



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΟΡΥΚΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΛΥΓΑΡΙΑ-ΠΕΡΙΒΟΛΙ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ Ε65



ΤΣΟΥΣΗΣ Π. ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

**ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, Καθηγητής
ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ, Καθηγητής
ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Καθηγητής**

Χανιά ,Οκτώβριος 2007

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη διπλωματική εργασία αυτή, με τίτλο « Σεισμική Τομογραφία στο τμήμα Λυγαριά-Περιβόλι του οδικού άξονα E65 », παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας στην περιοχή Μοσχοκαρυάς Λαμίας όπου πρόκειται να κατασκευαστεί σήραγγα του οδικού άξονα E-65.

Η εργασία αποσκοπεί στον προσδιορισμό της ταχύτητας διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων στους επιφανειακούς σχηματισμούς και τελικά στην απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών που θα διατρήσει η σήραγγα του οδικού άξονα E65 στην υπό έρευνα περιοχή. Η ερμηνεία γίνεται σε σύγκριση με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας και της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων.

Πραγματοποιήθηκε διασκόπηση σε τρεις γραμμές μελέτης συνολικού μήκους 2000m περίπου. Χρησιμοποιήθηκαν οι σεισμικές μέθοδοι της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων και της σεισμικής τομογραφίας.

Τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες γεωτρήσεις και στοιχεία από γεωηλεκτρικές τομές υπέδειξαν:

- A) οι συνθήκες του υπεδάφους στο στόμιο εισόδου της σήραγγας είναι σχετικά καλές καθώς θα διατηρηθεί δολερίτης.
- B) στο στόμιο εξόδου της σήραγγας αναμένεται εδαφικό στρώμα, δολερίτες μέτρια αποσαθρωμένοι και κερατόλιθος αποσαθρωμένος
- Γ) στο κύριο σώμα της σήραγγας θα διατηρηθούν κυρίως δολερίτες.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας νοιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο **Βαφείδη Αντώνιο** για τις πολύτιμες γνώσεις, ιδέες και συμβουλές του καθώς και την άψογη μεταξύ μας συνεργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα **Ανδρονικίδη Νικόλαο** για τον καθοριστικό του ρόλο και την πολύτιμη προσφορά του για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κυρίους **Οικονόμου Νικόλαο**, **Κρητικάκη Γεώργιο** και **Hamdan Hamdan** για την βοήθεια και τις συμβουλές τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κυρίους **Αγιουτάντη Ζαχαρία** και **Εξαδάκτυλο Γεώργιο**, οι οποίοι με τίμησαν αποδεχόμενοι να συμμετάσχουν ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ	1
1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	1
1.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	1
1.4 ΑΝΑΘΕΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	2
1.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	2
2. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ- ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	4
2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ	4
2.1.1 Μετωπικά κύματα	4
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	6
2.3 ΠΟΛΥΚΑΝΑΛΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ	7
2.3.1 Μεθοδολογία της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων	8
2.3.2 Μέθοδος σεισμικής τομογραφίας	9
2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SEISIMAGER	12
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	13
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	13
3.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	13
3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	17
3.4 ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	19
3.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ	21
3.5.1 Γεωμετρία αναπτυγμάτων	21
3.5.2 Διαδικασία εκτέλεσης της μεθόδου	26
3.5.3 Εξοπλισμός	27

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΓΚΡΙΣΗ.....28

4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ.....	28
4.1.1 Επιλογή πρώτων αφίξεων.....	28
4.1.2 Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων.....	29
4.1.3 Προσδιορισμός των σεισμικών ταχυτήτων και των μοντέλων βάθους.....	30
4.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ.....	30
4.2.1 Ανάπτυγμα Line 400-500.....	30
4.2.2 Ανάπτυγμα Line 600.....	31
4.2.3 Ανάπτυγμα Line 700.....	31
4.2.4 Ανάπτυγμα Line 800.....	32
4.2.5 Ανάπτυγμα Line 200-100.....	33
4.2.6 Ανάπτυγμα Line 900.....	33
4.2.7 Ανάπτυγμα Line 300.....	34
4.2.8 Σύνοψη αποτελεσμάτων σεισμικής διάθλασης.....	34
4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	43
4.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	44

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....47

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α (Καταγραφές Σεισμικής Διάθλασης).....48

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β (Δρομοχρονικά Διαγράμματα).....95

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ (Ενθετο).....100

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....102

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας (εκτέλεση ηλεκτρικής τομογραφίας, σεισμικής διάθλασης και ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων), η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης για τον χαρακτηρισμό των γεωλογικών σχηματισμών στην ευρύτερη περιοχή της Μοσχοκαρυάς, Λαμίας και αφορά το τμήμα Λυγαριά-Περιβόλι του οδικού άξονα Ε65.

1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

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

Η απεικόνιση των σχηματισμών αυτών συντελεί στην αναγνώριση δομών όπως ρήγματα, ασυνέχειες κλπ, που ενδέχεται να δημιουργήσουν προβλήματα στην διάνοιξη και ασφάλεια της σήραγγας και γενικά στον προσδιορισμό τόσο του βάθους που αναμένεται ο υδροφόρος, όσο και θέσεων που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής.

Με τις γεωφυσικές μεθόδους δίνονται πληροφορίες για την σε βάθος εμφάνιση των γεωλογικών σχηματισμών ανάμεσα στις υφιστάμενες γεωτρήσεις.

1.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής σχεδιάστηκε γεωφυσική έρευνα, η οποία περιλαμβάνει 9 σεισμικές γραμμές μελέτης συνολικού μήκους 2050 m καθώς και 3 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας συνολικού μήκους 2050 m.

1.4 ΑΝΑΘΕΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η ανάθεση της γεωφυσικής έρευνας στην ευρύτερη περιοχή της Μοσχοκαρυάς έγινε από το Γενική Μελετών ΕΠΕ-ΙΣΤΡΙΑ. Η γεωφυσική έρευνα πραγματοποιήθηκε από το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης (Διευθυντής του εργαστηρίου: Καθηγητής Βαφείδης Αντώνιος). Τα γεωλογικά-γεωτρητικά στοιχεία δόθηκαν από την εταιρία ΕΠΕ-ΙΣΤΡΙΑ. Η ερευνητική ομάδα αποτελείται από τους Κους Βαφείδη Αντώνιο, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, Οικονόμου Νικόλαο, μέλος ΕΤΕΠ του Πολυτεχνείου Κρήτης, Ανδρονικίδη Νικόλαο και Hamdan Hamdan υποψήφιους διδάκτορες του Πολυτεχνείου Κρήτης.

1.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

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

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

Πρωταρχικός ρόλος των γεωφυσικών μελετών είναι η μέτρηση και η απεικόνιση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Ιδιότητες όπως η πυκνότητα, η αγωγιμότητα, χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν γεωλογικές ιδιότητες όπως η στρωματογραφία, δομή, κορεσμός, σπάσιμο, και διαπερατότητα [Geslin et Al, 1994]. Η σεισμική τομογραφία επιτρέπει την επέκταση της πληροφορίας που λαμβάνεται από τις γεωτρήσεις. Αν και οι γεωτρήσεις μας επιτρέπουν την άμεση εξέταση των

φυσικών ιδιοτήτων του υπό μελέτη χώρου, ωστόσο υπάρχει μια ανάγκη να ανιχνευθούν και να χαρακτηριστούν τα υπόγεια χαρακτηριστικά γνωρίσματα μακριά και ανάμεσα από τα σημεία των γεωτρήσεων. Την ανάγκη αυτή μπορεί να καλύψει, η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας. Ωστόσο είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η θέση σημαντικών ζωνών σπασίματος, η εναλλαγή στη λιθολογία, και ο τύπος του πετρώματος, για να σχεδιασθεί κατάλληλα η εφαρμογή της μεθόδου.

Ενδεικτικά αναφέρονται δύο παραδείγματα σεισμικών μελετών. Κατά την διάρκεια των προηγούμενων 20 ετών, το Τμήμα Ενέργειας Ηνωμένων Πολιτειών (DOE) έχει πραγματοποιήσει μια σεισμική έρευνα στο Βουνό Yucca, στο νοτιοδυτικό μέρος της Νεβάδας, με σκοπό να καθορίσει την καταλληλότητα της περιοχής στην αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων σε υπόγειες «αποθήκες». Για τον σκοπό αυτό τοποθετήθηκαν, πηγές σε γραμμή μήκους 5χλμ και δέκτες (γεώφωνα) σε γραμμή μήκους 3χλμ, πάνω στην κορυφογραμμή των βουνών Yucca και μέσα σε διερευνητική σήραγγα μελέτης, αντίστοιχα.

Τον Μάιο του 2000 στον λόφο Hill Silbury εφαρμόστηκε η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας σε συνδυασμό με την πραγματοποίηση 7 γεωτρήσεων, όπου, επικεφαλής των γεωφυσικών εργασιών ήταν ο καθηγητής Richard Chandler. Σκοπός της γεωφυσικής έρευνας αποτελούσε ο προσδιορισμός των κενών, και κατά συνέπεια η σταθερότητα του λόφου, προκειμένου να προβλεφθεί τυχόν καθίζηση στις δύο σήραγγες (Atkinson και Merewether) που περνούν μέσα από το Hill Silbury. Κατά την εφαρμογή της σεισμικής τομογραφίας στην περιοχή μελέτης υπήρξε πυκνή κάλυψη με σεισμικές ακτίνες και προέκυψε σαφή εικόνα της εσωτερικής δομής.

2. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ- ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

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

2.1.1 Μετωπικά κύματα

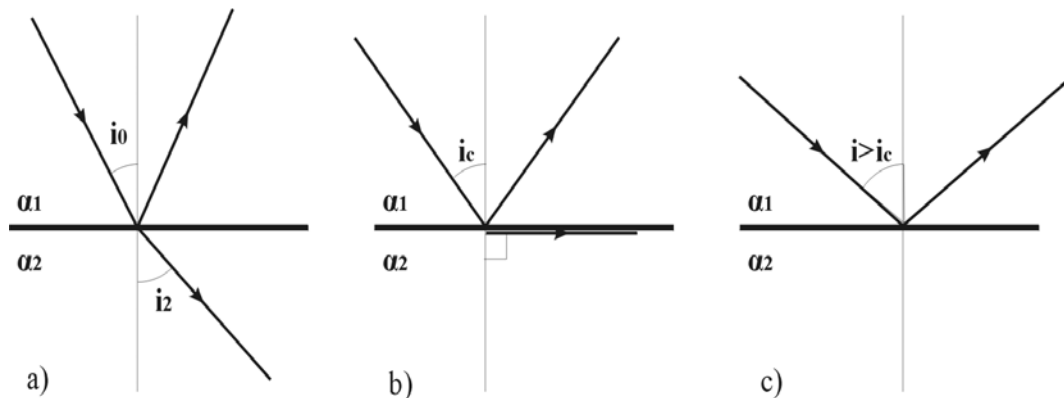
Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας. Η γωνία πρόσπτωσης, i_0 , η γωνία διάθλασης, i_2 , και οι ταχύτητες α_1 και α_2 στα δύο επιφανειακά στρώματα (Σχήμα 2.1a), συνδέονται μέσω του νόμου του Snell:

$$p = \frac{\sin(i_0)}{\alpha_1} = \frac{\sin(i_2)}{\alpha_2} \quad (2.1)$$

όπου p είναι η *παράμετρος της σεισμικής ακτίνας*. Η σεισμική ακτίνα προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια υπό **οριακή γωνία**, όταν η διαθλώμενη ακτίνα έχει διεύθυνση παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια (Σχήμα 2.1b). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής :

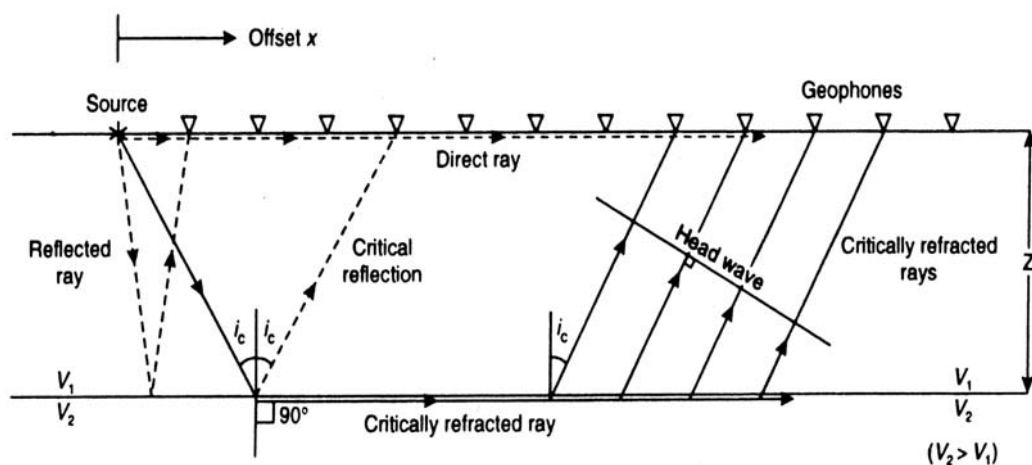
$$\sin(i_c) = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (2.2)$$

Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της οριακής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση (Σχήμα 2.1c).



Σχήμα 2.1 : Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά την πρόσπτωση υπό γωνία α) μικρότερη της οριακής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, β) ίση με την οριακή δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα και γ) με γωνία μεγαλύτερη της οριακής παρατηρείται ολική ανάκλαση.

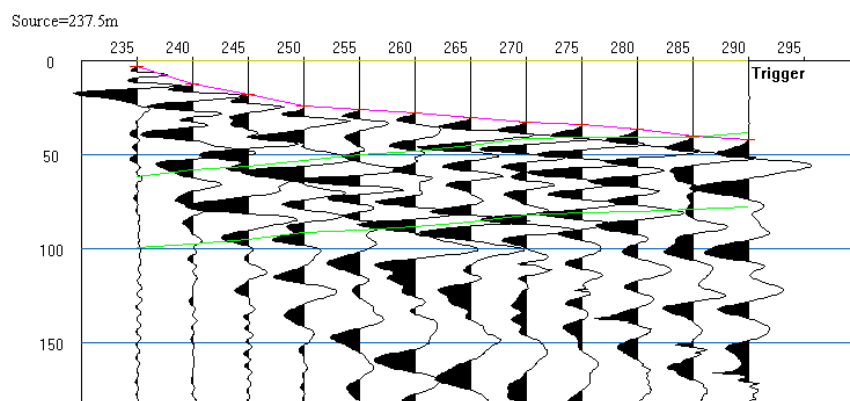
Έστω σεισμική ακτίνα η οποία προσπίπτει σε διαχωριστική επιφάνεια υπό οριακή γωνία. Τότε το διαθλώμενο κύμα διαδίδεται στο δεύτερο στρώμα παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, κάθε σημείο του διαθλώμενου μετώπου κύματος αποτελεί δευτερεύουσα πηγή σεισμικών κυμάτων. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σεισμικά κύματα τα οποία προέρχονται από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές και αναδύονται στο πρώτο στρώμα (Σχήμα 2.2). Η γωνία των αναδυόμενων προς την επιφάνεια σεισμικών ακτίνων με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι ίση με την οριακή γωνία. Αυτά τα αναδυόμενα σεισμικά κύματα ονομάζονται **μετωπικά κύματα**.



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

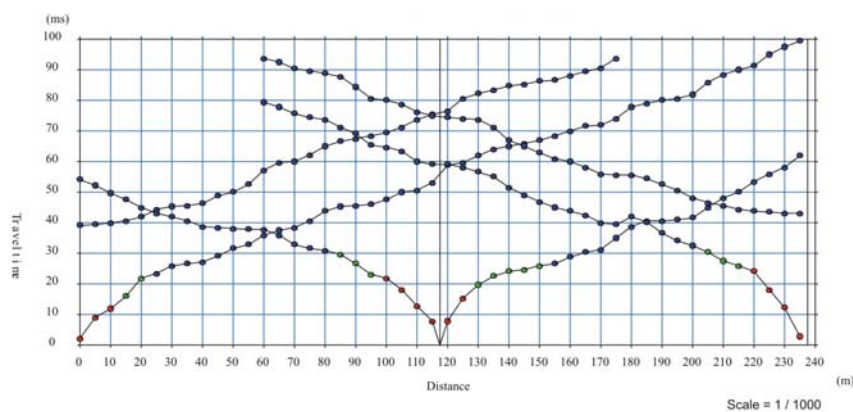
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι καταγραφές των σεισμικών δεδομένων (καταγραφές κοινής πηγής shot gather) αποτελούνται από σειсмоγράμματα, στα οποία απεικονίζεται για κάθε κανάλι του σειсмоγράφου (που αντιστοιχεί σε ένα γεώφωνο) η εδαφική ταλάντωση σε συνάρτηση με το χρόνο. Μια τέτοια καταγραφή απεικονίζεται στο Σχήμα 2.3.



