ψαμμιτικές μάργες (pl), μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (pl), σαπροπηλοί (M3,M3·M2,M2), πλευρικά κορρήματα (sc).

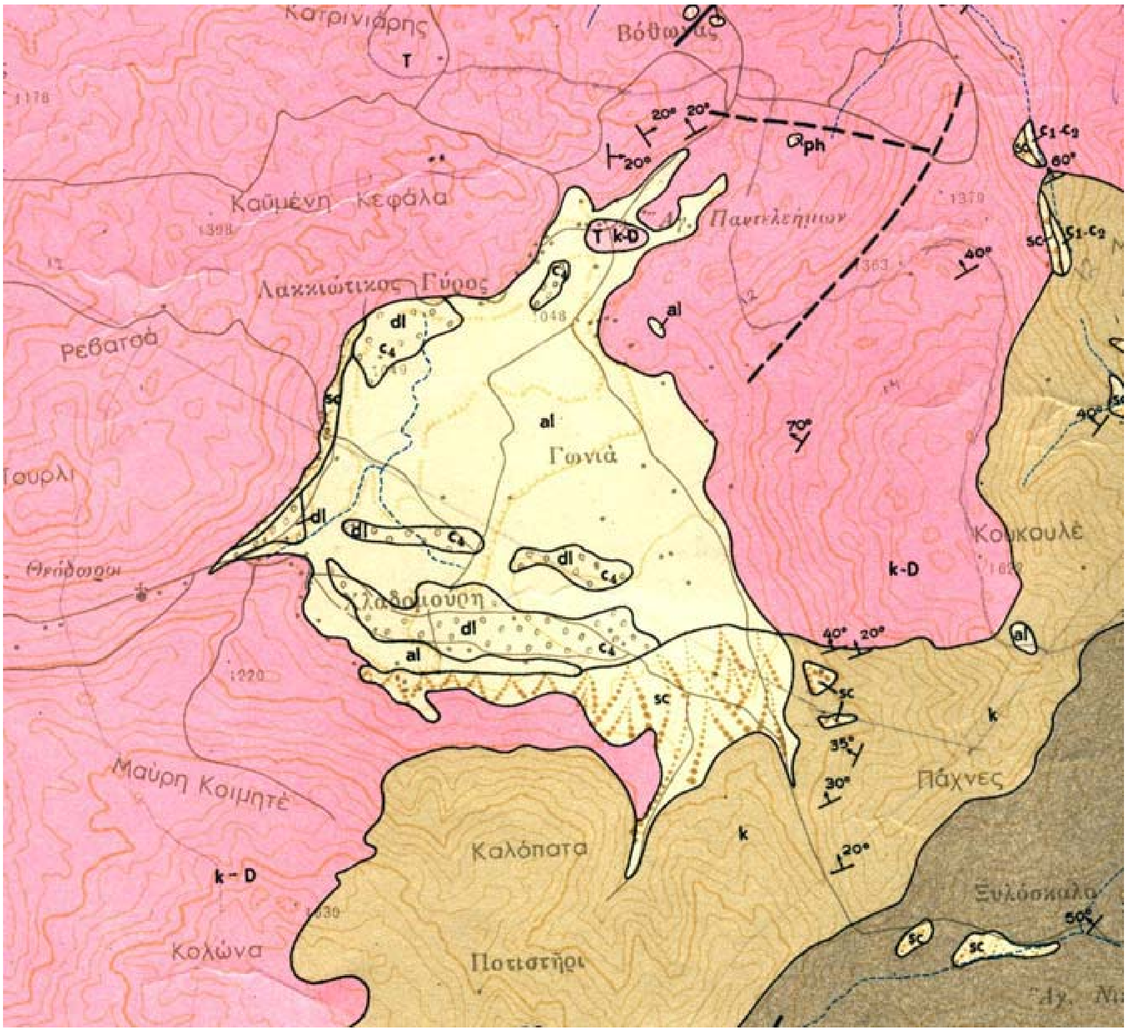
• Ακολουθεί η σειρά των φυλλιτών – χαλαζιτών (ph) η οποία χαρακτηρίζεται από λεπτοστρωματώδεις χαλαζίτες με πιο λεπτές στρώσεις φυλλιτών και αργιλικών σχιστολίθων.

• Την σειρά των φυλλιτών – χαλαζιτών διαδέχεται η Ενότητα Τρυπαλίου (Ks-k). Πρόκειται για μία σειρά από ραουβάκες, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους, των οποίων κύρια χαρακτηριστικά αποτελούν το μελανό ή τεφρομέλανο χρώμα και η βιτουμενιώδης οσμή.

• Σε τεκτονική επαφή με την Ενότητα του Τρυπαλίου είναι ο Μεταφλύσχης των πλακωδών ασβεστόλιθων (T, k-D). Με τον όρο αυτό εννούνται οι φυλλίτες και οι αργιλικοί σχιστόλιθοι οι οποίοι μεταβαίνουν σταδιακά σε πλακώδεις ασβεστόλιθους και οι οποίοι αποτελούν τον μεταμορφωμένο φλύσχη. Στο κατώτερο τμήμα φαίνονται τα μεταβατικά στρώματα που αποτελούνται κυρίως από τεφροπράσινους ή και ερυθρωπούς ασβεστοφυλλίτες.

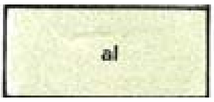
• Ακολουθεί η σειρά των πλακωδών ασβεστόλιθων (PC-k). Πρόκειται για την σειρά κρυσταλλικών ασβεστόλιθων με ενδιάμεσες στρώσεις ή βολβούς από κερατόλιθους. Η λιθολογική ομοιογένεια, η αδιατάραχτη ιζηματογένεση, το πάχος των στρώσεων και άλλα χαρακτηριστικά που παρατηρούνται σε όλες τις εμφανίσεις των πλακωδών ασβεστόλιθων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για πελαγικά ιζήματα.

• Τέλος τα υποκείμενα στρώματα των πλακωδών ασβεστόλιθων (ph-D-k) τα οποία αποτελούνται από φυλλίτες, δολομίτες, μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους, πυριτόλιθους και άργιλους. Διαπιστώνεται μετάβαση των στρωμάτων αυτών και των πλακωδών ασβεστόλιθων κατά γωνιώδη τεκτονική επαφή. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης σειράς αποτελούν οι συχνές εναλλαγές κλαστικών ιζημάτων (άργιλοι, ασβεστοφυλλίτες, ψαμμίτες, μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι).
(Μανούτσογλου κ.ά, 2001).

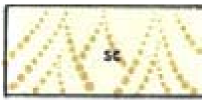


Σχήμα 1.1: *Τμήμα Γεωλογικού χάρτη του Οροπεδίου του Ομαλού (Φύλλο Χάρτου: Βατόλακκος), (Κλίμακα 1:50000)*

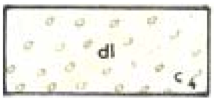
Τεταρτογενές



Σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις

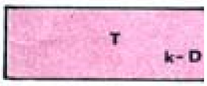


Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων



Μάργες,Ψαμμίτες,κροκαλοπαγή.Εμφανίζονται στις παρυφές της πόλγης του ομαλού,πάνω στους καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους

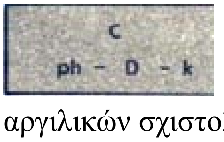
Ενότητα τρυπαλίου



Ασβεστόλιθοι, Δολομίτες

Ομάδα πλακωδών Ασβεστολίθων

Πλακώδεις, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι



Ασβεστόλιθοι,δολομίτες με παρεμβολές χαλαζιακών ψαμμιτών και αργιλικών σχιστολίθων

Στόχος, των γεωφυσικών διασκοπήσεων και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων είναι ο εντοπισμός και χωρικός προσδιορισμός υπόγειων καρστικών μορφών όπως τα υπόγεια σπήλαια και έγκοιλα που μπορούν να οδηγήσουν στο σχηματισμό δολίνων και πολγών.

Ο όρος καρστικοποίηση δείχνει το σύνολο των γεωλογικών διεργασιών που καταστρέφουν ευδιάλυτα πετρώματα, δημιουργώντας έτσι μοναδικά μορφολογικά χαρακτηριστικά, ειδικό τύπο πορώδους, ή συγκεκριμένο υδρογεωλογικό περιβάλλον (Milanovic, 1981). Είναι γεγονός ότι η λέξη καρστ είναι ένας όρος που ενσωματώνει πλήθος γεωλογικών, μορφολογικών, υδρολογικών, υδροχημικών, παλαιογεωγραφικών και άλλων εννοιών, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται ευρύτατα μεν, αλλά να μην εννοούν όλοι οι επιστήμονες που τον χρησιμοποιούν ακριβώς το ίδιο πράγμα.

Οι καρστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από τη γενική απουσία μόνιμης επιφανειακής ροής και την παρουσία ρηχών οπών και κλειστών ταπεινώσεων, την κοινή εμφάνιση σπηλαίων και γενικότερα μεγάλων υπογείων περασμάτων και την ύπαρξη μεγάλων πηγών, συχνά ευρισκόμενων στη βάση της ανθρακικής ακολουθίας. Έτσι, το καρστ είναι ένα επιφανειακό τοπίο, αλλά επίσης και υπόγειο τοπίο και υδροφόρος ορίζοντας.

Αξίζει να σημειωθεί πως η διαδικασία της καρστικοποίησης είναι μια δυναμική διεργασία, χαρακτηριστικά εγγενής των ανθρακικών πετρωμάτων, εξελισσόμενη στο χρόνο μόνο υπό τις κατάλληλες συνθήκες. Αυτή η διαδικασία εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, από την ιστορία του ιζήματος από το οποίο προέρχεται το πέτρωμα και την τεκτονική εξέλιξη του περιβάλλοντος χώρου και του ίδιου του πετρώματος αργότερα, μέχρι τις κλιματικές μεταβολές και τις σύγχρονες ανθρωπογενείς επιδράσεις. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ανθρακικό πέτρωμα είναι «δυνάμει» καρστικό, και ακριβώς η καρστικοποίησή του δείχνει ποιές συνθήκες και με ποιο τρόπο επέδρασαν πάνω του πρίν και κατά την έκθεσή του στον υδρολογικό κύκλο, αλλά και μετά από αυτήν (Ανδρεαδάκης 2003).

Με τον όρο δολίνη εννοούμε κλειστή λεκάνη, σχήματος κυκλικού ή ελλειπτικού και της οποίας το εύρος είναι μεγαλύτερο από το βάθος. Οι διαστάσεις τους είναι δυνατό να κυμαίνονται από μερικά έως εκατοντάδες μέτρα. Ο πυθμένας των δολίνων γενικά είναι επίπεδος και καλύπτεται τόσο αυτός όσο και πολλές φορές τα εσωτερικά πρανή από χημικά ιζήματα προερχόμενα από την χημική διάλυση των ασβεστόλιθων και πολλές φορές αναπτύσσεται και μικρή βλάστηση. Ανάλογα με τον σχηματισμό τους διακρίνονται σε εγκατακρημνισιγενείς, όταν προέρχονται από κατάρρευση της οροφής υπόγειου σπηλαίου και σε χοανοειδείς όταν προέρχονται από χημική διάλυση των πετρωμάτων. Αρχική αιτία σχηματισμού τους αποτελεί η ύπαρξη των διακλάσεων, η οποία σε συνδυασμό με την πυκνότητα αυτών συντελεί και στην εξέλιξη μίας δολίνης. Οι δολίνες εμφανίζονται άλλοτε μεμονωμένες και άλλοτε κατά αποικίες. Πλήθος δολινών εμφανίζεται και στην περιοχή του Ομαλού.

Ο όρος πόλγη αποδίδεται σε μεγάλα καρστικά επίπεδα. Οι πόλγες αποτελούν ευδιάκριτες κλειστές κοιλότητες με σχήμα κυρίως ελλειπτικό και η μεγάλη επιφάνεια τους έχει διαστάσεις που κυμαίνονται από μερικά έως εκατοντάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η πόλγη είναι μικτός σχηματισμός τεκτονικής δράσεως και καρστικής διάβρωσης. Ο αρχικός σχηματισμός οφείλεται σε τεκτονική ρήξη με αποτέλεσμα την επιφανειακή ταπείνωση. Η ταπείνωση αυτή σε ορισμένες περιπτώσεις προέρχεται από κατάρρευση υπόγειων θόλων. Η τελική όμως διαμόρφωση οφείλεται στην καρστική διάβρωση. Επίσης ο σχηματισμός μίας πόλγης μπορεί να οφείλεται και στην προοδευτική αύξηση και συνένωση δολίνων.

Χαρακτηριστική πόλγη ανάλογης προέλευσης είναι αυτή που παρατηρείται στο οροπέδιο του Ομαλού. Η κατακόρυφη κάθοδος στο εσωτερικό των ασβεστολιθικών μαζών των φυσικών υδάτων γίνεται κατά κύριο λόγο μέσω των επιφανειών διακλάσεως και των επιφανειών διαστρώσεων των ασβεστόλιθων. Με τον τρόπο αυτό το κατεισδύον νερό συνέχεια διευρύνει τις αποστάσεις των παραπάνω επιφανειών σχηματίζοντας τα έγκοιλα.

Τα σπήλαια είναι υπόγεια έγκοιλα μεγάλων σχετικά διαστάσεων, επικοινωνούν με στόμια και αναπτύσσονται κυρίως σε ασβεστολιθικές μάζες. Σχηματίζονται στο εσωτερικό της ασβεστολιθικής μάζας κατά τον ίδιο τρόπο όπως και τα υπόγεια έγκοιλα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

2.1.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

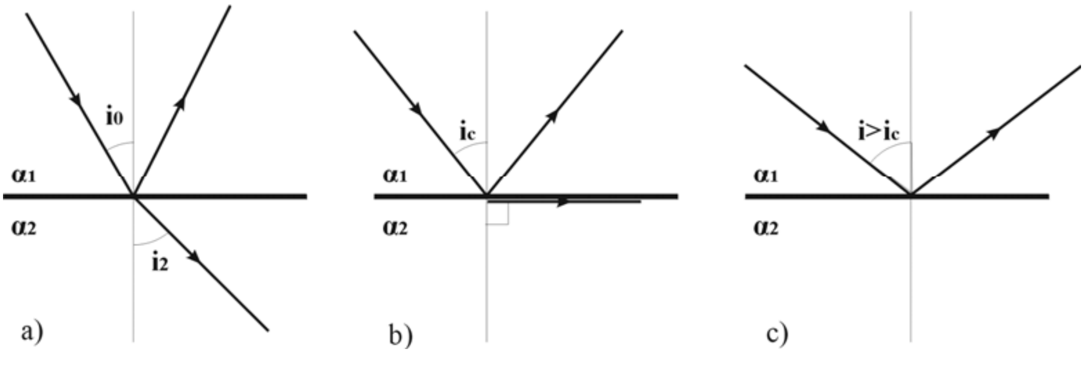
Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας (σχήμα 2.1a). Η γωνία πρόσπτωσης, i_o, η γωνία διάθλασης i_2, και οι ταχύτητες V_1 και V_2 στα δύο επιφανειακά στρώματα συνδέονται μέσω του νόμου του Snell :

$$p = \frac{\sin(i_0)}{V_1} = \frac{\sin(i_2)}{V_2} \tag{2.1}$$

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 2.1b). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής:

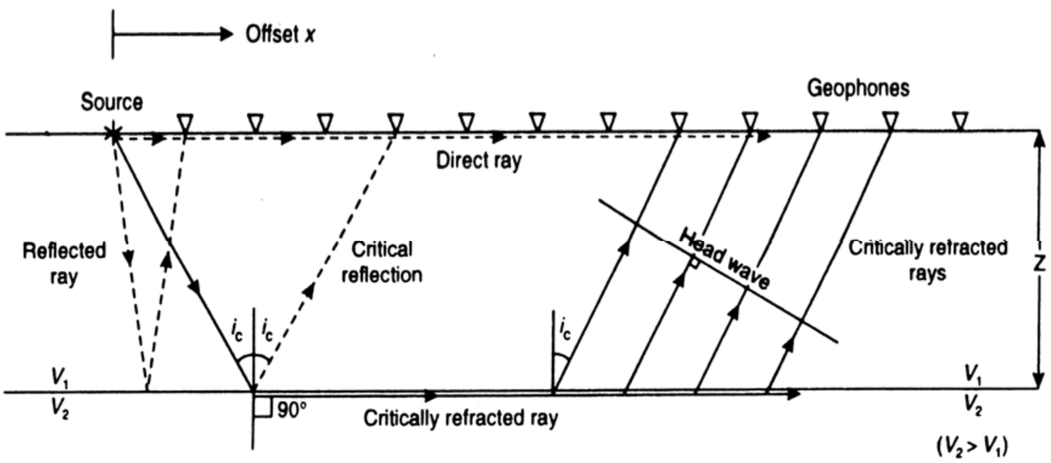
$$\sin(i_c) = \frac{V_1}{V_2} \tag{2.2}$$

Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση (Σχήμα 2.1c). Βέβαια, θα πρέπει να σημειωθεί ότι βασική προϋπόθεση δημιουργίας ορικά διαθλώμενων κυμάτων είναι ότι οι ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων θα πρέπει να αυξάνουν από τους ρηχότερους στους βαθύτερους σχηματισμούς.



Σχήμα 2.1*: 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.*

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. 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 2.2*: Σχηματική παράσταση της δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Reynolds, 1997).*

Η γωνία των αναδυόμενων προς την επιφάνεια σεισμικών ακτίνων με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι ίση με την ορική γωνία. Αυτά τα αναδυόμενα σεισμικά κύματα ονομάζονται μετωπικά κύματα.Τα σεισμικά κύματα που καταγράφονται πρώτα (πρώτες αφίξεις) στις θέσεις των γεωφώνων είναι τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα. Τα απευθείας κύματα καταγράφονται πρώτα στα γεώφωνα, που βρίσκονται μέχρι ορισμένη απόσταση από το σημείο δημιουργίας της σεισμικής δόνησης, ενώ τα μετωπικά κύματα καταγράφονται ως πρώτες αφίξεις στα μακρύτερα από την πηγή γεώφωνα.

Μελετώντας τις πρώτες αφίξεις (απευθείας και μετωπικά) είναι δυνατό να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με το πάχος των σχηματισμών του υπεδάφους και την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σ'αυτούς. (Βαφείδης 1993).

2.1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται γενικά για μετρήσεις στην ύπαιθρο περιλάμβανει:

• Σεισμογράφο 24 καναλιών ES2401 της EG&G Geometrics ©.

• 24 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας ιδιοσυχνότητας 14 Hz της Mark Products ©.

• Μία μπαταρία 12 Volt για την τροφοδοσία του σεισμογράφου.

• Ένα καλώδιο σύνδεσης μπαταρίας - σεισμογράφου.

• Δύο καλώδια με 12 απολήξεις το καθένα ανά 10 m για την σύνδεση των γεωφώνων με το σεισμογράφο.

• Μία βαριοπούλα 8 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.

• Δύο μεγάλα καρούλια για τα καλώδια των γεωφώνων και ένα μικρότερο για το καλώδιο της πηγής.

• Δύο μετροταινίες των 50 m και μία των 30 m.

• Σιδερένιοι πάσσαλοι για την οριοθέτηση της γραμμής μελέτης.

• Σπρέι χρώματος κόκκινου.

• Μαγνητικές δισκέτες για την αποθήκευση των καταγραφών.

Συλλογή Δεδομένων

Κατά την εκτέλεση των εργασιών πεδίου για την απόκτηση πρώτων αφίξεων (μέθοδος σεισμικής διάθλασης) συνήθως ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. Οριοθετείται το πρώτο σημείο της γραμμής μελέτης και με την βοήθεια των μετροταινιών οριοθετείται και το επόμενο σημείο του αναπτύγματος της γραμμής μελέτης σε απόσταση 60 m από το πρώτο.
2. Τοποθετούνται τα διαθέσιμα γεώφωνα σε ισαποστάσεις μεταξύ τους οριοθετόντας ένα ανάπτυγμα γεωφώνων.
3. Απλώνονται τα καλώδια των γεωφώνων φροντίζοντας να υπάρχει μία απόληξη σε κάθε θέση γεωφώνου και συνδέονται τα γεώφωνα με τις απολήξεις αυτές. Η μία άκρη των καλωδίων αυτών συνδέεται με το σεισμογράφο συνήθως στην αρχή ή στο τέλος του αναπτύγματος των γεωφώνων.
4. Τοποθετείται η σιδερένια πλάκα σε μια προεπιλεγμένη θέση πάνω στη γραμμή μελέτης και συνδέεται ο μηχανισμός με τον σεισμογράφο, μέσω του καλωδίου της πηγής.
5. Η βαριοπούλα κρούεται πάνω στην πλάκα και ο σεισμογράφος αρχίζει αυτόματα να καταγράφει (καταγραφή κοινής πηγής – shot gather) τις εδαφικές ταλαντώσεις που ανιχνεύουν τα γεώφωνα.
6. Η καταγραφή αυτή αποθηκεύεται και η διαδικασία 4 και 5 επαναλαμβάνεται σε άλλη προεπιλεγμένη θέση πάνω στη γραμμή μελέτης. Οι θέσεις των πηγών σε μια γραμμή μελέτης τοποθετούνται εκατέρωθεν των ακραίων γεωφώνων (διπλό πείραμα) και συνήθως ανάμεσα στο ανάπτυγα των γεωφώνων.

Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι αφενός για να είναι δυνατός ο χαρακτηρισμός δομών, και αφετέρου για να πραγματοποιηθεί η δειγματοληψία κεκλιμένων διαχωριστικών επιφανειών από όσο το δυνατόν περισσότερα γεώφωνα

7. Η διαδικασία 1 έως 6 επαναλαμβάνεται για το επόμενο ανάπτυγμα της γραμμής μελέτης με τη διαφορά ότι το πρώτο σημείο του δεύτερου αναπτύγματος αποτελεί το τελευταίο σημείο του πρώτου. Επίσης, λαμβάνεται μέριμνα ώστε τα αναπτύγματα των γραμμών μελέτης να οριοθετούνται σε ευθεία.

2.1.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σεισμική τομογραφία:

Για την επεξεργασία των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης ακολουθείται η εξής διαδικασία:

• Εισαγωγή των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης.

• Διαμόρφωση της γεωμετρίας των δεδομένων.

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

• Επεξεργασία των πρώτων αφίξεων.

• Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων.

• Αντιστροφή.

• Προσδιορισμός των σεισμικών ταχυτήτων και του μοντέλου βάθους (σεισμικές τομές).

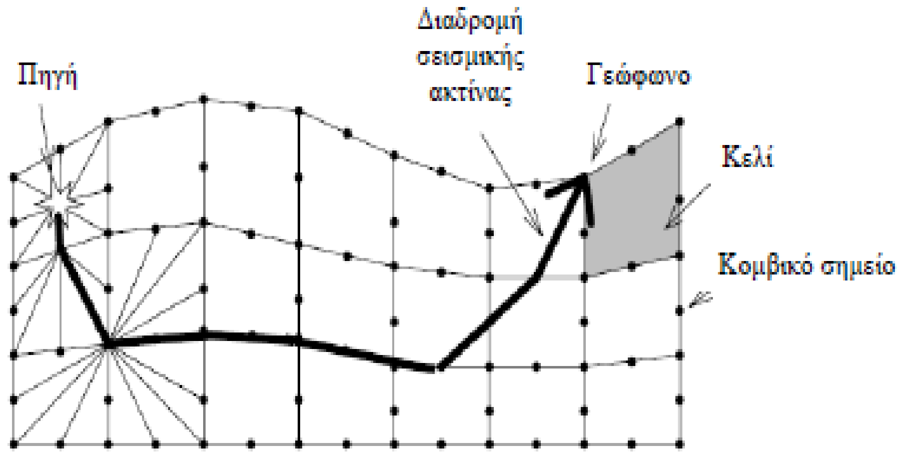
Πάνω στο αρχικό μοντέλο ταχυτήτων, σχεδιάζονται επαναληπτικά οι διαθλώμενες σεισμικές ακτίνες και υπολογίζεται ο χρόνος διαδρομής για κάθε τέτοια ακτίνα, με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα που προκύπτει, μεταξύ των χρόνων διαδρομής που παρατηρούνται και αυτών που υπολογίζονται.

