



# **ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*“ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗ  
ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΣΤΑ  
ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ ΧΑΝΙΩΝ”*

ΣΑΓΚΙΩΤΗ ΚΥΡΙΑΚΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, Επιβλέπων Καθηγητής  
ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, Αναπληρωτής Καθηγητής  
ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, Λέκτορας

ΧΑΝΙΑ  
Ιούνιος, 2010

Στους γονείς μου,  
Χρήστο και Ναούμα

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένα μικρό κομμάτι ενός μεγάλου έργου, σχετικού με την ανάπτυξη μεθοδολογίας συνδυασμένης γεωφυσικής έρευνας για την ανίχνευση της υφαλμύρωσης σε παράκτιους υδροφορείς. Στα πλαίσια του έργου αυτού, πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα στη περιοχή των Φαλασάρνων Χανίων όπου ήταν εμφανής η διείσδυση του υφάλμυρου νερού στους υπόγειους υδροφορείς. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει γεωφυσική διασκόπηση με ηλεκτρικές και σεισμικές μεθόδους. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο χαρακτηρισμός των γεωλογικών σχηματισμών και η ανίχνευση του φαινομένου της υφαλμύρωσης στην περιοχή. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι η ηλεκτρική τομογραφία και η σεισμική διάθλαση.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Αντώνιο Βαφείδη για την υποστήριξη και τη βοήθεια που μου παρείχε, καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον διδάκτορα του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, κύριο Κρητικάκη Γεώργιο για τη βοήθεια, την υπομονή του και για την άψογη συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα. Ευχαριστώ, ακόμη, τον διδάκτορα του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, κύριο Hamdan Hamdan για τις συμβουλές και το χρόνο που αφιέρωσε. Τέλος, ευχαριστώ πολύ τον Αναπληρωτή Καθηγητή, κύριο Μανούτσογλου Εμμανουήλ καθώς και το Λέκτορα, κύριο Στειακάκη Εμμανουήλ, οι οποίοι συμμετέχουν ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι γεωφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται στη μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρωσης στους παράκτιους υδροφορείς. Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης θεωρείται ως η πιο κατάλληλη για τον εντοπισμό του μετώπου υφαλμύρωσης, ενώ με την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης υπολογίζεται το πάχος των γεωλογικών σχηματισμών.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας στο βόρειο τμήμα της περιοχής των Φαλασάρνων χρησιμοποιώντας τις μεθόδους της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας, εφαρμοζόμενες σε τρεις γραμμές μελέτης συνολικού μήκους 825 m και 1400 m, αντίστοιχα. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων με τα προγράμματα SeisImager και RES2DINV προέκυψαν οι αντίστοιχες σεισμικές και γεωηλεκτρικές τομές.

Οι σεισμικές και γεωηλεκτρικές τομές συνδυάστηκαν με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος COREL. Από την ερμηνεία των συνδυαστικών τομών και χρησιμοποιώντας το γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης, απεικονίστηκαν οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούνται από νεότερες και παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες του Τεταρτογενούς, μαργαϊκό ασβεστόλιθο του Νεογενούς καθώς και από ασβεστόλιθο Πίνδου ή/και Τρίπολης. Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης εμφανίζεται κυρίως στις θέσεις των γεωηλεκτρικών τομών όπου παρατηρούνται πολύ μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 20  $\Omega\text{m}$ ).

|                  |     |
|------------------|-----|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....    | iii |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....    | iv  |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ..... | v   |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 1.1) ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ.....    | 1  |
| 1.1.1) ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ.....          | 1  |
| 1.1.2) ΚΑΡΣΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ..... | 4  |
| 1.2) ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ.....        | 5  |
| 1.3) ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ..... | 8  |
| 1.3.1) ΓΕΝΙΚΑ.....                        | 8  |
| 1.3.2) ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ.....                    | 8  |
| 1.4) ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....               | 10 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 2.1) ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ.....                 | 13 |
| 2.1.1) ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ.....         | 13 |
| 2.1.2) ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ.....   | 17 |
| 2.1.3) ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....          | 18 |
| 2.1.4) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ..... | 21 |
| 2.1.4.1) ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ.....                 | 23 |
| 2.1.4.2) ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΑΦΙΞΕΩΝ.....              | 23 |
| 2.1.4.3) ΔΡΟΜΟΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ.....                  | 24 |
| 2.1.4.4) ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....             | 25 |
| 2.2) ΜΕΘΟΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....              | 29 |
| 2.2.1) ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....      | 29 |
| 2.2.2) ΟΡΓΑΝΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ .....         | 30 |
| 2.2.3) ΔΙΑΤΑΞΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....                       | 31 |
| 2.2.4) ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....                         | 32 |
| 2.2.5) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....                     | 34 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 3.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....                                | 39 |
| 3.2) ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ.....                        | 39 |
| 3.2.1) LINE FAS 1.....                             | 41 |
| 3.2.2) LINE FAS 2.....                             | 45 |
| 3.2.3) LINE FAS 3.....                             | 47 |
| 3.3) ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....                     | 49 |
| 3.3.1) ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....                       | 49 |
| 3.3.2) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ..... | 50 |
| 3.3.2.1) LINE 1.....                               | 50 |
| 3.3.2.2) LINE 2.....                               | 53 |
| 3.3.2.3) LINE 3.....                               | 55 |

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1) ΓΕΝΙΚΑ.....                                                             | 57 |
| 4.2) ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ LINE FAS 1<br>ΚΑΙ LINE 1..... | 59 |
| 4.3) ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ LINE FAS 2<br>ΚΑΙ LINE 2..... | 62 |
| 4.4) ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ LINE FAS 3<br>ΚΑΙ LINE 3..... | 64 |

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 5.1) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....                              | 66  |
| 5.2) ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....                                 | 67  |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                                   | 68  |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ.....              | 70  |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ..... | 109 |

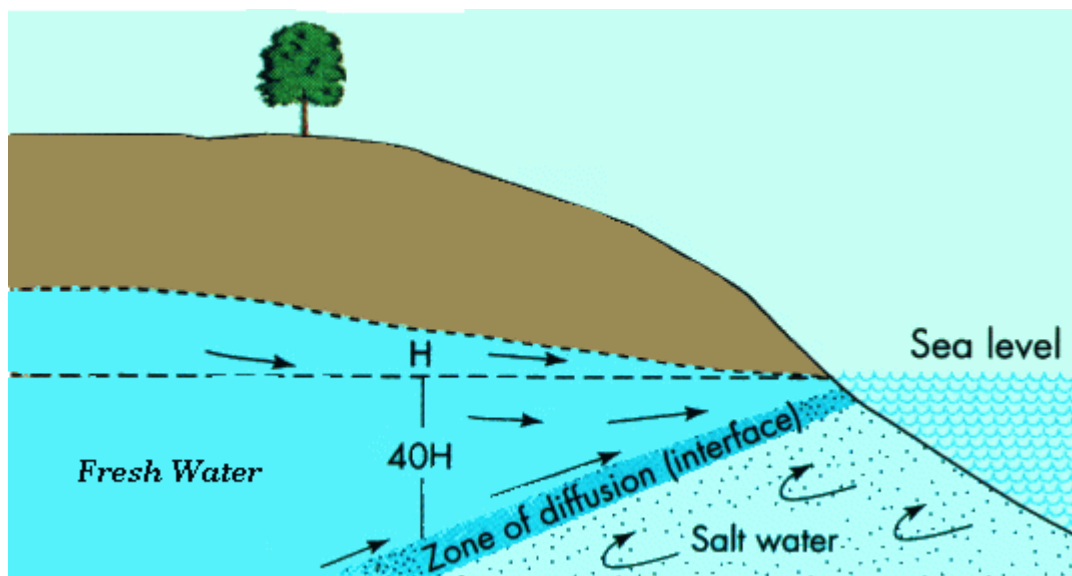
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1) ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

#### 1.1.1) ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Υφαλμύρωση ονομάζεται η παρείσφρηση (διείσδυση) του θαλασσινού νερού στους υδροφορείς του γλυκού νερού που οφείλεται σε φυσικές διεργασίες ή και στις ανθρώπινες δραστηριότητες (Σχήμα 1.1). Η διείσδυση αυτή προκαλείται είτε από τη μείωση της στάθμης των υπόγειων υδάτων, είτε από την αύξηση της στάθμης του θαλασσινού νερού.

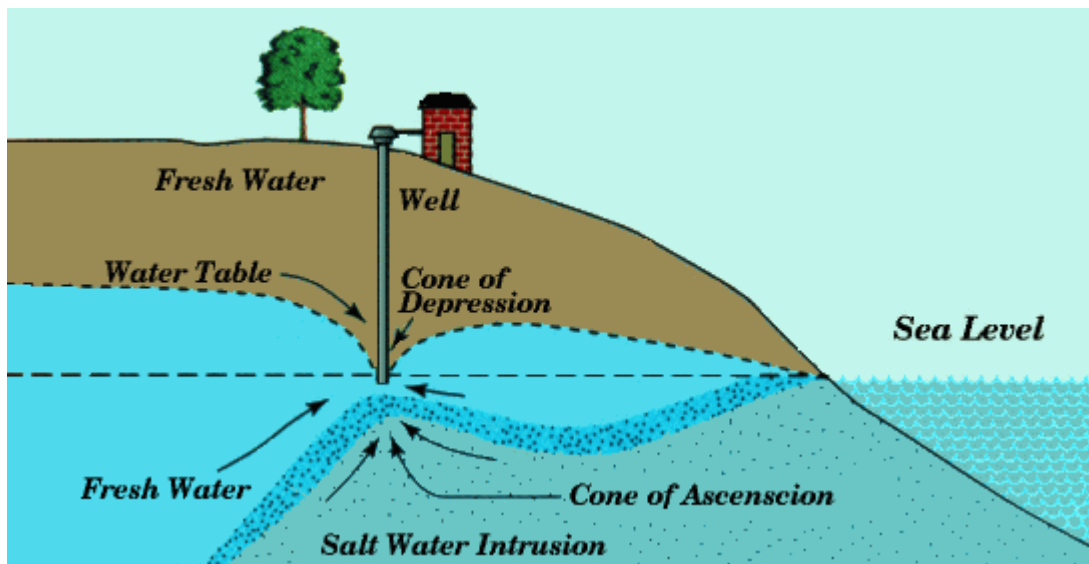


Σχήμα 1.1: Διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. (www.lenntech.com)

Η άντληση του γλυκού νερού με πολύ γρήγορους ρυθμούς έχει ως αποτέλεσμα την ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα. Το επίπεδό του σχηματίζει, λοιπόν, έναν ανεστραμμένο κώνο, το λεγόμενο κώνο πτώσης στάθμης (Σχήμα 1.2). Η ανύψωση της στάθμης του θαλασσινού νερού προκαλείται από το γεγονός ότι αυτό έχει υψηλότερη πυκνότητα από το γλυκό νερό καθώς περιέχει περισσότερες διαλυμένες

ουσίες. Η διαφορά αυτή στην πυκνότητα είναι και η αιτία όπου η πίεση σε μία στήλη θαλασσινού νερού είναι μεγαλύτερη από μια ανάλογη στήλη με γλυκό νερό. Αν λοιπόν αυτές οι δύο στήλες ενωθούν στο κάτω μέρος, οι δύο διαφορετικές πιέσεις τείνουν να εξισωθούν μέσω ροής της στήλης του νερού με τη μεγαλύτερη πυκνότητα (θαλασσινό) σε αυτό με τη μικρότερη (γλυκό).

Η ροή του αλμυρού νερού περιορίζεται στην παράκτια περιοχή. Όσο μεγαλώνει η απόσταση από τη θάλασσα, η στήλη γλυκού νερού γίνεται ψηλότερη καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, επομένως ικανή να εξισωθεί με τη στήλη θαλασσινού νερού σταματώντας τη διείσδυσή του (Σχήμα 1.1). Όσο όμως το υπόγειο νερό αντλείται, τόσο επιτρέπει στο θαλασσινό να διεισδύσει προς την ενδοχώρα. Αυτός είναι και ο λόγος που σε πολλά νησιά της Μεσογείου είναι απαραίτητη η επαρκής αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων.



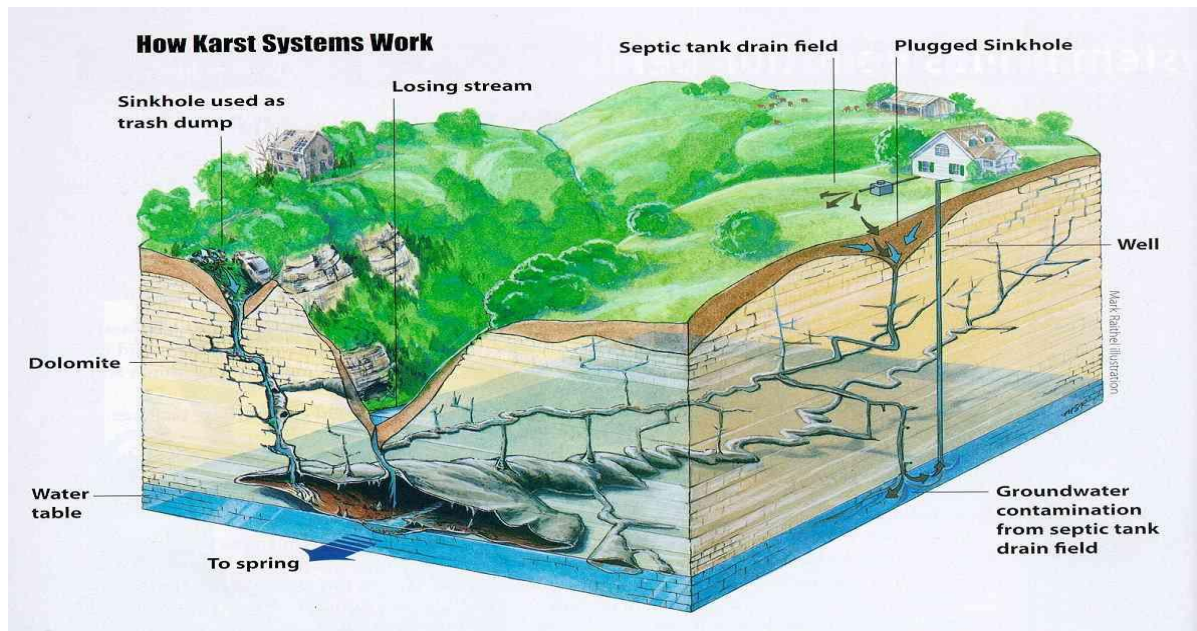
Σχήμα 1.2: Σχηματιζόμενος κώνος πτώσης στάθμης με την άντληση του νερού. (www.lenntech.com)

Αναλυτική περιγραφή του φαινομένου της υφαλμύρωσης και των απαραίτητων μέτρων για τον περιορισμό του ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής και υπάρχει σε σχετική βιβλιογραφία (π.χ. Σούλιος, 1996). Κατά το φαινόμενο της υφαλμύρωσης, οι υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου στο νερό, το καθιστούν ακατάλληλο για ύδρευση, άρδευση, άλλα και για πολλές άλλες βιομηχανικές χρήσεις. Ακόμα, υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου επιδρούν αρνητικά στην υγεία ατόμων που ανήκουν σε ευπαθείς ομάδες και υποφέρουν από καρδιακές νόσους ή υψηλή

αρτηριακή πίεση. Συγκεντρώσεις χλωρίου μεγαλύτερες από τα επιτρεπτά επίπεδα στο νερό μπορούν επίσης να καταστρέψουν την βλάστηση προκαλώντας φυλλόπτωση ή ακόμα και κάψιμο των φυτών. Σε λιμναία ή ποτάμια ύδατα, η παρουσία των μεταλλικών στοιχείων αυξάνεται εμποδίζοντας τη διανομή του οξυγόνου και των θρεπτικών συστατικών, οπότε βλάπτεται και η υδρόβια ζωή ([www.Chania-info.gr](http://www.Chania-info.gr), Κουσούρης, 2007).

### 1.1.2) ΚΑΡΣΤΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Στην περίπτωση καρστικοποιημένου γεωλογικού σχηματισμού (Σχήμα 1.3), το πρόβλημα ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα εντείνεται, καθώς καθίσταται δυνατή η παρείσφρηση του θαλασσινού νερού ή ακόμα και η απορροή του γλυκού νερού προς τη θάλασσα μέσω προνομιακών διόδων μετακίνησης του νερού.



Σχήμα 1.3: Το καρστικοποιημένο πέτρωμα επιτρέπει την υπόγεια κίνηση ύδατος αλλά και τη μόλυνσή του από ανθρώπινες δραστηριότητες. ([www.wikipedia.com/karst](http://www.wikipedia.com/karst))

Καρστικό υδροφόρο σύστημα (Σούλιος, 1996) είναι το σύστημα εκείνο που συνίσταται εξ' ολοκλήρου ή κατά κύριο λόγο από καρστικούς (ανθρακικούς) σχηματισμούς. Κατά ένα άλλο ορισμό το καρστικό υδροφόρο σύστημα είναι ένα σύνολο καρστικής περιοχής στο επίπεδο του οποίου οι υπόγειες ροές είναι έτσι οργανωμένες ώστε να συνιστούν μία ενότητα αποστράγγισης. Είναι δηλαδή το αντίστοιχο της υδρολογικής λεκάνης (αν και η οργάνωση και η υδραυλική λειτουργία διαφέρουν σε πολλά σημεία).

## 1.2) ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ

Με τις μεθόδους της γεωφυσικής είναι δυνατός ο καθορισμός κάποιων φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Μερικές από τις παραμέτρους που μπορούν να μετρηθούν άμεσα είναι οι διακυμάνσεις της πυκνότητας, η ηλεκτρική αντίσταση, αλλά και άλλα χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών ή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Μετά από διερεύνηση του εξεταζόμενου προβλήματος καθώς και άλλων παραμέτρων όπως είναι η γεωλογία της περιοχής, επιλέγονται οι πλέον κατάλληλες μέθοδοι που θα δώσουν τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Η διερεύνηση του προβλήματος και η ανάλυσή του θα οδηγήσουν τελικά στην προτεινόμενη λύση. Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης συγκεκριμένα, έχει απασχολήσει αρκετές φορές την επιστήμη της γεωφυσικής και στο παρελθόν σε διάφορες χώρες, καθώς πρόκειται για ένα φαινόμενο με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης σε παραθαλάσσιες κατοικημένες περιοχές.

Για την εκτίμηση του βαθμού υφαλμύρωσης στον υδροφόρο ορίζοντα της παράκτιας περιοχής Big Cypress στη Νότια Φλόριντα χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός γεωφυσικών διασκοπήσεων και ανάλυσης νερού (Paillet, 1999). Η μελέτη αυτή έγινε για να καθοριστούν οι συνέπειες που θα επέφερε το φαινόμενο αυτό στις τεχνικές κατασκευές της περιοχής. Το πρώτο βήμα της έρευνας ήταν η ταυτοποίηση των δεδομένων από τις ήδη υπάρχουσες γεωτρήσεις και η διάνοιξη νέων σε περιοχές όπου δεν υπήρχαν στοιχεία. Το επίπεδο της αλατότητας στους υποκείμενους υδροφορείς ήταν μεταβλητό και δεν παρουσίαζε σχέση με την απόσταση από την ακτή ή με τη σφηνοειδή παρείσφρηση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι οι πυρήνες που προέρχονται από τις γεωτρήσεις παρέχουν στοιχεία μόνο για το άμεσο περιβάλλον αυτών, κατέστησε αναγκαία την πραγματοποίηση της ηλεκτρομαγνητικής διασκόπησης. Η επιλογή της μεθόδου αυτής έγινε με βάση το γεγονός ότι η παρουσία του υφάλμυρου νερού στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα προκαλεί αισθητή μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Έτσι, διενεργήθηκε ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση στην περιοχή των γεωτρήσεων και προσδιορίστηκε η αντιστοιχία μεταξύ των δεδομένων από τις γεωτρήσεις και αυτών από τις διασκοπήσεις.

Στα τέλη του 1993 στην περιοχή του Broomehill νοτιοδυτικά της δυτικής Αυστραλίας πραγματοποιήθηκε ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση από αέρος χρησιμοποιώντας δύο γεωφυσικά αεροσκάφη. Σκοπός αυτής της έρευνας ήταν:

- Ο εντοπισμός του φαινομένου και η διερεύνηση των αιτιών της υφαλμύρωσης
- Η πρόβλεψη εμφάνισης του φαινομένου στο μέλλον από τα στοιχεία που προκύπτουν με βάση την υδρογεωλογική ερμηνεία
- Η ανάπτυξη σχεδίου διαχείρισης του προβλήματος με βάση τα στοιχεία που προκύπτουν.

Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SALTMAP που σχεδιάστηκε ειδικά για έρευνα της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης σε μικρά βάθη, για μελέτες που αφορούν την υφαλμύρωση του εδάφους. Οι από αέρα διασκοπήσεις πραγματοποιήθηκαν από βορρά προς νότο με απόσταση γραμμών μελέτης 200 m μεταξύ τους και σε ύψος πτήσης 70 m. Τα ψηφιακά δεδομένα για το υψόμετρο κάθε γραμμής μελέτης προέκυψαν με τη βοήθεια του ραντάρ του αεροσκάφους (Leeming et al., 1994).

Η παράκτια περιοχή της Muravera στη Σαρδηνία της Ιταλίας έχει επίσης επηρεαστεί από την υφαλάτωση του υπόγειου νερού σε μεγάλο βαθμό. Διενεργήθηκε μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε συνδυασμό με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης ώστε να μελετηθεί το φαινόμενο (Balía et al., 2001). Η επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από τις μετρήσεις της ηλεκτρικής διασκόπησης απέδειξαν την παρουσία μιας μεγάλης ομοιογενούς ζώνης με χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση, η οποία συνδέεται με την υφαλμύρωση. Η συνδυαστική ερμηνεία των αποτελεσμάτων για την ηλεκτρική αντίσταση και τη σεισμική διάθλαση, συνοδευόμενη από μια βαθμονομημένη γεώτρηση, παρείχε σημαντικές πληροφορίες για τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Η έρευνα στο σύνολό της δείχνει πως η συνδυασμένη εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων μπορεί να παρέχει ένα ευρύ φάσμα με αξιόπιστες πληροφορίες, απαραίτητες για τη μαθηματική αναπαράσταση - μοντελοποίηση της μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Ένα σύστημα αυτοποιοιμένης ηλεκτρικής τομογραφίας (ALERT: Automated time-Lapse Electrical Resistivity Tomography) έχει αναπτυχθεί για την διαχρονική

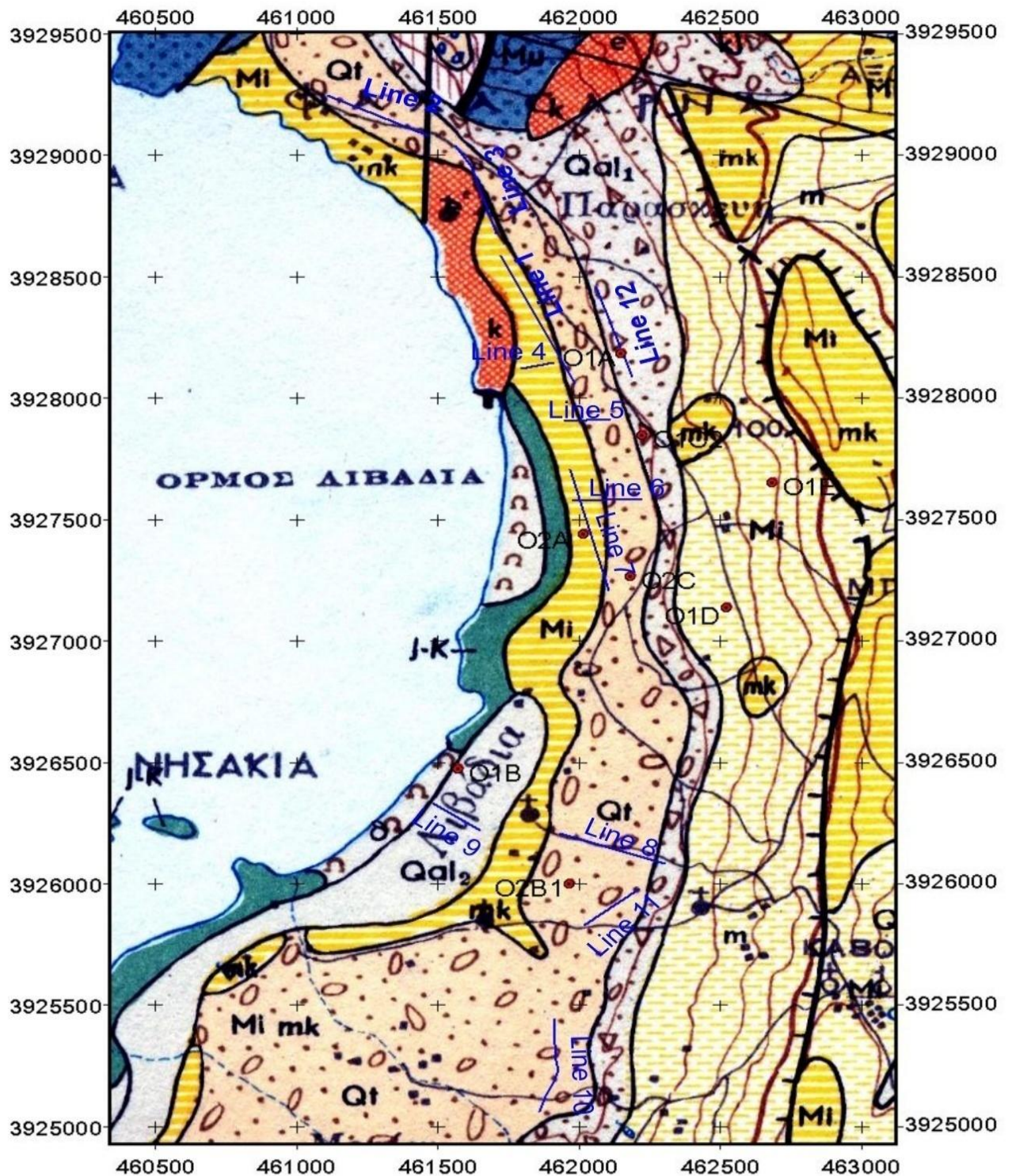
παρακολούθηση των παράκτιων υδροφορέων (Ogilvy et al., 2009). Το σύστημα αυτό έχει εγκατασταθεί μόνιμα στον ποταμό Andarax, στην Almeria της Ισπανίας για την παρακολούθηση και την διαχείριση των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών. Μία σειρά ηλεκτροδίων, μήκους περίπου 1.6 χιλιομέτρων βρίσκεται θαμμένη κάτω από την άλυδρη υπό κανονικές συνθήκες κοίτη του ποταμού, με τα ηλεκτρόδια να βρίσκονται σε απόσταση 10 μέτρων μεταξύ τους. Το μέγιστο βάθος της έρευνας είναι 160 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ένας μόνιμος, μη επανδρωμένος σταθμός ελέγχου, καθιστά δυνατή την εξέταση του υδροφόρου ορίζοντα από τα γραφεία της εταιρείας που διενεργεί την έρευνα, στο Ηνωμένο Βασίλειο. Γεωηλεκτρικά δεδομένα που μεταφράζονται σε εικόνες του υπεδάφους, μπορούν να ληφθούν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ή όποτε κρίνεται αυτό απαραίτητο, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για επαναλαμβανόμενες δαπανηρές έρευνες. Η όλη διαδικασία από τη συλλογή δεδομένων ως την αποτύπωση της εικόνας στον υπολογιστή είναι πλήρως αυτοποιημένη και συνεχόμενη. Το σύστημα ALERT μπορεί να προσφέρει έγκαιρη προειδοποίηση για επερχόμενες απειλές για τα ευπαθή συστήματα του νερού όπως είναι η υπεράντληση και η υφαλμύρωση. Η έγκαιρη ανίχνευση και η απεικόνιση των αλλαγών στα υπόγεια ύδατα, μπορούν να βοηθήσουν στη ρύθμιση της άντλησης και των συστημάτων άρδευσης.

Τα πεδία Leon-Chinandega βρίσκονται στο βορειοδυτικό τμήμα της Νικαράγουα και αποτελούν την πιο σημαντική πηγή υπόγειων υδάτων της χώρας (Corriols et al., 2009). Τα ύδατα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για αγροτικούς σκοπούς και το μεγαλύτερο μέρος της άρδευσης προέρχεται από το ανώτερο τμήμα του υδροφόρου ορίζοντα μέσω φρεάτων όχι βαθύτερων από 70 μέτρα. Για τη διερεύνηση του υδροφόρου ορίζοντα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας σε συνδυασμό με γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις. Το μέγιστο βάθος των διασκοπήσεων έφτασε στα 100 μέτρα. Σε γενικές γραμμές, αποκομίστηκε μία συνεκτική εικόνα του γεωλογικού μοντέλου της περιοχής καθώς τα αποτελέσματα από τον συνδυασμό των διασκοπήσεων αλληλοσυμπληρώθηκαν. Τα γεωλογικά μοντέλα που προέκυψαν αποτέλεσαν ένα πολύ καλό πρόθεμα και για άλλες μεθόδους έρευνας παρέχοντας μία γενική εικόνα του υδροφορέα και μπορούν να χρησιμεύσουν σαν βάση για περαιτέρω επεξεργασία και εξευγενισμό των αριθμητικών μοντέλων του συστήματος. Οι πληροφορίες αυτές καθίστανται πολύτιμες για την εξερεύνηση, διαχείριση και

προστασία των υδατικών πόρων της περιοχής καθώς και την προστασία τους από την υφαλμύρωση ώστε να διασφαλιστεί η μελλοντική ύπαρξή τους.

### 1.3) ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Το σχήμα 1.4 απεικονίζει τμήμα του γεωλογικού χάρτη “Καστέλι” του Ι.Γ.Μ.Ε., ενώ παρακάτω ακολουθεί το υπόμνημα του γεωλογικού σχηματισμού.



Σχήμα 1.4: Γεωλογική περιγραφή κόλπου Φαλάσσαρνας, από γεωλογικό φύλλο χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. “ΦΥΛΛΟ ΚΑΣΤΕΛΙ”  
(Κλίμακα: 1:50.000)

## ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί με τη σειρά που εμφανίζονται (νεότεροι προς παλαιότερους) στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη κλίμακας 1:50.000 “Φύλλο Καστέλι”, είναι :

### ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

- Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις και θίνες (**Qal - θ**).
- Αλουβιακές αποθέσεις (**Qal<sub>2</sub>**): Πηλοί, άργιλοι, άμμοι και χάλικες, χαλαρής συνοχής. Πάχος έως 3 m.
- Πλευρικά κορήματα (**Qal<sub>1</sub>**): Σύγχρονα και παλαιά. Από ασβεστολιθικές και χαλαζιακές κυρίως λατύπες, κατά θέσεις χαλαρά συνδεδεμένες με αμμώδη πηλό ή/και ασύνδετες. Πάχος έως 2 m.
- Νεότερη θαλάσσια αναβαθμίδα (**Qtm<sub>1</sub>**): Συνάγματα και άμμοι σε υψόμετρο 3 m.
- Νεότερες ποτάμιες αναβαθμίδες (**Qt<sub>1</sub>**): Ασύνδετοι χάλικες και άμμοι.
- Παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες (**Qt**): Άργιλοι ερυθροκαστανόχρωες με υψηλό ποσοστό άμμου, ψηφίδων και κροκάλων από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και σπανιότερα από ψαμμίτη του φλύσχη.
- Παλαιότερες θαλάσσιες αναβαθμίδες (**Qt<sub>n1</sub>**): Συνεκτικό (με λεπτοαμμούχο άργιλο) κροκαλοπαγές.
- Κροκαλοπαγές (**Qdl**): Ποτάμιο, με καλά στρογγυλεμένες κροκάλες και άμμους.
- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (**Mi, mk**): Συμπαγείς, υπόφαιοι έως υποκίτρινοι.
- Μάργες (**Mi, m**): Λευκές υποκίτρινες και στα βαθύτερα στρώματα πρασινόφαιες σε εναλλαγή με μαργαϊκούς ψαμμίτες και τράπεζες μαργαϊκών ασβεστόλιθων.
- Κροκαλοπαγές (**Mic**): Συμπαγείς κροκάλες κυρίως από μεσοζωικούς ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και κρυσταλλικά πετρώματα (σχιστόλιθους, χαλαζίτες κ.λπ.) με φαιοκίτρινη μαργαϊκή συνδετική ύλη.

### ΖΩΝΗ ΤΡΙΠΟΛΗΣ

- Φλύσχης (**F<sub>r</sub>**): Αργιλικοί σχιστόλιθοι και αργιλομιγείς ψαμμίτες σε εναλλασσόμενα στρώματα μικρού πάχους.

- Ασβεστόλιθοι **(e,k)**: Μελανόφαιοι, συμπαγείς, λεπτοκρυσταλλικοί, απολιθωματοφόροι με έντονη οσμή βιτουμενίων. (ΗΩΚΑΙΝΟ)
- Ασβεστόλιθοι **(Ks)**: Λευκότεφροι έως κυανότεφροι συμπαγείς καρστικοποιημένοι. (ΑΝΩ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ)

### ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ

- Ασβεστόλιθοι **(Mu)**: Λευκότεφροι έως υποκύανοι μικροκρυσταλλικοί. (ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ)

### ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣΧΙΣΤΩΔΟΥΣ ΚΡΗΤΗΣ

- Ασβεστόλιθοι **(PCK)**: (Μάρμαρα) ενίοτε δολομιτικοί, λευκότεφροι συμπαγείς σε τράπεζες και ασβεστόλιθοι κυανόφαιοι έως μελανότεφροι. Με εμφανίσεις σιδηρομετελλευμάτων (Fe).
- Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι **(PCsh)**: Λαμπυρίζοντες μαρμαρυγιακοί ή γραφιτικοί φυλλίτες και χλωριτικοί σχιστόλιθοι. Με εμφανίσεις σιδηρομετελλευμάτων (Fe).

### ΖΩΝΗ ΩΛΟΝΟΥ ΠΙΝΔΟΥ

- Φλύσχης **(fo)**: Αργιλικοί σχιστόλιθοι και αργιλικοί ψαμμίτες σε εναλλασσόμενα στρώματα .
- Ασβεστόλιθοι **(j-k)**: Λευκοί έως φαιοί, συμπαγείς συνήθως στιφροί ή/και μικροκρυσταλλικοί, κατά τόπους λιθογραφικοί και λεπτοπλακώδεις, σε τράπεζες με έντονη καρστική διάβρωση. (ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ)
- Σχιστοκερατόλιθοι **(jo)**: Ερυθροκαστανόχρωοι, σπανιότερα μελανόφαιοι, συνιστάμενοι από εναλλασσόμενα στρώματα αργιλικών σχιστολίθων, κερατολίθων και κυανόφαιων λεπτοπλακωδών ασβεστόλίθων. (ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ)

## **1.4) ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ**

### **1.3.1) ΓΕΝΙΚΑ**

Η ευρύτερη περιοχή των Φαλασσάρνων έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή με ιδιαίτερο φυσικό κάλλος, πλήθος οικοτόπων καθώς και με αρχαιολογικό ενδιαφέρον και έχει καταχωρηθεί στα δίκτυα Natura 2000 και Corine. Στα βόρεια της λεκάνης του κάμπου, ανάμεσα στο νοτιότερο τμήμα της χερσονήσου και στο ακρωτήριο Κουτρί, βρίσκονται τα ερείπια της αρχαίας πόλης των Φαλασσάρνων, που αποτελούσε και ένα από τα σημαντικότερα λιμάνια της αρχαίας δυτικής Κρήτης.

Το 48% του συνολικού κάμπου καλύπτεται από υπαίθριες καλλιέργειες και ελαιώνες και το 4% από θερμοκηπιακές μονάδες (περίπου 600 στρέμματα, με τα 40 εξ' αυτών να αποτελούν υδροπονικές καλλιέργειες). Το υπόλοιπο 47% της έκτασης καταλαμβάνεται από φυσικές περιοχές, κυρίως με φρυγανολιβαδική βλάστηση στην οποία βόσκουν περίπου 1500 αιγοπρόβατα. ( [www.Chania-info.gr](http://www.Chania-info.gr), Κουσούρης, 2007).

### **1.3.2) ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ**

Στην περιοχή των Φαλασσάρνων έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο της υφαλμύρωσης λόγω της άντλησης του νερού από παράκτιες γεωτρήσεις. Το πρόβλημα οξύνεται ακόμη περισσότερο καθώς οι ντόπιοι κάτοικοι χρησιμοποιούν μεγάλο μέρος του νερού αυτού για την άρδευση των καλλιεργειών τους. Έτσι, το γλυκό νερό αντλείται με ρυθμούς ταχύτερους από αυτούς που αναπληρώνεται, με αποτέλεσμα τον συνεχώς υποβιβαζόμενο υδροφόρο ορίζοντα. Καθώς αυτό συμβαίνει σε μία παράκτια περιοχή όπως είναι η εξεταζόμενη, το θαλασσινό νερό εισρέει προς τον υδροφόρο ορίζοντα.

Εδώ και μερικά χρόνια, σε μία προσπάθεια να περιοριστεί η έντονη υφαλμύρωση λόγω της υπεράντλησης και των εντατικών δραστηριοτήτων των ανθρώπων, η περιοχή υπάγεται στα μέτρα προστασίας υδάτινου δυναμικού τα οποία απαγορεύουν την διάτρηση νέων γεωτρήσεων και πηγαδιών. Εξάλλου, οι πολυάριθμες υγροτοπικές

εκτάσεις που χαρακτήριζαν κάποτε την περιοχή έχουν τώρα μειωθεί σημαντικά. Η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη εξασφάλισης νερού ώστε να καλυφθούν οι αρδευτικές δραστηριότητες της ευρύτερης περιοχής συνεπάγεται την περαιτέρω ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών.

Σύμφωνα με στοιχεία των αρμόδιων αρχών τα τελευταία τριάντα χρόνια, η καλλιεργούμενη γη αυξήθηκε κατά 52%, ενώ οι εκτάσεις του φυσικού περιβάλλοντος μειώθηκαν κατά 47% αντίστοιχα. Οι θερμοκηπιακές μονάδες από 13 που είχαν καταμετρηθεί το 1970 φτάνουν σήμερα τις 270 χωρίς να γίνει παράλληλα κανένα βήμα για την προστασία του εδάφους, των προϊόντων και του νερού (υπόγειου, επιφανειακού και θαλασσινού). ([www.Chania-info.gr](http://www.Chania-info.gr), Κουσούρης, 2007).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 2.1) ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

##### 2.1.1) ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Σε διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσα όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, τα σεισμικά κύματα διαθλώνται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή πορείας των σεισμικών ακτίνων. Ο νόμος του Snell για σεισμική ακτίνα η οποία συναντά διαχωριστική επιφάνεια με γωνία πρόσπτωσης  $i_0$  και γωνία διάθλασης  $i_2$  δίνεται από τη σχέση:

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

όπου  $V_1, V_2$ : οι ταχύτητες διάδοσης και  $p$ : η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας.

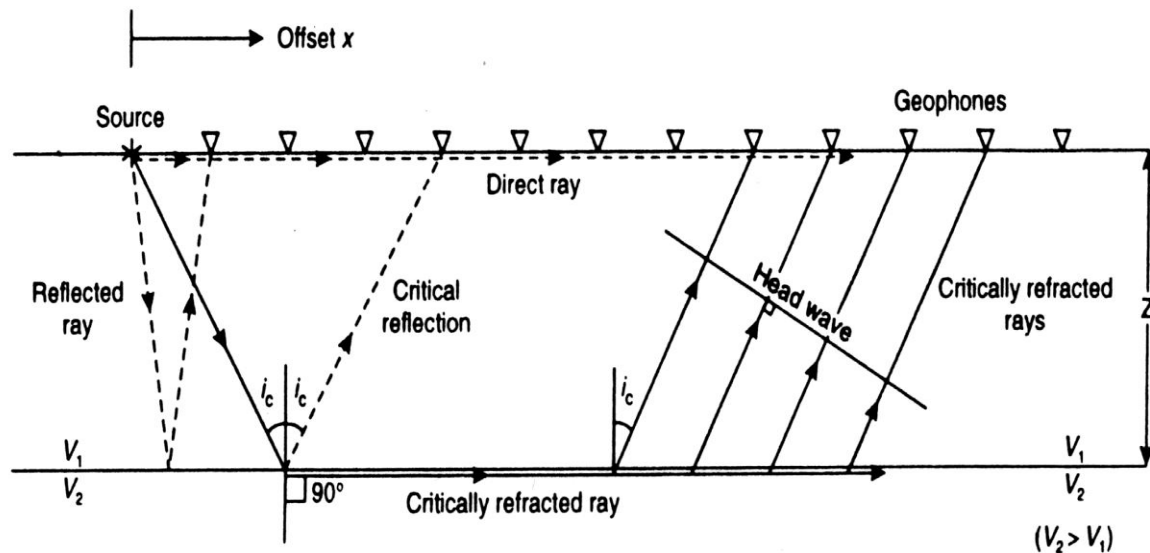
Όταν  $V_1 < V_2$  και η διεύθυνση της διαθλώμενης ακτίνας είναι παράλληλη με τη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο στρωμάτων, τότε η σεισμική ακτίνα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία. Σε αυτή την περίπτωση ο νόμος του Snell διαφοροποιείται ως εξής:

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

Στην περίπτωση όπου η γωνία πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας είναι μεγαλύτερη της ορικής (και η ταχύτητα διάδοσης του σεισμικού κύματος αυξάνεται στους βαθύτερους σχηματισμούς), τότε παρατηρείται ολική ανάκλαση της ακτίνας αυτής.

Αν μία σεισμική ακτίνα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία, τότε το διαθλώμενο κύμα θα διαδοθεί στο δεύτερο στρώμα σε διεύθυνση παράλληλη προς

τη διαχωριστική επιφάνεια. Σύμφωνα με την αρχή του Huyens, κάθε σημείο του διαθλώμενου μετώπου κύματος αποτελεί ουσιαστικά μία δευτερεύουσα πηγή σεισμικών κυμάτων. Από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές, προέρχονται σεισμικά κύματα τα οποία αναδύονται στο πρώτο στρώμα (Σχήμα 2.1, Reynolds, 1997) και παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον.



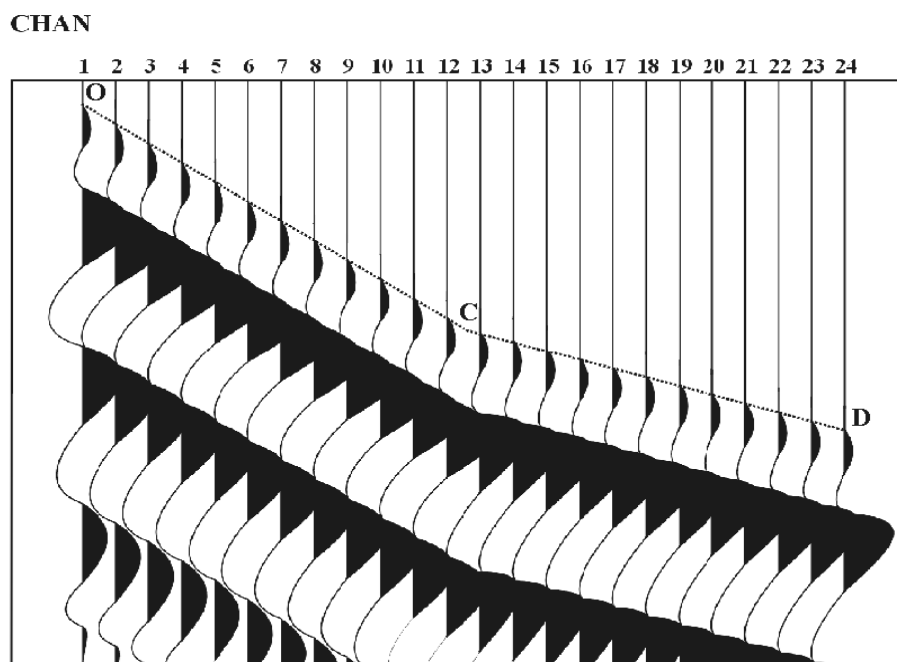
Σχήμα 2.1: Δημιουργία μετωπικών κυμάτων μεταξύ δύο γεωλογικών σχηματισμών διαφορετικής σεισμικής ταχύτητας (Reynolds, 1997)

Τα αναδύόμενα αυτά σεισμικά κύματα ονομάζονται μετωπικά. Οι σεισμικές ακτίνες που αναδύονται προς την επιφάνεια, σχηματίζουν με την κάθετο προς τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρωμάτων, γωνία ίση με την ορική. Σε περίπτωση που η πηγή παραγωγής σεισμικών κυμάτων είναι γραμμική, τα μετωπικά κύματα είναι επίπεδα, ενώ αν η πηγή είναι σημειακή, τότε τα παραγόμενα κύματα είναι κωνικής μορφής. Τα πρώτα σεισμικά κύματα που καταγράφονται σε θέσεις γεωφώνων είναι τα απευθείας και τα μετωπικά. Τα απευθείας κύματα θα είναι οι πρώτες αφίξεις σε γεώφωνα που απέχουν από την πηγή αποστάσεις μικρότερες μιας ορικής απόστασης  $x_c$  ενώ τα μετωπικά κύματα θα είναι οι πρώτες αφίξεις σε γεώφωνα τα οποία βρίσκονται σε αποστάσεις μεγαλύτερες του  $x_c$ . Στην ιδιαίτερη περίπτωση όπου  $x_c = x$ , έχουμε ταυτόχρονη άφιξη των μετωπικών και απευθείας κυμάτων. Η ορική απόσταση  $x_c$  για δομή δύο οριζόντιων στρωμάτων ορίζεται ως εξής (Βαφείδης, 1993):

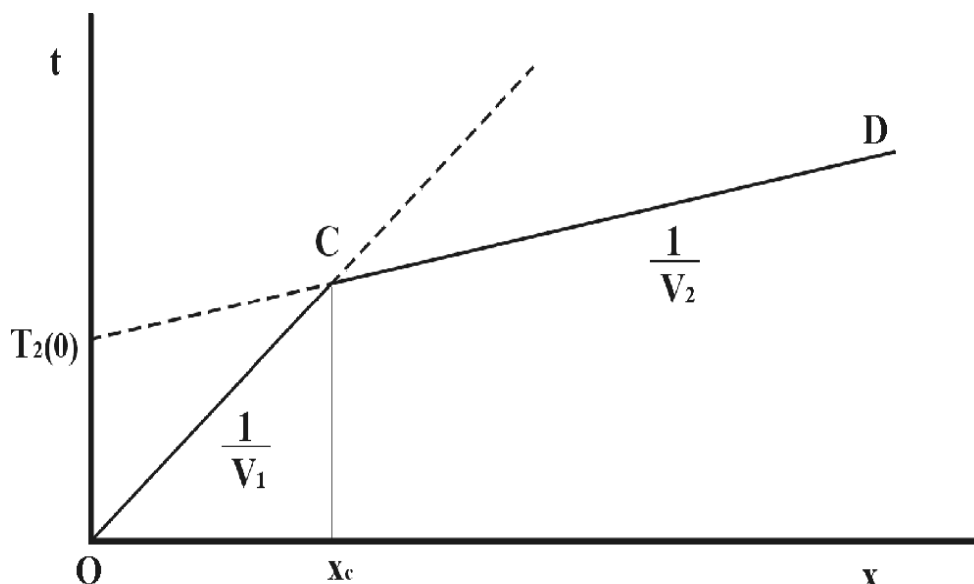
$$x_c = 2 \cdot z_1 \cdot \sqrt{\frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1}} \quad (2.3)$$

όπου  $z_1$  το πάχος του πρώτου στρώματος.

Το Σχήμα 2.2 παρουσιάζει τη μορφή που θα έχουν οι καταγραφές από σεισμική διάθλαση στην περίπτωση δυο οριζόντιων στρωμάτων. Παρατηρείται ότι η απόσταση πηγής – γεωφώνου καθορίζει και τον χρόνο διαδρομής των απευθείας και μετωπικών κυμάτων. Το ευθύγραμμο τμήμα OC αντιστοιχεί στις πρώτες αφίξεις των απευθείας κυμάτων, ενώ το CD σε αυτές των μετωπικών.



Σχήμα 2.2: Σχηματική παράσταση σεισμικών καταγραφών διάθλασης



Σχήμα 2.3: Δρομοχρονικό διάγραμμα των πρώτων αφίξεων των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων

Για δομή δύο οριζόντιων στρωμάτων, ο υπολογισμός του πάχους και της ταχύτητας του κάθε στρώματος από τις πρώτες αφίξεις σεισμικών κυμάτων, πραγματοποιείται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα (Μενάγιας, 2009):

- Δημιουργείται διάγραμμα στο οποίο απεικονίζονται οι χρόνοι ( $t$ ) των πρώτων αφίξεων συναρτήσει της απόστασης ( $x$ ) πηγής – γεωφώνου (δρομοχρονικό διάγραμμα, Σχήμα 2.3).
- Επιλέγονται τα σημεία τα οποία βρίσκονται σε ευθεία που περνά από την αρχή των αξόνων (όπως η ευθεία  $OC$  στο Σχήμα 2.3). Από την κλίση της ευθείας αυτής υπολογίζεται η σεισμική ταχύτητα στο επιφανειακό στρώμα. ( $V_1 = 1/\text{κλίση ευθείας των απευθείας κυμάτων}$ ).
- Προσδιορίζεται η κλίση της ευθείας που ορίζεται από τις πρώτες αφίξεις των μετωπικών κυμάτων. Επίσης προσδιορίζεται το σημείο τομής της ευθείας των μετωπικών κυμάτων με τον άξονα των χρόνων (χρόνος συνάντησης  $T_{2(0)}$ , Σχήμα 2.3). Ο χρόνος αυτός είναι ίσος με το άθροισμα χρόνων καθυστέρησης του κύματος στους κλάδους εκείνους της σεισμικής ακτίνας οι οποίοι διαδίδονται στο επιφανειακό στρώμα. Σε έναν πλάγιο κλάδο της σεισμικής ακτίνας η οποία

περιγράφει μετωπικό κύμα, ο χρόνος καθυστέρησης ορίζεται ως ο πρόσθετος χρόνος που χρειάζεται το κύμα για να διατρέξει τον συγκεκριμένο κλάδο σε σχέση με τον χρόνο που θα χρειαζόταν για να διανύσει την οριζόντια προβολή του κλάδου αυτού, έχοντας τη μέγιστη ταχύτητα που απέκτησε κατά τη διάρκεια της διαδρομής του. Από την κλίση αυτής της ευθείας υπολογίζεται η σεισμική ταχύτητα στο δεύτερο στρώμα. ( $V_2 = 1/\text{κλίση της ευθείας των μετωπικών κυμάτων}$ ).

- Προσδιορίζεται η ορική γωνία  $i_c$  από τη σχέση:

$$\sin(i_c) = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.4)$$

- Προσδιορίζεται το πάχος του επιφανειακού στρώματος  $z_1$  από τη σχέση:

$$z_1 = \frac{T_2(0) \cdot V_1}{2 \cos(i_c)} \quad (2.5)$$

Θα πρέπει να αναφερθεί πως για πιο πολύπλοκες δομές υπάρχουν αναλυτικές σχέσεις για τον υπολογισμό του πάχους και της ταχύτητας του κάθε στρώματος από τις πρώτες αφίξεις σεισμικών κυμάτων. Τέτοιες περιπτώσεις είναι, για παράδειγμα, η ύπαρξη πολλών οριζόντιων στρωμάτων, η ύπαρξη κεκλιμένης ή μη επίπεδης διαχωριστικής επιφάνειας, κ.λ.π.

### 2.1.2) ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης, το πάχος και η σεισμική ταχύτητα του κάθε στρώματος είναι θεωρητικά απλό να υπολογιστούν. Κατά την πρακτική εφαρμογή, όμως, της μεθόδου εντοπίζονται διάφορες πηγές σημαντικών σφαλμάτων. Όταν η σεισμική ταχύτητα του κάθε στρώματος είναι σημαντικά μεγαλύτερη της ταχύτητας του υπερκείμενού του και όταν το πάχος των στρωμάτων είναι μεγάλο, έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα από τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης. Οι βασικές πηγές σφαλμάτων εντοπίζονται κυρίως σε φαινόμενα τυφλής ζώνης, δηλαδή στην αδυναμία της μεθόδου να εντοπίσει ένα ενδιάμεσο στρώμα. Σε μία τέτοια περίπτωση σφάλματος είναι πιθανό να υπερεκτιμηθεί το πάχος κάποιου στρώματος, καθώς και να υπολογιστεί λανθασμένα και η σεισμική του ταχύτητα.

Τα φαινόμενα της τυφλής ζώνης διακρίνονται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Η ταχύτητα κάποιου στρώματος είναι μικρότερη ή περίπου ίδια αυτή του υπερκείμενού του. Έτσι, στην διεπιφάνεια μεταξύ των δύο αυτών στρωμάτων δεν δημιουργούνται μετωπικά κύματα.
- Κάποιο ενδιάμεσο στρώμα έχει πολύ μικρό πάχος σχετικά με το υπερκείμενο και υποκείμενό του στρώμα. Σε αυτή την περίπτωση τα μετωπικά κύματα του λεπτού στρώματος φτάνουν αργότερα από αυτά του υποκείμενού του.
- Όταν τα γεώφωνα είναι τοποθετημένα μακριά από τη σεισμική πηγή, υπάρχει πιθανότητα οι αφίξεις των μετωπικών κυμάτων βαθύτερων σχηματισμών να καταγράφονται στα γεώφωνα νωρίτερα από τις αφίξεις των αντίστοιχων κυμάτων υπερκείμενων στρωμάτων.

### 2.1.3) ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Κατά τη σεισμική διασκόπηση με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης P-κυμάτων, αρχικά οριοθετείται η γραμμή μελέτης, κατά μήκος της οποίας τοποθετούνται τα γεώφωνα σε ισαπέχουσες θέσεις. Τα γεώφωνα που χρησιμοποιούνται είναι ευαίσθητα στην κατακόρυφη ταλάντωση του εδάφους. Στη συνέχεια, σε προκαθορισμένο σημείο επί της γραμμής μελέτης δημιουργείται τεχνητή σεισμική δόνηση με έκρηξη δυναμίτη ή με απλά μηχανικά κτυπήματα, ενώ στα γεώφωνα καταγράφεται το πλάτος της εδαφικής κίνησης συναρτήσει του χρόνου. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται, τουλάχιστον δύο φορές για κάθε γραμμή μελέτης (ευθύ και αντίστροφο πείραμα), τοποθετώντας την πηγή σε διάφορα σημεία εκατέρωθεν ή και ενδιάμεσα του αναπτύγματος των γεωφώνων, διατηρώντας τις θέσεις αυτών σταθερές.

Τα απαραίτητα όργανα για την πραγματοποίηση διασκοπήσεων με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης είναι η σεισμική πηγή, τα γεώφωνα και το καταγραφικό. Όπως προαναφέρθηκε, στη γεωφυσική η απαιτούμενη σεισμική δόνηση επιτυγχάνεται κυρίως με την τοποθέτηση εκρηκτικών μέσα σε γεωτρήσεις, την εκπυρσοκρότηση πυροβόλου όπλου στραμμένου προς το έδαφος ή μηχανικού κτυπήματος στην

επιφάνεια του εδάφους. Τα κτυπήματα αυτά πραγματοποιούνται με την κρούση βάρους (πίπτων βάρους ή βαριοπούλα) επί μεταλλικής πλάκας στην επιφάνεια του εδάφους.

Τα γεώφωνα είναι τα όργανα από τα οποία γίνεται αισθητή η εδαφική κίνηση και αποτελούνται από ένα πηνίο συνδεδεμένο σταθερά στο όργανο και ένα κινούμενο μαγνήτη. Τα σεισμικά κύματα που φτάνουν στο πηνίο, το αναγκάζουν σε ταλάντωση ίδια με αυτή του εδάφους ενώ ο μαγνήτης πραγματοποιεί ταλάντωση διαφορετική από το πηνίο λόγω αδράνειας. Λόγω της διαφορετικής κίνησης μαγνήτη – πηνίου δημιουργείται στο πηνίο μία μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή, η οποία προκαλεί διαφορά δυναμικού στα άκρα του πηνίου. Για την επιλογή ενός γεωφώνου λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω χαρακτηριστικά του: η ιδιοσυχνότητα, ο παράγοντας απόσβεσης και η δυναμική μεγέθυνση.