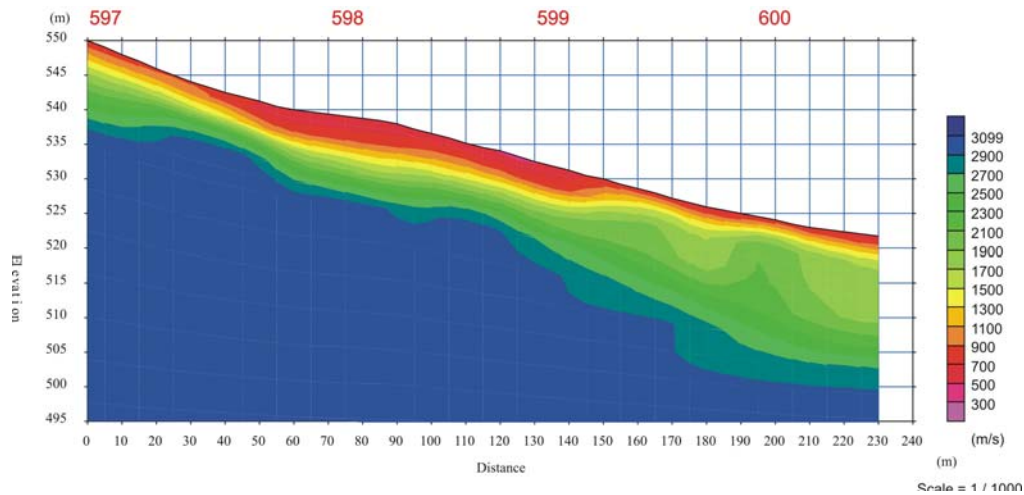
Σχήμα 2.3 : Επιλογή των πρώτων αφίξεων για την καταγραφή 718 (line 700). Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε msec, στον οριζόντιο άξονα τα 12 κανάλια (γεώφωνα), ενώ σε κάθε κανάλι, η απόκλιση από την κατακόρυφη ευθεία αντιστοιχεί σε θετικές και αρνητικές τιμές του πλάτους ταλάντωσης των σωματιδίων του εδάφους

Γνωρίζοντας την απόσταση του κάθε γεωφώνου από την πηγή είναι δυνατό να κατασκευαστεί διάγραμμα πρώτων αφίξεων συναρτήσει της απόστασης από την σεισμική πηγή (δρομοχρονικό διάγραμμα). Στο διάγραμμα αυτό εντοπίζονται τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα και αντιστοιχούνται σε εδαφικά στρώματα (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4 : Δρομοχρονικό διάγραμμα του αναπτύγματος Line 700. Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε msec, ενώ στον οριζόντιο, η απόσταση από κάθε σεισμική πηγή.

Στο Σχήμα 2.5 απεικονίζεται το μοντέλο βάθους που προέκυψε, όπως προκύπτει από το λογισμικό SeisImager.



Σχήμα 2.5 : Μοντέλο βάθους line 7. Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται το βάθος σε m, ενώ στον οριζόντιο, η απόσταση πάνω στη γραμμή μελέτης.

2.3 ΠΟΛΥΚΑΝΑΛΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Είναι γνωστό ότι τα επιφανειακά σεισμικά κύματα παρουσιάζουν έντονο το φαινόμενο της διασποράς (dispersion), δηλαδή της εξάρτησης της ταχύτητας φάσης από τη συχνότητα. Η ταχύτητα φάσης των κυμάτων Rayleigh σε οριζόντια στρωματωμένο εδαφικό μοντέλο εξαρτάται από τη συχνότητα και τέσσερις εδαφικές παραμέτρους (Schwab and Knopoff, 1972):

- Ταχύτητα των διαμηκών κυμάτων (P – κύματα)
- Ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων (S – κύματα)
- Πυκνότητα των σχηματισμών
- Πάχος κάθε στρώματος

Η ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων επηρεάζει την καμπύλη διασποράς περισσότερο από όλες τις άλλες εδαφικές παραμέτρους. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιώντας τεχνικές αντιστροφής, είναι δυνατό να προσδιοριστεί η κατανομή της ταχύτητας των S – κυμάτων συναρτήσει του βάθους, από την καμπύλη διασποράς Rayleigh. Η πλευρική μεταβολή της ταχύτητας των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων

είναι δυνατό να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας τεχνικές roll along κατά την απόκτηση των σεισμικών καταγραφών (Miller et al, 1999). Από κάθε καταγραφή κοινής πηγής και μετά την αντιστροφή της θεμελιώδους καμπύλης διασποράς προκύπτει η ταχύτητα των S – κυμάτων συναρτήσει του βάθους. Τοποθετώντας τα αποτελέσματα από κάθε αντιστροφή στο κέντρο του αναπτύγματος των γεωφώνων προκύπτει η ψευδοτομή της ταχύτητας των S – κυμάτων.

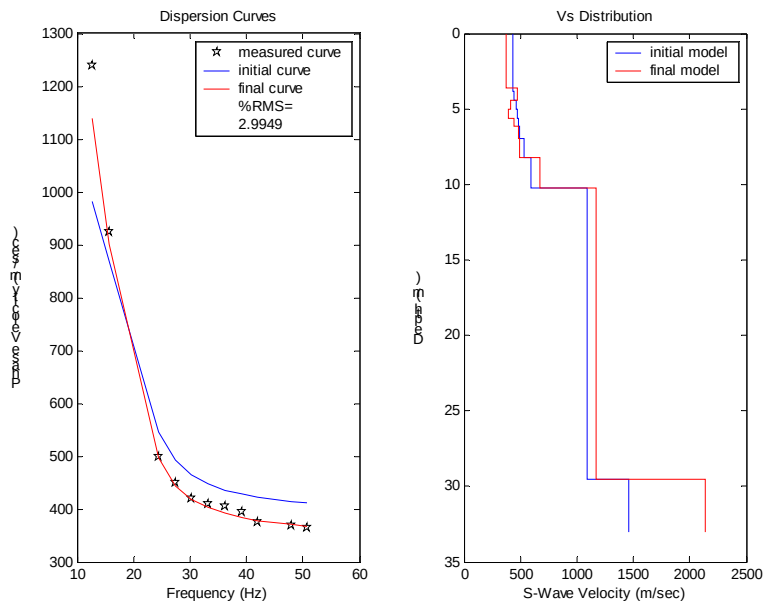
Πολλές εφαρμογές προσδιορισμού της ταχύτητας των εγκαρσίων κυμάτων από σεισμικά δεδομένα επιφανειακών κυμάτων (Ραπτάκης, 1995, Stokoe et al., 1994, Misiek, 1996) έχουν αποδείξει την αξιοπιστία της μεθόδου αυτής. Τέλος, οι νέες τάσεις στο συγκεκριμένο αντικείμενο εισάγουν την παράμετρο της πλευρικής ανομοιογένειας της ταχύτητας στα εδαφικά μοντέλα (Misiek, 1996) για τον χαρακτηρισμό των σχηματισμών με άμεσο γεωτεχνικό και περιβαλλοντικό ενδιαφέρον (Miller and Xia, 1999, Miller et al., 1999).

2.3.1 Μεθοδολογία της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων

Η ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων περιλαμβάνει τη λήψη καταγραφών πλούσιων σε επιφανειακά κύματα Rayleigh και την αντιστροφή των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς τους, για τον καθορισμό της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων κατανεμημένης με το βάθος. Μια από τις κυριότερες διαδικασίες για την ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων είναι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς από τις καταγραφές. Η αντιστροφή των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς αποτελεί τη δεύτερη σημαντικότερη φάση της επεξεργασίας. Από τη διαδικασία της αντιστροφής προσδιορίζονται οι παράμετροι του εδαφικού μοντέλου.

Η μεθοδολογία της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh είναι δυνατό να χωριστεί σε δύο διακριτά στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο, από τις σεισμικές καταγραφές κοινής πηγής, οι οποίες θα πρέπει να περιλαμβάνουν σημαντική σεισμική ενέργεια κατανεμημένη στα επιφανειακά κύματα, προκύπτουν οι πειραματικές καμπύλες διασποράς. Ενώ στο δεύτερο στάδιο προσδιορίζονται οι θεωρητικές καμπύλες διασποράς για οριζόντια στρωματομένο εδαφικό μοντέλο, χρησιμοποιώντας την τεχνική Thomson-Haskell (Haskell, 1953, Schwab and Knopoff, 1972). Τροποποιώντας επαναληπτικά το εδαφικό μοντέλο επιτυγχάνεται η

προσαρμογή της θεωρητικής καμπύλης διασποράς στην πειραματική (διαδικασία που ονομάζεται αντιστροφή). Έτσι, εφόσον πραγματοποιηθεί ταύτιση των καμπύλων, προσδιορίζεται το τελικό εδαφικό μοντέλο (κατανομή της ταχύτητας των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων με το βάθος) (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6. Τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας αντιστροφής για την γραμμή μελέτης Line – 100.

2.3.2 Μέθοδος σεισμικής τομογραφίας

Εφαρμόζονται δύο μέθοδοι αντιστροφής: η μέθοδος της Σεισμικής Τομογραφίας (Tomography) και η μέθοδος Αντιστροφής των Χρόνων Καθυστερήσης (Time-Term). Στη δεύτερη μέθοδο, οι χρόνοι καθυστέρησης (delay times) υπολογίζονται αυτόματα (μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων), ενώ μπορούν να εισαχθούν τα υψόμετρα στις θέσεις των γεωφώνων. Προκύπτει το αρχικό μοντέλο βάθους που αποτελείται από δύο στρώματα. Σε κάθε στρώμα αντιστοιχεί μία μέση ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Πιο αναλυτικά:

- Ορίζεται ως βραδύτητα S_1 το αντίστροφο της ταχύτητας: $S_1 = \frac{1}{V_1}$ (2.3),

$$S_2 = \frac{1}{V_2} \quad (2.4)$$

όπου V_1 και V_2 είναι οι ταχύτητες του πρώτου και δεύτερου στρώματος αντίστοιχα

- Ο ολικός χρόνος διαδρομής t του μετωπικού κύματος, από την πηγή στο γεωφώνο δίνεται από τη σχέση:

$$t = 2S_1 \cos(i_c)z + xS_2 = cz + xS_2 \quad (2.5)$$

όπου x η γνωστή απόσταση μεταξύ της πηγής και του γεωφώνου και z το πάχος του πρώτου στρώματος. Με το συνδυασμό των παραπάνω σχέσεων, υπολογίζεται η βραδύτητα S_2 και το πάχος z .

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

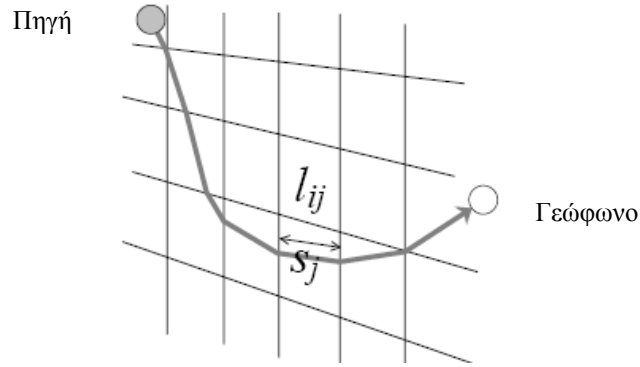
Πάνω στο αρχικό μοντέλο ταχυτήτων, σχεδιάζονται επαναληπτικά οι σεισμικές ακτίνες και υπολογίζεται ο χρόνος διαδρομής για κάθε τέτοια ακτίνα. Η πορεία της σεισμικής ακτίνας προκύπτει από τη μέθοδο του ελάχιστου χρόνου διαδρομής του κύματος (ευθύ πρόβλημα).

Η διαδικασία υπολογισμού των ταχυτήτων (αντίστροφο πρόβλημα) επαναλαμβάνεται, μέχρι να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ των χρόνων διαδρομής που παρατηρήθηκαν και αυτών που υπολογίζονται. Ακολουθεί τα εξής βήματα:

- Ο χρόνος διαδρομής t για κάθε πιθανή διαδρομή της σεισμικής ακτίνας δίνεται από τη σχέση:

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

όπου i και j είναι ο αριθμός των σεισμικών ακτίνων και των κελιών αντίστοιχα, S είναι η βραδύτητα ($S=1/V$) και l είναι το μήκος της σεισμικής ακτίνας σε κάθε κελί (Σχήμα 2.7). Επιλέγεται η διαδρομή με τον ελάχιστο χρόνο (βέλτιστη διαδρομή).



Σχήμα 2.7: Απεικόνιση της διαδρομής της σεισμικής ακτίνας από την πηγή στο γεώφωνο

- Υπολογίζεται η διαφορά ΔT μεταξύ των χρόνων διαδρομής που υπολογίστηκαν (T^c) και αυτών που παρατηρήθηκαν (T^o):

$$\Delta T_k = T^o - T_k^c \quad (2.7)$$

όπου k είναι ο αριθμός των επαναλήψεων.

- Προσδιορίζονται οι διορθωμένες τιμές της βραδύτητας και το αρχικό μοντέλο τροποποιείται. Το σύστημα που προκύπτει, είναι της μορφής:

$$L\Delta S = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdot & l_{1N} \\ l_{21} & l_{22} & \cdot & l_{2N} \\ l_{31} & l_{32} & \cdot & l_{3N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ l_{M1} & l_{M2} & \cdot & l_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta s_1 \\ \Delta s_2 \\ \cdot \\ \Delta s_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta t_1 \\ \Delta t_2 \\ \cdot \\ \Delta t_M \end{bmatrix} = T^o - T^c \quad (2.8)$$

$$L_k \Delta S_k = \Delta T_k \quad (2.9)$$

$$S_{k+1} = S_k + \Delta S_k \quad (2.10)$$

Τα στοιχεία του πίνακα L (Ιακωβιανός πίνακας) υπολογίζονται από τη σχέση:

$$l_{ij} = \frac{\partial t_i}{\partial s_j} \quad (2.11)$$

Το γραμμικό σύστημα (2.8) τροποποιείται:

$$L^T L \Delta S = L^T \Delta T \quad (2.12)$$

και επιλύεται με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων.

- Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS error) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E = LS - T \quad (2.13)$$

Όταν η διαφορά είναι μεγαλύτερη του 1,5 msec, το μοντέλο που προκύπτει δεν είναι αποδεκτό.

- Δημιουργείται το τελικό μοντέλο ταχυτήτων.

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

2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SEISIMAGER

Η επεξεργασία των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης γίνεται με το λογισμικό SeisImager, όπου ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Εισαγωγή των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης.
- Διαμόρφωση της γεωμετρίας των δεδομένων.
- Επιλογή των πρώτων αφίξεων των σεισμικών κυμάτων (picking) και αποθήκευση αυτών.
- Επεξεργασία των πρώτων αφίξεων.
- Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων.
- Αντιστροφή.
- Προσδιορισμός των σεισμικών ταχυτήτων και του μοντέλου βάθους (σεισμικές τομές).

Το λογισμικό SeisImager αποτελείται από δύο εφαρμογές, το PickWin, με το οποίο επιλέγονται οι πρώτες αφίξεις (picking) των σεισμικών κυμάτων και το PlotRefa, που είναι το κύριο πρόγραμμα ανάλυσης και ερμηνείας.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Πραγματοποιήθηκαν 3 γραμμές μελέτης, συνολικού μήκους περίπου 2005 μέτρων. Η γραμμή μελέτης Α, οριοθετείται από τις θέσεις χάραξης 584 και 604, η γραμμή μελέτης Β, οριοθετείται από τις θέσεις χάραξης 540 έως 554 και η γραμμή μελέτης Γ, οριοθετείται από τις θέσεις χάραξης 538 έως 541. Εφαρμόστηκαν η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας, της σεισμικής τομογραφίας και της ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων. Τα μέγιστα βάθη διασκόπησης με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας είναι 176, 117 και 77 μέτρα στις γραμμές μελέτης Α, Β και Γ αντίστοιχα. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί, στις παραπάνω θέσεις όπου θα πραγματοποιηθεί η χάραξη είναι δολερίτες με παρεμβολές σχιστοκερατόλιθων, σύμφωνα με τις γεωτρήσεις.

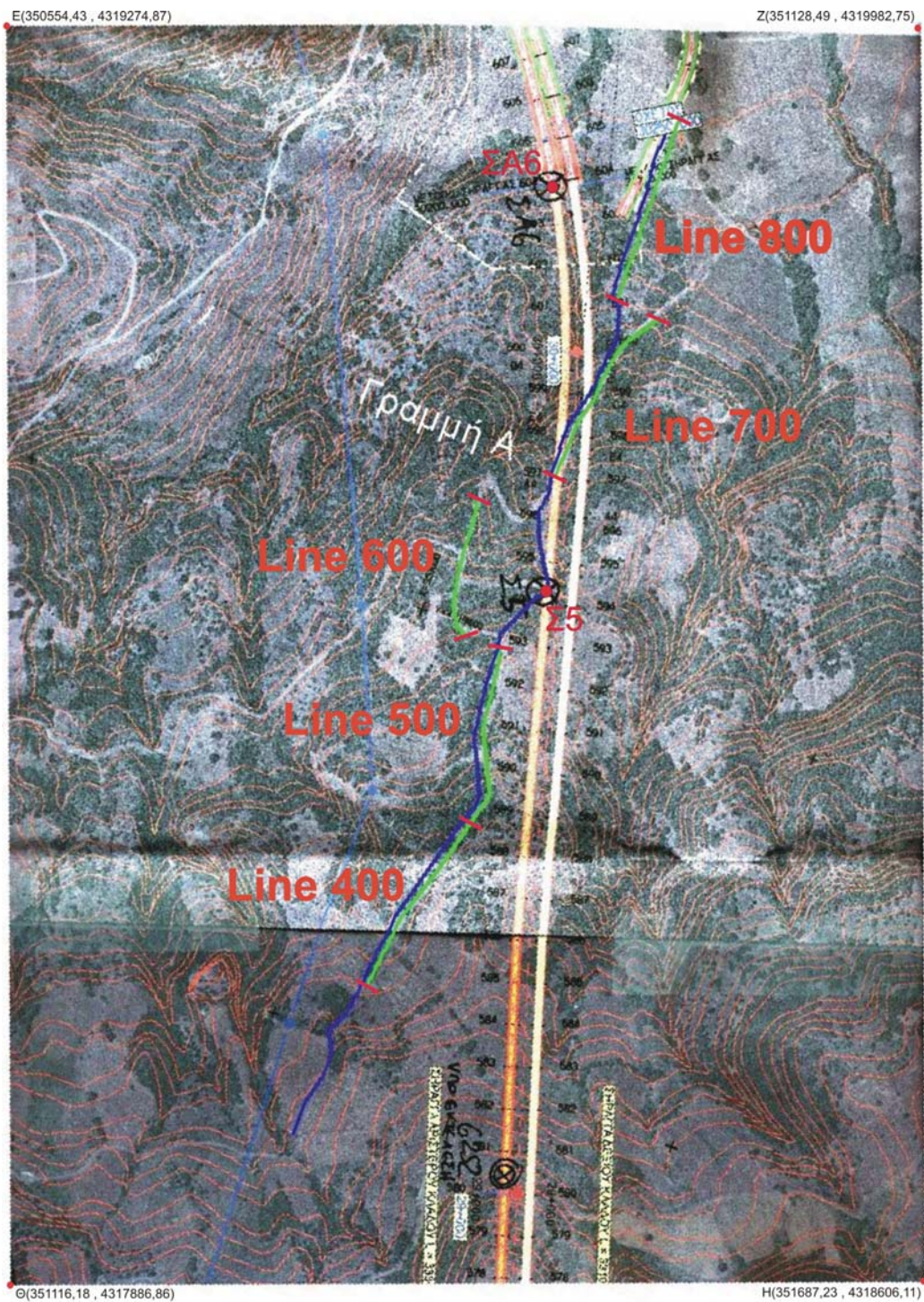
3.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή της Μοσχοκαρυάς βρίσκεται βορειο-δυτικά της Λαμίας (Σχήμα 3.1). Το ανάγλυφο της περιοχής είναι σχετικά έντονο, ενώ το υψόμετρο στην περιοχή μελέτης φτάνει μέχρι και τα 650 περίπου μέτρα. Η ευρύτερη περιοχή καλύπτεται από θαμνώδη βλάστηση.