Η διαδικασία εύρεσης του ελάχιστου χρόνου διαδρομής του κύματος, από την πηγή στο γεώφωνο, για κάθε ζεύγος πηγής – γεωφώνου (ευθύ πρόβλημα) ακολουθεί τα εξής βήματα:

• Το αρχικό μοντέλο ταχυτήτων χωρίζεται σε περιοχές-κελιά (cells) σταθερής ταχύτητας.

• Καθορίζεται η τιμή των παρακάτω παραμέτρων: αριθμός των επαναλήψεων,αριθμός των κομβικών σημείων (nodes) που βρίσκονται κατά μήκος των πλευρών του κελιού και όχι στις γωνίες, εξομάλυνση κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, μέγιστη και ελάχιστη ταχύτητα.

• Σχεδιάζονται οι πιθανές διαδρομές των σεισμικών ακτίνων από την πηγή στα γεώφωνα. Τα σημεία τομής της ακτίνας με το κελί, ονομάζονται κομβικά σημεία. Η ακρίβεια προσδιορισμού της διαδρομής κάθε σεισμικής ακτίνας αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των κόμβων.



Σχήμα 2.3: *Παράδειγμα σχεδιασμού μιας σεισμικής ακτίνας στο αρχικό μοντέλο ταχυτήτων*

Οι ταχύτητες του αρχικού μοντέλου τροποποιούνται επαναληπτικά, μέχρι να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ των χρόνων διαδρομής που παρατηρήθηκαν και αυτών που υπολογίζονται

Όσες περισσότερες είναι οι επαναλήψεις, τόσο πιο αξιόπιστο είναι το τελικό μοντέλο. Οι υπολογιζόμενοι χρόνοι διαδρομής, απεικονίζονται στο δρομοχρονικό διάγραμμα και συγκρίνονται με αυτούς που παρατηρήθηκαν. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αποθηκεύονται για περαιτέρω επεξεργασία.

Οι καταγραφές των σεισμικών δεδομένων (καταγραφές κοινής πηγής shot gather) αποτελούνται από σεισμογράμματα, στα οποία απεικονίζεται για κάθε κανάλι του σεισμογράφου (που αντιστοιχεί σε ένα γεώφωνο) η εδαφική ταλάντωση σε συνάρτηση με το χρόνο. Μια τέτοια καταγραφή με την θέση της πηγής να βρίσκεται 2.5m πρίν από το πρώτο γεώφωνο απεικονίζεται στο σχήμα 2.5.
Η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του λογισμικού SeisImager της OYO Corporation. Τα προγράμματα επεξεργασίας (PickWin, PlotRefa) αποτελούν εφαρμογές του λογισμικού SeisImager.

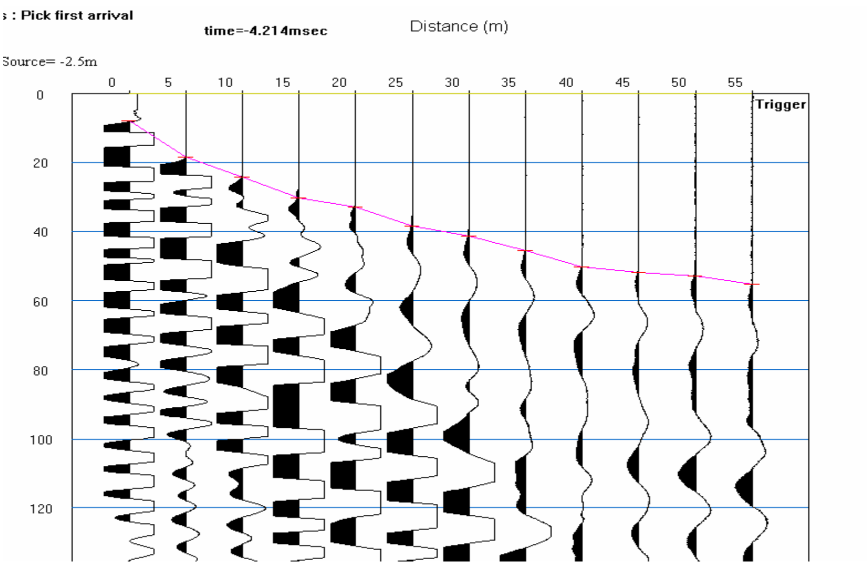
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Επιλογή των πρώτων αφίξεων

- Δημιουργία των δρομοχρονικών διαγραμμάτων
- Δημιουργία αρχικού μοντέλου ταχυτήτων
- Υπολογισμός της σεισμικής τομής

Επιλογή πρώτων αφίξεων

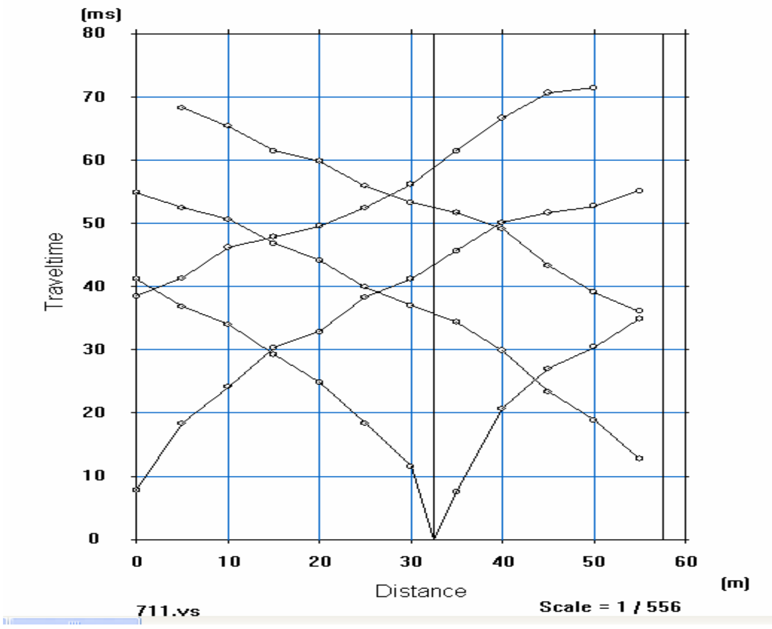
Η επιλογή των πρώτων αφίξεων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό PICKWIN95 της OYO Corporation και περιλαμβάνει τον καθορισμό της χρονικής στιγμής όπου το έδαφος αρχίζει να ταλαντώνεται σε κάθε γεώφωνο. Στο σχήμα 2.4 με ρόζ γραμμή ενώνονται οι επιλεγμένες πρώτες αφίξεις.



Σχήμα 2.4: *Καταγραφή κοινής πηγής και επιλογή των πρώτων αφίξεων*

Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων

Γνωρίζοντας την απόσταση του κάθε γεωφώνου από την πηγή είναι δυνατό να κατασκευαστεί ένα διάγραμμα πρώτων αφίξεων συναρτήσει της απόστασης από την σεισμική πηγή (δρομοχρονικό διάγραμμα) (σχήμα 2.5). Στο διάγραμμα αυτό εντοπίζονται οι πρώτες αφίξεις από τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα από κάθε διεπιφάνεια με τη βοήθεια του λογισμικού PLOTREFA της OYO Corporation και αντιστοιχούνται σε εδαφικά στρώματα.

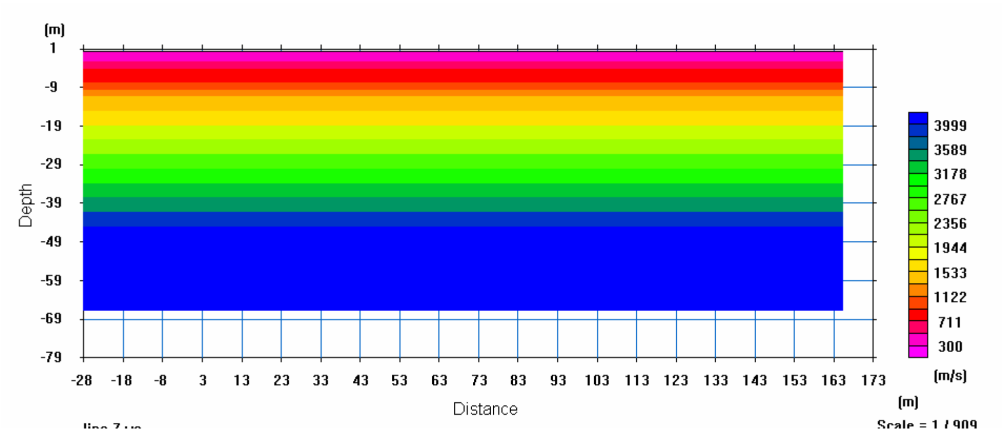


Σχήμα 2.5: *Δρομοχρονικό διάγραμμα*

Δημιουργία αρχικού μοντέλου ταχυτήτων

Η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας βασίζεται σε αρχικό μοντέλο ταχυτήτων, το οποίο είτε δημιουργείται με τη μέθοδο αντιστροφής των χρόνων καθυστέρησης, είτε κατασκευάζεται βάσει ορισμένων παραμέτρων (ελάχιστη και μέγιστη σεισμική ταχύτητα, αριθμός στρωμάτων, βάθος, υψόμετρο). Χρησιμοποιείται όταν η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων μεταβάλλεται βαθμιαία, όταν είναι γνωστή η ύπαρξη πλευρικής μεταβολής της ταχύτητας και σε περιπτώσεις έντονου αναγλύφου.

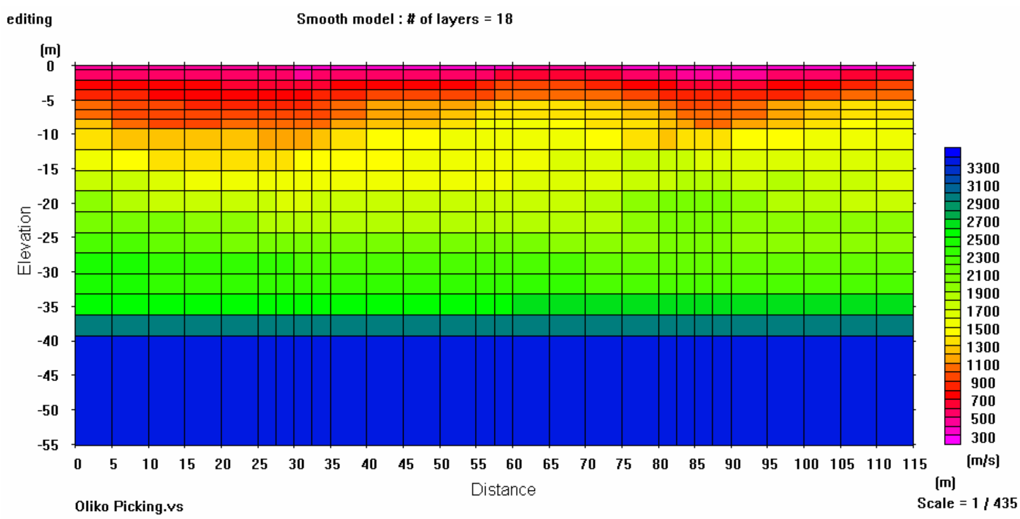
Σε αυτή την διπλωματική εργασία έγινε χρήση του οριζόντιου στρωματωμένου μέσου όπου θεωρείται ότι δεν υπάρχει a-priori γνώση των παραμέτρων του μοντέλου (μέγιστο βάθος ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων) και επομένως χρησιμοποιούνται ως δεδομένα οι χρόνοι πρώτων αφίξεων.



Σχήμα 2.6: *Αρχικό μοντέλο με τη χρήση του οριζόντια στρωματωμένου μέσου*

Προσδιορισμός μοντέλου βάθους

Σε αυτο το μοντέλο παρατηρείται η ύπαρξη τρειών στρωμάτων, ενός επιφανειακού κόκκινο χρώμα ενός μεσαίου που φτάνει ως και το πράσινο χρώμα και ενός τρίτου με μπλέ χρώμα.



Σχήμα 2.7: *Προσδιορισμός του τελικού μοντέλου ταχυτήτων*

2.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

2.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

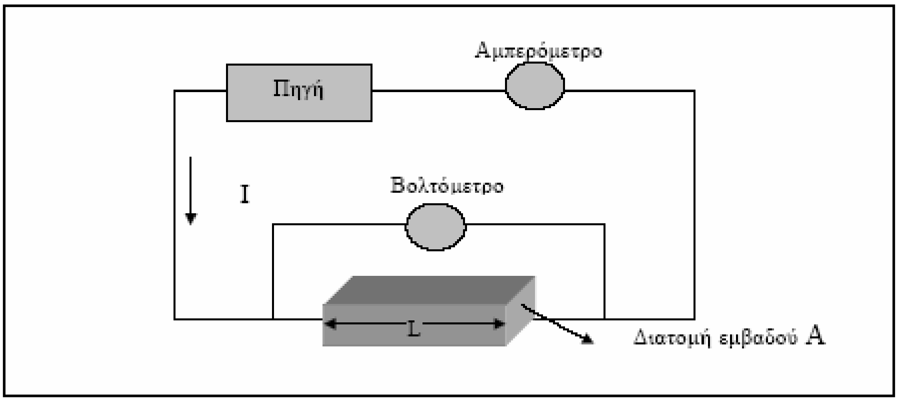
Είναι μια από τις πιο σημαντικές μεθόδους της γεωφυσικής διασκόπησης. Με τη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης παράγεται στο έδαφος με τεχνητό τρόπο ηλεκτρικό πεδίο. Οι ιδιότητες του πεδίου διαμορφώνονται από τη δομή του υπεδάφους. Συνεπώς ο καθορισμός των ιδιοτήτων του πεδίου οδηγεί στον καθορισμό της δομής του υπεδάφους. Η ποσότητα που μετριέται είναι η ηλεκτρική τάση και τελικός σκοπός είναι ο εντοπισμός δομών, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετική ειδική ηλεκτρική αντίσταση από τα περιβάλλοντα πετρώματα. Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στον νόμο που διατύπωσε το 1827 ο George Simon Ohm (Robinson, 1988), σύμφωνα με τον οποίο αντίσταση R (σε Ohm) ενός αγωγού ονομάζεται ο σταθερός λόγος της διαφοράς δυναμικού ΔV (σε Volt) που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού, προς την ένταση I (σε Ampere) του ρεύματος που διαρρέει των αγωγό.

$$R = \frac{\Delta V}{I} \tag{2.3}$$

Η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος L του αγωγού, αντιστρόφως ανάλογη με το εμβαδόν A της τομής του αγωγού και εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του (σχήμα 2.8).

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{2.4}$$

όπου ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού



Σχήμα 2.8*: Ηλεκτρικό κύκλωμα αποτελούμενο από πηγή και αγωγό σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου*

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι το 1 Ωm. Πολλές φορές όμως χρησιμοποιείται και η μονάδα 1Ωcm και είναι 1 Ωm = 100 Ωcm. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών. Οι τιμές της κυμαίνονται από 10^{-6} Ωm σε ορισμένα ορυκτά όπως είναι ο γραφίτης, μέχρι 10^{15} Ωm σε ορισμένα ξηρά χαλαζιακά πετρώματα. Τα πετρώματα και τα ορυκτά που έχουν ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ 10^{-6} και 10^{-1} Ωm χαρακτηρίζονται ως καλοί αγωγοί, ενώ κακοί αγωγοί θεωρούνται αυτά που έχουν ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ 10^{8} και 10^{15} Ωm.

Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εδάφους συνδεμένα 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 τη σχέση (2.5) από το γινόμενο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ με τον λόγο της ακτίνας d προς το εμβαδόν $2\pi d^2$ της ημισφαιρικής επιφάνειας.

$$R = \rho \frac{d}{2\pi d^2} = \frac{\rho}{2\pi d} \tag{2.5}$$

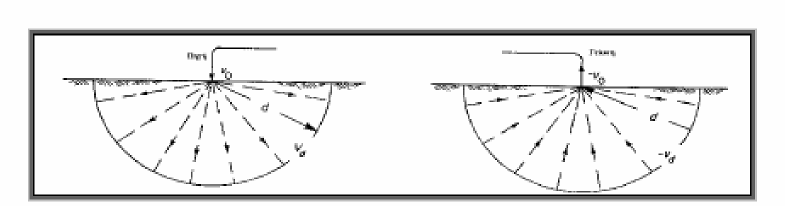
Η διαφορά ΔV_d του δυναμικού V_0 της πηγής από το δυναμικό V_d όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από την πηγή που προκαλείται από τη ροή ρεύματος, έντασης I, μέσα από την ημισφαιρική δομή είναι:

$$\Delta V_d = V_d - V_0 = IR = \frac{I\rho}{2\pi d} \tag{2.6}$$

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 (2.5). 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:

$$-\Delta V_d = -V_d - (-V_0) = V_0 - V_d = -IR = -\frac{I\rho}{2\pi d} \tag{2.7}$$

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 2.9). Οι γραμμές ρεύματος είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες.



Σχήμα 2.9: *Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομοιογενή και ισότροπη γη στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων (Γκανιάτσος 2000, Σούρλας 2000)*

Φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Στην περίπτωση όμως που το υπέδαφος είναι ανομοιογενές, όπως στην πραγματικότητα συμβαίνει, η τιμή του ρ μπορεί να υπολογιστεί μετρώντας τις ποσότητες που περιλαμβάνει το μέλος αυτό, αλλά δε θα είναι σταθερή. Η τιμή αυτή θα εξαρτάται όχι μόνο από τη δομή του υπεδάφους, αλλά και από τη διάταξη των ηλεκτροδίων, επομένως δεν εκφράζει πια την πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση, αλλά μία φυσικώς ανύπαρκτη ποσότητα, η οποία ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση και συμβολίζεται ρ_α. Η φαινόμενη αντίσταση αν και είναι ενδεικτική των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων του υπεδάφους, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή των.

Η σχέση που δίνει την φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι:

$$\rho_\alpha = K\frac{\Delta V}{I} \tag{2.8}$$

όπου $K = 2\pi\left(\frac{1}{\mathrm{AM}} - \frac{1}{\mathrm{BM}} - \frac{1}{\mathrm{AN}} + \frac{1}{\mathrm{BN}}\right)^{-1}$ είναι ο γεωμετρικός συντελεστής

2.2.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Διάταξη ηλεκτροδίων

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή των δεδομένων στην ηλεκτρική τομογραφία ειναι η Wenner-Schlumberger όπου περιγράφεται παρακάτω η διάταξη της:

α) Διάταξη Wenner:

Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, AM = MN = NB = α, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.10 , έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_α θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$Pa = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\alpha}\right)^{-1} = 2\pi\alpha \frac{V_{MN}}{I} \qquad (2.9)$$

Η ποσότητα $$2\pi\left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\alpha}\right) = 2\pi\alpha \qquad (2.10)$$

ονομάζεται γεωμετρικός συντελεστής και συμβολίζεται με Κ. Η τιμή του μπορεί να υπολογιστεί αν οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι γνωστές. Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται κέντρο της διασκόπησης. Στην περίπτωση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης, το α παραμένει σταθερό και τα τέσσερα ηλεκτρόδια μεταφέρονται κατά μήκος γραμμής μελέτης. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χαρτογραφείται στο κέντρο κάθε διάταξης. Η διάταξη Wenner παρά τη γεωμετρική της απλότητα παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, αφού κατά την πραγματοποίηση κάθε νέας μέτρησης πρέπει να μετακινούνται όλα τα ηλεκτρόδια.

β) Διάταξη Schlumberger:

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος Α και Β βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού Μ και Ν είναι ανάμεσα στα Α και Β και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης. Έτσι είναι AB = 2L και MN = 2b (σχήμα 2.10), η απόσταση 2b μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση 2L μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Έτσι ο γεωμετρικός συντελεστής K υπολογίζεται από την σχέση:

$$\mathrm{K} = 2\pi\left(\frac{1}{L-b} - \frac{1}{L+b} - \frac{1}{L+b} + \frac{1}{L-b}\right)^{-1} = \left(L^2 - b^2\right)\frac{\pi}{2b} \qquad (2.11)$$

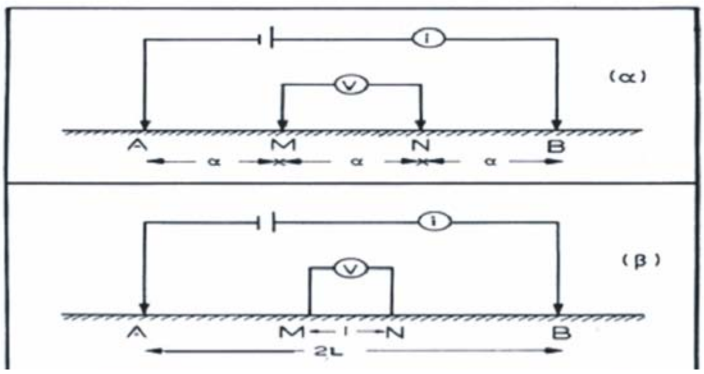
Επειδή όμως (L>>b) τότε (L^2-b^2)~L^2 , και έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_\alpha = \frac{\pi L^2}{2b}\frac{\Delta V}{i} \qquad (2.12)$$

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Schlumberger για ηλεκτρική βυθοσκόπηση , τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά Αντίθετα η απόσταση για τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά. Αντίθετα η απόσταση για τα ηλεκτρόδια ρεύματος αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης.

Στην ηλεκτρική χαρτογράφηση τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται κατά μήκος ορισμένης τομής , ενώ η απόσταση τους παραμένει σταθερή όπως και στη διάταξη Wenner.

Η διάταξη Schlumberger είναι η πιό διαδεδομένη διάταξη. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό χρόνο πραγματοποίησης των μετρήσεων , επειδή αντίθετα με τις άλλες διατάξεις απαιτεί μετακίνηση μόνο των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος κατά την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού παραμένουν σταθερά , γεγονός που βοηθάει επίσης στον περιορισμό των πιθανοτήτων ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε τοπικές γεωλογικές ασυνέχειες.