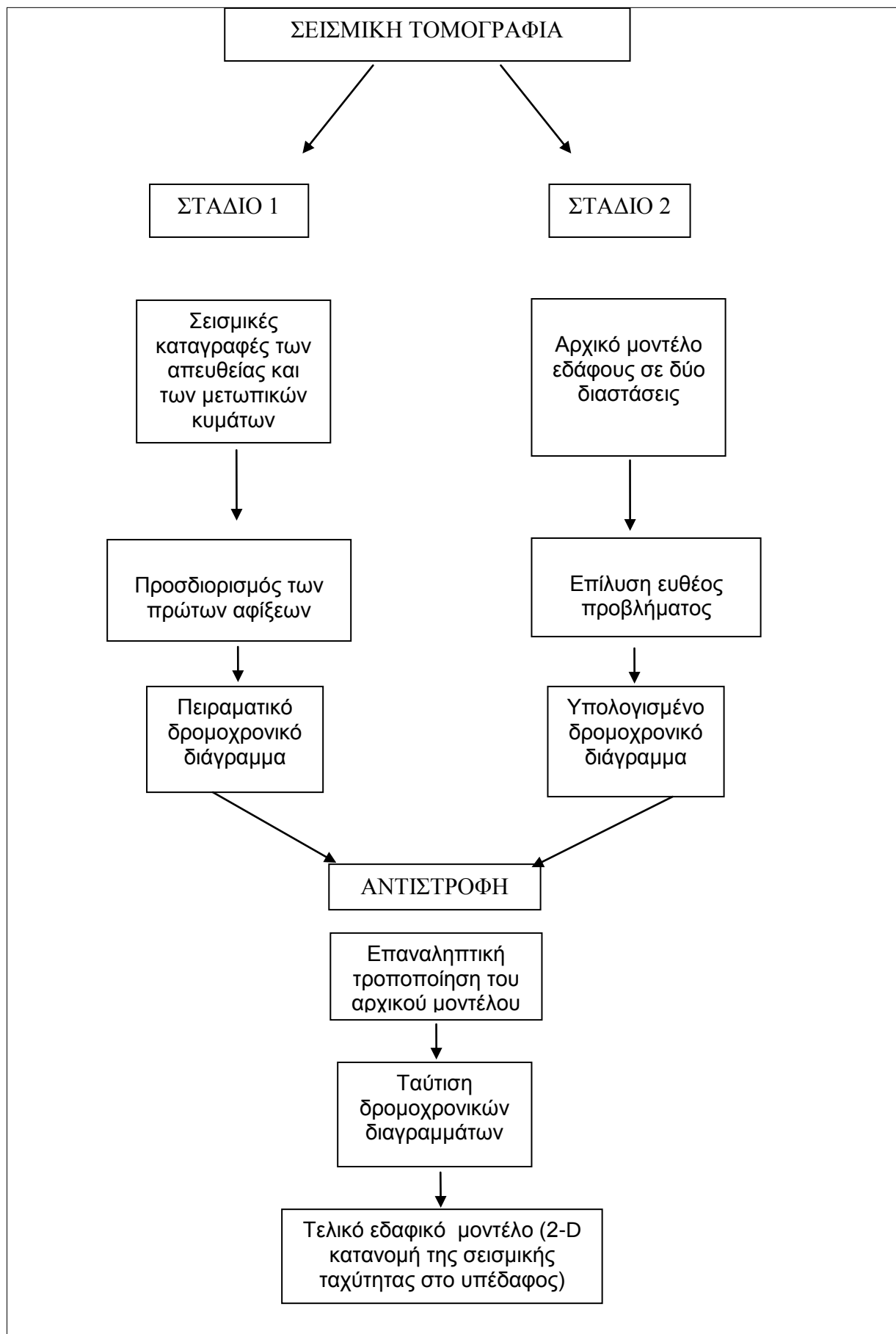
Το καταγραφικό όργανο που χρησιμοποιήθηκε είναι ο 12-κάναλος σειсмоγράφος Geode Ultra - light exploration της Geometrics, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί με οποιοδήποτε υπολογιστή μέσω τοπικής θύρας δικτύου. Τα αναλυτικά του χαρακτηριστικά καθώς και τα επιμέρους τμήματα από τα οποία αποτελείται παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί ([www. Geometrics.com](http://www.Geometrics.com)):

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά του σεισμογράφου "Geode Ultra-light exploration seismograph" της εταιρείας Geometrics:

|                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Αριθμός ενεργών καναλιών                          | : 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Εύρος μετατροπέα Αναλογικού σε Ψηφιακό σήμα (A/D) | : 24 bit χρησιμοποιώντας ως μετατροπέα κρυσταλλικό ημιαγωγό τύπου sigma-delta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Δυναμικό εύρος                                    | : 144 dB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Φασματικό εύρος                                   | : Από 1.75 Hz έως 20 kHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Προενίσχυση σήματος                               | : Εργοστασιακή ρύθμιση στα 24 και 36 dB με δυνατότητα επιλογής από το λογισμικό                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Φίλτρο αποκοπής δίπλωσης συχνοτήτων               | : - 3 dB στο 83% της συχνότητας Nyquist                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Ψηφιακά φίλτρα                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <u>Υψηπερατό</u>: OUT, 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 200, 280 και 400 Hz με εξασθένιση 24 ή 48 dB/οκτάβα, τύπου Butterworth</li> <li>➤ <u>Ζώνης</u>: OUT, 50, 60, 150 και 180 Hz με εξασθένιση 50 dB σε φασματικό εύρος 2 % της κεντρικής συχνότητας αποκοπής</li> <li>➤ <u>Χαμηλοπερατό</u>: OUT, 32, 64, 125, 250, 500 και 1000 Hz με εξασθένιση 24 ή 48 dB/οκτάβα, τύπου Butterworth</li> </ul> |
| Διάστημα δειγματοληψίας                           | : 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 msec                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Διάρκεια καταγραφής                               | : 16.384 δείγματα                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Μεταφορά δεδομένων                                | : Μέσω θύρας Ethernet                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Format δεδομένων                                  | : SEG-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Λογισμικό διαχείρισης του καταγραφικού            | : Περιλαμβάνει εργαλεία για την απόκτηση, απεικόνιση, εκτύπωση, εφαρμογή φίλτρων και την αποθήκευση των σεισμικών καταγραφών                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Αποθήκευση δεδομένων                              | : Τα δεδομένα αποθηκεύονται στο σκληρό δίσκο PC ή Laptop με format SEG-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Έναρξη καταγραφής                                 | : Ηλεκτρικό ρεύμα ή κλείσιμο κυκλώματος με ρύθμιση του επιπέδου ενεργοποίησης                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Ενέργεια                                          | : Απαιτείται εξωτερική μπαταρία 12 volt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

#### 2.1.4) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Για τη μελέτη του υπεδάφους της εξεταζόμενης περιοχής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας, η οποία έχει αποδειχθεί ένα πολύ αποτελεσματικό εργαλείο απεικόνισης σεισμικών δεδομένων σε πολλές εφαρμογές. Η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας χρησιμοποιείται κυρίως όταν υπάρχει έντονο ανάγλυφο, όταν υπάρχει πλευρική μεταβολή της σεισμικής ταχύτητας και όταν υπάρχει βαθμιαία μεταβολή στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων με το βάθος. Το τελικό αποτέλεσμα που μας δίνει η μέθοδος αυτή, είναι μία δισδιάστατη κατανομή της ταχύτητας στο υπέδαφος. Τα στάδια της επεξεργασίας των δεδομένων με τη μέθοδο σεισμικής τομογραφίας συνοψίζονται στο Σχήμα 2.4 και είναι τα παρακάτω:



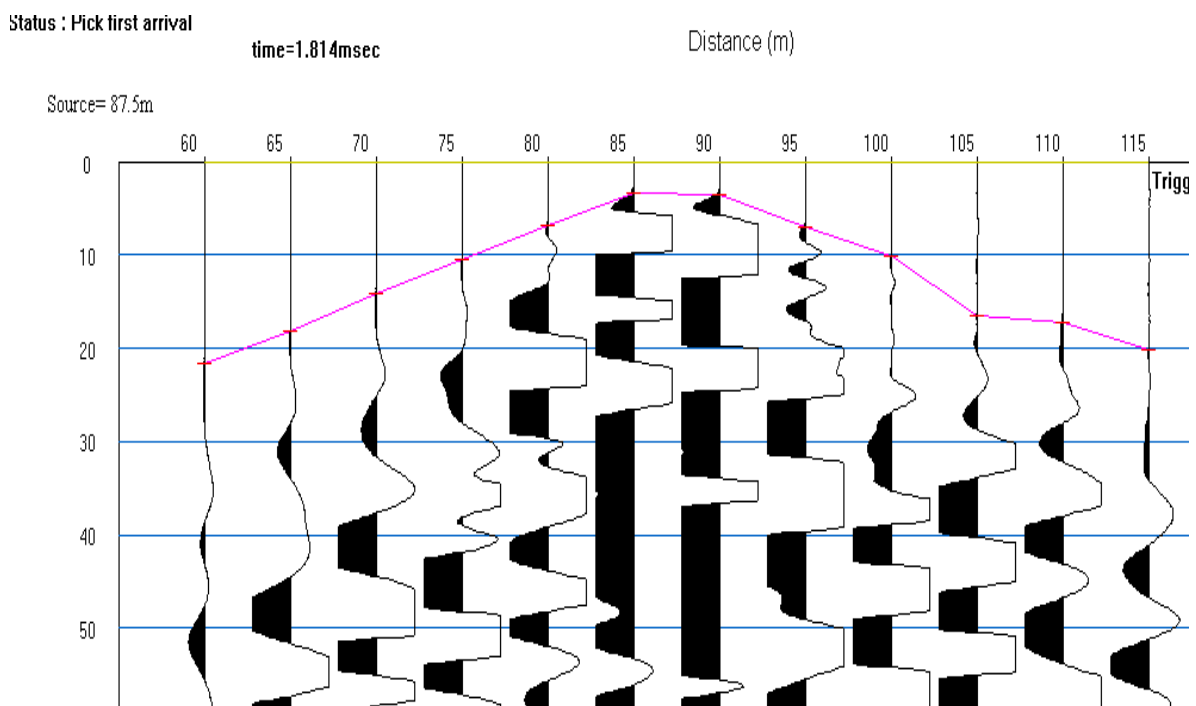
Σχήμα 2.4: Διάγραμμα ροής της σεισμικής τομογραφίας

#### 2.1.4.1) ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ

Το πρόγραμμα επεξεργασίας στο οποίο εισάγονται τα δεδομένα με τη μορφή SEG-2 είναι το PickWin του λογισμικού πακέτου SeisImager<sup>(TM)</sup>, όπου δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να παρέμβει (όπου είναι αυτό απαραίτητο) στη γεωμετρία του πειράματος. Με φίλτρα για την απομάκρυνση του θορύβου, ενισχυτές για το πλάτος των κυμάτων και άλλα μέσα, το πρόγραμμα αυτό παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να βελτιώσει την εμφάνιση των ιχνών, ώστε οι πρώτες αφίξεις να μπορούν να διακριθούν πιο εύκολα.

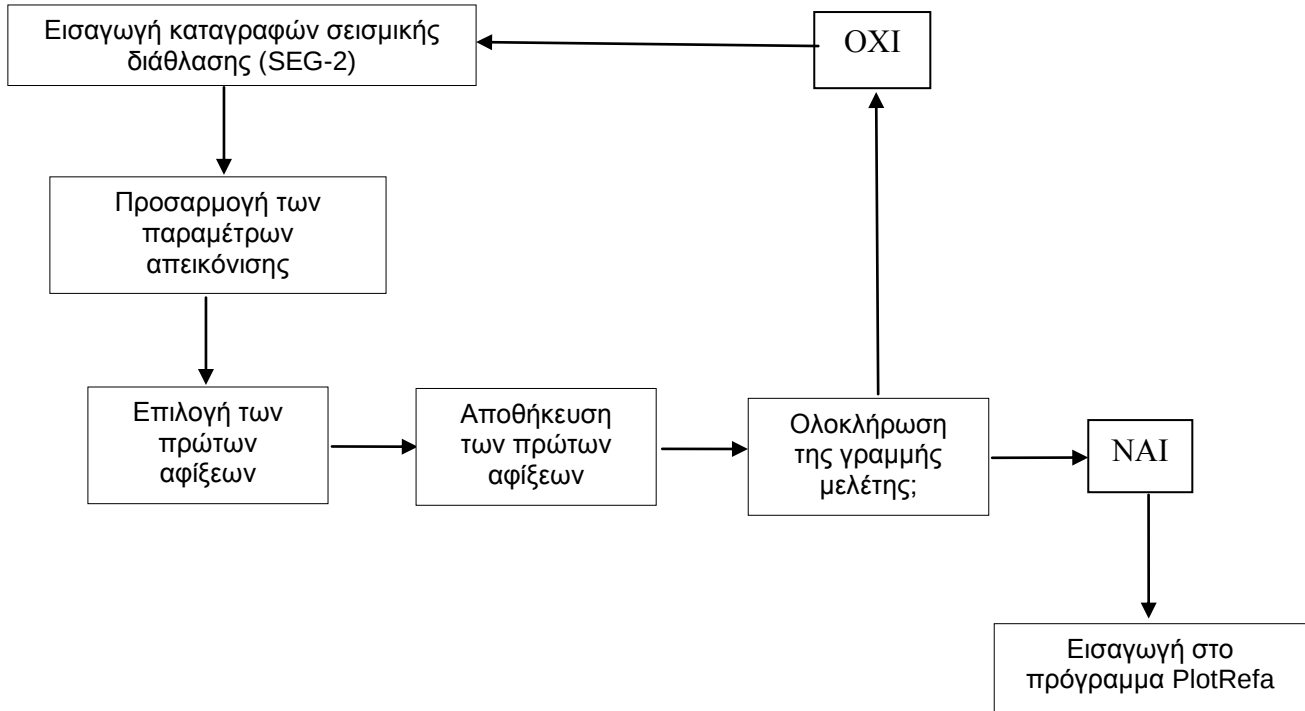
#### 2.1.4.2) ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΑΦΙΞΕΩΝ

Αν και οι πρώτες αφίξεις, δηλαδή οι πρώτες καταγραφές που προκύπτουν από τη σεισμική διάθλαση των κυμάτων (Σχήμα 2.5) επιλέγονται αυτόματα, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρέμβει. Η παρέμβαση αυτή περιλαμβάνει τον καθορισμό της χρονικής στιγμής όπου το έδαφος αρχίζει να ταλαντώνεται σε κάποιο γεώφωνο. Στο Σχήμα 2.5 απεικονίζεται ένα παράδειγμα για την επιλογή των πρώτων αφίξεων της γραμμής μελέτης Line 1.



Σχήμα 2.5: Επιλογή πρώτων αφίξεων από τις σεισμικές καταγραφές διάθλασης. Ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει την απόσταση (σε m) κατά μήκος της γραμμής μελέτης, ενώ ο κατακόρυφος το χρόνο (σε ms). Η θέση της σεισμικής πηγής βρίσκεται στα 87.5m

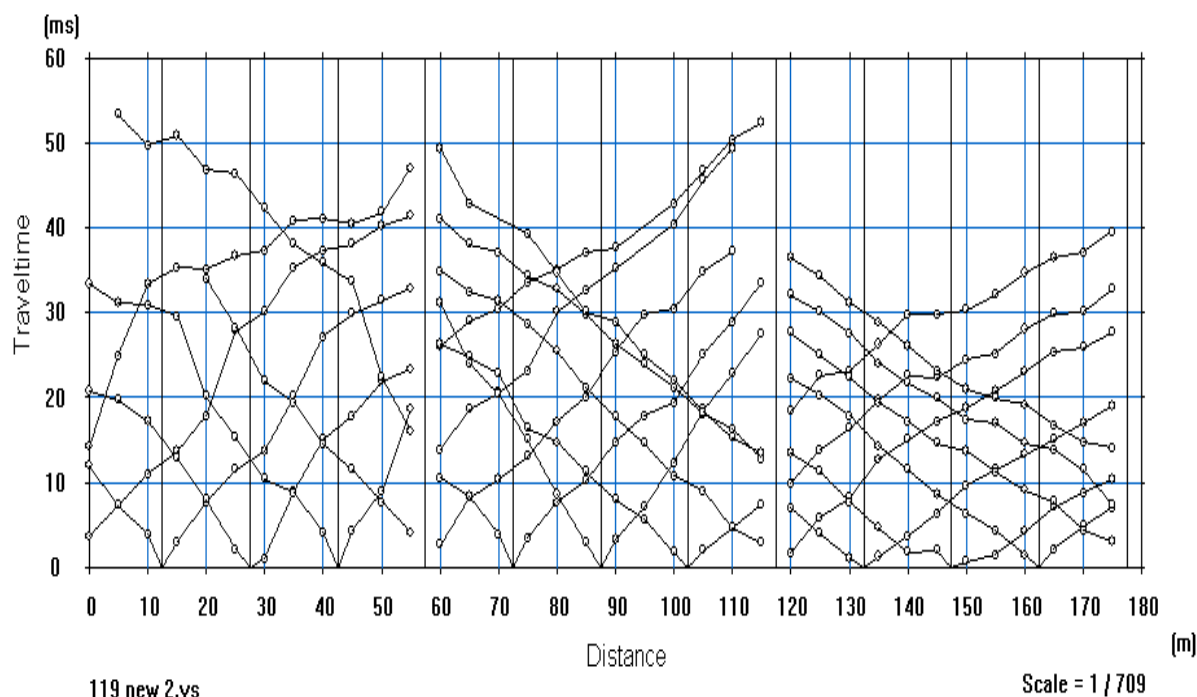
Η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων επαναλαμβάνεται μέχρι να εισαχθούν όλα τα δεδομένα που αντιστοιχούν στην ίδια γραμμή μελέτης (Σχήμα 2.6):



Σχήμα 2.6: διάγραμμα ροής του προγράμματος PickWin

#### 2.1.4.3) ΔΡΟΜΟΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Με τη βοήθεια του προγράμματος PlotRefa οι πρώτες αφίξεις απεικονίζονται ως δρομοχρονικά διαγράμματα (Σχήμα 2.7). Εκτιμάται ο αριθμός των στρωμάτων, καθώς ένδειξη ύπαρξης διαφορετικού στρώματος αποτελεί κάθε σημείο όπου παρατηρείται αλλαγή στην κλίση της καμπύλης των πρώτων αφίξεων.



Σχήμα 2.6: Δρομοχρονικό διάγραμμα της Line 1. Παρουσιάζεται η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε συνάρτηση με την απόσταση που διανύει στο υπέδαφος.

#### 2.1.4.4) ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας προϋποθέτει την ύπαρξη του αρχικού εδαφικού μοντέλου. Αυτό μπορεί να είναι ένα οριζόντια στρωματωμένο μοντέλο ή ένα μοντέλο το οποίο έχει προέλθει από προεπεξεργασία με τη μέθοδο της αντιστροφής των χρόνων πρώτων αφίξεων (Time term Inversion). Στο μοντέλο αυτό σχεδιάζεται κάθε διαθλώμενη σεισμική ακτίνα που διαδίδεται από τις θέσεις των σεισμικών πηγών προς τα γεώφωνα και υπολογίζεται ο χρόνος διαδρομής της.

Α) Χρήση οριζόντια στρωματωμένου μέσου ως αρχικό μοντέλο:

Το αρχικό εδαφικό μοντέλο μπορεί να αποτελείται από οριζόντια σεισμικά στρώματα όπως έγινε και στη συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς είναι πιο εύκολο και δεν απαιτεί ιδιαίτερη πείρα. Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται ότι δεν υπάρχει προγενέστερη γνώση των παραμέτρων του μοντέλου και επομένως ο χρήστης χρησιμοποιεί ως δεδομένα τους χρόνους πρώτων αφίξεων και δημιουργεί ως αρχικό εδαφικό μοντέλο ένα οριζόντια στρωματωμένο μέσο.

B) Χρήση μη οριζόντια στρωματωμένου μέσου ως αρχικό μοντέλο:

Στη διαδικασία επεξεργασίας σεισμικών δεδομένων με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας μπορεί το αρχικό μοντέλο να είναι το μοντέλο βάθους που προέκυψε από προεπεξεργασία που περιλαμβάνει την αντιστοίχιση των πρώτων αφίξεων με τα εδαφικά στρώματα και την αντιστροφή των χρόνων διαδρομής. Η χρήση αυτού ως αρχικό μοντέλο, οδηγεί πιο κοντά στο τελικό εδαφικό μοντέλο που προκύπτει από τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας. Μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι για την αντιστοίχιση των πρώτων αφίξεων με τα εδαφικά στρώματα απαιτείται εμπειρία, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις πολύπλοκων γεωλογικών δομών.

Αρχικά τα πειραματικά δρομοχρονικά διαγράμματα εισάγονται στο λογισμικό Plotrefa και ορίζονται οι παράμετροι δημιουργίας ενός οριζόντια στρωματωμένου μέσου. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

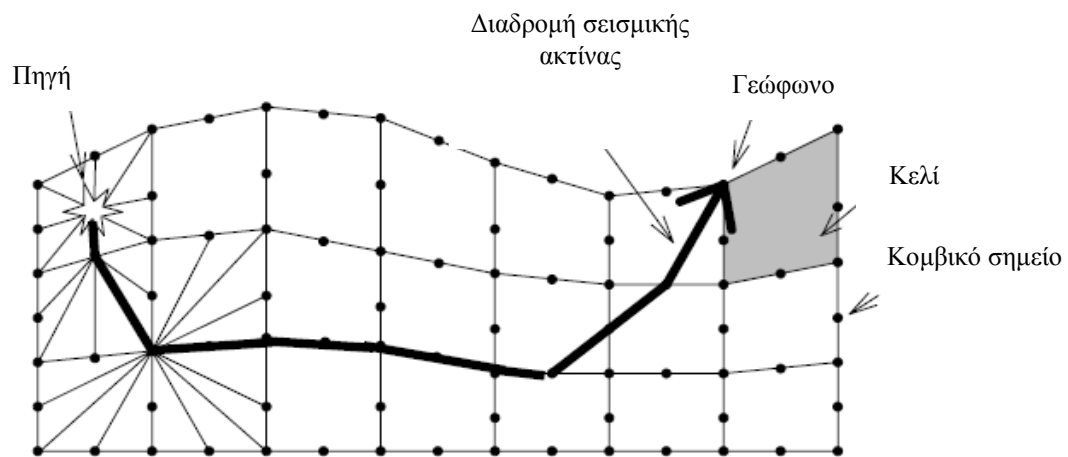
- Βάθος της οροφής του βαθύτερου στρώματος.
- Μέγιστη ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων: Ορίστηκε 3000 m/s.
- Ελάχιστη ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων: Ορίστηκε 300 m/s.
- Αριθμός των οριζόντιων στρωμάτων: Χρησιμοποιήθηκαν 15.
- Υψόμετρο στο αριστερό άκρο του μοντέλου βάθους σε σχέση με το επίπεδο αναφοράς.
- Υψόμετρο στο δεξιό άκρο του μοντέλου βάθους σε σχέση με το επίπεδο αναφοράς.

Ακολούθως, ορίζονται οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία αντιστροφής:

- Αριθμός επαναλήψεων: Ορίστηκαν 10.
- Αριθμός κόμβων ανά στοιχείο διακριτοποίησης: Ορίστηκαν 8.
- Οριζόντια και κατακόρυφη εξομάλυνση της ταχύτητας.
- Αριθμός επαναλήψεων εξομάλυνσης: Ορίστηκε 1 για οριζόντια και 0 για κάθετα.
- Συντελεστής εξομάλυνσης: Ορίστηκε 0.5.
- Ελάχιστη και μέγιστη ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων: Ορίστηκε από 300 έως 3000 m/s.

Για το κάθε ζεύγος πηγής – γεωφώνου, η διαδικασία που ακολουθείται για να βρεθεί ο ελάχιστος χρόνος διαδρομής του σεισμικού κύματος και κατά συνέπεια να σχεδιαστεί η κάθε ακτίνα διάδοσης του σεισμικού κύματος, έχει ως εξής:

- Το αρχικό μοντέλο χωρίζεται σε κελιά σταθερής ταχύτητας, οι πλευρές των οποίων διακριτοποιούνται από τα κομβικά σημεία. Το αρχικό αυτό μοντέλο μπορεί να είναι είτε ένα οριζόντια στρωματωμένο μέσο, είτε το μοντέλο βάθους το οποίο προέκυψε από την επεξεργασία με τη μέθοδο αντιστροφής των χρόνων πρώτων αφίξεων.
- Σχεδιάζονται οι πιθανές διαδρομές τις οποίες μπορεί να έχει ακολουθήσει η ακτίνα κατά τη διαδρομή της από την πηγή στο γεώφωνο. Η σεισμική ακτίνα διαδίδεται από την πηγή προς το γεώφωνο μέσω των κομβικών σημείων (Σχήμα 2.7).



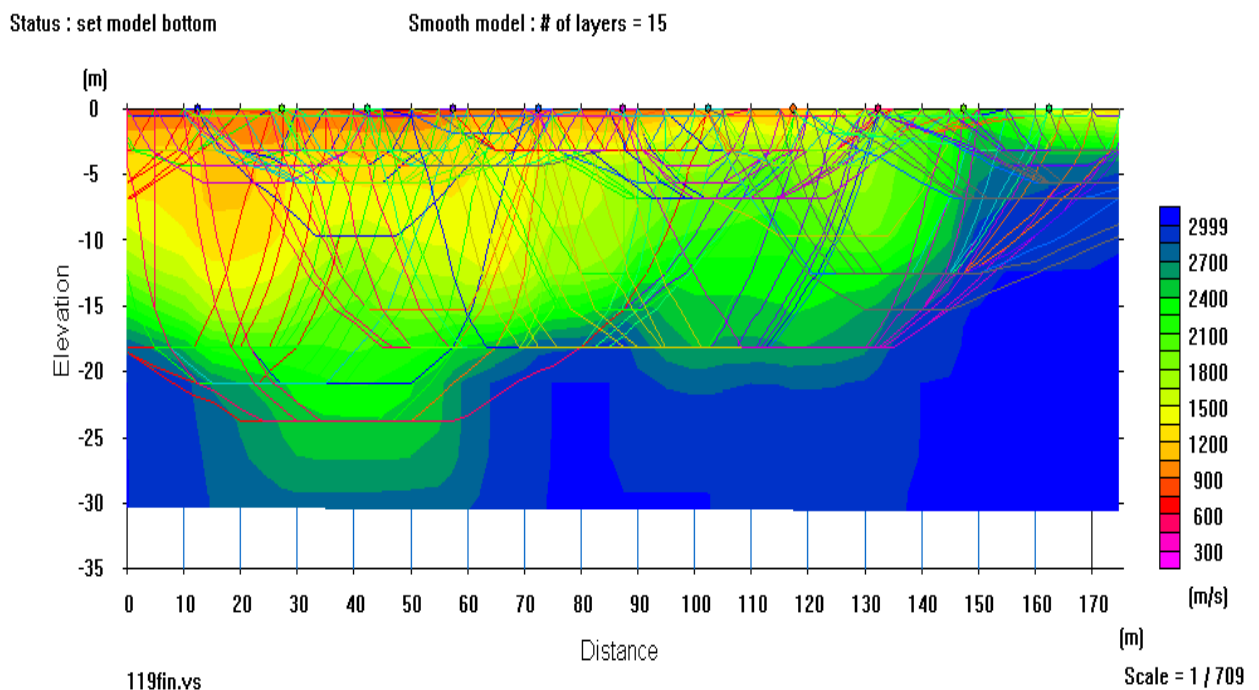
Σχήμα 2.7: Αρχικό εδαφικό μοντέλο χωρισμένο σε κελιά σταθερής ταχύτητας

Για κάθε πιθανή διαδρομή της σεισμικής ακτίνας ο χρόνος διαδρομής  $t$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_i = \sum_{j=1}^N S_j l_{ij} \quad (2.6)$$

όπου  $N$ : ο αριθμός των κελιών,  $S$ : η βραδύτητα (αντίστροφη της ταχύτητας) και  $l$ : το μήκος της σεισμικής ακτίνας σε κάθε κελί. Επιλέγεται η βέλτιστη διαδρομή (αυτή με τον μικρότερο χρόνο διαδρομής).

Μετά την ολοκλήρωση όλων των επαναλήψεων, το λογισμικό απεικονίζει το τελικό μοντέλο βάθους (Σχήμα 2.8). Οι τεθλασμένες γραμμές αντιστοιχούν στις υπολογιζόμενες σεισμικές ακτίνες.

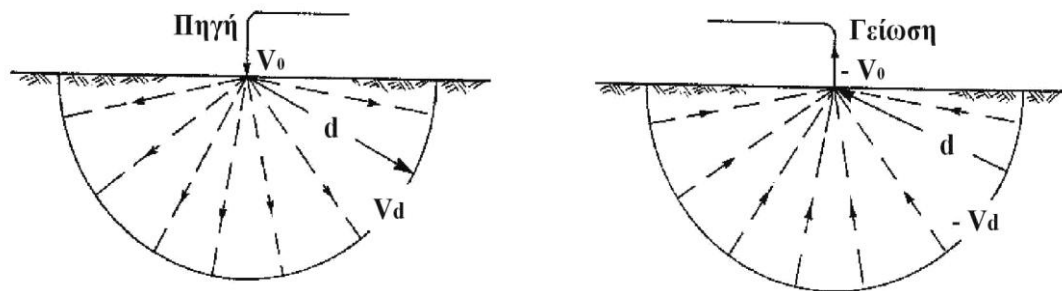


Σχήμα 2.8: Τελικό μοντέλο βάθους για τη γραμμή μελέτης Line 1. Φαίνονται οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος τις αποστάσεις κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά δείχνει τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (σε m/s)

## 2.2) ΜΕΘΟΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 2.2.1) ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η κατευθυνόμενη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων ονομάζεται ηλεκτρικό ρεύμα (Μενάγιας, 2009). Αυτό προκαλείται στα αγωγίμα σώματα εξαιτίας κάποιας διαφοράς δυναμικού. Φορείς του φορτίου αυτού είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια ή τα ιόντα. Το ηλεκτρικό ρεύμα έχει φορά αντίθετη από τη φορά κίνησης των ηλεκτρονίων. Αν η Γη συνδεθεί με ένα θετικό και ένα αρνητικό πόλο μιας μπαταρίας, αν δηλαδή εφαρμόσθει διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, παρατηρείται στο υπέδαφος ρεύμα με φορά από το θετικό προς τον αρνητικό πόλο (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.8: Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομοιογενή και ισότροπη γη στην περίπτωση που δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων (Γκανιάτσος 2000, Σούρλας 2000).

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στο νόμο του Ohm:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.13)$$

Δηλαδή ως αντίσταση  $R$  ενός αγωγού ορίζεται ο λόγος διαφοράς δυναμικού  $\Delta V$  που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού αυτού, προς την ένταση  $I$  του ρεύματος που τον διαρρέει. Η αντίσταση δίνεται σε  $\Omega$ m όταν το  $\Delta V$  δίνεται σε Volt και το  $I$  Ampere.

Για έναν ομογενή αγωγό ισχύει η σχέση:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.14)$$

όπου  $\rho$ : η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένος ο αγωγός,  $L$ : το μήκος του αγωγού και  $A$ : το εμβαδόν της διατομής του. Παρατηρείται ότι η αντίσταση του αγωγού αυτού είναι ανάλογη με το μήκος του, αντιστρόφως ανάλογη με το εμβαδόν της διατομής του και εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα για κάθε υλικό και είναι το μέγεθος που προσδιορίζεται σε μία γεωηλεκτρική διασκόπηση.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ενός γεωλογικού σχηματισμού διαφοροποιείται όταν μεταβάλλεται:

- Το πορώδες και ο βαθμός κορεσμού του σε νερό
- Η περιεκτικότητα σε ιόντα του υπόγειου νερού
- Η θερμοκρασία
- Η περιεκτικότητα σε αργίλους
- Η εξαλλοίωση

Με τη βοήθεια των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης καθορίζονται οι ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων που αποτελούν τα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των σχηματισμών μετρώντας τη διαφορά δυναμικού σε διάφορα σημεία στην επιφάνεια του εδάφους από την τεχνητή ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο υπέδαφος. Η ηλεκτρική τομογραφία συγκαταλέγεται σε αυτές τις μεθόδους και χαρακτηρίζεται από υψηλή διακριτική ικανότητα καθώς και από ακρίβεια των αποτελεσμάτων της.

## 2.2.2) ΟΡΓΑΝΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Η συλλογή των δεδομένων με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας για τη συγκεκριμένη περιοχή πραγματοποιήθηκε με το σύστημα Sting R1 / Swift της AGI (Advanced Geosciences, Inc) σε συνδυασμό με το Switch Box. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης 55 έξυπνα ηλεκτρόδια.

Ο βασικός εξοπλισμός αποτελείται από το όργανο που μετράει την ηλεκτρική αντίσταση, καλώδια και μεταλλικά ηλεκτρόδια. Ένα τυπικό όργανο μέτρησης της

ηλεκτρικής αντίστασης αποτελείται από την πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος χαμηλής συχνότητας, το δέκτη και τον μικροεπεξεργαστή. Ο δέκτης απαλλάσσει από το φυσικό δυναμικό και από άλλες πηγές θορύβου τη μέτρηση, ενώ ο μικροεπεξεργαστής πραγματοποιεί όλους του υπολογισμούς. Οι διακόπτες στο όργανο επιτρέπουν το άνοιγμα και κλείσιμό του, την προεπιλογή του αριθμού επαναλήψεων της κάθε μέτρησης καθώς και την επιλογή του μετρούμενου μεγέθους (ηλεκτρική αντίσταση, δυναμικό ή τάση της μπαταρίας). Το πλήκτρο μέτρησης χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση του μικροεπεξεργαστή ώστε να αρχίσει και η διαδικασία της μέτρησης. Ακόμα, υπάρχουν υποδοχές για τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού, μετρητής υγρασίας, υποδοχή μπαταρίας καθώς και οθόνη υγρών κρυστάλλων μέσω της οποίας παρέχεται στον χρήστη ένδειξη για τις μετρήσεις και πρόσβαση στις οδηγίες χρήσης του οργάνου.

### 2.2.3) ΔΙΑΤΑΞΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Η επιλογή της διάταξης ηλεκτροδίων που θα χρησιμοποιηθεί γίνεται σύμφωνα με την περιοχή, τον εξοπλισμό, αλλά και το μέγεθος της δομής που αναμένεται να εντοπισθεί. Ακολουθεί επεξήγηση των διατάξεων ηλεκτροδίων που χρησιμοποιήθηκαν:

A) Διάταξη Schlumberger: σε αυτή τη διάταξη η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι αρκετά μικρότερη αυτής μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά, ενώ μετακινούνται μόνο τα ηλεκτρόδια ρεύματος συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης και με αυξανόμενη τη μεταξύ τους απόσταση. Με αυτή τη διάταξη το βάθος της διασκόπησης εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Υπερτερεί σε σχέση με τις άλλες διατάξεις ηλεκτροδίων καθώς δεν χρειάζεται μετακίνηση των ηλεκτροδίων δυναμικού, αλλά και επειδή οι μετρήσεις είναι σε μεγάλο βαθμό απαλλαγμένες από θορύβους που προκαλούνται λόγω πλευρικών γεωλογικών μεταβολών. Το μειονέκτημά της είναι πως παρουσιάζει σήμα διπλής κορυφής όταν διασχίζει κάθετα γραμμική δομή.

B) Διάταξη Wenner: Στη διάταξη αυτή, όλα τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους. Το ζεύγος ηλεκτροδίων δυναμικού τοποθετείται εκατέρωθεν

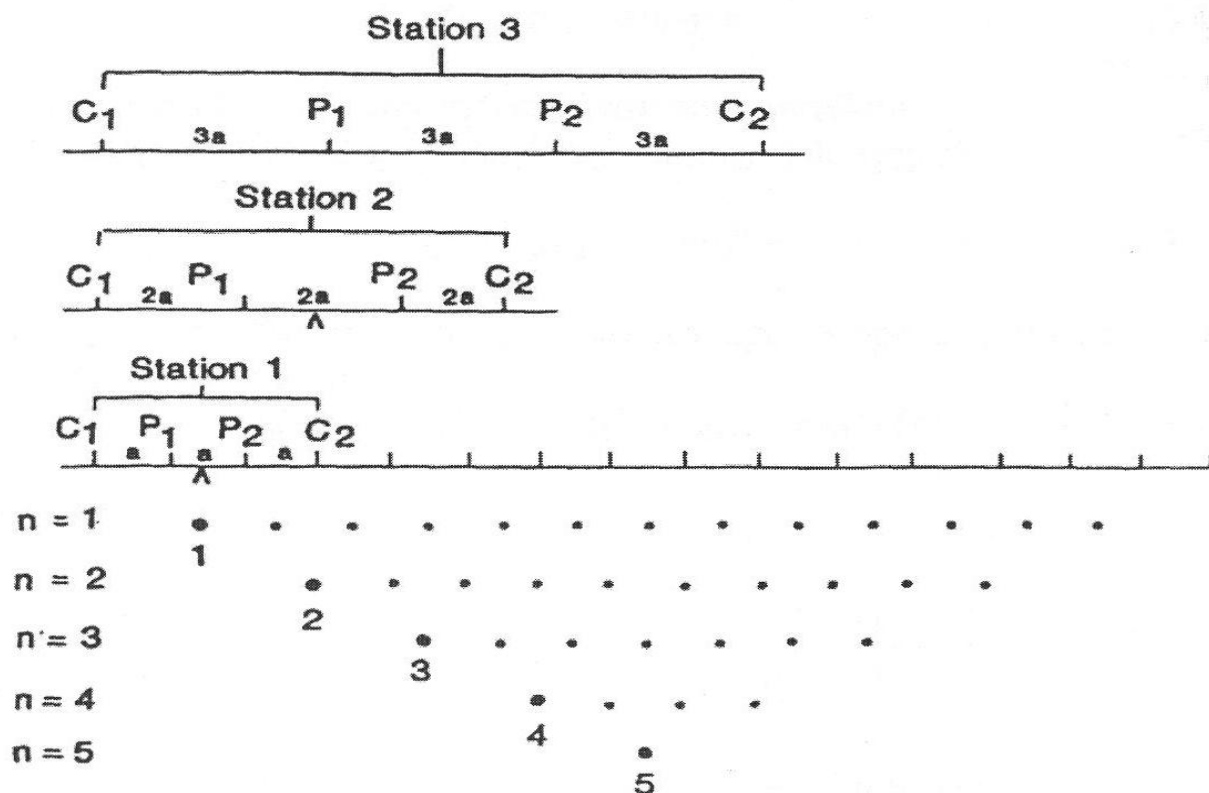
του κέντρου της γραμμής μελέτης, ενώ το ζεύγος ηλεκτροδίων ρεύματος τοποθετείται σε μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτές των ηλεκτροδίων δυναμικού, διατηρώντας πάντα σταθερή τη μεταξύ τους απόσταση. Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται συχνά καθώς παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Χρησιμοποιώντας ακόμα ένα ηλεκτρόδιο και ένα διακόπτη, το τελευταίο στη σειρά ηλεκτρόδιο μπορεί να απενεργοποιηθεί και να τοποθετηθεί στην αρχή της διάταξης όσο η μέτρηση θα πραγματοποιείται με τα υπόλοιπα τέσσερα ηλεκτρόδια. Και εδώ, όμως υπάρχει το μειονέκτημα του φαινομένου της διπλής κορυφής.

#### 2.2.4) ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η συλλογή δεδομένων με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας στην περιοχή των Φαλασσάρνων πραγματοποιήθηκε με συνδυασμό των διατάξεων Wenner και Schlumberger, ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία:

- Αναπτύσσεται η γραμμή μελέτης όσο το δυνατόν σε ευθεία γραμμή και παράλληλα στην παράταξη των γεωλογικών σχηματισμών.
- Κατά μήκος της γραμμής μελέτης τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια σε σταθερή απόσταση ( $\alpha$ ) μεταξύ τους. Δίπλα σε αυτά τοποθετούνται αριθμημένες σημαίες για την εύκολη διάκρισή τους.
- Το όργανο συνδέεται με τα καλώδια και τοποθετείται δίπλα στη γραμμή μελέτης.
- Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού οριοθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (διάταξη Wenner). Τα ηλεκτρόδια ρεύματος συνδέονται με τα καλώδια μέσω των οποίων διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα γνωστής έντασης  $I$  και μετράται η διαφορά δυναμικού  $\Delta V$  μεταξύ δύο αντίστοιχων ηλεκτροδίων.
- Στη συνέχεια μετακινείται το κέντρο των ηλεκτροδίων κατά απόσταση ( $\alpha$ ) από την προηγούμενη θέση και επαναλαμβάνεται η διαδικασία των μετρήσεων.

- Για μέτρηση σε μεγαλύτερο βάθος, διαδοχικά τα ηλεκτρόδια του ρεύματος τοποθετούνται σε μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο της διάταξής τους (πολλαπλάσια της αρχικής απόστασης  $a$ , δηλαδή  $2a$ ,  $3a$ , κ.λπ.) για να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία σε ολοένα και μεγαλύτερες αποστάσεις. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2.9, για μέτρηση βάθους ως το σημείο 1, οι θέσεις των ηλεκτροδίων είναι αυτές που απεικονίζονται στο σταθμό 1 (station 1), ενώ για την πραγματοποίηση μέτρησης σε βάθος που αντιστοιχεί στο σημείο 2, τα ηλεκτρόδια βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους όπως απεικονίζονται στο σταθμό 2 (station 2).
- Η απόσταση MN των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι σταθερή και ίση με  $a$ . Η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος AB αρχικά είναι  $3a$  και αυξάνεται κατά  $2a$  κάθε φορά που γίνεται η μέτρηση. Αφού γίνονται οι μετρήσεις κατά μήκος της γραμμής μελέτης, το κέντρο μετακινείται κατά  $a$  και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.
- Οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος, οι τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταγράφονται για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και τη δημιουργία ψευδοτομής (Σχήμα 2.9).



Σχήμα 2.9: Σημεία μέτρησης των φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων με την χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Wenner. (Βαφειδής, 1993)

## 2.2.5) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για μη ομοιογενή μέσα, η αντίσταση που υπολογίζεται εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων των διαφόρων υλικών, σταθμισμένο με την απόσταση που διαρρέει το ρεύμα στο κάθε ένα από αυτά τα υλικά, και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ( $\rho_a$ ). Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός για τον προσδιορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους και υπολογίζεται από τις μετρούμενες τιμές της αντίστασης ( $\Delta V/I$ ) και τη διάταξη των ηλεκτροδίων σύμφωνα με τη σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} \quad (2.15)$$

Όπου  $a$ : η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ηλεκτροδίων,

$I$ : η ένταση του ρεύματος, και

$MN$ : η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού

Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ( $\rho_a$ ) για τη διάταξη Wenner υπολογίζεται ως εξής:

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 2\pi a \frac{V_{MN}}{I} \quad (2.16)$$

Για τη διάταξη Schlumberger, ο υπολογισμός της  $\rho_a$  δίνεται από τη σχέση 2.17:

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.17)$$

Όπου  $L$ : η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος και

$b$ : η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού από το κέντρο της διάταξης ( $MN = 2 * b$ )

Ακολουθεί η διαδικασία της αντιστροφής, κατά την οποία υπολογίζουμε τις πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις από τις φαινόμενες. Στα περισσότερα προβλήματα της γεωφυσικής στα οποία χρησιμοποιείται η αντιστροφή, τα δεδομένα και οι παράμετροι του μοντέλου συνδέονται μεταξύ τους με μη γραμμικές σχέσεις. Έτσι και σε αυτή την περίπτωση αντιστροφής των φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων, το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Ακόμα, το πρόβλημα είναι υπερπροσδιορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου. Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζονται επαναληπτικές τεχνικές αντιστροφής, οι οποίες χρησιμοποιούν τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Πριν όμως από αυτό, γίνεται προσέγγιση του μη γραμμικού προβλήματος σε γραμμικό με τη βοήθεια της σειράς Taylor.

Θα πρέπει να αναφερθεί πως το πρόβλημα της αντιστροφής δεν έχει μονοσήμαντη λύση. Δηλαδή ένα γεωλογικά αποδεκτό μοντέλο δεν είναι πάντα και αυτό με το μικρότερο σφάλμα. Η αξιοπιστία του μοντέλου που προκύπτει βελτιώνεται από διάφορες γεωλογικές πληροφορίες ή δεδομένα γεωτρήσεων. Για τους υπολογισμούς,

σε όλη τη διαδικασία της αντιστροφής χρησιμοποιούνται οι λογάριθμοι των τιμών της ειδικής και της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης.

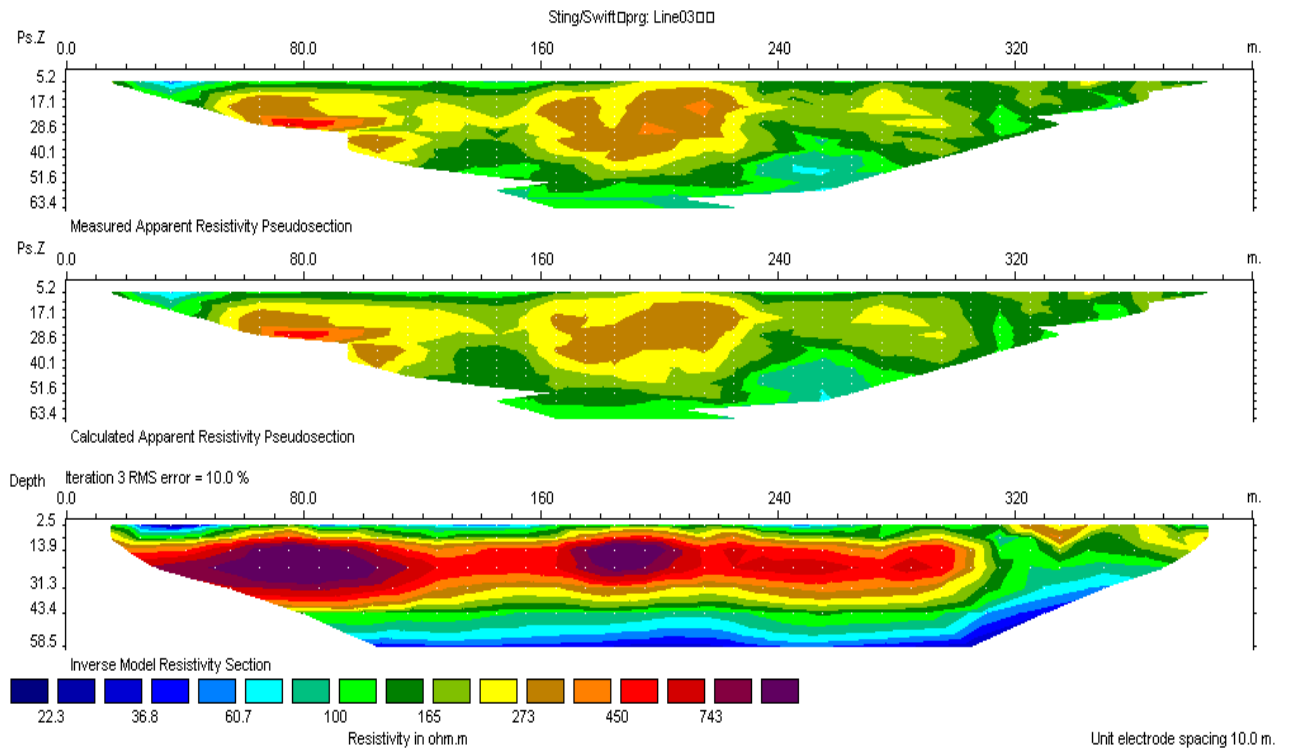
Η κανονικοποίηση, δηλαδή η αντιμετώπιση της αστάθειας της αντιστροφής πραγματοποιείται συνήθως με τους παρακάτω τρόπους:

- Κανονικοποίηση μηδενικού βαθμού
- Κανονικοποίηση με περιορισμούς εξομάλυνσης, η οποία και χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση

Η κανονικοποίηση με περιορισμούς εξομάλυνσης χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τους Constable et al., (1987) ώστε να αντιστρέψουν μαγνητοτελλουρικά δεδομένα σε μία διάσταση. Στη συνέχεια η χρήση της μεθόδου αυτής επεκτάθηκε και για την επίλυση προβλημάτων των δύο διαστάσεων (deGroot - Hedlin and Constable, 1990). Με τη μέθοδο αυτή ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγώνων του σφάλματος μεταξύ των πραγματικών και των συνθετικών δεδομένων με χρήση της νόρμας L2. Αποφεύγει τις ασταθείς λύσεις και συγκλίνει γρήγορα στην τελική λύση.

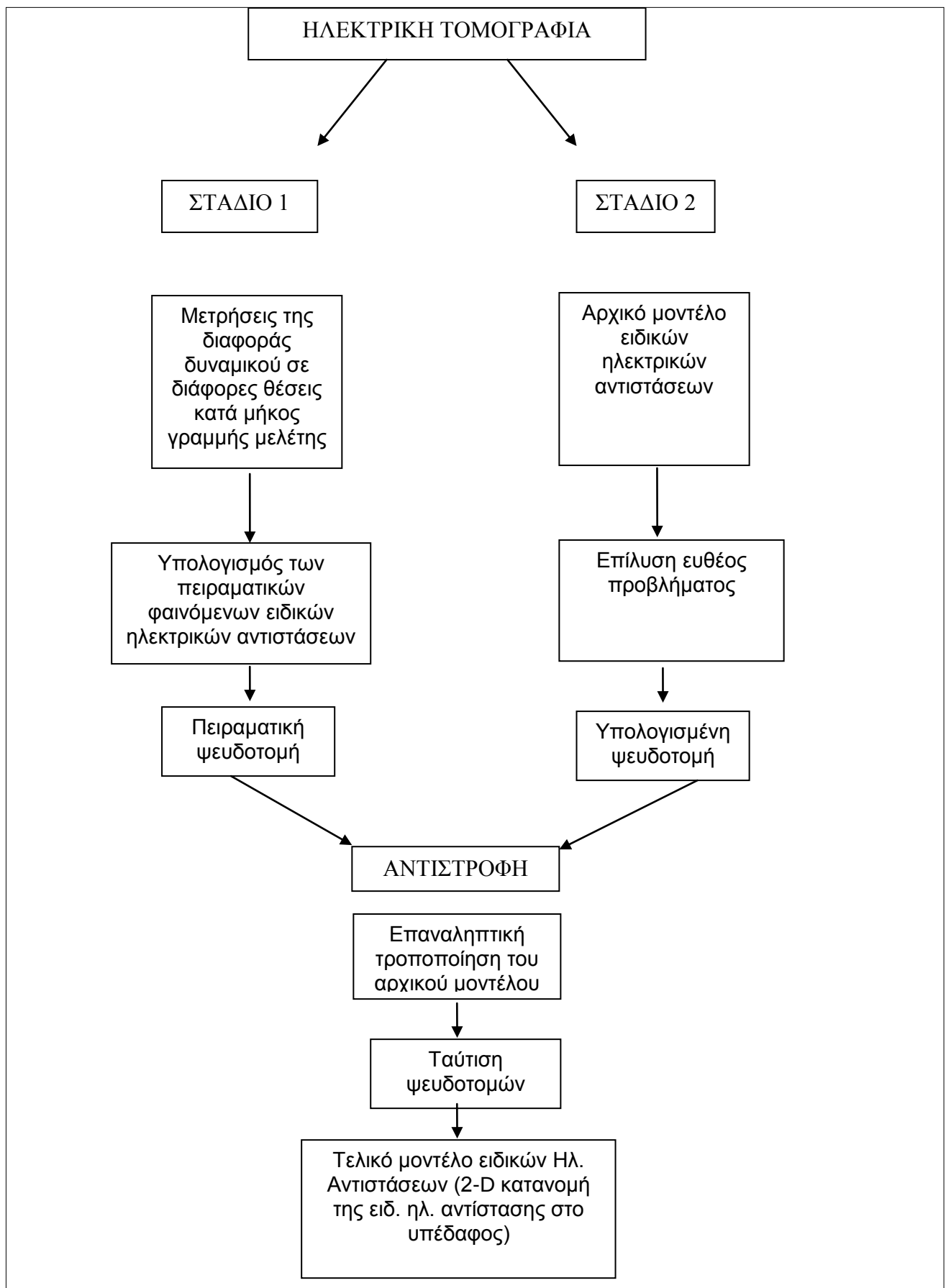
Η μέθοδος της αντιστροφής με περιορισμούς εξομάλυνσης αποτελεί σήμερα ένα αξιόπιστο εργαλείο για την ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων και για την ανακατασκευή ακόμα και πολύπλοκων δομών του υπεδάφους σε μία (Vedanti et al., 2005), δύο (Sasaki, 1989) και τρεις διαστάσεις (LaBrecque, 1999).

Ακολουθεί ένα παράδειγμα (Σχήμα 2.10) αποτελέσματος που προέκυψε από την επεξεργασία των μετρήσεων της ηλεκτρικής τομογραφίας, όπου απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) ψευδοτομή και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudo Section), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Τέλος, παρουσιάζεται η γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την κάθε γραμμή μελέτης. Παρουσιάζεται επίσης το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής.



Σχήμα 2.10: Μετρούμενη, υπολογιζόμενη ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Line 3. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 10%. Ο κάθετος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m), ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης (σε m) και η χρωματική κλίμακα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση (σε  $\Omega m$ ).

Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί (Σχήμα 2.11), παρουσιάζεται συνοπτικά η επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας:



Σχήμα 2.11: Διάγραμμα ροής της ηλεκτρικής τομογραφίας

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ**

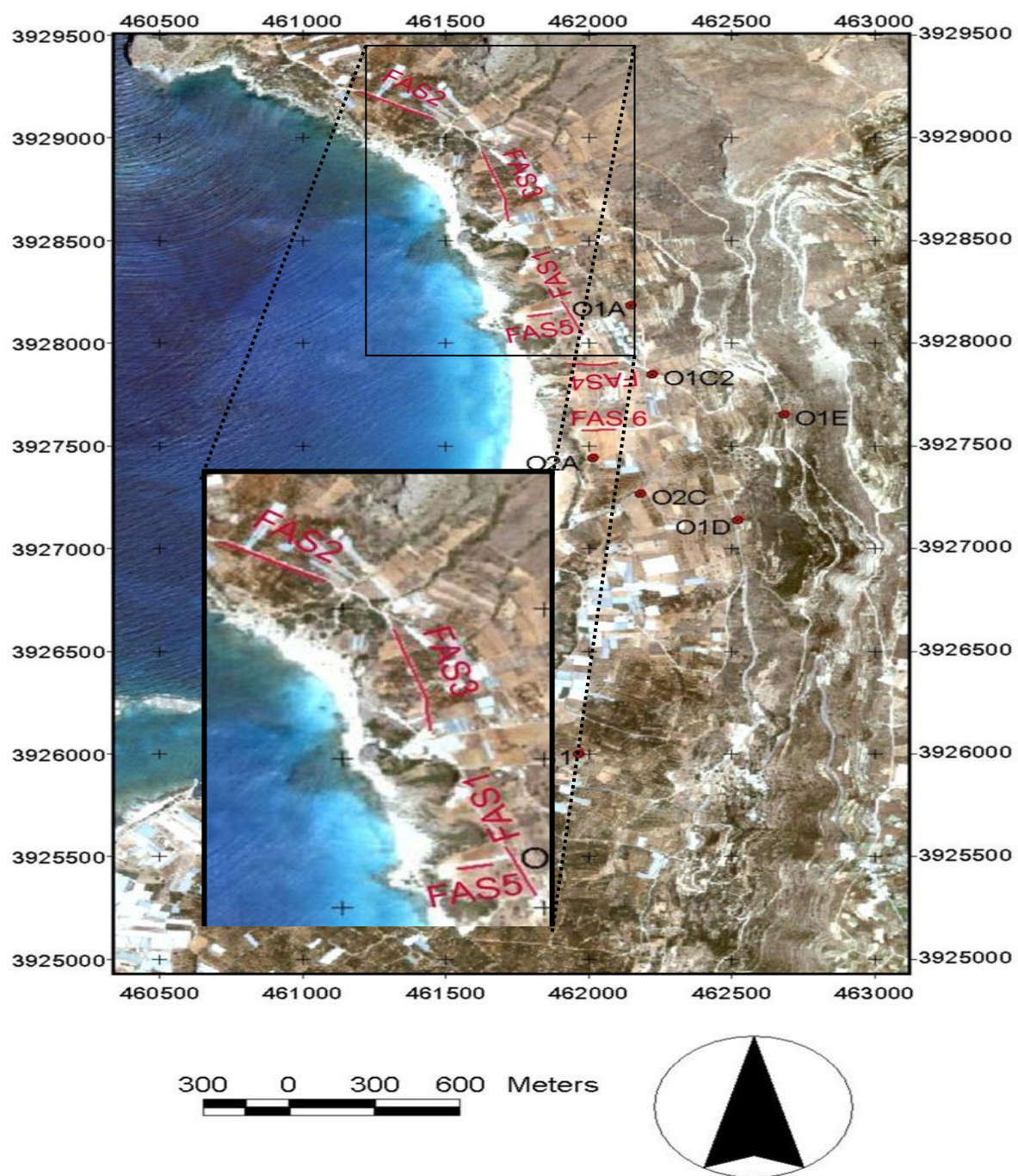
#### **3.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Την άνοιξη του 2008 πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα στα Φαλάσσαρνα Χανίων για την ανίχνευση υφαλμύρωσης στην περιοχή από τους φοιτητές τέταρτου έτους του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η γεωφυσική αυτή έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος “Ασκήσεις Υπαίθρου IV” και περιλάμβανε σεισμικές, ηλεκτρικές, καθώς και ηλεκτρομαγνητικές διασκοπήσεις.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των σεισμικών και ηλεκτρικών δεδομένων σε γραμμές μελέτης. Η γεωλογική ερμηνεία των σεισμικών μοντέλων βάθους καθώς και των γεωηλεκτρικών τομών παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο.