Συγκεκριμένα, η γεωφυσική έρευνα πραγματοποιήθηκε στο βόρειο και στο νότιο τμήμα της μελλοντικής χάραξης της σήραγγας του οδικού άξονα Ε65, που θα ενώσει το βόρειο με το νότιο τμήμα των παριών του ορεινού όγκου βόρεια της Μοσχοκαρυάς (Σχήμα 3.2 α,β).

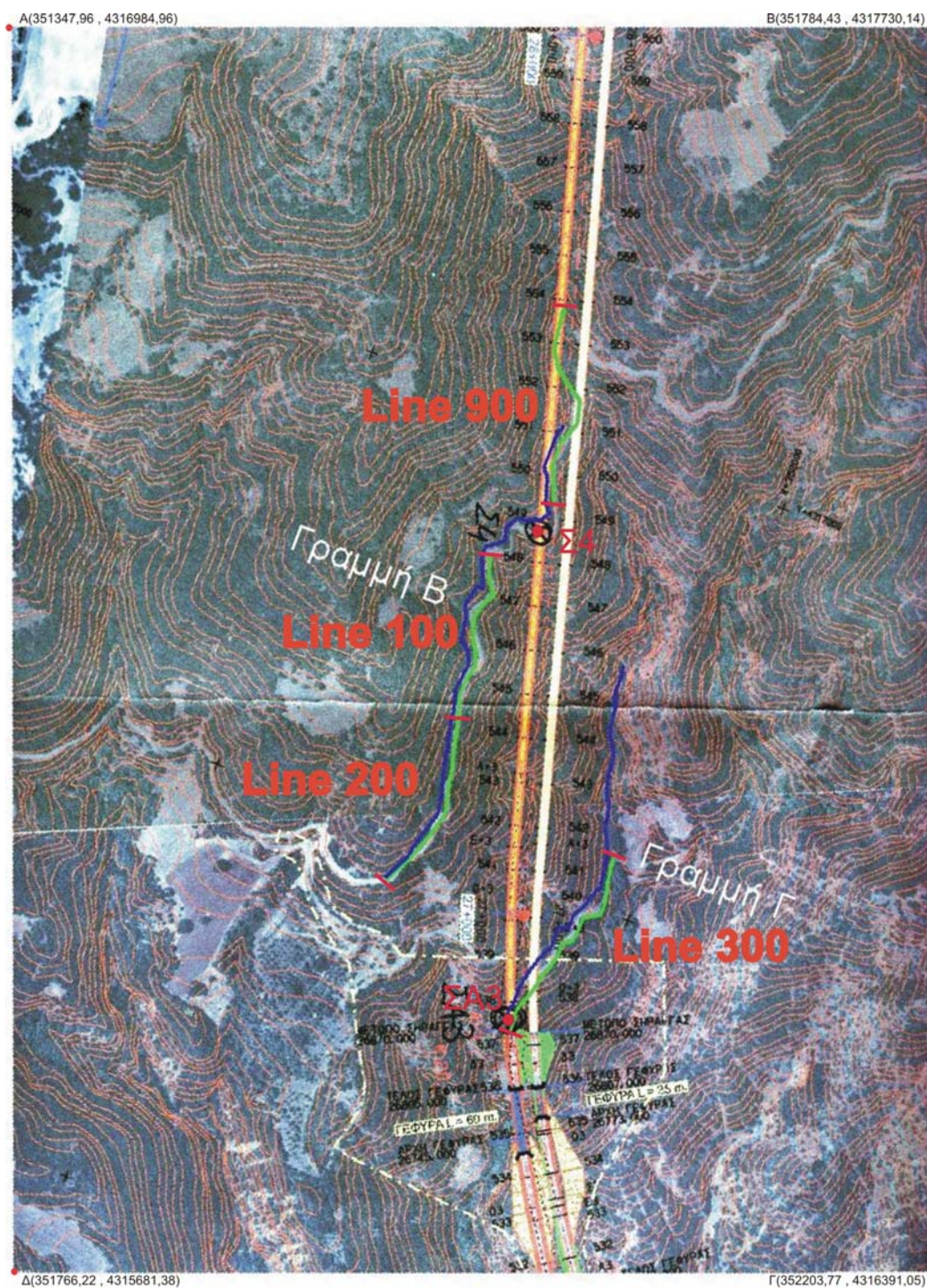


Σχήμα 3.1: Χάρτης περιοχής μελέτης.





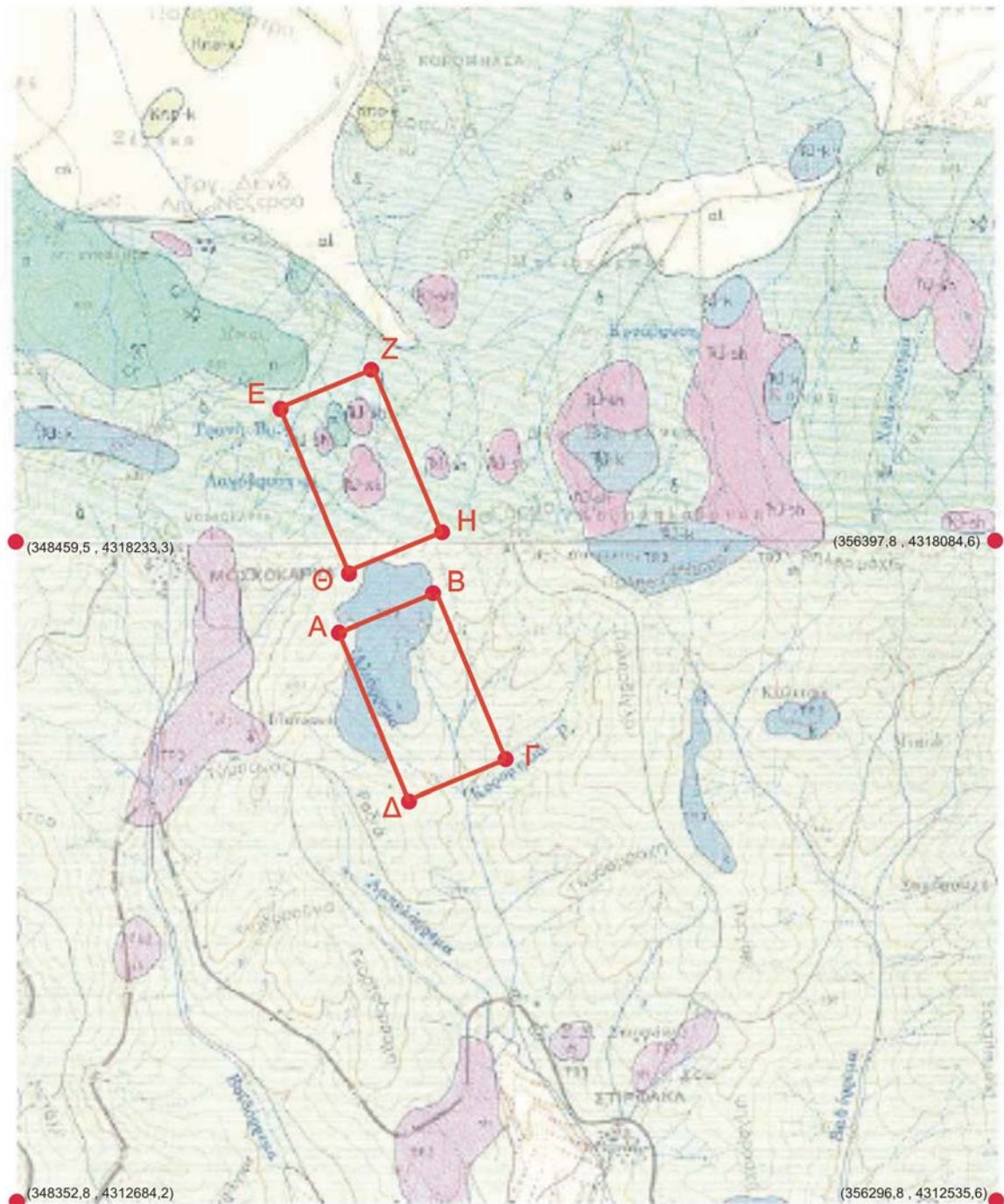

Σχήμα 3.2α : Αεροφωτογραφία όπου φαίνονται οι ισοϋψείς ,η χάραξη της σήραγγας από την θέση 578 έως την θέση 607 και οι γραμμές μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας(μπλε χρώμα) και σεισμικής τομογραφίας και ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (πράσινο χρώμα), στο βόρειο τμήμα της χάραξης.



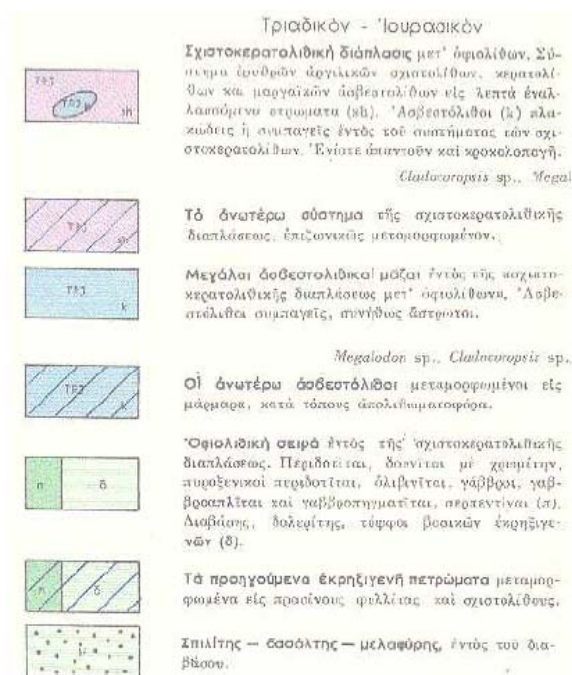
Σχήμα 3.2β : Αεροφωτογραφία όπου φαίνονται οι ισοϋψείς ,η χάραξη της σήραγγας από την θέση 532 έως την θέση 560 και οι γραμμές μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας(μπλε χρώμα) και σεισμικής τομογραφίας και ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (πράσινο χρώμα), στο νότιο τμήμα της χάραξης.

3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην περιοχή του έργου ελήφθησαν υπόψιν τα στοιχεία του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ, Φύλλο Λαμία κλίμακας 1:50 000. Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ, Φύλλο Λαμία και το αντίστοιχο υπόμνημα δίνονται στα σχήματα 3.3 α,β.



Σχήμα 3.3α : Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ – ΦΥΛΛΟ ΛΑΜΙΑ



Σχήμα 3.3β : Υπόμνημα Γεωλογικού Χάρτη ΙΓΜΕ – ΦΥΛΛΟ ΛΑΜΙΑ

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι είναι:

- α) Τεταρτογενείς αποθέσεις : είναι οι νεότερες αποθέσεις της περιοχής και αποτελούνται από χάλικες, άμμους και άλλα υλικά χαλαρής συνεκτικότητας.
- β) Πλειο-τεταρτογενείς αποθέσεις: αποτελούνται κυρίως από φακούς και ενστρώσεις λατύπων και κροκαλών οφιολιθικής σύστασης και από κορηματικά υλικά.
- γ) Ανθρακικοί σχηματισμοί ανώτερου τριαδικού - ιουραϊκού μεσωστρωματώδεις τεφρού χρώματος.
- δ) Οφιολιθικοί σχηματισμοί: Δολερίτες, περιδοίτες και σχιστοκερατόλιθοι.

Ο ορεινός όγκος της Μοσχοκαρυάς χαρακτηρίζεται από αλληπάλληλες επωθήσεις μεταξύ κυρίως των οφιολιθικών σχηματισμών, ενώ έντονος είναι και ο βαθμός αποσάρθρωσης των σχηματισμών .

Σύμφωνα με τα στοιχεία γεωτρήσεων στην περιοχή ο υδροφόρος ορίζοντας κυμαίνεται από τα 10 περίπου μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους έως και τα 40 μέτρα περίπου. Η παρουσία του νερού ανάμεσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι έντονη κατά θέσεις, κάτι που επιβεβαιώνει και τον υψηλό βαθμό αποσάρθρωσης

ή/και κατακερματισμού των βραχωδών σχηματισμών. Με βάση την γεωλογική χαρτογράφηση σημειώνονται ρήγματα παρακατακόρυφα και υπάρχει μια ζώνη ισχυρά τεκτονισμένη μεγάλου πάχους μεταξύ των χ.θ. 29+550 και χ.θ. 30+050 (περιοχή μεταξύ γεωτρήσεων Σ5 και ΣΑ6).

3.4 ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Στην περιοχή της σήραγγας από την χ.θ. 26+870 έως την χ.θ. 30+200, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις (4) ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με ονομασίες ΣΑ3, Σ4, Σ5 και ΣΑ6, συνολικού βάθους 257.3m. Οι γεωτρήσεις εντοπίστηκαν γραφικά στο σχέδιο Οδοποιίας κλίμακας 1:5000 και τοποθετήθηκαν στο έδαφος με GPS χειρός της Κάστωρ ΕΠΕ.

Το βάθος μέχρι το οποίο προχώρησαν οι γεωτρήσεις από την επιφάνεια του εδάφους, οι συντεταγμένες και το υψόμετρο του εδάφους στο οποίο εκτελέστηκαν οι γεωτρήσεις δίνονται στον πίνακα 3.1:

Πίνακας 3.1: Πίνακας Γεωτρήσεων

Ονομασία γεώτρησης	Χιλιομετρική θέση	<u>X</u>	Y	υψόμετρο	Βάθος Γεώτρησης (m)
ΣΑ3	26+870	351915,52	4316334,70	+428,50	25,0
Σ4	27+437	351766,22	4316882,87	+538,00	127,0
Σ5	29+700	351145,37	4319075,06	+576,00	80,0
ΣΑ6	30+200	350963,72	4319524,09	+502,00	25,3

Στη συνέχεια γίνεται η περιγραφή των στρώσεων για κάθε γεώτρηση (Σχήμα 3.4):

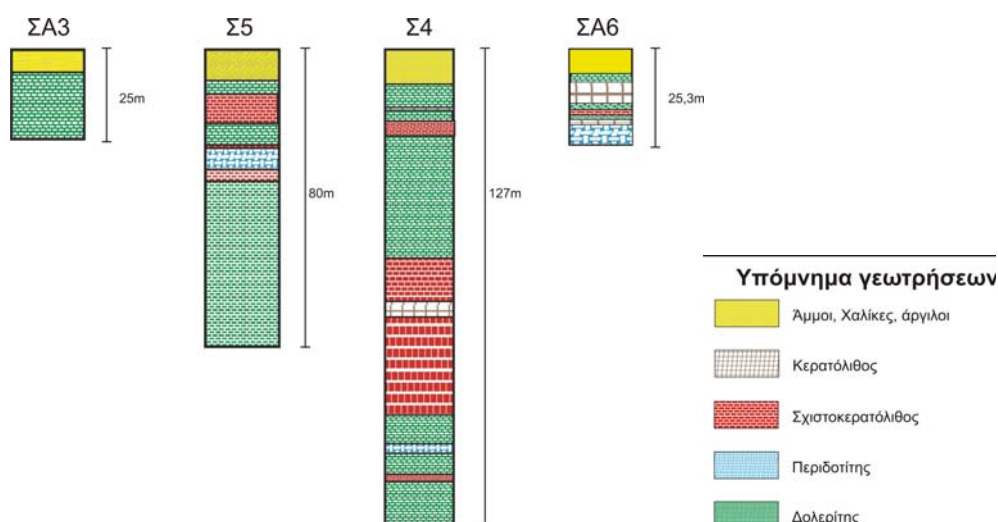
➤ **Στην περιοχή της Γεώτρησης ΣΑ3** (περιοχή στομίου εισόδου του αριστερού κλάδου), οι συνθήκες υπεδάφους είναι **μέτριες μέχρι το βάθος των 5.0 m**. Συναντήθηκαν εδαφικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από άμμο (SC) αργιλώδη, χαλικιώδη - πυκνής έως πολύ πυκνής αποθέσεως. Στη συνέχεια και μέχρι το **μέγιστο βάθος των 25 m**, συναντήθηκαν βραχώδεις σχηματισμοί αποτελούμενοι από δολερίτη υγρή έως λίγο αποσθρωμένο– χαμηλής έως μέσης αντοχής.

➤ **Στην περιοχή της Γεώτρησης Σ4**, οι συνθήκες υπεδάφους είναι **μέτριες μέχρι το βάθος των 9.3 m**. Συναντήθηκαν εδαφικοί σχηματισμοί

αποτελούμενοι από αμμοχάλικα πυκνής έως πολύ πυκνής αποθέσεως. Στη συνέχεια και μέχρι το **μέγιστο βάθος των 127 m**, συναντήθηκαν βραχώδεις σχηματισμοί αποτελούμενοι από δολερίτη λίγο έως μέτρια αποσθρωμένο, χαμηλής έως μέσης αντοχής, με σχιστοκερατολιθικές παρεμβολές. Σε βάθος 42.7 m συναντήθηκαν υπόγεια ύδατα.