Σχήμα 2.10: *Διατάξη Wenner(α), Schlumberger(β)*

Εξοπλισμός

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:

1. Δύο καρούλια το καθένα με καλώδιο των 500m για την ανάπτυξη της γραμμής ηλεκτροδίων ρεύματος AB.
2. Δύο καλώδια για τη σύνδεση των ηλεκτροδίων δυναμικού.
3. Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού είναι απλές ανοξείδωτοι ράβδοι από χάλυβα.
4. Ακόντια και σημαίες για τη σήμανση της γραμμής ανάπτυξης των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού.
5. Πολύμετρο για τη μέτρηση της αντίστασης επαφής του συστήματος "ηλεκτρόδιο - γη".
6. Πυξίδα για το προσανατολισμό της γραμμής μελέτης.
7. Δοχεία μεταφοράς αλατούχου ύδατος για τη βελτίωση επαφής του συστήματος "ηλεκτρόδιο - γη".
8. 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

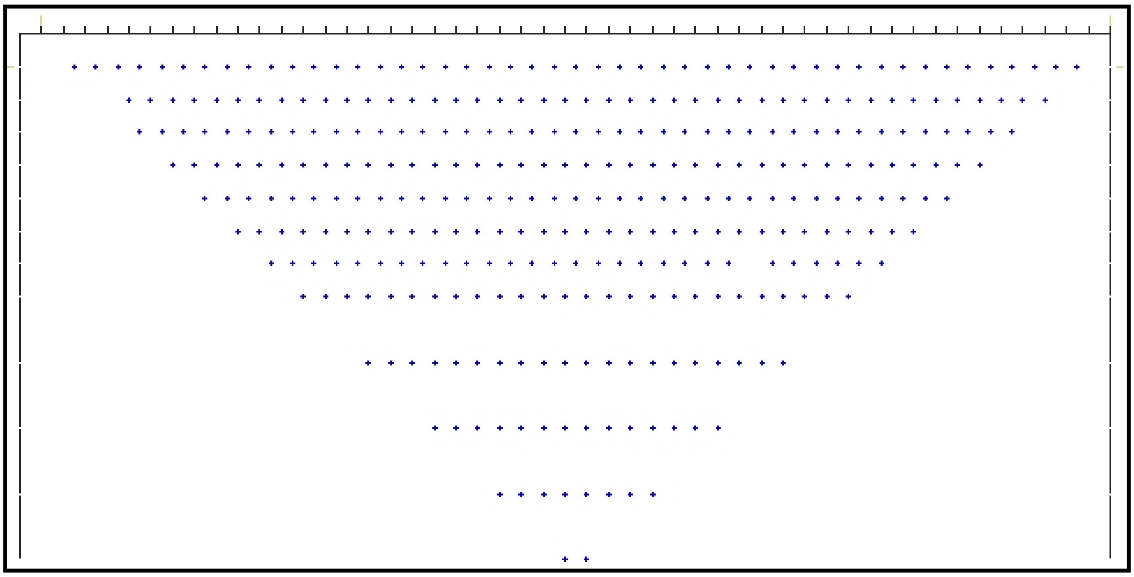
β)μετράει τάση σε τάξη μεγέθους 0,05 Volt

2.2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το RES2DINV είναι ένα πρόγραμμα επεξεργασίας και μοντελοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου, βάσει του οποίου έγινε η επεξεργασία των γεωηλεκτρικών τομογραφιών της υπό μελέτη περιοχής. Το πρόγραμμα RES2DINV παρέχει τη δυνατότητα έκφρασης του βάθους σε μέτρα (m), της οριζόντιας απόστασης όπου αναπτύσσεται η γραμμή σε μέτρα (m) και της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε Ωm. Πιο συγκεκριμένα το λογισμικό RES2DINV στηρίζεται στην αντιστροφή των δεδομένων. Δηλαδή υπολογίζει την πραγματική ηλεκτρική αντίσταση ρ. Λεπτομερέστερα το πρόγραμμα αυτό χωρίζει το υπέδαφος σε έναν αριθμό παραλληλογράμμων και θεωρεί σταθερή την πραγματική ειδική αντίσταση σε κάθε ορθογώνιο. Ξεκινώντας από αρχικό μοντέλο υπολογίζονται οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό και συγκρίνονται με τις μετρημένες τιμές της φαινόμενης αντίστασης. Κάνοντας διαδοχικές επαναλήψεις μειώνεται συνεχώς το σφάλμα, δηλαδή η διάφορα μεταξύ θεωρητικών και μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Τελικά επιλέγεται ένα μοντέλο με μικρό σφάλμα όταν οι επόμενες επαναλήψεις δεν μειώνουν σημαντικά το σφάλμα αυτό, δηλαδή όταν η επαναληπτική διαδικασία παρουσιάζει σύγκλιση. Χαρακτηριστικό των όσων προαναφέρθηκαν είναι το Σχήμα 2.12 (όπως προέκυψε από το πρόγραμμα για την γραμμή μελέτης 1) όπου διακρίνονται οι ψευδοτομές των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης αντίστασης, των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης αντίστασης, καθώς και το μοντέλο των πραγματικών αντιστάσεων.

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Στην ηλεκτρική τομογραφία, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στη μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, εντοπίζοντας έτσι ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως ρήγματα.

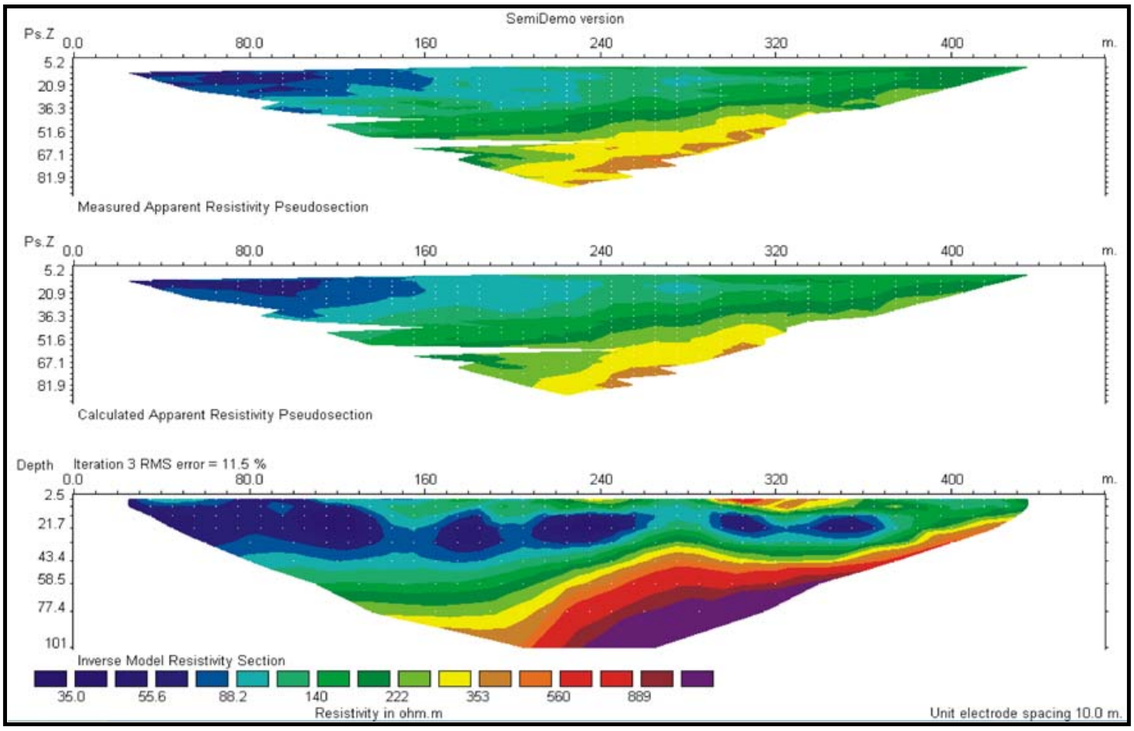
Στην τομογραφία τα αποτελέσματα δίνονται με τη μορφή μιας ψευδοτομής (pseudosection).



Σχήμα 2.11: *Διάταξη των δεδομένων στην ψευδοτομή του υπεδάφους (Σούρλας, 2000)*

Αντιστροφή των δεδομένων

Ο προσδιορισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πραγματοποιείται με την αντιστροφή των δεδομένων. Ξεκινώντας από ένα αρχικό μοντέλο (αυθαίρετο) το πρώτο βήμα είναι η λύση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό. Οι θεωρητικές αυτές τιμές, μαζί με τις πραγματικές μετρήσεις και τις παραμέτρους του μοντέλου καθορίζουν ένα σύστημα εξισώσεων. Ακολουθεί η διαδικασία της αντιστροφής, όπου επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων με αγνώστους τις παραμέτρους του μοντέλου. Υπολογίζεται με τη διαδικασία αυτή ένα νέο βελτιωμένο μοντέλο που αφορά μόνο τις παραμέτρους του μοντέλου. Η διαδικασία συνεχίζεται υπολογίζοντας για το βελτιωμένο μοντέλο τις φαινόμενες αντιστάσεις, οι οποίες συγκρίνονται με τη σειρά τους με τις πραγματικές μετρήσεις. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο που να δίνει φαινόμενες αντιστάσεις όσο το δυνατό πιο κοντά στις μετρήσεις. Με την αντιστροφή γίνεται ο υπολογισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες αντιστάσεις. Στα περισσότερα γεωφυσικά προβλήματα που χρησιμοποιείται η αντιστροφή, τα δεδομένα συνδέονται με μη γραμμικές σχέσεις με τις παραμέτρους του μοντέλου. Έτσι και στην περίπτωση της αντιστροφής των φαινόμενων αντιστάσεων το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Επιπλέον το πρόβλημα είναι υπερπροσδιορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων υπερβαίνει τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου. Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζονται επαναληπτικές τεχνικές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Βαφείδης, 2001).



Σχήμα 2.12: *Πειραματική (πάνω) και θεωρητική (μεσαία) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της γραμμής μελέτης*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

3.1.1 ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του οροπεδίου του Ομαλού από τα ΝΔ προς τα ΒΑ και οι περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στο υποκεφάλαιο 3.1.2 που ακολουθεί.

Οι θέσεις των σεισμικών γραμμών μελέτης φαίνονται στο Σχήμα 3.1 και οι συντεταγμένες τους δίνονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: *Συντεταγμένες σεισμικών γραμμών*

Γραμμή	λ (WGS)	φ (WGS)	x (ΕΓΣΑ)	y (ΕΓΣΑ)
Σεισμική 5Α	23,53’21”70	35,19’44”86	489796	3909260
Σεισμική 5Τ	23,53’24”08	35,19’48”07	489856	3909359
Σεισμική 7Α	23,53’20”63	35,19’45”96	489769	3909294
Σεισμική 7Τ	23,53’22”81	35,19’49”24	489824	3909395

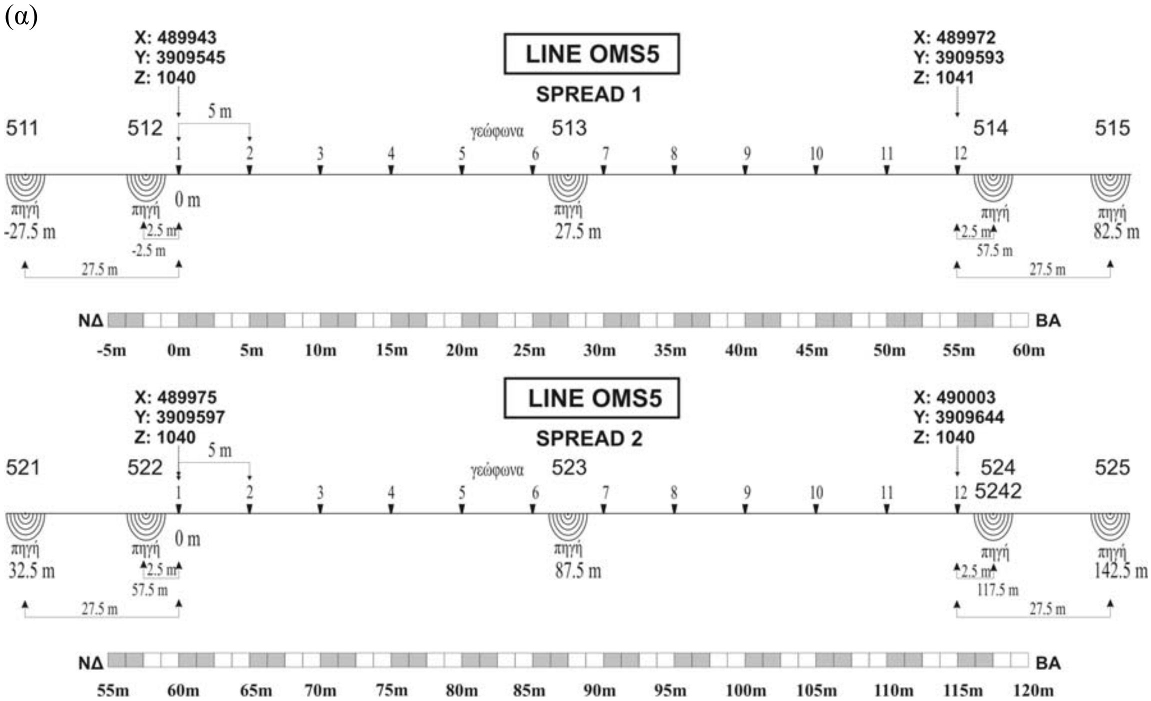
Σχήμα 3.1: *Θέσεις σεισμικών γραμμών μελέτης (σε σύστημα WGS)*

3.1.2 ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ

Οι σεισμικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τον Οκτώβριο του 2009. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας διασκοπήθηκαν δύο γραμμές μελέτης (Σχήμα 3.2 και 3.3). Κάθε γραμμή αποτελείται από δύο αναπτύγματα συνολικού μήκους 115m. Χρησιμοποιήθηκαν γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας 4.5 Hz με ισαπόσταση 5m. Ως σεισμική πηγή χρησιμοποιείται βαριοπούλα 8 kg η οποία κρούει σε μεταλλική πλάκα. Για την καταγραφή των σεισμικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο δωδεκακάναλος σεισμογράφος GEODE της Geometrics. Η διάρκεια της καταγραφής ήταν 512ms ενώ το διάστημα δειγματοληψίας ήταν 0.125ms.

Στα σχήματα 3.2 και 3.3 παρουσιάζεται η γεωμετρία των δύο γραμμών μελέτης.

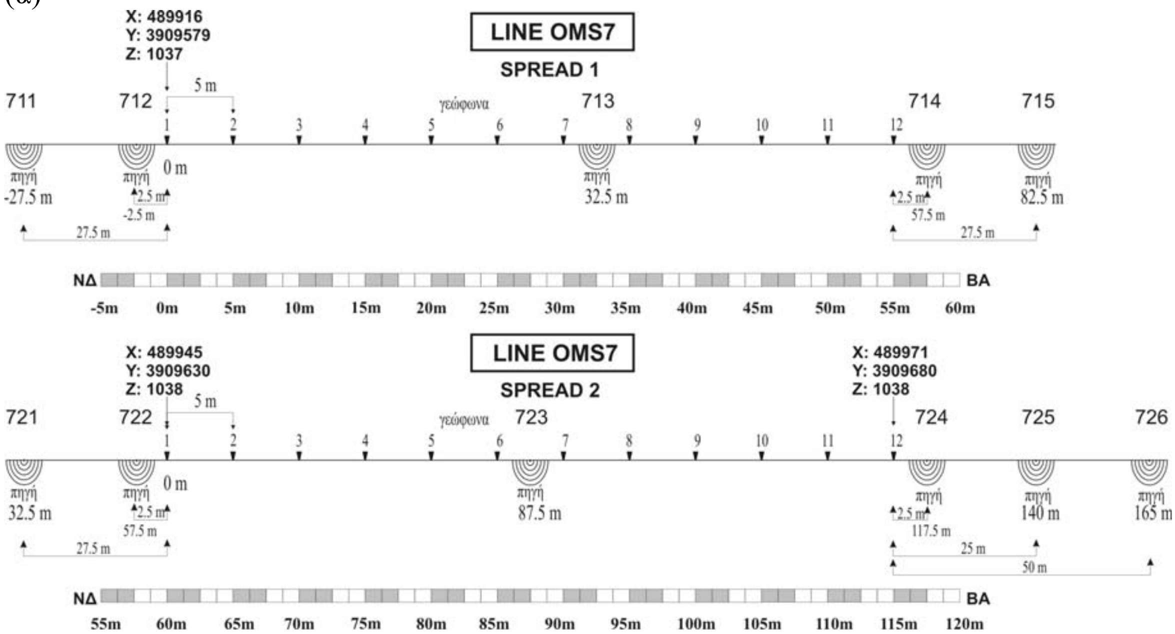
(α)



(β)

Σχήμα 3.2: *Γεωμετρία της σεισμικής γραμμής μελέτης 5 η οποία αποτελείται απο δύο αναπτύγματα (α) και (β)*

(α)



(β)

Σχήμα 3.3: *Γεωμετρία της σεισμικής γραμμής μελέτης 7η οποία αποτελείται από δύο αναπτύγματα (α) και (β)*

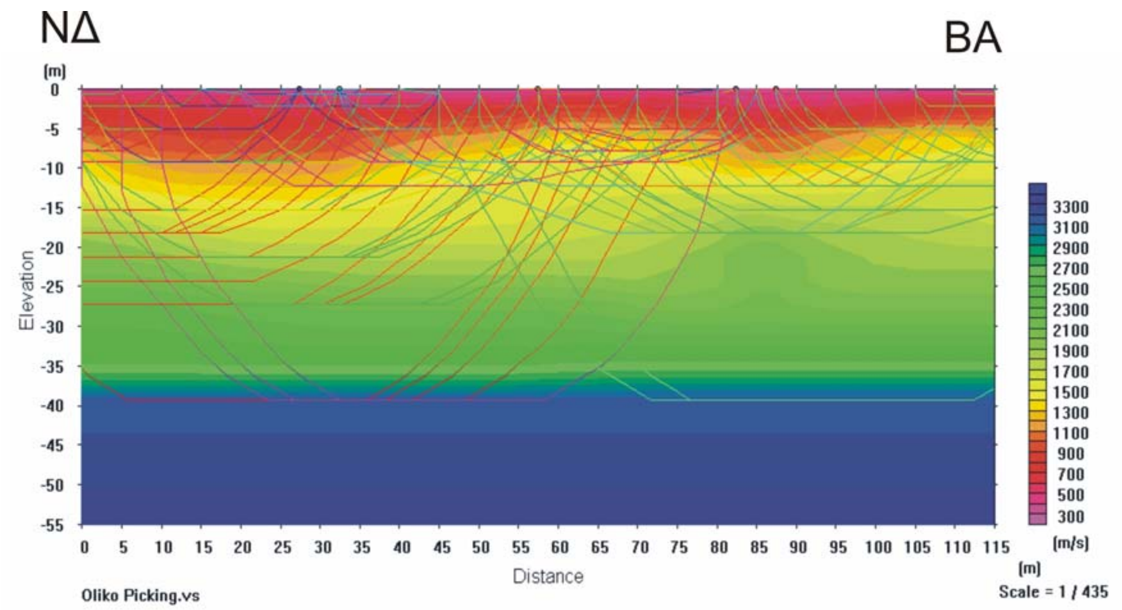
3.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

<u>Γραμμή 5:</u>

Στο σχήμα 3.3 παρατίθεται η σεισμική τομή που περιγράφει την ταχύτητα διάδοσης των διαμηκών κυμάτων και προέκυψε από την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων της γραμμής αυτης. Η γραμμή αυτή αποτελείται απο δύο αναπτύγματα γεωφώνων συνολικού μήκους 115m.

Το πρώτο σεισμικό στρώμα (κόκκινο χρώμα) εκτείνεται απο 0m έως 8m βάθος. Το εύρος της σεισμικής ταχύτητας αυτού του στρώματος κυμαίνεται από 400 έως 900 m/s.

Το υποκείμενο σεισμικό στρώμα (πορτοκαλί έως πράσινο χρώμα) εκτείνεται απο 8 έως 36m βάθος και το εύρος των σεισμικών ταχυτήτων του κυμαίνεται από 1000 έως 2750 m/s. Στο επόμενο σεισμικό στρώμα (μπλέ χρώμα) οι σεισμικές ταχύτητες είναι γύρω στα 3000 m/s.



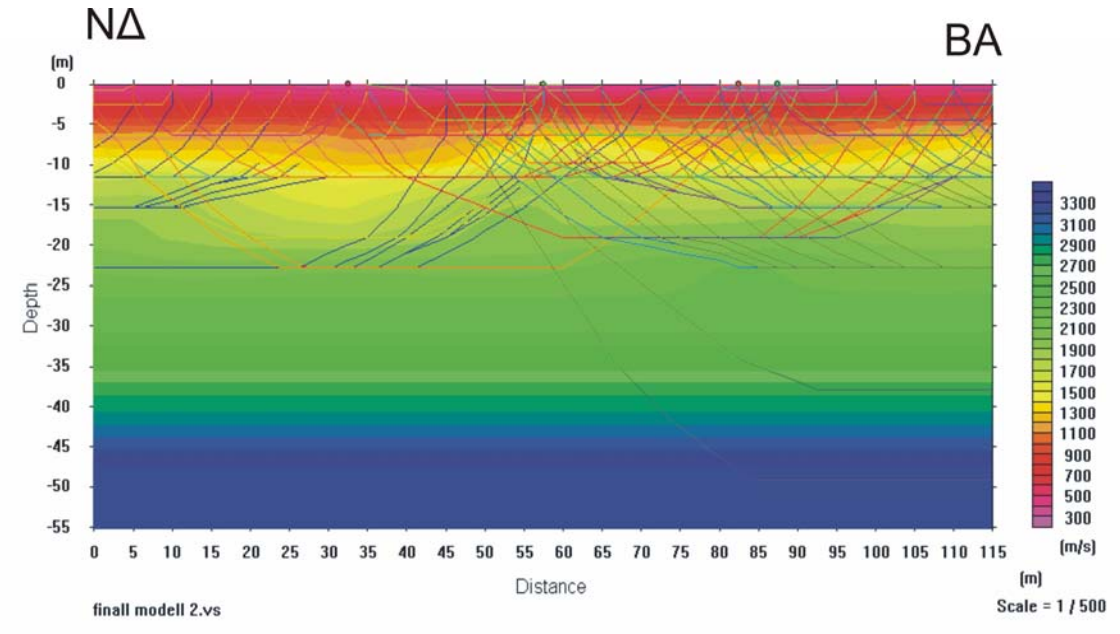
Σχήμα 3.3: *Μοντέλο σεισμικής ταχύτητας για τη γραμμή 5 όπου απεικονίζονται οι σεισμικές ακτίνες*

<u>Γραμμή 7:</u>

Στο σχήμα 3.4 παρατίθεται η σεισμική τομή που περιγράφει τη ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων που προέκυψε απο την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων της γραμμής αυτής. Η γραμμή αυτή αποτελείται απο δύο αναπτύγματα γεωφώνων συνολικού μήκους 115m.

Το πρώτο σεισμικό στρώμα (κόκκινο χρώμα) εκτείνεται από 0m έως 6m. Το εύρος της σεισμικής ταχυτήτας αυτού του στρώματος κυμαίνεται από 400 έως 900m/s.

Το υποκείμενο σεισμικό στρώμα (πορτοκαλί έως πράσινο χρώμα) εκτείνεται από 6m έως 36m βάθος και το εύρος των σεισμικών ταχυτήτων του κυμαίνεται από 1100 έως 2800m/s. Στο επόμενο σεισμικό στρώμα (μπλέ χρώμα) οι σεισμικές ταχύτητες είναι γύρω στα 3000m/s.



Σχήμα 3.4: *Μοντέλο σεισμικής ταχύτητας για τη γραμμή 7 όπου απεικονίζονται οι σεισμικές ακτίνες*

3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

3.2.1 ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τον Μάιο του 2009 στο οροπέδιο του Ομαλού και αποτελούν εφτά γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας μήκους 450m. Η διεύθυνση τους ήταν από ΝΔ προς ΒΑ και χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Wenner-Sclumberger. Τα ηλεκτρόδια ήταν σε ισαπόσταση 10m μεταξύ τους σε ευθεία γραμμή. Σε πολλά ηλεκτρόδια τοποθετήθηκε αλατόνερο για την αύξηση της αγωγιμότητας επαφής.