#### **3.2) ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ**

Εξετάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις πρώτες γραμμές μελέτης της σεισμικής διασκόπησης: Line FAS 1, Line FAS 2, Line FAS 3. Μία γενική εικόνα για τις θέσεις των μετρήσεων στην ευρύτερη περιοχή μας δίνει το σχήμα 3.1 όπου απεικονίζεται ο χάρτης της περιοχής Φαλασσάρνων στον οποίο αναπαρίσταται η θέση και η διεύθυνση των γραμμών μελέτης.

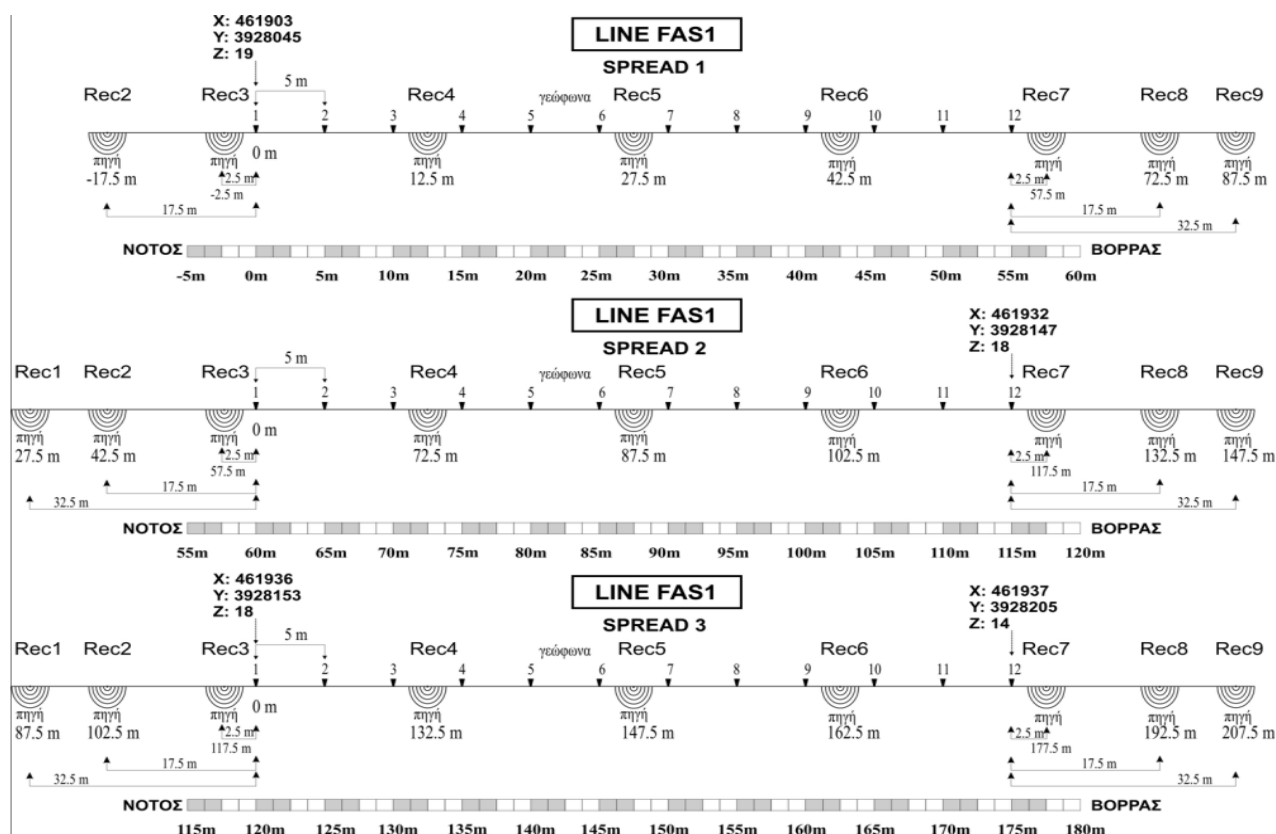


Σχήμα 3.1: Σχηματική αναπαράσταση των γραμμών μελέτης στο χάρτη, για την πραγματοποίηση μετρήσεων με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης.

Για την κάθε γραμμή μελέτης ξεχωριστά έχουμε τα παρακάτω στοιχεία:

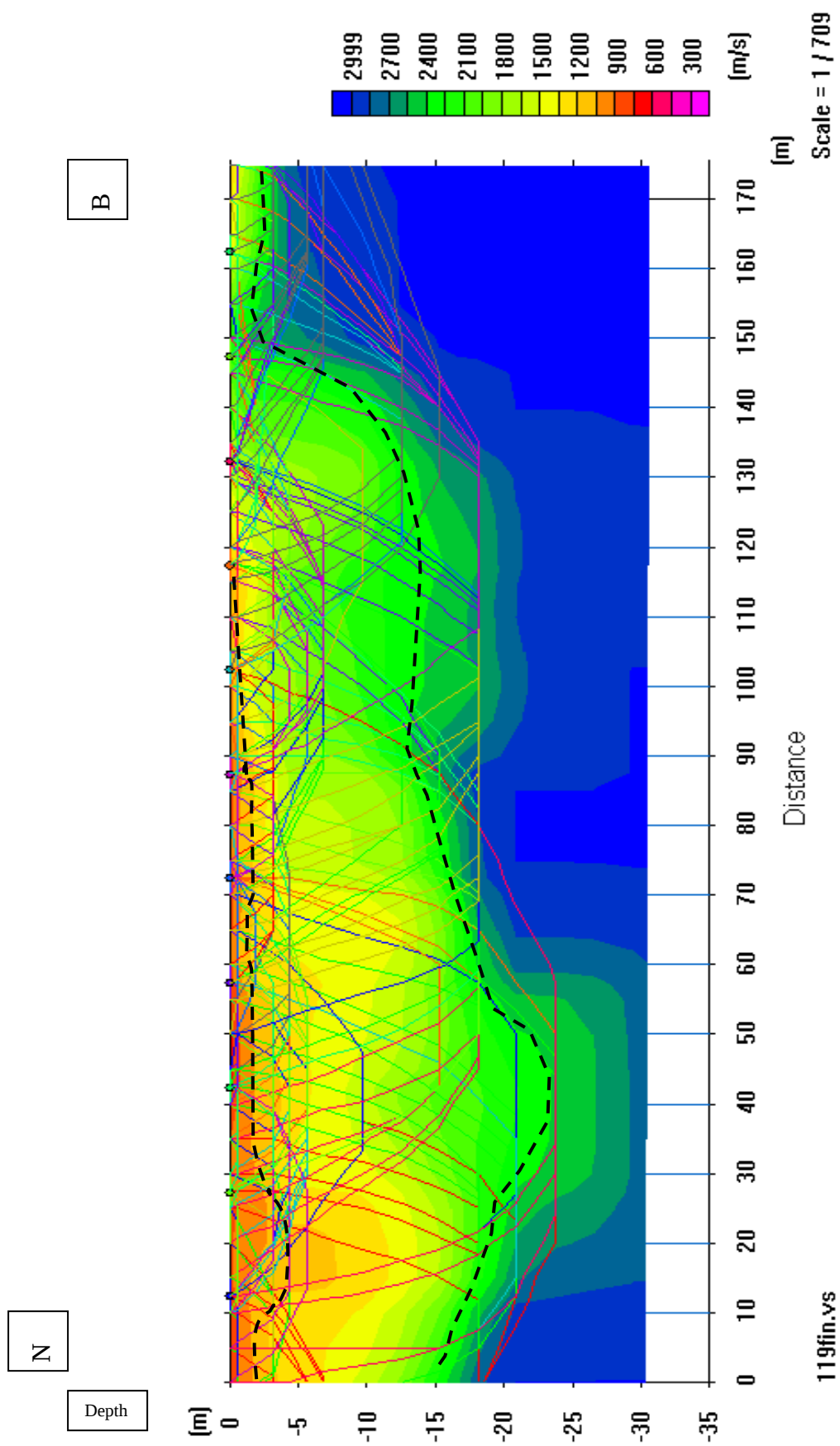
### 3.2.1) LINE FAS 1

Αναπτύσσεται από νότιο-νοτιοανατολικά προς βόρειο-βορειοδυτικά, έχει μήκος 175 m και συντεταγμένες άκρων:  $(x,\psi)_A = (461903, 3928045)$  και  $(x,\psi)_T = (461937, 3928205)$ . Όπως φαίνεται και από Σχήμα 3.2, το οποίο παρουσιάζει όλα τα στοιχεία γεωμετρίας της Line FAS 1, αποτελείται από τρία spread (ανάπτυγματα). Σε όλες τις γραμμές μελέτης κάθε ανάπτυγμα αποτελείται από 12 γεώφωνα τοποθετημένα σε απόσταση 5m μεταξύ τους. Τοποθετώντας κάθε φορά την πηγή σε νέα θέση επάνω στη γραμμή μελέτης καταγράφονται οι μετρήσεις των αφίξεων στα γεώφωνα. Στο Σχήμα 3.2 επίσης φαίνονται οι θέσεις των πηγών για κάθε πραγματοποιούμενη μέτρηση (Θέσεις με ένδειξη Rec).



Σχήμα 3.2: Αναπαράσταση της γεωμετρίας όλων των στοιχείων της Line FAS 1

Για μεγαλύτερη ευκολία, ονομάζουμε κάθε γεώφωνο με ένα συνδυασμό τριών αριθμών ο οποίος προέρχεται από τη γραμμή μελέτης, τη σειρά του αναπτύγματος, και τη θέση του κάθε γεωφώνου αντίστοιχα. Για παράδειγμα, το γεώφωνο 3-5-1 βρίσκεται στη Line FAS 3, στο πέμπτο ανάπτυγμα, πρώτο στη σειρά.

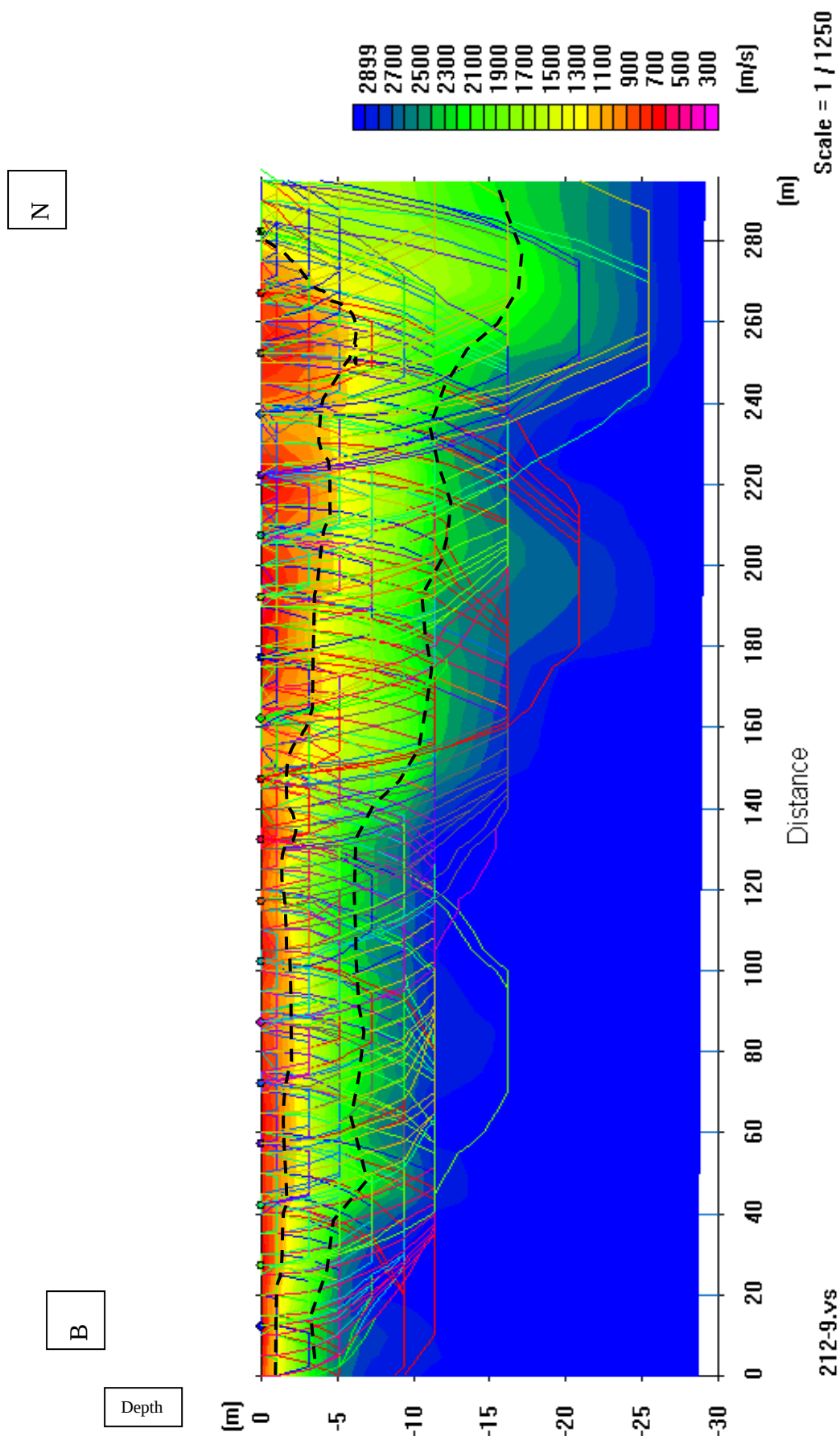


Σχήμα 3.3: Αποτέλεσμα της επεξεργασίας των δεδομένων μέσω του PlotRefa για τη Line FAS 1. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m), ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης (σε m) και η χρωματική κλίμακα την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (σε m/s).

Στο μοντέλο που προκύπτει (Σχήμα 3.3) απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου τα 25 m. Η στήλη στα δεξιά δείχνει τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για τη στρωματογραφία. Παρατηρείται πως από την επιφάνεια του εδάφους και μέχρι τα 3 m υπάρχει ένα στρώμα που παρουσιάζει μικρές ταχύτητες διάδοσης (έως 1000 m/s περίπου), του οποίου το βάθος φθίνει κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Κάτω από αυτό το στρώμα υπάρχει ένα δεύτερο με μεγαλύτερες ταχύτητες (φτάνουν τα 2200 m/s) που εκτείνεται σε μέσο βάθος 15m. Το τρίτο στρώμα, που εκτείνεται σε βάθος μεγαλύτερο από αυτό της διασκόπησης, παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες (πάνω από 2200 m/s) .

### 3.2.2) LINE FAS 2

Η Line FAS 2 έχει μήκος 295 m, κατευθύνεται από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά, αποτελείται από 5 αναπτύγματα και έχει συντεταγμένες άκρων:  $(x,\psi)_A = (461199,3229224)$  και  $(x,\psi)_T = (461458,3929090)$ . Ακολουθεί το αποτέλεσμα της επεξεργασίας της Line FAS 2 μέσω του προγράμματος PlotRefa (Σχήμα 3.4). Παρατηρείται πως το μέγιστο βάθος διασκόπησης βρίσκεται στα 27 m περίπου, όσο δηλαδή το μέγιστο βάθος διάδοσης των σεισμικών ακτίνων. Ξεκινώντας από την επιφάνεια του εδάφους και με μέσο πάχος τα 5 m διακρίνεται ένα στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές ταχύτητες διάδοσης (έως 2100 m/s). Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 3 m), ενώ κατά μήκος αυτής το πάχος του αυξάνεται και φτάνει μέχρι και τα 15 m. Στο κατώτερο στρώμα, το οποίο φτάνει σε βάθος μεγαλύτερο από αυτό της διασκόπησης, οι ταχύτητες διάδοσης παίρνουν τιμές από 2100 m/s.



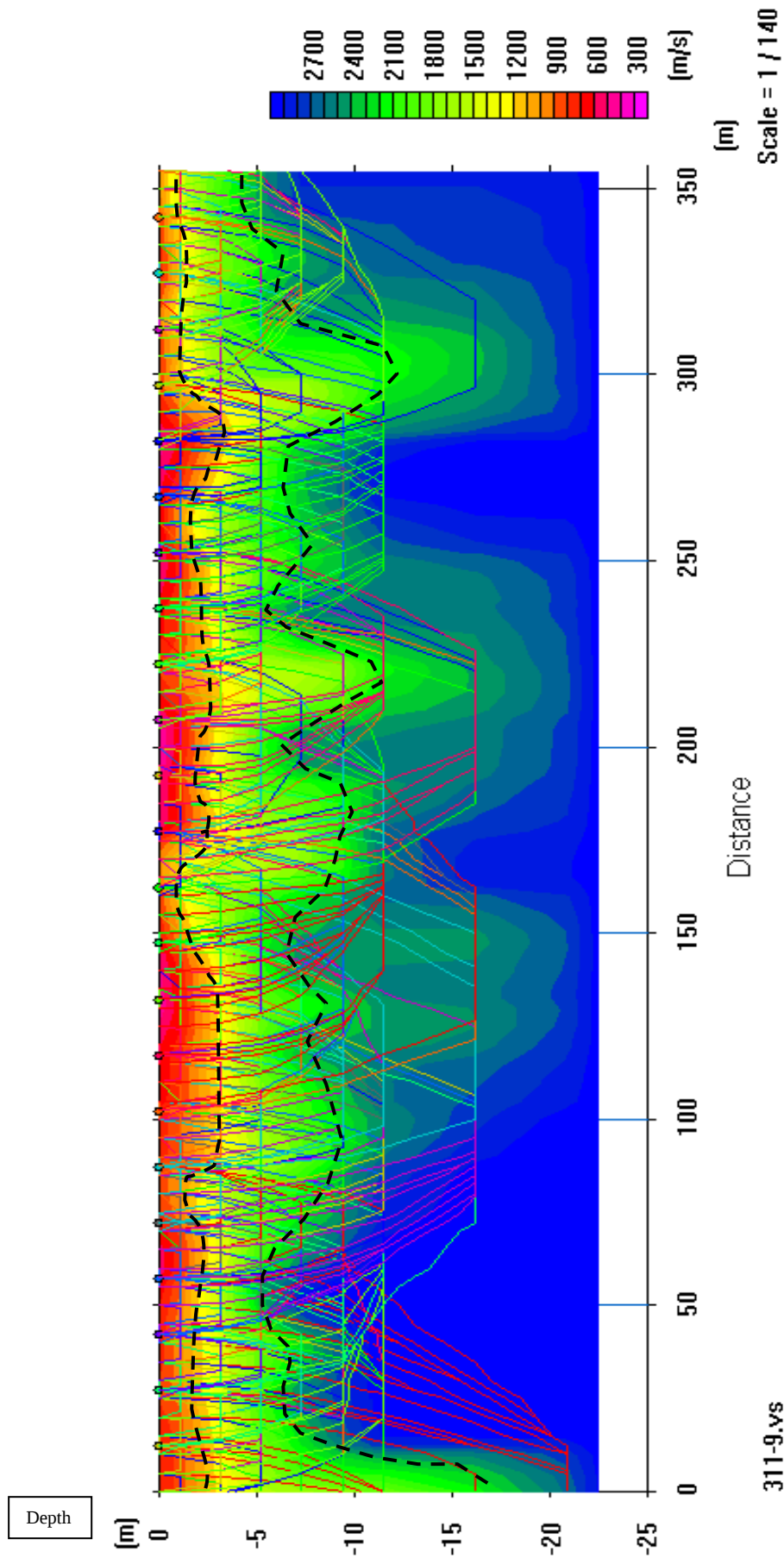
Σχήμα 3.4: Αποτέλεσμα της επεξεργασίας των δεδομένων μέσω του PlotRefa για τη Line FAS 2. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m), ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης (σε m) και η χρωματική κλίμακα την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (σε m/s).

### 3.2.3) LINE FAS 3

Η Line FAS 3 έχει μήκος 355 m, αναπτύσσεται από βόρειο-βορειοδυτικά προς νότιο-νοτιοανατολικά και αποτελείται από 6 αναπτύγματα. Έχει συντεταγμένες άκρων:  $(x,\psi)_A = (4616627, 3928930)$  και  $(x,\psi)_T = (461719, 3928594)$ . Ακολουθεί το αποτέλεσμα της επεξεργασίας της Line FAS 3 μέσω του προγράμματος PlotRefa (Σχήμα 3.5). Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.5, το βάθος διασκόπησης φτάνει μέχρι τα 22 m. Το τελικό μοντέλο βάθους αποτελείται από δύο στρώματα. Από την επιφάνεια του εδάφους και με μέσο πάχος τα 7 m περίπου διακρίνεται το πρώτο στρώμα με χαμηλές ταχύτητες διάδοσης (έως 2100 m/s). (από 5 έως 15 m). Κάτω από αυτό υπάρχει ένα ακόμα στρώμα που εκτείνεται σε άγνωστο βάθος και παρουσιάζει υψηλές ταχύτητες διάδοσης σεισμικών κυμάτων (από 2100 m/s).

B

N

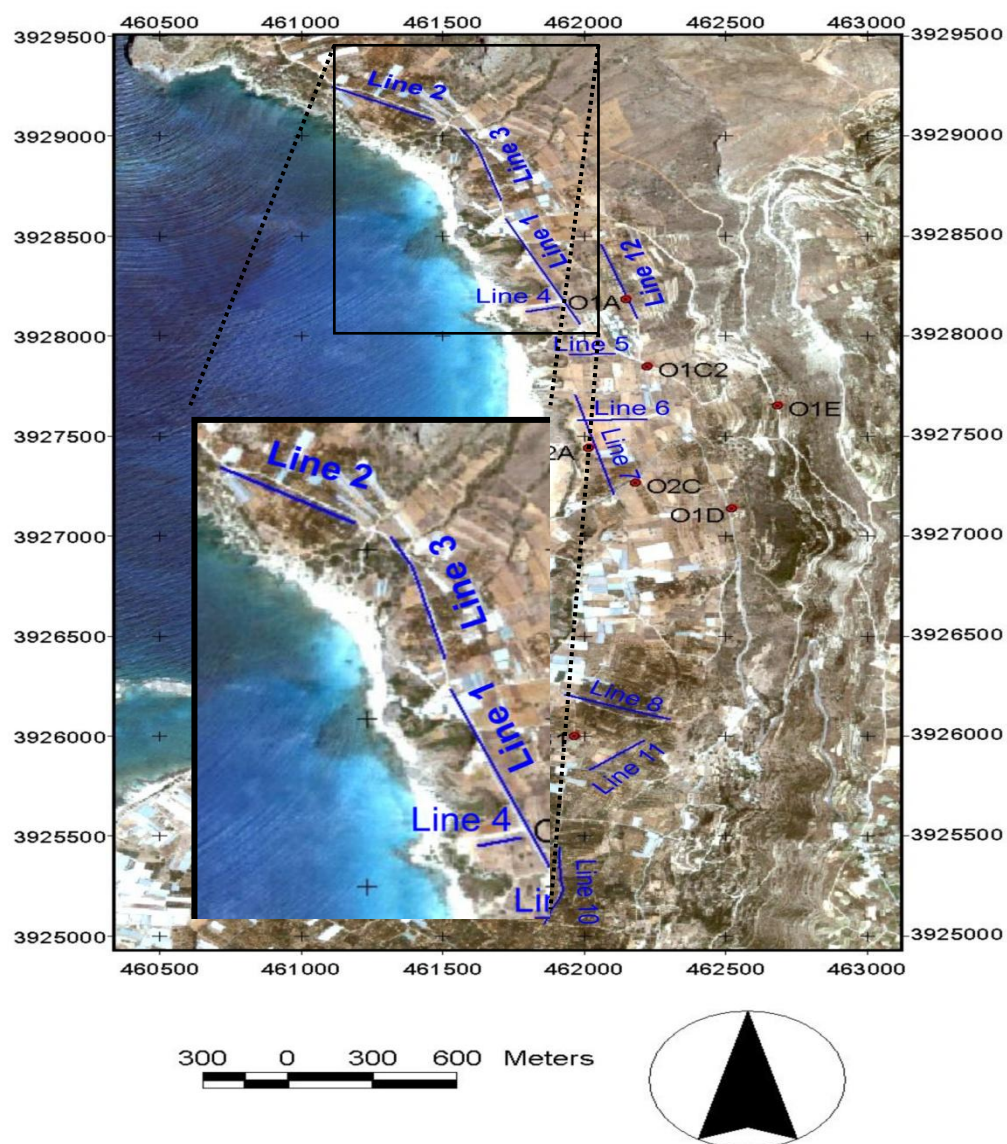


Σχήμα 3.5: Αποτέλεσμα της επεξεργασίας των δεδομένων μέσω του PlotRefa για τη Line FAS 3. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m), ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης (σε m) και η χρωματική κλίμακα την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (σε m/s).

### 3.3) ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

#### 3.3.1) ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Εξετάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων από τις τρεις πρώτες γραμμές μελέτης που πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας: Line 1, Line 2 και Line 3. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τη θέση και τη διεύθυνση των γραμμών αυτών πάνω στο χάρτη της περιοχής. Οι παραπάνω γεωηλεκτρικές γραμμές μελέτης παρουσιάζουν μερική επικάλυψη με τις σεισμικές (Σχήμα 4.1)



Σχήμα 3.6: Σχηματική αναπαράσταση των γραμμών μελέτης στο χάρτη, για την πραγματοποίηση μετρήσεων με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας.

### 3.3.2) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ

Σε κάθε γραμμή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν 41 ηλεκτρόδια, η ισαπόσταση μεταξύ των οποίων ήταν 10m. Για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων, στις 3 γεωηλεκτρικές τομές (Line 1, Line 2 και Line 3) αποδόθηκε κοινή χρωματική κλίμακα, ορίζοντας ως ελάχιστη ηλεκτρική αντίσταση τα 20 Ωm και ως μέγιστη τα 1020 Ωm. Το εύρος αυτό καλύπτει σχεδόν όλες τις τιμές των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που προσδιορίστηκαν από τις τρεις τομογραφίες εκτός από κάποιες θέσεις στην Line 3 στην οποία υπολογίστηκαν αντιστάσεις μεγαλύτερες από 1020 Ωm όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα επεξεργασίας.

Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της κάθε τομογραφίας, όπου απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) ψευδοτομή και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudo Section), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Τέλος, παρουσιάζεται η γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την κάθε γραμμή μελέτης. Σε κάθε εικόνα παρουσιάζεται επίσης το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής, το οποίο πρέπει να υποβιβαστεί σε τιμές μικρότερες του 10%.

#### 3.3.2.1) LINE 1

Αναπτύσσεται από νότιο-νοτιοανατολικά προς βόρειο-βορειοδυτικά, έχει μήκος 600m και πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια: από 0m ως 400m και από 200m ως 600m. Στον πίνακα που ακολουθεί (3.1), παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των άκρων της Line 1 σύμφωνα με το σύστημα EGSA 87.

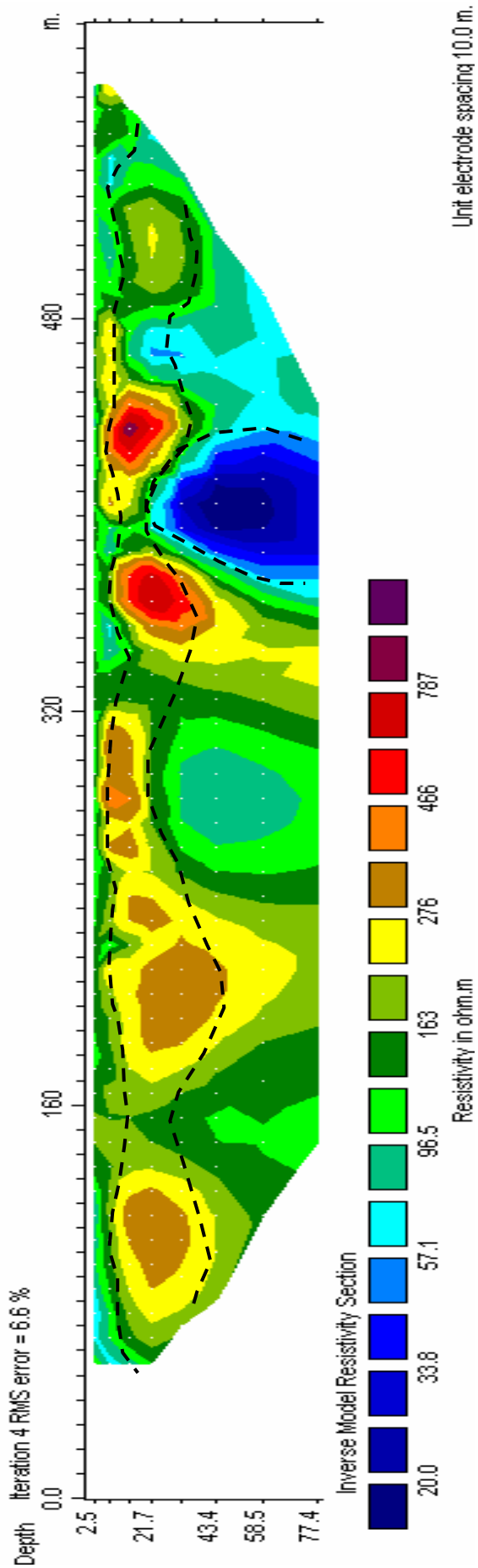
Πίνακας 3.1: Συντεταγμένες ηλεκτροδίων για τη Line 1.

| Ηλεκτρόδια: | Συντεταγμένες: |              |           |
|-------------|----------------|--------------|-----------|
| Στα 0m      | 004-61-988 E   | 039-28-057 N | H=13+/-7m |
| Στα 600m    | 004-61-722 E   | 039-28-585 N | H=10+/-6m |

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 6.6% για τη Line 1 (Σχήμα 3.6). Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 20 μέχρι 700  $\Omega\text{m}$ . Παρατηρείται η ύπαρξη τριών στρωμάτων. Το επιφανειακό εκτείνεται σε μικρό βάθος (έως 10 περίπου μέτρα από την επιφάνεια) και παρουσιάζει αντιστάσεις από 100 έως 150  $\Omega\text{m}$ . Το δεύτερο στρώμα βρίσκεται σε μέσο βάθος 30 περίπου μέτρα και παρουσιάζει αντιστάσεις από 100 έως 300  $\Omega\text{m}$ . Παρατηρούνται δύο μεμονωμένες περιοχές μέσα σε αυτό το στρώμα οι οποίες έχουν πολύ υψηλές αντιστάσεις (περίπου 500  $\Omega\text{m}$ ). Το τρίτο στρώμα αρχίζει περίπου 45 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και εκτείνεται σε βάθος άγνωστο. Μέσα στο στρώμα αυτό υπάρχει μία περιοχή που παρουσιάζει χαμηλές αντιστάσεις, μικρότερες των 100  $\Omega\text{m}$ .

N

B



Σχήμα 3.7: Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Line 1. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 6.6%. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m), ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης (σε m) και η χρωματική κλίμακα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση (σε Ωm)

### 3.3.2.2) LINE 2

Η Line 2 αναπτύσσεται από νοτιοανατολικά προς βορειοδυτικά και έχει μήκος 400 m. Στον πίνακα που ακολουθεί (3.2), παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των άκρων της Line 2 σύμφωνα με το σύστημα EGSA 87.

Πίνακας 3.2: Συντεταγμένες ηλεκτροδίων για τη Line 2

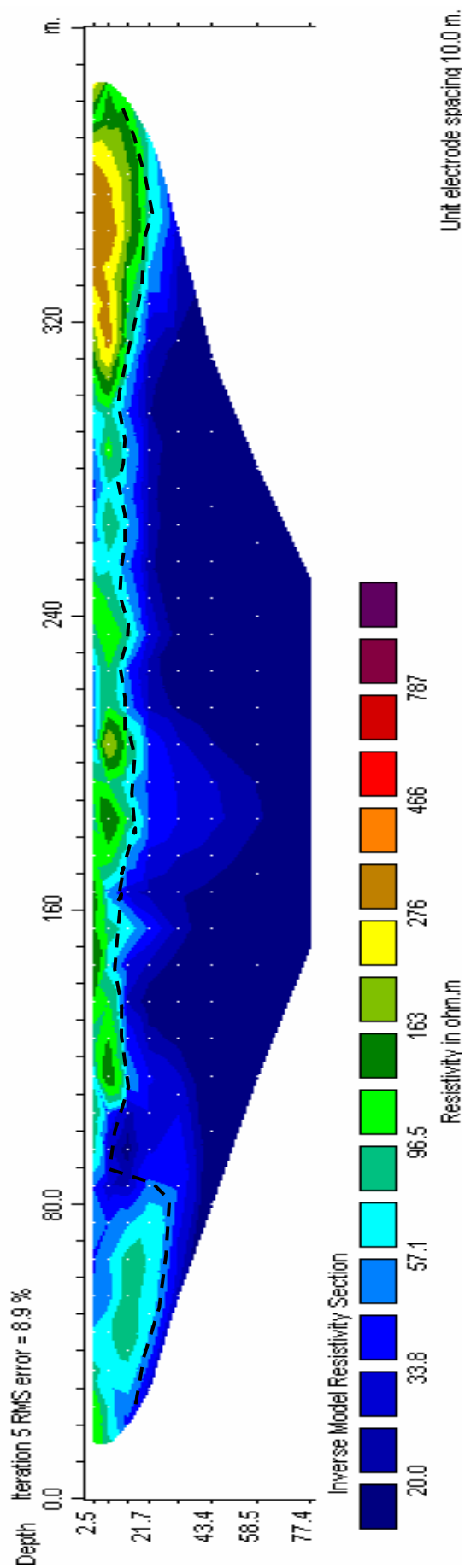
| Ηλεκτρόδια: | Συντεταγμένες: |              |           |
|-------------|----------------|--------------|-----------|
| Στα 0m      | 004-61-111 E   | 039-29-244 N | H=5+/-13m |
| Στα 400m    | 004-61-468 E   | 039-29-078 N | H=5+/-7m  |

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 8.9% για τη Line 2 (Σχήμα 3.8). Εμφανίζονται συνολικά δύο γεωηλεκτρικά στρώματα:

- Το επιφανειακό στρώμα έχει μέσο πάχος 18 m και οι αντιστάσεις του κυμαίνονται από 350 έως 40 Ωm.
- Το δεύτερο στρώμα εμφανίζεται στα 18 m περίπου και εκτείνεται σε μεγάλο βάθος, έξω από τη διακριτική ικανότητα της διασκόπησης. Εμφανίζονται πολύ χαμηλές γεωηλεκτρικές αντιστάσεις, με τιμές μικρότερες από 40 Ωm.

N

B



Σχήμα 3.8: Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Line 2. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 8.9%.Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m), ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης (σε m) και η χρωματική κλίμακα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε Ωm.

### 3.3.2.3) LINE 3

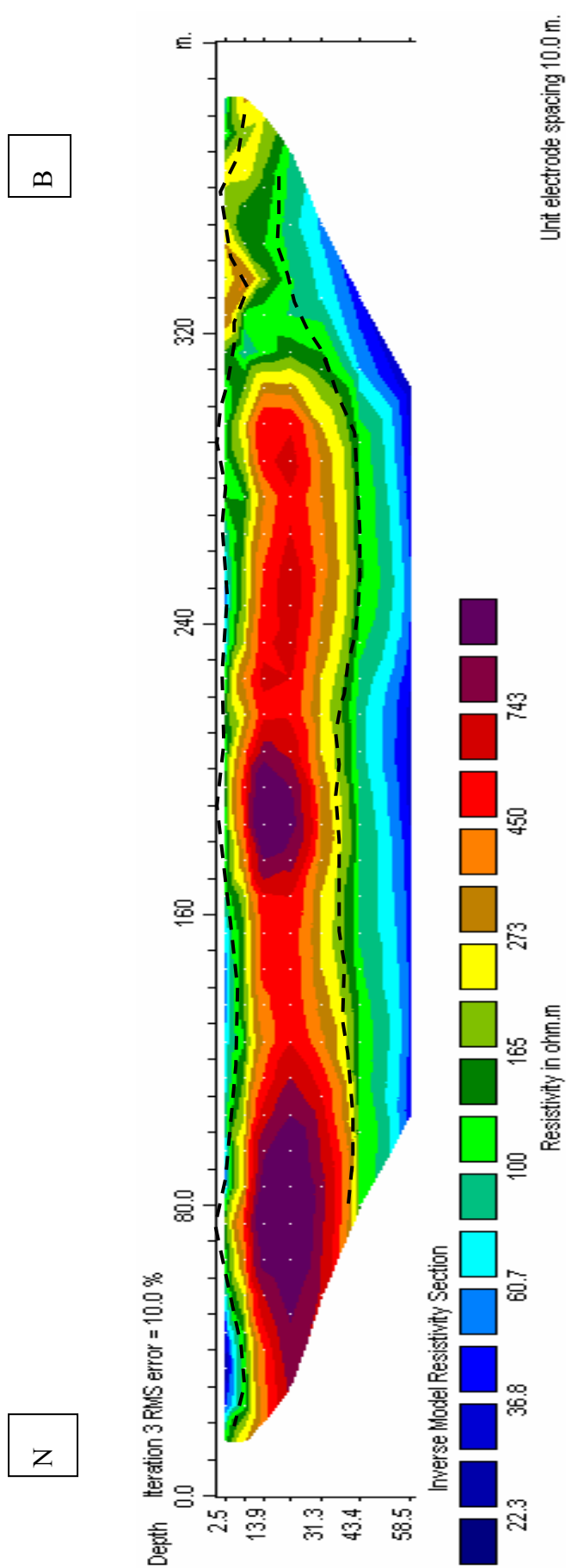
Αναπτύσσεται από νότιο-νοτιοανατολικά προς βόρειο-βορειοδυτικά και έχει μήκος 400m. Στον πίνακα 3.3, παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των άκρων της Line 3 σύμφωνα με το σύστημα EGSA 87.

Πίνακας 3.3: Συντεταγμένες ηλεκτροδίων για τη Line 3

| Ηλεκτρόδια: | Συντεταγμένες: |              |           |
|-------------|----------------|--------------|-----------|
| Στα 0m      | 004-61-709 E   | 039-28-675 N | H=12+/-6m |
| Στα 400m    | 004-61-565 E   | 039-29-039 N | H=15+/-6m |

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 10% για τη Line 2 (Σχήμα 3.8). Εμφανίζονται συνολικά τρία γεωηλεκτρικά στρώματα:

- Το πρώτο στρώμα βρίσκεται σε μέσο βάθος 10 m και παρουσιάζει αντιστάσεις που κυμαίνονται από 80 έως 150 Ωm.
- Το δεύτερο στρώμα αρχίζει από τα 10 m και φτάνει περίπου μέχρι τα 50 m. Παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις που κυμαίνονται από 100 έως 500 Ωm και τοπικά φτάνουν και τα 750 Ωm.
- Στο τρίτο στρώμα, το οποίο εμφανίζεται περίπου στα 50 m από την επιφάνεια του εδάφους, οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι χαμηλότερες και φτάνουν μέχρι τα 100 Ωm.



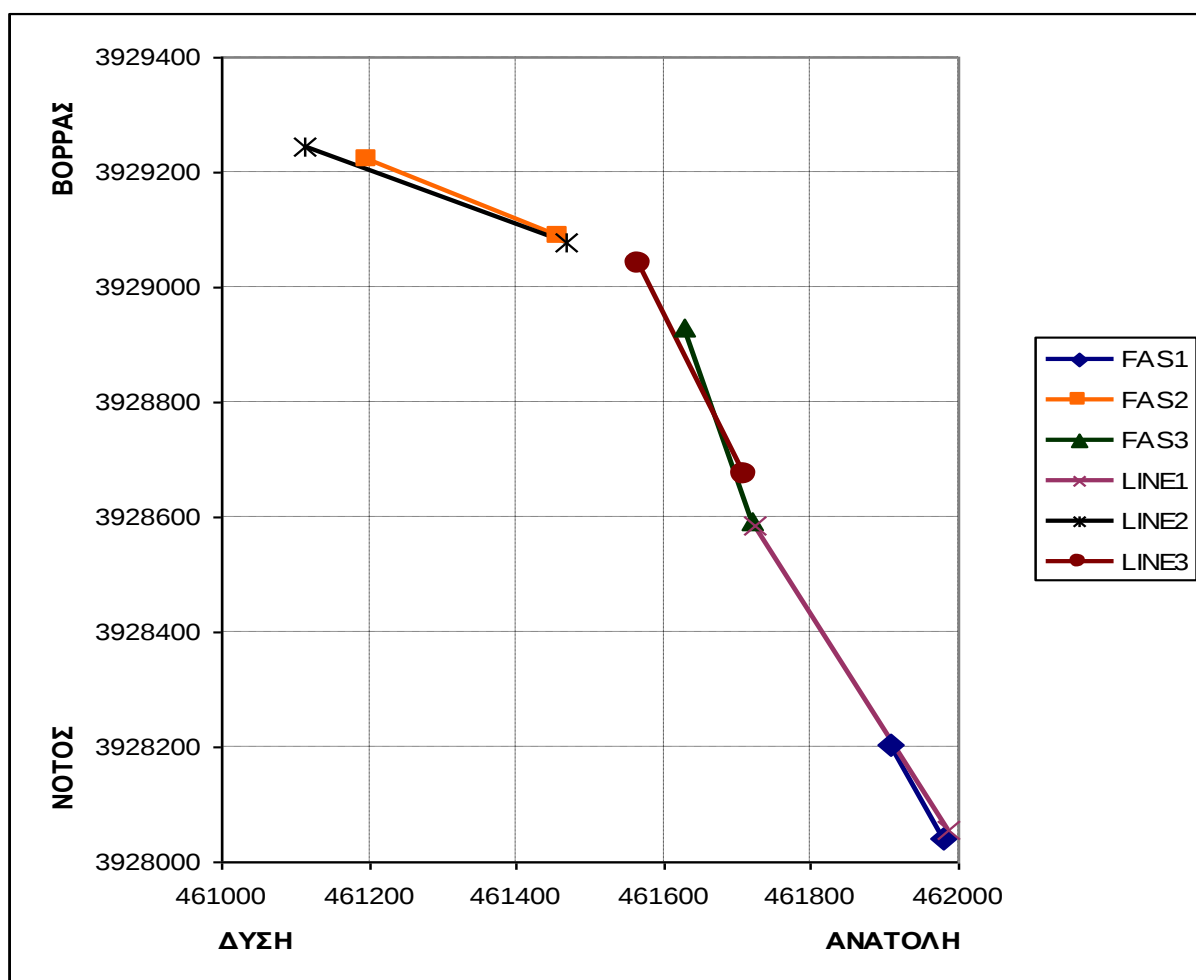
Σχήμα 3.9: Γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Line 3. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 10%. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m), ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης (σε m) και η χρωματική κλίμακα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε Ωm.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ

#### 4.1) ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται συνδυαστική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας, με τη χρήση του προγράμματος Corel. Συνολικά πραγματοποιούνται τρεις συνδυασμοί μεταξύ των γραμμών μελέτης της σεισμικής διάθλασης και αυτών της ηλεκτρικής τομογραφίας, ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται η κάθε μία από αυτές. Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.1) απεικονίζονται παραστατικά οι θέσεις των γραμμών μελέτης όπως αυτές προκύπτουν από τις συντεταγμένες τους (ΕΓΣΑ 87).



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα που προκύπτει από τις συντεταγμένες των γραμμών μελέτης

Για την καλύτερη κατανόηση της αλληλεπικάλυψης των γραμμών μελέτης, επεξηγείται η θέση τους ανά ζεύγη:

- Η αρχή της Line 1 βρίσκεται 17 m μετά την αρχή της Line Fas 1. κατευθύνονται και οι δύο από Νότο προς Βορρά.
- Η αρχή της Line Fas 2 βρίσκεται 90 m μετά την αρχή της Line 2. Η Line Fas 2 κατευθύνεται από νοτιοανατολικά προς βορειοδυτικά ενώ η Line 2 έχει αντίθετη κατεύθυνση.
- Η αρχή της Line 3 βρίσκεται 275 m μετά την αρχή της Line Fas 3. Η Line 3 κατευθύνεται από Νότο προς Βορρά ενώ η Line Fas 3 από Βορρά προς Νότο.

Η γεωλογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με:

- Την αναμενόμενη στρωματογραφία σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Σχήμα 1.4, γεωλογικό φύλλο χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. "ΦΥΛΛΟ ΚΑΣΤΕΛΙ")
- Τις ενδεικτικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης πετρωμάτων (Πίνακας 4.1)
- Τις ενδεικτικές τιμές της ταχύτητας διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων.

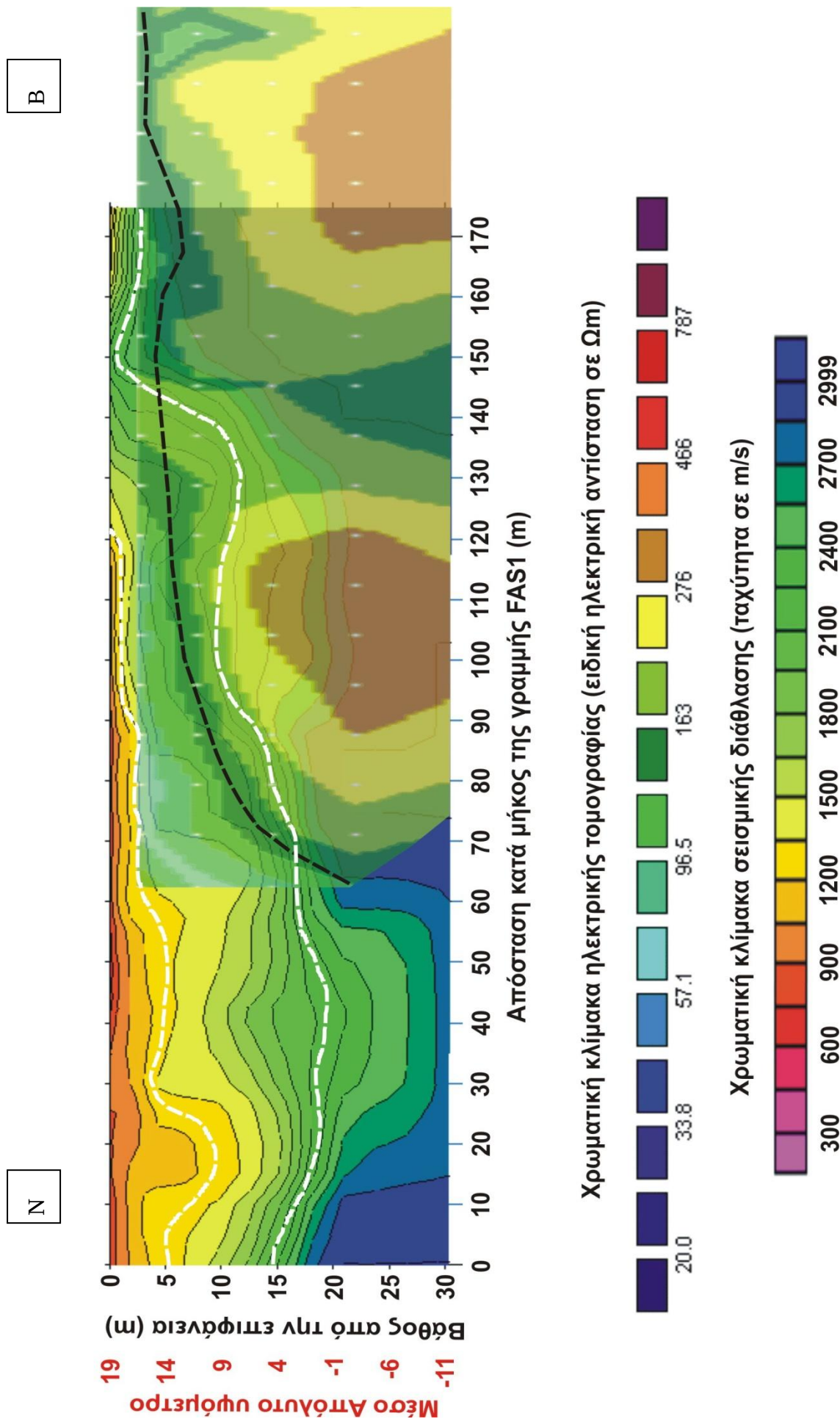
Πίνακας 4.1: Ενδεικτικές τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων

| ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ                                                                                                                                                                                                                            | ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ( $\Omega m$ )                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ                                                                                                                                                                                                                     | 80-250                                                                                                                                    |
| <p>ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ</p> <p>Άργιλοι</p> <p>Μάργες</p> <p>Άμμοι και χαλίκια κορεσμένα</p> <p>Εβαπορίτες (Γύψοι)</p> <p>Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι</p> <p>Κροκαλοπαγή βάσεως</p> <p>Ψαμμίτες</p> <p>Συμπαγής δολομίτης</p> <p>Πορώδης δολομίτης</p> | <p>2-20</p> <p>20-60</p> <p>50-500</p> <p>200</p> <p>150-500</p> <p>200-300</p> <p>50-70</p> <p><math>&gt;10^4</math></p> <p>100-1000</p> |
| <p>ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ</p> <p>Φλύσχης</p> <p>Σχιστόλιθοι – Οφιόλιθοι</p> <p>Ασβεστόλιθοι</p>                                                                                                                                                     | <p>70-80</p> <p>100-300</p> <p><math>&gt;500</math></p>                                                                                   |
| <p>ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ</p> <p>ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ</p>                                                                                                                                                                                          | $10^2 - 10^6$                                                                                                                             |

#### 4.2) ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ LINE FAS 1 ΚΑΙ LINE 1

Από τα σεισμικά δεδομένα παρατηρείται ένα επιφανειακό στρώμα με πάχος 15 m στα νότια της τομής, το οποίο αποσφηνώνεται προς την επιφάνεια προς το βόρειο τμήμα της Line FAS 1. Η ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων στο στρώμα αυτό φτάνει μέχρι τα 2200 m/s και αποδίδεται σε τεταρτογενείς αποθέσεις. Αυτές συνίστανται από εναλλαγές άμμων και παλαιότερων ποταμοχειμάρριων αποθέσεων. Το ανώτερο μέρος του στρώματος αυτού (έως 1200 m/s) αποτελείται από πρόσφατες άμμους. Το κατώτερο τμήμα των τεταρτογενών αποθέσεων οριοθετείται στην σεισμική τομή από την ισότιμη καμπύλη των 2200 m/s και στην γεωηλεκτρική τομή από την ισότιμη καμπύλη των 150  $\Omega m$ .

Το βαθύτερο στρώμα που εκτείνεται σε άγνωστο βάθος με σεισμικές ταχύτητες μεγαλύτερες των 2200 m/s και τιμές ηλεκτρικής αντίστασης από 150 Ωm μέχρι 400 Ωm αποδίδεται στις νεογενείς αποθέσεις, οι οποίες στα παράπλευρα νεογενή πρηνή αποτελούνται από εναλλαγές μαργαϊκών ασβεστολίθων, μαργών και ψαμμούχων μαργών.



Σχήμα 4.2: Συνδυαστική αναπαράσταση των γραμμών μελέτης Line FAS 1 και Line 1. Με λευκές διακεκομμένες διαχωρίζονται τα στρώματα της σεισμικής διάθλασης και με μαύρες αυτά της ηλεκτρικής τομογραφίας. Φαίνεται το μέσο απόλυτο υψόμετρο και οι χρωματικές κλίμακες των διασκοπήσεων. Η τομή της ηλεκτρικής διασκόπησης ορίστηκε με 30% διαφάνεια για καλύτερη απεικόνιση του συνδυασμού

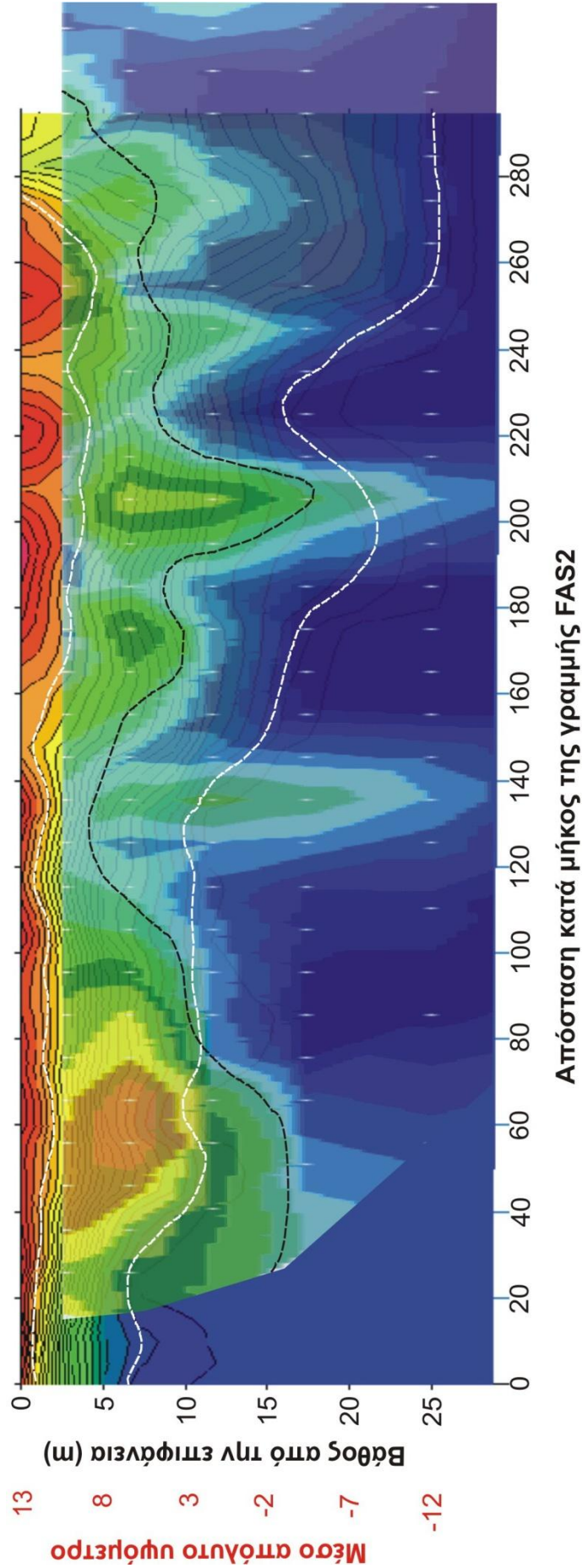
#### 4.3) ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ LINE FAS 2 ΚΑΙ LINE 2

Στην σεισμική τομή παρατηρείται ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 1 – 3 m με σεισμική ταχύτητα έως 1200 m/s που αποδίδεται σε νεότερες τεταρτογενείς αποθέσεις. Βαθύτερα, εντοπίζεται ένα στρώμα του οποίου η ταχύτητα κυμαίνεται από 1200 m/s έως 2500 m/s, το οποίο αποδίδεται σε παλαιότερες εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων του Τεταρτογενούς. Το στρώμα αυτό στα ΒΔ της τομής εντοπίζεται μέχρι τα 5 περίπου μέτρα, ενώ στα ΝΑ, εμφανίζεται μέχρι τα 25 m. Σε μεγαλύτερο βάθος, εντοπίζεται ένα τρίτο στρώμα με ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων που υπερβαίνει τα 2500 m/s και πιθανόν αποδίδεται σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο του Νεογενούς.

Στην γεωηλεκτρική τομή, επιφανειακά, εντοπίζεται ένα γεωηλεκτρικό στρώμα με μέσο πάχος 7 m (μαύρη διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 4.3) και αντίσταση από 120 Ωm έως 300 Ωm. Κάτω από το στρώμα αυτό οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι πολύ μικρότερες (< 100 Ωm). Οι πολύ χαμηλές αυτές τιμές είναι ενδεικτικές για την ύπαρξη υφαλμύρωσης. Κατά τόπους, η παρουσία υφάλμυρου νερού παρατηρείται σε θετικό απόλυτο υψόμετρο. Η ύπαρξη του υφάλμυρου νερού ενδεχομένως να οφείλεται στο ρήγμα που εμφανίζεται και στο γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Σχήμα 1.4), το οποίο τέμνεται σχεδόν κάθετα από το ίχνος της γραμμής μελέτης και φτάνει μέχρι τη θάλασσα, αποτελώντας μία εύκολη δίοδο πρόσβασης του θαλασσινού νερού στο σχηματισμό.