➤ Στην περιοχή της Γεώτρησης Σ5, οι συνθήκες υπεδάφους είναι **μέτριες μέχρι το βάθος των 7 m**. Συναντήθηκαν εδαφικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από αμμοχάλικα πυκνής έως πολύ πυκνής αποθέσεως. Στη συνέχεια και μέχρι το **μέγιστο βάθος των 80 m**, συναντήθηκαν βραχώδεις σχηματισμοί αποτελούμενοι από δολερίτη λίγο έως μέτρια αποσθρωμένο, χαμηλής έως μέσης αντοχής, με σχιστοκερατολιθικές παρεμβολές. Σε βάθος 9m συναντήθηκε υδροφόρος ορίζοντας.

➤ Στην περιοχή της Γεώτρησης ΣΑ6, (περιοχή στομίου εξόδου του αριστερού κλάδου), οι συνθήκες υπεδάφους είναι **σχετικά δυσμενείς μέχρι το βάθος των 6.3 m**, διότι συναντήθηκαν εδαφικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από άμμο (SC) αργιλώδη, χαλικώδη με αργιλοϊλύ πολύ πυκνής αποθέσεως. Στη συνέχεια και μέχρι το **μέγιστο βάθος των 25.3 m**, συναντήθηκαν βραχώδεις σχηματισμοί αποτελούμενοι από δολερίτη μέτρια έως πολύ αποσθρωμένο, χαμηλής έως μέσης αντοχής, με σχιστοκερατολιθικές παρεμβολές κυρίως εντελώς αποσθρωμένες, και από περιδοτίτη μετρίως αποσθρωμένο. Σε βάθος 13.6 m συναντήθηκαν υπόγεια ύδατα.



Σχήμα 3.4: Τομές και Υπόμνημα γεωτρήσεων

3.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

3.5.1 Γεωμετρία αναπτυγμάτων

Στην ευρύτερη περιοχή του ορεινού όγκου της Μοσχοκαρυάς σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν σεισμικά διάθλασης και επιφανειακών κυμάτων σε 9 αναπτύγματα συνολικού μήκους 2005 m. Τα 6 από αυτά τα αναπτύγματα (Lines 400, 500, 600, 700 και 800), αποτελούν την γραμμή μελέτης Α, συνολικού μήκους 1120 μέτρων. Άλλα 3 αναπτύγματα (Lines 100, 200 και 900), αποτελούν την γραμμή Β, συνολικού μήκους 650 μέτρων. Τέλος, το ανάπτυγμα που απομένει (Line 300) αποτελεί την γραμμή Γ μήκους 235 μέτρων (Σχήματα 3.2α και 3.2β). Οι τρεις γραμμές μελέτης Α, Β και Γ έχουν διεύθυνση παράλληλη με την χάραξη της σήραγγας.

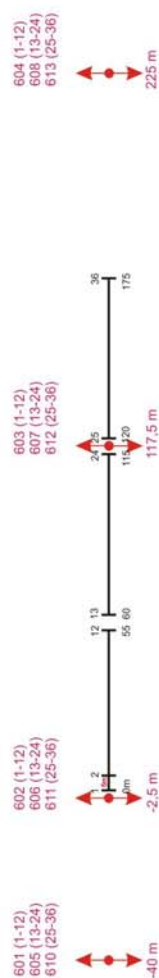
Η γεωμετρία των αναπτυγμάτων των σεισμικών γραμμών μελέτης, δίνεται στα σχήματα 3.5α,β,γ,δ, όπου απεικονίζονται οι θέσεις των σεισμικών πηγών με τελεία, σε σχέση με τα γεώφωνα. Τα γεώφωνα συμβολίζονται με αριθμούς 1-48. Η αρίθμηση στο πάνω μέρος της γραμμής μελέτης αναφέρεται στα ονόματα των αρχείων (καταγραφές). Στο κάτω μέρος της γραμμής μελέτης αναγράφεται η θέση της σεισμικής πηγής. Για παράδειγμα, στην καταγραφή 403(1-12) η πηγή βρισκόταν στην θέση 117,5 m και τα ενεργά κανάλια ήταν από 1-12.

ΓΡΑΜΜΗ Α

Line-400_500



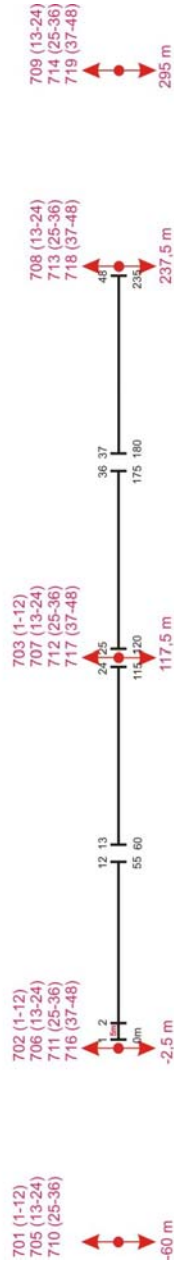
Line-600



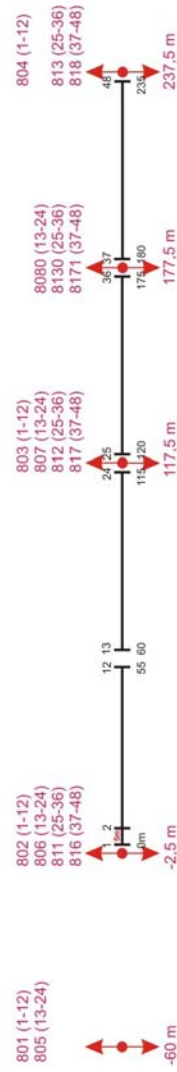
Σχήμα 3.5α: Γεωμετρία της σεισμικής γραμμής μελέτης 400-500 και 600

ΓΡΑΜΜΗ Α

Line-700



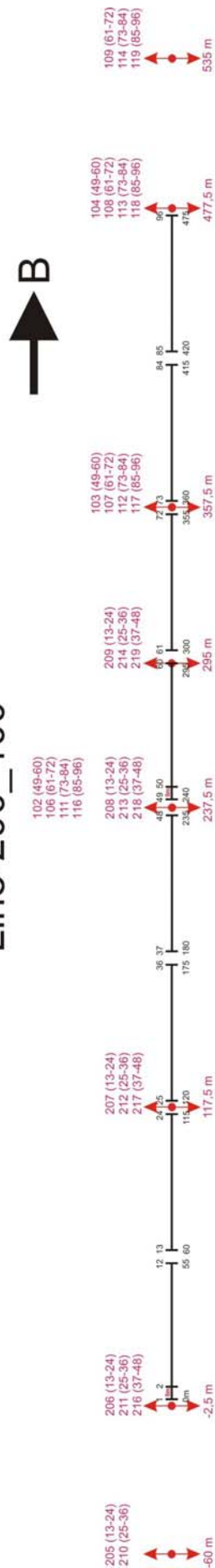
Line-800



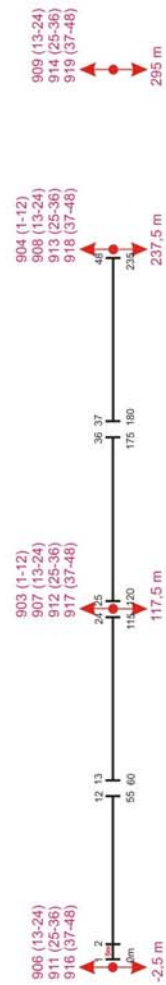
Σχήμα 3.5β: Γεωμετρία της σεισμικής γραμμής μελέτης 700 και 800

ГРАММЫ В

Line-200 100

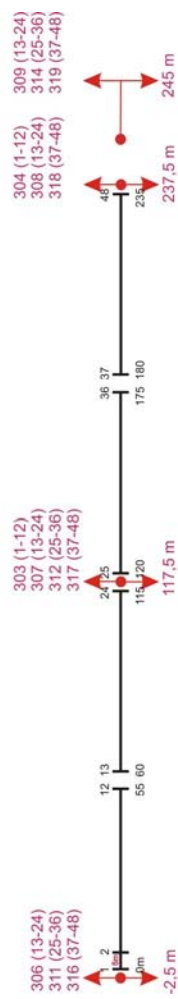


Line-900



Σχήμα 3.5γ: Γεωμετρία της σεισμικής γραμμής 200-100 και 900

Line-300



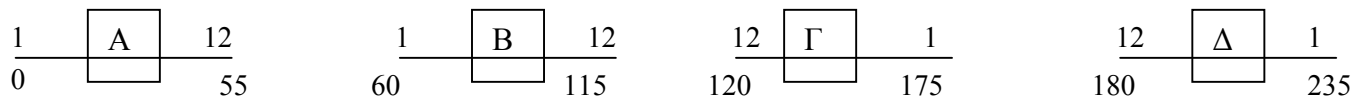
Σχήμα 3.5δ: Γεωμετρία της σεισμικής γραμμής μελέτης 300

3.5.2 Διαδικασία εκτέλεσης της μεθόδου

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

1. Επιλέχθηκε η θέση του πρώτου γεώφωνου και σε απόσταση 55m από αυτό τοποθετήθηκε το τελευταίο γεώφωνο (12°) πάνω στη γραμμή μελέτης.
2. Τοποθετήθηκαν τα 12 γεώφωνα σε ισαποστάσεις 5 m.
3. Τοποθετήθηκε ο σειсмоγράφος στην άκρη του αναπτύγματος.
4. Τα καλώδια συνδέεται με το σειсмоγράφο.
5. Τοποθετείται η σιδερένια πλάκα σε μια προεπιλεγμένη θέση πάνω στη γραμμή μελέτης και συνδέεται το πιεζοηλεκτρικό με τον σειсмоγράφο, μέσω του καλωδίου της πηγής.
6. Η βαριοπούλα κρούεται πάνω στην πλάκα και ο σειсмоγράφος αρχίζει αυτόματα να καταγράφει (καταγραφή κοινής πηγής – shot gather) τις εδαφικές ταλαντώσεις που ανιχνεύουν τα γεώφωνα.
7. Η καταγραφή αυτή εκτυπώνεται, αποθηκεύεται στο σκληρό δίσκο του Laptop και η διαδικασία 6 και 7 επαναλαμβάνεται σε άλλη προεπιλεγμένη θέση πάνω στη γραμμή μελέτης. Οι θέσεις της σεισμικής πηγής πάνω σε μία γραμμή μελέτης συνήθως ήταν 5, όπως φαίνεται και στα Σχήματα τα οποία περιγράφουν την γεωμετρία των αναπτυγμάτων.
8. Η διαδικασία 1 έως 7 επαναλαμβάνεται για το επόμενο ανάπτυγμα της γραμμής μελέτης. Επίσης, λαμβάνεται μέριμνα ώστε τα αναπτύγματα των γραμμών μελέτης να οριοθετούνται σε ευθεία.

Σε κάθε ανάπτυγμα πραγματοποιήθηκαν 4 spread σύμφωνα με την παρακάτω σχηματική απεικόνιση (Σχήμα 3.6). Οι αριθμοί στο πάνω μέρος υποδηλώνουν την διάταξη των γεωφώνων, ενώ στο κάτω μέρος την απόσταση. Σε κάθε ανάπτυγμα και τα 4 spread έπρεπε να ενωθούν σε ένα, κατά την διαδικασία του picking. Αξίζει να τονίσουμε ότι στα spread Γ και Δ, οι διατάξεις των γεωφώνων ήταν αντίστροφες από αυτές στα Α και Β. Συνεπώς τα δεδομένα των Γ και Δ έπρεπε να αντιστραφούν κατά την ένωση.



Σχήμα 3.6: σχηματική απεικόνιση των *spread* σε κάθε ανάπτυγμα

3.5.3 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στην ύπαιθρο περιελάμβανε:

- Σεισμογράφο 12 καναλιών Geode της EG&G GEOMETRICS ©.
- 12 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας ιδιοσυχνότητας 14 Hz της MARK PRODUCTS ©.
- Μία μπαταρία 12 Volt για την τροφοδοσία του σεισμογράφου.
- Ένα καλώδιο σύνδεσης μπαταρίας - σεισμογράφου.
- Ένα καλώδιο με 12 απολήξεις ανά 5 m για την σύνδεση των γεωφώνων με το σεισμογράφο.
- Μία βαριοπούλα 5 kg για την δημιουργία σεισμικών δονήσεων.
- Μία σεισμική πηγή τύπου Betsy Gun (Σχήμα 3.7).
- Μία σιδερένια πλάκα διαστάσεων 20cm x 20 cm πάνω στην οποία κρούει η βαριοπούλα.
- Ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο της MARK PRODUCTS © προσαρτημένο στο στέλεχος της βαριοπούλας για την ενεργοποίηση (triggering) της καταγραφής του σεισμογράφου.
- Καλώδιο 150 m για την σύνδεση του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου με τον σεισμογράφο.
- Laptop για τον έλεγχο και αποθήκευση των καταγραφών.



Σχήμα 3.7.: Σεισμική πηγή τύπου *SeisGun* (Betsy M 3 της Winchester).

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΓΚΡΙΣΗ

4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

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

- Επιλογή των πρώτων αφίξεων
- Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων
- Προσδιορισμός των σεισμικών ταχυτήτων και των μοντέλων βάθους (σεισμικές τομές).

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 36 spread και προέκυψαν 135 σεισμικές καταγραφές (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1: Πίνακας σεισμικών καταγραφών

LINE	SPREAD A	SPREAD B	SPREAD Γ	SPREAD Δ
100	102-104	106-109	111-114	116-119
200	-----	205-209	210-214	216-219
300	303-304	306-308	311-312	316-319
400	401-404	405-409	410-414	416-419
500	501-504	505-509	510-514	516-519
600	601-604	605-608	610-613	-----
700	701-703	705-709	710-714	716-719
800	801-804, 8041	805-807, 8080	812,8130, 8131	817-818
900	903	906-909	911-914	917-919

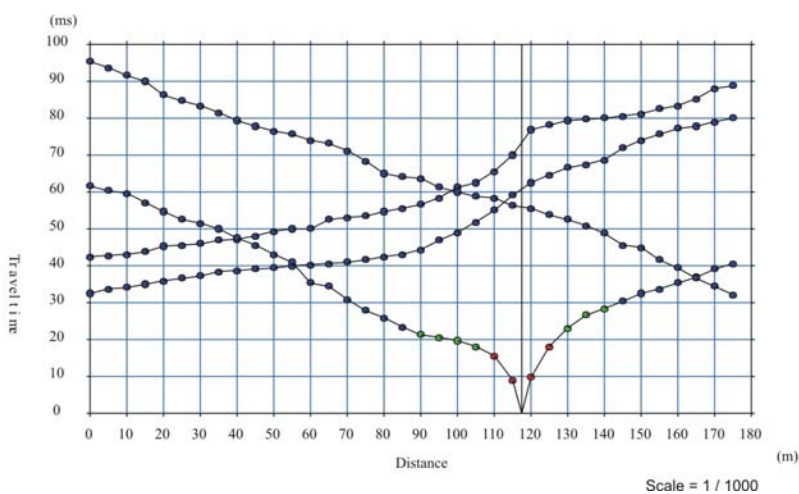
4.1.1 Επιλογή πρώτων αφίξεων

Η επιλογή των πρώτων αφίξεων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό SeisImager της EG&G GEOMETRICS © και περιλαμβάνει τον καθορισμό της χρονικής στιγμής όπου το έδαφος αρχίζει να ταλαντώνεται σε κάποιο γεώφωνο. Η διαδικασία αυτή για την καταγραφή απεικονίζεται στο Σχήμα 2.3. Οι υπόλοιπες καταγραφές των σεισμικών γραμμών παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

4.1.2 Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων

Γνωρίζοντας την απόσταση του κάθε γεωφώνου από την πηγή είναι δυνατό να κατασκευαστεί διάγραμμα πρώτων αφίξεων συναρτήσει της απόστασης από την σεισμική πηγή (δρομοχρονικό διάγραμμα). Στο διάγραμμα αυτό εντοπίζονται τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα από κάθε διεπιφάνεια με τη βοήθεια του λογισμικού PlotRefa της EG&G GEOMETRICS © και αντιστοιχούνται σε εδαφικά στρώματα .

Έτσι λοιπόν δίνεται παρακάτω το δρομοχρονικό διάγραμμα του αναπτύγματος Line 300 που αποτελεί την σεισμική γραμμή μελέτης ΓΡΑΜΜΗ Γ (σχήμα 4.1). Παρατηρείται ότι αποτελείται από 3 στρώματα που συμβολίζονται με διαφορετικό χρώμα. Το πρώτο αντιστοιχεί στο επιφανειακό στρώμα και έχει κόκκινο χρώμα, το δεύτερο αντιστοιχεί στο υποκείμενο στρώμα και έχει χρώμα πράσινο, ενώ ακολουθεί το τρίτο και τελευταίο στρώμα που ανιχνεύθηκε με χρώμα μπλε.



Σχήμα 4.1: Δρομοχρονικό διάγραμμα για το ανάπτυγμα Line 600, όπου τα στρώματα απεικονίζονται με διαφορετικό χρώμα. Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε msec, ενώ στον οριζόντιο η απόσταση από την πηγή σε m.

Τα δρομοχρονικά διαγράμματα των υπολοίπων αναπτύγματος (Line 400-500, 700, 800, 200-100,900 και 300) παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.

4.1.3 Προσδιορισμός των σεισμικών ταχυτήτων και των μοντέλων βάθους (σεισμικές τομές)

Ο προσδιορισμός των σεισμικών ταχυτήτων και των μοντέλων βάθους (σεισμικές τομές) προκύπτουν από το λογισμικό SeisImager της EG&G GEOMETRICS © χρησιμοποιώντας τη μέθοδο επεξεργασίας των δεδομένων σεισμικής διάθλασης που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.2 και την τεχνική Ray Tracing (Haeni *et al.*, 1987).