Οι θέσεις των ηλεκτρικών γραμμών μελέτης φαίνεται στο Σχήμα 3.2 και οι συντεταγμένες τους στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: *Συντεταγμένες ηλεκτρικών γραμμών*

Γραμμή	λ (WGS)	φ (WGS)	x (ΕΓΣΑ)	y (ΕΓΣΑ)
Ηλεκτρική 1Α	23,53'19"93	35,19'36"84	489751	3909013
Ηλεκτρική 1Τ	23,53'28"83	35,19'50"25	489976	3909426
Ηλεκτρική 2Α	23,53'19"34	35,19'37"29	489736	3909027
Ηλεκτρική 2Τ	23,53'28"23	35,19'50"70	489961	3909440
Ηλεκτρική 3Α	23,53'18"62	35,19'37"48	489718	3909033
Ηλεκτρική 3Τ	23,53'27"56	35,19'50"87	489944	3909445
Ηλεκτρική 4Α	23,53'17"87	35,19'37"68	489699	3909039
Ηλεκτρική 4Τ	23,53'26"88	35,19'51"06	489927	3909451
Ηλεκτρική 5Α	23,53'17"20	35,19'37"97	489682	3909048
Ηλεκτρική 5Τ	23,53'25"97	35,19'51"45	489904	3909463
Ηλεκτρική 6Α	23,53'16"68	35,19'38"55	489669	3909066
Ηλεκτρική 6Τ	23,53'25"54	35,19'51"97	489893	3909479
Ηλεκτρική 7Α	23,53'16"05	35,19'38"94	489653	3909078
Ηλεκτρική 7Τ	23,53'24"86	35,19'52"39	489876	3909492

Σχήμα 3.5: *Θέσεις ηλεκτρικών γραμμών μελέτης* (σε σύστημα WGS)

3.2.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Χρησιμοποιήθηκε σε αυτές τις μετρήσεις η διάταξη Wenner-Schlumberger με ισαπόσταση ηλεκτροδίων 10m.

Κατά την εκτέλεση των μετρήσεων ακολουθείται η εξής διαδικασία:

• Λαμβάνεται μέριμνα ώστε η ανάπτυξη των γραμμών μελέτης 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 α 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 Α, Β με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματοποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος i και δυναμικού V. Στη συνέχεια τα ηλεκτρόδια του ρεύματος τοποθετούνται σε μεγαλύτερη απόσταση ΑΒ/2 και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

• Το κέντρο μετακινείται κατά απόσταση α και επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις όπως στο προηγούμενο βήμα.

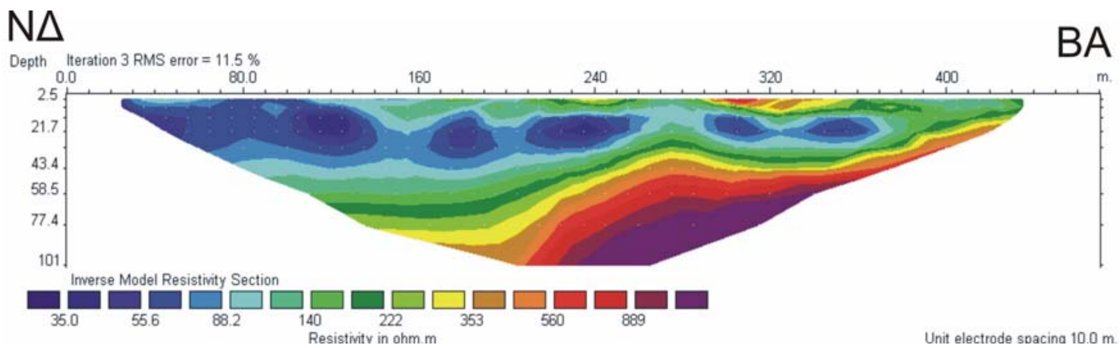
• Οι αποστάσεις του ημιαναπτύγματος ΑΒ/2 και οι μετρούμενες τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταγράφονται σε ειδικά διαμορφωμένα έντυπα για την επεξεργασία τους.

3.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας έγινε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου RES2DINV. Το πρόγραμμα RES2DINV χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που του δίνονται καταλήγει στην τομή της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, μέσω της μεθόδου της διδιάστατης αντιστροφής δεδομένων, διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στα παρακάτω σχήματα δεν παρατίθονται οι ψευδοτομές των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης και των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης όπου είναι διαθέσιμα στο παράρτημα, ενώ απεικονίζεται μόνο το μοντέλο των πραγματικών αντιστάσεων, όπου δεν έχει συμπεριληφθεί το τοπογραφικό ανάγλυφο λόγω των μικρών αυξομειώσεων στο ύψος που έχει η περιοχή μελέτης.

<u>Γραμμή 1:</u>

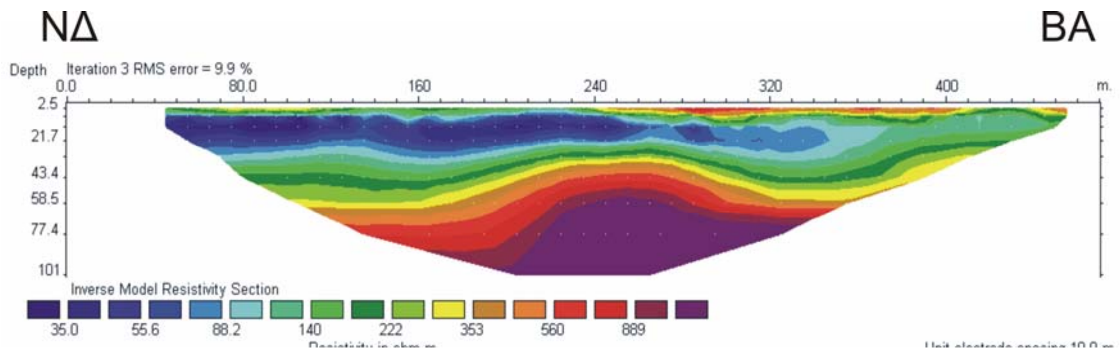
Στο Σχήμα 3.6 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων της γραμμής μελέτης 1. Από τα ΝΔ προς τα ΒΑ φαίνεται να μεγαλώνουν οι αντιστάσεις. Το πρώτο στρώμα φτάνει σε βάθος τα 50m και η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μέχρι τα 100Ωm. Το υποκείμενο στρώμα φτάνει σε βάθος περίπου τα 85m και με ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 110Ωm έως και 350Ωm. Το επόμενο στρώμα με ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερη από 360 Ωm.



Σχήμα 3.6: *Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης 1*

<u>Γραμμή 2:</u>

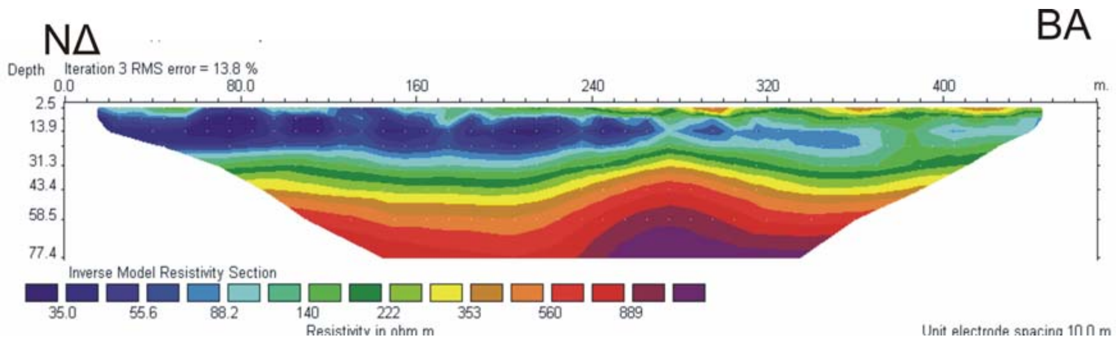
Στο Σχήμα 3.7 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων της γραμμής μελέτης 2. Από τα ΝΔ προς τα ΒΑ φαίνεται να μεγαλώνουν οι αντιστάσεις και μετά να μικραίνουν ξανά. Το πρώτο στρώμα φτάνει μέχρι τα 38m περίπου και παρουσιάζει χαμηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση με τιμή μέχρι τα 100Ωm. Το υποκείμενο στρώμα φτάνει σε βάθος τα 60m με τιμές ειδικής αντίστασης από 110Ωm μέχρι 350Ωm. Το επόμενο στρώμα εμφανίζεται στα 65m βάθος με ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερη από 360Ωm.



Σχήμα 3.7: *Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης 2*

Γραμμή 3:

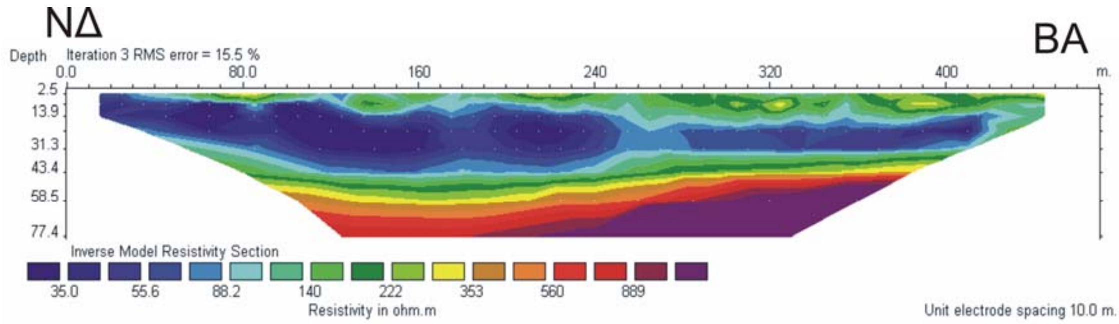
Στο Σχήμα 3.8 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων της γραμμής μελέτης 3. Το πρώτο στρώμα φτάνει μέχρι βάθος τα 28m περίπου και έχει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μέχρι 105Ωm. Το υποκείμενο στρώμα φτάνει σε βάθος τα 45m και οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι από 110Ωm μέχρι 350Ωm περίπου. Το επόμενο στρώμα αρχίζει από βάθος 40m και παρουσιάζονται αντιστάσεις μεγαλύτερες από 350Ωm.



Σχήμα 3.8: *Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης*

Γραμμη 4:

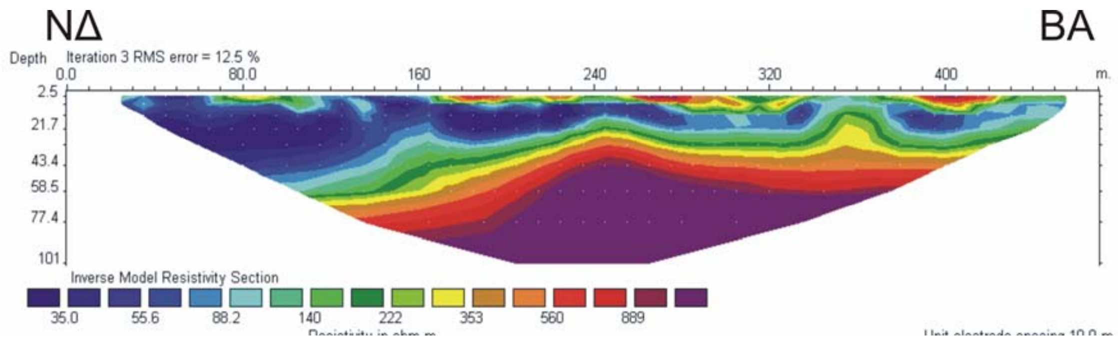
Στο Σχήμα 3.9 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων της γραμμής μελέτης 4. Από τα ΝΔ προς τα ΒΑ φαίνεται να μεγαλώνουν οι αντιστάσεις. Το πρώτο στρώμα φτάνει μέχρι βάθος τα 45m περίπου και έχει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μέχρι 105Ωm. Το υποκείμενο στρώμα φτάνει σε βάθος τα 60m περίπου και οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι από 110Ωm μέχρι τα 350Ωm. Το επόμενο στρώμα αρχίζει από βάθος 60m και έχει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μεγαλύτερες από 350Ωm.



Σχήμα 3.9: *Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης 4*

<u>Γραμμή 5:</u>

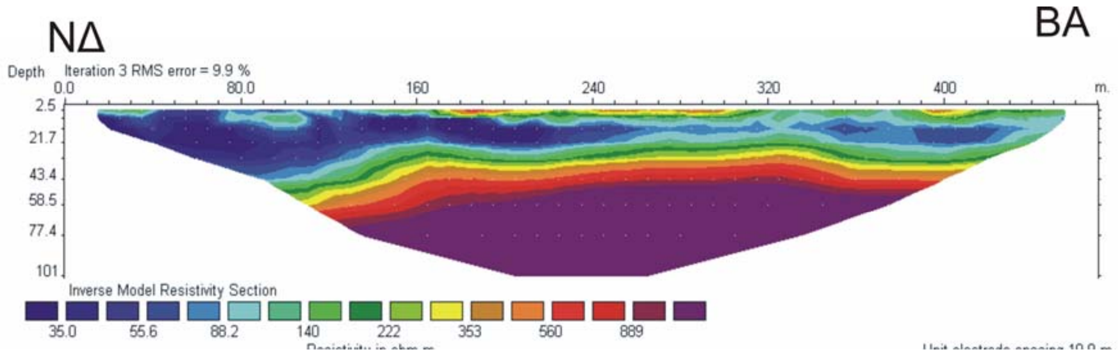
Στο Σχήμα 3.10 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων της γραμμής μελέτης 5. Το πρώτο στρώμα φτάνει μέχρι βάθος τα 60m περίπου και έχει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μέχρι 105Ωm. Το υποκείμενο στρώμα φτάνει σε βάθος τα 70m περίπου και οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι από 110Ωm μέχρι τα 350Ωm. Το επόμενο στρώμα αρχίζει από βάθος 70m και έχει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 350Ωm και πάνω.



Σχήμα 3.10: *Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης*

Γραμμή 6:

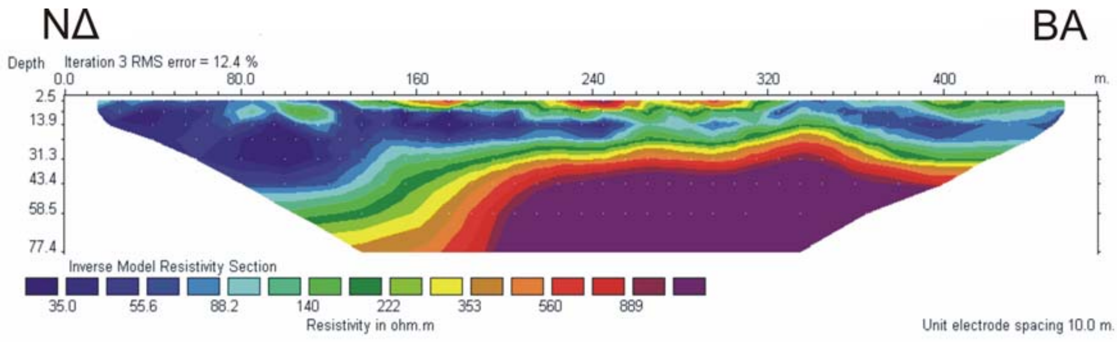
Στο Σχήμα 3.11 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων της γραμμής μελέτης 6. Το πρώτο στρώμα φτάνει μέχρι βάθος τα 45m περίπου και έχει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μέχρι 110Ωm. Το υποκείμενο στρώμα φτάνει σε βάθος τα 60m περίπου και οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι από 110Ωm μέχρι τα 350Ωm. Το επόμενο στρώμα εμφανίζεται από βάθος 60m και έχει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 350Ωm και πάνω



Σχήμα 3.11: *Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής 6*

Γραμμή 7:

Στο Σχήμα 3.12 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων της γραμμής μελέτης 7. Το πρώτο στρώμα φτάνει μέχρι βάθος τα 50m περίπου και έχει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μέχρι 105Ωm. Το υποκείμενο στρώμα φτάνει σε βάθος τα 75m περίπου και οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι από 110Ωm μέχρι τα 350Ωm. Το επόμενο στρώμα αρχίζει από βάθος 75m και έχει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μεγαλύτερες από 350Ωm.



Σχήμα 3.12: *Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής 7*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

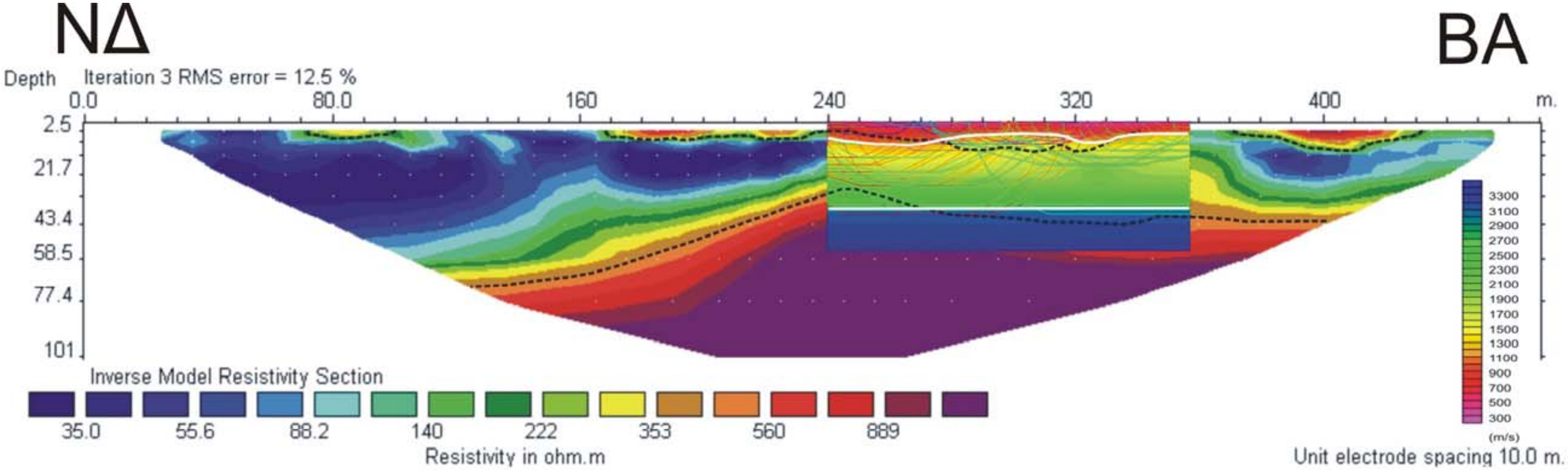
4.1 ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί υπέρθεση των σεισμικών τομών 5 και 7 με τις γεωηλεκτρικές τομές 5 και 7. Στο Σχήμα 4.1 φαίνονται οι ηλεκτρικές γραμμές με κόκκινο χρώμα και οι σεισμικές γραμμές με μπλέ χρώμα και που ακριβώς είναι η κάθε μία στο χώρο.

Σχήμα 4.1: *Ηλεκτρική γραμμή 5 και 7(κόκκινο χρώμα) με την σεισμική γραμμή 5 και 7(μπλέ χρώμα)*

Υπέρθεση γεωηλεκτρικών και σεισμικών τομών γραμμής 5

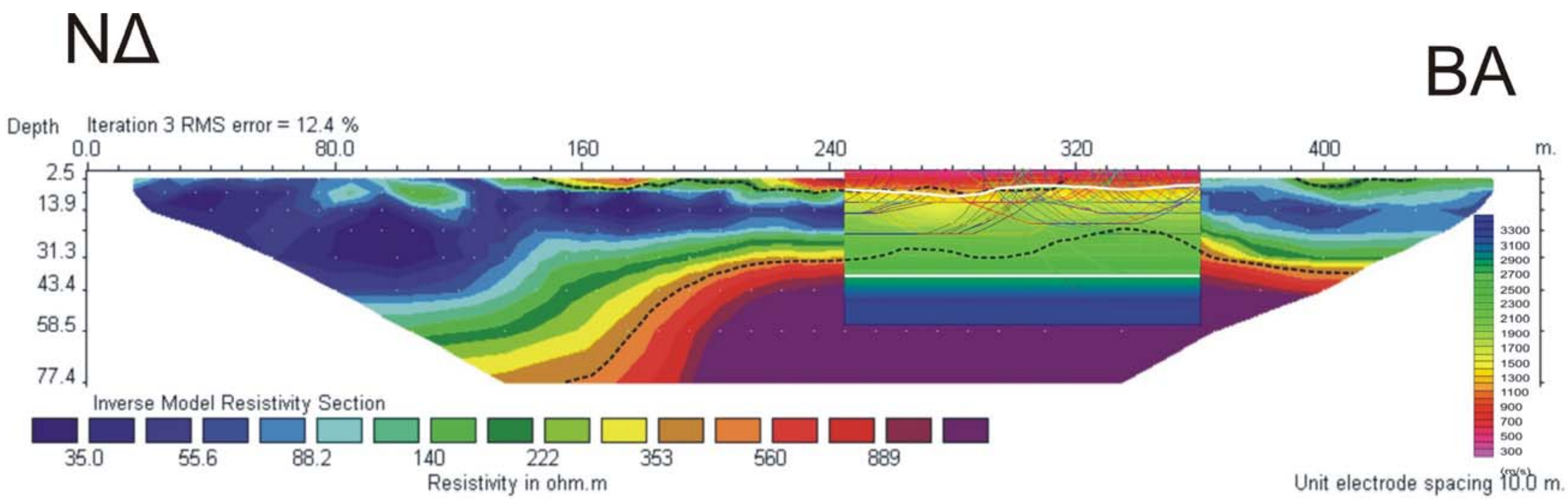
Στο Σχήμα 4.2 φαίνεται η υπέρθεση του σεισμικού μοντέλου (γραμμή 5) πάνω στην γεωηλεκτρική τομή 5. Τα αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας και της ηλεκτρικής τομογραφίας συμφωνούν ως προς την ερμηνεία τους.. Το πρώτο στρώμα στη σεισμική τομογραφία αποδίδεται σε πρόσφατες επιφανειακές προσχώσεις και συμπίπτει με τις χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στη γεωηλεκτρική τομή. Το δεύτερο στρώμα στην γεωηλεκτρική τομή παρουσιάζει ειδική ηλεκτρική αντίσταση που αντιστοιχεί σε μάργες. Το τρίτο στρώμα χαρακτηρίζεται από σεισμική ταχύτητα περίπου 3000m/s και υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 350Ωm και πάνω πράγμα που υποδηλώνει την ύπαρξη ανθρακικού σχηματισμού.



Σχήμα 4.2: *Υπέρθεση της σεισμικής γραμμής 5 πάνω στην γεωηλεκτρική τομή 5*

Υπέρθεση γεωηλεκτρικών και σεισμικών τομών γραμμής 7

Στο Σχήμα 4.3 φαίνεται η υπέρθεση του σεισμικού μοντέλου (γραμμή 7) πάνω στην γεωηλεκτρική τομή 7. Η ερμηνεία όσο αναφορά τον χαρακτηρισμό των σεισμικων και των γεωηλεκτρικών στρωμάτων είναι παρόμοια με του προηγούμενου μοντέλου.



Σχήμα 4.3: *Υπέρθεση της σεισμικής γραμμής 7 πάνω στην γεωηλεκτρική τομή 7*

4.2 ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ Τ3 ΜΕ ΤΗΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗ 325

Αν και η γεώτρηση δεν πραγματοποιήθηκε επάνω σε καμία γραμμή μελέτης της ηλεκτρικής ή της σεισμικής τομογραφίας, παρ'όλα αυτά και επειδή η γεώτρηση έγινε σε κοντινή περιοχή, μπορεί να επιχειρηθεί μία σύγκριση μεταξύ αυτών.

Η θέση της γεώτρησης 325 που πραγματοποιήθηκε στο οροπέδιο του ομαλού φαίνεται στο σχήμα 4.4. Επίσης φαίνεται πόσο απέχει από τις ηλεκτρικές γραμμές (κόκκινο χρώμα) και απο τις σεισμικές γραμμές (μπλέ χρώμα). Στον Πίνακα 4.1 δίνονται οι συντεταγμένες της γεώτρησης.

Η γραμμή Τ3 πάρθηκε από μετρήσεις που προυπήρχαν στην περιοχή όπου χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Wenner-Schlumberger με ισαπόσταση ηλεκτροδίων 30m.