NA

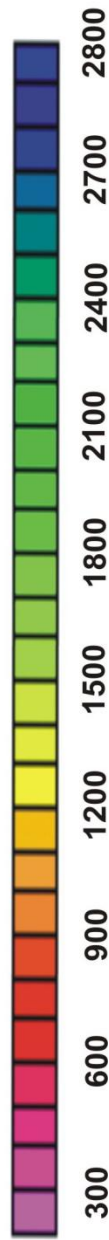
ΒΔ



Χρωματική κλίμακα ηλεκτρικής τομογραφίας (ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε  $\Omega\text{m}$ )



Χρωματική κλίμακα σεισμικής διάθλασης (ταχύτητα σε m/s)



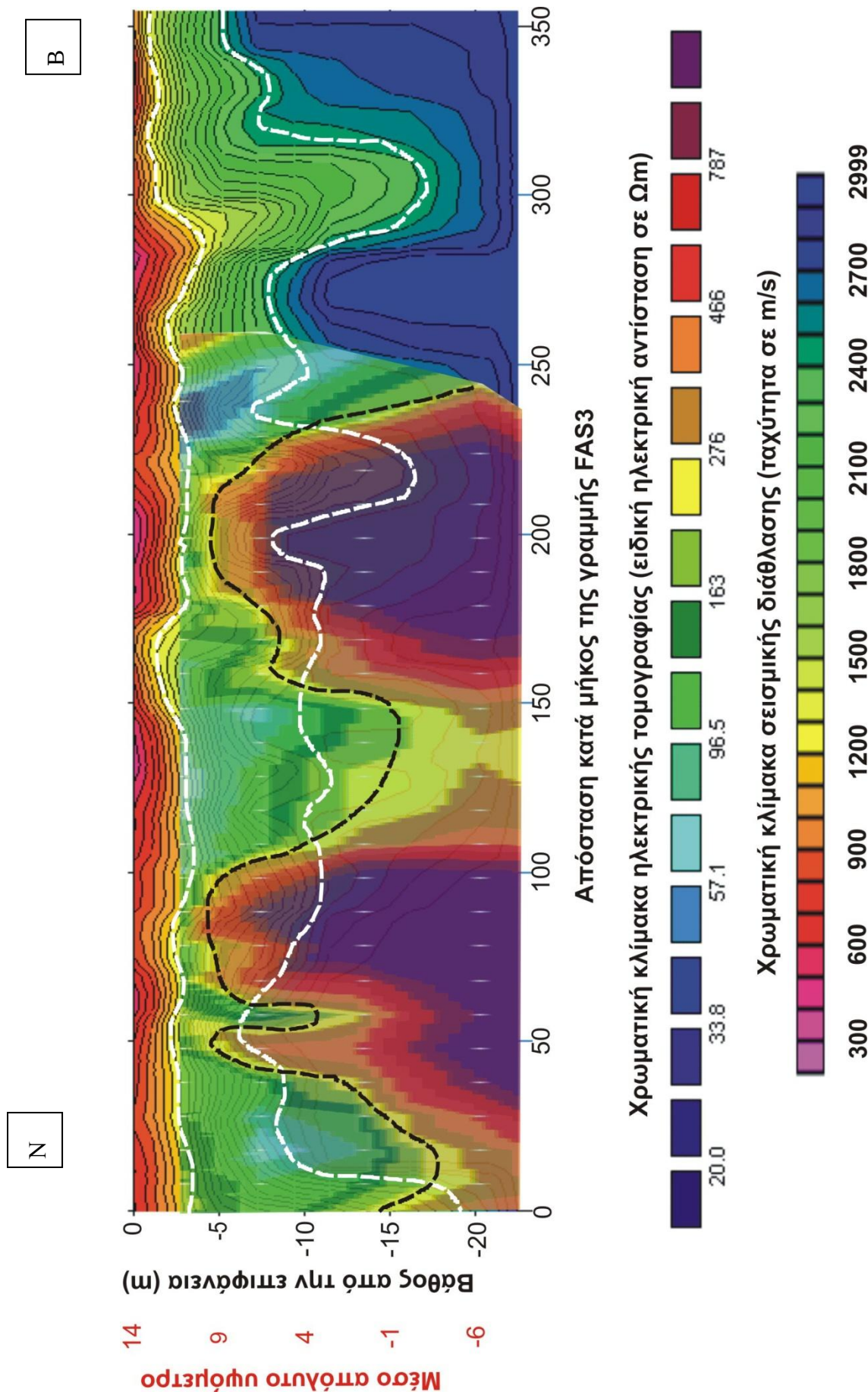
Σχήμα 4.3: Συνδυαστική αναπαράσταση των γραμμών μελέτης Line FAS 2 και Line 2. Με λευκές διακεκομμένες διαχωρίζονται τα στρώματα της σεισμικής διάθλασης και με μαύρες αυτά της ηλεκτρικής τομογραφίας. Φαίνεται το μέσο απόλυτο υψόμετρο και οι χρωματικές κλίμακες των διασκοπήσεων. Η τομή της ηλεκτρικής διασκόπησης ορίστηκε με 25% διαφάνεια για καλύτερη απεικόνιση του συνδυασμού

#### 4.4) ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ LINE FAS 3 ΚΑΙ LINE 3

Στην σεισμική τομή, από την επιφάνεια του εδάφους και μέχρι τα 8 – 10 m περίπου και κατά θέσεις μέχρι τα 15 m, παρατηρείται ένα επιφανειακό στρώμα με σεισμικές ταχύτητες, έως 2200 m/s. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε τεταρτογενείς αποθέσεις με εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων. Το ανώτερο μέρος του στρώματος αυτού (έως 1200 m/s, πάχους 2 – 3 m) αποτελείται από νεότερες άμμους (Ολοκαινικές).

Κάτω από το επιφανειακό στρώμα παρατηρείται ένα δεύτερο, με ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων και ειδική ηλεκτρική αντίσταση που υπερβαίνει τα 2200 m/s και τα 700  $\Omega$ m, αντίστοιχα. Ο συνδυασμός πολύ υψηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων και σεισμικών ταχυτήτων υποδηλώνει την ύπαρξη του σχηματισμού της Πίνδου, ο οποίος συνίσταται από ασβεστολιθικούς και κερατολιθικούς όγκους.

Στην γεωηλεκτρική τομή Line 3 (Σχήμα 3.9) και σε βάθος μεγαλύτερο των 30 m εμφανίζεται μια ζώνη χαμηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ( $< 50 \Omega$ m). Η ύπαρξη της ζώνης αυτής πιθανόν να σχετίζεται με την επαφή του σχηματισμού της Πίνδου με αυτόν της Τρίπολης. Η επαφή αυτή δημιουργεί εύκολες διόδους για το υφάλμυρο νερό, η ύπαρξη του οποίου δικαιολογεί τις πολύ χαμηλές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις, λόγω μιας κατακερματισμένης ζώνης που δημιουργείται στα σημεία επαφής των δύο σχηματισμών. Η κατακερματισμένη και υφάλμυρη ζώνη μειώνει δραστικά την ειδική ηλεκτρική αντίσταση στο υπέδαφος.



Σχήμα 4.4: Συνδυαστική αναπαράσταση των γραμμών μελέτης Line FAS 3 και Line 3. Με λευκές διακεκομμένες διαχωρίζονται τα στρώματα της σεισμικής διάθλασης και με μαύρες αυτά της ηλεκτρικής τομογραφίας. Φαίνεται το μέσο απόλυτο υψόμετρο και οι χρωματικές κλίμακες των διασκοπήσεων. Η τομή της ηλεκτρικής διασκόπησης ορίστηκε με 30% διαφάνεια για καλύτερη

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

#### 5.1) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Υποκείμενο σε μετρήσεις σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας, το βόρειο τμήμα της περιοχής των Φαλασάρνων εξετάστηκε για την ύπαρξη του φαινομένου της υφαλμύρωσης. Από την επεξεργασία των δεδομένων και από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων έγινε προσπάθεια να προσδιοριστούν οι περιοχές στις οποίες έχει παρεισφρύσει το θαλασσινό νερό στον υπόγειο υδροφόρα.

Από τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης δεν μελετήθηκε άμεσα το φαινόμενο της διείδυσης του θαλασσινού νερού στην περιοχή μελέτης, αλλά προσδιορίστηκε το πάχος των σεισμικών στρωμάτων και κατ' επέκταση, χρησιμοποιώντας γεωλογικές πληροφορίες, τα στρώματα αυτά αποδόθηκαν σε γεωλογικούς σχηματισμούς, οι οποίοι αποτελούνται από νεότερες και παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες του Τεταρτογενούς, μαργαϊκό ασβεστόλιθο του Νεογενούς καθώς και από ασβεστόλιθο Πίνδου ή/και Τρίπολης.

Από την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας προσδιορίστηκαν οι θέσεις ύπαρξης υφάλμυρου νερού στο βόρειο κομμάτι της ακτογραμμής της περιοχής των Φαλασάρνων. Ειδικότερα, με τη χρήση της ηλεκτρικής τομογραφίας, το φαινόμενο της υφαλμύρωσης εντοπίζεται στις θέσεις όπου η ειδική ηλεκτρική αντίσταση παρουσιάζει πολύ μικρές τιμές (μικρότερες των 20  $\Omega\text{m}$ ).

Ειδικότερα, από την εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων στην περιοχή μελέτης το φαινόμενο της υφαλμύρωσης εντοπίστηκε στις γραμμές μελέτης 2 και 3 (Σχήματα 3.1 και 3.6). Η ύπαρξη υφάλμυρου νερού στο συγκεκριμένο τμήμα δικαιολογείται από το ρήγμα που βρίσκεται πολύ κοντά και σχεδόν κάθετα στις συγκεκριμένες γραμμές μελέτης και φτάνει μέχρι τη θάλασσα. Σε όλα τα υπόλοιπα εξεταζόμενα τμήματα δεν εντοπίστηκε υφάλμυρο νερό καθώς η ειδική ηλεκτρική αντίσταση δεν υπερβαίνει τα 20  $\Omega\text{m}$ .

## 5.2) ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση την γεωφυσική έρευνα και λόγω της γεωλογικής πολυπλοκότητας της περιοχής μελέτης, για την ορθολογιστική μελέτη του προβλήματος στην ευρύτερη περιοχή, προτείνονται:

- Λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής
- Συλλογή όλων των διαθέσιμων γεωλογικών, γεωτρητικών, γεωφυσικών και βροχομετρικών πληροφοριών της ευρύτερης περιοχής
- Εισαγωγή των διαθέσιμων στοιχείων σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (G.I.S.)
- Προσομοίωση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς της ευρύτερης περιοχής μελέτης με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1) Βαφείδης Α., 1993, Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι, Σεισμικές Μέθοδοι, Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- 2) Γκανιάτσος Ι., 2000, Γεωηλεκτρική Τομογραφία σε τρεις Διαστάσεις, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- 3) Κουσούρης Θ., 2007, Εναλλακτικός Τουρισμός στη Δυτική Κρήτη, ([www.Chania-info.gr](http://www.Chania-info.gr)).
- 4) Μενάγιας Γ., 2009, Σεισμική διασκόπηση στο οικόπεδο του παλαιού εργοστασίου της ΑΒΕΑ, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- 5) Σούλιος Γ., 1996, Γενική Υδρογεωλογία, ά Τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- 6) Σούρλας Γ., 2000, Συμβολή της γεωφυσικής διασκόπησης στην αναζήτηση χαμένων αρχαιοτήτων στην Ίτανο Λασιθίου, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

### **ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

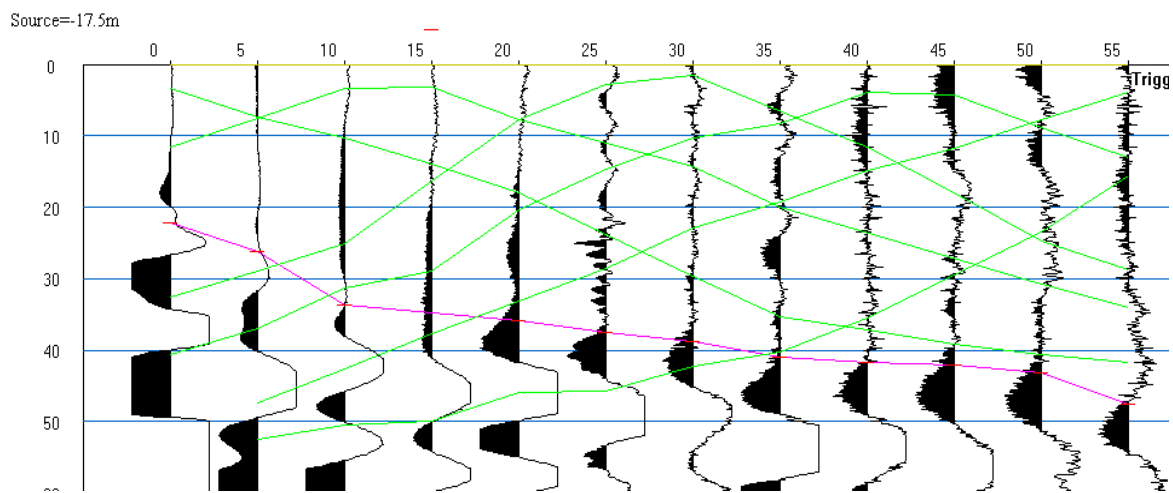
- 1) Balia R., Gavaudo E., Ardaud F., Chiglieri G., 2001, Geophysical Approach to the Enviromental Study of a Coastal Plain, Universita degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sassari, Italy.
- 2) Constable S., Robinson D. A., Binlay A., Crook N., Knight R., Knoll M., Lakshmi V., Miller R., Nyquist J., Pellerin L., Singha K., Slatter L., 1987, Advancing process – based watershed hydrological research using near – surface geophysics, Hydrogeology Journal.
- 3) Corriols M., Dahlin T., 2009, Geophysical characterization of the Leon – Chinandega aquifer, Hydrogeology Journal, Vol.6, p.28, Managua, Nicaragua.
- 4) DeGroot – Hedlin C.D., Constable S., Inversion of Magnetotelluric data for 2D structure with sharp resistivity contrasts, Geophysics.
- 5) Geometric products, seismographs ([www.geometrics.com](http://www.geometrics.com)).

- 6) LaBreque D. J., 1996, Difference inversion of ERT data: a fast inversion method for 3D in situ monitoring, The Journal of Environmental and Engineering Geophysics.
- 7) Leeming P. M., Roberts G., Bertoli M., Anderson H., Street G., 1994, Interpretation Report: SALTMAP Survey, Broomehill Landcare District, World Geoscience Corporation.
- 8) Ogilvy R., D., Kuras O., Meldrum D. I., Gisbert J., Frances I., Vallejos A., 2009, Monitoring coastal aquifers with automated time-lapse electrical resistivity tomography (ALERT). Initial results from the Andarax delta, Spain.
- 9) Paillet F. L., 1999, Integrating surface and borehole geophysics in the characterization of salinity in a coastal aquifer, Society of Exploration, Geophysics.
- 10) Reynolds J. M., 1997, An Introduction To Applied And Environmental Geophysics, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.
- 11) Salt water intrusion ([www.Wikipedia.com](http://www.Wikipedia.com)).
- 12) Sea water intrusions in groundwater ([www.lenntech.com](http://www.lenntech.com)).
- 13) Sasaki Y., 1989, Two dimensional joint inversion of magnetotelluric and dipole – dipole resistivity data, Department of Mining, Japan.
- 14) Vedanti S., 1989, Two - dimensional inversion of geoelectrical resistivity sounding data using artificial neural networks, Computers and Geoscience, U.K.

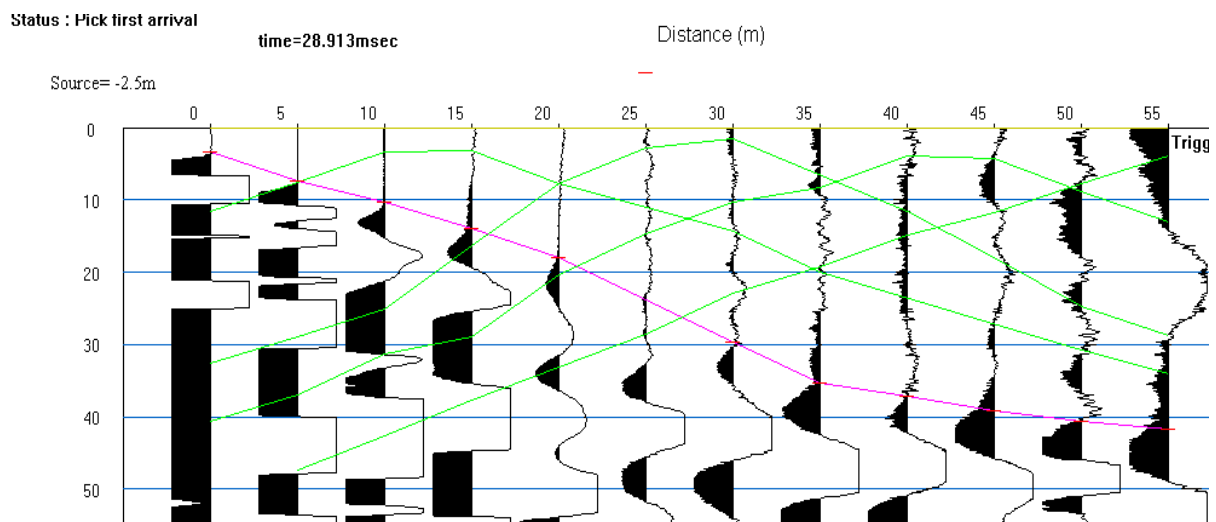
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

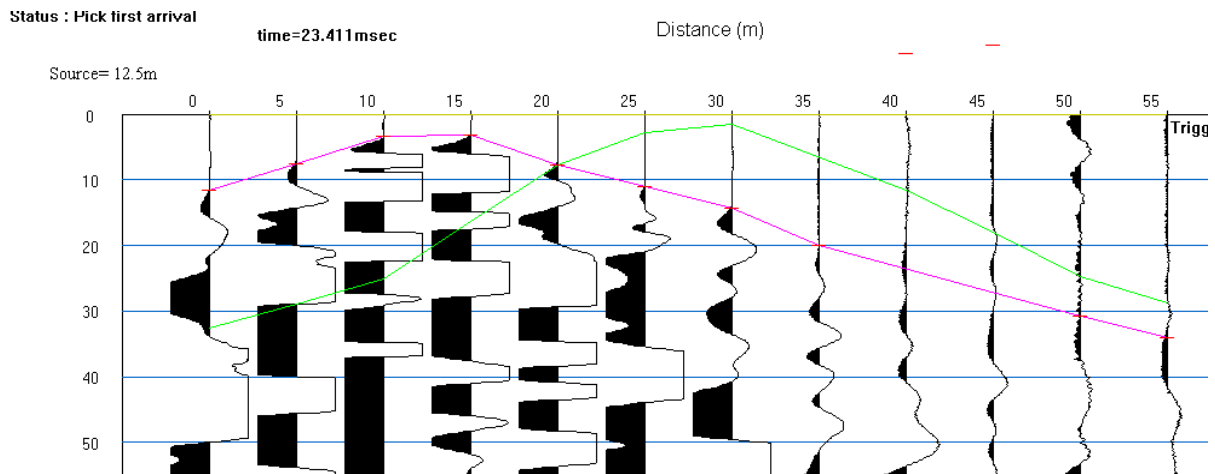
Καταγραφή 112:



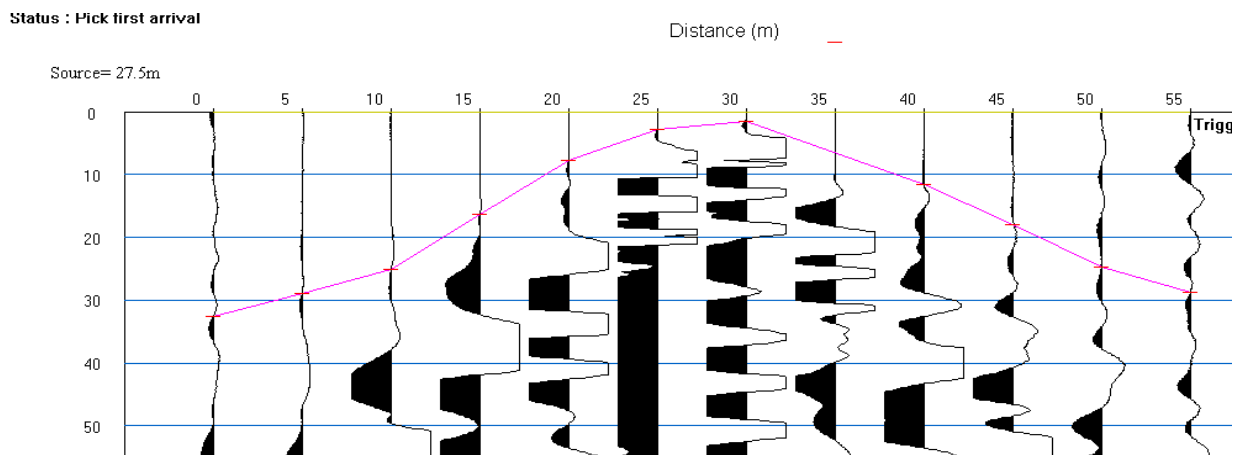
Καταγραφή 113:



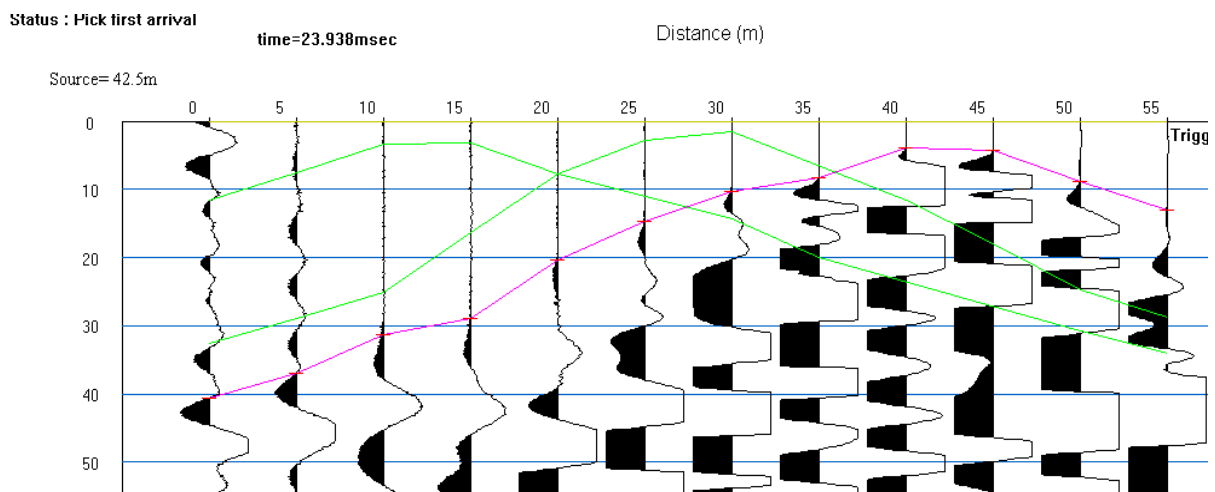
### Καταγραφή 114:



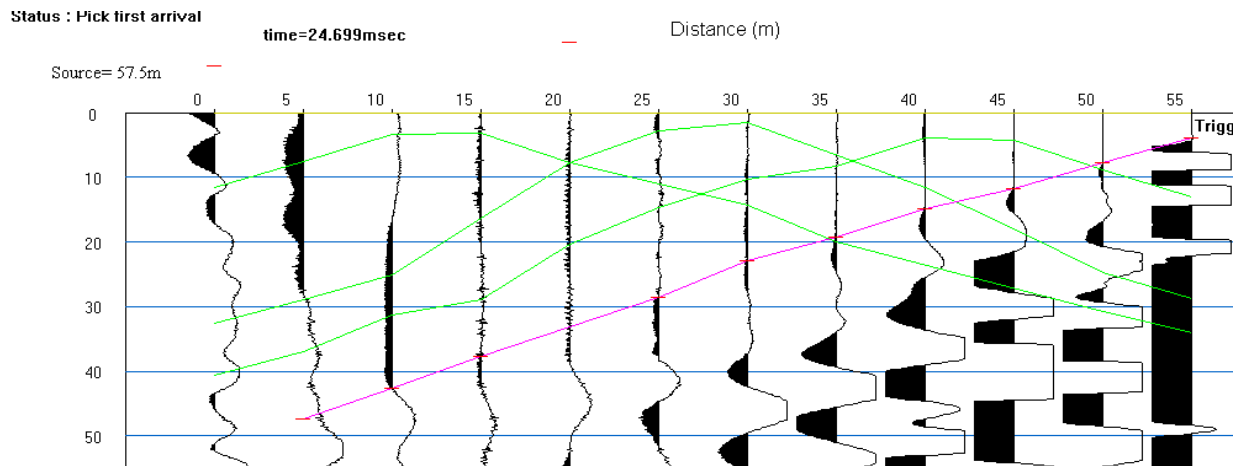
### Καταγραφή 115:



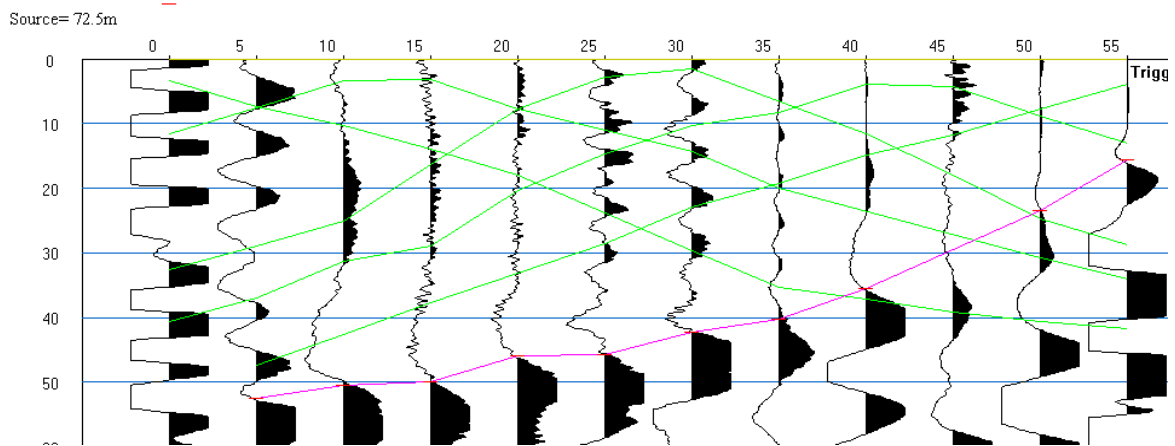
### Καταγραφή 116:



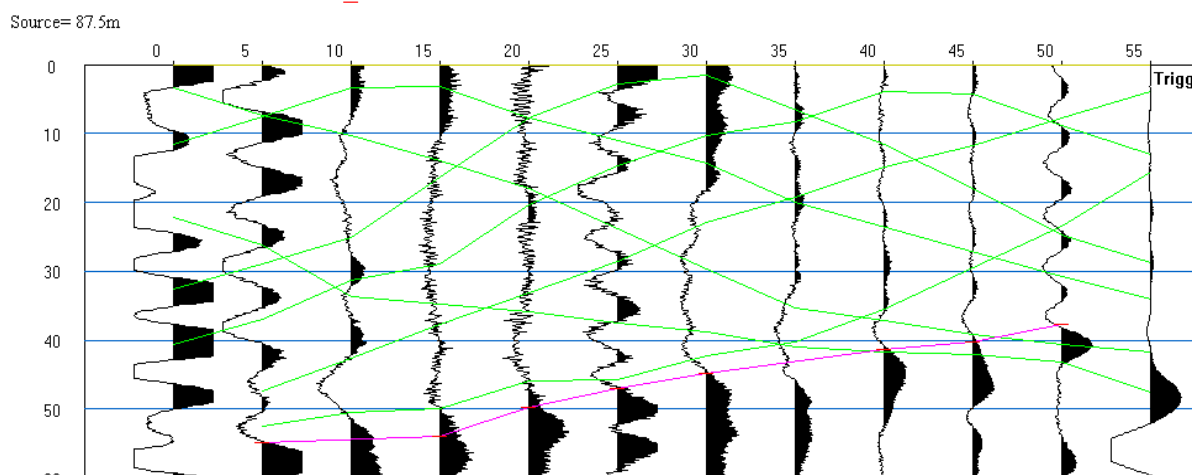
### Καταγραφή 117:



### Καταγραφή 118:



### Καταγραφή 119:



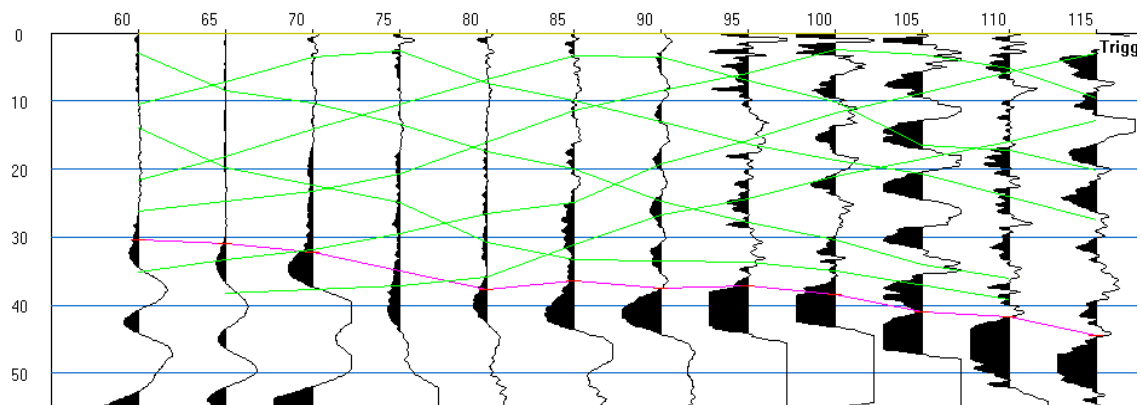
## Καταγραφή 121:

Status : Pick first arrival

time=24.523msec

Distance (m)

Source= 27.5m

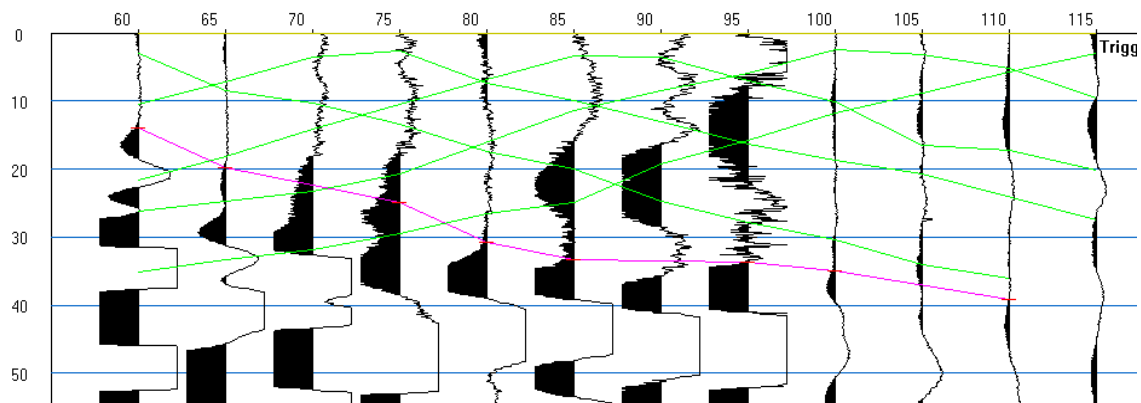


## Καταγραφή 122:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source= 42.5m



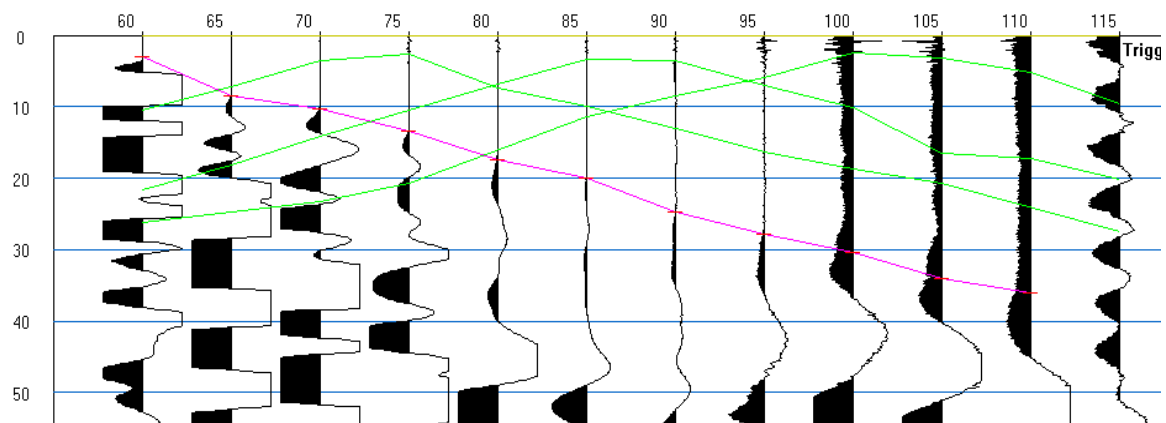
## Καταγραφή 123:

Status : Pick first arrival

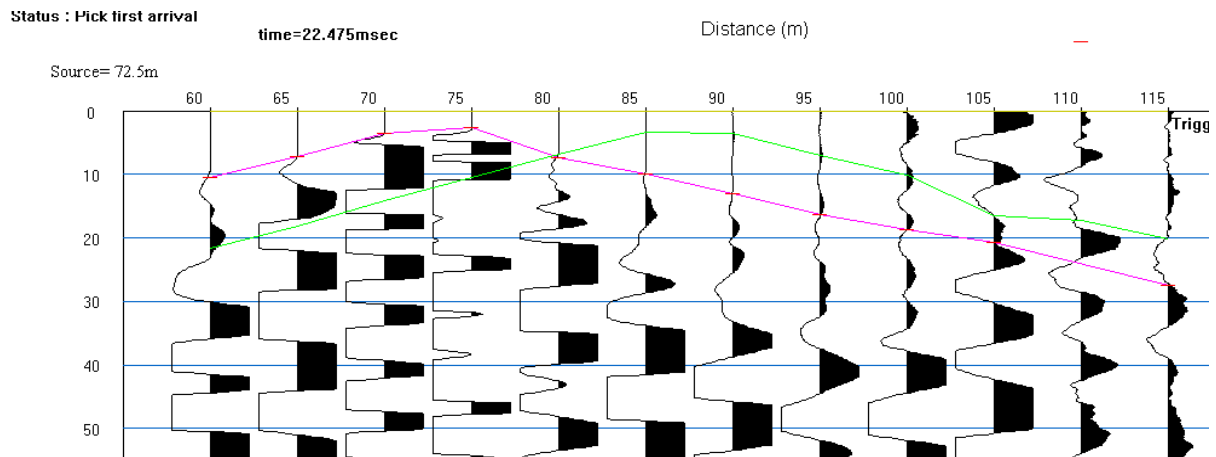
time=24.523msec

Distance (m)

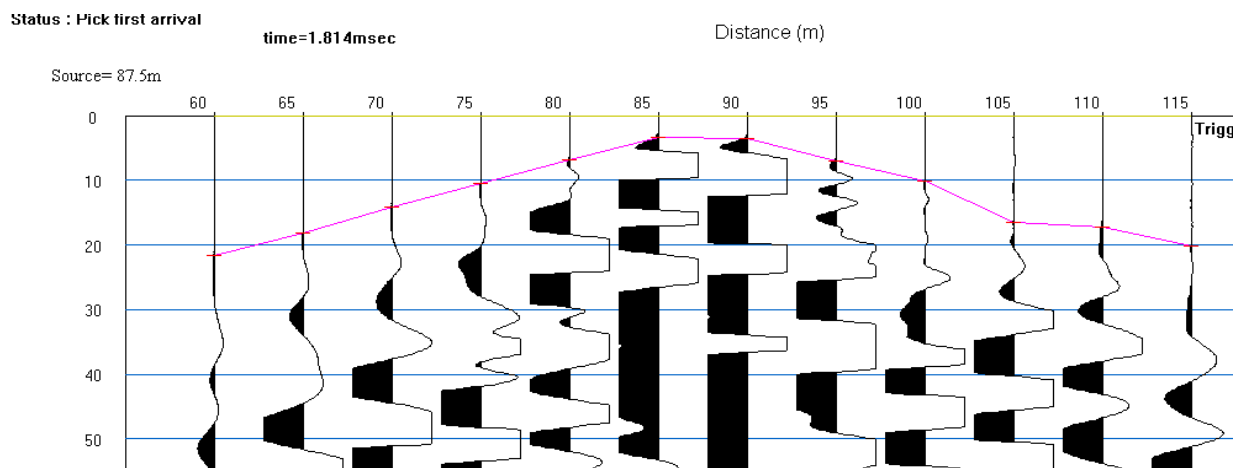
Source= 57.5m



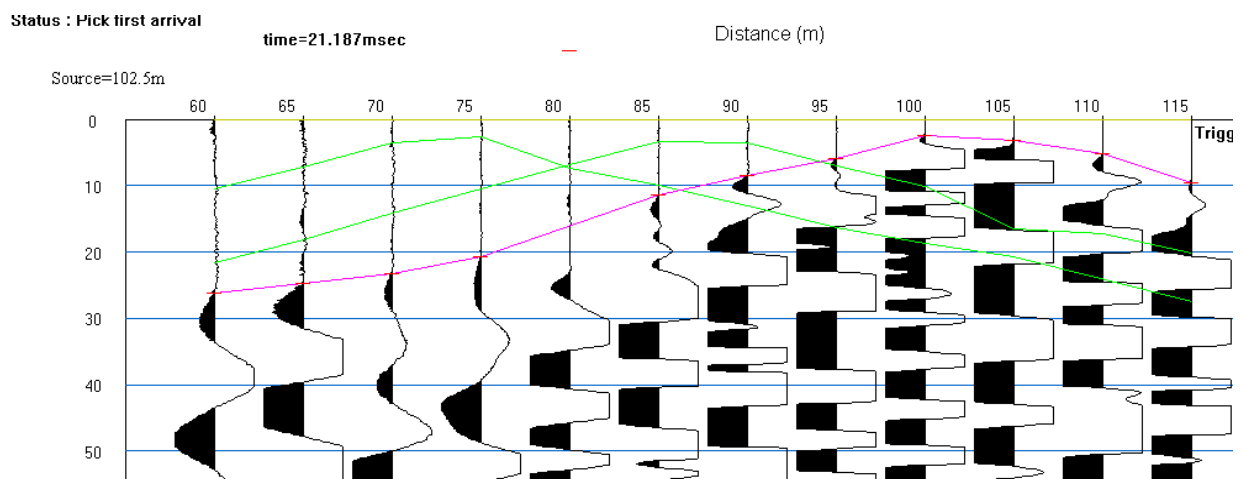
### Καταγραφή 124:



### Καταγραφή 125:



### Καταγραφή 126:



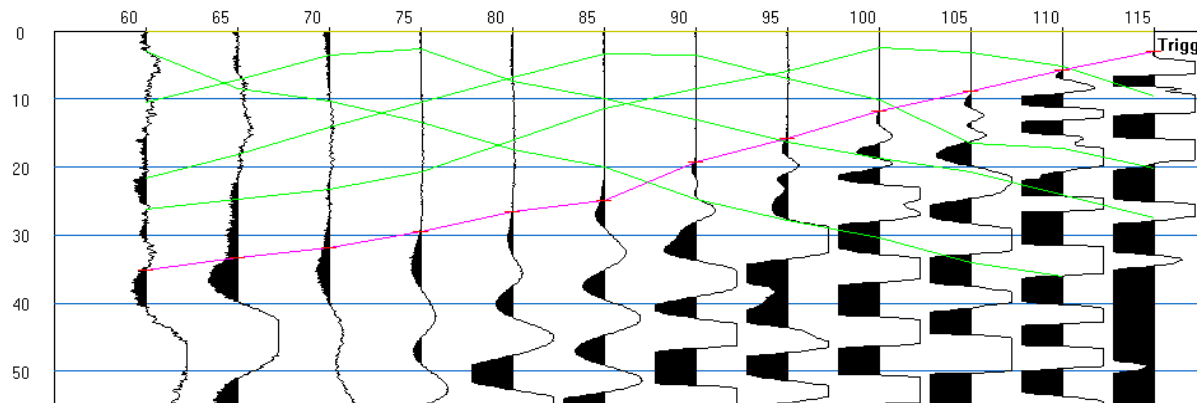
### Καταγραφή 127:

Status : Pick first arrival

time=23.060msec

Distance (m)

Source=117.5m

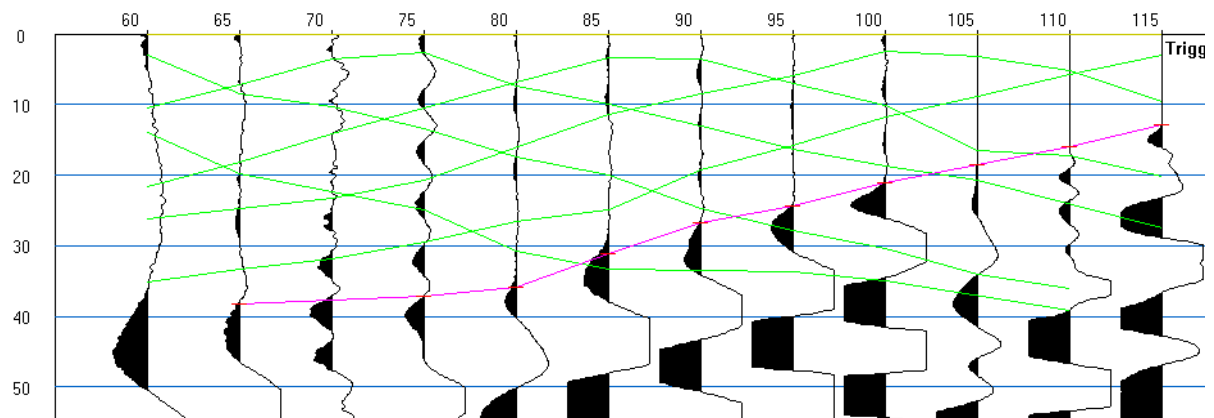


### Καταγραφή 128:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source=132.5m



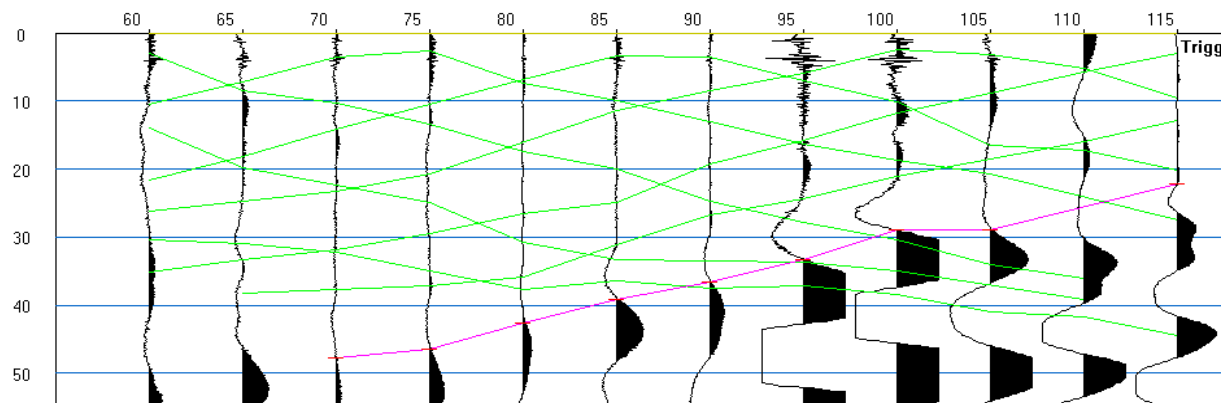
### Καταγραφή 129:

Status : Pick first arrival

time=24.699msec

Distance (m)

Source=147.5m



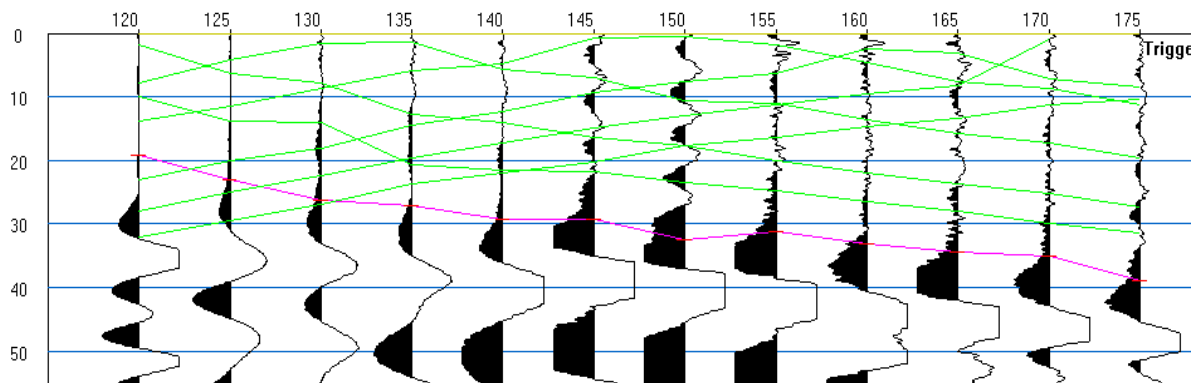
### Καταγραφή 131:

Status : Pick first arrival

time=-18.810msec

Distance (m)

Source=87.5m



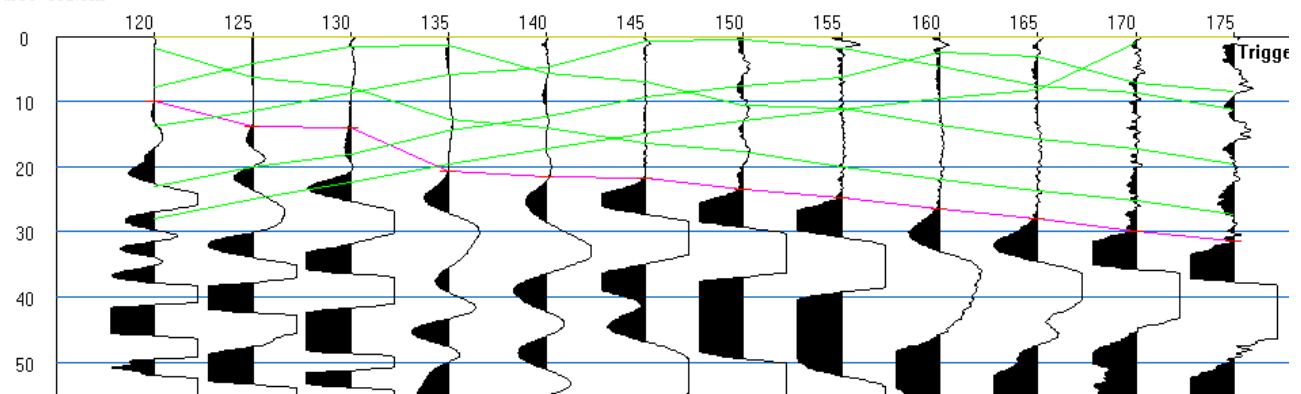
### Καταγραφή 132:

Status : Pick first arrival

time=-6.587msec

Distance (m)

Source=102.5m



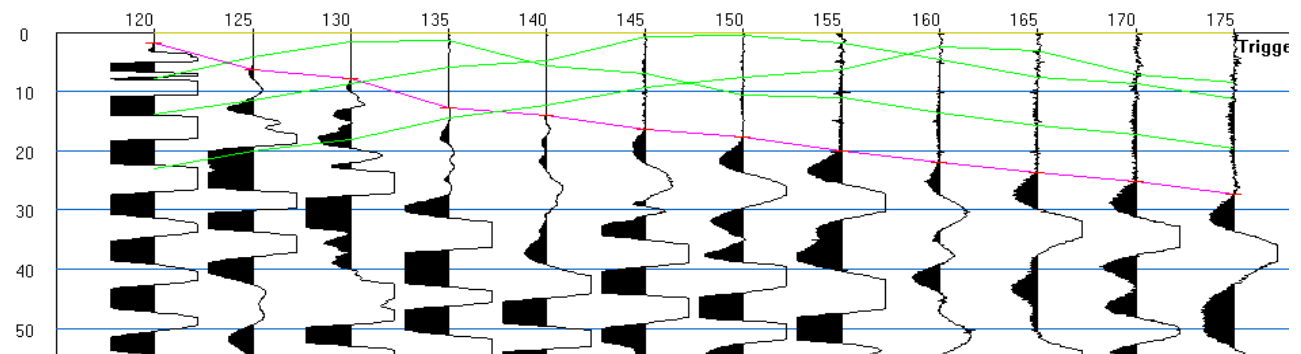
### Καταγραφή 133:

Status : Pick first arrival

time=-17.290msec

Distance (m)

Source=117.5m



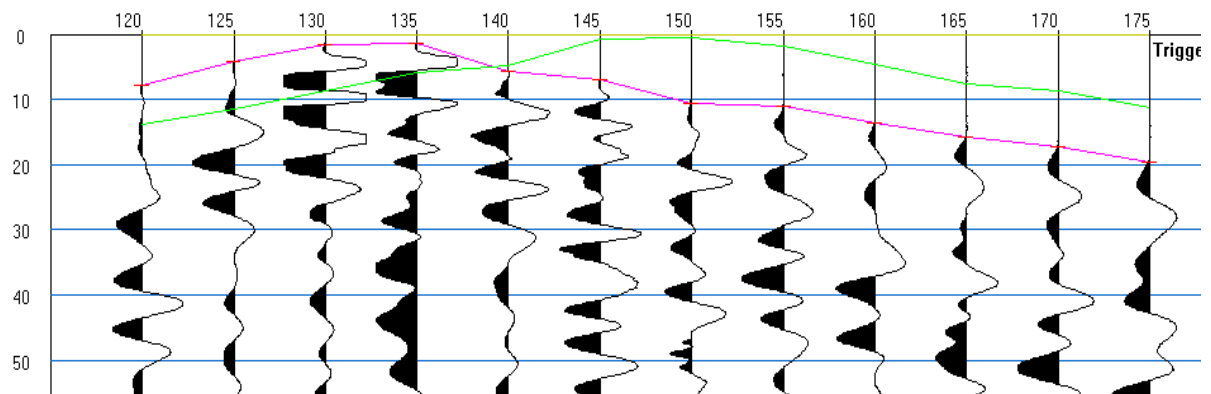
### Καταγραφή 134:

Status : Pick first arrival

time=-13.427msec

Distance (m)

Source=132.5m



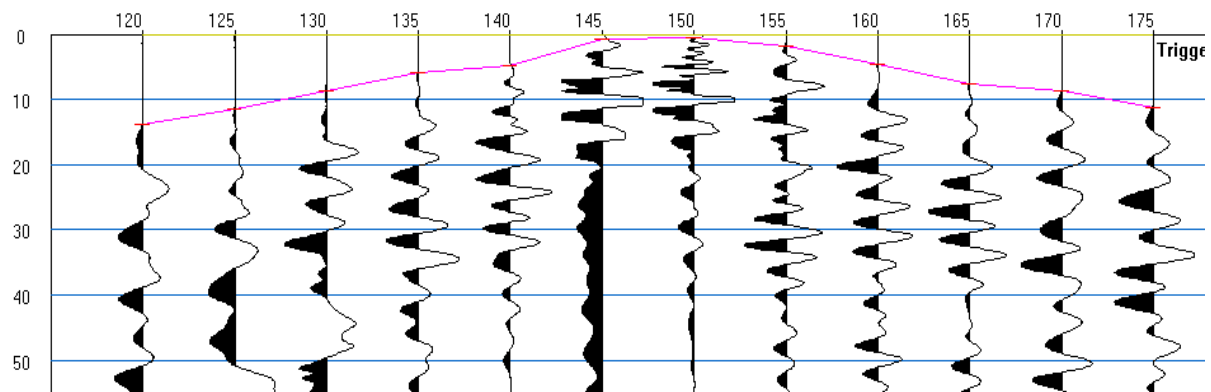
### Καταγραφή 135:

Status : Pick first arrival

time=33.123msec

Distance (m)

Source=147.5m



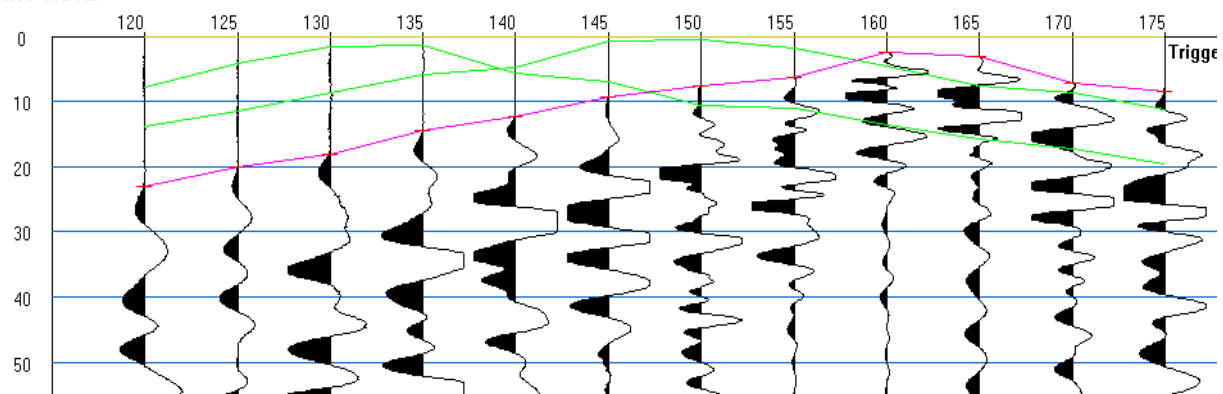
### Καταγραφή 136:

Status : Pick first arrival

time=-19.000msec

Distance (m)

Source=162.5m



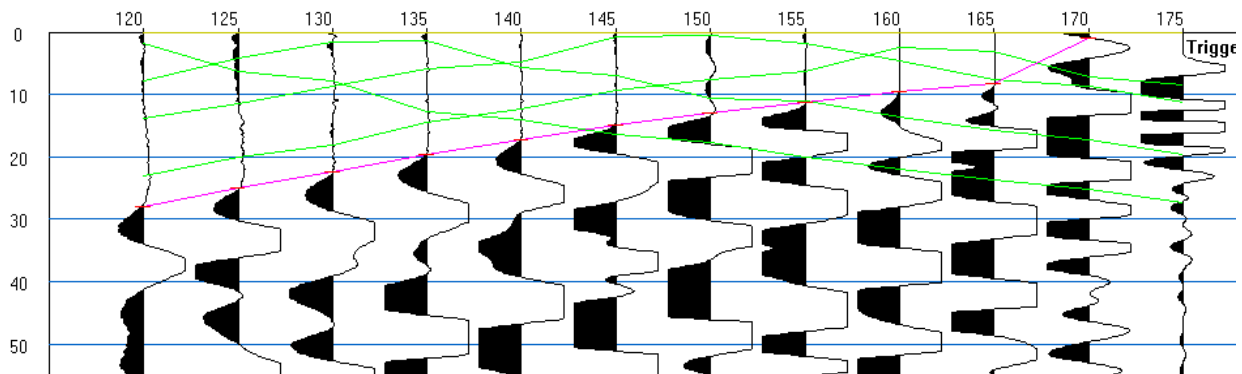
### Καταγραφή 137:

Status : Pick first arrival

time=-5.510msec

Distance (m)

Source=177.5m

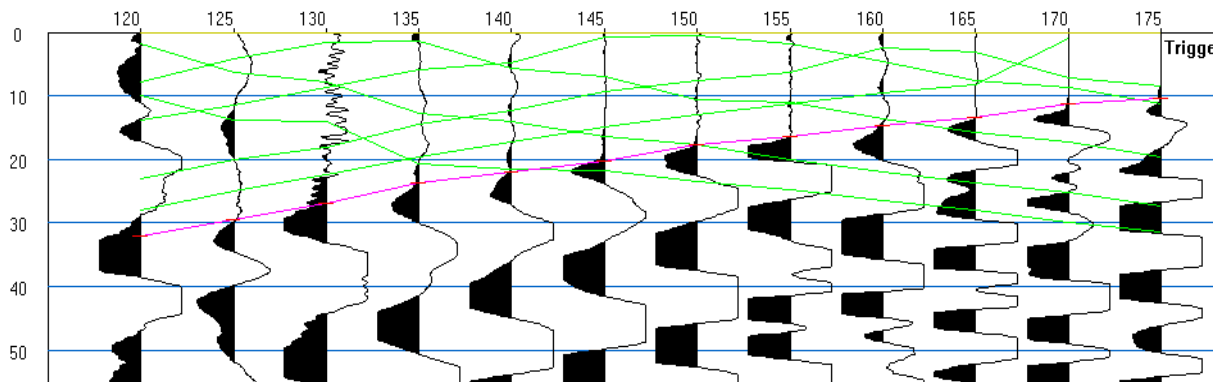


### Καταγραφή 138:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source=192.5m



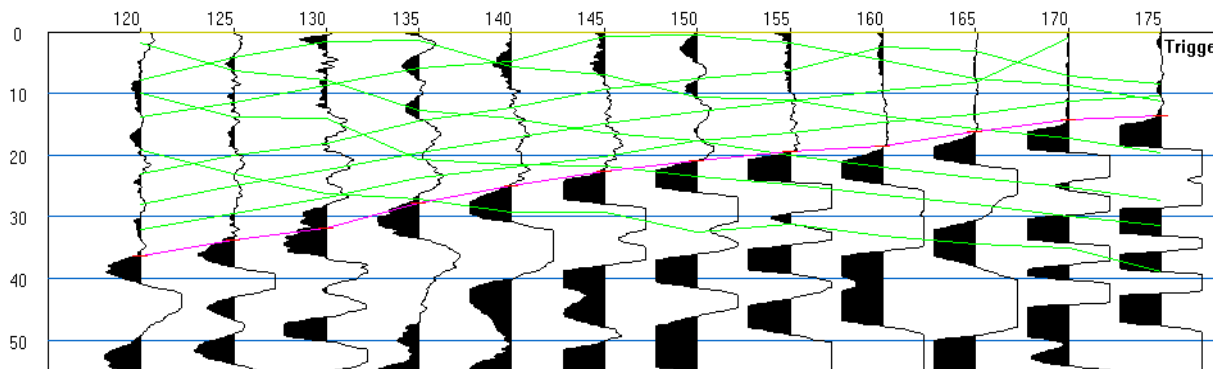
### Καταγραφή 139:

Status : Pick first arrival

time=-3.357msec

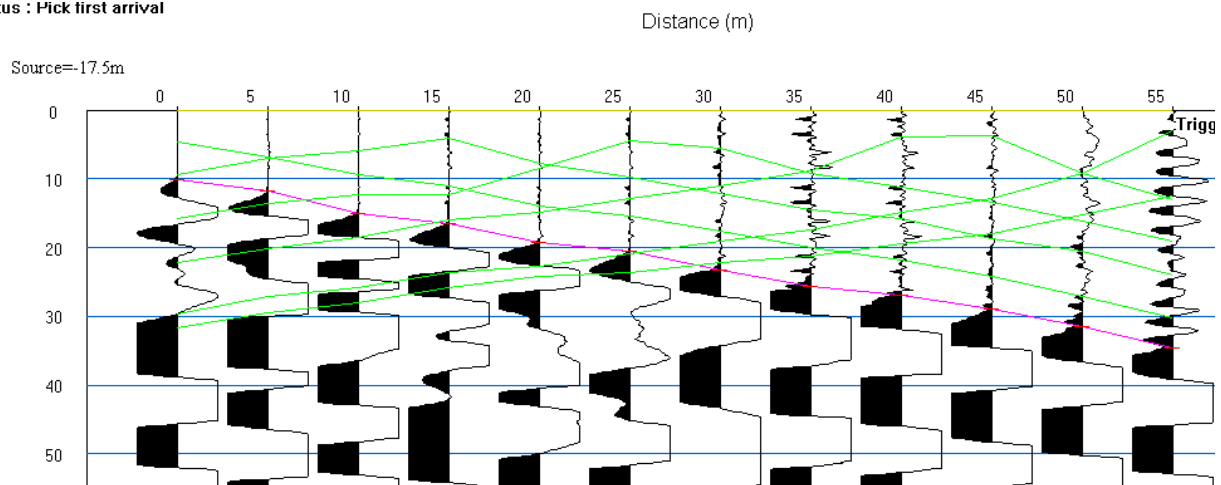
Distance (m)

Source=207.5m



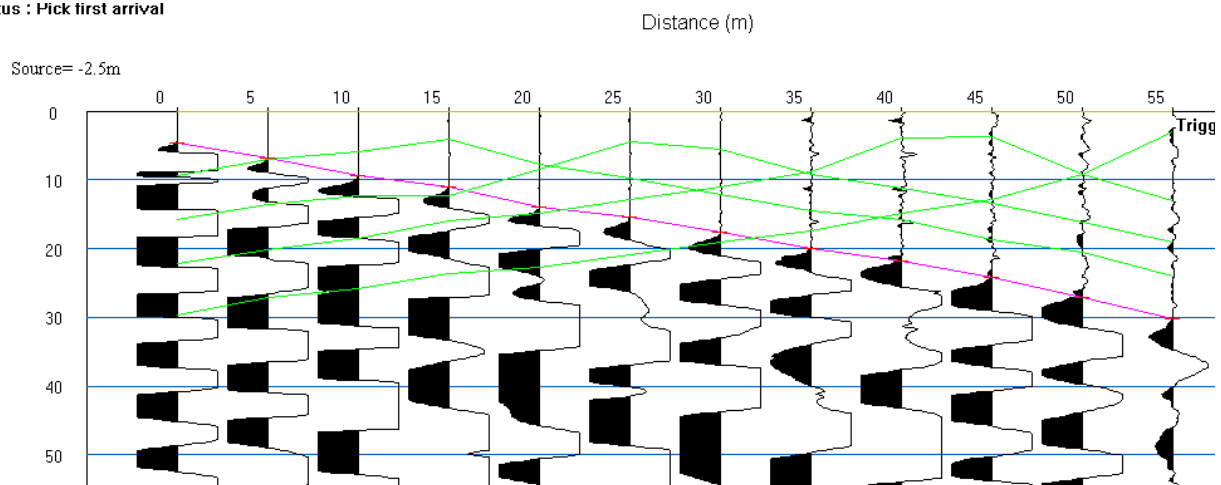
## Καταγραφή 212:

Status : Pick first arrival



## Καταγραφή 213:

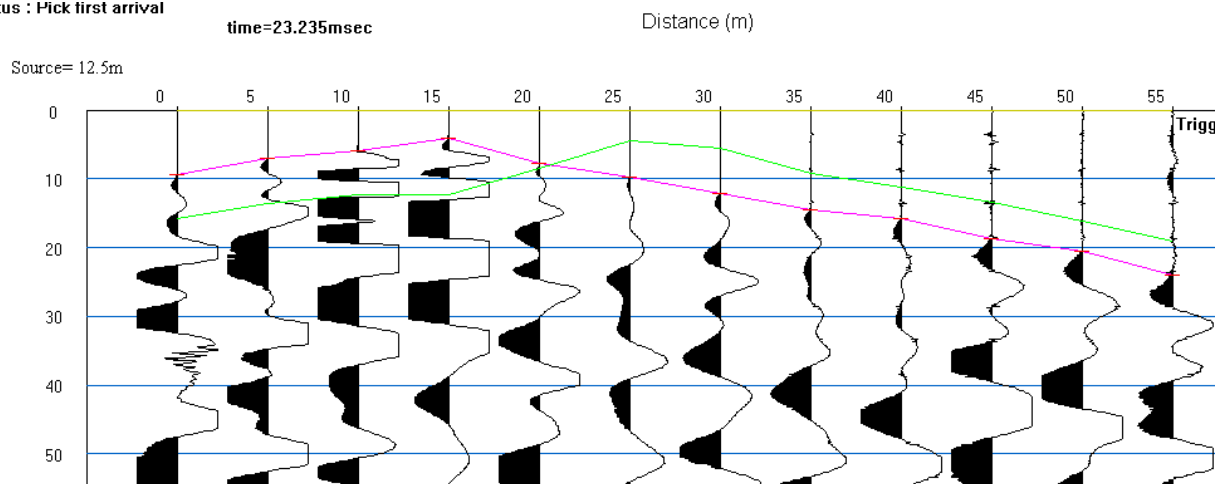
Status : Pick first arrival



## Καταγραφή 214:

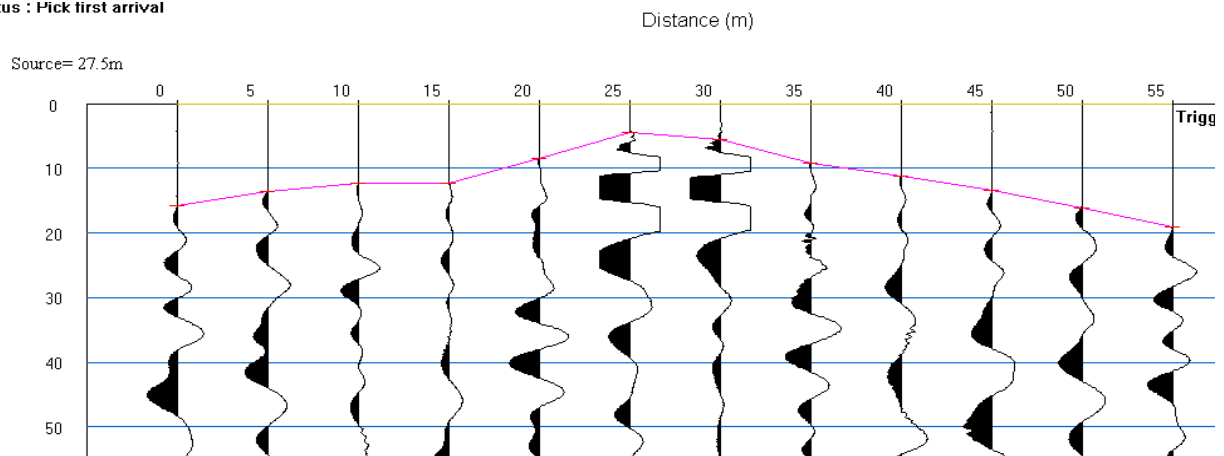
Status : Pick first arrival

time=23.235msec



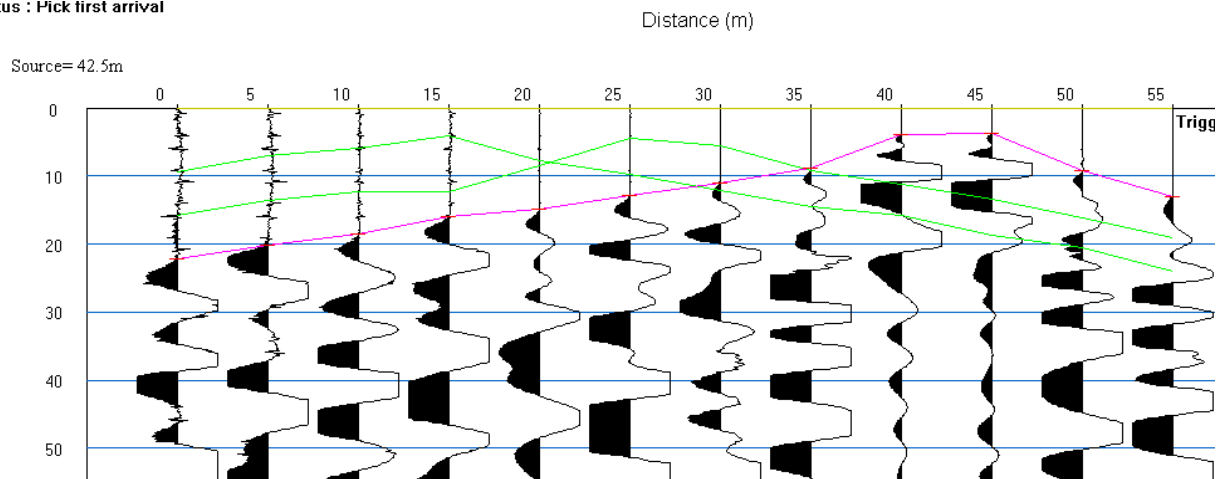
### Καταγραφή 215:

Status : Pick first arrival



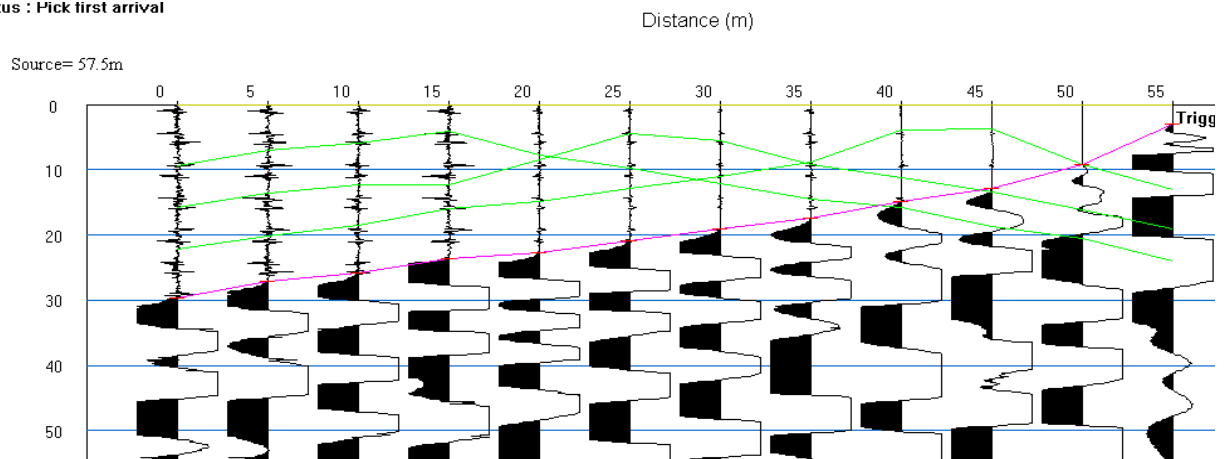
### Καταγραφή 216:

Status : Pick first arrival



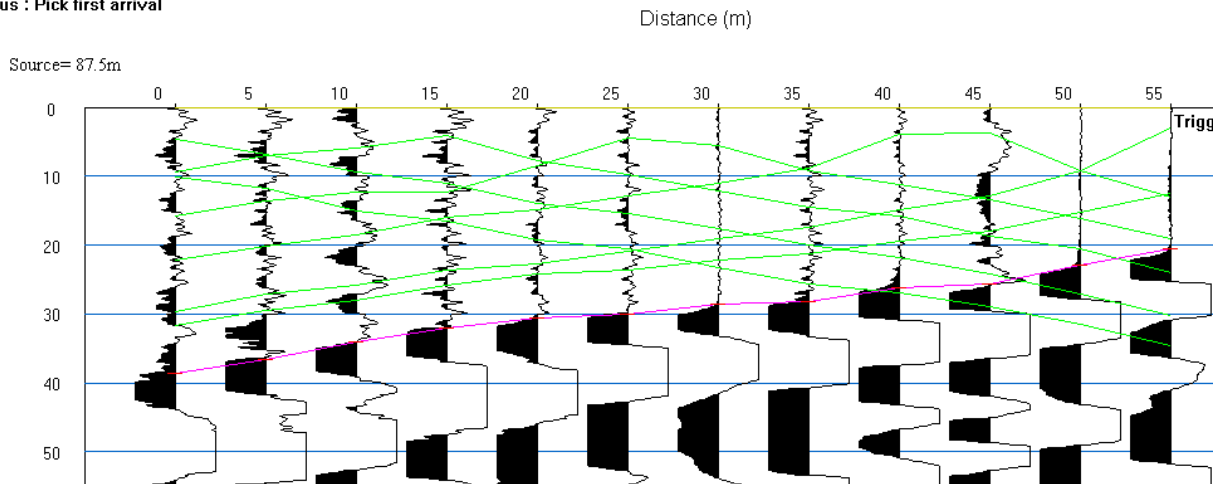
### Καταγραφή 217:

Status : Pick first arrival



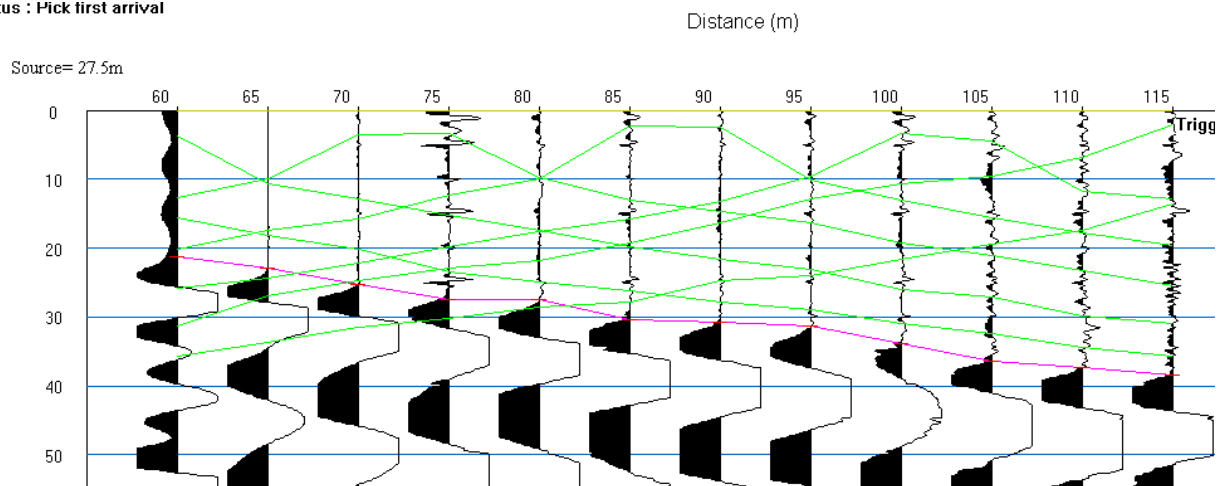
## Καταγραφή 218:

Status : Pick first arrival



## Καταγραφή 221:

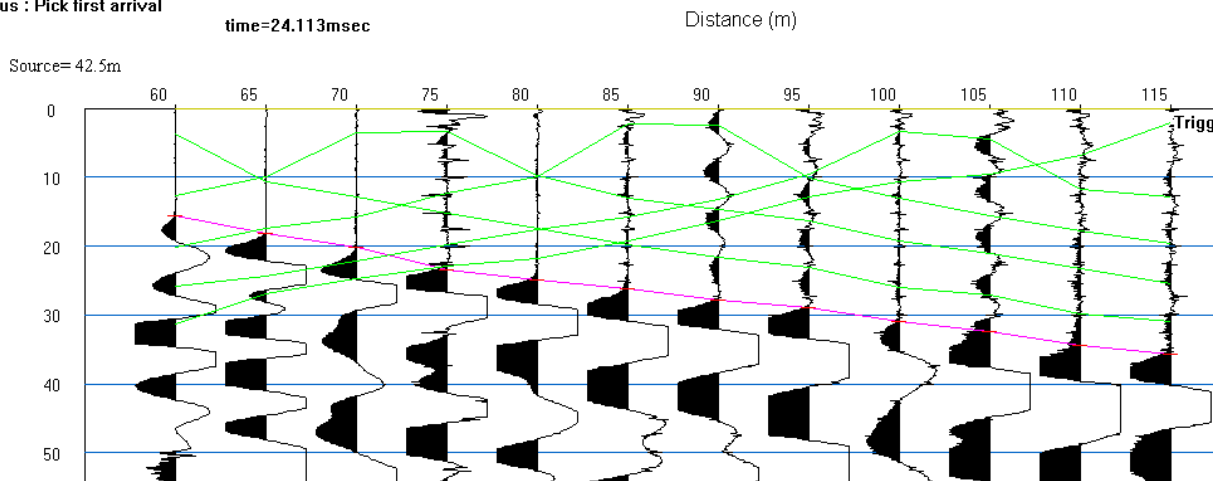
Status : Pick first arrival



## Καταγραφή 222:

Status : Pick first arrival

time=24.113msec



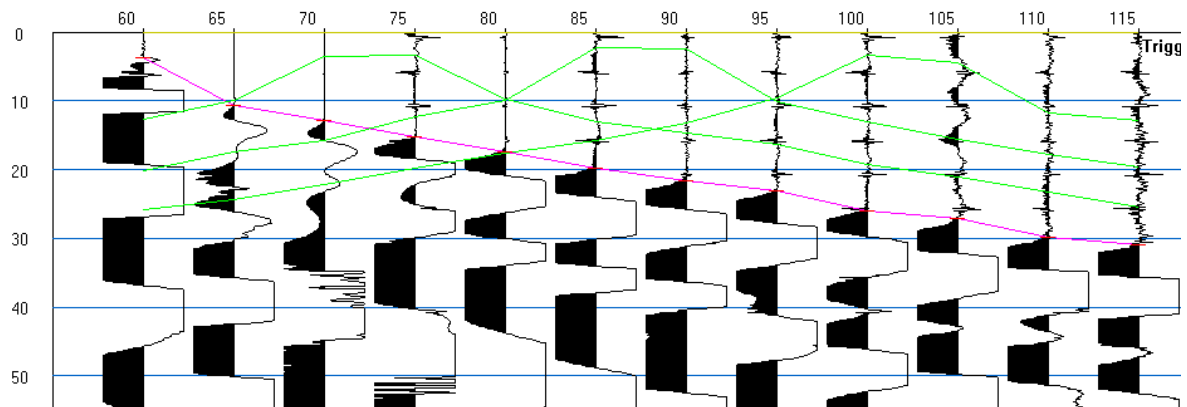
### Καταγραφή 223:

Status : Pick first arrival

time=41.906msec

Distance (m)

Source= 57.5m

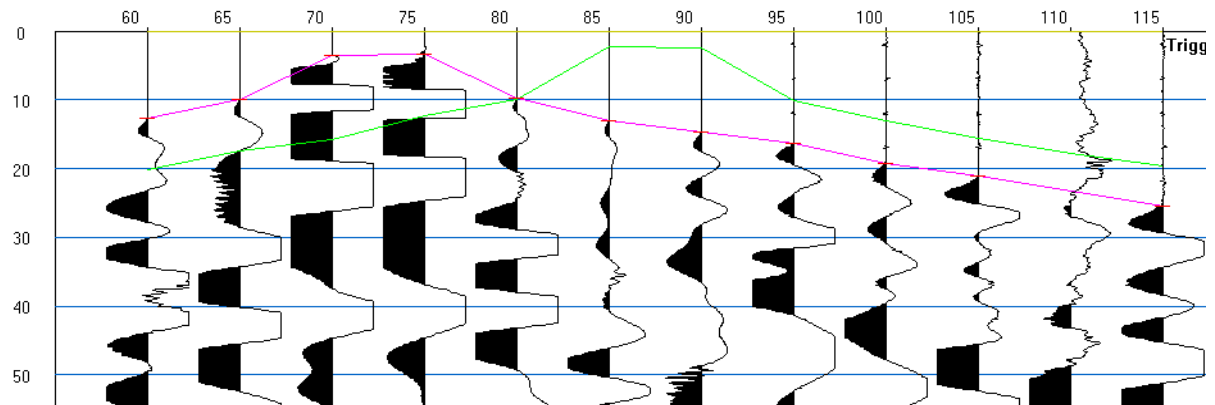


### Καταγραφή 224:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source= 72.5m

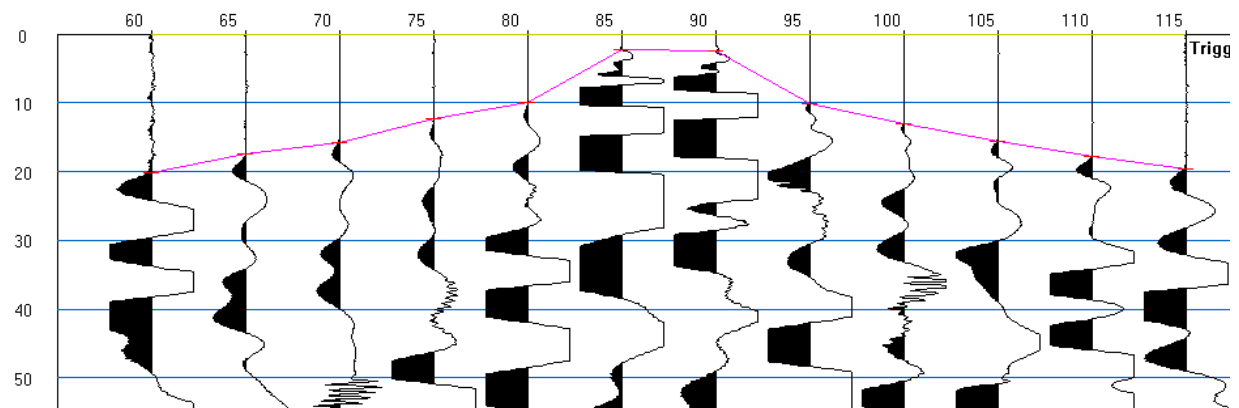


### Καταγραφή 225:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source= 87.5m



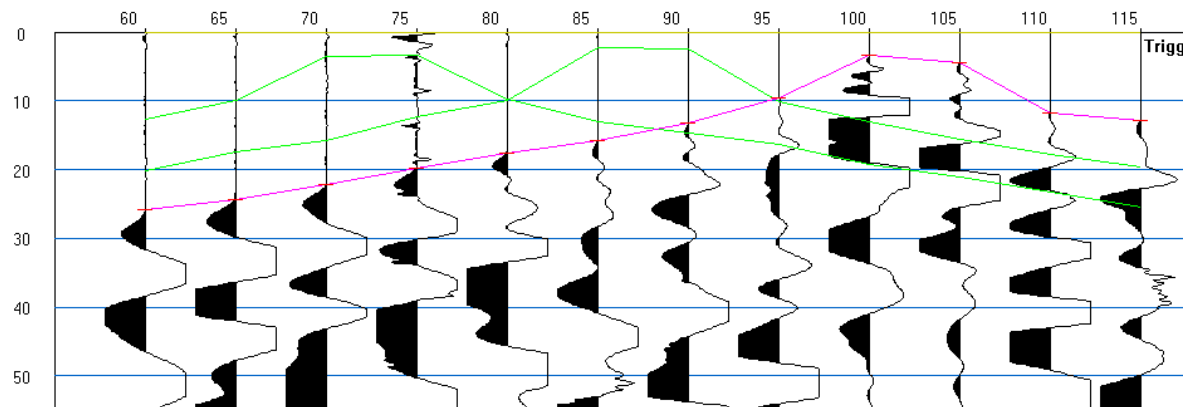
## Καταγραφή 226:

Status : Pick first arrival

time=27.449msec

Distance (m)

Source=102.5m

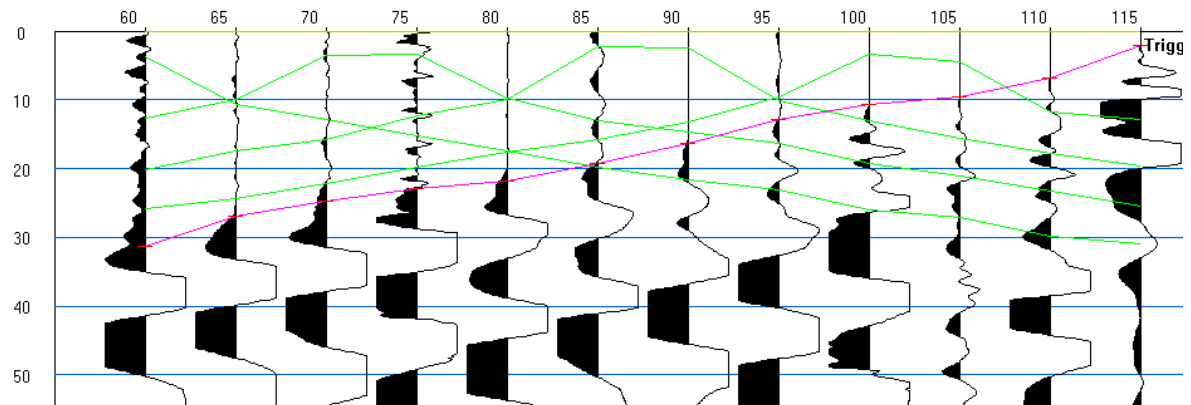


## Καταγραφή 227:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source=117.5m

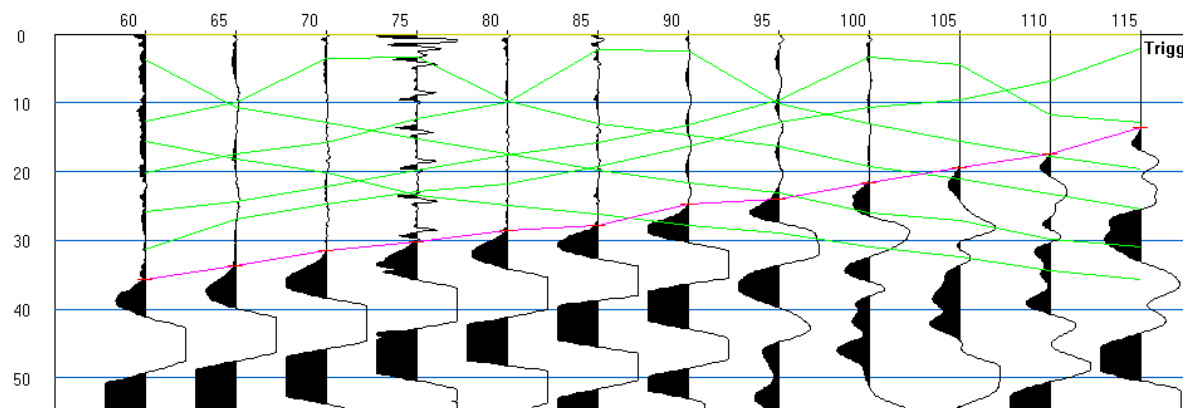


## Καταγραφή 228:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source=132.5m

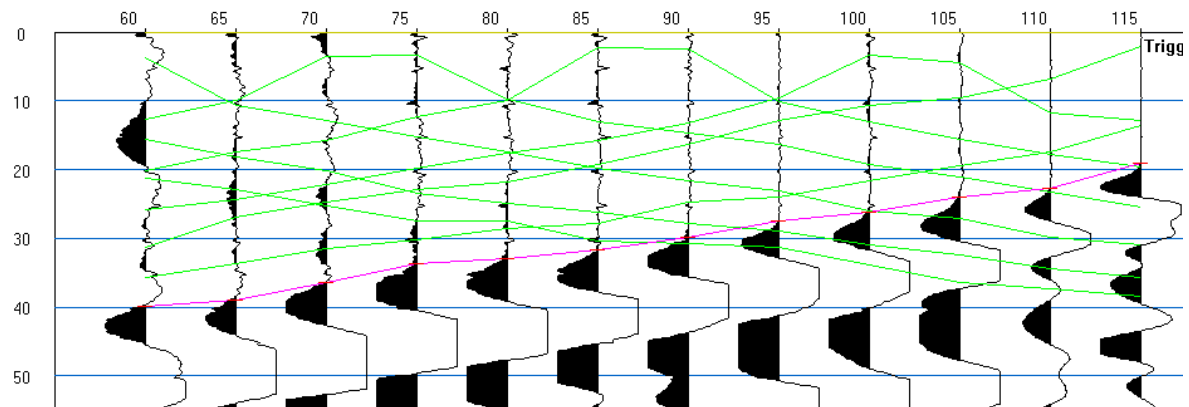


## Καταγραφή 229:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source=147.5m

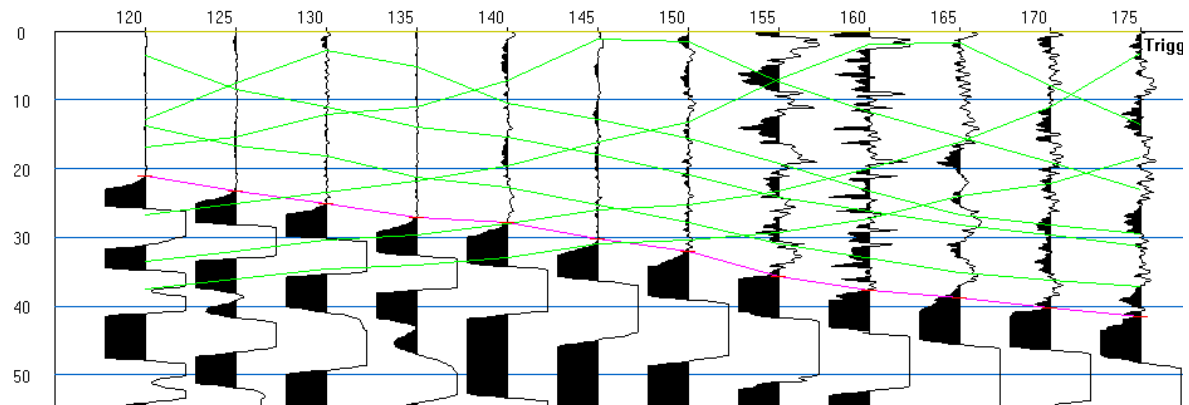


## Καταγραφή 231:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source=87.5m



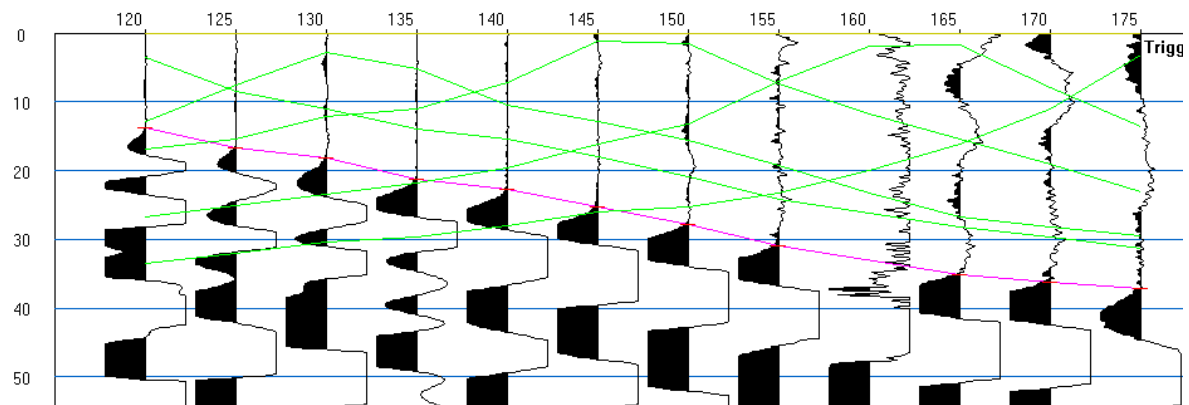
## Καταγραφή 232:

Status : Pick first arrival

time=23.938msec

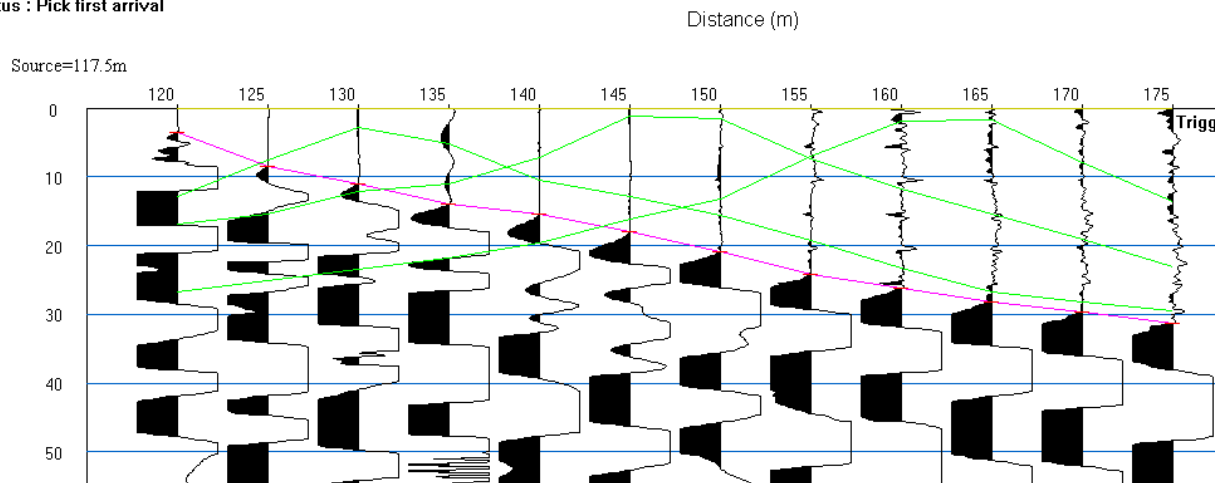
Distance (m)

Source=102.5m



### Καταγραφή 233:

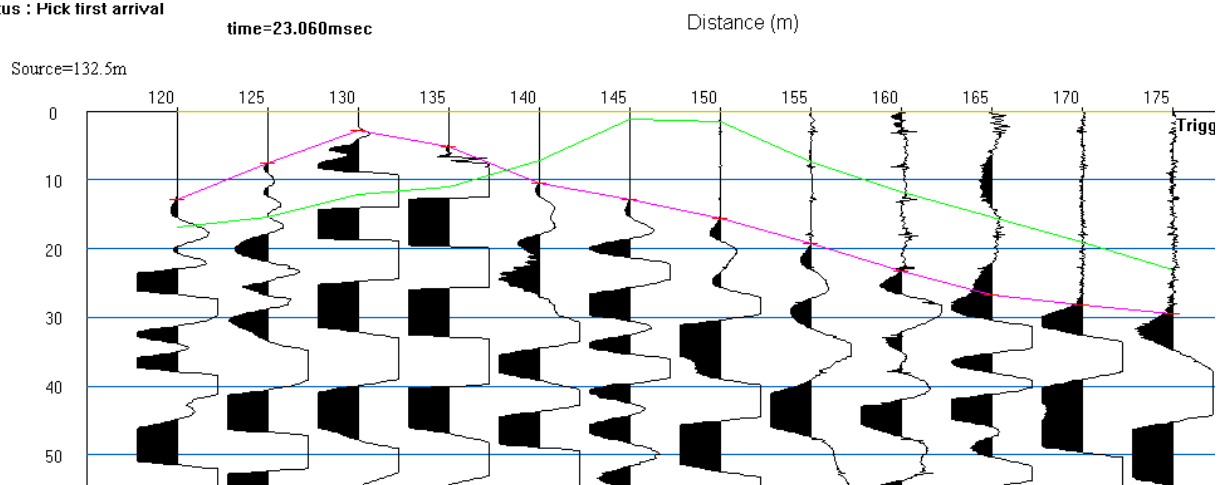
Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 234:

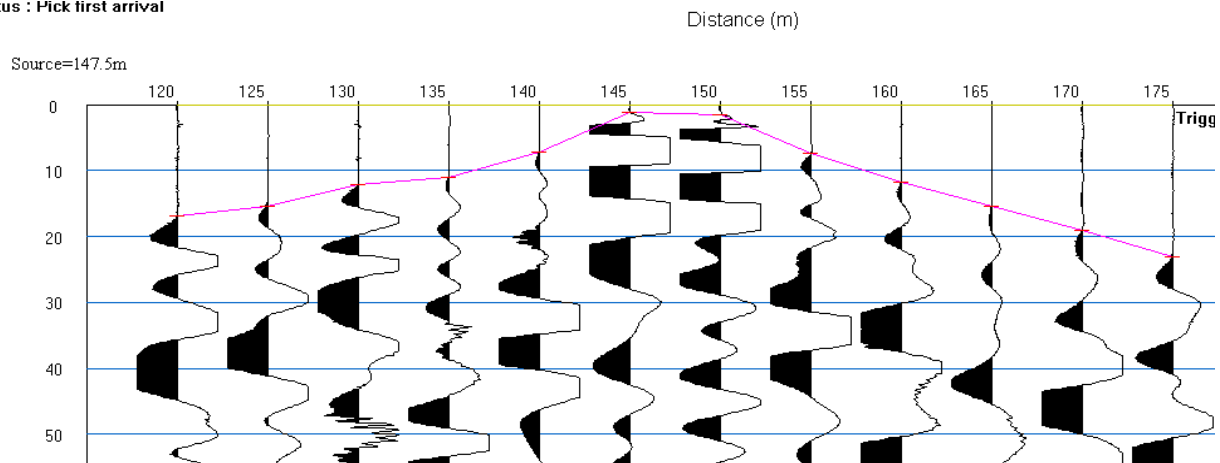
Status : Pick first arrival

time=23.060msec



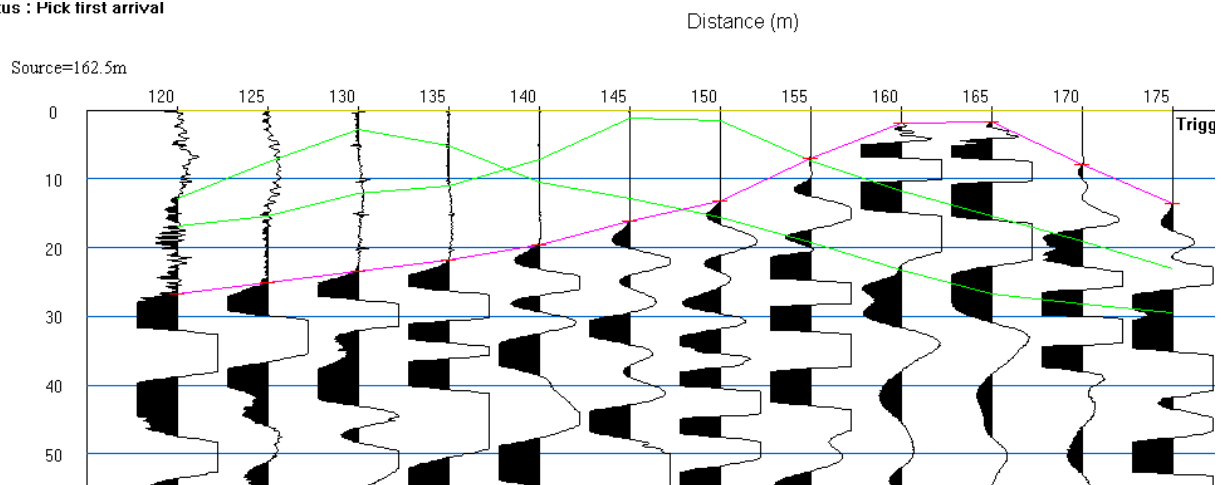
### Καταγραφή 235:

Status : Pick first arrival



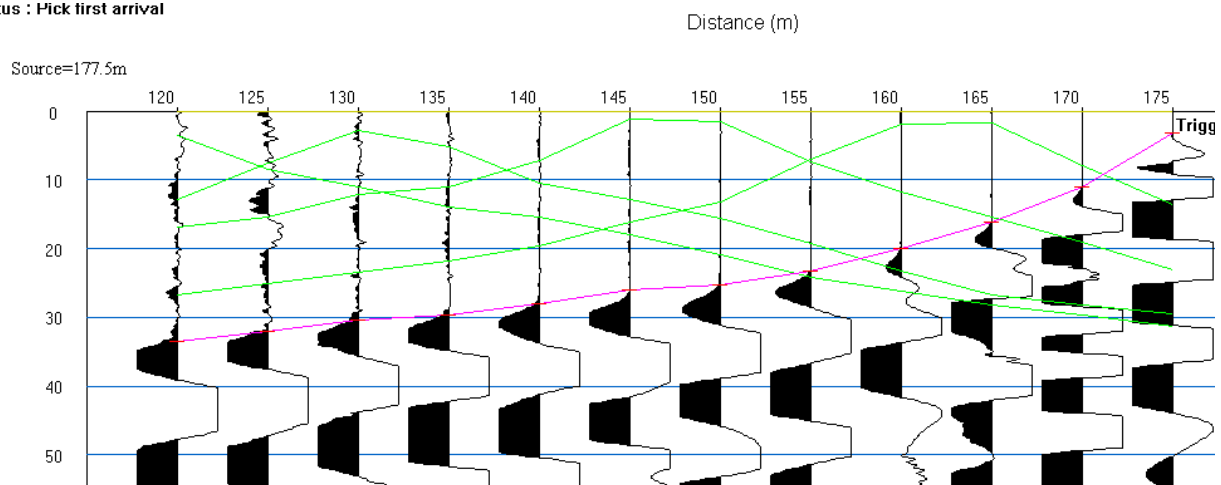
### Καταγραφή 236:

Status : Pick first arrival



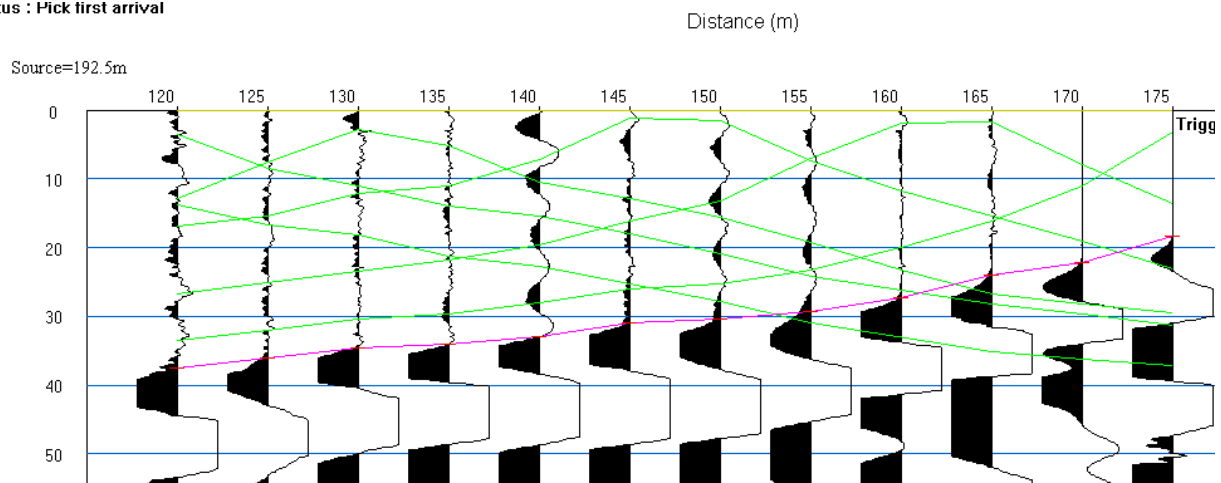
### Καταγραφή 237:

Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 238:

Status : Pick first arrival



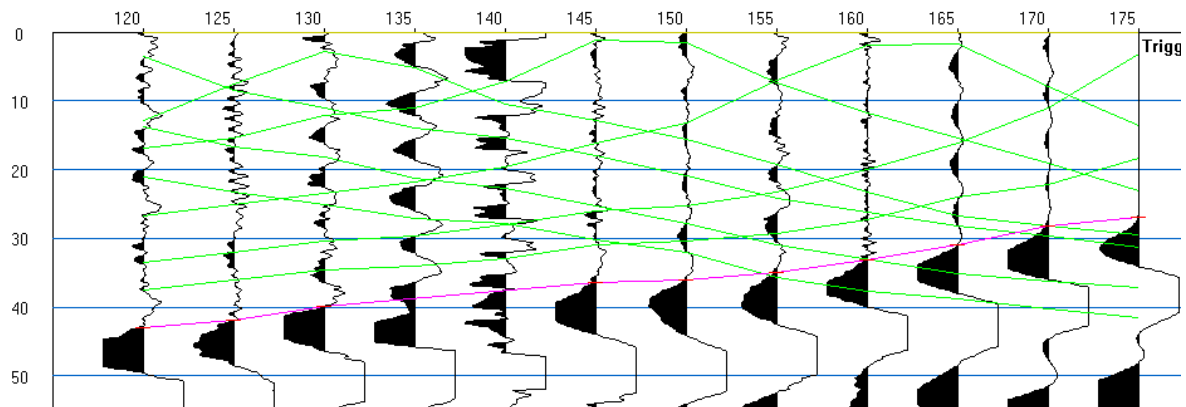
### Καταγραφή 239:

Status : Pick first arrival

time=23.411msec

Distance (m)

Source=207.5m

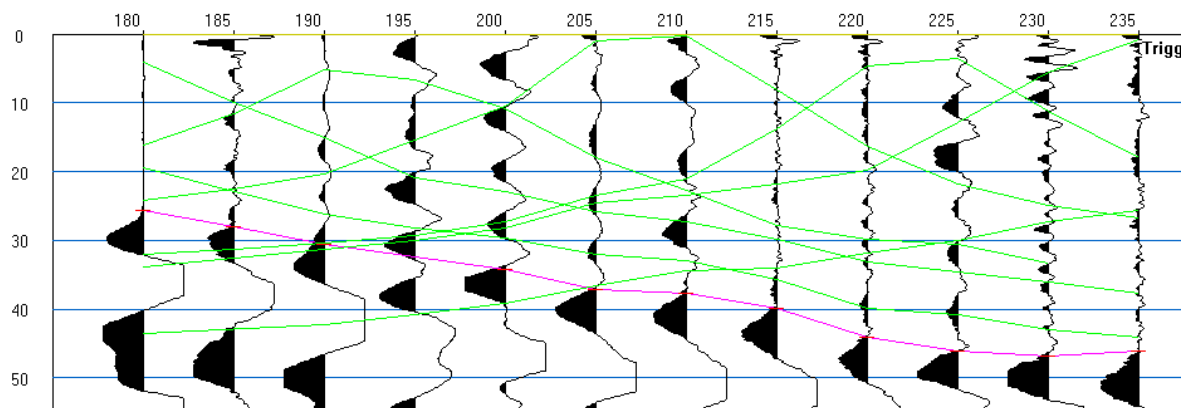


### Καταγραφή 241:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source=147.5m



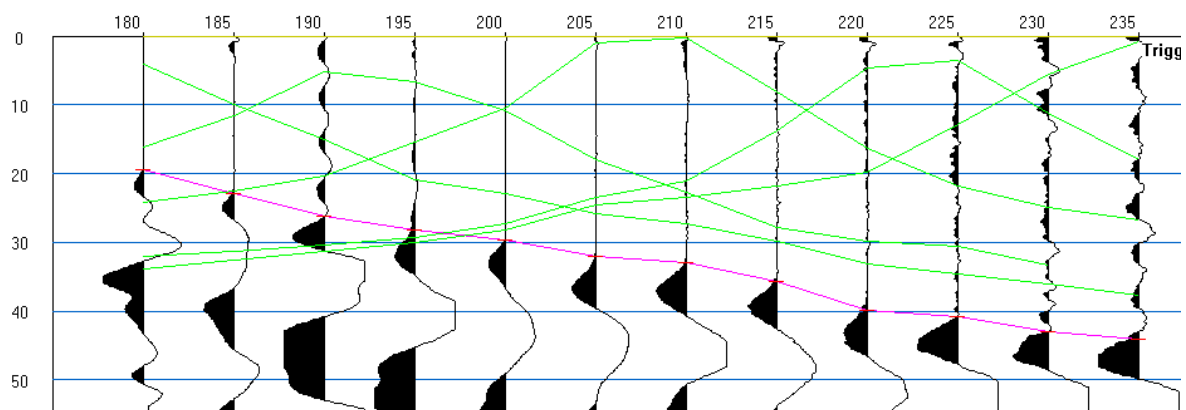
### Καταγραφή 242:

Status : Pick first arrival

time=23.938msec

Distance (m)

Source=162.5m



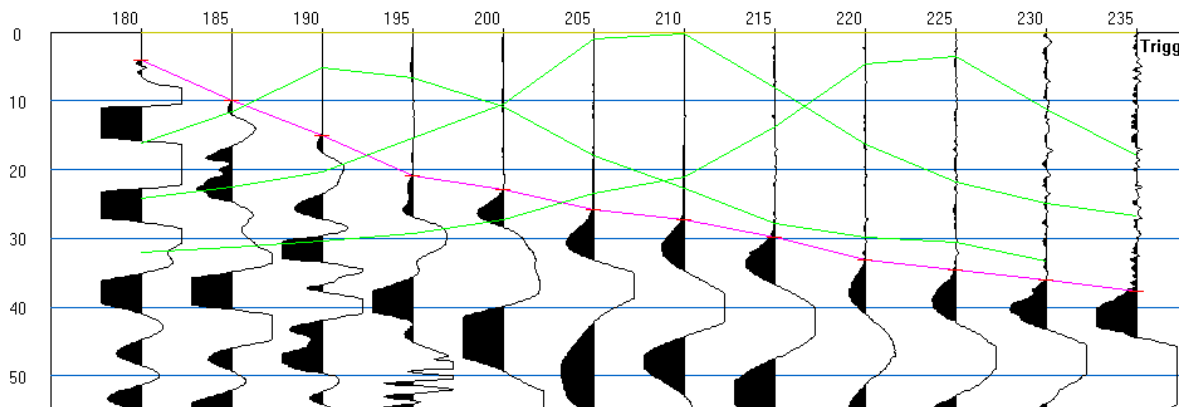
### Καταγραφή 243:

Status : Pick first arrival

time=24.523msec

Distance (m)

Source=177.5m

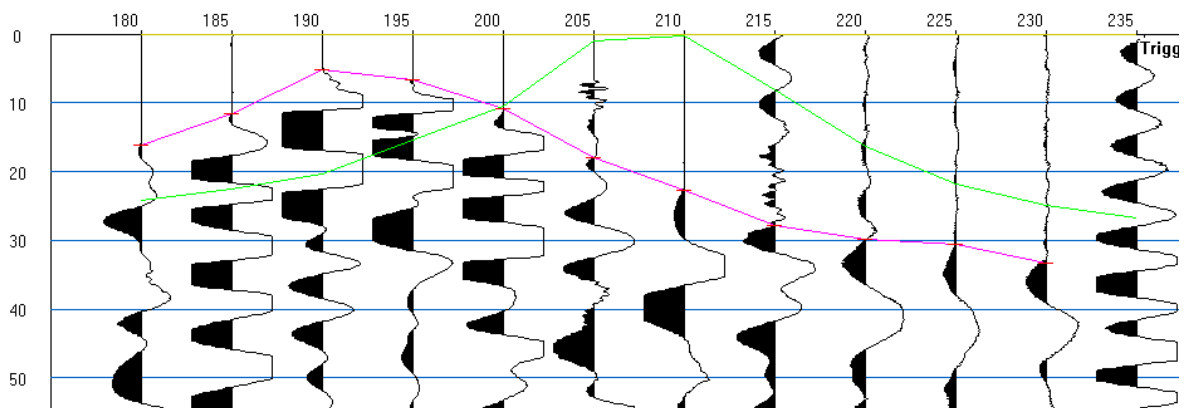


### Καταγραφή 244:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source=192.5m

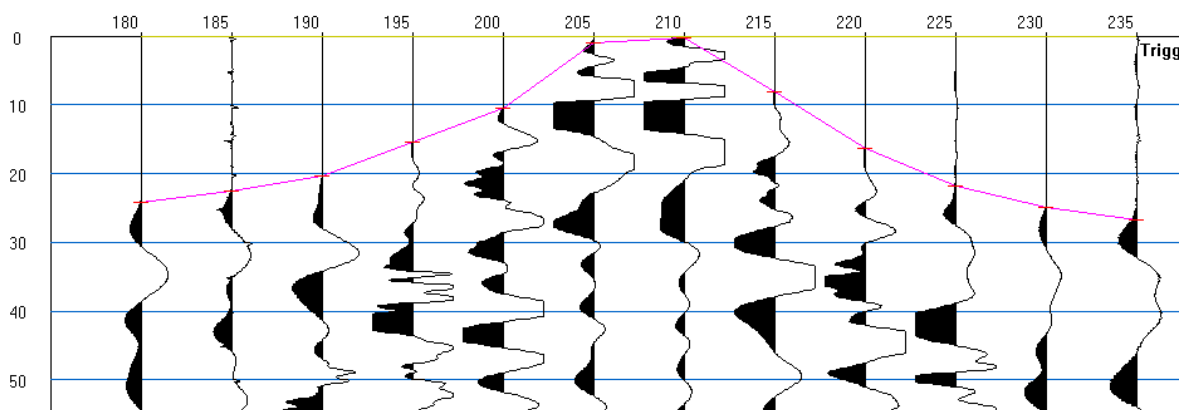


### Καταγραφή 245:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source=207.5m

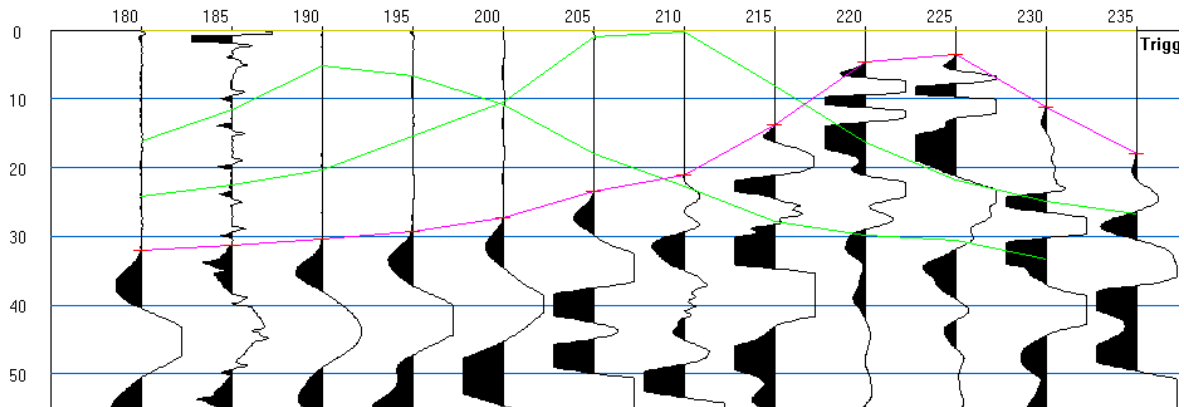


### Καταγραφή 246:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source=222.5m



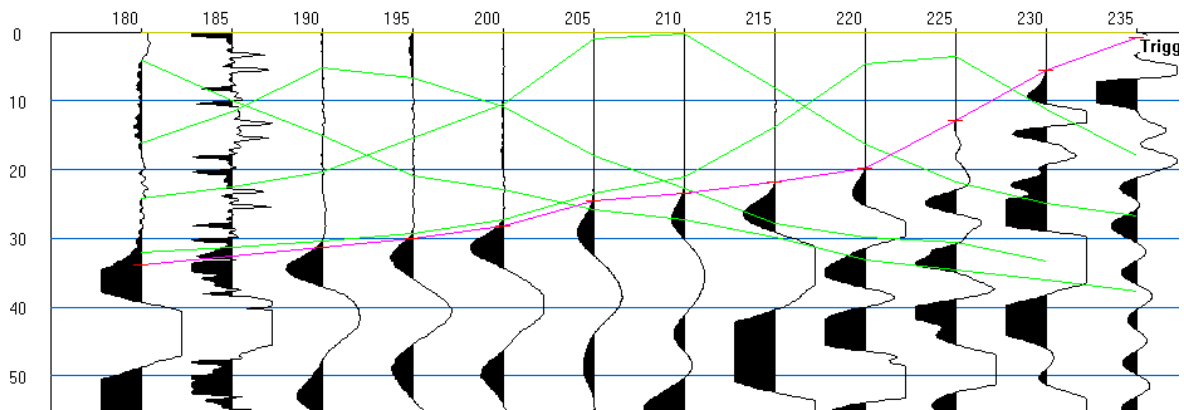
### Καταγραφή 247:

Status : Pick first arrival

time=34.356msec

Distance (m)