Έτσι λοιπόν με την βοήθεια του λογισμικού SeisImager προκύπτουν τα μοντέλα βάθους για κάθε σεισμική γραμμή, όπου υπολογίζεται η ταχύτητα κάθε στρώματος του εδαφικού μοντέλου που προκύπτει και παράλληλα προσδιορίζεται το βάθος στο οποίο υπάρχει αλλαγή του γεωλογικού υλικού. Σε κάθε μοντέλο βάθους απεικονίζεται και η πλησιέστερη γεώτρηση που έχει πραγματοποιηθεί, ενώ στο πάνω μέρος κάθε τομής οι αριθμοί κόκκινου χρώματος δηλώνουν τις θέσεις χάραξης της σήραγγας. Σε όλες τις γραμμές μελέτης εισήχθησαν τα απόλυτα υψόμετρα για καλύτερη προσέγγιση του πραγματικού μοντέλου του υπεδάφους.

4.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ

4.2.1 Ανάπτυγμα Line 400-500

Στο Σχήμα 4.2 παρατίθεται η σεισμική τομή που περιγράφει την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων και προέκυψε από την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων της γραμμής αυτής. Η Line 400-500 αποτελεί το πρώτο τμήμα της ΓΡΑΜΜΗΣ Α. Σε απόσταση 75 m μετά το τέλος της, πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση Σ5 που βρίσκεται σε υψόμετρο 576 m και έχει βάθος 80 m. Στα πρώτα 7,7m της γεώτρησης εμφανίζονται αμμοχάλικα, και στη συνέχεια μέχρι τα 80m δολερίτης με σχιστοκερατολιθικές παρεμβολές. Η Line 400-500 παρουσιάζει ομαλή κλίση προς τον Βορρά, ξεκινώντας από υψόμετρο 630 m και καταλήγει στα 590 m σε οριζόντια απόσταση 470 m. Το πρώτο σεισμικό στρώμα (κόκκινο χρώμα) έχει πάχος 5 έως 6 m και ακολουθεί την μορφολογία του εδάφους. Το εύρος σεισμικών ταχυτήτων αυτού του στρώματος κυμαίνεται από 600 έως 700 m/s. Το υποκείμενο σεισμικό στρώμα (πράσινο χρώμα) ακολουθεί την ίδια πορεία κι έχει σταθερό πάχος 4 m. Ωστόσο από τα 140 έως τα 180 m της γραμμής μελέτης, σχηματίζει μία κοιλάτητα που φθάνει σε πάχος τα 12 m. Οι σεισμικές ταχύτητες στο στρώμα αυτό κυμαίνονται μεταξύ 1900

και 2100 m/s. Στο επόμενο σεισμικό στρώμα (μπλε χρώμα), οι σεισμικές ταχύτητες είναι γύρω στα 3000 m/s. Γενικότερα αξίζει να τονίσουμε ότι σε βάθη μικρότερα των 10 m παρατηρούνται αυξημένες σεισμικές ταχύτητες 2500-3000m/s που σύμφωνα με την γεώτρηση Σ5, οφείλονται στον υδροφόρο ορίζοντα.

4.2.2 Ανάπτυγμα Line 600

Στο Σχήμα 4.3 παρατίθεται η σεισμική τομή που περιγράφει την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων και προέκυψε από την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων της γραμμής αυτής. Η Line 600 πραγματοποιήθηκε σε διεύθυνση παράλληλη με την ΓΡΑΜΜΗ Α (Line 400-500) και σε απόσταση 87 m περίπου προς την Δύση (σχήμα3.2 αεροφωτογραφία). Πάνω στο μοντέλο βάθους της Line 600 προβάλλεται η γεώτρηση Σ5. Το υψόμετρο της Line 600, ξεκινάει από τα 588 m και καταλήγει στα 578 m. Το πρώτο σεισμικό στρώμα (κόκκινο χρώμα) ακολουθεί την μορφολογία του εδάφους. Το πάχος του ξεκινάει από τα 2 m και ελαττώνεται στο 1 m στα 85 m της γραμμής μελέτης. Σε απόσταση 110 m, στη θέση χάραξης 595 της σήραγγας και μέχρι το τέλος της γραμμής το πάχος του είναι σταθερό και ίσο με 3m. Οι σεισμικές ταχύτητες αυτού του στρώματος κυμαίνονται από 600 έως 800 m/s. Το σεισμικό στρώμα που ακολουθεί (πράσινο χρώμα) έχει σταθερό πάχος 23 m μέχρι τα 60 m της γραμμής μελέτης. Στη συνέχεια το πάχος του ελαττώνεται φθάνοντας τα 10 m και παραμένει σταθερό, από τα 110m της γραμμής μελέτης μέχρι το τέλος. Το εύρος των σεισμικών ταχυτήτων αυτού του στρώματος είναι από 1900 έως 2100 m/s. Στο επόμενο σεισμικό στρώμα (μπλε χρώμα), οι σεισμικές ταχύτητες έχουν εύρος 2800 - 3000 m/s.

4.2.3 Ανάπτυγμα Line 700

Στο Σχήμα 4.4 παρατίθεται η σεισμική τομή που περιγράφει την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων και προέκυψε από την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων της γραμμής αυτής. Μετά από την Line 600 και σε απόσταση 38 m από την προβολή της πάνω στην ΓΡΑΜΜΗ Α, ακολουθεί η Line 700. Η Line 700 παρουσιάζει σχετικά έντονη υψομετρική διαφορά (κλίση προς τον Βορρά). Το υψόμετρο στο πρώτο και τελευταίο γεώφωνο της γραμμής ήταν στα 550 m και στα 522 m αντίστοιχα, ενώ η οριζόντια έκταση της εν λόγω γραμμής ήταν 235 m. Το επιφανειακό σεισμικό

στρώμα (κόκκινο χρώμα) ακολουθεί την μορφολογία του εδάφους. Το πάχος του μέχρι τα 40 m της γραμμής μελέτης είναι ίσο με 2 m, από τα 40 m έως τα 140 m φθάνει τα 4 m, και καταλήγει πάλι ίσο με 2 m μέχρι το τέλος της γραμμής. Το εύρος των σεισμικών ταχυτήτων στο στρώμα αυτό είναι από 700 μέχρι 900 m/s. Το υποκείμενο σεισμικό στρώμα (πράσινο χρώμα) έχει πάχος το οποίο κυμαίνεται από 4 έως 8 m μέχρι τα 130 m της γραμμής μελέτης θέση χάραξης 599 της σήραγγας, και στη συνέχεια αυξάνεται στα 15 m μέχρι το τέλος. Οι σεισμικές ταχύτητες κυμαίνονται από 1700 μέχρι 2000 m/s. Το επόμενο σεισμικό στρώμα (μπλε χρώμα), έχει ταχύτητα γύρω στα 3000 m/s.

4.2.4 Ανάπτυγμα Line 800

Στο Σχήμα 4.5 παρατίθεται η σεισμική τομή που περιγράφει την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων και προέκυψε από την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων της γραμμής αυτής. Σε απόσταση 25 m από το τέλος της Line 700 ακολουθεί η Line 800, που αποτελεί και το τελευταίο τμήμα της ΓΡΑΜΜΗΣ Α. Στην θέση που απέχει 108 m από την αρχή της Line 800, προβάλλεται η γεώτρηση ΣΑ6 που βρίσκεται σε απόσταση 125 m δυτικά από την γραμμή. Η γεώτρηση έγινε σε υψόμετρο 502 m και έχει βάθος 25,3 m. Στα πρώτα 6,3 m της γεώτρησης εμφανίζεται αργιλώδης - χαλικώδης άμμος ενώ μέχρι τα 25,3 m δολερίτης με σχιστοκερατολιθικές παρεμβολές και περιδοτίτη. Η Line 800 παρουσιάζει πολύ μικρή κλίση προς τον Βορρά ξεκινώντας από υψόμετρο 520 m και καταλήγει στα 511 m σε οριζόντια απόσταση 230 m. Το επιφανειακό σεισμικό στρώμα (κόκκινο χρώμα) μέχρι τα 150 m της γραμμής μελέτης έχει πάχος ίσο με 8 m, ενώ από τα 150 m μέχρι το τέλος της γραμμής αυξάνεται σταδιακά και γίνεται ίσο με 18 m. Το εύρος των σεισμικών ταχυτήτων στο στρώμα αυτό κυμαίνεται από 700 μέχρι 1100 m/s. Το υποκείμενο σεισμικό στρώμα (πράσινο χρώμα) παρουσιάζει σταθερό πάχος 3 m μέχρι τα 120 m της γραμμής μελέτης, το οποίο στη συνέχεια αυξάνεται σταδιακά στα 8 m μέχρι το τέλος. Οι σεισμικές ταχύτητες κυμαίνονται από 1800 μέχρι 2000 m/s. Το επόμενο σεισμικό στρώμα (μπλε χρώμα), έχει ταχύτητα γύρω στα 3000 m/s.

4.2.5 Ανάπτυγμα Line 200-100

Στο Σχήμα 4.6 παρατίθεται η σεισμική τομή που περιγράφει την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων και προέκυψε από την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων της γραμμής αυτής. Το πρώτο τμήμα της ΓΡΑΜΜΗΣ Β αποτελεί η Line 200-100. Στην αρχή το έδαφος έχει υψόμετρο 507 m και σταδιακά αυξάνεται στα 530 m μέχρι την θέση που απέχει 410 m από την αρχή. Σε απόσταση 34 m από το τέλος της γραμμής, πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση Σ4 που βρίσκεται σε υψόμετρο 538 m και έχει βάθος 127 m. Στα πρώτα 9,3 m της γεώτρησης εμφανίζονται αμμοχάλικα, και στη συνέχεια μέχρι τα 127 m δολερίτης με σχιστοκερατολιθικές παρεμβολές. Το επιφανειακό σεισμικό στρώμα της Line 200-100 (κόκκινο χρώμα) παρουσιάζει σταθερό πάχος 5 m μέχρι τα πρώτα 190 m της γραμμής μελέτης, ανάμεσα από τις θέσεις χάραξης 544 και 545, και στη συνέχεια το πάχος φθάνει στο 1 m μέχρι το τέλος, ακολουθώντας πάντα την μορφολογία του εδάφους. Οι σεισμικές ταχύτητες του στρώματος κυμαίνονται από 700 μέχρι 900 m/s. Το σεισμικό στρώμα που ακολουθεί (πράσινο χρώμα) παρουσιάζει πάχος το οποίο κυμαίνεται από 5 έως 10 m. Σε απόσταση 360 m από την αρχή της γραμμής, κοντά στη θέση χάραξης 548, σχηματίζει μια εμφανή κοιλότητα που φθάνει σε πάχος σχεδόν τα 20 m. Το εύρος των σεισμικών ταχυτήτων του στρώματος είναι μεταξύ 1600 και 2100 m/s. Στο επόμενο σεισμικό στρώμα (μπλε χρώμα), οι σεισμικές ταχύτητες έχουν εύρος 2900 - 3000 m/s.

4.2.6 Ανάπτυγμα Line 900

Στο Σχήμα 4.7 παρατίθεται η σεισμική τομή που περιγράφει την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων και προέκυψε από την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων της γραμμής αυτής. Σε απόσταση 61 m από το τέλος της Line 200-100 ακολουθεί η Line 900 κι έτσι ολοκληρώνεται η ΓΡΑΜΜΗ Β. Η γεώτρηση Σ4 βρίσκεται σε υψόμετρο 538 m και απέχει 27 m από την αρχή της γραμμής. Η Line 900 ξεκινά με υψόμετρο 529 m, φτάνει τα 531 m από τα 80 έως τα 105 m της γραμμής μελέτης, και καταλήγει στα 528 m στο τέλος της γραμμής. Το υπερκείμενο σεισμικό στρώμα (κόκκινο χρώμα) έχει σταθερό πάχος 5-6 m και ακολουθεί την μορφολογία του εδάφους μέχρι τα 115 m της γραμμής όπου και σταματάει. Εμφανίζεται ξανά από τα 130 m, στη θέση χάραξης 552, μέχρι το τέλος της γραμμής, με πάχος 1 m. Το εύρος των σεισμικών ταχυτήτων είναι 700-1000 m/s. Το υποκείμενο σεισμικό στρώμα (πράσινο

χρώμα) έχει σταθερό πάχος γύρω στα 25 m για τα πρώτα 175 m της γραμμής μελέτης. Στη συνέχεια το πάχος του ελαττώνεται απότομα και γίνεται 4 m μέχρι το τέλος της γραμμής. Οι σεισμικές ταχύτητες στο στρώμα αυτό κυμαίνονται μεταξύ 1500 και 1900 m/s. Στο επόμενο σεισμικό στρώμα (μπλε χρώμα), οι σεισμικές ταχύτητες έχουν εύρος 2700 - 3000 m/s.

4.2.7 Ανάπτυγμα Line 300

Στο Σχήμα 4.8 παρατίθεται η σεισμική τομή που περιγράφει την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων και προέκυψε από την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων της γραμμής αυτής. Η ΓΡΑΜΜΗ Γ αποτελείται από την Line 300 και σε απόσταση 10m από την αρχή της πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση ΣΑ3 που βρίσκεται σε υψόμετρο 428,50 m και έχει βάθος 25 m. Στα πρώτα 5 m της γεώτρησης εμφανίζεται αργιλώδης - χαλικώδης άμμος και στη συνέχεια μέχρι τα 25 m δολερίτης. Η Line 300 παρουσιάζει διακύμανση στην μορφολογία του εδάφους, ξεκινώντας από υψόμετρο 432 m, φτάνοντας το μέγιστο 444 m σε απόσταση 90 m από την αρχή της, και έπειτα καταλήγει σε υψόμετρο 428 m στο τέλος της. Στην παραπάνω τομή το επιφανειακό σεισμικό στρώμα (κόκκινο χρώμα) εμφανίζεται με σταθερό πάχος περίπου στα 8 m ακολουθώντας την μορφολογία του εδάφους μέχρι το υψηλότερο σημείο της γραμμής μελέτης. Στη συνέχεια το πάχος του ελαττώνεται σε 1 m και φθάνει τα 0,5 m στο τέλος της γραμμής. Το εύρος των σεισμικών ταχυτήτων αυτού του στρώματος κυμαίνεται από 500 έως 700 m/s. Στη συνέχεια ακολουθεί το επόμενο σεισμικό στρώμα (πράσινο χρώμα) του οποίου το πάχος κυμαίνεται από 3 έως 5 m, μέχρι τα 150 m της γραμμής μελέτης. Μετά τα 150 m της γραμμής μελέτης, στη θέση χάραξης 540, το εν λόγω σεισμικό στρώμα σχηματίζει μια κοιλότητα που φθάνει σε πάχος τα 12 m. Οι σεισμικές ταχύτητες σ' αυτό το στρώμα κυμαίνονται μεταξύ 1800 και 2100 m/s. Το επόμενο σεισμικό στρώμα (μπλε χρώμα), έχει ταχύτητα γύρω στα 2900 m/s.

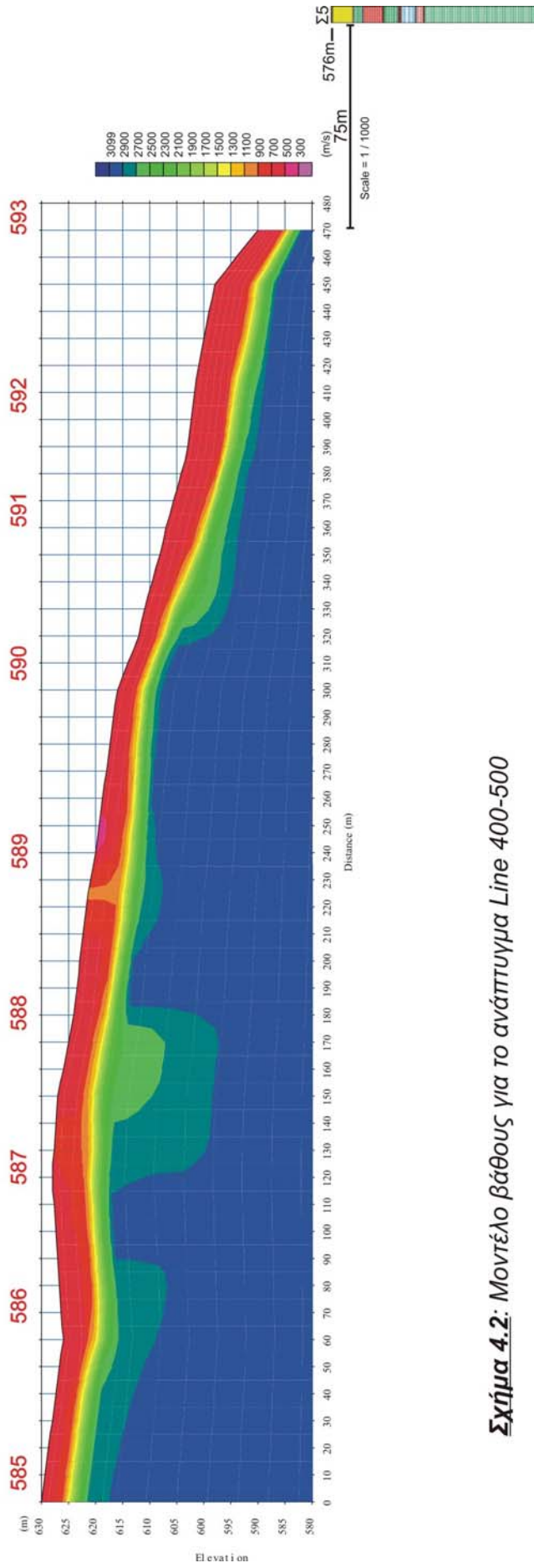
4.2.8 Σύνοψη αποτελεσμάτων σεισμικής διάθλασης

Τα αποτελέσματα των σεισμικών ταχυτήτων για κάθε σεισμική γραμμή παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι μέχρι τα 50 m βάθος.