Πίνακας 4.1: *Συντεταγμένες Γεώτρησης 325*

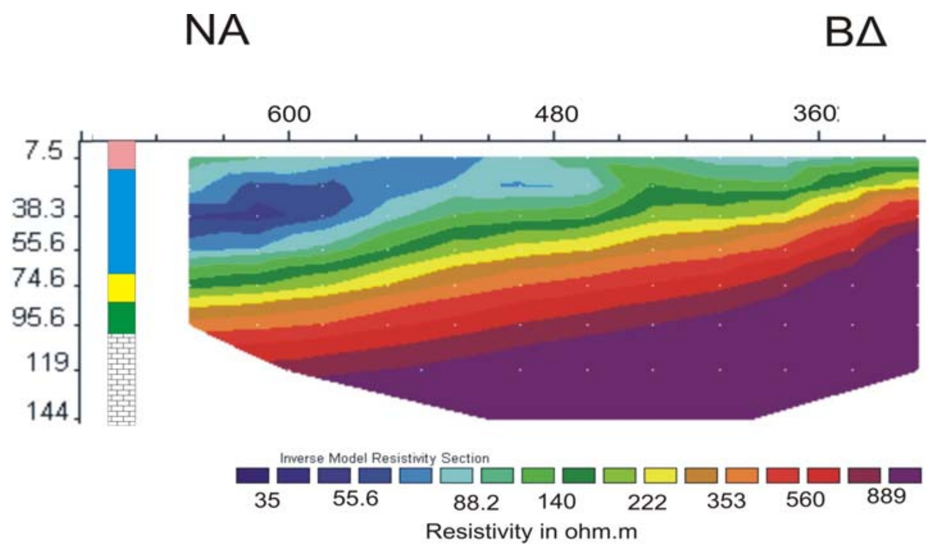
	λ (WGS)	φ (WGS)	x (ΕΓΣΑ)	y (ΕΓΣΑ)
Γεώτρηση 325	23,53'19"86	35,19'33"46	489749	3908909

Σχήμα 4.6: *Η θέση της γεώτρησης 325 σε σχέση με τις ηλεκτρικές και σεισμικές γραμμές*

Στο Σχήμα 4.5 που απεικονίζεται η γεώτρηση 325 φαίνεται ότι στα πρώτα 10m βάθους υπάρχουν Χάλικες και Terra Rossa. Το υποκείμενο στρώμα βάθους 70m είναι μάργες-άμμοι και τα επόμενα 10m φαίνεται η άργιλος. Στη συνέχεια και στα επόμενα 10m αποκαλύφτηκε η μάργα που την ακολουθεί ο ανθρακικός σχηματισμός που εντοπίζεται τελικά στα 100m βάθος.

Σχήμα 4.4: *Γεώτρηση 325*

Στη γεωηλεκτρική τομή του σχήματος 4.5 παρατηρείται ομαλή στρωματογραφική διαδοχή. Επιφανειακά και μέχρι ένα βάθος περίπου 40 m παρατηρούνται χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, γεγονός το οποίο δηλώνει την ύπαρξη υγρασίας και αργιλικών υλικών, πράγμα το οποίο ευνοεί τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Κάτω από τα 40 m επικρατούν πολύ υψηλές αντιστάσεις, οι οποίες δηλώνουν την ύπαρξη ανθρακικού υποβάθρου. Επίσης παρατηρείται η εμφάνιση του στρώματος υψηλής αντίστασης σε μεγαλύτερα βάθη. Στην αρχή της γραμμής μελέτης εμφανίζεται σε βάθος 8 m, ενώ προς το τέλος στα 80 m. Αυτό δικαιολογείται από τη μορφολογία της περιοχής όπου έλαβε χώρα η γραμμή μελέτης.



Σχήμα 4.5: *Υπέρθεση της γραμμής Τ3 με τη γεώτρηση 325 (Αλευράς 2006, τροποποιημένη)*

4.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 1 ΜΕ ΤΗΝ ΓΡΑΜΜΗ Τ3 ΚΑΙ ΤΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ 325

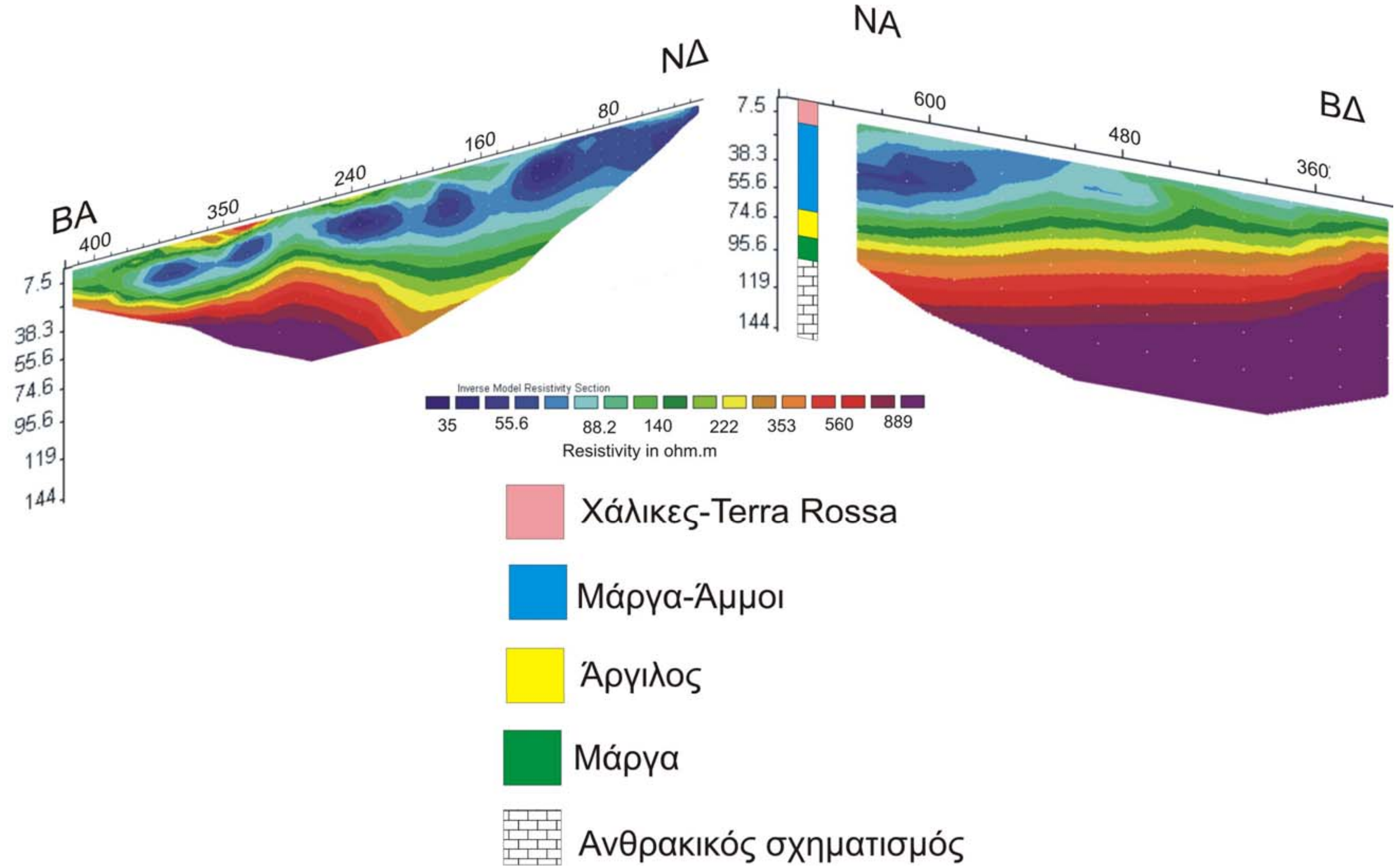
Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται ο συνδυασμός της γραμμής Τ3 με τη γεώτρηση 325 και την γραμμή 1 στον χώρο.

Στην υπέρθεση της Τ3 με τη γεώτρηση 325 αν γίνει προέκταση της γραμμής του ανθρακικού σχηματισμού (καφέ-πορτοκαλί χρώμα) στην Τ3 θα φανεί ότι ο αθρακικός σχηματισμός συναντάται στα 95m ενώ η γεώτρηση τον δείχνει στα 100m. Αυτό δικαιολογείται από την απόσταση που υπάρχει μεταξύ τους η οποία είναι 38m.

Συγκρίνοντας τώρα την υπέρθεση της γραμμής Τ3 και της γεώτρησης 325 με την γραμμή 1 φαίνεται ότι υπάρχει μεγάλη συμφωνία στα αποτελέσματα καθώς στη γραμμή 1 προεκτείνοντας τη γραμμή που υπάρχει ο ασβεστόλιθος φαίνεται να τον συναντάει στη γεώτρηση 325.

Από συνδυασμό των μετρήσεων αυτών με παλαιότερες προκύπτει ότι το πάχος των προσχώσεων αυξάνεται προς τα ΝΔ της περιοχής μελέτης.

Το βάθος που εμφανίζονται οι ανθρακικοί σχηματισμοί είναι από 40m εώς τα 100m.



Σχήμα 4.7: *Συνδυασμένη* απεικόνιση της γεωηλεκτρικής τομής 1 με *την γεωηλεκτρική τομή Τ3 και τη γεώτρηση 325*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η γεωλογική χαρτογράφηση του ανθρακικού υπόβαθρου και η μελέτη των επιφανειακών στρωμάτων στο οροπέδιο του Ομαλού Χανίων, όπου προγραμματίζεται να κατασκευαστεί λιμνοδεξαμενή.

Η γεωφυσική διασκόπηση πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους της σεισμικής τομογραφίας (2 γραμμές μήκους 115m) και ηλεκτρικής τομογραφίας (7 γραμμές μήκους 450m), ενώ παράλληλα έγινε συσχετισμός των αποτελεσμάτων της γεωφυσικής διασκόπησης με πληροφορίες που προέρχονταν από το γεωλογικό χάρτη, μία γεώτρηση της περιοχής και μια γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας Τ3 που είχε πραγματοποιηθεί σε πλαίσιο παλαιότερων μετρήσεων στην περιοχή.

Από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των γεωφυσικών μεθόδων και τον συσχετισμό τους με πληροφορίες που προέρχονται από το γεωλογικό χάρτη και τη γεώτρηση απεικονίστηκε η οροφή των ανθρακικών σχηματισμών της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Τα σεισμικά και τα ηλεκτρικά αποτελέσματα συμφωνούν μεταξύ τους και δείχνουν ότι οι ανθρακικοί σχηματισμοί έχουν σεισμική ταχύτητα πάνω απο 3000m/s και ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερη από 400Ωm.
- Από συνδυασμό των μετρήσεων αυτών με προυπάρχουσες προκύπτει ότι το πάχος των υπερκειμένων αυξάνεται πρός τα ΝΔ της περιοχής μελέτης.
- Το βάθος που εμφανίζονται οι ανθρακικοί σχηματισμοί κυμαίνεται από 40m μέχρι 100m.

5.2 Προτάσεις

Προτείνεται η λήψη δοκιμίων για τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών της περιοχής μελέτης ώστε να προσδιοριστεί η καταλληλότητα τους (ή όχι) για την έδραση λιμνοδεξαμενής.

Επιπλέον η μέθοδος της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της ταχύτητας διάδοσης των εγκαρσίων κυμάτων στους σχηματισμούς.

Αλλαγή στον σχεδιασμό της θέσης της λιμνοδεξαμενής απαιτεί άλλες μετρήσεις στην συγκεκριμένη περιοχή γιατί το ανάγλυφο της περιοχής είναι ιδιαίτερο.

Προτείνεται να γίνει γεώτρηση στο Βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. **Αλευράς, Ν., (2006), "**Γεωηλεκτρική Διασκόπηση για τον Προσδιορισμό Καρστικών Δομών στο Οροπέδιο του Ομαλού", Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
2. **Ανδρεαδάκης, Ε., (2003),** ''Το καρστικό σύστημα του Υμηττού'', Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
3. **Βαφείδης, Α., (1993),** "Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι", Πανεπιστιμιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
4. **Βαφείδης, Α., (2001),** "Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ", Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
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 Λιμνοδεξαμενης στην Κουντούρα, Δ. Πελεκάνου, Ν. Χανίων", Έκθεση, ΓΕΩΤΕΚ ΕΠΕ, ΟΑΔΥΚ, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
6. **Γκανιάτσος, Ι., (2000),** "Γεωηλεκτρική Τομογραφία σε τρείς Διαστάσεις", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
7. **Καπλανίδης, Α., Μορφόπουλος, Ζ., Παπαγιάννη, Ν., Περγαλιώτης, Π., Σώκος, Ε., Χασιώτης Θ., (2003)** "Τα φράγματα και οι Λιμνοδεξαμενές Του Υπουργείου Γεωργίας**".**
8. **Σούρλας, Γ., (2000), "**Συμβολή της Γεωφυσικής Διασκόπησης στην Αναζήτηση Θαμμένων Αρχαιοτήτων στην Ίτανο, Λασιθίου.", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
9. **Μανούτσογλου, Ε., Σπυρίδωνος, Ε., Soujon, A. and Jacobshagen, V., (2001),** **"**Αναθεώρηση του γεωλογικού χάρτη και τρισδιάστατη προσομοίωση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής του φαραγγιού της Σαμαριάς", Δελτ.Ελλ.Γεωλ.Εταιρ.34/1:29-36, Αθήνα.

Διεθνής Βιβλιογραφία

10. **CorelDraw Graphics Suite 12, (2003),** Manual, Corel Corporation

11. **Hudyma, N., Ruelke, T., and Samakur, C., (2005)**, "Characterization of a Sinkhole Prone Retention Pond Using Multiple Geophysical Surveys and Closely Spaced Borings", Conference Proceeding Paper, San Antonio Texas, pp 555-561.

12. **Milanovic, P., (1981),** "Water Resources Engineering in Karst", CRC PRESS

13. **Res2dinv, (2001),** Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού, Manual, Version 3.4, Geotomo Software.

14. **Reynolds, M. J., (1997),** "An Introduction To Applied And Environmental Geophysics", John Wiley & Sons Ltd, Chichester, ISBN 0-471-95555-8

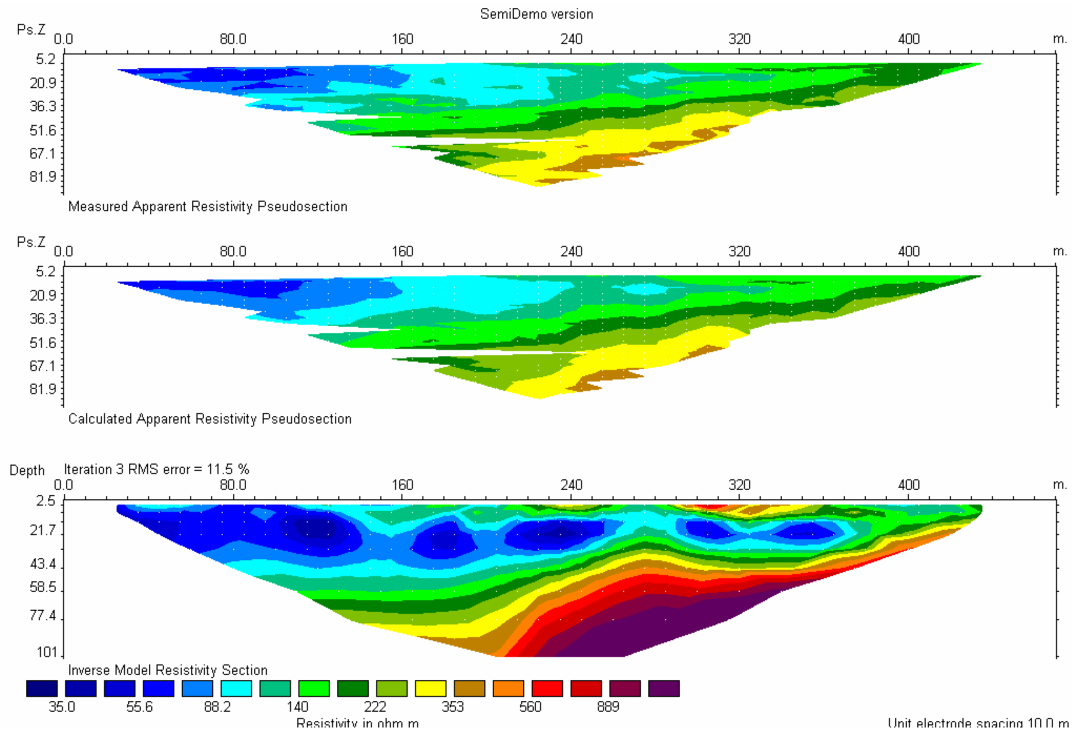
15. **Robinson, E.S. & Coruh, C., (1988),** "Basic Exploration Geophysics", New York: John Wiley.

16. **SeisImager, (2003),** Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού, Manual, Version 3.0, OYO Corporation.

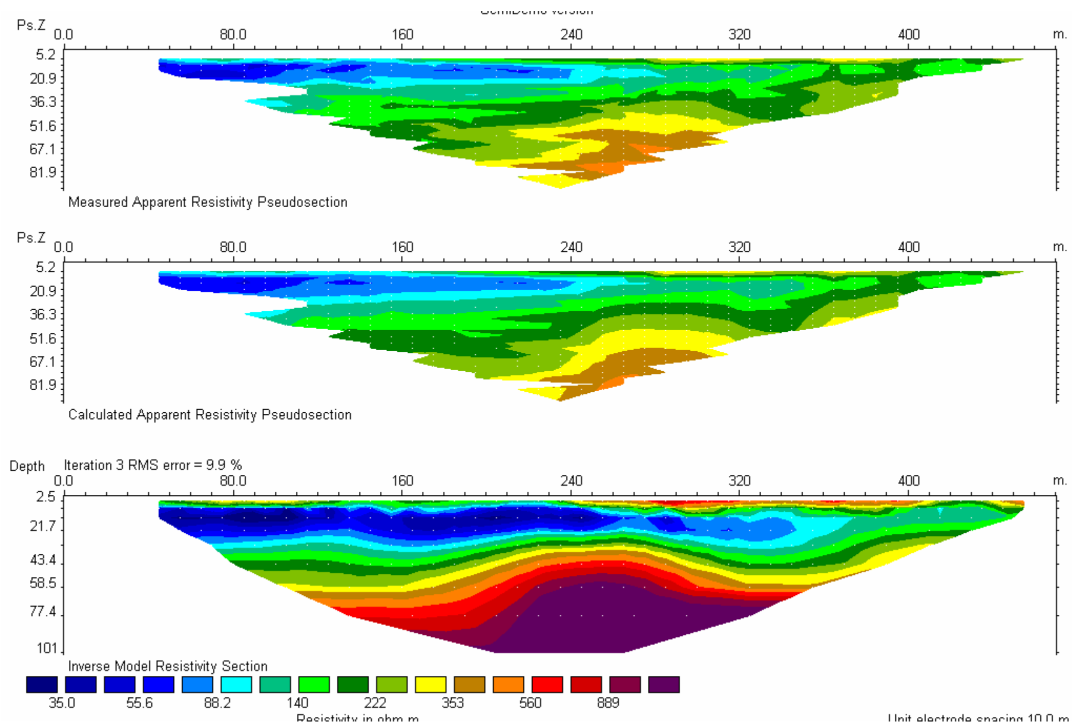
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ   Α</u>

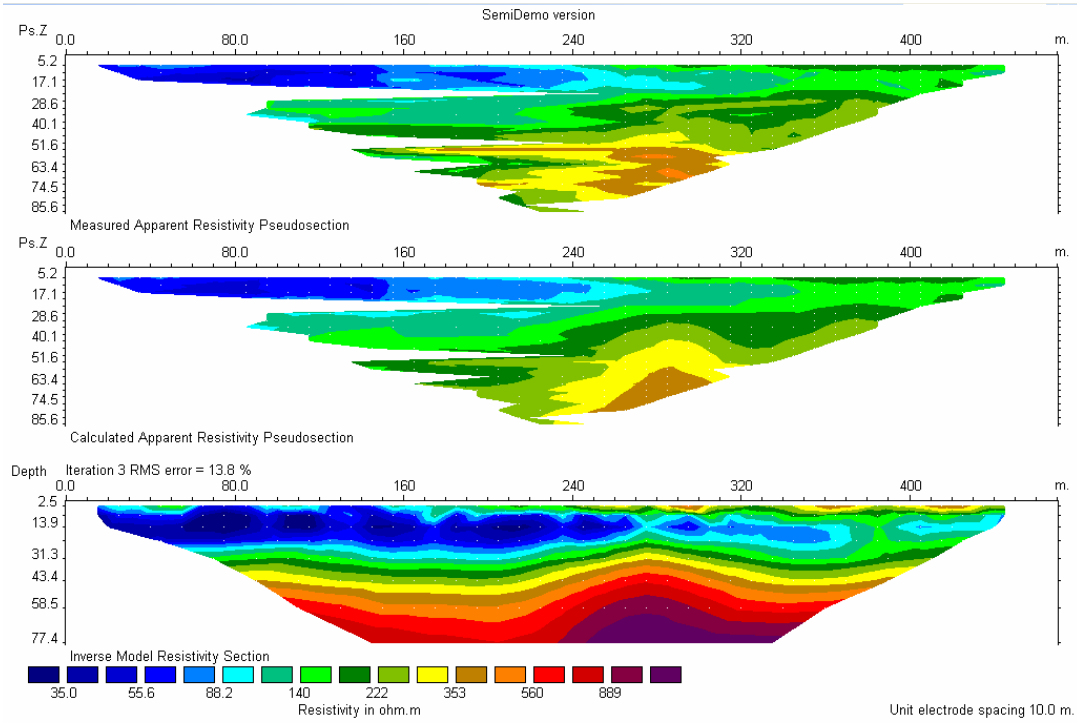
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ



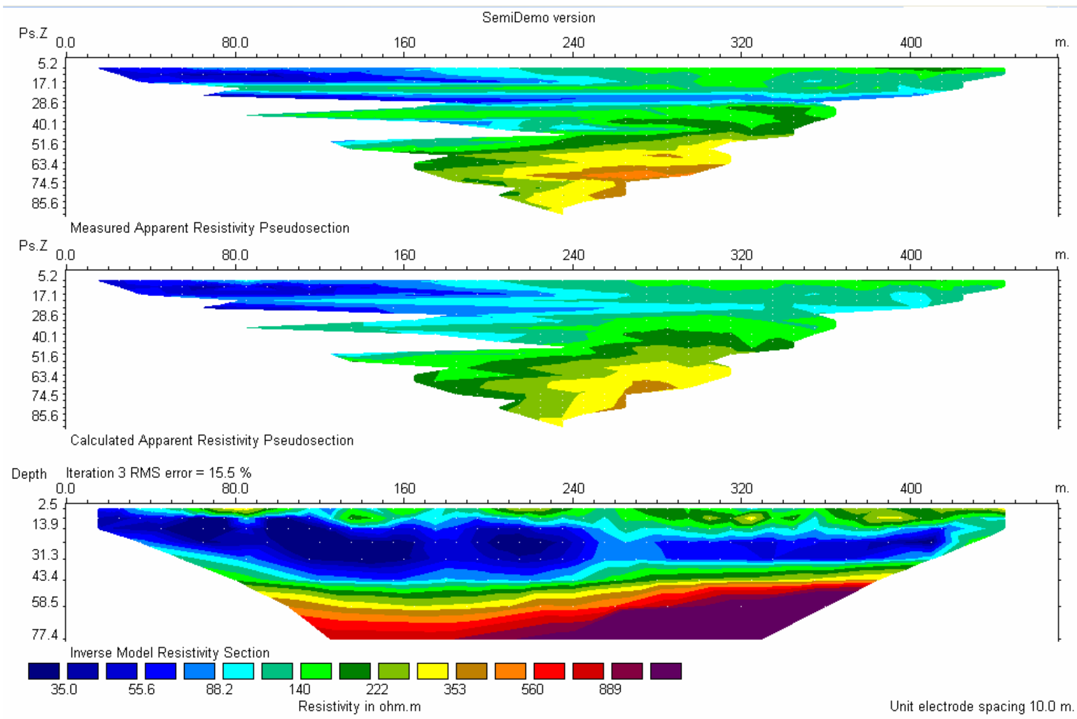
Πειραματική (πάνω) και θεωρητική (μεσαία) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της γραμμής μελέτης 1