Source=237.5m

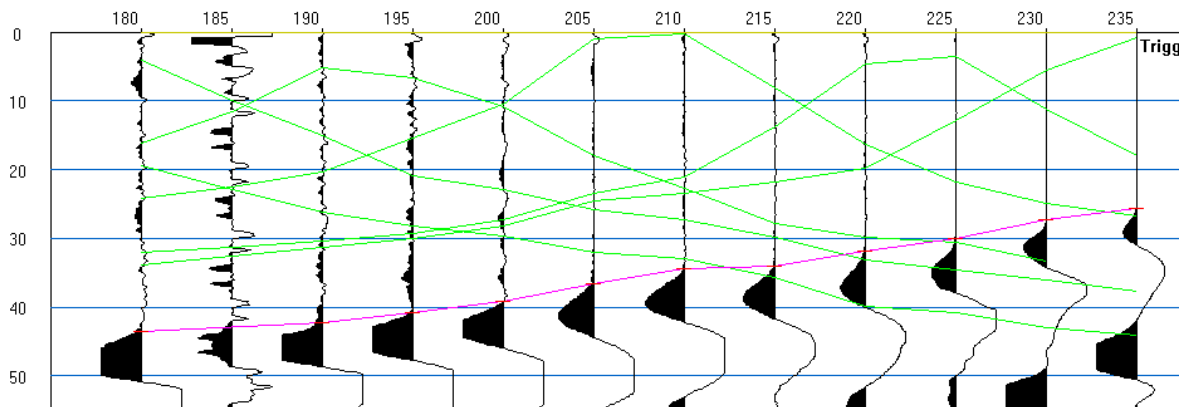


### Καταγραφή 248:

Status : Pick first arrival

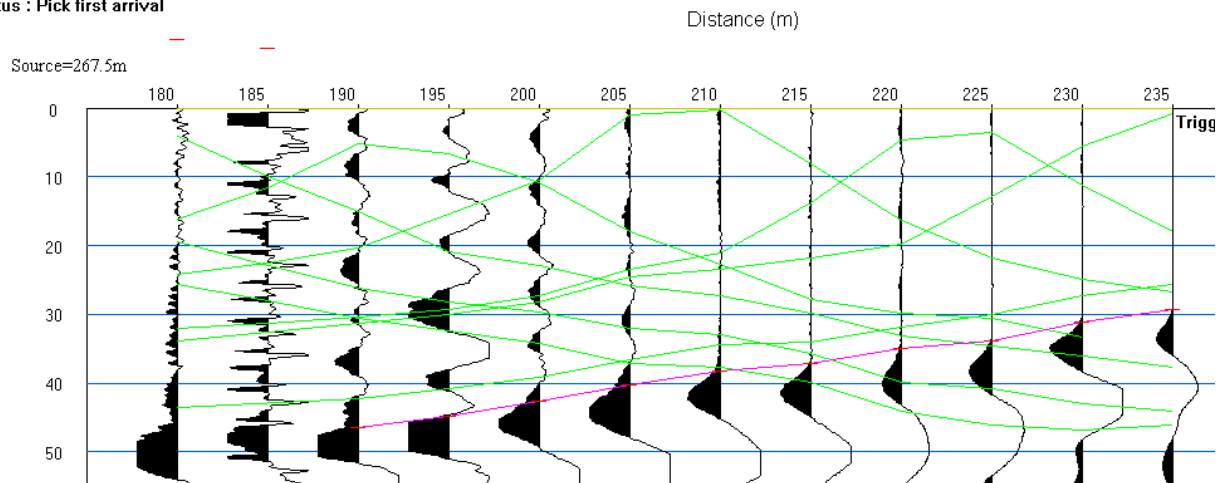
Distance (m)

Source=252.5m



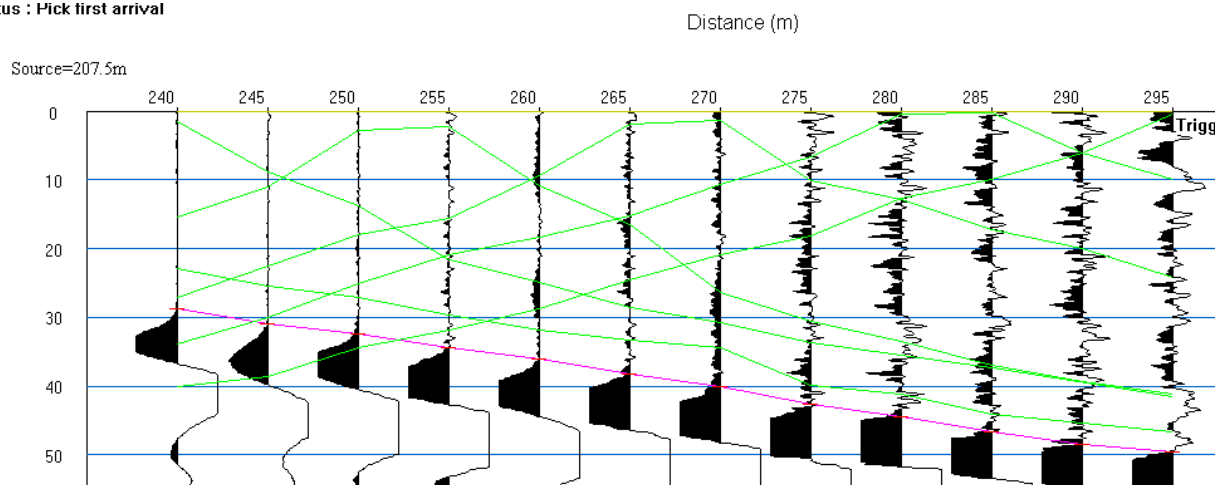
### Καταγραφή 249:

Status : Pick first arrival



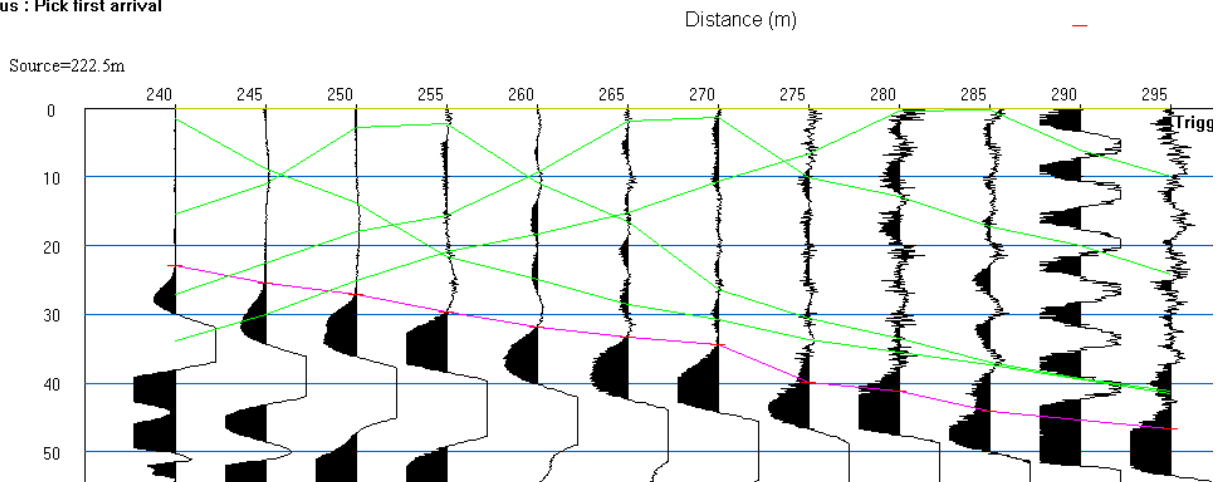
### Καταγραφή 251:

Status : Pick first arrival



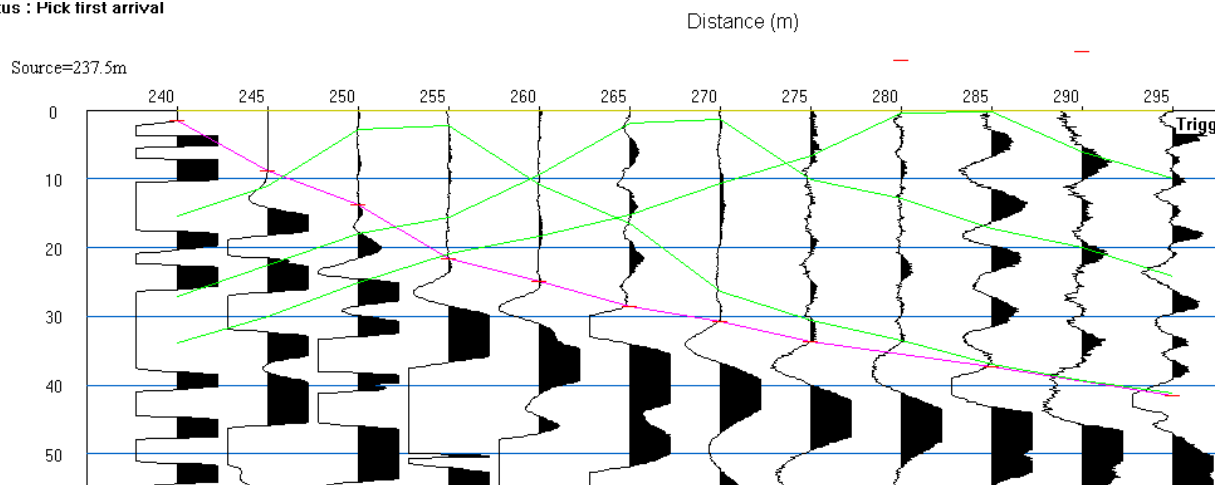
### Καταγραφή 252:

Status : Pick first arrival



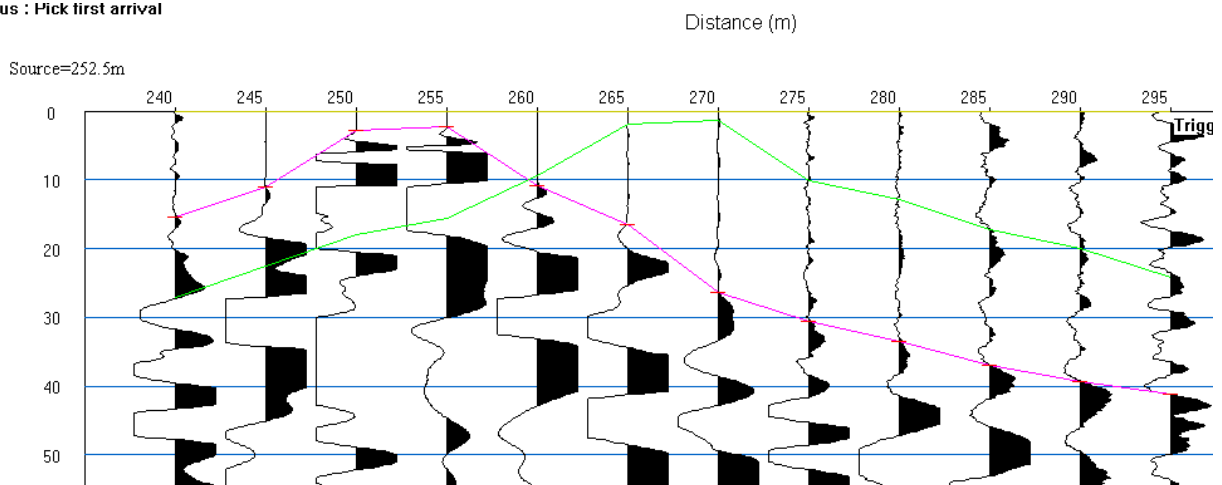
### Καταγραφή 253:

Status : Pick first arrival



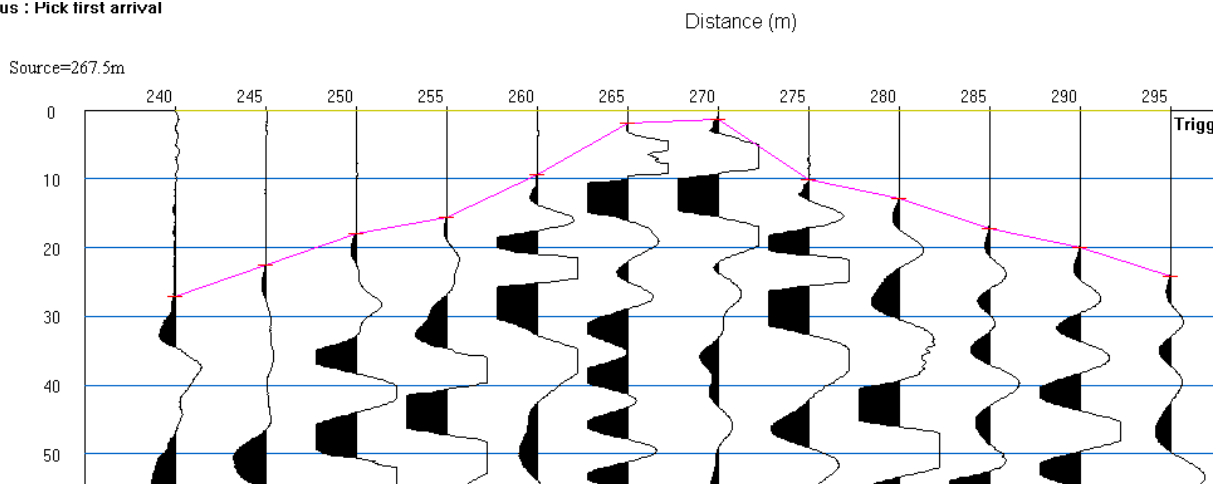
### Καταγραφή 254:

Status : Pick first arrival



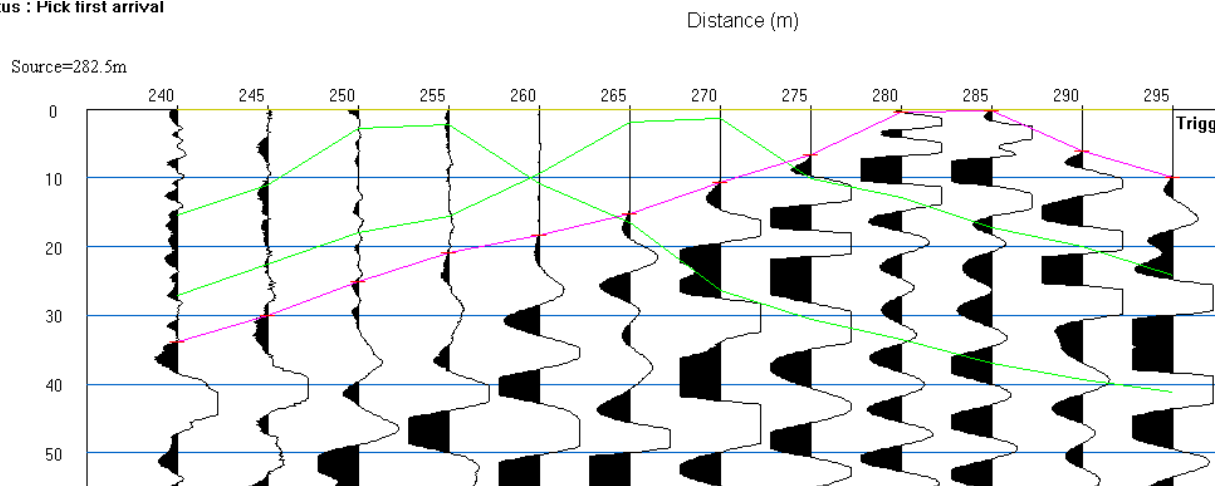
### Καταγραφή 255:

Status : Pick first arrival



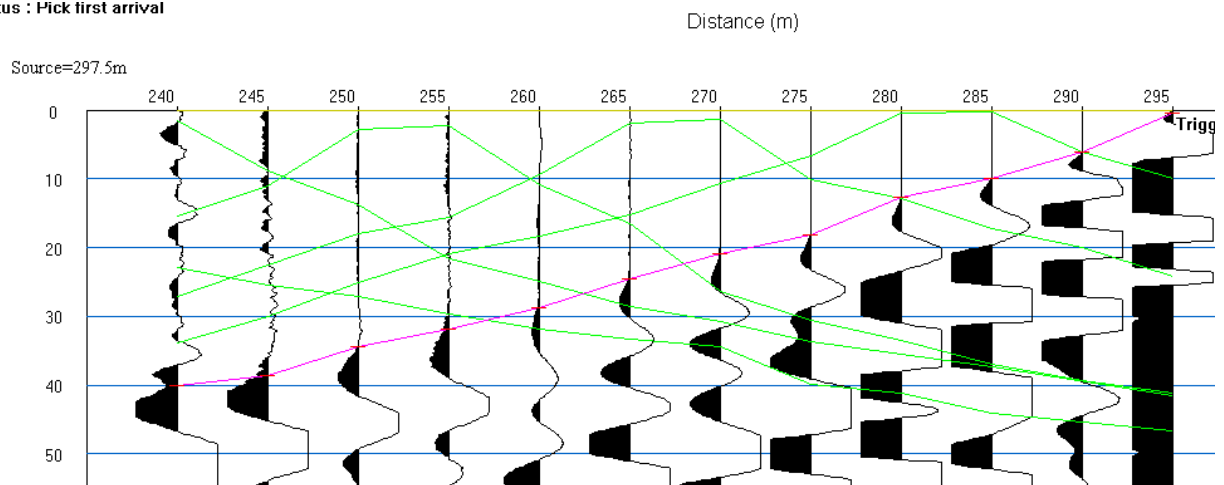
### Καταγραφή 256:

Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 257:

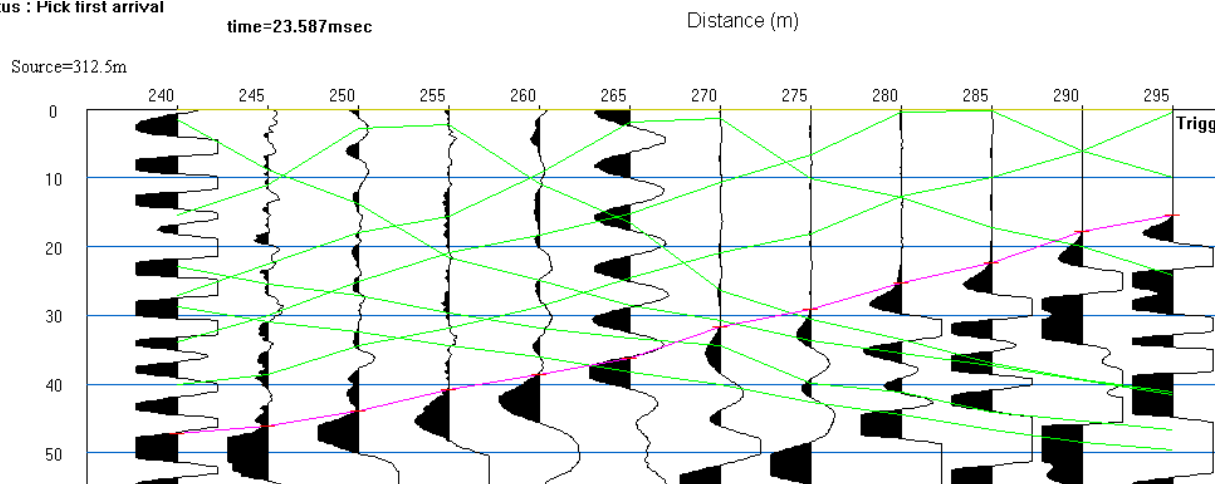
Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 258:

Status : Pick first arrival

time=23.587msec



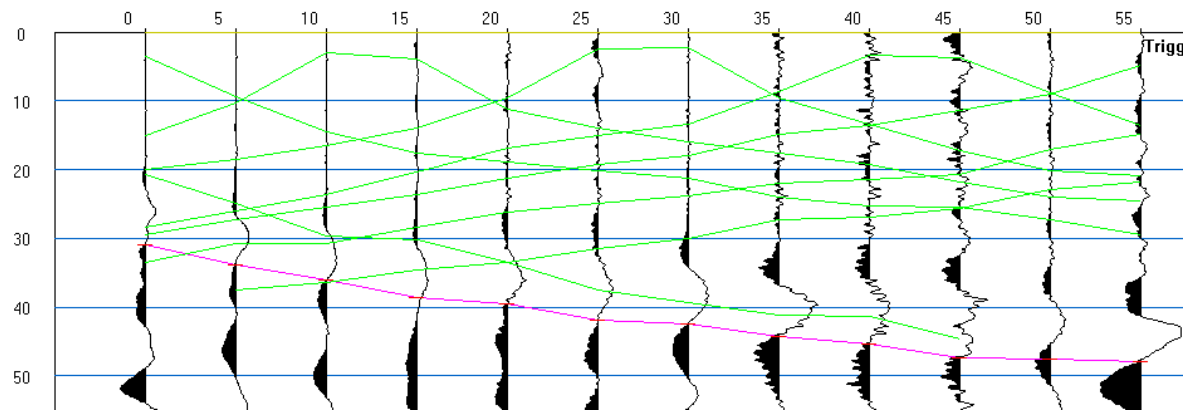
### Καταγραφή 311:

Status : Pick first arrival

time=25.050msec

Distance (m)

Source=-32.5m



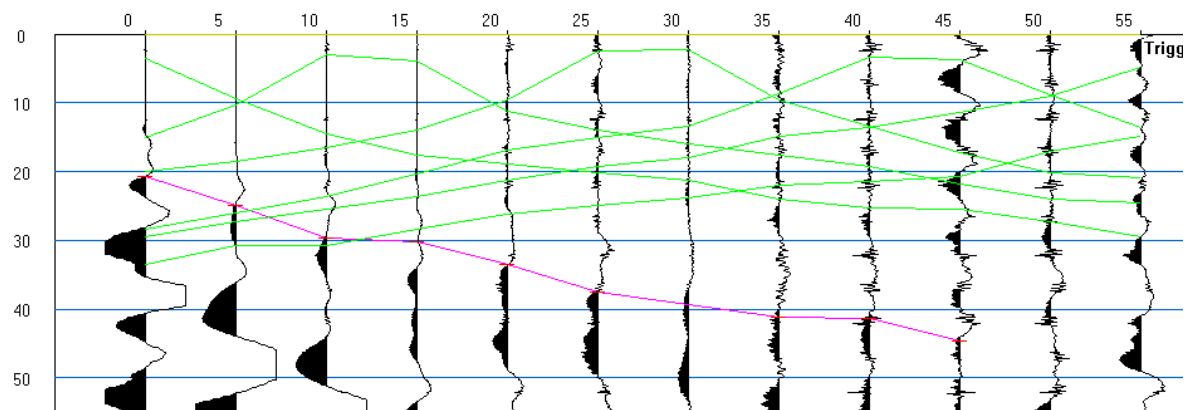
### Καταγραφή 312:

Status : Pick first arrival

time=2.400msec

Distance (m)

Source=-17.5m



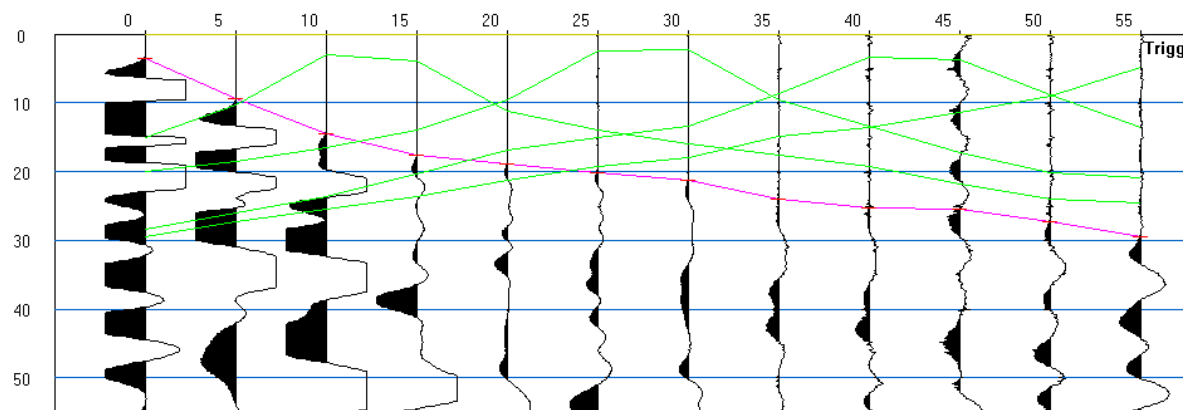
### Καταγραφή 313:

Status : Pick first arrival

time=14.632msec

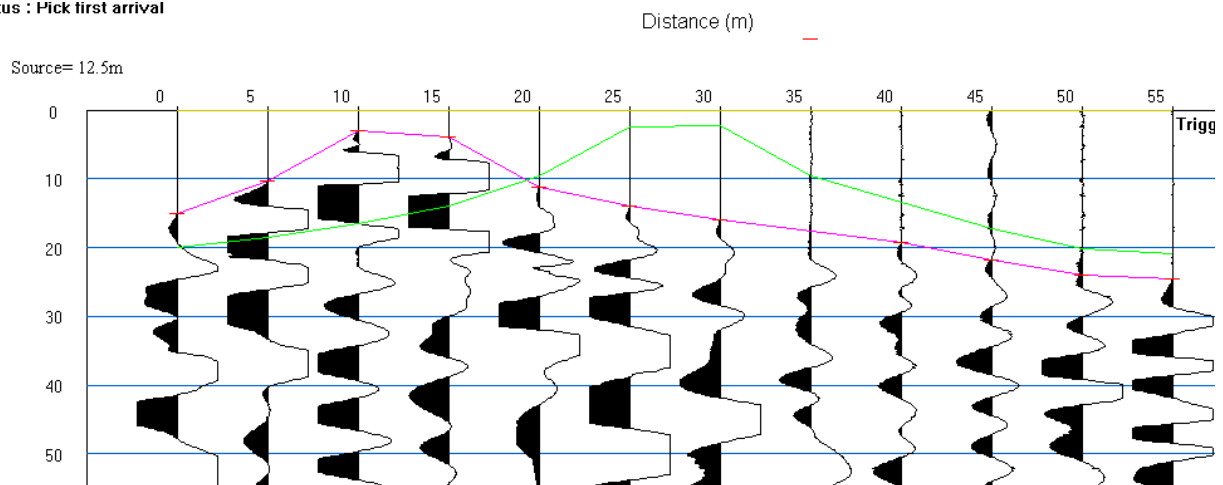
Distance (m)

Source=-2.5m



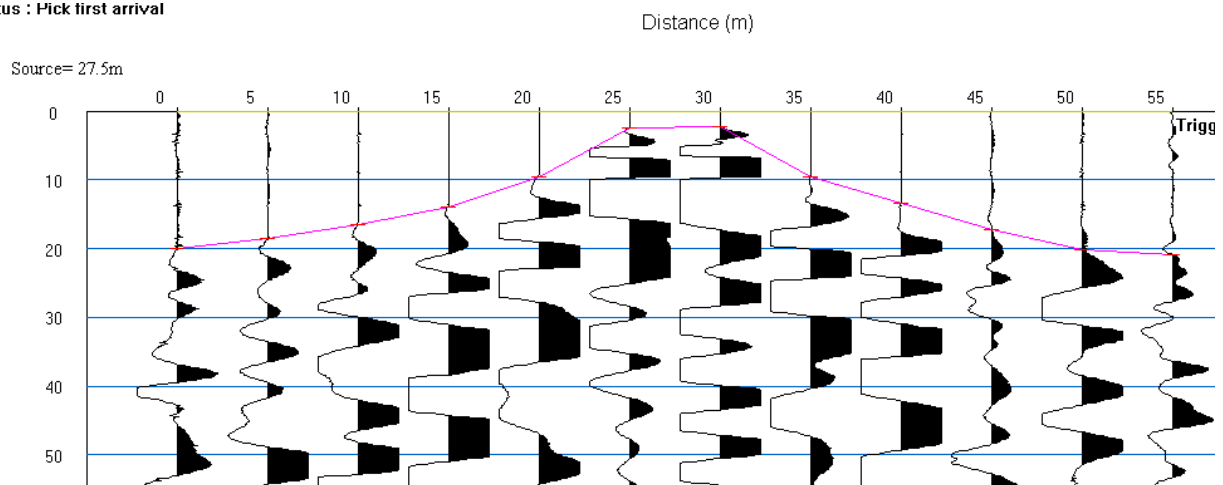
### Καταγραφή 314:

Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 315:

Status : Pick first arrival

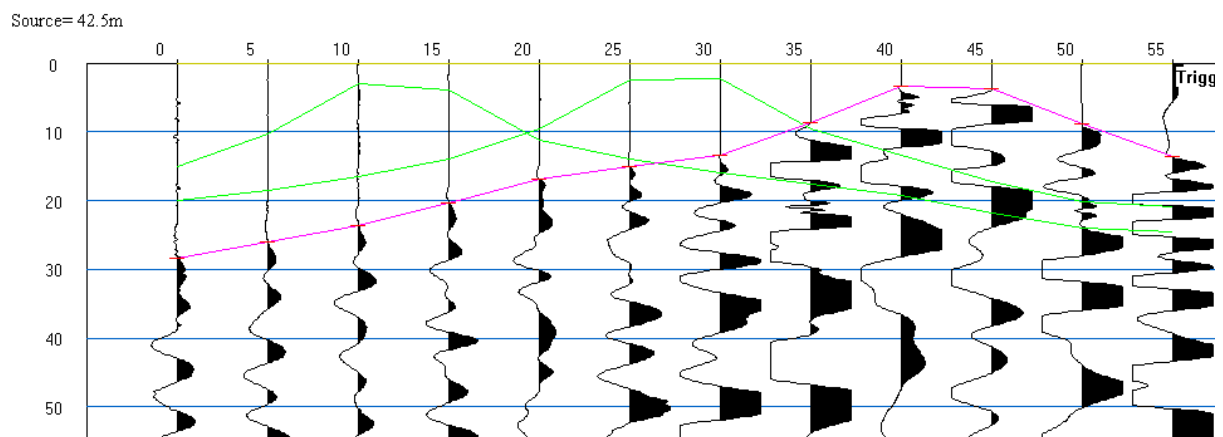


### Καταγραφή 316:

Status : Pick first arrival

time=24.347msec

Distance (m)



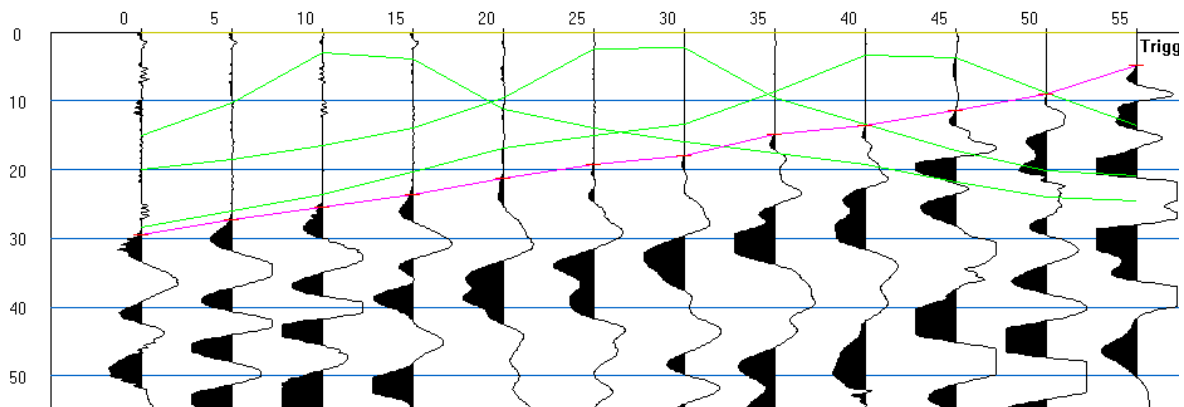
### Καταγραφή 317:

Status : Pick first arrival

time=23.060msec

Distance (m)

Source= 57.5m

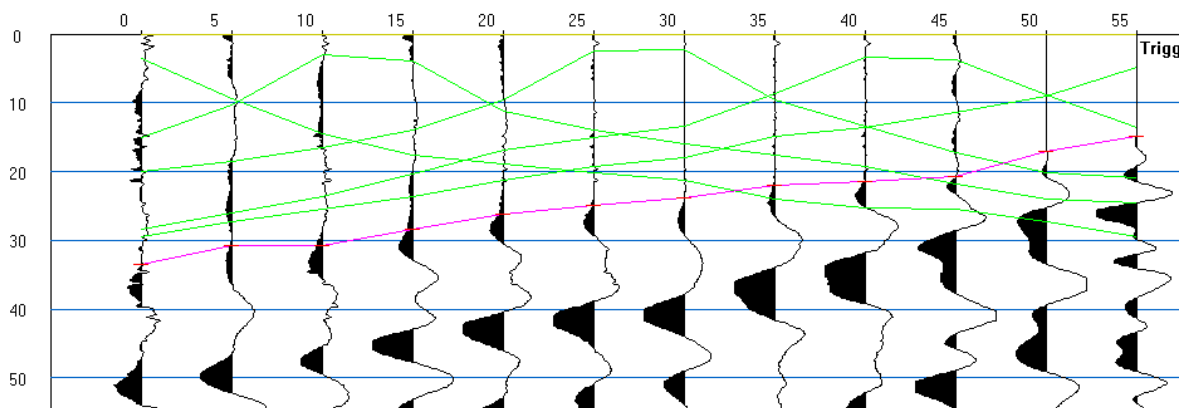


### Καταγραφή 318:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source= 72.5m



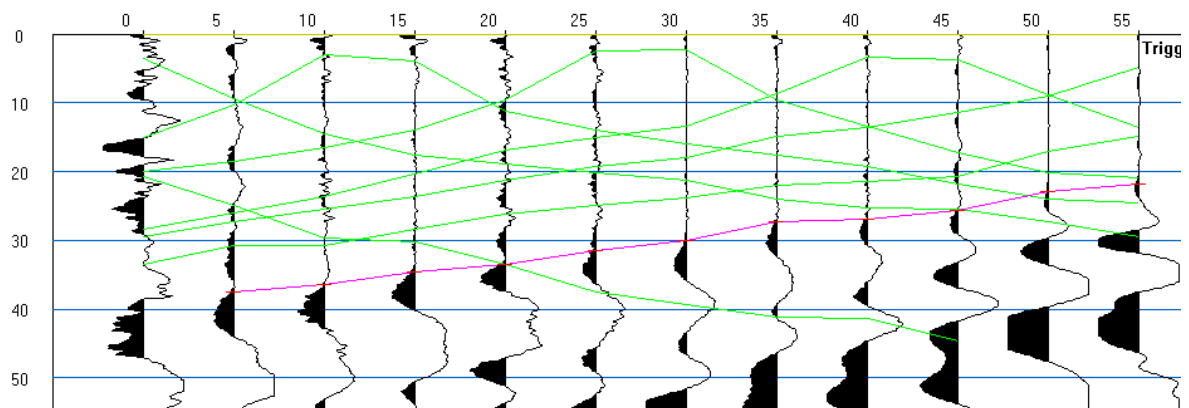
### Καταγραφή 319:

Status : Pick first arrival

time=22.299msec

Distance (m)

Source= 87.5m

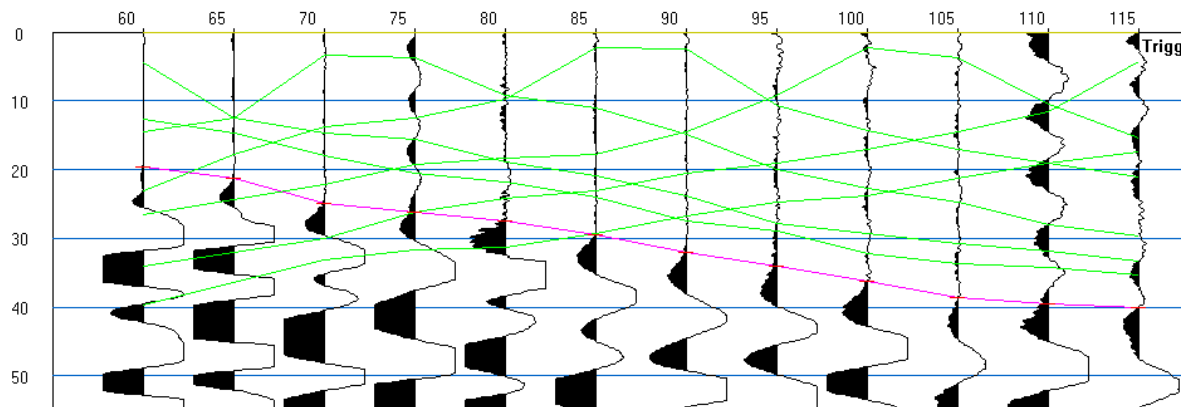


### Καταγραφή 321:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source= 27.5m

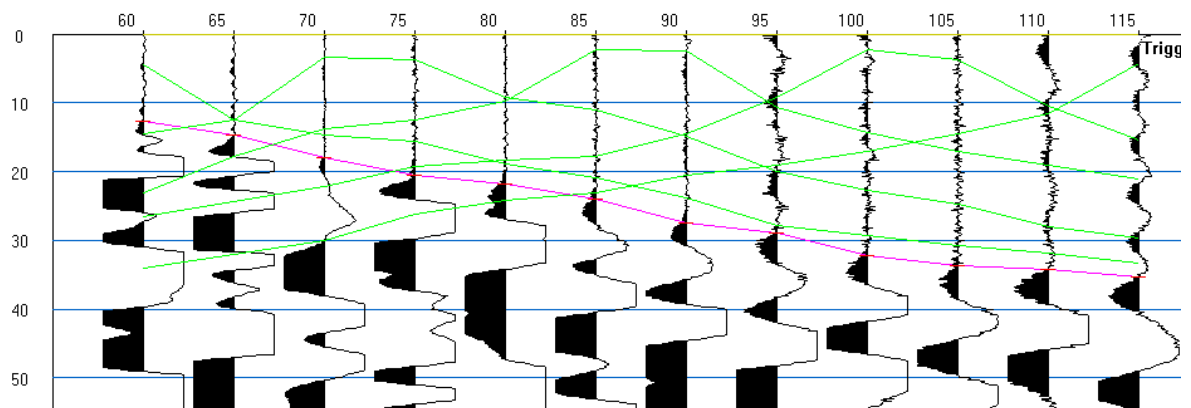


### Καταγραφή 322:

Status : Pick first arrival

Distance (m)

Source= 42.5m

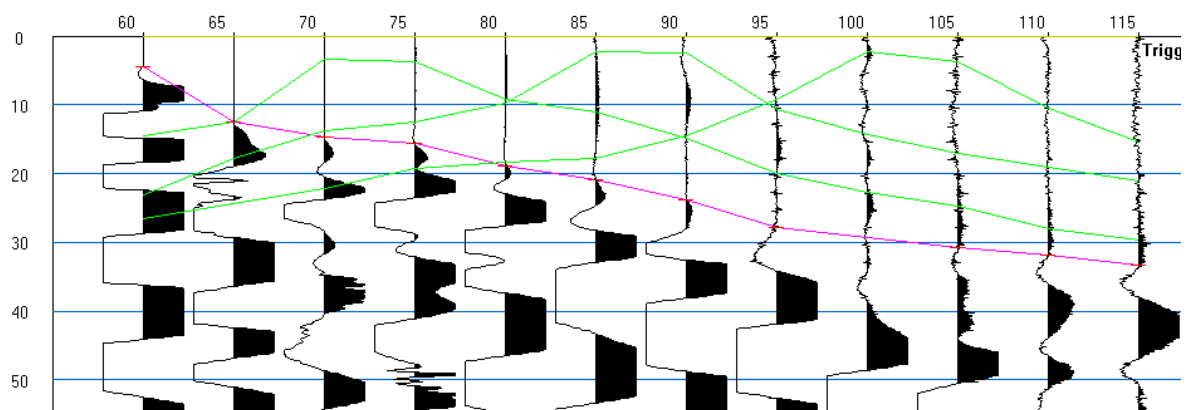


### Καταγραφή 323:

Status : Pick first arrival

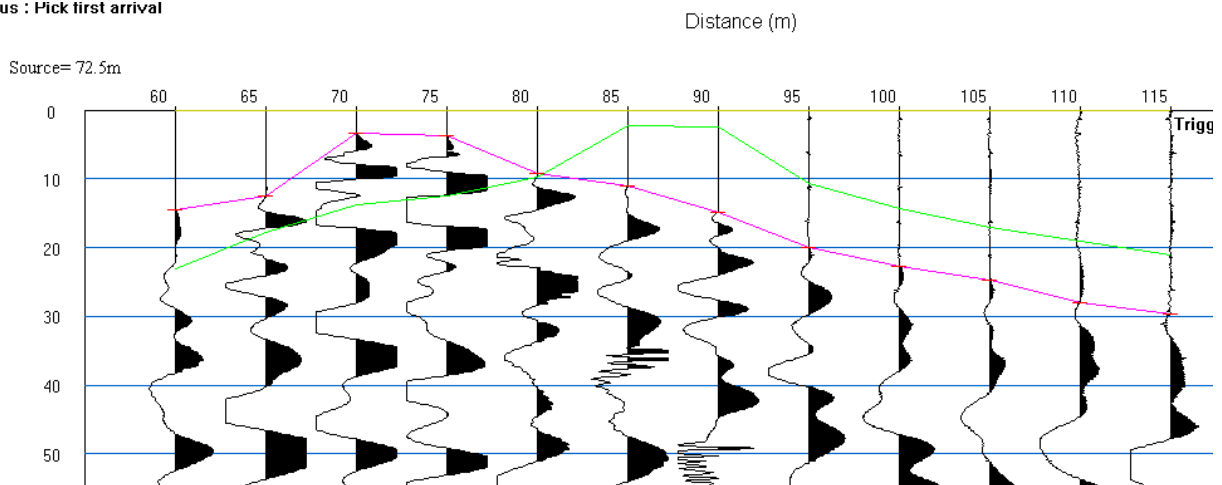
Distance (m)

Source= 57.5m



### Καταγραφή 324:

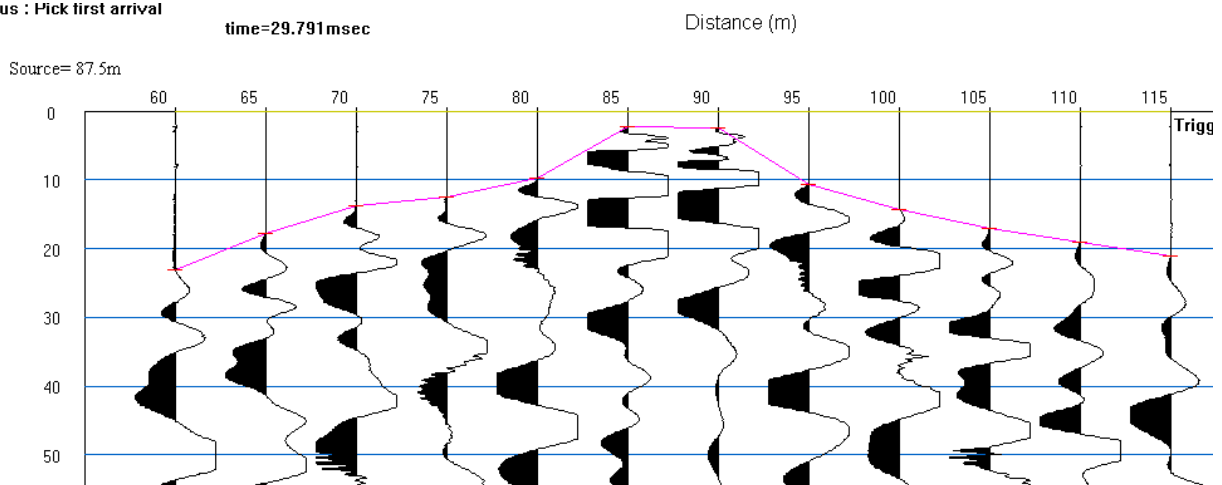
Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 325:

Status : Pick first arrival

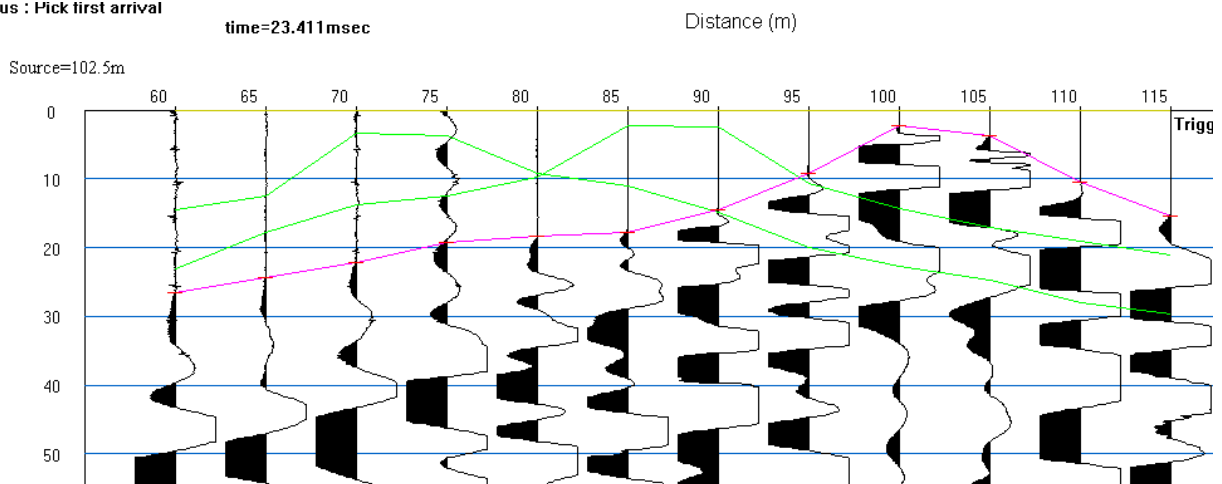
time=29.791msec



### Καταγραφή 326:

Status : Pick first arrival

time=23.411msec



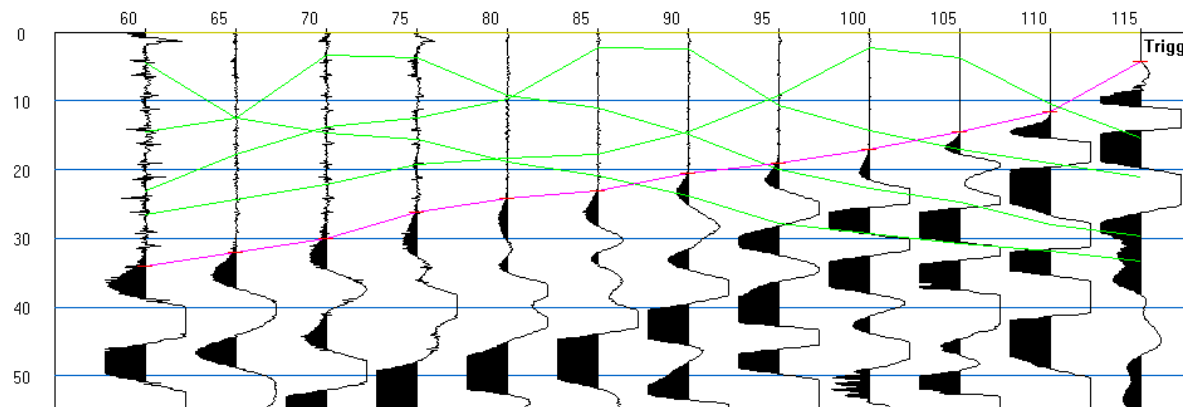
### Καταγραφή 327:

Status : Pick first arrival

time=27.976msec

Distance (m)

Source=117.5m



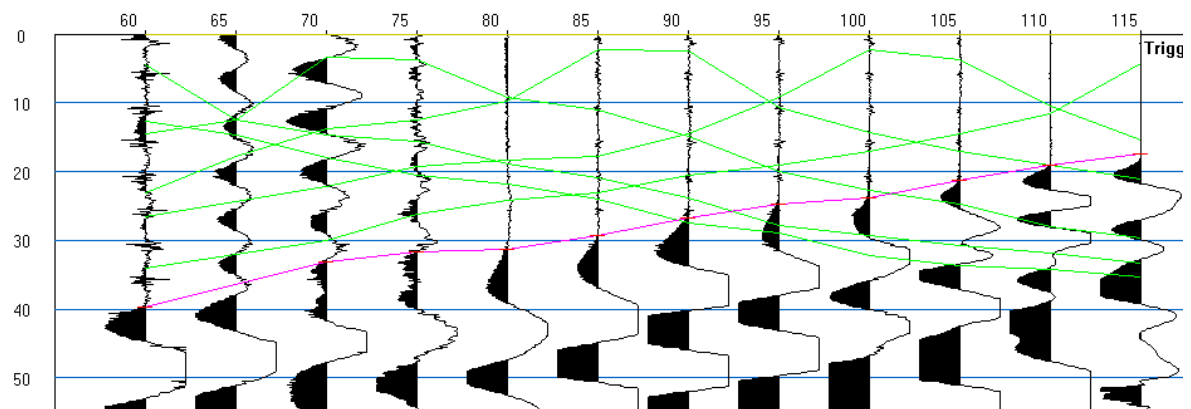
### Καταγραφή 328:

Status : Pick first arrival

time=10.593msec

Distance (m)

Source=132.5m

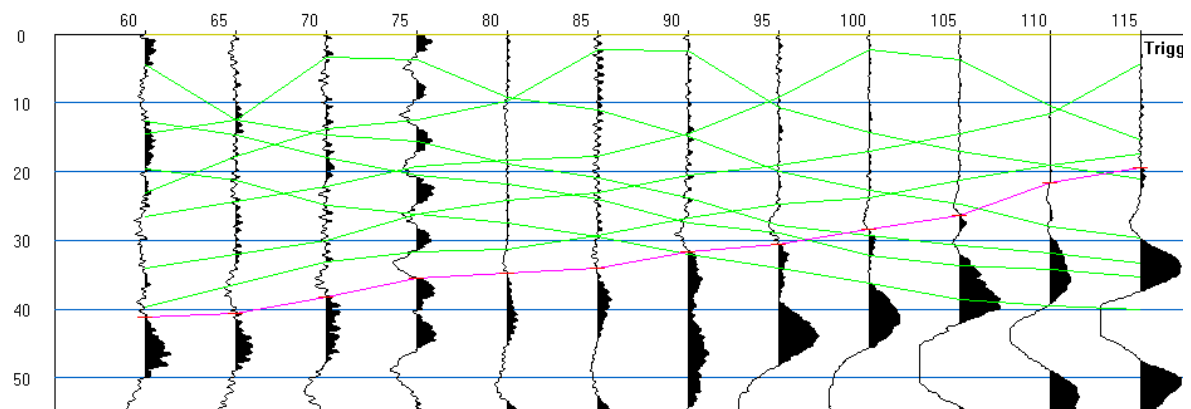


### Καταγραφή 329:

Status : Pick first arrival

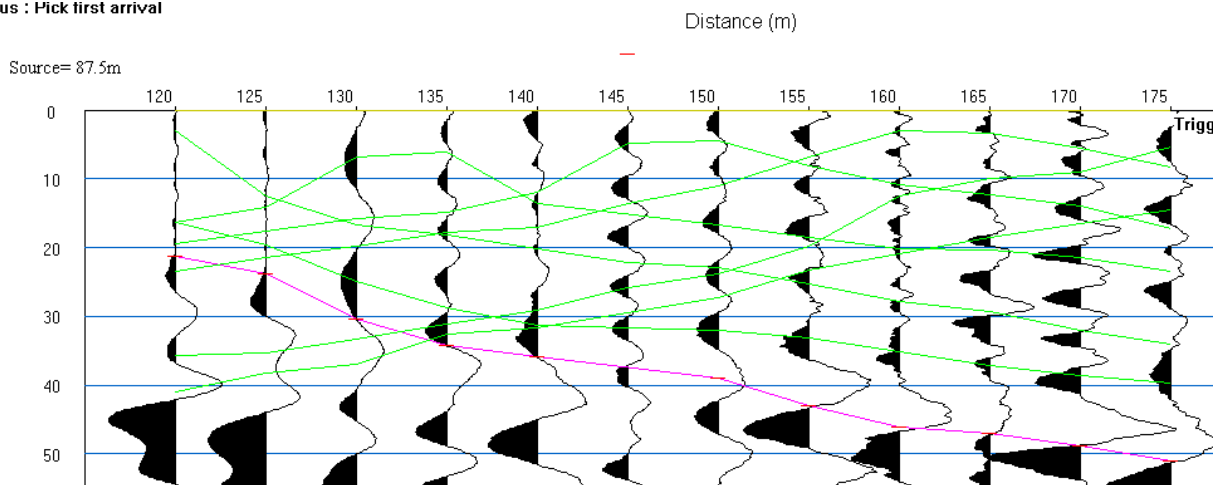
Distance (m)

Source=147.5m



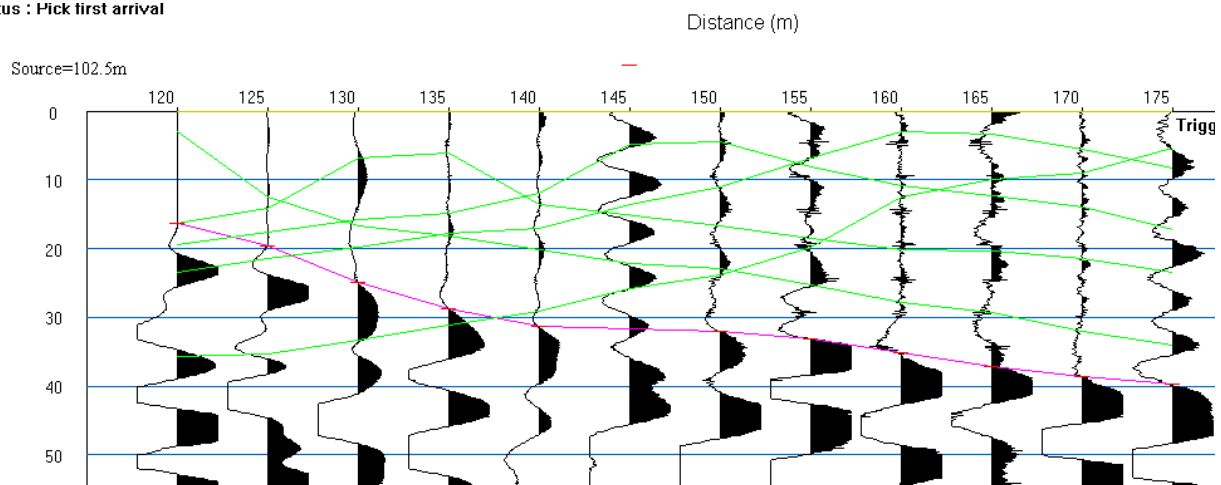
### Καταγραφή 331:

Status : Pick first arrival



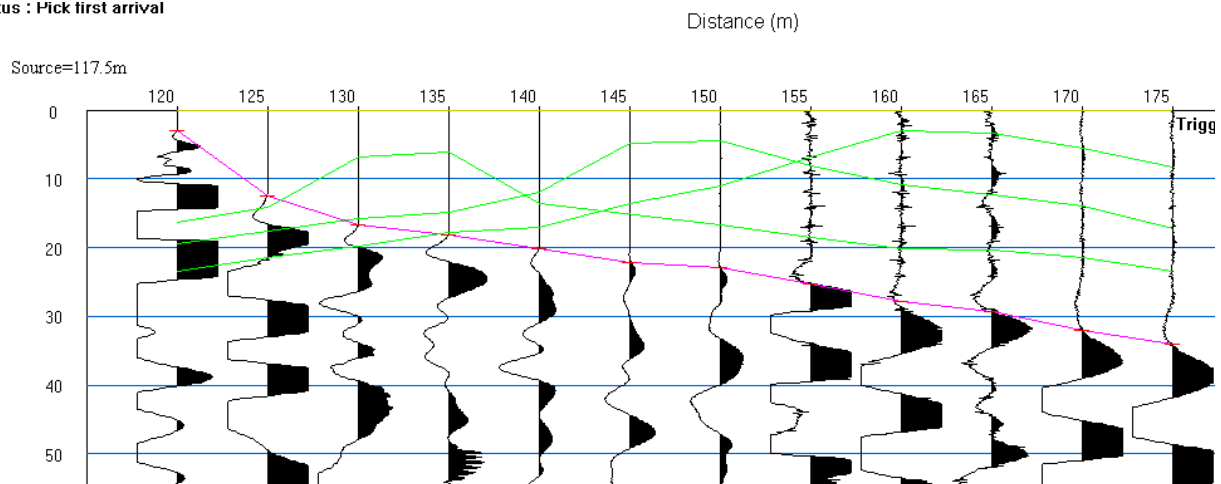
### Καταγραφή 332:

Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 333:

Status : Pick first arrival



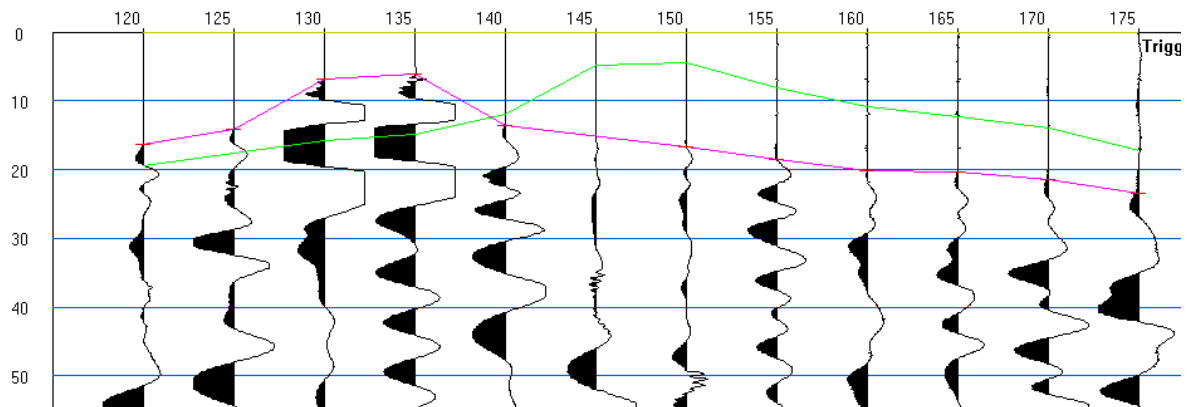
### Καταγραφή 334:

Status : Pick first arrival

time=23.235msec

Distance (m)

Source=132.5m



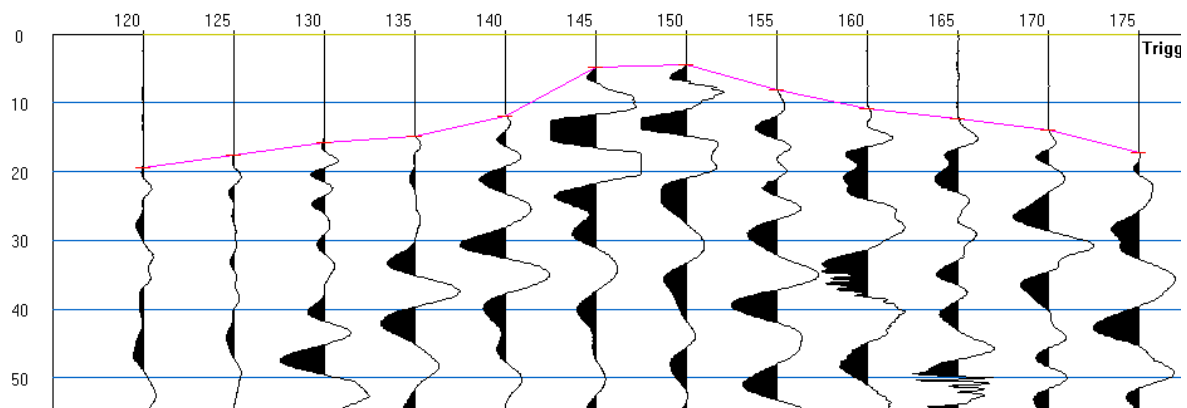
### Καταγραφή 335:

Status : Pick first arrival

time=23.762msec

Distance (m)

Source=147.5m

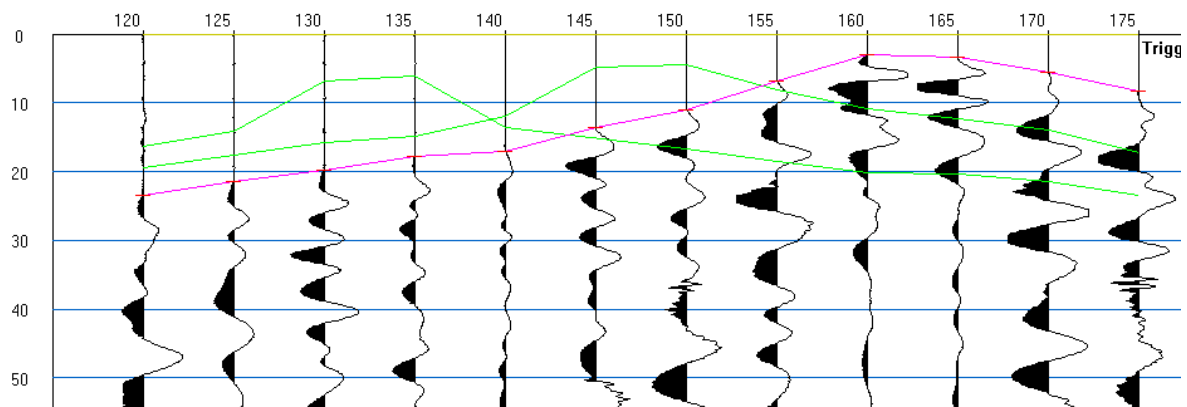


### Καταγραφή 336:

Status : Pick first arrival

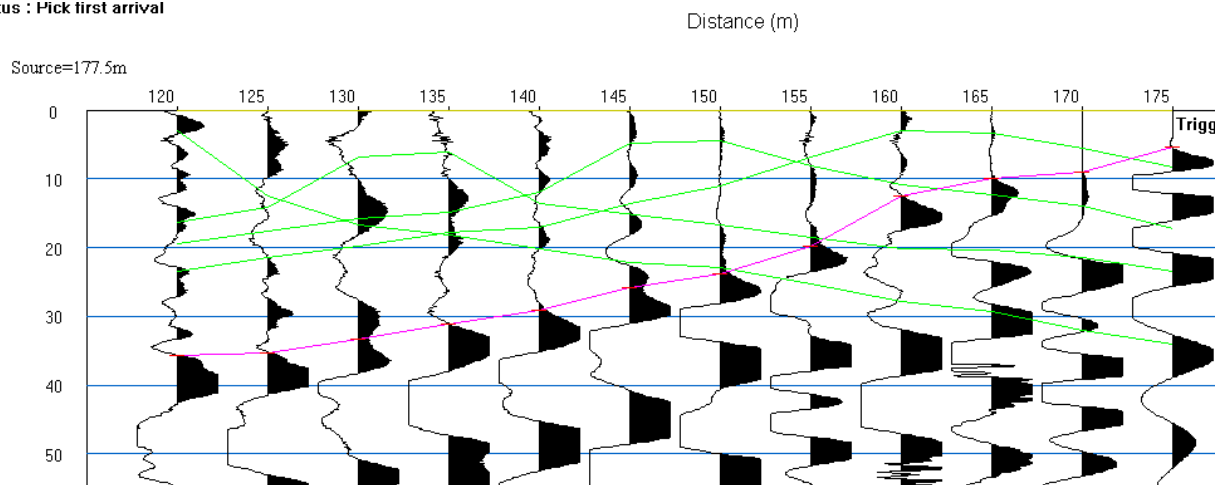
Distance (m)

Source=162.5m



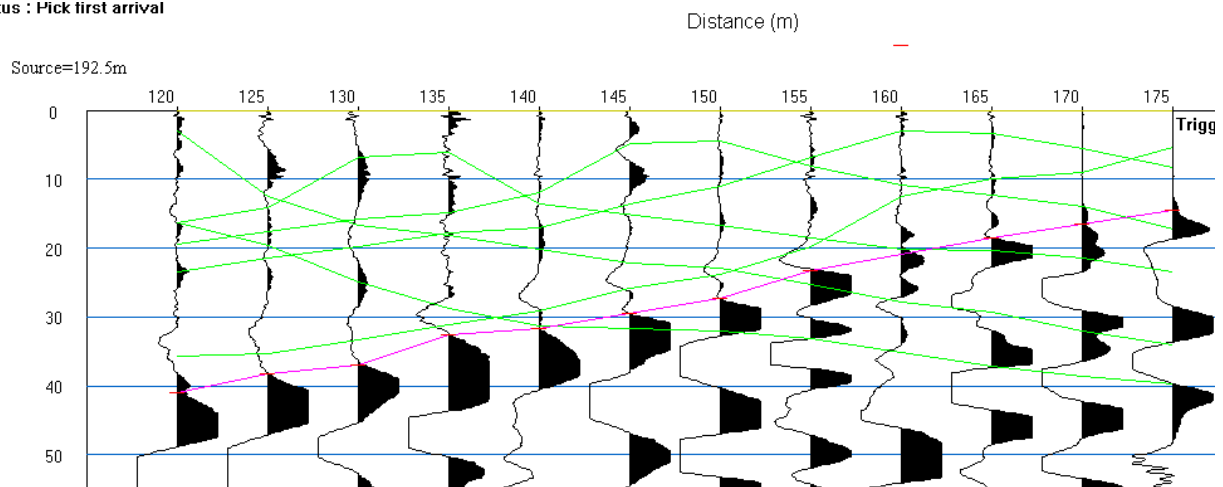
### Καταγραφή 337:

Status : Pick first arrival



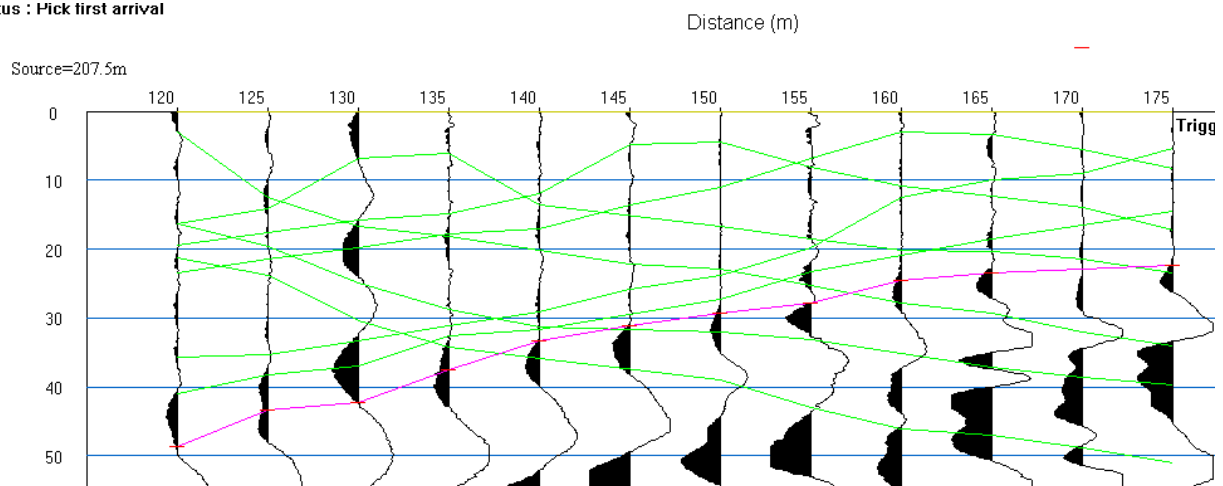
### Καταγραφή 338:

Status : Pick first arrival



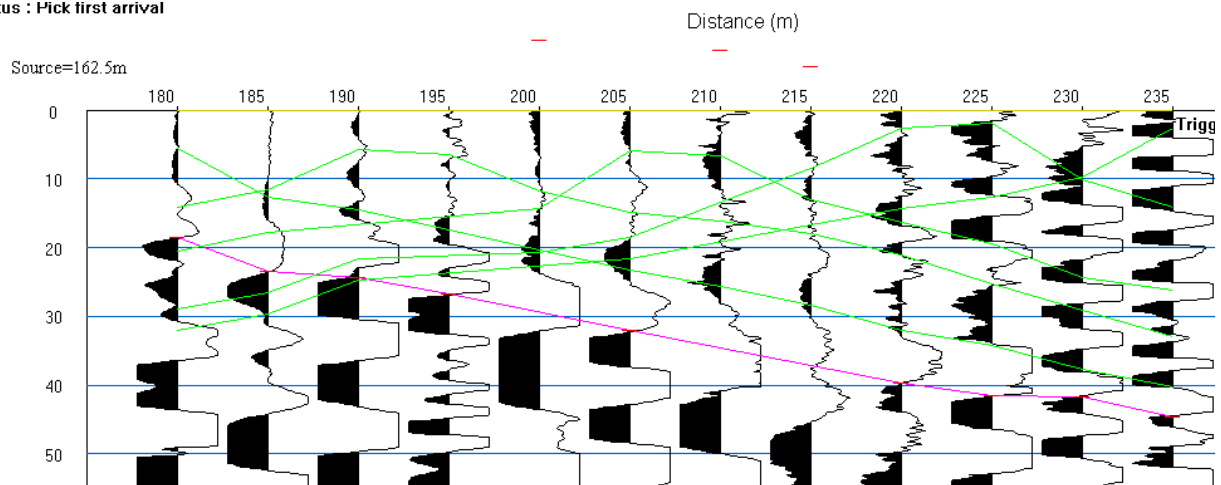
### Καταγραφή 339:

Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 342:

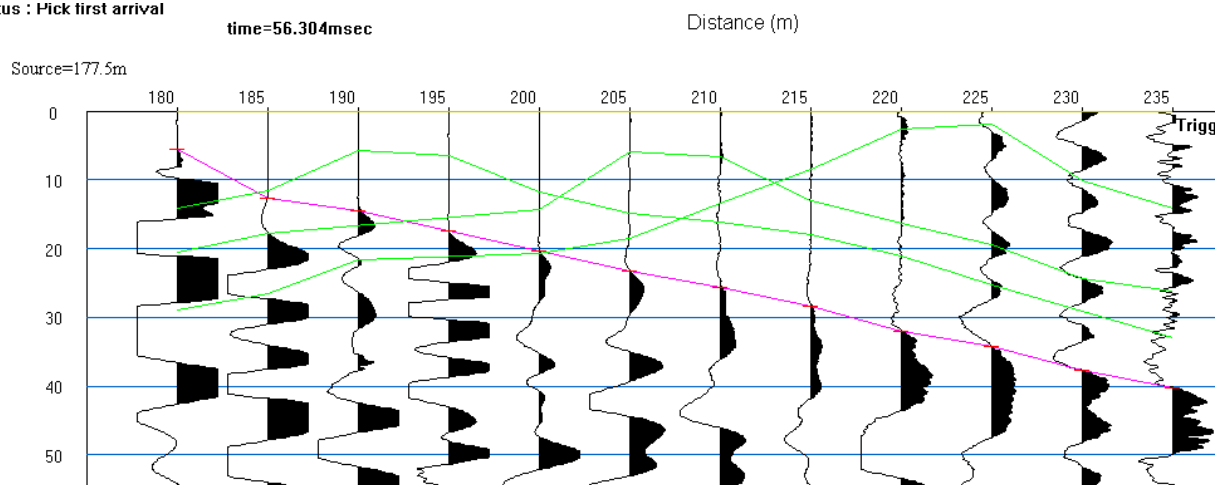
Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 343:

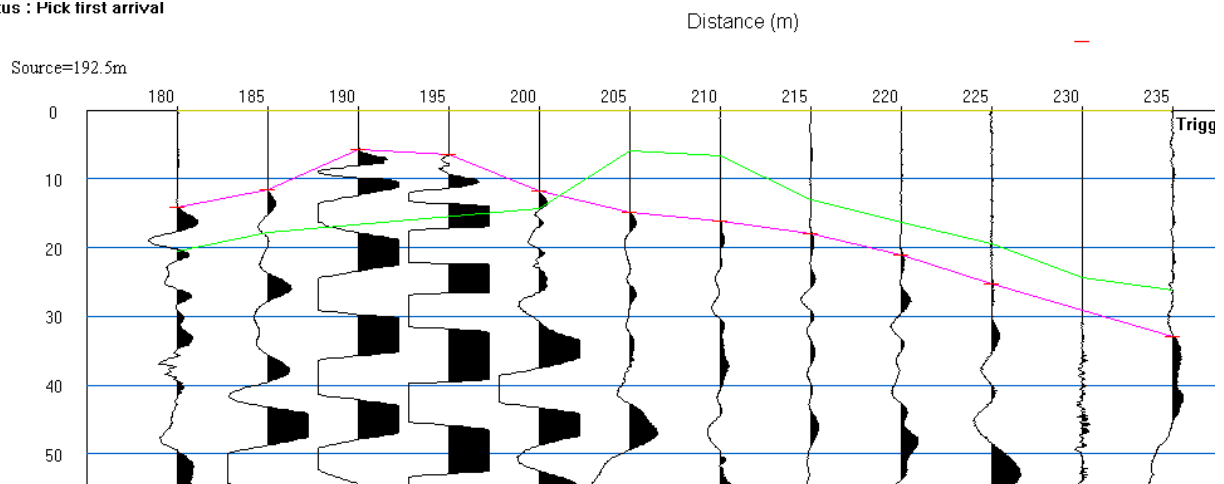
Status : Pick first arrival

time=56.304msec



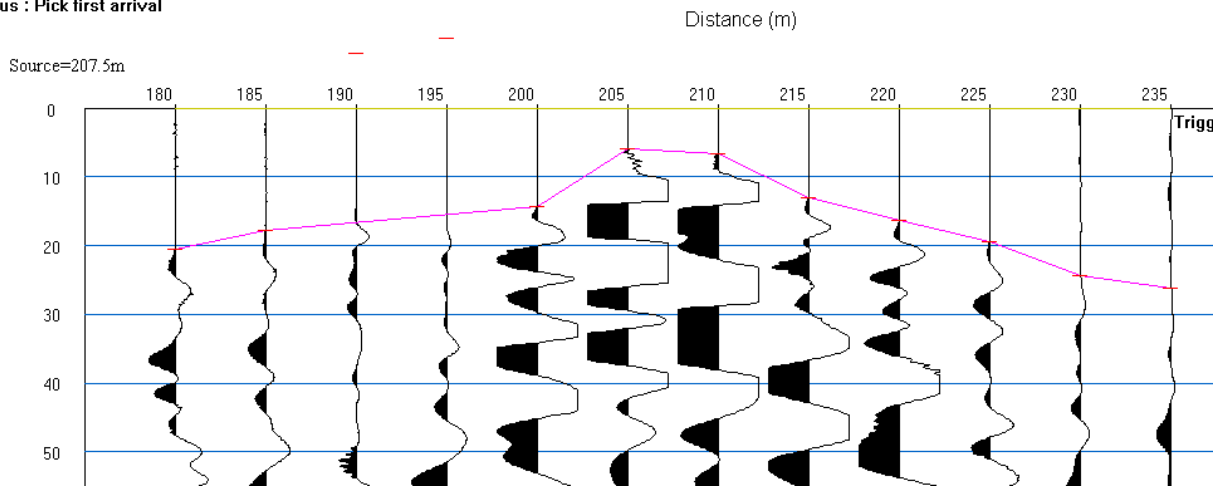
### Καταγραφή 344:

Status : Pick first arrival



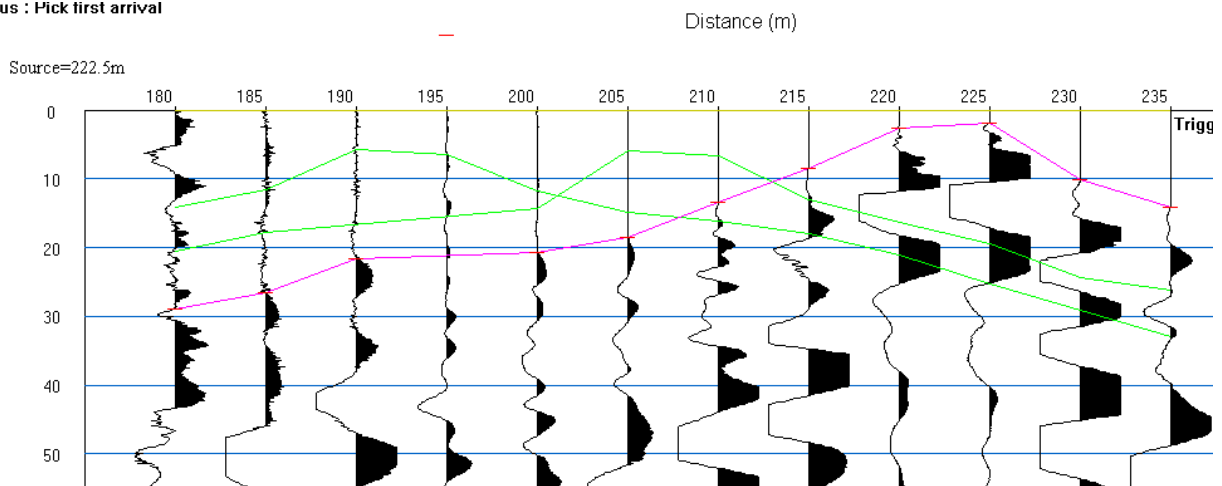
### Καταγραφή 345:

Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 346:

Status : Pick first arrival

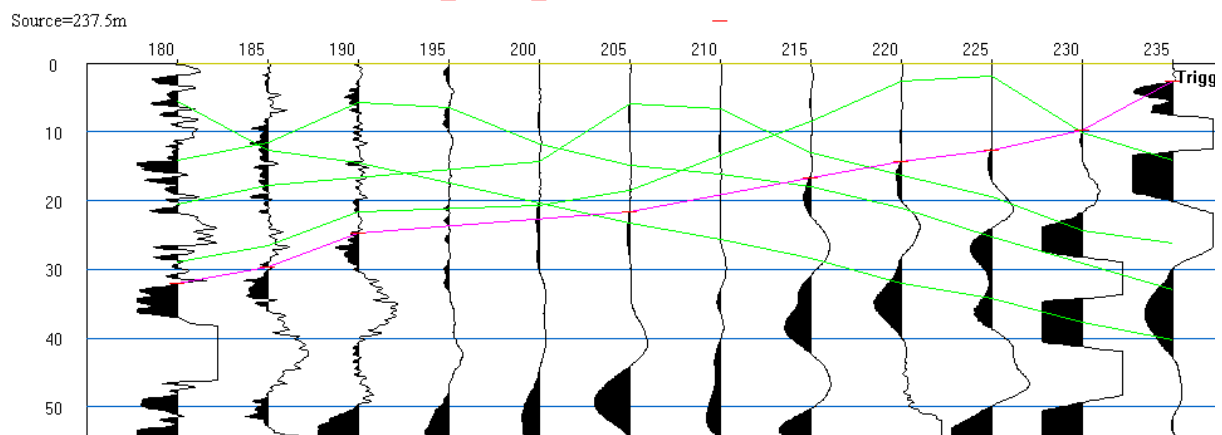


### Καταγραφή 347:

Status : Pick first arrival

time=23.762msec

Distance (m)



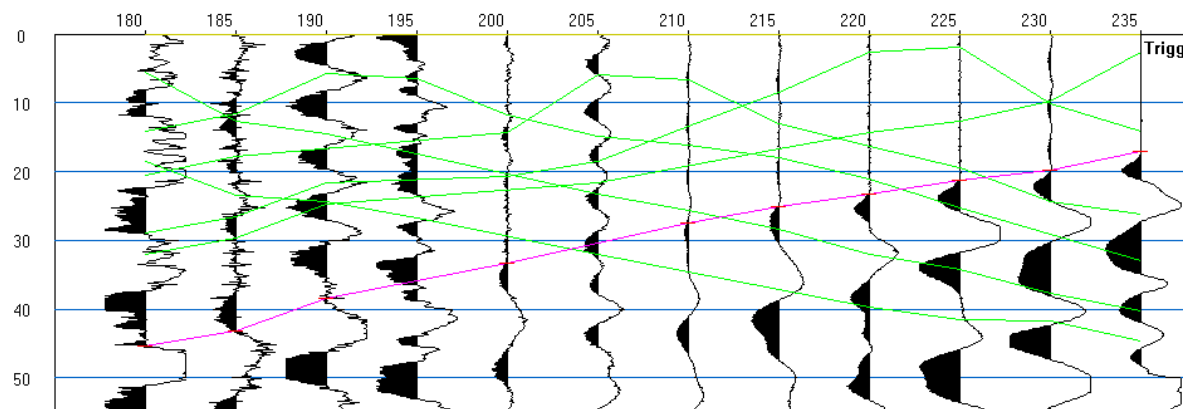
### Καταγραφή 348:

Status : Pick first arrival

time=23.762msec

Distance (m)

Source=252.5m



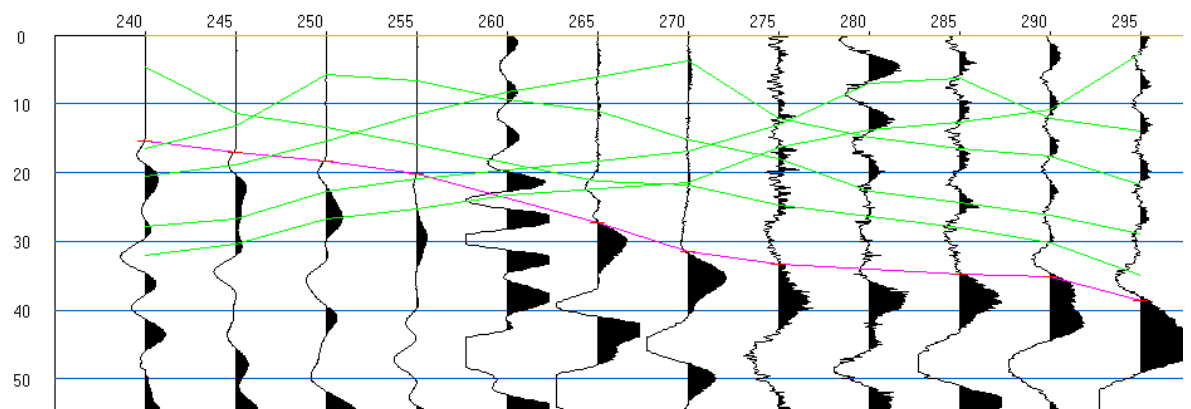
### Καταγραφή 352:

Status : Pick first arrival

time=24.523msec

Distance (m)

Source=222.5m



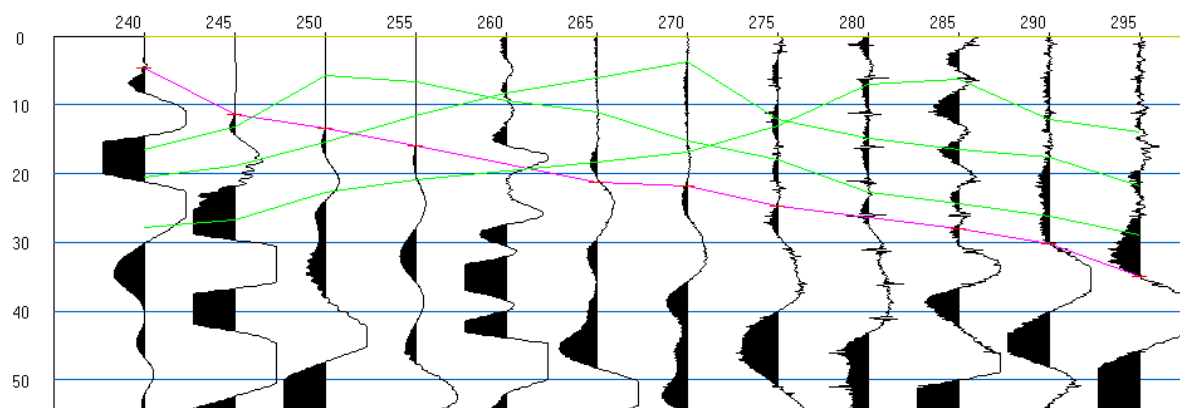
### Καταγραφή 353:

Status : Pick first arrival

time=15.744msec

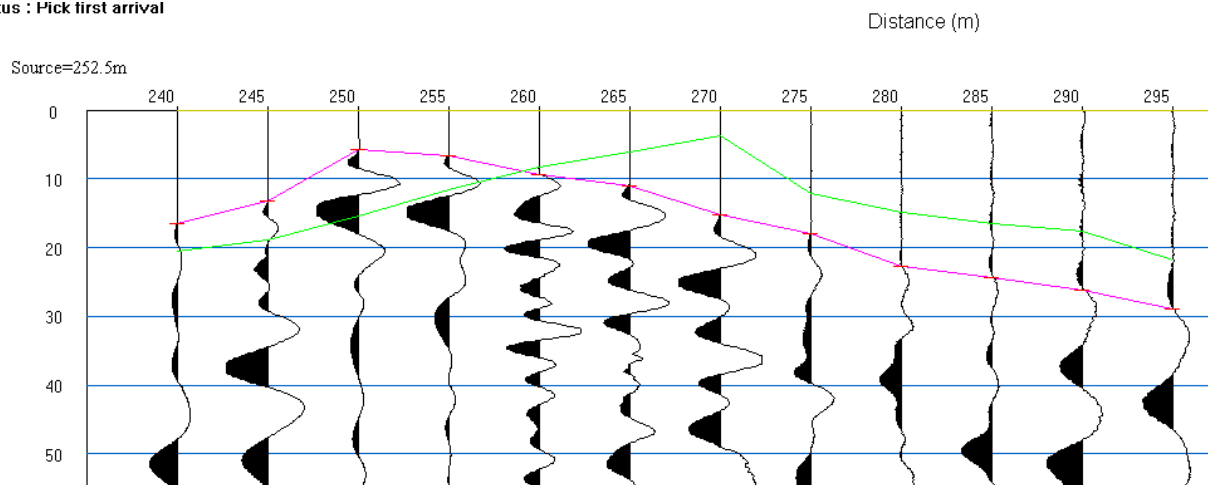
Distance (m)

Source=237.5m



### Καταγραφή 354:

Status : Pick first arrival

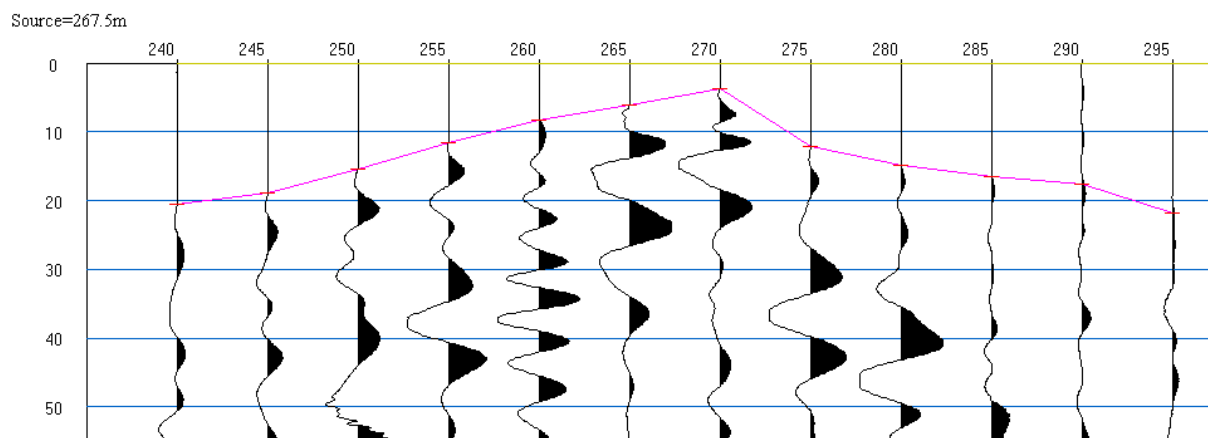


### Καταγραφή 355:

Status : Pick first arrival

time=59.230msec

Distance (m)

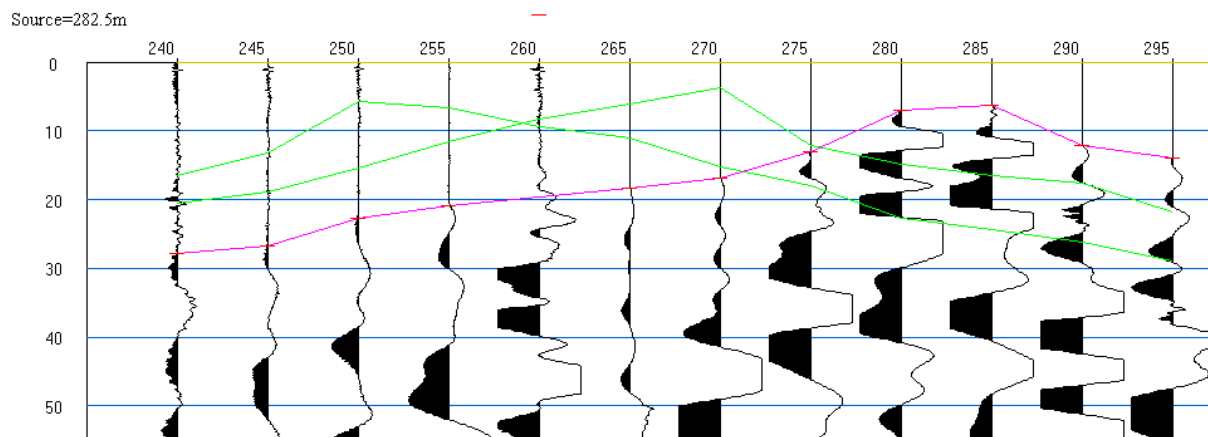


### Καταγραφή 356:

Status : Pick first arrival

time=31.839msec

Distance (m)



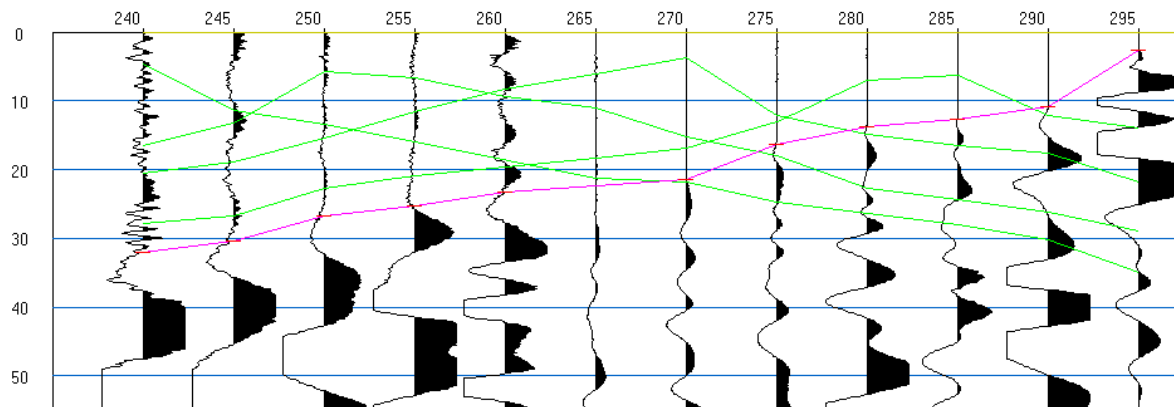
### Καταγραφή 357:

Status : Pick first arrival

time=36.755msec

Distance (m)

Source=297.5m



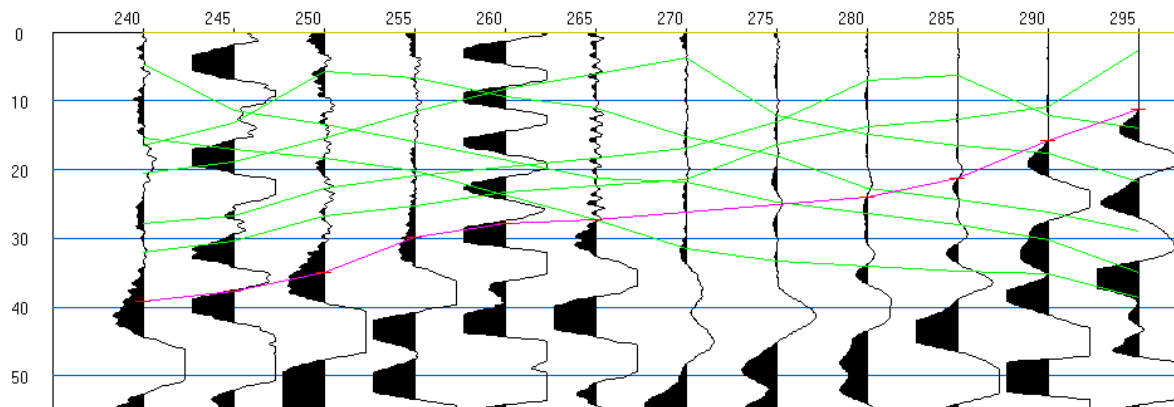
### Καταγραφή 358:

Status : Pick first arrival

time=59.230msec

Distance (m)

Source=312.5m

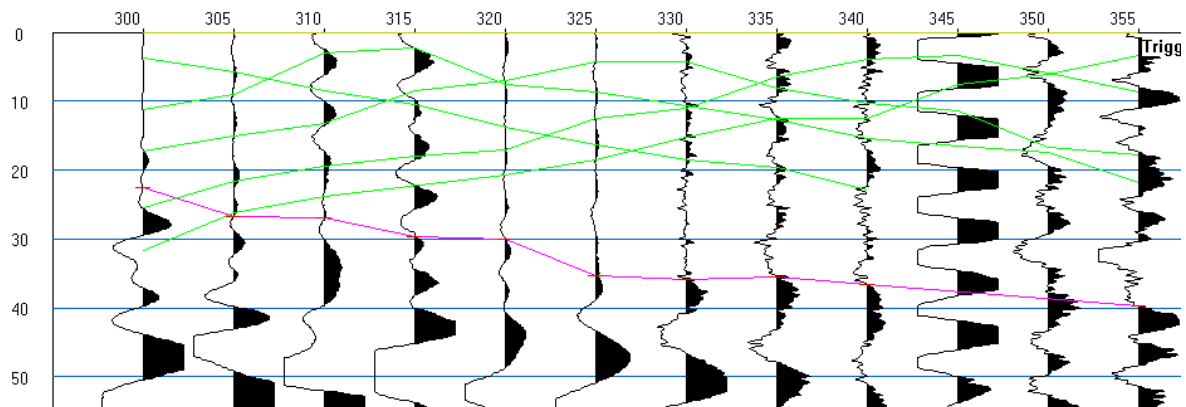


### Καταγραφή 362:

Status : Pick first arrival

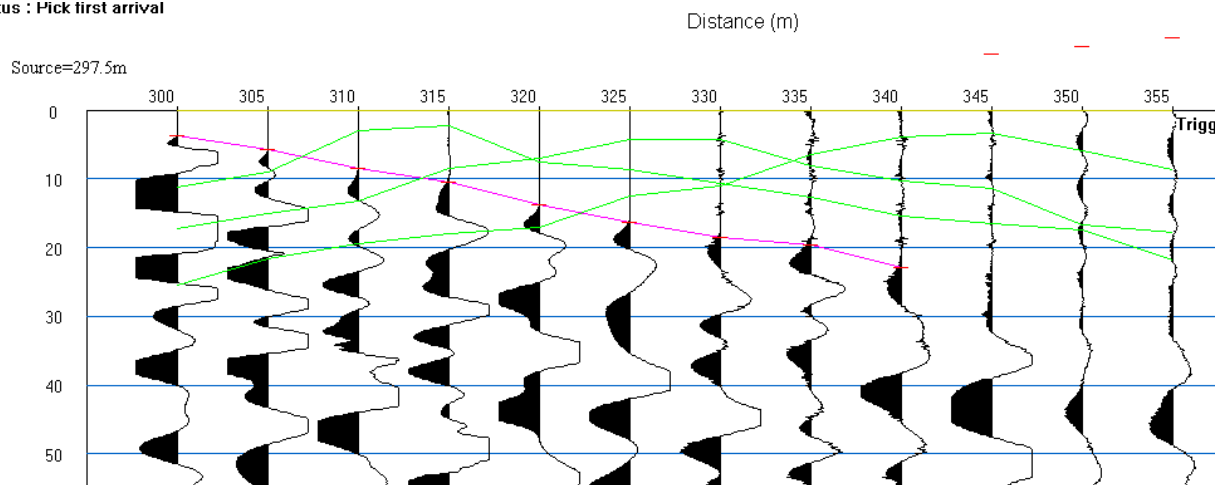
Distance (m)

Source=282.5m



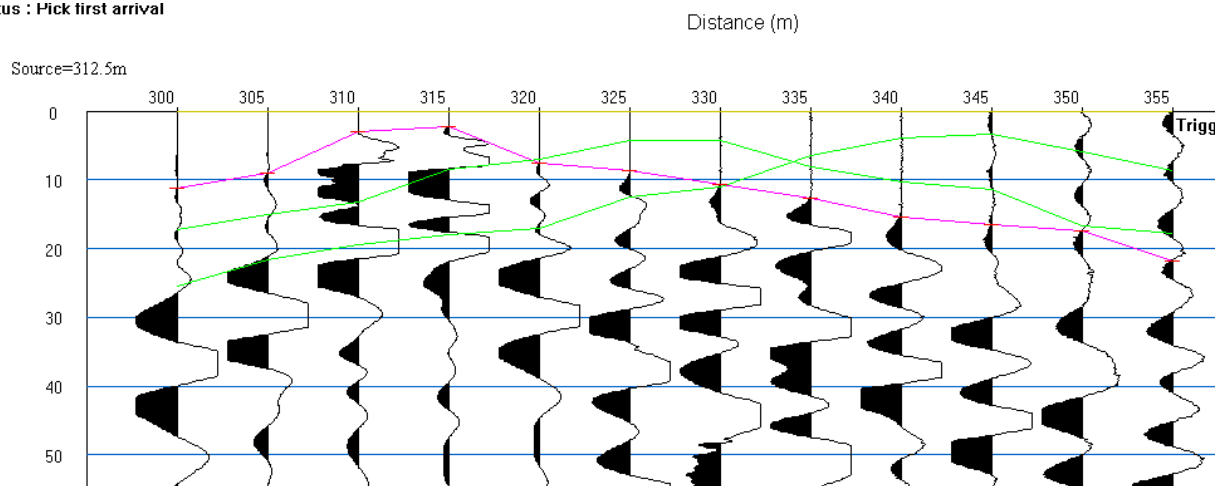
### Καταγραφή 363:

Status : Pick first arrival



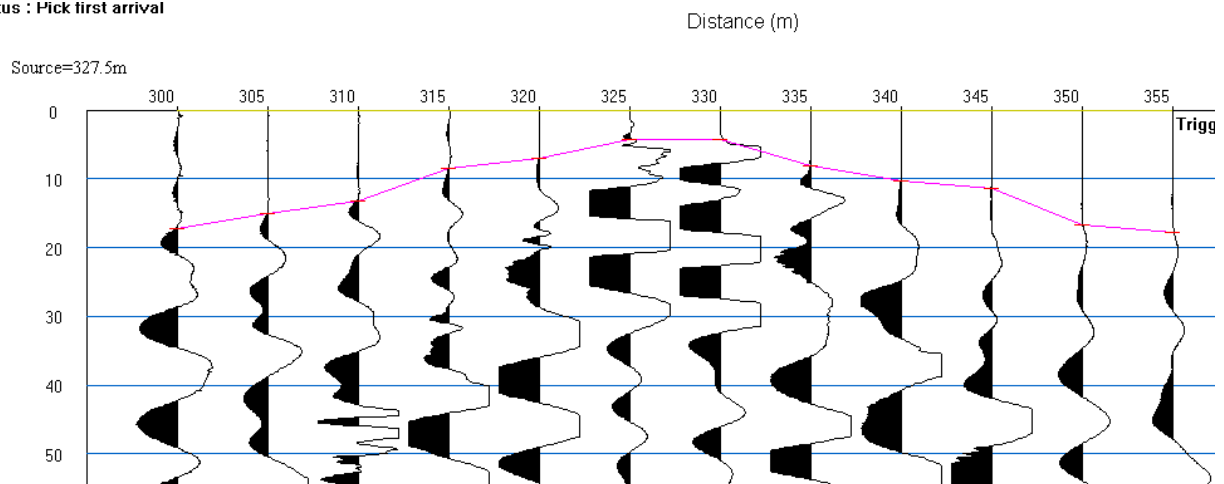
### Καταγραφή 364:

Status : Pick first arrival



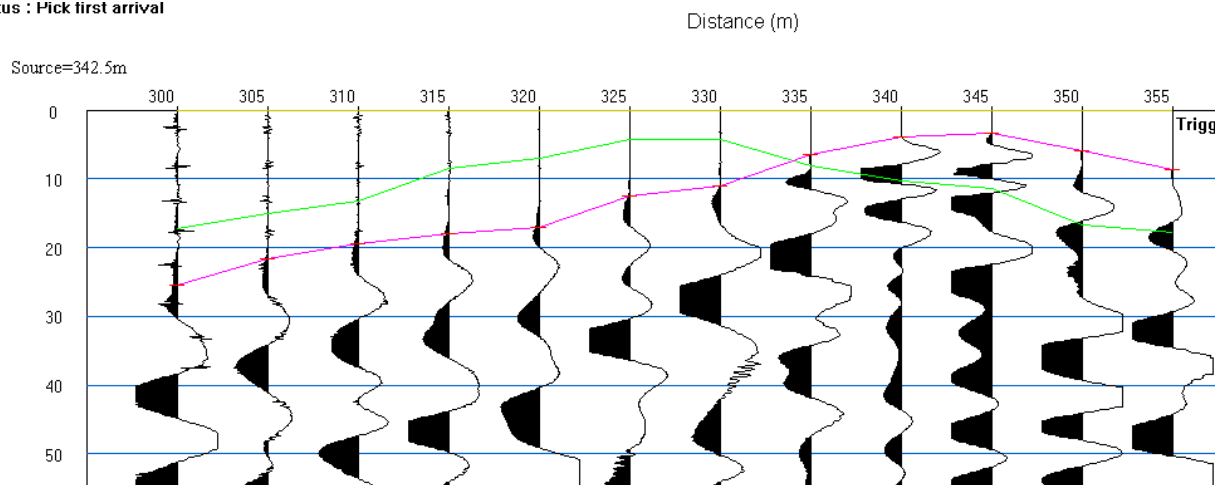
### Καταγραφή 365:

Status : Pick first arrival



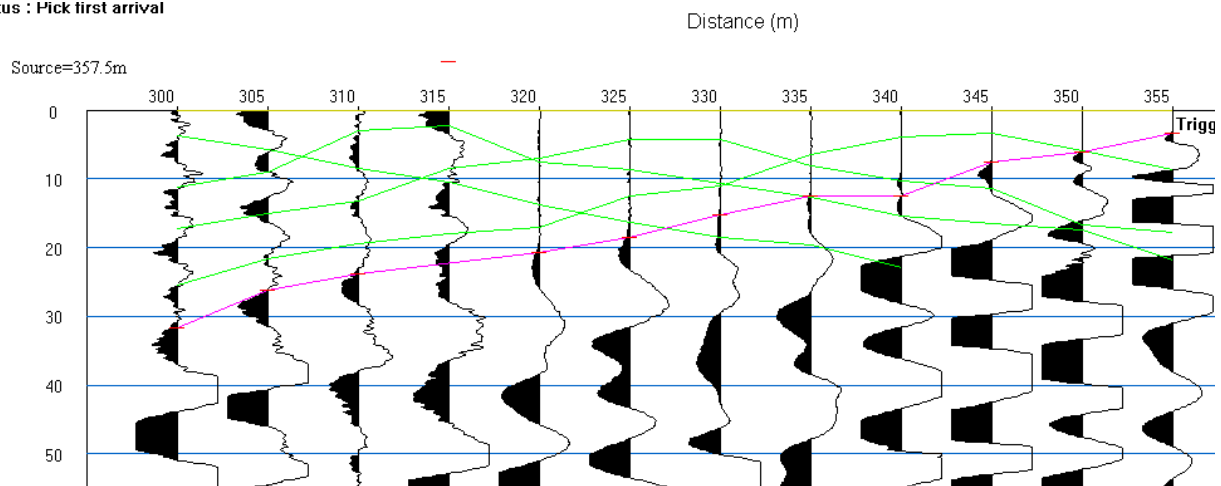
### Καταγραφή 366:

Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 367:

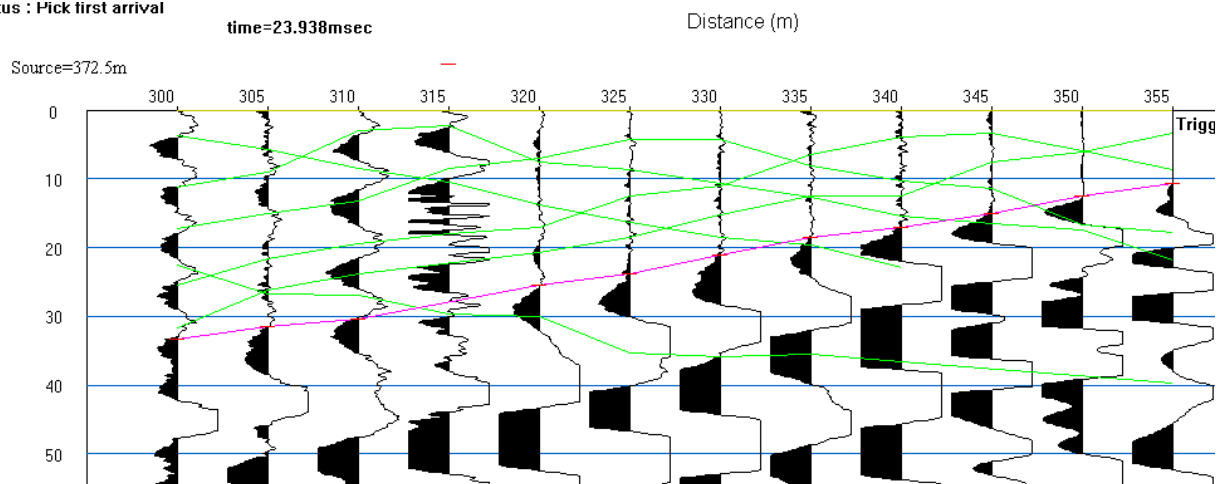
Status : Pick first arrival



### Καταγραφή 368:

Status : Pick first arrival

time=23.938msec



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΧΤΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Line 1:

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση<br>(m) | Επίπεδο | ρ (Ωm.m) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση<br>(m) | Επίπεδο | ρ.(Ωm.m) |
|-----------------|-----------------|---------|----------|-----------------|-----------------|---------|----------|
| 15              | 10              | 1       | 41.92    | 465             | 10              | 1       | 165.95   |
| 25              | 10              | 1       | 47.62    | 475             | 10              | 1       | 146.41   |
| 35              | 10              | 1       | 54.13    | 485             | 10              | 1       | 124.50   |
| 45              | 10              | 1       | 62.79    | 495             | 10              | 1       | 109.76   |
| 55              | 10              | 1       | 75.59    | 505             | 10              | 1       | 100.34   |
| 65              | 10              | 1       | 76.45    | 515             | 10              | 1       | 78.20    |
| 75              | 10              | 1       | 85.11    | 525             | 10              | 1       | 88.98    |
| 85              | 10              | 1       | 91.14    | 535             | 10              | 1       | 69.00    |
| 95              | 10              | 1       | 113.83   | 545             | 10              | 1       | 76.12    |
| 105             | 10              | 1       | 101.48   | 555             | 10              | 1       | 103.79   |
| 115             | 10              | 1       | 111.86   | 565             | 10              | 1       | 106.64   |
| 125             | 10              | 1       | 124.87   | 575             | 10              | 1       | 126.15   |
| 135             | 10              | 1       | 154.24   | 585             | 10              | 1       | 147.20   |
| 145             | 10              | 1       | 159.46   | 25              | 10              | 2       | 66.32    |
| 165             | 10              | 1       | 146.04   | 35              | 10              | 2       | 70.98    |
| 175             | 10              | 1       | 10563.00 | 45              | 10              | 2       | 81.84    |
| 195             | 10              | 1       | 128.21   | 55              | 10              | 2       | 106.80   |
| 205             | 10              | 1       | 155.37   | 65              | 10              | 2       | 99.99    |
| 215             | 10              | 1       | 107.38   | 75              | 10              | 2       | 99.46    |
| 225             | 10              | 1       | 168.04   | 85              | 10              | 2       | 128.91   |
| 235             | 10              | 1       | 137.00   | 95              | 10              | 2       | 154.56   |
| 245             | 10              | 1       | 132.63   | 105             | 10              | 2       | 142.84   |
| 255             | 10              | 1       | 150.02   | 115             | 10              | 2       | 138.43   |
| 265             | 10              | 1       | 122.53   | 125             | 10              | 2       | 133.97   |
| 275             | 10              | 1       | 163.86   | 135             | 10              | 2       | 172.70   |
| 285             | 10              | 1       | 135.27   | 155             | 10              | 2       | 170.35   |
| 295             | 10              | 1       | 171.96   | 165             | 10              | 2       | 10621.00 |
| 305             | 10              | 1       | 148.48   | 175             | 10              | 2       | 22652.00 |
| 315             | 10              | 1       | 150.68   | 185             | 10              | 2       | 125.30   |
| 325             | 10              | 1       | 149.53   | 205             | 10              | 2       | 186.73   |
| 335             | 10              | 1       | 123.44   | 215             | 10              | 2       | 131.78   |
| 345             | 10              | 1       | 114.36   | 225             | 10              | 2       | 186.94   |
| 355             | 10              | 1       | 113.32   | 235             | 10              | 2       | 170.25   |
| 365             | 10              | 1       | 138.21   | 245             | 10              | 2       | 169.25   |
| 375             | 10              | 1       | 101.14   | 255             | 10              | 2       | 182.63   |
| 385             | 10              | 1       | 117.50   | 265             | 10              | 2       | 172.28   |
| 395             | 10              | 1       | 101.43   | 275             | 10              | 2       | 208.48   |
| 405             | 10              | 1       | 113.51   | 285             | 10              | 2       | 166.31   |
| 415             | 10              | 1       | 164.07   | 295             | 10              | 2       | 191.97   |
| 425             | 10              | 1       | 159.84   | 305             | 10              | 2       | 175.47   |
| 435             | 10              | 1       | 118.53   | 315             | 10              | 2       | 156.22   |
| 445             | 10              | 1       | 156.35   | 325             | 10              | 2       | 178.65   |
| 455             | 10              | 1       | 160.72   | 335             | 10              | 2       | 145.10   |
|                 |                 |         |          | 345             | 10              | 2       | 101.04   |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.m)   | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) |
|-----------------|-------------------------|------------|-----------------|-------------------------|----------|
| 355             | 10                      | 2 126.12   | 335             | 10                      | 3 147.97 |
| 365             | 10                      | 2 125.79   | 345             | 10                      | 3 93.14  |
| 375             | 10                      | 2 144.16   | 355             | 10                      | 3 103.18 |
| 385             | 10                      | 2 110.91   | 365             | 10                      | 3 175.82 |
| 395             | 10                      | 2 99.20    | 375             | 10                      | 3 144.85 |
| 405             | 10                      | 2 158.41   | 385             | 10                      | 3 103.86 |
| 415             | 10                      | 2 194.26   | 395             | 10                      | 3 109.70 |
| 425             | 10                      | 2 156.11   | 405             | 10                      | 3 179.30 |
| 435             | 10                      | 2 123.68   | 415             | 10                      | 3 208.01 |
| 445             | 10                      | 2 156.93   | 425             | 10                      | 3 134.66 |
| 455             | 10                      | 2 201.68   | 435             | 10                      | 3 98.54  |
| 465             | 10                      | 2 194.96   | 445             | 10                      | 3 138.85 |
| 475             | 10                      | 2 131.41   | 455             | 10                      | 3 213.52 |
| 485             | 10                      | 2 101.20   | 465             | 10                      | 3 210.44 |
| 495             | 10                      | 2 135.16   | 475             | 10                      | 3 143.14 |
| 505             | 10                      | 2 124.29   | 485             | 10                      | 3 91.39  |
| 515             | 10                      | 2 105.42   | 495             | 10                      | 3 111.27 |
| 525             | 10                      | 2 107.40   | 505             | 10                      | 3 125.35 |
| 535             | 10                      | 2 83.30    | 515             | 10                      | 3 114.28 |
| 545             | 10                      | 2 98.32    | 525             | 10                      | 3 109.76 |
| 555             | 10                      | 2 132.05   | 535             | 10                      | 3 86.21  |
| 565             | 10                      | 2 109.19   | 545             | 10                      | 3 99.13  |
| 575             | 10                      | 2 125.56   | 555             | 10                      | 3 131.02 |
| 35              | 10                      | 3 89.15    | 565             | 10                      | 3 111.46 |
| 45              | 10                      | 3 105.48   | 45              | 10                      | 4 121.34 |
| 55              | 10                      | 3 133.45   | 55              | 10                      | 4 139.95 |
| 65              | 10                      | 3 109.02   | 65              | 10                      | 4 113.84 |
| 75              | 10                      | 3 109.21   | 75              | 10                      | 4 119.25 |
| 85              | 10                      | 3 141.02   | 85              | 10                      | 4 158.08 |
| 95              | 10                      | 3 189.67   | 95              | 10                      | 4 185.08 |
| 105             | 10                      | 3 160.56   | 105             | 10                      | 4 156.06 |
| 115             | 10                      | 3 129.02   | 115             | 10                      | 4 122.32 |
| 125             | 10                      | 3 124.73   | 125             | 10                      | 4 126.52 |
| 145             | 10                      | 3 191.32   | 135             | 10                      | 4 185.24 |
| 155             | 10                      | 3 193.33   | 145             | 10                      | 4 206.17 |
| 165             | 10                      | 3 24039.00 | 155             | 10                      | 4 198.64 |
| 175             | 10                      | 3 55956.00 | 165             | 10                      | 4 127.15 |
| 185             | 10                      | 3 134.66   | 175             | 10                      | 4 162.29 |
| 195             | 10                      | 3 190.77   | 185             | 10                      | 4 139.22 |
| 215             | 10                      | 3 153.55   | 195             | 10                      | 4 194.18 |
| 225             | 10                      | 3 187.21   | 205             | 10                      | 4 235.15 |
| 235             | 10                      | 3 178.96   | 215             | 10                      | 4 162.04 |
| 245             | 10                      | 3 178.11   | 225             | 10                      | 4 198.00 |
| 255             | 10                      | 3 191.42   | 235             | 10                      | 4 168.61 |
| 265             | 10                      | 3 179.96   | 245             | 10                      | 4 181.63 |
| 275             | 10                      | 3 218.16   | 255             | 10                      | 4 196.70 |
| 285             | 10                      | 3 170.94   | 265             | 10                      | 4 175.35 |
| 295             | 10                      | 3 192.70   | 275             | 10                      | 4 203.42 |
| 305             | 10                      | 3 167.37   | 285             | 10                      | 4 166.49 |
| 315             | 10                      | 3 175.83   | 295             | 10                      | 4 187.20 |
| 325             | 10                      | 3 188.49   | 305             | 10                      | 4 174.67 |
|                 |                         |            | 315             | 10                      | 4 184.02 |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------|
| 325             | 10                      | 4 179.70 | 335             | 10                      | 5 144.78 |
| 345             | 10                      | 4 68.97  | 345             | 10                      | 5 77.48  |
| 355             | 10                      | 4 118.01 | 355             | 10                      | 5 106.12 |
| 365             | 10                      | 4 170.59 | 365             | 10                      | 5 177.88 |
| 375             | 10                      | 4 152.53 | 375             | 10                      | 5 153.87 |
| 385             | 10                      | 4 101.37 | 385             | 10                      | 5 119.12 |
| 395             | 10                      | 4 123.71 | 395             | 10                      | 5 115.00 |
| 405             | 10                      | 4 168.63 | 405             | 10                      | 5 157.18 |
| 415             | 10                      | 4 195.06 | 415             | 10                      | 5 166.16 |
| 425             | 10                      | 4 134.13 | 425             | 10                      | 5 116.77 |
| 435             | 10                      | 4 77.30  | 435             | 10                      | 5 84.66  |
| 445             | 10                      | 4 112.52 | 445             | 10                      | 5 77.08  |
| 455             | 10                      | 4 198.26 | 455             | 10                      | 5 159.40 |
| 465             | 10                      | 4 205.87 | 465             | 10                      | 5 201.56 |
| 475             | 10                      | 4 160.59 | 475             | 10                      | 5 152.36 |
| 485             | 10                      | 4 95.73  | 485             | 10                      | 5 105.79 |
| 495             | 10                      | 4 102.21 | 495             | 10                      | 5 112.15 |
| 505             | 10                      | 4 114.11 | 505             | 10                      | 5 94.77  |
| 515             | 10                      | 4 107.62 | 515             | 10                      | 5 95.20  |
| 525             | 10                      | 4 116.66 | 525             | 10                      | 5 117.29 |
| 535             | 10                      | 4 94.39  | 535             | 10                      | 5 96.52  |
| 545             | 10                      | 4 96.43  | 545             | 10                      | 5 104.77 |
| 555             | 10                      | 4 130.24 | 65              | 10                      | 6 137.61 |
| 55              | 10                      | 5 147.92 | 75              | 10                      | 6 121.47 |
| 65              | 10                      | 5 127.19 | 85              | 10                      | 6 160.64 |
| 75              | 10                      | 5 132.88 | 95              | 10                      | 6 172.12 |
| 85              | 10                      | 5 160.10 | 105             | 10                      | 6 137.73 |
| 95              | 10                      | 5 180.77 | 115             | 10                      | 6 120.92 |
| 105             | 10                      | 5 136.05 | 125             | 10                      | 6 142.67 |
| 115             | 10                      | 5 123.31 | 135             | 10                      | 6 185.54 |
| 125             | 10                      | 5 129.58 | 145             | 10                      | 6 191.96 |
| 135             | 10                      | 5 191.96 | 155             | 10                      | 6 202.37 |
| 145             | 10                      | 5 192.24 | 165             | 10                      | 6 143.01 |
| 155             | 10                      | 5 197.37 | 175             | 10                      | 6 182.11 |
| 165             | 10                      | 5 142.09 | 185             | 10                      | 6 141.10 |
| 175             | 10                      | 5 167.65 | 195             | 10                      | 6 193.86 |
| 185             | 10                      | 5 136.54 | 205             | 10                      | 6 204.23 |
| 195             | 10                      | 5 200.20 | 215             | 10                      | 6 166.53 |
| 205             | 10                      | 5 228.85 | 225             | 10                      | 6 205.93 |
| 215             | 10                      | 5 168.26 | 235             | 10                      | 6 172.89 |
| 225             | 10                      | 5 201.75 | 245             | 10                      | 6 166.38 |
| 235             | 10                      | 5 179.13 | 255             | 10                      | 6 173.55 |
| 245             | 10                      | 5 163.75 | 265             | 10                      | 6 159.35 |
| 255             | 10                      | 5 190.96 | 275             | 10                      | 6 183.73 |
| 265             | 10                      | 5 171.32 | 285             | 10                      | 6 153.52 |
| 275             | 10                      | 5 188.66 | 295             | 10                      | 6 191.07 |
| 285             | 10                      | 5 152.02 | 305             | 10                      | 6 164.89 |
| 295             | 10                      | 5 193.39 | 315             | 10                      | 6 151.73 |
| 305             | 10                      | 5 178.43 | 325             | 10                      | 6 147.15 |
| 315             | 10                      | 5 162.93 | 335             | 10                      | 6 149.05 |
| 325             | 10                      | 5 173.21 | 345             | 10                      | 6 65.35  |
| 335             | 10                      | 5 144.78 |                 |                         |          |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------|
| 355             | 10                      | 6 115.92 | 385             | 10                      | 7 126.90 |
| 365             | 10                      | 6 182.52 | 395             | 10                      | 7 83.65  |
| 375             | 10                      | 6 159.65 | 405             | 10                      | 7 120.13 |
| 385             | 10                      | 6 116.89 | 415             | 10                      | 7 137.41 |
| 395             | 10                      | 6 103.93 | 425             | 10                      | 7 107.10 |
| 405             | 10                      | 6 142.74 | 435             | 10                      | 7 74.67  |
| 415             | 10                      | 6 161.70 | 445             | 10                      | 7 92.30  |
| 425             | 10                      | 6 112.07 | 455             | 10                      | 7 129.84 |
| 435             | 10                      | 6 76.70  | 465             | 10                      | 7 115.08 |
| 445             | 10                      | 6 95.77  | 475             | 10                      | 7 111.18 |
| 455             | 10                      | 6 125.41 | 485             | 10                      | 7 97.10  |
| 465             | 10                      | 6 147.34 | 495             | 10                      | 7 98.04  |
| 475             | 10                      | 6 157.12 | 505             | 10                      | 7 105.23 |
| 485             | 10                      | 6 102.07 | 515             | 10                      | 7 94.19  |
| 495             | 10                      | 6 112.68 | 525             | 10                      | 7 111.88 |
| 505             | 10                      | 6 88.58  | 85              | 10                      | 8 163.45 |
| 515             | 10                      | 6 96.53  | 95              | 10                      | 8 175.14 |
| 525             | 10                      | 6 113.83 | 105             | 10                      | 8 171.94 |
| 535             | 10                      | 6 97.78  | 115             | 10                      | 8 141.19 |
| 75              | 10                      | 7 130.11 | 125             | 10                      | 8 153.95 |
| 85              | 10                      | 7 143.87 | 135             | 10                      | 8 175.57 |
| 95              | 10                      | 7 178.35 | 145             | 10                      | 8 197.32 |
| 105             | 10                      | 7 154.39 | 155             | 10                      | 8 176.43 |
| 115             | 10                      | 7 134.94 | 165             | 10                      | 8 166.78 |
| 125             | 10                      | 7 107.72 | 175             | 10                      | 8 157.29 |
| 135             | 10                      | 7 200.91 | 185             | 10                      | 8 161.95 |
| 145             | 10                      | 7 218.14 | 195             | 10                      | 8 187.36 |
| 155             | 10                      | 7 196.66 | 205             | 10                      | 8 184.73 |
| 165             | 10                      | 7 139.16 | 215             | 10                      | 8 174.99 |
| 175             | 10                      | 7 178.45 | 225             | 10                      | 8 164.60 |
| 185             | 10                      | 7 158.16 | 235             | 10                      | 8 167.78 |
| 195             | 10                      | 7 186.93 | 245             | 10                      | 8 168.25 |
| 205             | 10                      | 7 202.65 | 255             | 10                      | 8 145.27 |
| 215             | 10                      | 7 160.00 | 265             | 10                      | 8 164.04 |
| 225             | 10                      | 7 193.07 | 275             | 10                      | 8 155.78 |
| 235             | 10                      | 7 175.69 | 285             | 10                      | 8 170.79 |
| 245             | 10                      | 7 169.40 | 295             | 10                      | 8 149.64 |
| 255             | 10                      | 7 173.25 | 305             | 10                      | 8 137.09 |
| 265             | 10                      | 7 137.87 | 315             | 10                      | 8 145.05 |
| 275             | 10                      | 7 190.10 | 325             | 10                      | 8 123.09 |
| 285             | 10                      | 7 161.06 | 335             | 10                      | 8 123.67 |
| 295             | 10                      | 7 174.86 | 345             | 10                      | 8 108.91 |
| 305             | 10                      | 7 145.97 | 355             | 10                      | 8 119.94 |
| 315             | 10                      | 7 135.67 | 365             | 10                      | 8 148.92 |
| 325             | 10                      | 7 153.10 | 375             | 10                      | 8 151.24 |
| 335             | 10                      | 7 92.78  | 385             | 10                      | 8 132.34 |
| 345             | 10                      | 7 79.56  | 395             | 10                      | 8 118.35 |
| 355             | 10                      | 7 116.29 | 405             | 10                      | 8 102.51 |
| 365             | 10                      | 7 179.57 | 415             | 10                      | 8 110.30 |
| 375             | 10                      | 7 154.32 |                 |                         |          |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ)  |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|-----------|
| 425             | 10                      | 8 101.35 | 495             | 10                      | 9 70.34   |
| 435             | 10                      | 8 89.54  | 505             | 10                      | 9 111.83  |
| 445             | 10                      | 8 98.37  | 105             | 10                      | 10 173.53 |
| 455             | 10                      | 8 114.55 | 115             | 10                      | 10 151.29 |
| 465             | 10                      | 8 107.24 | 125             | 10                      | 10 166.19 |
| 475             | 10                      | 8 69.90  | 135             | 10                      | 10 172.85 |
| 485             | 10                      | 8 72.07  | 145             | 10                      | 10 189.93 |
| 495             | 10                      | 8 98.66  | 155             | 10                      | 10 173.45 |
| 505             | 10                      | 8 102.50 | 165             | 10                      | 10 129.69 |
| 515             | 10                      | 8 104.85 | 175             | 10                      | 10 139.46 |
| 95              | 10                      | 9 184.27 | 185             | 10                      | 10 152.37 |
| 105             | 10                      | 9 160.20 | 195             | 10                      | 10 172.41 |
| 115             | 10                      | 9 150.93 | 205             | 10                      | 10 180.88 |
| 125             | 10                      | 9 161.92 | 215             | 10                      | 10 190.10 |
| 135             | 10                      | 9 172.19 | 225             | 10                      | 10 152.01 |
| 145             | 10                      | 9 188.62 | 235             | 10                      | 10 145.44 |
| 155             | 10                      | 9 177.90 | 245             | 10                      | 10 156.01 |
| 165             | 10                      | 9 173.16 | 255             | 10                      | 10 150.08 |
| 175             | 10                      | 9 112.96 | 265             | 10                      | 10 157.47 |
| 185             | 10                      | 9 165.58 | 275             | 10                      | 10 135.02 |
| 195             | 10                      | 9 183.12 | 285             | 10                      | 10 142.96 |
| 205             | 10                      | 9 188.39 | 295             | 10                      | 10 132.35 |
| 215             | 10                      | 9 173.81 | 305             | 10                      | 10 127.04 |
| 225             | 10                      | 9 155.27 | 315             | 10                      | 10 137.79 |
| 235             | 10                      | 9 159.13 | 325             | 10                      | 10 129.41 |
| 245             | 10                      | 9 150.09 | 335             | 10                      | 10 112.60 |
| 255             | 10                      | 9 159.03 | 345             | 10                      | 10 91.93  |
| 265             | 10                      | 9 163.65 | 355             | 10                      | 10 106.63 |
| 275             | 10                      | 9 146.00 | 365             | 10                      | 10 143.08 |
| 285             | 10                      | 9 144.42 | 375             | 10                      | 10 159.17 |
| 295             | 10                      | 9 138.82 | 385             | 10                      | 10 122.58 |
| 305             | 10                      | 9 146.54 | 395             | 10                      | 10 93.60  |
| 315             | 10                      | 9 104.65 | 405             | 10                      | 10 78.78  |
| 325             | 10                      | 9 135.38 | 415             | 10                      | 10 103.63 |
| 335             | 10                      | 9 117.32 | 425             | 10                      | 10 99.24  |
| 345             | 10                      | 9 105.86 | 435             | 10                      | 10 86.84  |
| 355             | 10                      | 9 104.33 | 445             | 10                      | 10 88.86  |
| 365             | 10                      | 9 149.80 | 455             | 10                      | 10 98.07  |
| 375             | 10                      | 9 153.12 | 465             | 10                      | 10 73.67  |
| 385             | 10                      | 9 127.53 | 475             | 10                      | 10 75.30  |
| 395             | 10                      | 9 113.02 | 485             | 10                      | 10 51.96  |
| 405             | 10                      | 9 77.60  | 495             | 10                      | 10 49.48  |
| 415             | 10                      | 9 109.47 | 115             | 10                      | 11 153.49 |
| 425             | 10                      | 9 103.34 | 125             | 10                      | 11 153.37 |
| 435             | 10                      | 9 83.47  | 135             | 10                      | 11 177.95 |
| 445             | 10                      | 9 101.66 | 145             | 10                      | 11 196.38 |
| 455             | 10                      | 9 104.79 | 155             | 10                      | 11 124.46 |
| 465             | 10                      | 9 89.64  | 165             | 10                      | 11 146.54 |
| 475             | 10                      | 9 74.36  | 175             | 10                      | 11 128.11 |
| 485             | 10                      | 9 45.18  |                 |                         |           |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ)  | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ)  |
|-----------------|-------------------------|-----------|-----------------|-------------------------|-----------|
| 185             | 10                      | 11 147.77 | 375             | 10                      | 12 160.80 |
| 195             | 10                      | 11 166.47 | 385             | 10                      | 12 112.92 |
| 205             | 10                      | 11 170.83 | 395             | 10                      | 12 92.10  |
| 215             | 10                      | 11 183.16 | 405             | 10                      | 12 56.50  |
| 225             | 10                      | 11 149.23 | 415             | 10                      | 12 89.53  |
| 235             | 10                      | 11 149.99 | 425             | 10                      | 12 105.05 |
| 245             | 10                      | 11 149.50 | 435             | 10                      | 12 81.36  |
| 255             | 10                      | 11 132.29 | 445             | 10                      | 12 76.73  |
| 265             | 10                      | 11 135.90 | 455             | 10                      | 12 98.16  |
| 275             | 10                      | 11 125.25 | 465             | 10                      | 12 81.18  |
| 285             | 10                      | 11 155.73 | 475             | 10                      | 12 84.67  |
| 315             | 10                      | 11 143.92 | 135             | 10                      | 13 105.26 |
| 325             | 10                      | 11 129.51 | 145             | 10                      | 13 177.30 |
| 335             | 10                      | 11 96.00  | 155             | 10                      | 13 152.37 |
| 345             | 10                      | 11 98.87  | 165             | 10                      | 13 139.18 |
| 355             | 10                      | 11 104.04 | 175             | 10                      | 13 123.75 |
| 365             | 10                      | 11 135.12 | 185             | 10                      | 13 137.22 |
| 375             | 10                      | 11 153.82 | 195             | 10                      | 13 162.59 |
| 385             | 10                      | 11 119.99 | 205             | 10                      | 13 164.58 |
| 395             | 10                      | 11 94.85  | 215             | 10                      | 13 144.57 |
| 405             | 10                      | 11 66.70  | 225             | 10                      | 13 150.99 |
| 415             | 10                      | 11 96.92  | 235             | 10                      | 13 143.55 |
| 425             | 10                      | 11 101.33 | 245             | 10                      | 13 131.65 |
| 435             | 10                      | 11 90.73  | 255             | 10                      | 13 104.85 |
| 445             | 10                      | 11 84.43  | 265             | 10                      | 13 122.10 |
| 455             | 10                      | 11 82.53  | 335             | 10                      | 13 120.63 |
| 465             | 10                      | 11 96.54  | 345             | 10                      | 13 95.94  |
| 475             | 10                      | 11 74.69  | 355             | 10                      | 13 96.00  |
| 485             | 10                      | 11 52.34  | 365             | 10                      | 13 142.52 |
| 125             | 10                      | 12 157.75 | 375             | 10                      | 13 158.53 |
| 135             | 10                      | 12 176.83 | 385             | 10                      | 13 108.74 |
| 145             | 10                      | 12 160.20 | 395             | 10                      | 13 77.18  |
| 155             | 10                      | 12 155.37 | 405             | 10                      | 13 44.55  |
| 165             | 10                      | 12 138.29 | 415             | 10                      | 13 78.08  |
| 175             | 10                      | 12 120.38 | 425             | 10                      | 13 71.51  |
| 185             | 10                      | 12 149.16 | 435             | 10                      | 13 75.80  |
| 195             | 10                      | 12 163.97 | 445             | 10                      | 13 93.94  |
| 205             | 10                      | 12 166.51 | 455             | 10                      | 13 100.29 |
| 215             | 10                      | 12 184.75 | 465             | 10                      | 13 93.14  |
| 225             | 10                      | 12 148.42 | 145             | 10                      | 14 198.51 |
| 235             | 10                      | 12 155.92 | 155             | 10                      | 14 136.82 |
| 245             | 10                      | 12 135.78 | 165             | 10                      | 14 150.13 |
| 255             | 10                      | 12 118.25 | 175             | 10                      | 14 122.79 |
| 265             | 10                      | 12 120.19 | 185             | 10                      | 14 139.70 |
| 275             | 10                      | 12 127.42 | 195             | 10                      | 14 152.02 |
| 325             | 10                      | 12 127.61 | 205             | 10                      | 14 153.28 |
| 335             | 10                      | 12 110.13 | 215             | 10                      | 14 189.85 |
| 345             | 10                      | 12 92.39  | 225             | 10                      | 14 137.52 |
| 355             | 10                      | 12 98.75  | 235             | 10                      | 14 135.00 |
| 365             | 10                      | 12 137.09 |                 |                         |           |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ)  | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ)  |
|-----------------|-------------------------|-----------|-----------------|-------------------------|-----------|
| 245             | 10                      | 14 116.46 | 175             | 10                      | 17 99.93  |
| 255             | 10                      | 14 118.54 | 185             | 10                      | 17 140.14 |
| 345             | 10                      | 14 107.40 | 195             | 10                      | 17 153.66 |
| 355             | 10                      | 14 100.71 | 205             | 10                      | 17 148.73 |
| 365             | 10                      | 14 136.52 | 215             | 10                      | 17 167.04 |
| 375             | 10                      | 14 151.32 | 225             | 10                      | 17 123.81 |
| 385             | 10                      | 14 105.08 | 375             | 10                      | 17 210.85 |
| 395             | 10                      | 14 72.99  | 385             | 10                      | 17 82.60  |
| 405             | 10                      | 14 21.39  | 395             | 10                      | 17 14.32  |
| 415             | 10                      | 14 64.38  | 405             | 10                      | 17 11.69  |
| 425             | 10                      | 14 41.14  | 415             | 10                      | 17 59.17  |
| 435             | 10                      | 14 95.29  | 425             | 10                      | 17 84.93  |
| 445             | 10                      | 14 92.31  | 185             | 10                      | 18 133.18 |
| 455             | 10                      | 14 108.70 | 195             | 10                      | 18 142.86 |
| 155             | 10                      | 15 153.53 | 205             | 10                      | 18 147.39 |
| 165             | 10                      | 15 131.35 | 215             | 10                      | 18 145.01 |
| 175             | 10                      | 15 139.90 | 385             | 10                      | 18 88.76  |
| 185             | 10                      | 15 142.21 | 395             | 10                      | 18 46.26  |
| 195             | 10                      | 15 132.69 | 405             | 10                      | 18 13.12  |
| 205             | 10                      | 15 160.60 | 415             | 10                      | 18 59.67  |
| 215             | 10                      | 15 165.00 | 195             | 10                      | 19 152.78 |
| 225             | 10                      | 15 134.75 | 205             | 10                      | 19 129.75 |
| 235             | 10                      | 15 122.64 | 395             | 10                      | 19 59.39  |
| 245             | 10                      | 15 120.37 | 405             | 10                      | 19 14.17  |
| 355             | 10                      | 15 114.15 |                 |                         |           |
| 365             | 10                      | 15 144.23 |                 |                         |           |
| 375             | 10                      | 15 158.53 |                 |                         |           |
| 385             | 10                      | 15 100.48 |                 |                         |           |
| 395             | 10                      | 15 63.45  |                 |                         |           |
| 405             | 10                      | 15 1.05   |                 |                         |           |
| 415             | 10                      | 15 27.05  |                 |                         |           |
| 425             | 10                      | 15 122.60 |                 |                         |           |
| 435             | 10                      | 15 86.86  |                 |                         |           |
| 445             | 10                      | 15 97.37  |                 |                         |           |
| 165             | 10                      | 16 151.47 |                 |                         |           |
| 175             | 10                      | 16 126.69 |                 |                         |           |
| 185             | 10                      | 16 124.25 |                 |                         |           |
| 195             | 10                      | 16 164.27 |                 |                         |           |
| 205             | 10                      | 16 146.40 |                 |                         |           |
| 215             | 10                      | 16 159.32 |                 |                         |           |
| 225             | 10                      | 16 128.66 |                 |                         |           |
| 235             | 10                      | 16 128.08 |                 |                         |           |
| 365             | 10                      | 16 161.09 |                 |                         |           |
| 375             | 10                      | 16 168.59 |                 |                         |           |
| 385             | 10                      | 16 95.56  |                 |                         |           |
| 395             | 10                      | 16 36.70  |                 |                         |           |
| 405             | 10                      | 16 3.70   |                 |                         |           |
| 415             | 10                      | 16 61.22  |                 |                         |           |
| 425             | 10                      | 16 57.25  |                 |                         |           |
| 435             | 10                      | 16 112.76 |                 |                         |           |

Line 2:

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------|
| 15              | 10                      | 1 82.60  | 125             | 10                      | 2 43.86  |
| 25              | 10                      | 1 74.31  | 135             | 10                      | 2 61.08  |
| 35              | 10                      | 1 60.58  | 145             | 10                      | 2 63.26  |
| 45              | 10                      | 1 52.14  | 155             | 10                      | 2 52.05  |
| 55              | 10                      | 1 50.61  | 165             | 10                      | 2 62.69  |
| 65              | 10                      | 1 46.53  | 175             | 10                      | 2 62.47  |
| 75              | 10                      | 1 53.44  | 185             | 10                      | 2 61.39  |
| 85              | 10                      | 1 40.19  | 195             | 10                      | 2 83.81  |
| 95              | 10                      | 1 47.01  | 205             | 10                      | 2 62.13  |
| 105             | 10                      | 1 65.62  | 215             | 10                      | 2 65.05  |
| 115             | 10                      | 1 63.38  | 225             | 10                      | 2 58.13  |
| 125             | 10                      | 1 89.65  | 235             | 10                      | 2 61.57  |
| 135             | 10                      | 1 80.11  | 245             | 10                      | 2 69.42  |
| 145             | 10                      | 1 83.48  | 255             | 10                      | 2 53.68  |
| 155             | 10                      | 1 73.20  | 265             | 10                      | 2 52.12  |
| 165             | 10                      | 1 77.90  | 275             | 10                      | 2 51.72  |
| 175             | 10                      | 1 91.79  | 285             | 10                      | 2 65.46  |
| 185             | 10                      | 1 76.79  | 295             | 10                      | 2 73.91  |
| 195             | 10                      | 1 106.27 | 305             | 10                      | 2 88.06  |
| 205             | 10                      | 1 63.42  | 315             | 10                      | 2 119.38 |
| 215             | 10                      | 1 82.38  | 325             | 10                      | 2 135.76 |
| 225             | 10                      | 1 62.86  | 335             | 10                      | 2 141.04 |
| 235             | 10                      | 1 69.32  | 345             | 10                      | 2 138.14 |
| 245             | 10                      | 1 70.62  | 355             | 10                      | 2 159.87 |
| 255             | 10                      | 1 52.57  | 365             | 10                      | 2 154.87 |
| 265             | 10                      | 1 57.43  | 375             | 10                      | 2 84.38  |
| 275             | 10                      | 1 51.87  | 35              | 10                      | 3 46.57  |
| 285             | 10                      | 1 63.93  | 45              | 10                      | 3 45.72  |
| 295             | 10                      | 1 81.39  | 55              | 10                      | 3 42.51  |
| 305             | 10                      | 1 109.48 | 65              | 10                      | 3 41.05  |
| 315             | 10                      | 1 147.41 | 75              | 10                      | 3 43.95  |
| 325             | 10                      | 1 203.19 | 85              | 10                      | 3 30.45  |
| 335             | 10                      | 1 222.13 | 95              | 10                      | 3 43.98  |
| 345             | 10                      | 1 241.29 | 105             | 10                      | 3 40.97  |
| 355             | 10                      | 1 197.51 | 115             | 10                      | 3 33.97  |
| 365             | 10                      | 1 222.91 | 125             | 10                      | 3 34.06  |
| 375             | 10                      | 1 103.21 | 135             | 10                      | 3 41.06  |
| 385             | 10                      | 1 189.79 | 145             | 10                      | 3 47.36  |
| 25              | 10                      | 2 59.39  | 155             | 10                      | 3 40.21  |
| 35              | 10                      | 2 50.09  | 165             | 10                      | 3 39.26  |
| 45              | 10                      | 2 52.98  | 175             | 10                      | 3 50.51  |
| 55              | 10                      | 2 42.68  | 185             | 10                      | 3 50.52  |
| 65              | 10                      | 2 45.92  | 195             | 10                      | 3 68.6   |
| 75              | 10                      | 2 46.80  | 205             | 10                      | 3 44.57  |
|                 |                         |          | 215             | 10                      | 3 47.75  |
|                 |                         |          | 225             | 10                      | 3 42.20  |
|                 |                         |          | 235             | 10                      | 3 58.16  |
|                 |                         |          | 245             | 10                      | 3 62.88  |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------|
| 125             | 10                      | 5 26.87  | 255             | 10                      | 3 48.94  |
| 135             | 10                      | 5 30.45  | 265             | 10                      | 3 40.97  |
| 145             | 10                      | 5 24.93  | 275             | 10                      | 3 41.03  |
| 155             | 10                      | 5 21.21  | 285             | 10                      | 3 59.12  |
| 165             | 10                      | 5 30.13  | 295             | 10                      | 3 52.12  |
| 175             | 10                      | 5 32.50  | 305             | 10                      | 3 65.27  |
| 185             | 10                      | 5 23.11  | 315             | 10                      | 3 73.85  |
| 195             | 10                      | 5 31.06  | 325             | 10                      | 3 83.42  |
| 205             | 10                      | 5 21.76  | 335             | 10                      | 3 75.92  |
| 215             | 10                      | 5 25.15  | 345             | 10                      | 3 93.03  |
| 225             | 10                      | 5 22.84  | 355             | 10                      | 3 101.17 |
| 235             | 10                      | 5 35.46  | 365             | 10                      | 3 98.58  |
| 245             | 10                      | 5 40.94  | 45              | 10                      | 4 39.96  |
| 255             | 10                      | 5 34.29  | 55              | 10                      | 4 35.35  |
| 265             | 10                      | 5 24.21  | 75              | 10                      | 4 41.40  |
| 275             | 10                      | 5 14.92  | 85              | 10                      | 4 28.70  |
| 285             | 10                      | 5 23.99  | 95              | 10                      | 4 33.07  |
| 295             | 10                      | 5 19.41  | 105             | 10                      | 4 32.30  |
| 305             | 10                      | 5 30.63  | 115             | 10                      | 4 32.58  |
| 315             | 10                      | 5 33.11  | 125             | 10                      | 4 33.82  |
| 325             | 10                      | 5 37.60  | 135             | 10                      | 4 30.00  |
| 335             | 10                      | 5 33.38  | 145             | 10                      | 4 32.92  |
| 345             | 10                      | 5 47.82  | 155             | 10                      | 4 29.25  |
| 65              | 10                      | 6 32.86  | 165             | 10                      | 4 31.37  |
| 75              | 10                      | 6 23.45  | 175             | 10                      | 4 37.00  |
| 85              | 10                      | 6 10.08  | 185             | 10                      | 4 40.16  |
| 95              | 10                      | 6 19.51  | 195             | 10                      | 4 52.21  |
| 105             | 10                      | 6 24.51  | 205             | 10                      | 4 27.18  |
| 115             | 10                      | 6 17.72  | 215             | 10                      | 4 31.84  |
| 125             | 10                      | 6 55.12  | 225             | 10                      | 4 36.40  |
| 135             | 10                      | 6 25.77  | 235             | 10                      | 4 42.52  |
| 145             | 10                      | 6 27.19  | 245             | 10                      | 4 55.93  |
| 155             | 10                      | 6 20.73  | 255             | 10                      | 4 37.90  |
| 165             | 10                      | 6 22.74  | 265             | 10                      | 4 34.71  |
| 175             | 10                      | 6 27.22  | 275             | 10                      | 4 30.34  |
| 185             | 10                      | 6 3.45   | 285             | 10                      | 4 32.86  |
| 195             | 10                      | 6 22.63  | 295             | 10                      | 4 43.92  |
| 205             | 10                      | 6 16.65  | 305             | 10                      | 4 41.47  |
| 215             | 10                      | 6 14.55  | 315             | 10                      | 4 54.03  |
| 225             | 10                      | 6 17.54  | 325             | 10                      | 4 53.99  |
| 235             | 10                      | 6 21.95  | 335             | 10                      | 4 54.81  |
| 245             | 10                      | 6 36.62  | 345             | 10                      | 4 63.26  |
| 255             | 10                      | 6 19.77  | 355             | 10                      | 4 66.03  |
| 265             | 10                      | 6 6.45   | 55              | 10                      | 5 25.31  |
| 275             | 10                      | 6 14.42  | 65              | 10                      | 5 29.36  |
| 285             | 10                      | 6 5.32   | 75              | 10                      | 5 33.34  |
| 295             | 10                      | 6 2.38   | 85              | 10                      | 5 21.25  |
| 305             | 10                      | 6 16.55  | 95              | 10                      | 5 26.00  |
| 315             | 10                      | 6 26.81  | 105             | 10                      | 5 25.59  |
| 325             | 10                      | 6 21.26  | 115             | 10                      | 5 44.54  |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------|
| 125             | 10                      | 5 26.87  | 325             | 10                      | 6 21.26  |
| 135             | 10                      | 5 30.45  | 335             | 10                      | 6 29.37  |
| 145             | 10                      | 5 24.93  | 75              | 10                      | 7 11.36  |
| 155             | 10                      | 5 21.21  | 85              | 10                      | 7 8.17   |
| 165             | 10                      | 5 30.13  | 95              | 10                      | 7 14.25  |
| 175             | 10                      | 5 32.50  | 105             | 10                      | 7 9.96   |
| 185             | 10                      | 5 23.11  | 115             | 10                      | 7 29.26  |
| 195             | 10                      | 5 31.06  | 125             | 10                      | 7 24.22  |
| 205             | 10                      | 5 21.76  | 135             | 10                      | 7 37.60  |
| 215             | 10                      | 5 25.15  | 145             | 10                      | 7 46.07  |
| 225             | 10                      | 5 22.84  | 155             | 10                      | 7 22.04  |
| 235             | 10                      | 5 35.46  | 165             | 10                      | 7 16.36  |
| 245             | 10                      | 5 40.94  | 175             | 10                      | 7 13.67  |
| 255             | 10                      | 5 34.29  | 185             | 10                      | 7 20.25  |
| 265             | 10                      | 5 24.21  | 195             | 10                      | 7 21.80  |
| 275             | 10                      | 5 14.92  | 205             | 10                      | 7 2.04   |
| 285             | 10                      | 5 23.99  | 215             | 10                      | 7 8.64   |
| 295             | 10                      | 5 19.41  | 225             | 10                      | 7 13.06  |
| 305             | 10                      | 5 30.63  | 235             | 10                      | 7 17.86  |
| 315             | 10                      | 5 33.11  | 245             | 10                      | 7 18.52  |
| 325             | 10                      | 5 37.60  | 255             | 10                      | 7 1.69   |
| 335             | 10                      | 5 33.38  | 265             | 10                      | 7 8.54   |
| 345             | 10                      | 5 47.82  | 275             | 10                      | 7 2.63   |
| 65              | 10                      | 6 32.86  | 285             | 10                      | 7 1.94   |
| 75              | 10                      | 6 23.45  | 295             | 10                      | 7 0.13   |
| 85              | 10                      | 6 10.08  | 305             | 10                      | 7 1.32   |
| 95              | 10                      | 6 19.51  | 315             | 10                      | 7 6.79   |
| 105             | 10                      | 6 24.51  | 325             | 10                      | 7 31.09  |
| 115             | 10                      | 6 17.72  | 85              | 10                      | 8 14.63  |
| 125             | 10                      | 6 55.12  | 95              | 10                      | 8 11.59  |
| 135             | 10                      | 6 25.77  | 105             | 10                      | 8 14.16  |
| 145             | 10                      | 6 27.19  | 115             | 10                      | 8 14.62  |
| 155             | 10                      | 6 20.73  | 125             | 10                      | 8 20.70  |
| 165             | 10                      | 6 22.74  | 135             | 10                      | 8 19.70  |
| 175             | 10                      | 6 27.22  | 145             | 10                      | 8 31.09  |
| 185             | 10                      | 6 3.45   | 155             | 10                      | 8 21.88  |
| 195             | 10                      | 6 22.63  | 165             | 10                      | 8 12.37  |
| 205             | 10                      | 6 16.65  | 175             | 10                      | 8 14.99  |
| 215             | 10                      | 6 14.55  | 185             | 10                      | 8 18.77  |
| 225             | 10                      | 6 17.54  | 195             | 10                      | 8 14.43  |
| 235             | 10                      | 6 21.95  | 205             | 10                      | 8 15.35  |
| 245             | 10                      | 6 36.62  | 215             | 10                      | 8 12.16  |
| 255             | 10                      | 6 19.77  | 225             | 10                      | 8 15.74  |
| 265             | 10                      | 6 6.45   | 235             | 10                      | 8 20.80  |
| 275             | 10                      | 6 14.42  | 245             | 10                      | 8 18.78  |
| 285             | 10                      | 6 5.32   | 255             | 10                      | 8 19.34  |
| 295             | 10                      | 6 2.38   | 265             | 10                      | 8 13.78  |
| 305             | 10                      | 6 16.55  | 275             | 10                      | 8 12.73  |
| 315             | 10                      | 6 26.81  | 285             | 10                      | 8 14.41  |
|                 |                         |          | 295             | 10                      | 8 12.66  |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------|
| 305             | 10                      | 8 9.43   | 165             | 10                      | 11 6.20  |
| 315             | 10                      | 8 24.02  | 175             | 10                      | 11 26.30 |
| 95              | 10                      | 9 12.12  | 185             | 10                      | 11 14.96 |
| 105             | 10                      | 9 11.67  | 195             | 10                      | 11 12.82 |
| 115             | 10                      | 9 11.98  | 205             | 10                      | 11 8.88  |
| 125             | 10                      | 9 15.86  | 215             | 10                      | 11 2.75  |
| 135             | 10                      | 9 17.16  | 225             | 10                      | 11 10.38 |
| 145             | 10                      | 9 16.12  | 235             | 10                      | 11 8.33  |
| 155             | 10                      | 9 33.59  | 245             | 10                      | 11 8.36  |
| 165             | 10                      | 9 15.18  | 255             | 10                      | 11 8.40  |
| 175             | 10                      | 9 16.49  | 265             | 10                      | 11 2.48  |
| 185             | 10                      | 9 13.76  | 275             | 10                      | 11 6.79  |
| 195             | 10                      | 9 8.14   | 285             | 10                      | 11 5.21  |
| 205             | 10                      | 9 14.92  | 125             | 10                      | 12 3.91  |
| 215             | 10                      | 9 11.42  | 135             | 10                      | 12 7.90  |
| 225             | 10                      | 9 10.79  | 145             | 10                      | 12 9.26  |
| 235             | 10                      | 9 14.25  | 155             | 10                      | 12 1.94  |
| 245             | 10                      | 9 17.91  | 165             | 10                      | 12 9.97  |
| 255             | 10                      | 9 12.64  | 175             | 10                      | 12 10.16 |
| 265             | 10                      | 9 7.18   | 185             | 10                      | 12 33.64 |
| 275             | 10                      | 9 11.69  | 195             | 10                      | 12 3.59  |
| 285             | 10                      | 9 9.77   | 205             | 10                      | 12 2.77  |
| 295             | 10                      | 9 1.82   | 215             | 10                      | 12 4.01  |
| 305             | 10                      | 9 11.99  | 225             | 10                      | 12 0.91  |
| 105             | 10                      | 10 11.42 | 235             | 10                      | 12 9.04  |
| 115             | 10                      | 10 11.71 | 245             | 10                      | 12 7.64  |
| 125             | 10                      | 10 10.79 | 255             | 10                      | 12 0.08  |
| 135             | 10                      | 10 12.99 | 265             | 10                      | 12 17.76 |
| 145             | 10                      | 10 11.39 | 275             | 10                      | 12 3.00  |
| 155             | 10                      | 10 13.59 | 135             | 10                      | 13 4.57  |
| 165             | 10                      | 10 28.17 | 145             | 10                      | 13 2.32  |
| 175             | 10                      | 10 12.27 | 155             | 10                      | 13 2.02  |
| 185             | 10                      | 10 16.05 | 165             | 10                      | 13 3.68  |
| 195             | 10                      | 10 2.77  | 175             | 10                      | 13 12.62 |
| 205             | 10                      | 10 11.93 | 185             | 10                      | 13 9.88  |
| 215             | 10                      | 10 9.65  | 195             | 10                      | 13 40.88 |
| 225             | 10                      | 10 4.13  | 205             | 10                      | 13 11.57 |
| 235             | 10                      | 10 12.65 | 215             | 10                      | 13 0.36  |
| 245             | 10                      | 10 12.10 | 225             | 10                      | 13 1.57  |
| 255             | 10                      | 10 10.59 | 235             | 10                      | 13 7.68  |
| 265             | 10                      | 10 6.45  | 245             | 10                      | 13 7.89  |
| 275             | 10                      | 10 4.91  | 255             | 10                      | 13 14.47 |
| 285             | 10                      | 10 1.93  | 265             | 10                      | 13 8.98  |
| 295             | 10                      | 10 6.45  | 145             | 10                      | 14 11.84 |
| 115             | 10                      | 11 11.24 | 155             | 10                      | 14 15.13 |
| 125             | 10                      | 11 4.61  | 165             | 10                      | 14 2.27  |
| 135             | 10                      | 11 7.36  | 175             | 10                      | 14 2.36  |
| 145             | 10                      | 11 10.46 | 185             | 10                      | 14 1.55  |
| 155             | 10                      | 11 17.55 | 195             | 10                      | 14 2.19  |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) |
|-----------------|-------------------------|----------|
|-----------------|-------------------------|----------|

|     |    |           |
|-----|----|-----------|
| 205 | 10 | 14 28.80  |
| 215 | 10 | 14 1.12   |
| 225 | 10 | 14 4.56   |
| 235 | 10 | 14 3.98   |
| 245 | 10 | 14 10.66  |
| 255 | 10 | 14 4.10   |
| 155 | 10 | 15 7.85   |
| 165 | 10 | 15 6.72   |
| 175 | 10 | 15 11.62  |
| 185 | 10 | 15 4.95   |
| 195 | 10 | 15 25.82  |
| 205 | 10 | 15 0.90   |
| 215 | 10 | 15 39.39  |
| 225 | 10 | 15 0.03   |
| 235 | 10 | 15 6.83   |
| 245 | 10 | 15 2.47   |
| 165 | 10 | 16 17.42  |
| 175 | 10 | 16 2.35   |
| 185 | 10 | 16 8.95   |
| 195 | 10 | 16 48.78  |
| 205 | 10 | 16 5.57   |
| 215 | 10 | 16 7.39   |
| 225 | 10 | 16 10.49  |
| 235 | 10 | 16 6.75   |
| 175 | 10 | 17 10.36  |
| 185 | 10 | 17 9.64   |
| 195 | 10 | 17 53.12  |
| 205 | 10 | 17 10.47  |
| 215 | 10 | 17 38.14  |
| 225 | 10 | 17 4.74   |
| 185 | 10 | 18 3.53   |
| 195 | 10 | 18 87.59  |
| 205 | 10 | 18 46.68  |
| 215 | 10 | 18 18.51  |
| 195 | 10 | 19 181.05 |

Line 3:

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------|
| 15              | 10                      | 1 171.21 | 115             | 10                      | 2 122.38 |
| 25              | 10                      | 1 75.56  | 125             | 10                      | 2 149.24 |
| 35              | 10                      | 1 52.56  | 135             | 10                      | 2 148.51 |
| 45              | 10                      | 1 70.08  | 145             | 10                      | 2 137.20 |
| 55              | 10                      | 1 104.96 | 155             | 10                      | 2 147.63 |
| 65              | 10                      | 1 102.81 | 165             | 10                      | 2 213.55 |
| 75              | 10                      | 1 202.56 | 175             | 10                      | 2 194.92 |
| 85              | 10                      | 1 81.51  | 185             | 10                      | 2 243.27 |
| 95              | 10                      | 1 113.76 | 195             | 10                      | 2 272.17 |
| 105             | 10                      | 1 230.08 | 205             | 10                      | 2 121.05 |
| 115             | 10                      | 1 111.62 | 215             | 10                      | 2 297.70 |
| 125             | 10                      | 1 130.65 | 225             | 10                      | 2 254.80 |
| 135             | 10                      | 1 97.25  | 235             | 10                      | 2 140.80 |
| 145             | 10                      | 1 90.17  | 245             | 10                      | 2 173.90 |
| 155             | 10                      | 1 93.87  | 255             | 10                      | 2 149.01 |
| 165             | 10                      | 1 131.19 | 265             | 10                      | 2 152.44 |
| 175             | 10                      | 1 150.10 | 275             | 10                      | 2 221.29 |
| 185             | 10                      | 1 153.22 | 285             | 10                      | 2 177.51 |
| 195             | 10                      | 1 218.80 | 295             | 10                      | 2 171.78 |
| 205             | 10                      | 1 112.84 | 305             | 10                      | 2 160.90 |
| 215             | 10                      | 1 220.53 | 315             | 10                      | 2 129.83 |
| 225             | 10                      | 1 161.53 | 325             | 10                      | 2 182.73 |
| 235             | 10                      | 1 145.64 | 335             | 10                      | 2 128.41 |
| 245             | 10                      | 1 133.66 | 345             | 10                      | 2 128.10 |
| 255             | 10                      | 1 127.99 | 355             | 10                      | 2 147.22 |
| 265             | 10                      | 1 122.84 | 365             | 10                      | 2 196.94 |
| 275             | 10                      | 1 149.37 | 35              | 10                      | 3 116.10 |
| 285             | 10                      | 1 140.67 | 45              | 10                      | 3 128.75 |
| 295             | 10                      | 1 142.71 | 55              | 10                      | 3 247.11 |
| 305             | 10                      | 1 143.96 | 65              | 10                      | 3 313.61 |
| 325             | 10                      | 1 212.23 | 75              | 10                      | 3 385.61 |
| 335             | 10                      | 1 128.01 | 85              | 10                      | 3 81.79  |
| 345             | 10                      | 1 244.06 | 95              | 10                      | 3 130.60 |
| 355             | 10                      | 1 130.95 | 105             | 10                      | 3 395.74 |
| 365             | 10                      | 1 185.95 | 115             | 10                      | 3 180.65 |
| 375             | 10                      | 1 130.49 | 125             | 10                      | 3 190.58 |
| 385             | 10                      | 1 146.81 | 135             | 10                      | 3 172.44 |
| 25              | 10                      | 2 114.42 | 145             | 10                      | 3 182.09 |
| 35              | 10                      | 2 81.97  | 155             | 10                      | 3 199.03 |
| 45              | 10                      | 2 122.32 | 165             | 10                      | 3 259.71 |
| 55              | 10                      | 2 159.96 | 175             | 10                      | 3 284.68 |
| 65              | 10                      | 2 200.86 | 185             | 10                      | 3 237.37 |
| 75              | 10                      | 2 384.53 | 195             | 10                      | 3 289.60 |
| 85              | 10                      | 2 68.19  | 205             | 10                      | 3 128.86 |
| 95              | 10                      | 2 123.92 | 215             | 10                      | 3 342.87 |
| 105             | 10                      | 2 393.43 | 225             | 10                      | 3 276.42 |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|----------|
| 235             | 10                      | 3 176.49 | 125             | 10                      | 5 231.70 |
| 245             | 10                      | 3 157.59 | 135             | 10                      | 5 250.16 |
| 255             | 10                      | 3 178.75 | 145             | 10                      | 5 196.30 |
| 265             | 10                      | 3 176.52 | 155             | 10                      | 5 240.95 |
| 275             | 10                      | 3 256.53 | 165             | 10                      | 5 302.04 |
| 285             | 10                      | 3 194.70 | 175             | 10                      | 5 293.91 |
| 305             | 10                      | 3 140.14 | 185             | 10                      | 5 247.19 |
| 315             | 10                      | 3 141.81 | 195             | 10                      | 5 335.31 |
| 325             | 10                      | 3 187.84 | 205             | 10                      | 5 131.63 |
| 335             | 10                      | 3 98.76  | 215             | 10                      | 5 350.81 |
| 345             | 10                      | 3 109.18 | 225             | 10                      | 5 233.91 |
| 355             | 10                      | 3 118.02 | 235             | 10                      | 5 174.55 |
| 365             | 10                      | 3 195.17 | 245             | 10                      | 5 194.16 |
| 45              | 10                      | 4 149.69 | 255             | 10                      | 5 188.14 |
| 55              | 10                      | 4 283.05 | 265             | 10                      | 5 139.32 |
| 65              | 10                      | 4 317.36 | 285             | 10                      | 5 33.33  |
| 75              | 10                      | 4 525.37 | 295             | 10                      | 5 205.82 |
| 85              | 10                      | 4 99.62  | 305             | 10                      | 5 186.30 |
| 95              | 10                      | 4 143.50 | 315             | 10                      | 5 99.56  |
| 105             | 10                      | 4 432.63 | 325             | 10                      | 5 138.58 |
| 115             | 10                      | 4 186.78 | 335             | 10                      | 5 179.32 |
| 125             | 10                      | 4 256.96 | 345             | 10                      | 5 197.51 |
| 135             | 10                      | 4 194.34 | 65              | 10                      | 6 309.12 |
| 145             | 10                      | 4 200.69 | 75              | 10                      | 6 601.45 |
| 155             | 10                      | 4 213.49 | 85              | 10                      | 6 144.85 |
| 165             | 10                      | 4 336.25 | 95              | 10                      | 6 189.17 |
| 175             | 10                      | 4 296.14 | 105             | 10                      | 6 515.70 |
| 185             | 10                      | 4 250.97 | 115             | 10                      | 6 189.87 |
| 195             | 10                      | 4 307.27 | 125             | 10                      | 6 233.52 |
| 205             | 10                      | 4 137.55 | 135             | 10                      | 6 210.00 |
| 215             | 10                      | 4 372.82 | 145             | 10                      | 6 248.78 |
| 225             | 10                      | 4 294.31 | 155             | 10                      | 6 202.91 |
| 235             | 10                      | 4 128.72 | 165             | 10                      | 6 273.44 |
| 245             | 10                      | 4 201.60 | 175             | 10                      | 6 295.20 |
| 255             | 10                      | 4 165.65 | 185             | 10                      | 6 261.26 |
| 265             | 10                      | 4 184.21 | 195             | 10                      | 6 353.59 |
| 275             | 10                      | 4 243.77 | 205             | 10                      | 6 123.04 |
| 285             | 10                      | 4 121.47 | 215             | 10                      | 6 323.08 |
| 295             | 10                      | 4 92.07  | 225             | 10                      | 6 235.60 |
| 305             | 10                      | 4 158.02 | 235             | 10                      | 6 151.50 |
| 315             | 10                      | 4 121.54 | 245             | 10                      | 6 248.94 |
| 325             | 10                      | 4 168.65 | 255             | 10                      | 6 111.53 |
| 335             | 10                      | 4 129.76 | 265             | 10                      | 6 80.89  |
| 345             | 10                      | 4 146.76 | 275             | 10                      | 6 43.48  |
| 355             | 10                      | 4 81.87  | 285             | 10                      | 6 224.23 |
| 55              | 10                      | 5 226.39 | 295             | 10                      | 6 223.98 |
| 65              | 10                      | 5 335.99 | 305             | 10                      | 6 162.94 |
| 75              | 10                      | 5 625.39 | 315             | 10                      | 6 114.45 |
| 85              | 10                      | 5 117.19 | 325             | 10                      | 6 127.82 |
| 95              | 10                      | 5 166.49 | 335             | 10                      | 6 133.12 |
| 105             | 10                      | 5 455.36 | 85              | 10                      | 7 123.04 |
| 115             | 10                      | 5 201.60 | 95              | 10                      | 7 214.42 |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ) | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ)  |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------------------------|-----------|
| 105             | 10                      | 7 512.70 | 135             | 10                      | 9 150.61  |
| 115             | 10                      | 7 204.45 | 145             | 10                      | 9 136.55  |
| 125             | 10                      | 7 213.23 | 155             | 10                      | 9 170.35  |
| 135             | 10                      | 7 205.59 | 165             | 10                      | 9 234.13  |
| 145             | 10                      | 7 137.32 | 175             | 10                      | 9 297.53  |
| 155             | 10                      | 7 210.31 | 185             | 10                      | 9 281.67  |
| 165             | 10                      | 7 249.39 | 195             | 10                      | 9 202.86  |
| 175             | 10                      | 7 287.00 | 205             | 10                      | 9 271.76  |
| 185             | 10                      | 7 278.05 | 215             | 10                      | 9 219.98  |
| 195             | 10                      | 7 363.69 | 225             | 10                      | 9 223.25  |
| 205             | 10                      | 7 109.55 | 235             | 10                      | 9 56.84   |
| 215             | 10                      | 7 337.59 | 245             | 10                      | 9 15.59   |
| 225             | 10                      | 7 224.47 | 255             | 10                      | 9 105.36  |
| 235             | 10                      | 7 184.41 | 265             | 10                      | 9 127.44  |
| 245             | 10                      | 7 126.27 | 275             | 10                      | 9 144.05  |
| 265             | 10                      | 7 50.76  | 285             | 10                      | 9 168.73  |
| 275             | 10                      | 7 174.94 | 295             | 10                      | 9 194.60  |
| 285             | 10                      | 7 149.07 | 305             | 10                      | 9 146.90  |
| 295             | 10                      | 7 191.91 | 105             | 10                      | 10 241.53 |
| 305             | 10                      | 7 184.44 | 115             | 10                      | 10 235.29 |
| 315             | 10                      | 7 114.82 | 125             | 10                      | 10 160.74 |
| 325             | 10                      | 7 132.38 | 135             | 10                      | 10 129.75 |
| 85              | 10                      | 8 272.18 | 145             | 10                      | 10 134.12 |
| 95              | 10                      | 8 280.02 | 155             | 10                      | 10 158.49 |
| 105             | 10                      | 8 337.03 | 165             | 10                      | 10 196.24 |
| 115             | 10                      | 8 311.28 | 175             | 10                      | 10 214.11 |
| 125             | 10                      | 8 201.13 | 185             | 10                      | 10 299.79 |
| 135             | 10                      | 8 159.79 | 195             | 10                      | 10 192.29 |
| 145             | 10                      | 8 165.98 | 205             | 10                      | 10 224.67 |
| 155             | 10                      | 8 183.36 | 215             | 10                      | 10 189.76 |
| 165             | 10                      | 8 273.23 | 225             | 10                      | 10 189.35 |
| 175             | 10                      | 8 283.16 | 235             | 10                      | 10 14.33  |
| 185             | 10                      | 8 299.29 | 245             | 10                      | 10 79.02  |
| 195             | 10                      | 8 230.00 | 255             | 10                      | 10 91.14  |
| 205             | 10                      | 8 284.17 | 265             | 10                      | 10 85.01  |
| 215             | 10                      | 8 237.49 | 275             | 10                      | 10 126.87 |
| 225             | 10                      | 8 235.29 | 285             | 10                      | 10 194.51 |
| 235             | 10                      | 8 147.27 | 295             | 10                      | 10 159.78 |
| 245             | 10                      | 8 63.55  | 115             | 10                      | 11 173.25 |
| 255             | 10                      | 8 87.00  | 125             | 10                      | 11 115.88 |
| 265             | 10                      | 8 151.44 | 135             | 10                      | 11 134.84 |
| 275             | 10                      | 8 173.71 | 145             | 10                      | 11 131.45 |
| 285             | 10                      | 8 172.23 | 155             | 10                      | 11 114.61 |
| 295             | 10                      | 8 160.60 | 165             | 10                      | 11 141.96 |
| 315             | 10                      | 8 140.41 | 175             | 10                      | 11 176.31 |
| 95              | 10                      | 9 237.41 | 185             | 10                      | 11 234.42 |
| 105             | 10                      | 9 286.76 | 195             | 10                      | 11 236.62 |
| 115             | 10                      | 9 334.96 | 205             | 10                      | 11 197.54 |
| 125             | 10                      | 9 156.72 | 215             | 10                      | 11 105.46 |
|                 |                         |          | 225             | 10                      | 11 142.4  |

| Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ)  | Θέση ηλ.<br>(m) | Απόσταση Επίπεδο<br>(m) | ρ.(Ωm.ρ)  |
|-----------------|-------------------------|-----------|-----------------|-------------------------|-----------|
| 235             | 10                      | 11 84.80  | 175             | 10                      | 15 39.53  |
| 245             | 10                      | 11 77.76  | 185             | 10                      | 15 47.71  |
| 255             | 10                      | 11 59.32  | 195             | 10                      | 15 53.12  |
| 265             | 10                      | 11 82.89  | 205             | 10                      | 15 90.69  |
| 275             | 10                      | 11 117.01 | 215             | 10                      | 15 48.73  |
| 285             | 10                      | 11 136.49 | 225             | 10                      | 15 96.49  |
| 125             | 10                      | 12 87.65  | 235             | 10                      | 15 101.01 |
| 135             | 10                      | 12 116.46 | 245             | 10                      | 15 10.79  |
| 145             | 10                      | 12 108.55 | 165             | 10                      | 16 123.82 |
| 155             | 10                      | 12 71.32  | 175             | 10                      | 16 183.78 |
| 165             | 10                      | 12 142.55 | 185             | 10                      | 16 77.46  |
| 175             | 10                      | 12 164.64 | 195             | 10                      | 16 45.29  |
| 185             | 10                      | 12 190.73 | 205             | 10                      | 16 52.50  |
| 195             | 10                      | 12 42.30  | 215             | 10                      | 16 61.77  |
| 205             | 10                      | 12 171.77 | 225             | 10                      | 16 84.40  |
| 215             | 10                      | 12 50.25  | 235             | 10                      | 16 17.54  |
| 225             | 10                      | 12 150.25 | 175             | 10                      | 17 11.79  |
| 235             | 10                      | 12 82.13  | 185             | 10                      | 17 66.24  |
| 245             | 10                      | 12 22.71  | 195             | 10                      | 17 182.50 |
| 255             | 10                      | 12 73.67  | 205             | 10                      | 17 72.50  |
| 265             | 10                      | 12 96.33  | 215             | 10                      | 17 67.47  |
| 275             | 10                      | 12 96.74  | 225             | 10                      | 17 71.29  |
| 135             | 10                      | 13 43.10  | 185             | 10                      | 18 4.57   |
| 145             | 10                      | 13 59.77  | 195             | 10                      | 18 40.15  |
| 155             | 10                      | 13 88.98  | 205             | 10                      | 18 81.71  |
| 165             | 10                      | 13 145.44 | 215             | 10                      | 18 55.84  |
| 175             | 10                      | 13 155.64 | 195             | 10                      | 19 49.24  |
| 185             | 10                      | 13 130.69 | 205             | 10                      | 19 62.20  |
| 195             | 10                      | 13 237.16 |                 |                         |           |
| 205             | 10                      | 13 76.55  |                 |                         |           |
| 215             | 10                      | 13 142.28 |                 |                         |           |
| 225             | 10                      | 13 140.46 |                 |                         |           |
| 235             | 10                      | 13 17.03  |                 |                         |           |
| 245             | 10                      | 13 33.72  |                 |                         |           |
| 255             | 10                      | 13 85.70  |                 |                         |           |
| 265             | 10                      | 13 83.74  |                 |                         |           |
| 145             | 10                      | 14 99.66  |                 |                         |           |
| 155             | 10                      | 14 92.20  |                 |                         |           |
| 165             | 10                      | 14 139.70 |                 |                         |           |
| 175             | 10                      | 14 84.20  |                 |                         |           |
| 185             | 10                      | 14 41.59  |                 |                         |           |
| 195             | 10                      | 14 481.26 |                 |                         |           |
| 205             | 10                      | 14 104.76 |                 |                         |           |
| 215             | 10                      | 14 102.12 |                 |                         |           |
| 225             | 10                      | 14 122.39 |                 |                         |           |
| 235             | 10                      | 14 23.66  |                 |                         |           |
| 245             | 10                      | 14 125.72 |                 |                         |           |
| 255             | 10                      | 14 73.87  |                 |                         |           |
| 155             | 10                      | 15 97.58  |                 |                         |           |
| 165             | 10                      | 15 44.76  |                 |                         |           |