Πίνακας 4.1 : Σύνοψη αποτελεσμάτων σεισμικών ταχυτήτων

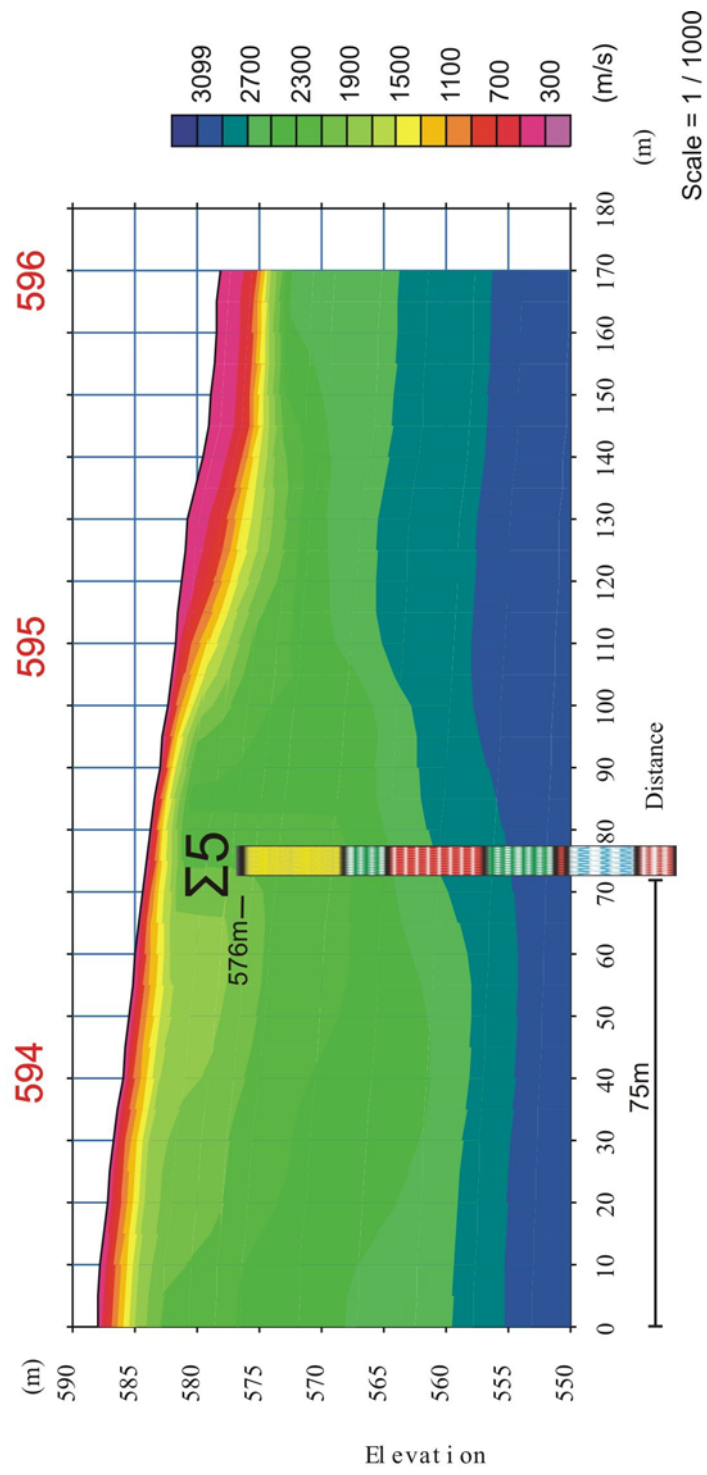
	Εύρος σεισμικών ταχυτήτων (m/s)		
	1 ^ο στρώματος	2 ^ο στρώματος	3 ^ο στρώματος
ΓΡΑΜΜΗ Α			
Line 400-500	600-700	1900-2100	3000
Line 600	600-800	1900-2100	2800-3000
Line 700	700-900	1700-2000	3000
Line 800	700-1100	1800-2000	3000
ΓΡΑΜΜΗ Β			
Line 200-100	700-900	1600-2100	2900-3000
Line 900	700-1000	1500-1900	2700-3000
ΓΡΑΜΜΗ Γ			
Line 300	500-700	1800-2100	2900

Line 400-500

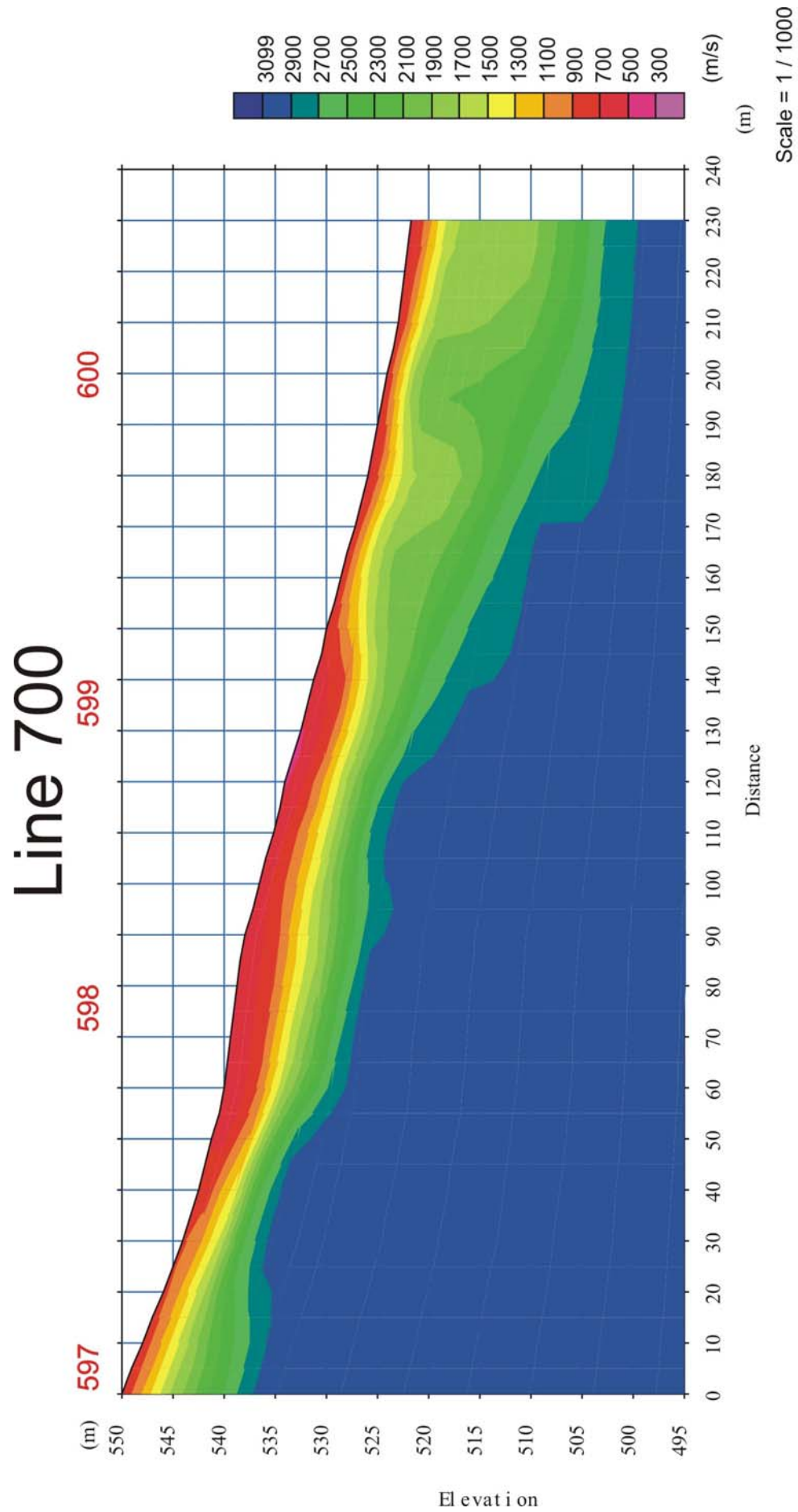


Σχήμα 4.2: Μοντέλο βάθους για το ανάπτυγμα Line 400-500

Line 600

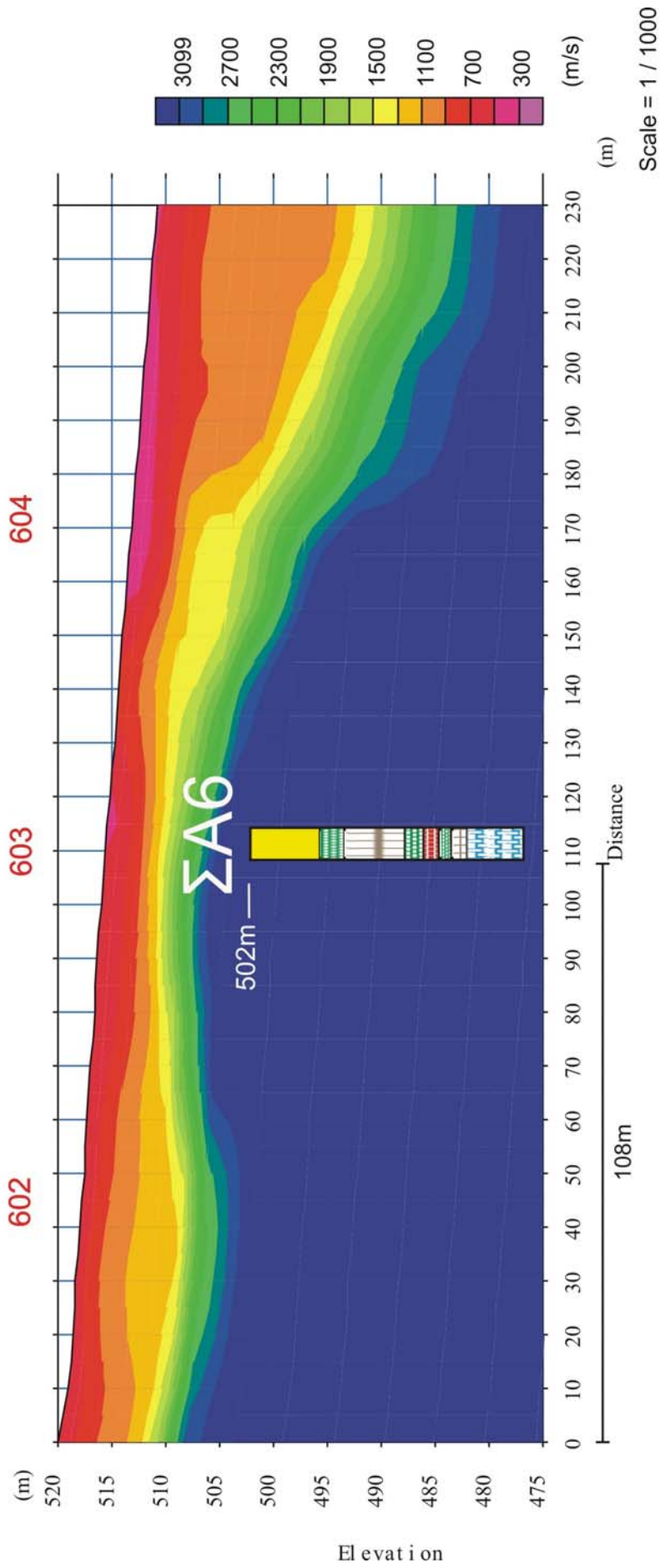


Σχήμα 4.3: Μοντέλο βάθους για το ανάπτυγμα Line 600



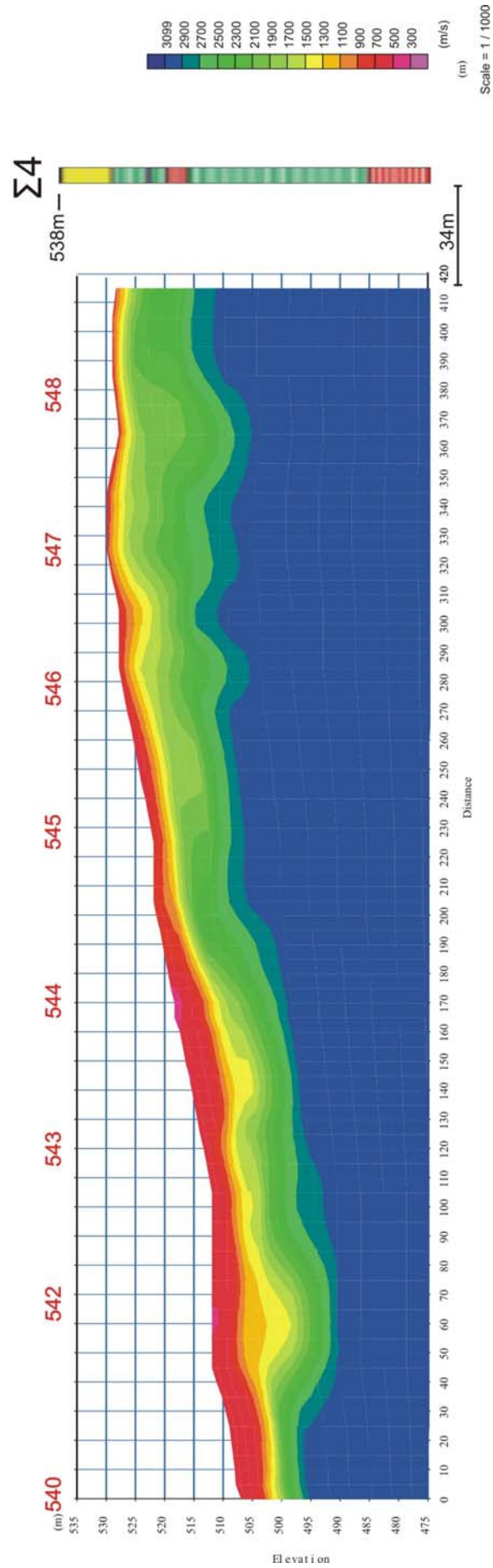
Σχήμα 4.4: Μοντέλο βάθους για το ανάπτυσμα Line 700

Line 800



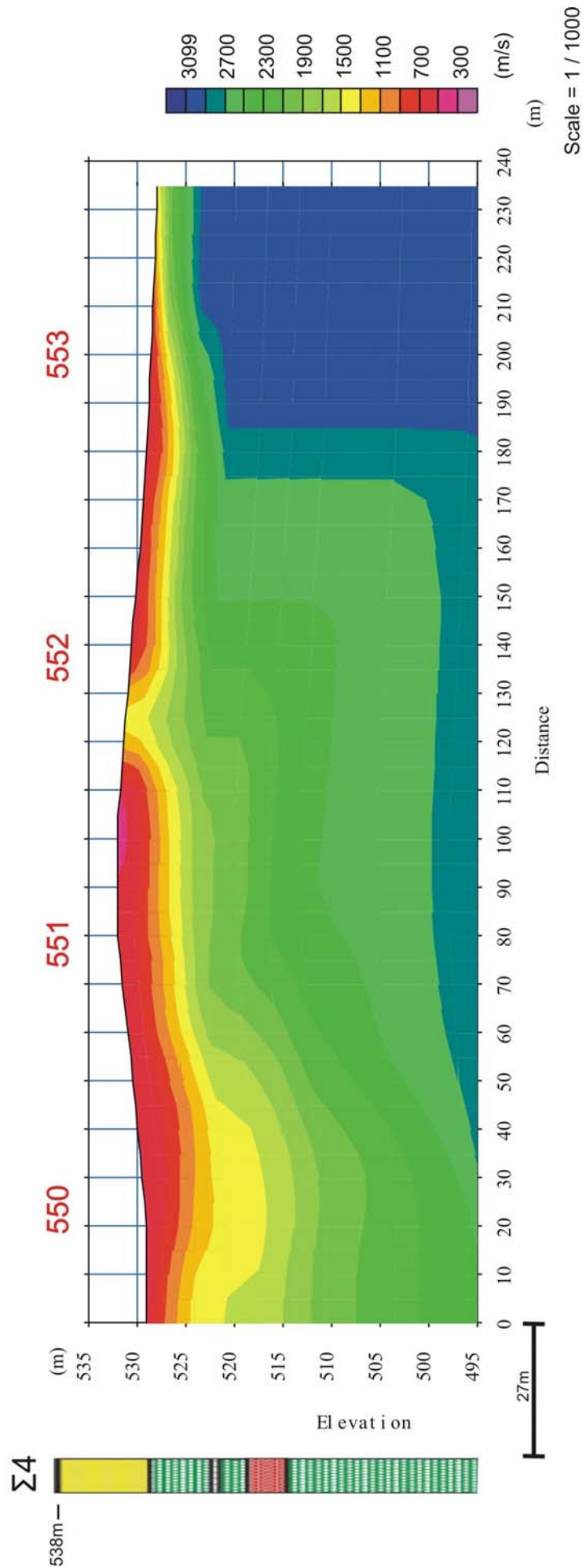
Σχήμα 4.5: Μοντέλο βάθους για το ανάπτυγμα Line 800