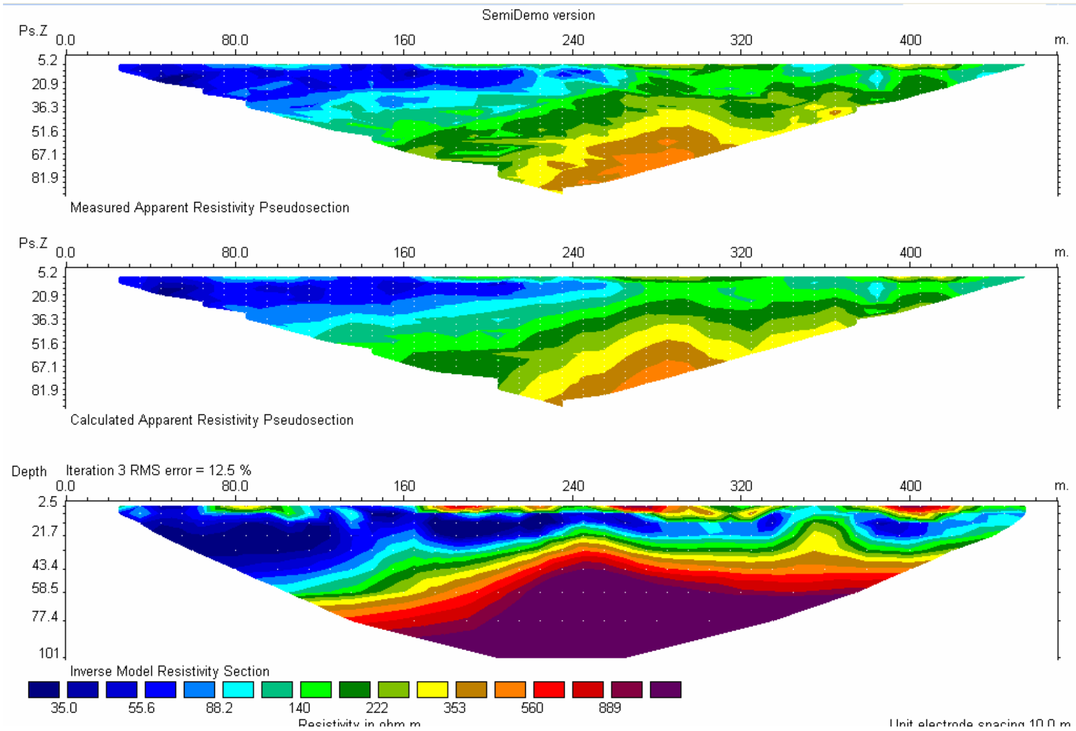
Πειραματική (πάνω) και θεωρητική (μεσαία) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της γραμμής μελέτης 2



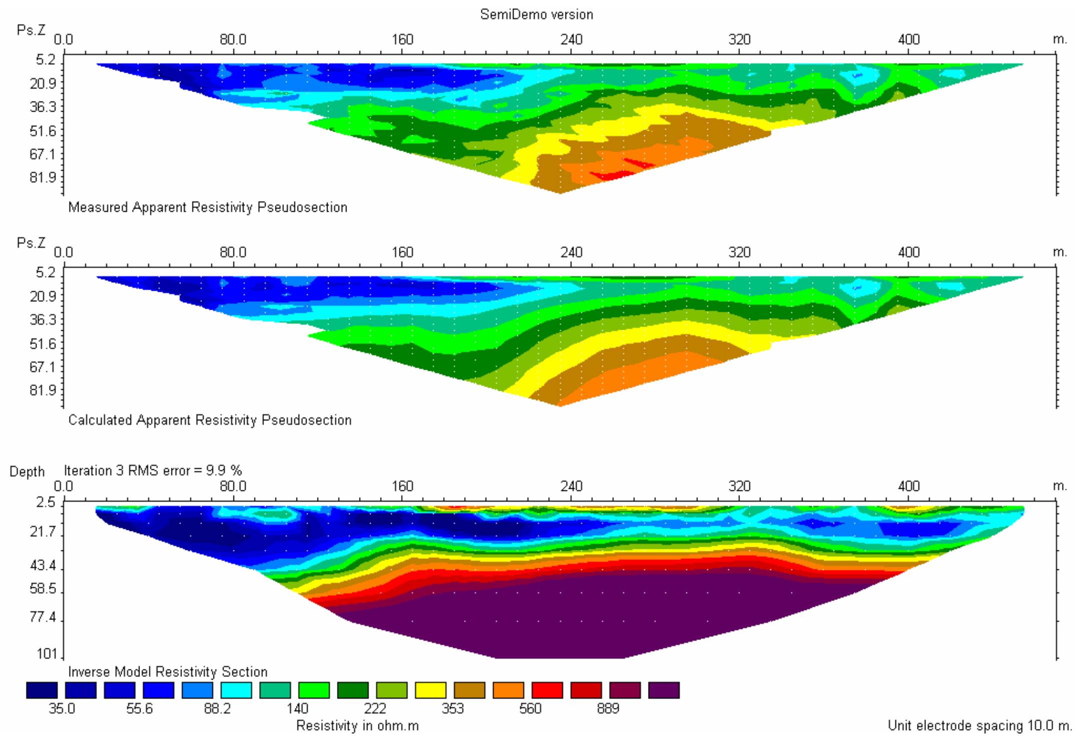
Πειραματική (πάνω) και θεωρητική (μεσαία) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της γραμμής μελέτης 3



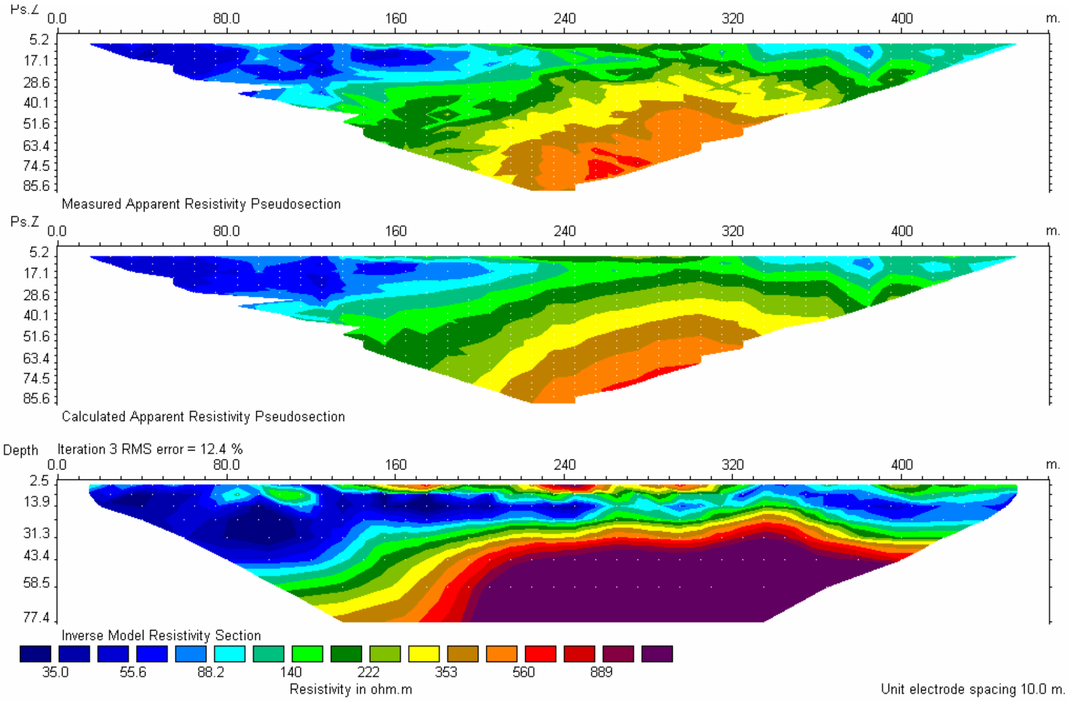
Πειραματική (πάνω) και θεωρητική (μεσαία) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της γραμμής μελέτης 4



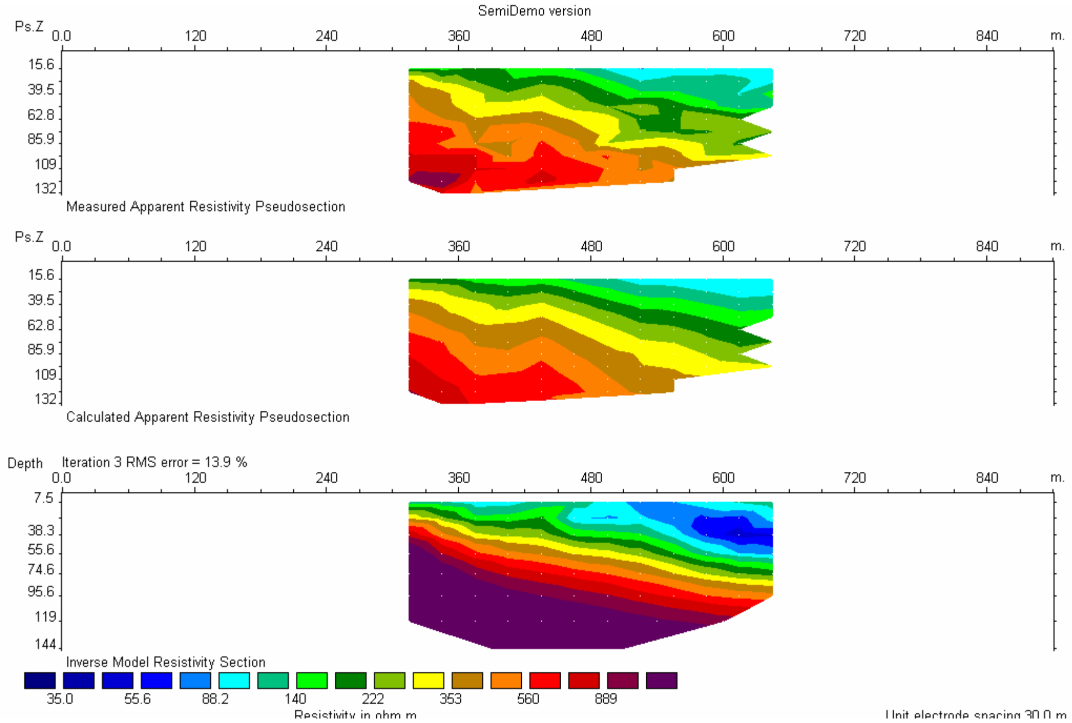
Πειραματική (πάνω) και θεωρητική (μεσαία) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της γραμμής μελέτης 5



Πειραματική (πάνω) και θεωρητική (μεσαία) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της γραμμής μελέτης 6



Πειραματική (πάνω) και θεωρητική (μεσαία) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της γραμμής μελέτης 7

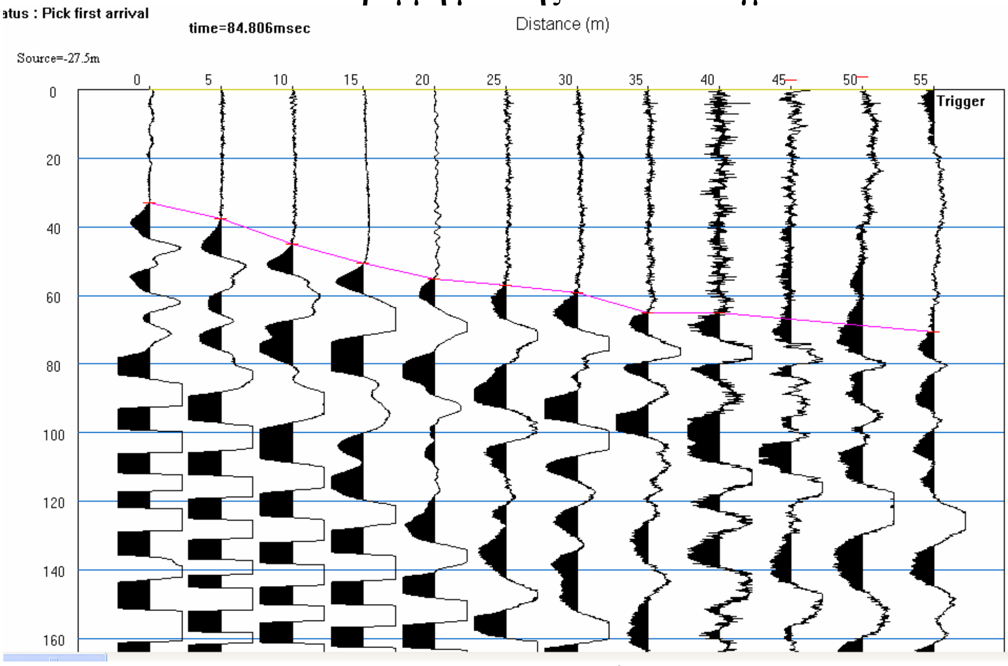


Πειραματική (πάνω) και θεωρητική (μεσαία) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της γραμμής μελέτης Τ3

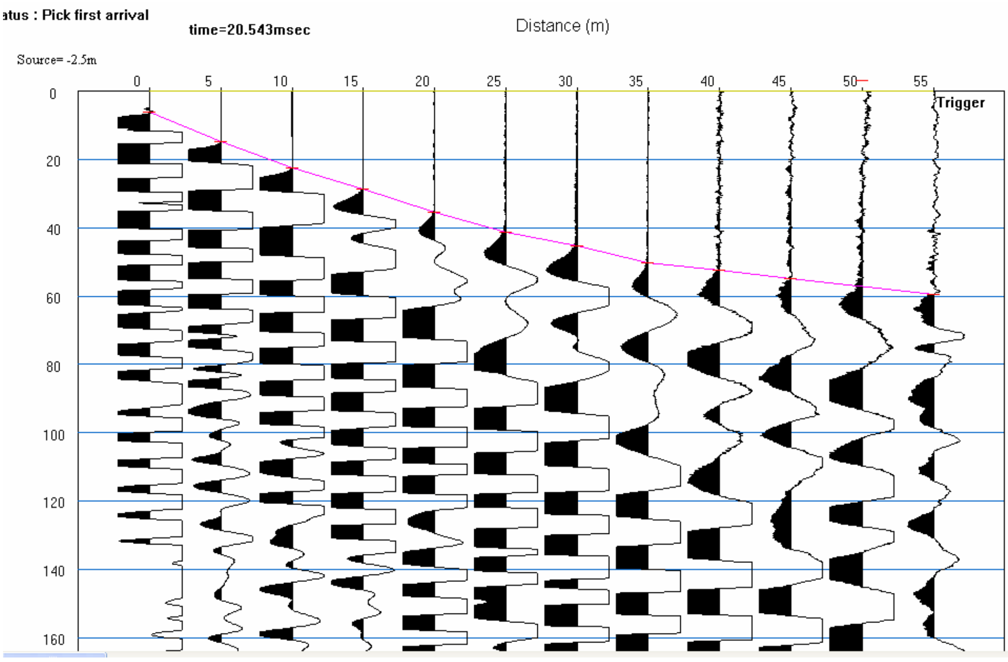
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

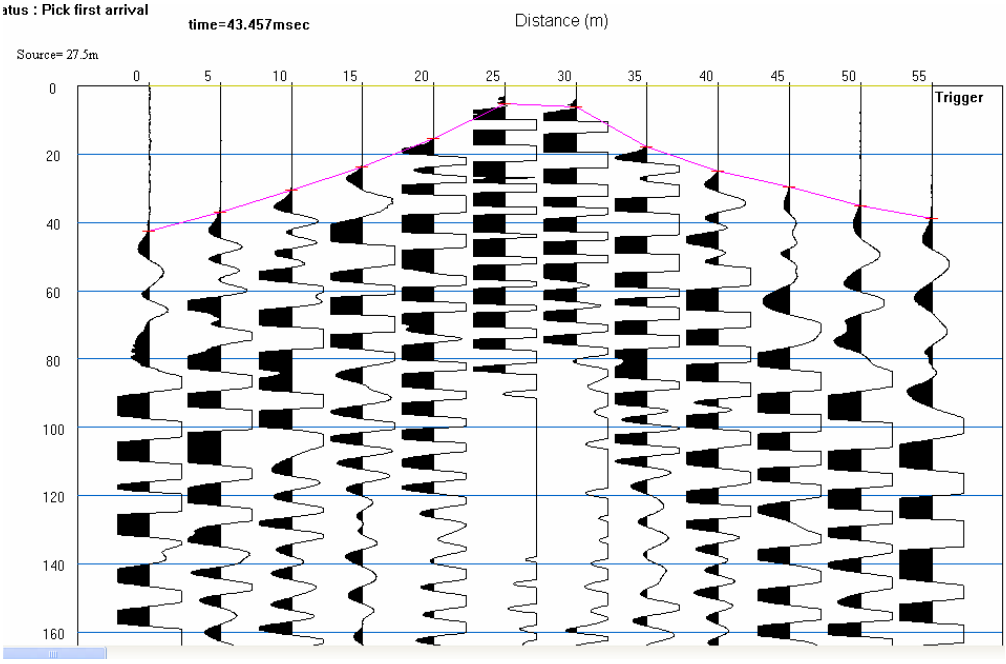
Γραμμή μελέτης 5: 1ο Ανάπτυγμα



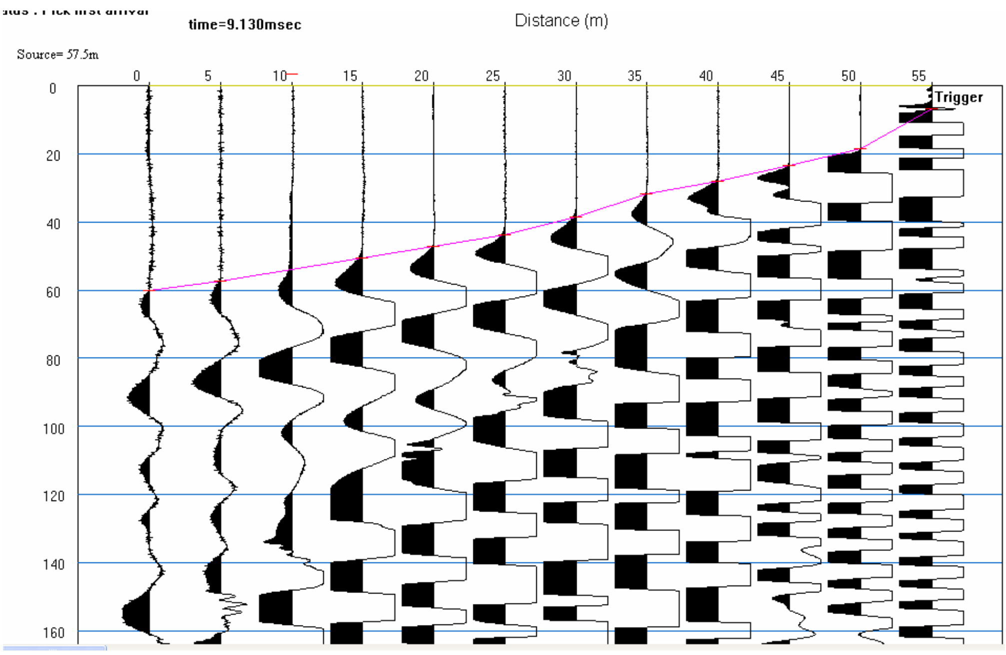
Καταγραφή στη θέση 511 της γραμμής μελέτης 5 στο 1ο ανάπτυγμα



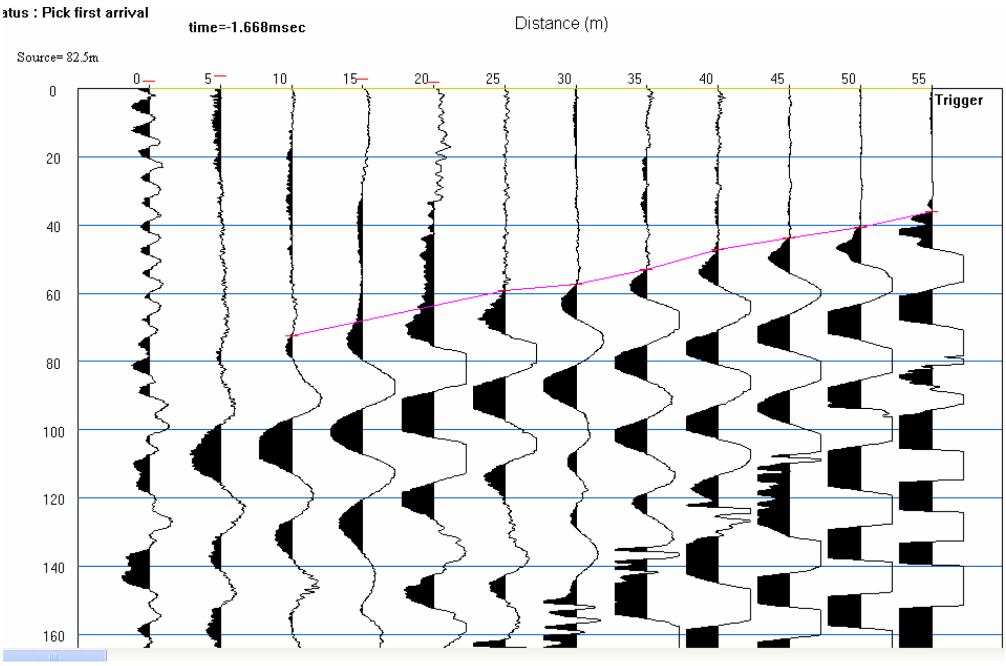
Καταγραφή στη θέση 512 της γραμμής μελέτης 5 στο 1ο ανάπτυγμα



Καταγραφή στη θέση 513 της γραμμής μελέτης 5 στο 1ο ανάπτυγμα

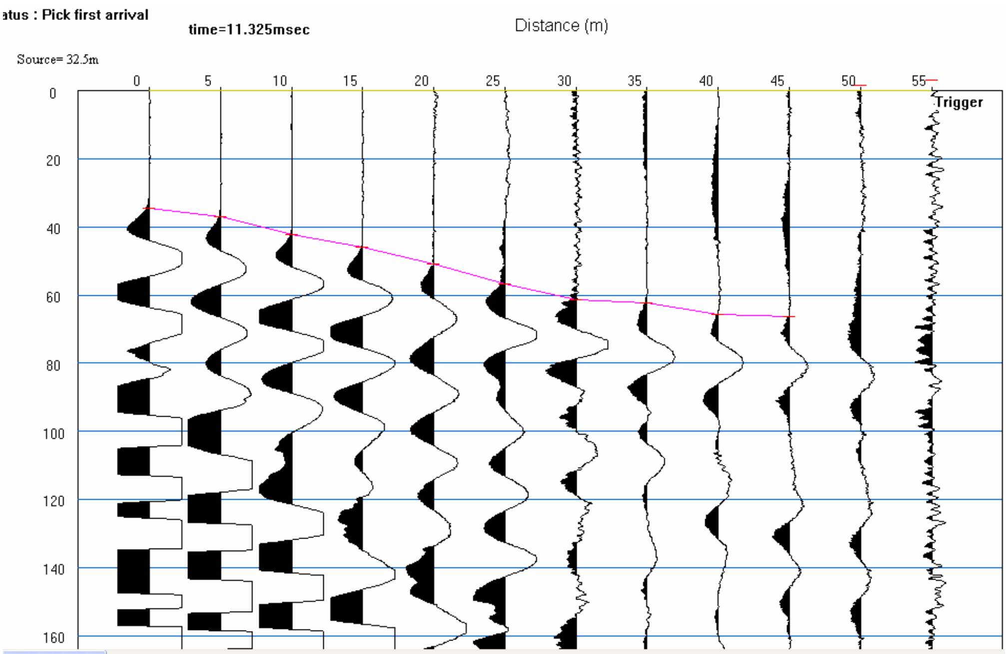


Καταγραφή στη θέση 514 της γραμμής μελέτης 5 στο 1ο ανάπτυγμα

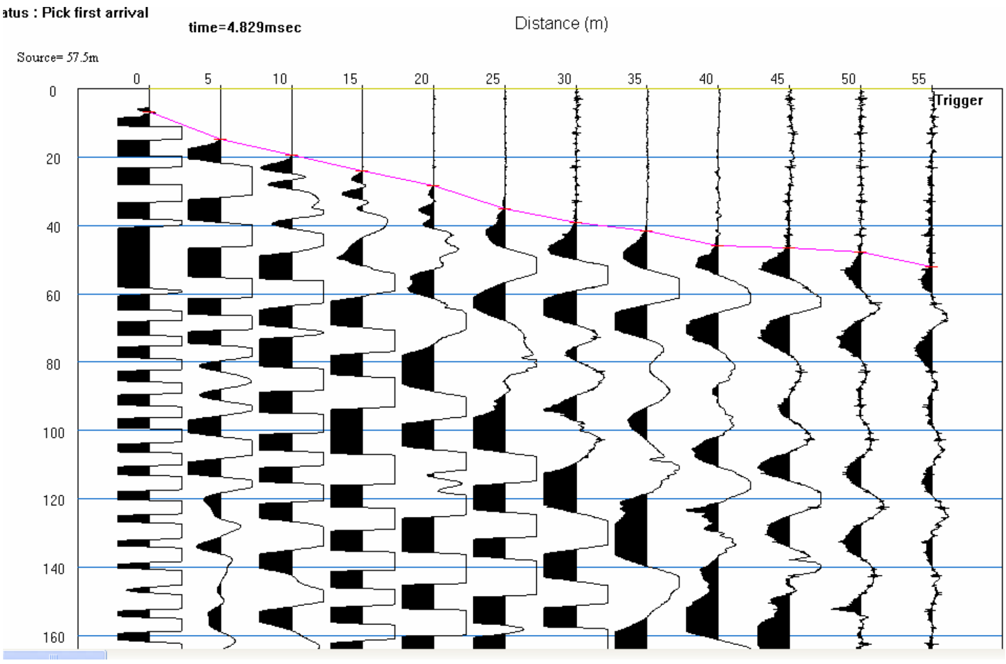


Καταγραφή στη θέση 515 της γραμμής μελέτης 5 στο 1^{o} ανάπτυγμα

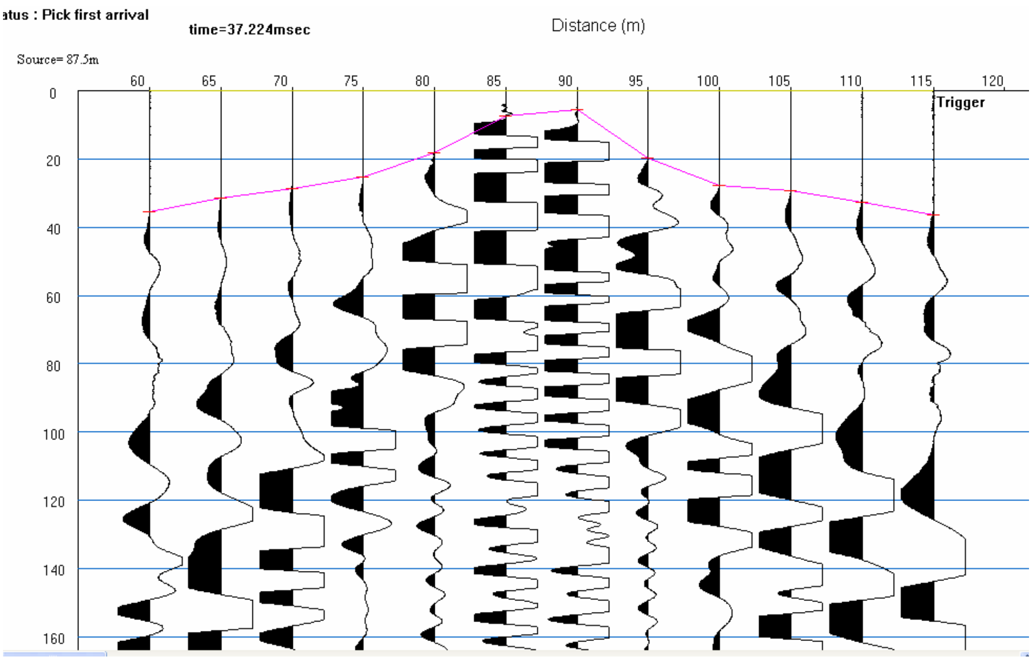
Γραμμή μελέτης 5: 2^{o} Ανάπτυγμα



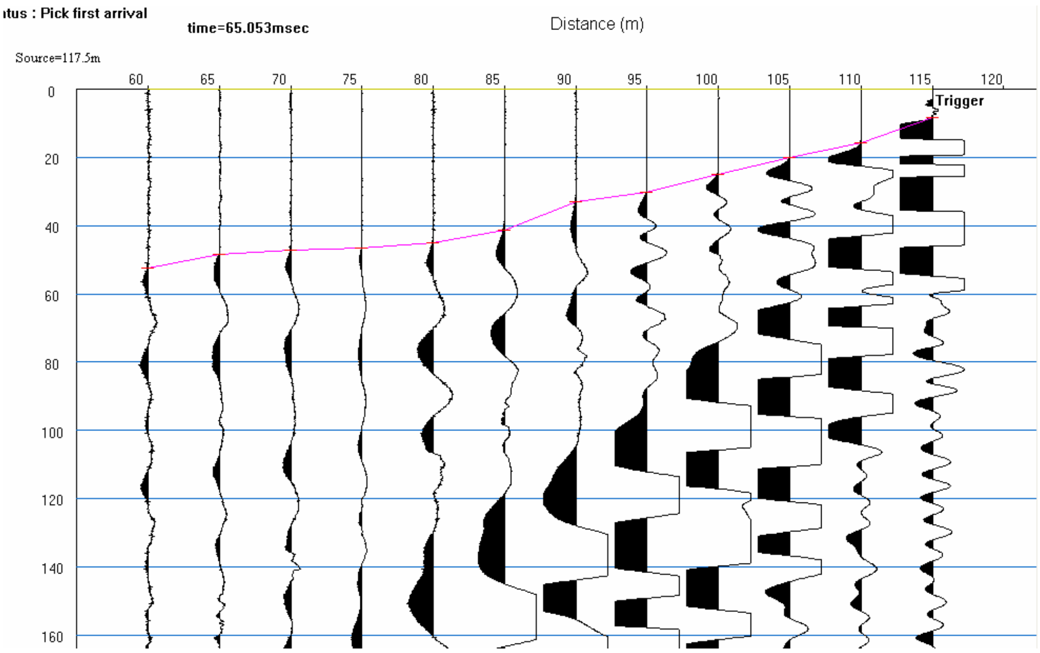
Καταγραφή στη θέση 521 της γραμμής μελέτης 5 στο 2^{o} ανάπτυγμα



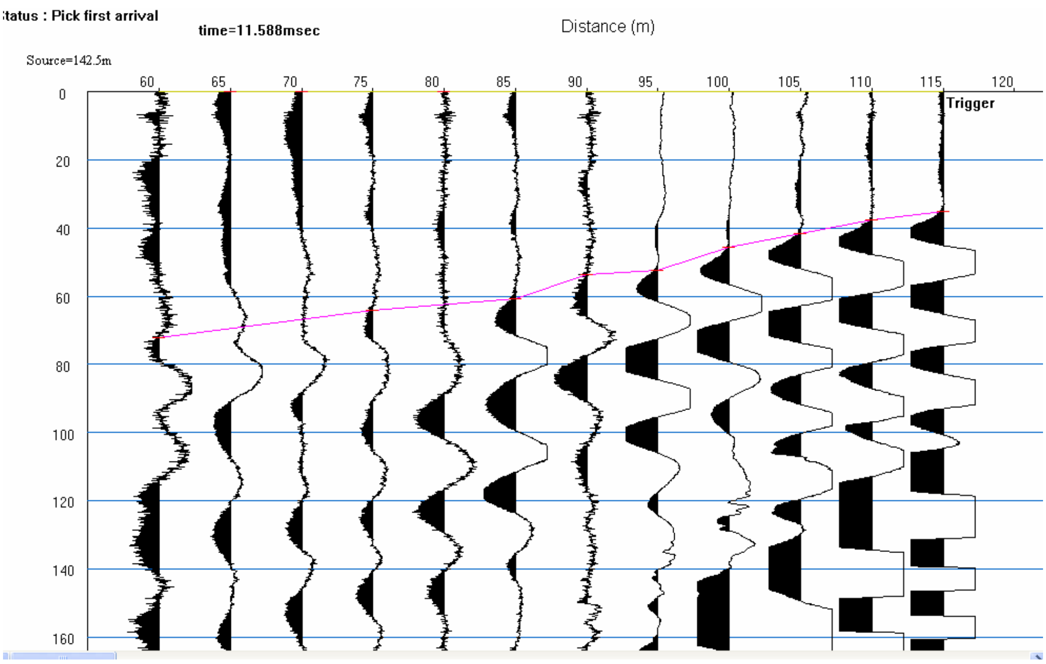
Καταγραφή στη θέση 522 της γραμμής μελέτης 5 στο 2^{o} ανάπτυγμα



Καταγραφή στη θέση 523 της γραμμής μελέτης 5 στο 2^{o} ανάπτυγμα

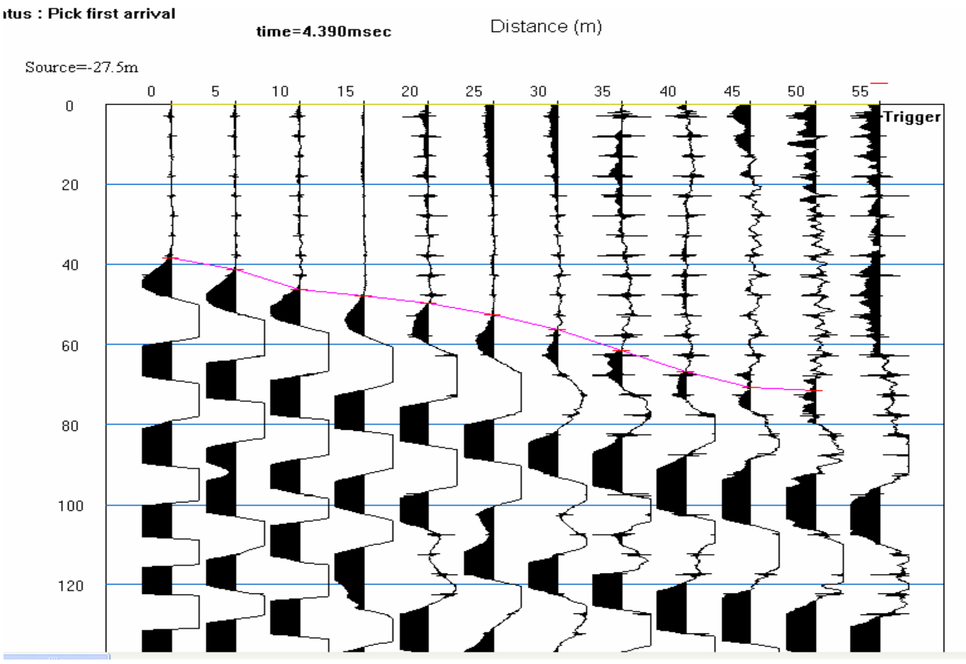


Καταγραφή στη θέση 524 της γραμμής μελέτης 5 στο 2ο ανάπτυγμα

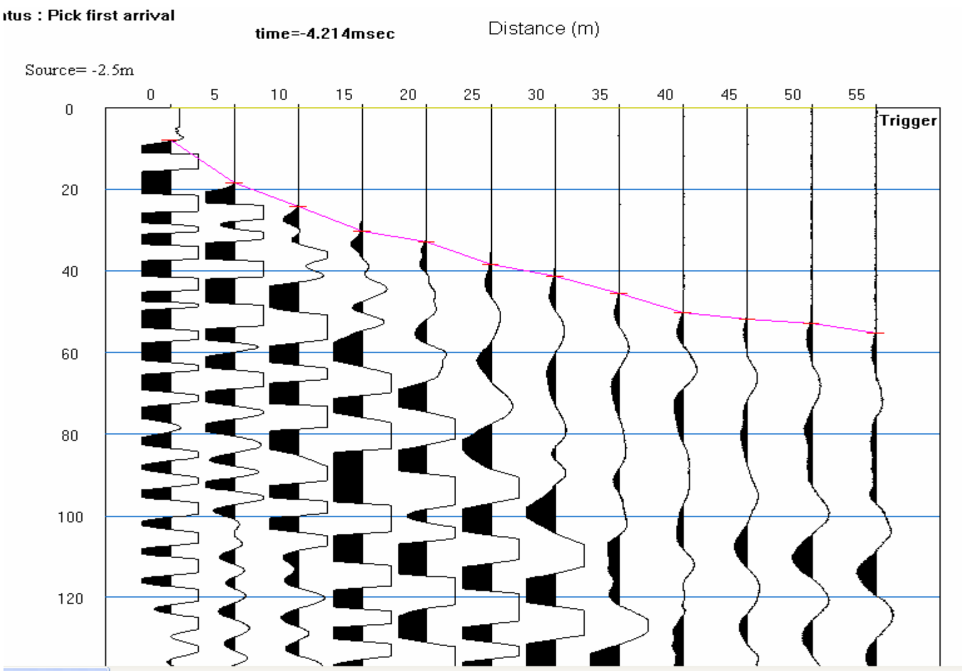


Καταγραφή στη θέση 525 της γραμμής μελέτης 5 στο 2ο ανάπτυγμα

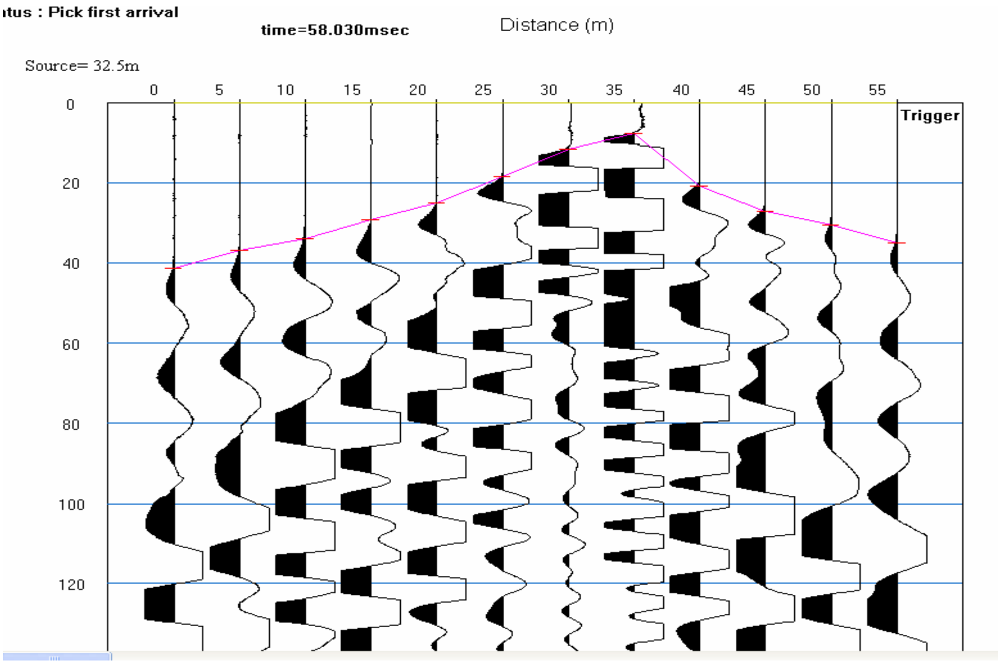
Γραμμή μελέτης 7: 1ο Ανάπτυγμα



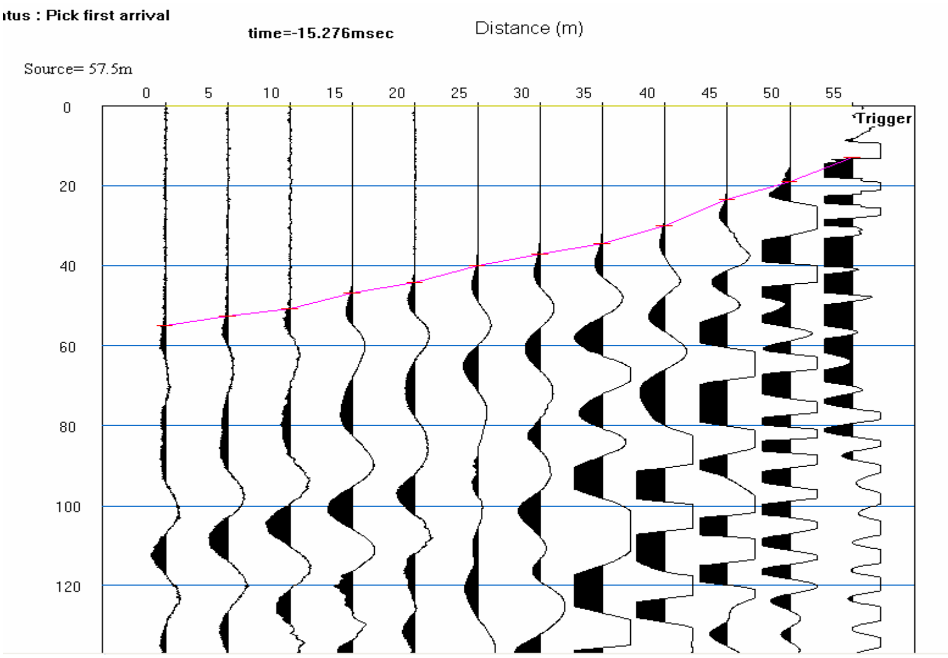
Καταγραφή στη θέση 711 της γραμμής μελέτης 7 στο 1ο ανάπτυγμα



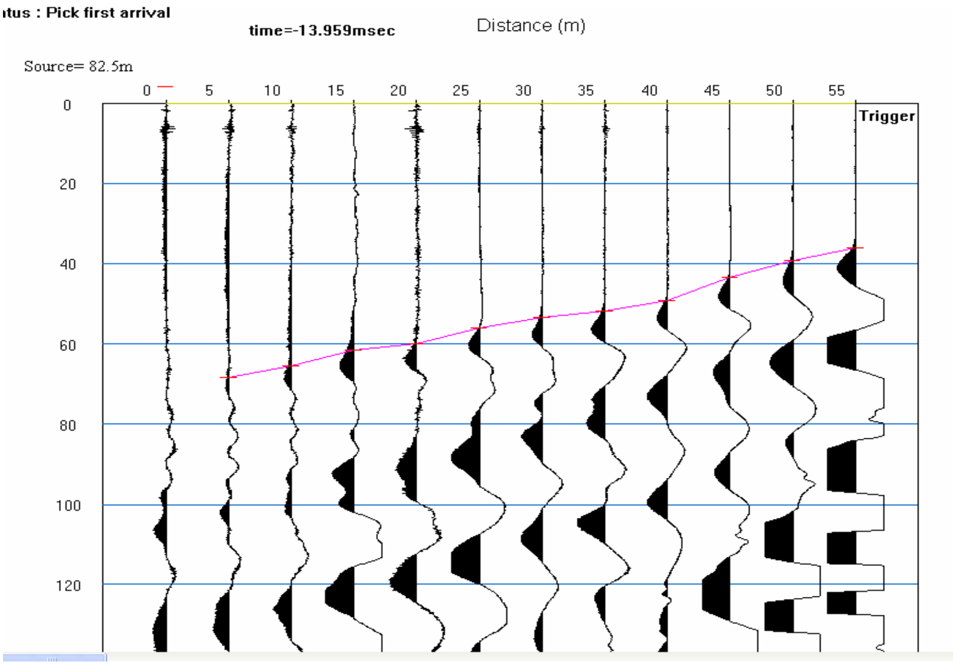
Καταγραφή στη θέση 712 της γραμμής μελέτης 7 στο 1ο ανάπτυγμα