Line 200-100



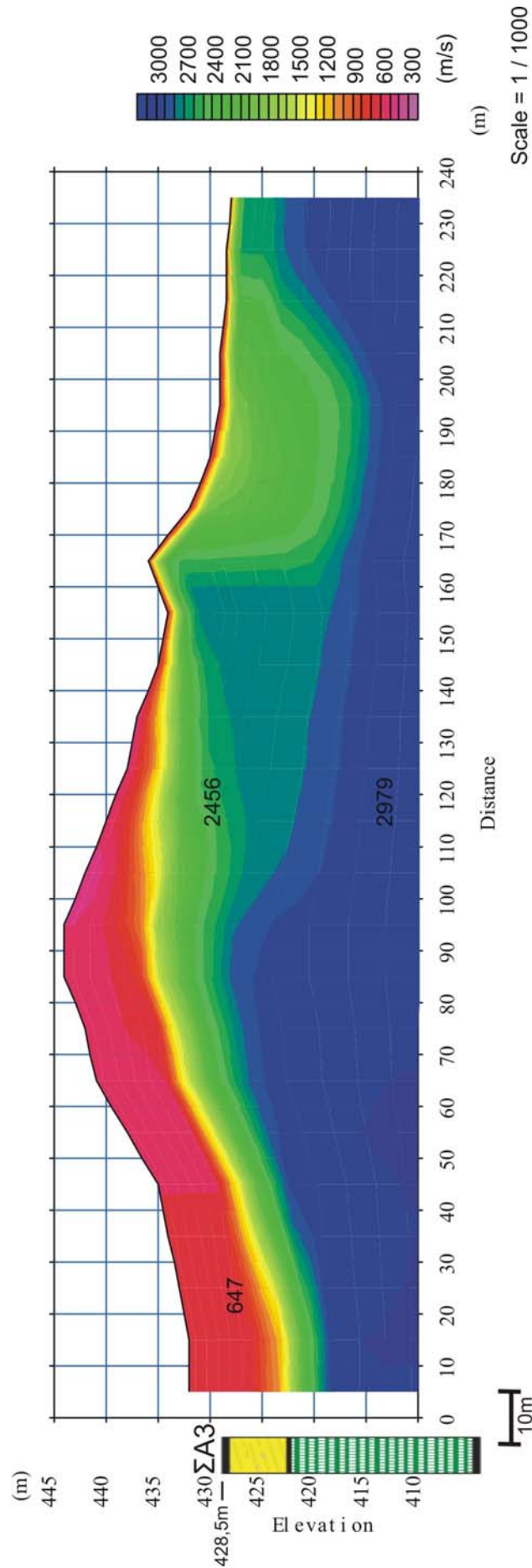
Σχήμα 4.6: Μοντέλο βάθους για το ανάπτυγμα Line 200-100

Line 900



Σχήμα 4.7: Μοντέλο βάθους για το ανάπτυσμα Line 900

Line 300



Σχήμα 4.8: Μοντέλο βάθους για το ανάπτυγμα Line 300

Με βάση τις σεισμικές ταχύτητες που προσδιορίστηκαν από την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης και τα γεωλογικά-διατρητικά στοιχεία της περιοχής μελέτης προκύπτει ότι το υπέδαφος αποτελείται από:

Α) Ένα επιφανειακό στρώμα που αποδίδεται κυρίως σε αμμοχάλικα πυκνής έως πολύ πυκνής αποθέσεως με ταχύτητες διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων που κυμαίνονται από $V_{p_{min}} = 600 \text{ m/sec}$ έως $V_{p_{max}} = 1000 \text{ m/sec}$. Η διαβάθμιση της ταχύτητας στο στρώμα αυτό οφείλεται στο διαφορετικό ποσοστό αποθέσεως του αργιλώδους υλικού. Β) Ένα ενδιάμεσο στρώμα που αποδίδεται σε δολερίτη χαμηλής έως μέσης αντοχής με σχιστοκερατολιθικές παρεμβολές, όπου οι ταχύτητες διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων κυμαίνονται από $V_{p_{min}} = 1700 \text{ m/sec}$ έως $V_{p_{max}} = 2100 \text{ m/sec}$. Η διαβάθμιση της ταχύτητας στο στρώμα αυτό οφείλεται στην ύπαρξη σχιστοκερατολιθικών παρεμβολών καθώς και στο διαφορετικό βαθμό αποσάθρωσης λόγω παρουσίας του νερού.

Γ) Ένα υποκείμενο στρώμα που ακολουθεί και αποδίδεται σε πιο συμπαγή δολερίτη με ταχύτητες διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων μεγαλύτερες από $V_{p_{min}} = 3000 \text{ m/sec}$.

4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Σε μέρος των σεισμικών δεδομένων εφαρμόστηκε και η μέθοδος της ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων, της οποίας η επεξεργασία έγινε με λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης σε περιβάλλον MatLab.

Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των μοντέλων βάθους που προέκυψαν από την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης, με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων. Στο ένθετο (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ), που συνοδεύει την παρούσα διπλωματική εργασία πάνω στα μοντέλα βάθους, με άσπρο χρώμα απεικονίζεται η κατανομή της ταχύτητας διάδοσης V_s των εγκάρσιων κυμάτων σε συνάρτηση με το βάθος. Παρατηρούνται αντιστροφές της ταχύτητας, κάτι που υποβαθμίζει τα αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας. Κατά κανόνα οι ταχύτητες των S κυμάτων αυξάνονται με το βάθος, εκτός από κάποιες περιοχές, κυρίως σε μικρά βάθη, όπου συμβαίνει αντιστροφή της ταχύτητας. Έτσι λοιπόν συγκριτικά βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

- Στο μοντέλο βάθους του αναπτύγματος Line 400-500, στην θέση χάραξης 587 και σε βάθος σχεδόν 10 m, η ταχύτητα των επιφανειακών κυμάτων υπολογίζεται ίση με $V_s=800 \text{ m / s}$. Η αντίστοιχη ταχύτητα των διαμήκων κυμάτων είναι $V_p= 2500 \text{ m / s}$ όπως υπολογίζεται από τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας και αποδίδεται σε δολερίτη.
- Στο μοντέλο βάθους του αναπτύγματος Line 400-500, στην θέση χάραξης 591, αρχικά σε βάθος 20 m, η ταχύτητα των επιφανειακών κυμάτων $V_s= 1000 \text{ m / s}$ αντιστοιχεί σε ταχύτητα $V_p= 3000 \text{ m / s}$ όπως υπολογίζεται από τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας και αποδίδεται σε δολερίτη. Στη συνέχεια η ταχύτητα των επιφανειακών αυξάνεται σε $V_s= 1800 \text{ m / s}$ και αποδίδεται στην εμφάνιση πιο συμπαγούς δολερίτη κάτι που δεν μπορεί να υπολογίσει η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας.
- Στο μοντέλο βάθους του αναπτύγματος Line 800, στην θέση χάραξης 603, αρχικά σε βάθος 20 m, η ταχύτητα των επιφανειακών κυμάτων $V_s= 1000 \text{ m / s}$ αντιστοιχεί σε ταχύτητα $V_p= 3000 \text{ m / s}$ όπως υπολογίζεται από τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας και αποδίδεται σε δολερίτη. Στη συνέχεια η ταχύτητα των επιφανειακών αυξάνει σε $V_s= 1400 \text{ m / s}$ και αποδίδεται στην εμφάνιση πιο συμπαγούς δολερίτη κάτι που δεν μπορεί να υπολογίσει η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας.
- Στο μοντέλο βάθους του αναπτύγματος Line 200-100, ανάμεσα στις θέσεις χάραξης 546 και 547, σε βάθος 20 m, η ταχύτητα των επιφανειακών κυμάτων $V_s= 1000 \text{ m / s}$ αντιστοιχεί σε ταχύτητα $V_p=3000 \text{ m / s}$ όπως υπολογίζεται από τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας και αποδίδεται σε δολερίτη.
- Στο μοντέλο βάθους του αναπτύγματος Line 900, παρατηρείται μια πλευρική μεταβολή της ταχύτητας των P κυμάτων, κάτι που συμβαίνει αντίστοιχα και στην ταχύτητα των S κυμάτων.

4.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Στην γεωηλεκτρική τομή B παρατηρείται γενικά πλευρική μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, όπου μειωμένες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης διακόπτουν τη συνέχεια των σχηματισμών, υποδεικνύοντας αλληπάλληλες επωθήσεις στην περιοχή (Σχήμα 4.9).

Η γεώτρηση Σ4 έδειξε στα σημεία χάραξης 548 και 549 κυρίως εναλλαγή δολεριτικών και σχιστοκερατολιθικών σχηματισμών και χρησιμοποιήθηκε για την ερμηνεία της γεωηλεκτρικής τομής. Επεκτείνοντας την πληροφορία αυτή, βλέπουμε Νότια της γεώτρησης (θέση χάραξης 547) φαίνεται η παρουσία κυρίως σχιστοκερατολίθων μέχρι βάθος 50 μέτρων περίπου, ενώ στην θέση χάραξης 546 η εμφάνιση υψηλών τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης πιθανόν σχετίζεται με δολεριτικά πετρώματα. Στην θέση χάραξης 543 παρατηρείται πάλι εμφάνιση σχιστοκερατολιθικών σχηματισμών μέχρι και την θέση 542, όπου ο υγιής βραχώδης σχηματισμός δολεριτικής σύστασης εμφανίζεται πάλι. Στην γραμμή μελέτης Β, το δάπεδο της χάραξης φαίνεται να είναι σε υγιή σχετικά πετρώματα, με εξαίρεση τις παρεμβολές του σχιστοκερατολίθου.

Παρατηρείται ότι κατά κανόνα η αύξηση των σεισμικών ταχυτήτων σημαίνει και αύξηση των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων. Αυτό σημαίνει ότι οι εν λόγω σχηματισμοί είναι σχετικά υγιείς. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου δηλαδή έχουμε υψηλές αντιστάσεις και χαμηλές σεισμικές ταχύτητες, έχουμε λιγότερο υγιείς σχηματισμούς, στην περίπτωση πάντα όπου δεν έχουμε υδροφορία. Η εμφάνιση υδροφορίας οδηγεί σε υψηλότερες σχετικά σεισμικές ταχύτητες των σχηματισμών.

Στην γεωηλεκτρική τομή Β διακρίνεται τόσο στην οριζόντια, όσο και στην κατακόρυφη διεύθυνση μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που αποδίδεται σε εναλλαγή δολεριτών και σχιστοκερατολίθων και σχετίζεται με επωθήσεις. Πάνω από την σήραγγα στις θέσεις χάραξης 547-549, αναμένεται, σύμφωνα και με την γεώτρηση, η εμφάνιση σχιστοκερατολίθων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της σεισμικής τομογραφίας, σε συνδυασμό με την ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων και την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας παρουσιάζονται για την σήραγγα τα εξής:

- Στόμιο Εισόδου Σήραγγας Αριστερού Κλάδου

Οι συνθήκες υπεδάφους στην περιοχή του στομίου εισόδου της σήραγγας όπου πραγματοποιήθηκε η Σεισμική Γραμμή Γ και η γεώτρηση ΣΑ3, είναι σχετικά καλές αφού κατά την διάνοιξη της σήραγγας θα διατηρηθεί δολερίτης υγής έως λίγο αποσαθρωμένος, χαμηλής έως μέσης αντοχής. Στην περιοχή του στομίου εισόδου δεν συναντήθηκε υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας. Υπάρχει ένα εδαφικό στρώμα πάχους περίπου 5 m, αποτελούμενο από αργιλώδη άμμο πυκνής αποθέσεως, το οποίο πρέπει να αντιστηρίζει η είσοδος.

- Στόμιο Εξόδου Σήραγγας Αριστερού Κλάδου

Οι συνθήκες υπεδάφους στην περιοχή του στομίου εξόδου της σήραγγας όπου πραγματοποιήθηκε η Σεισμική Γραμμή Α και η γεώτρηση ΣΑ6, είναι μέτριες διότι αναμένεται ένα εδαφικό στρώμα αποσάθρωσης αποτελούμενος από αργιλοιλυώδη άμμο, πολύ πυκνής αποθέσεως πάχους 6 m περίπου. κάτω από τα εδαφικά υλικά θα συναντηθεί δολερίτης μέτρια αποσαθρωμένος με κερατόλιθο πολύ αποσαθρωμένο, χαμηλής αντοχής. Στην περιοχή του στομίου εξόδου δεν συναντήθηκε υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας.

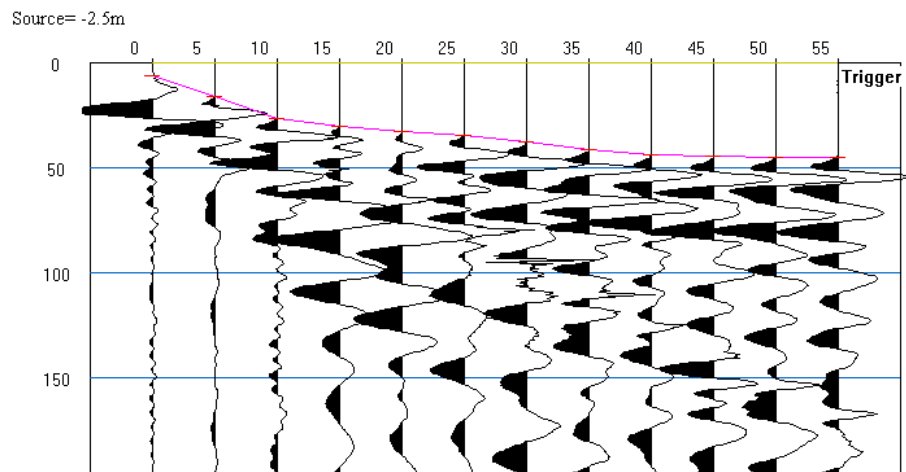
- Κύριο Σώμα Σήραγγας

Οι συνθήκες υπεδάφους στην περιοχή του κυρίως σώματος της σήραγγας όπου πραγματοποιήθηκε η Σεισμική Γραμμή Β, αναμένονται γενικά μέτριες έως καλές, και κατά την διάνοιξη της σήραγγας θα διατηρηθούν κυρίως δολερίτες. Κατά ζώνες θα διατηρηθούν περιδοτίτες, κερματισμένοι κερατόλιθοι και σχιστοκερατόλιθοι. Επίσης αναμένονται αναβλύσεις υδάτων λόγω του υδροφόρου ορίζοντα.

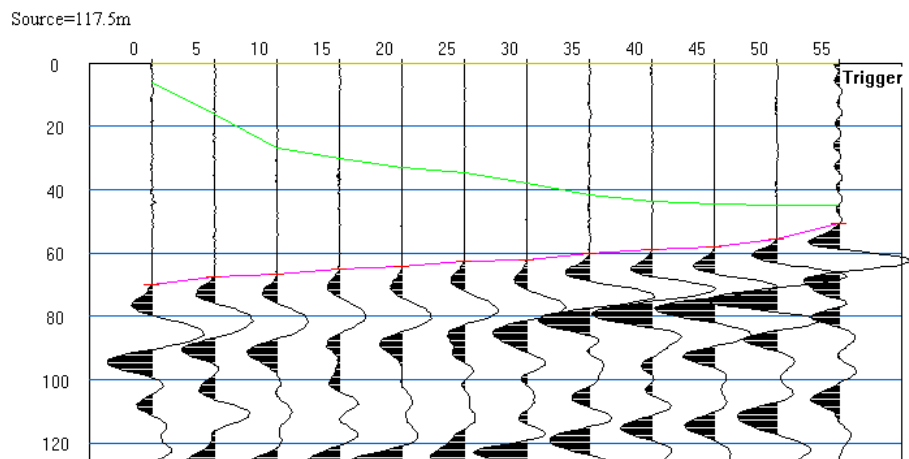
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