Καταγραφή στη θέση 713 της γραμμής μελέτης 7 στο 1ο ανάπτυγμα

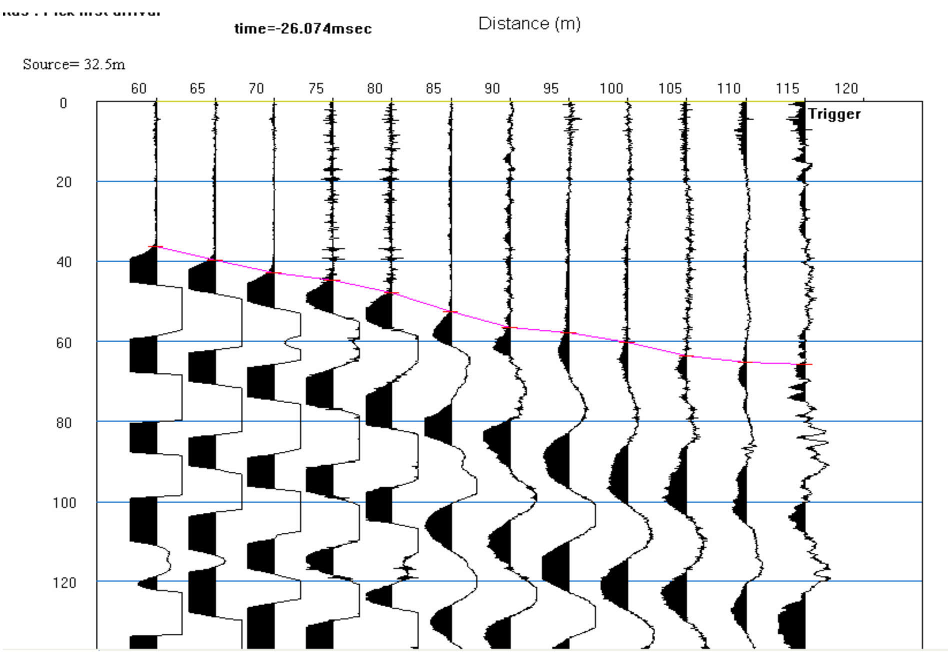


Καταγραφή στη θέση 714 της γραμμής μελέτης 7 στο 1ο ανάπτυγμα

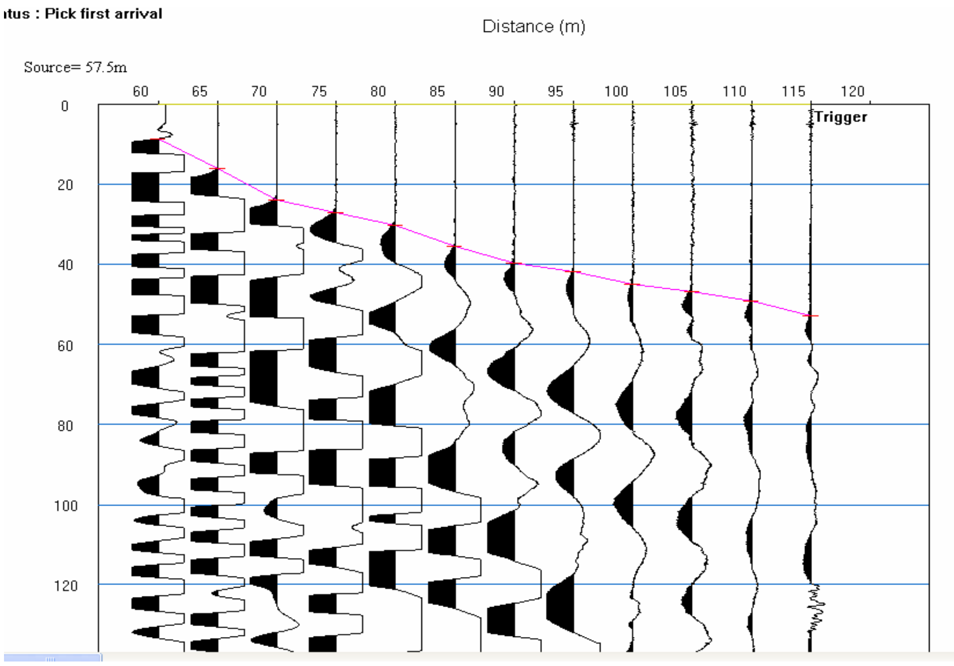


Καταγραφή στη θέση 715 της γραμμής μελέτης 7 στο 1ο ανάπτυγμα

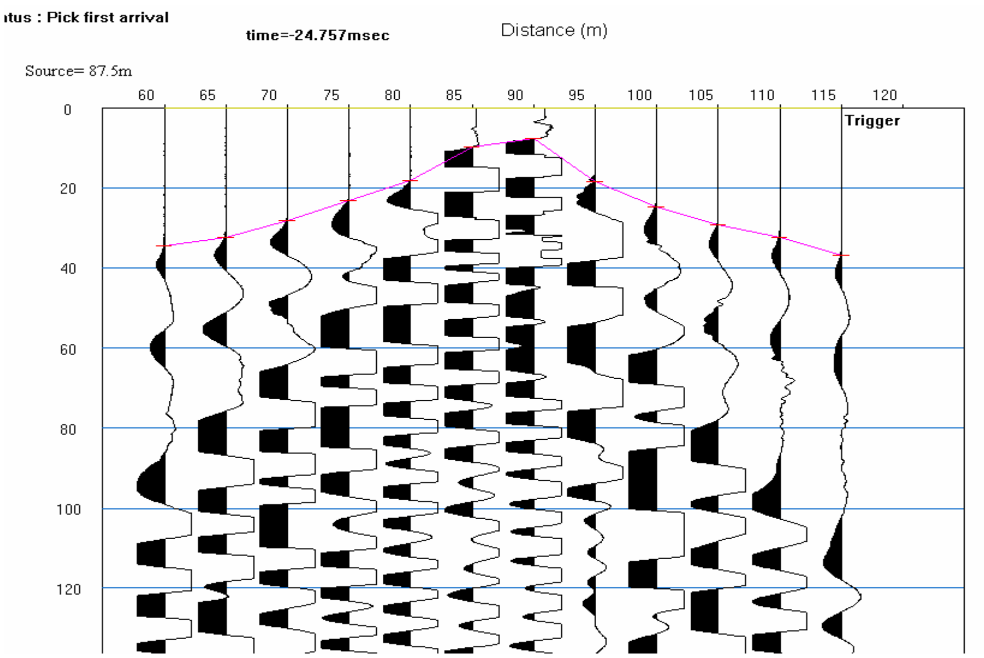
Γραμμή μελέτης 7: 2ο Ανάπτυγμα



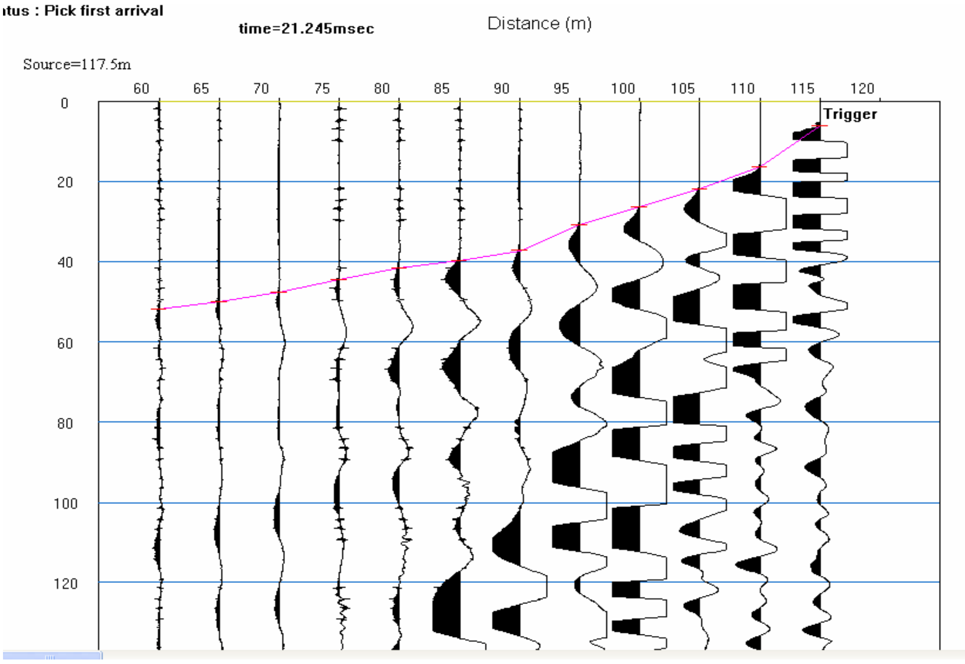
Καταγραφή στη θέση 721 της γραμμής μελέτης 7 στο 2ο ανάπτυγμα



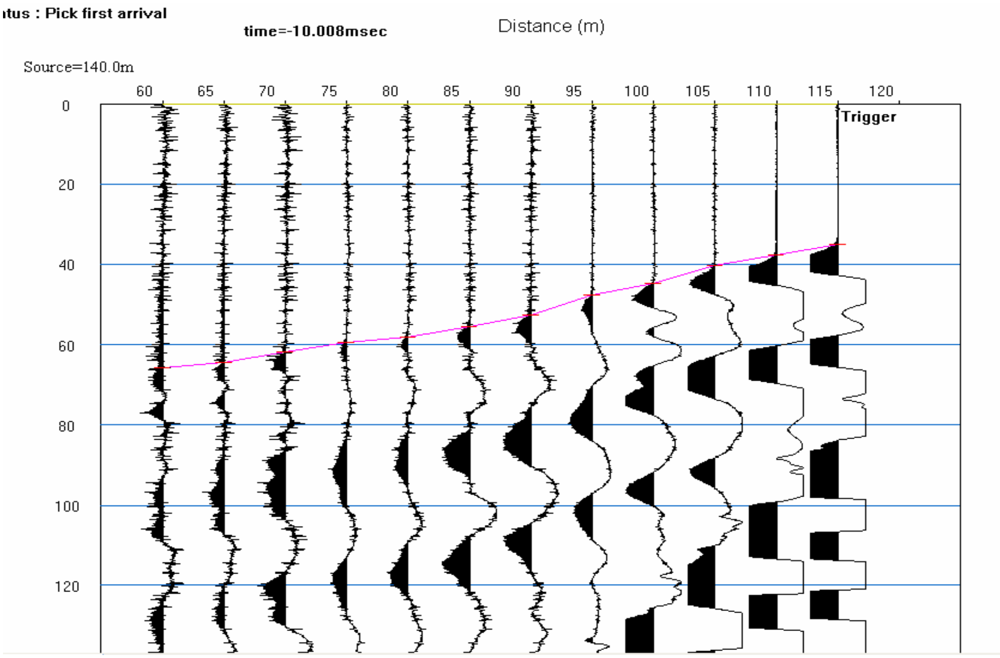
Καταγραφή στη θέση722 της γραμμής μελέτης 7 στο 2ο ανάπτυγμα



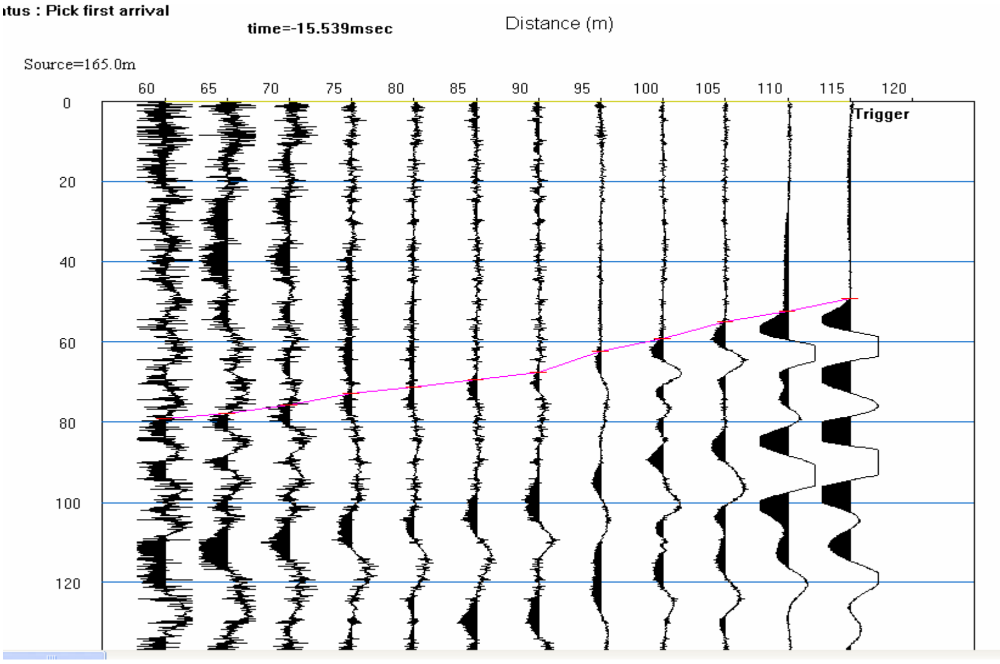
Καταγραφή στη θέση 723 της γραμμής μελέτης 7 στο 2ο ανάπτυγμα



Καταγραφή στη θέση 724 της γραμμής μελέτης 7 στο 2^o ανάπτυγμα



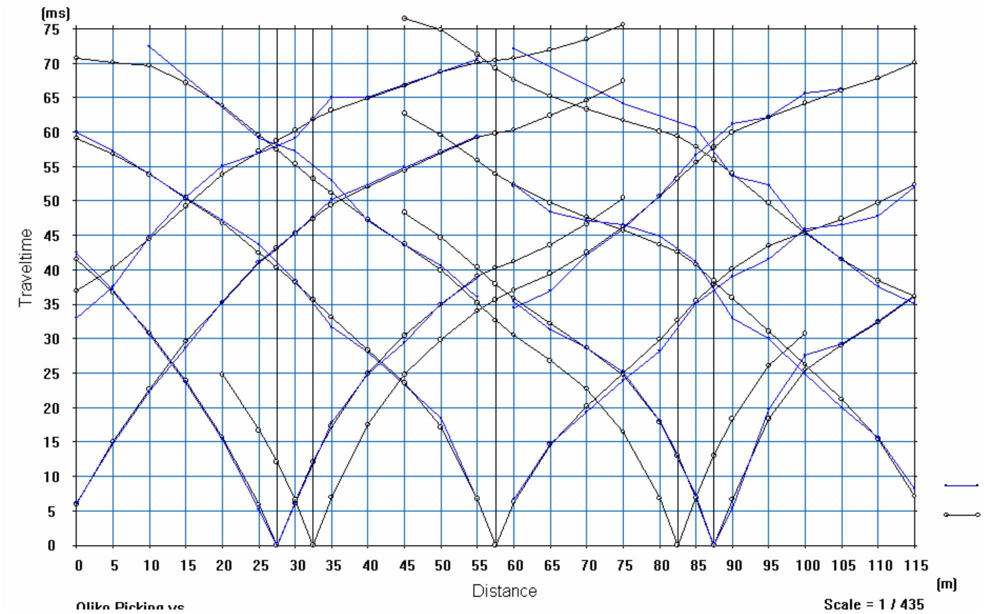
Καταγραφή στη θέση 725 της γραμμής μελέτης 7 στο 2^o ανάπτυγμα



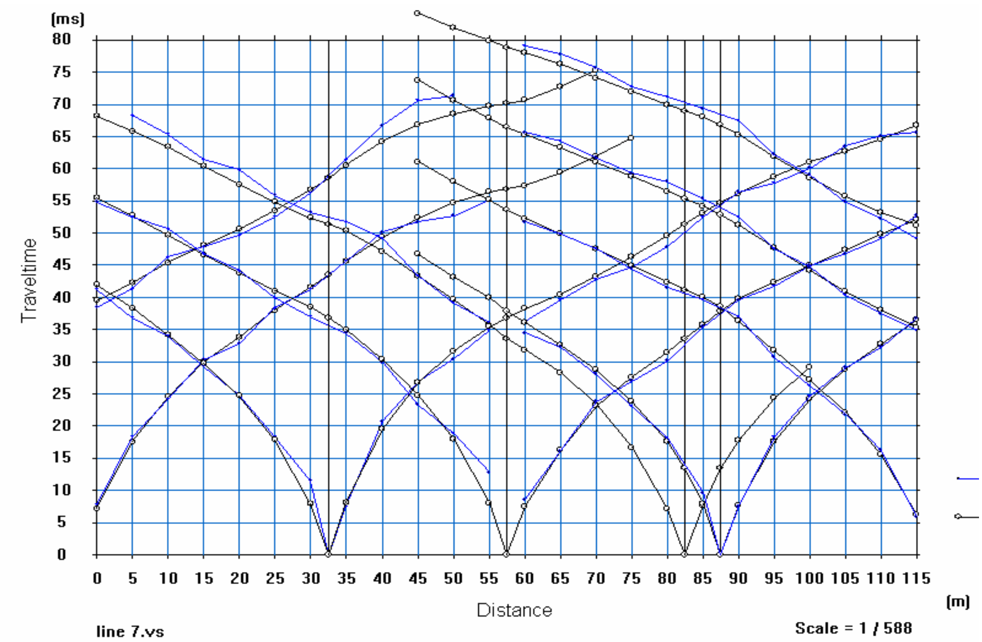
Καταγραφή στη θέση 726 της γραμμής μελέτης 7 στο 2ο ανάπτυγμα

<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ</u>

ΔΡΟΜΟΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ



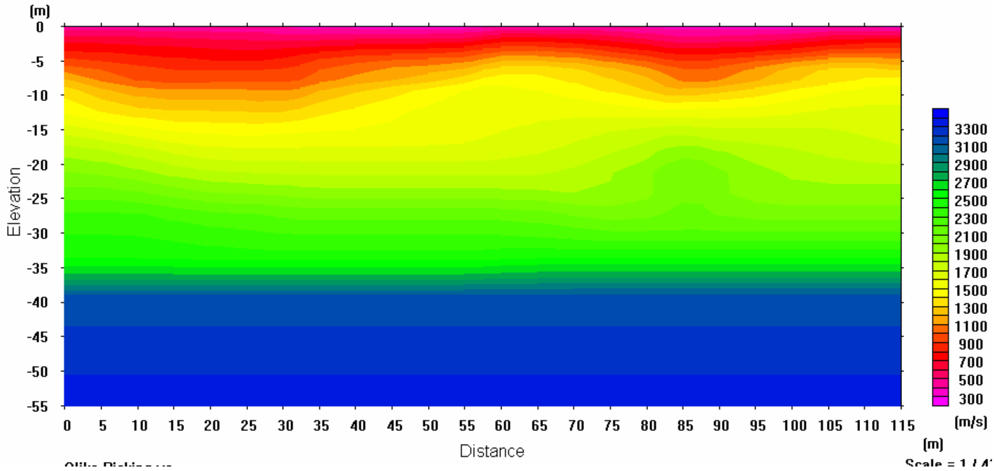
Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης 5



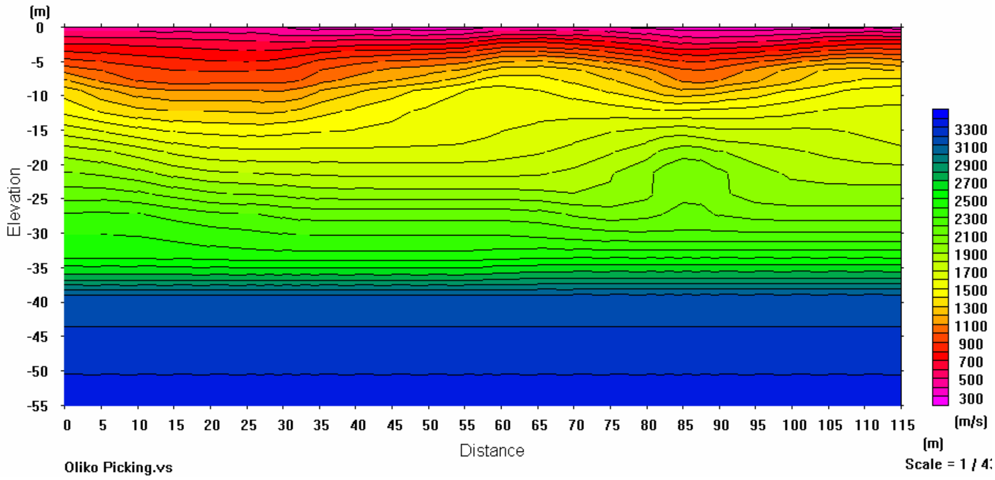
Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης 7

Γραμμή 5:

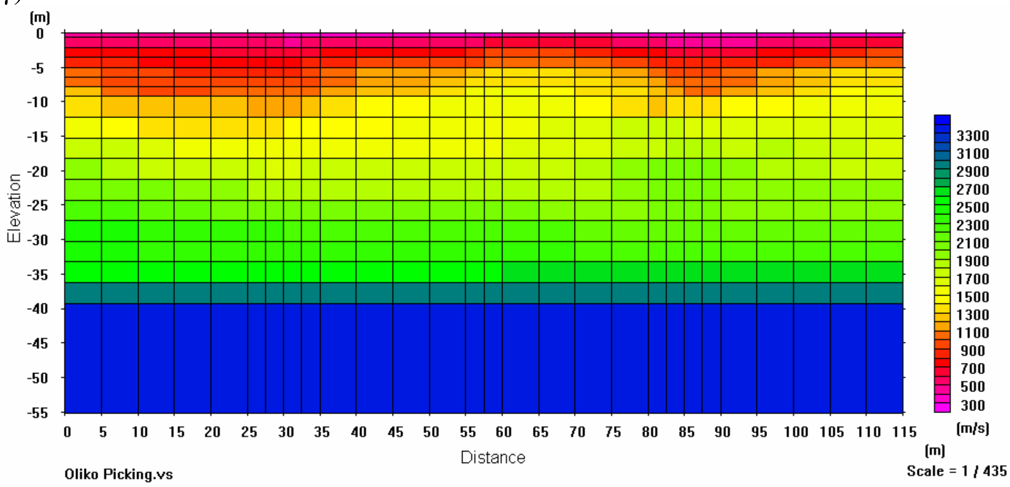
(α)



(β)



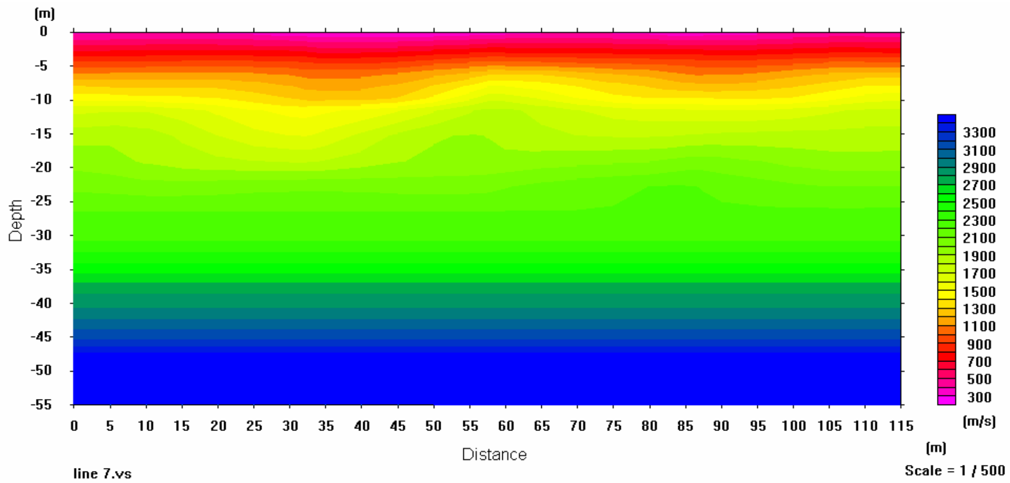
(γ)



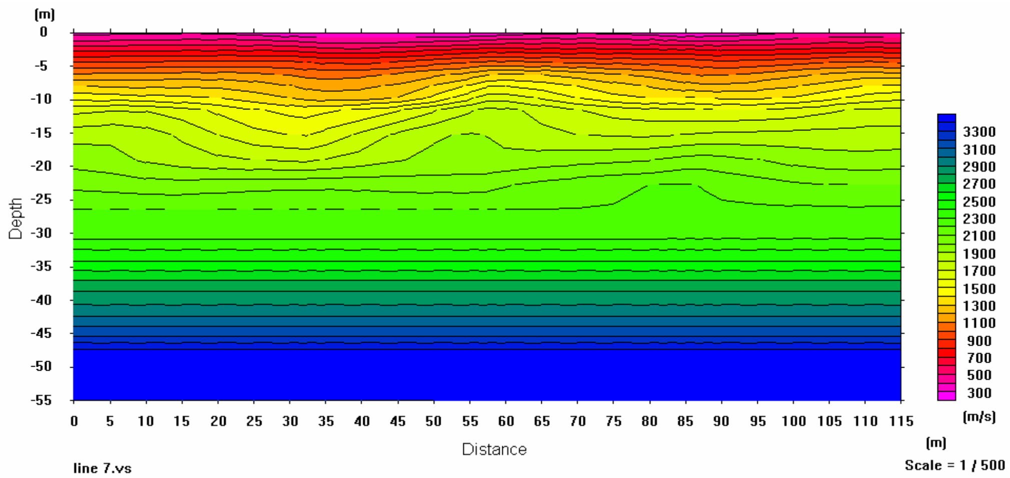
Το σεισμικό μοντέλο της γραμμής 5 σε διάφορες μορφές (α),(β),(γ)

Γραμμή 7:

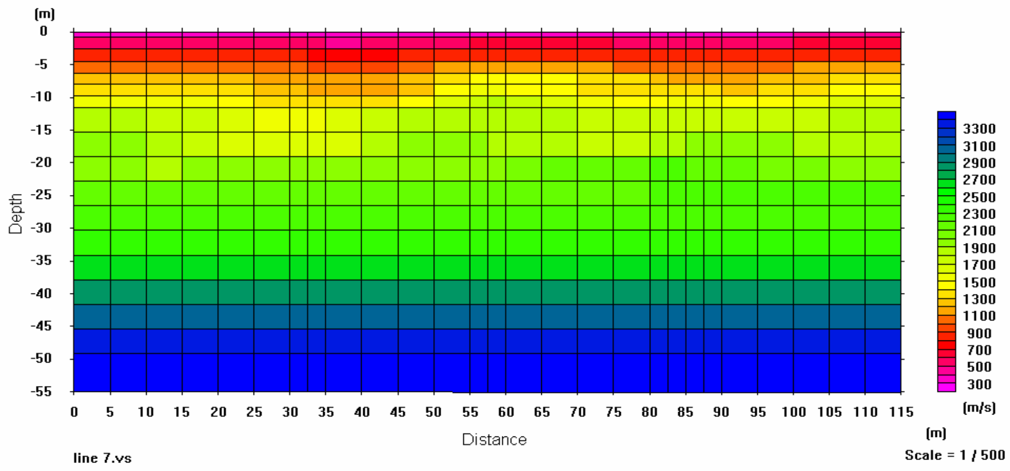
(α)



(β)



(γ)



Το σεισμικό μοντέλο της γραμμής 7 σε διάφορες μορφες (α),(β),(γ)