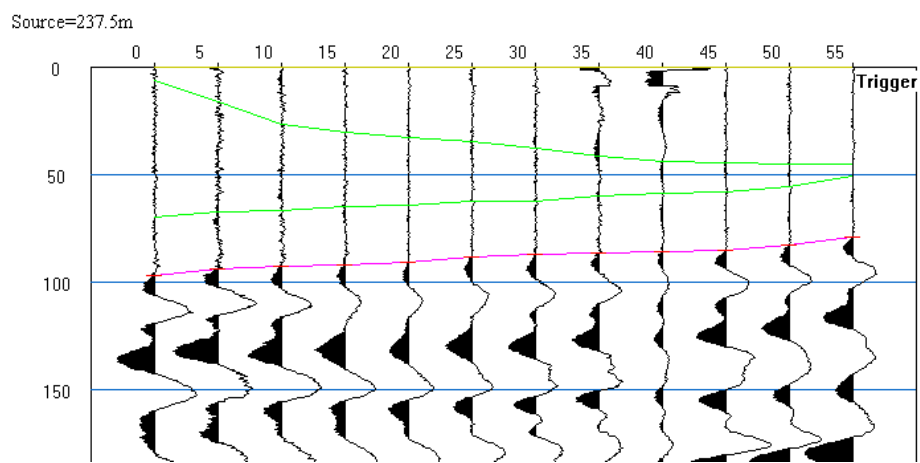
LINE 100: SPREAD A



LINE 100:SPREAD A_record 102



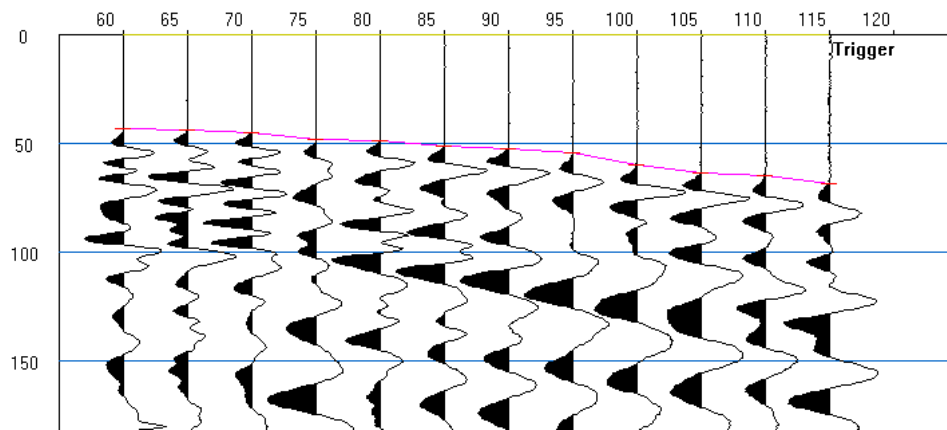
LINE 100: SPREAD A_record 103



LINE 100: SPREAD A_record 104

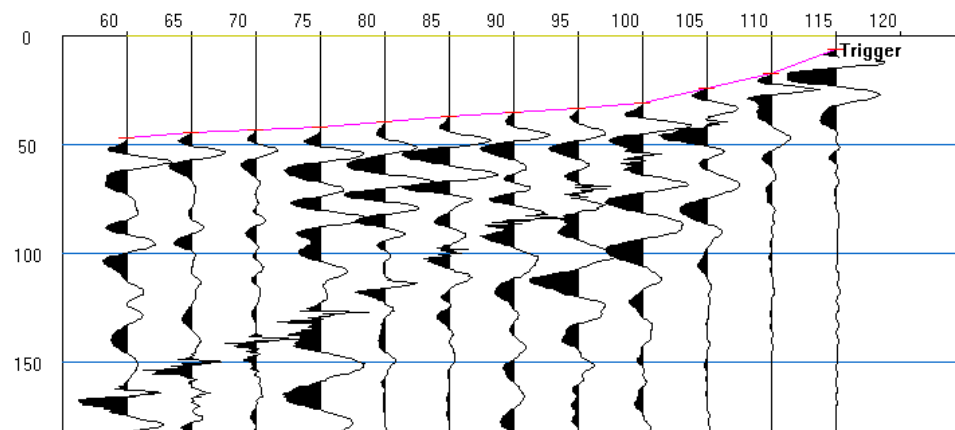
LINE 100: SPREAD B

Source=-2.5m



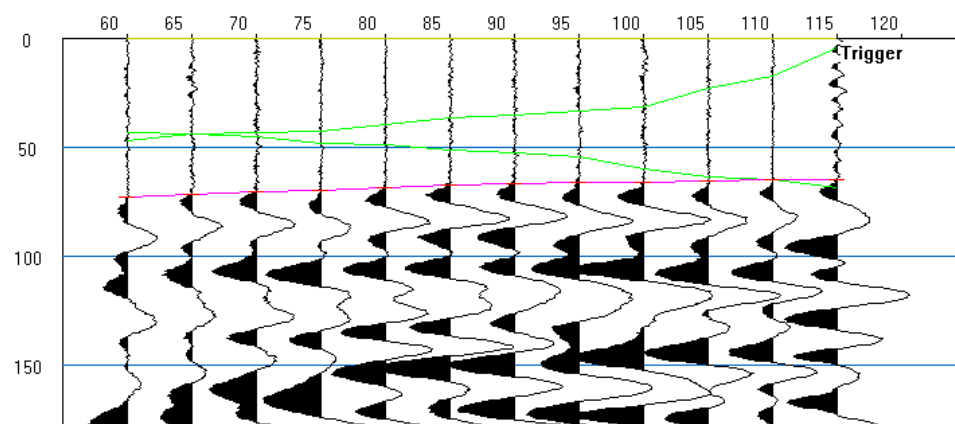
LINE 100: SPREAD B_record 106

Source=117.5m

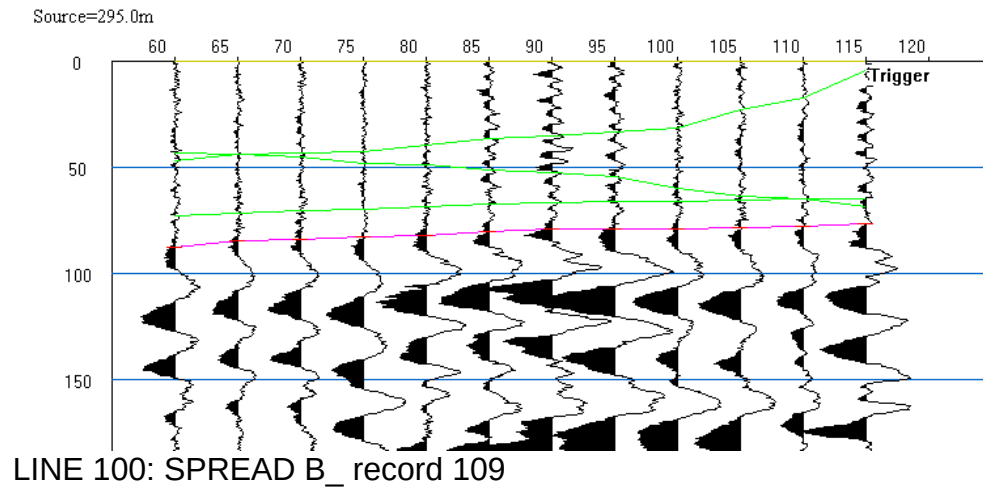


LINE 100: SPREAD B_record 107

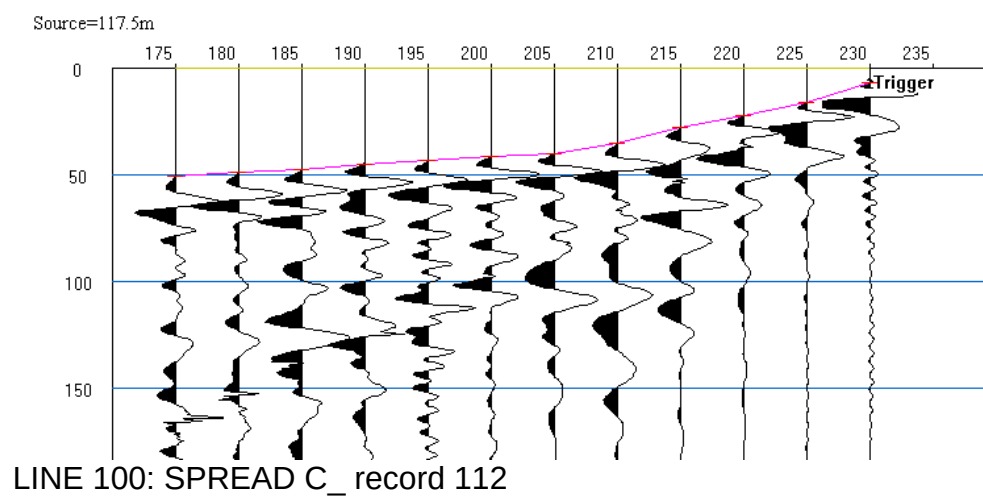
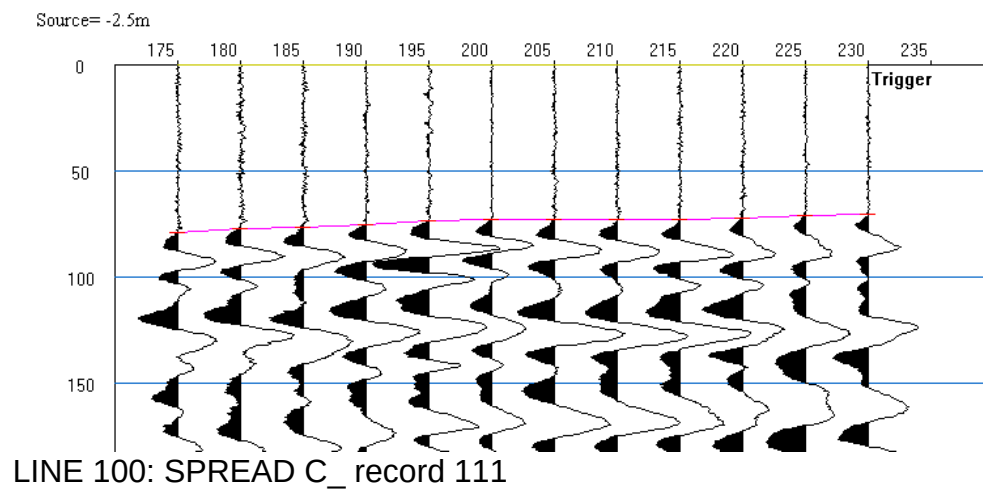
Source=237.5m

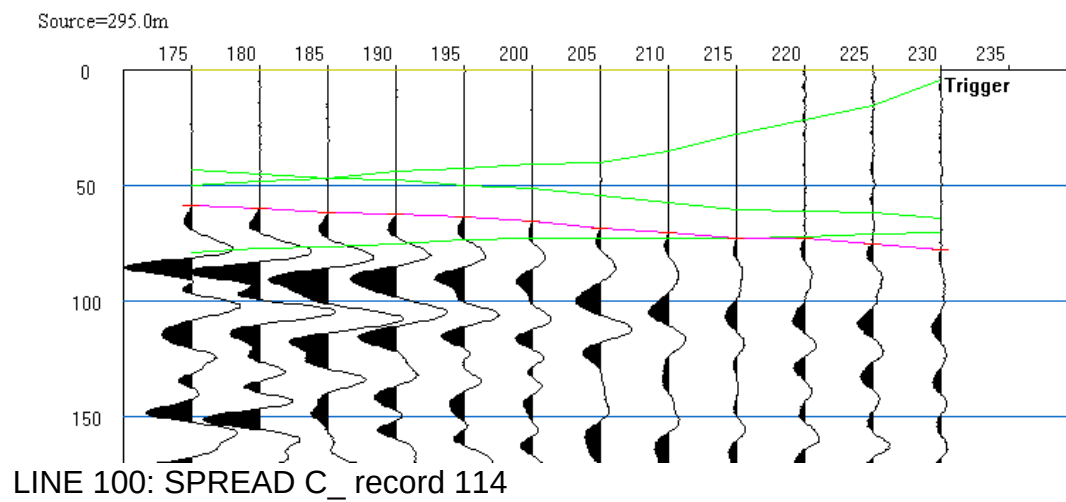
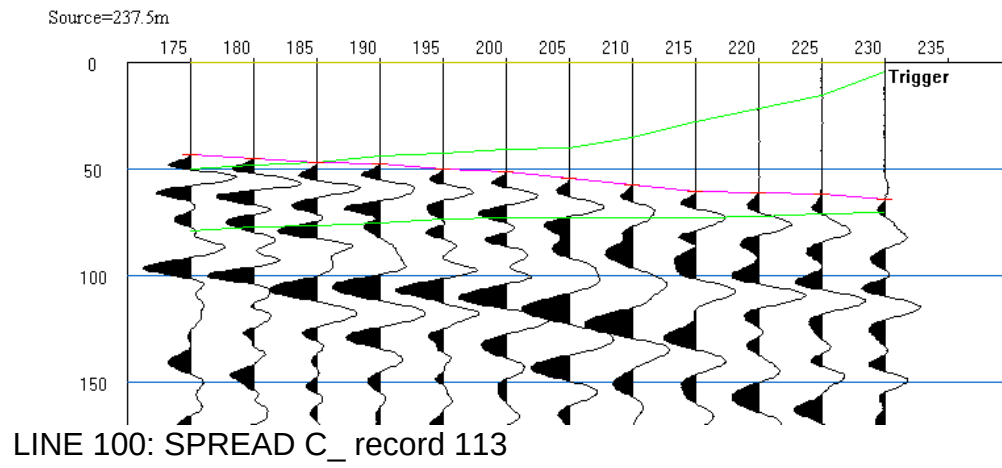


LINE 100: SPREAD B_record 108

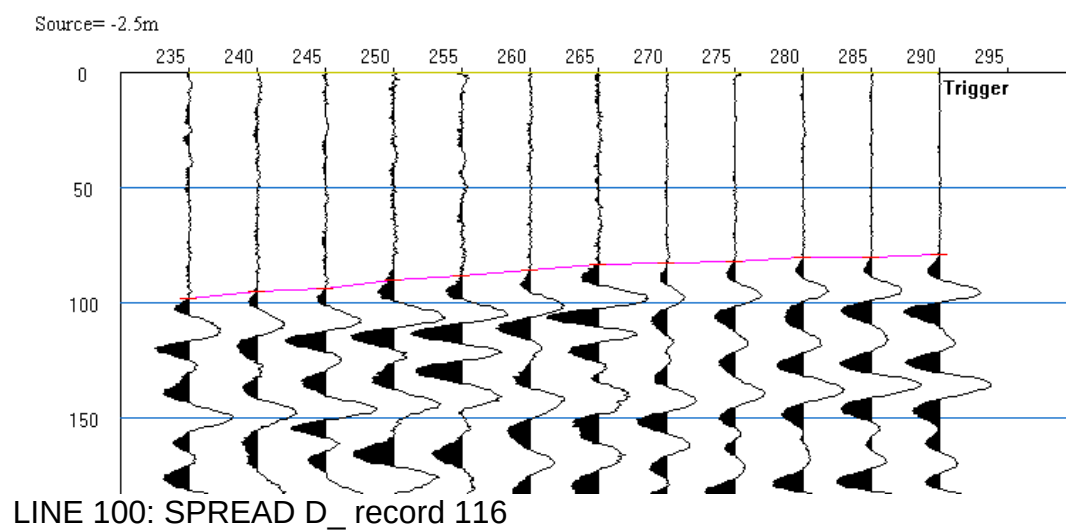


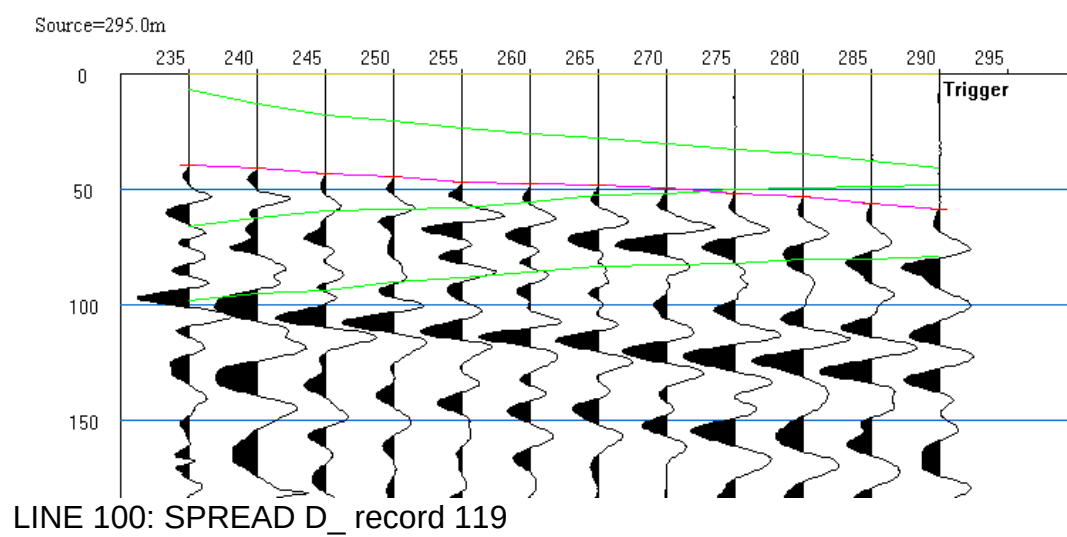
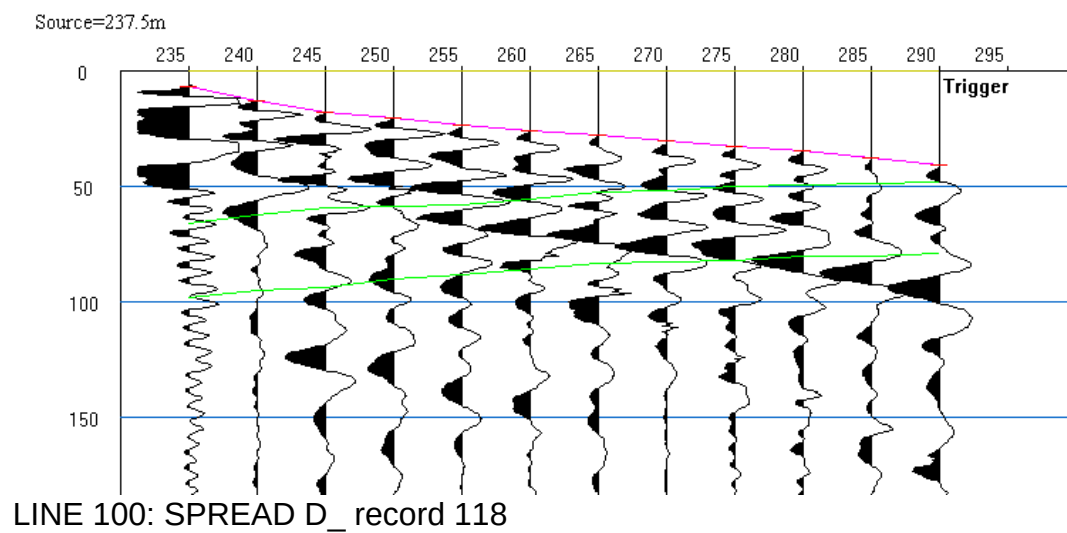
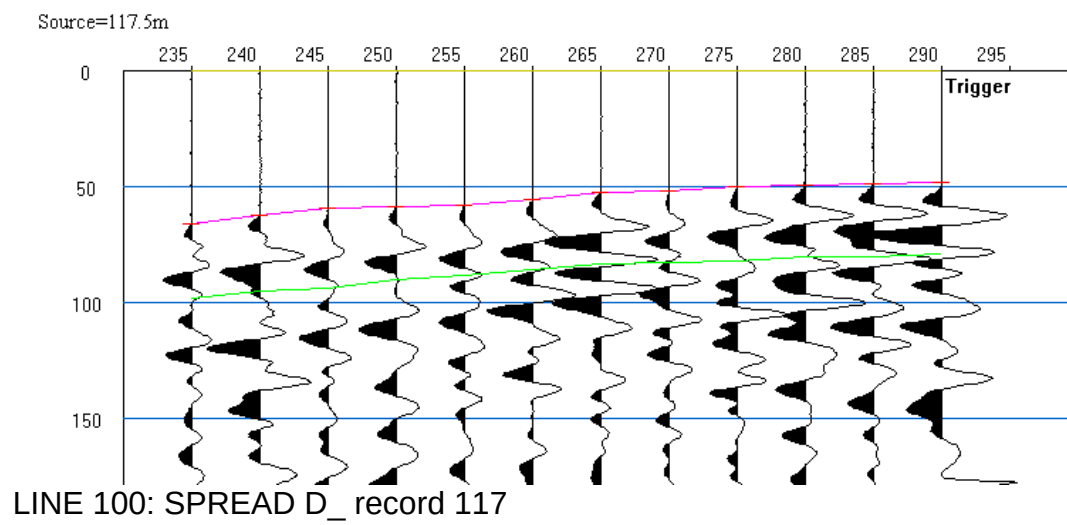
LINE 100: SPREAD C



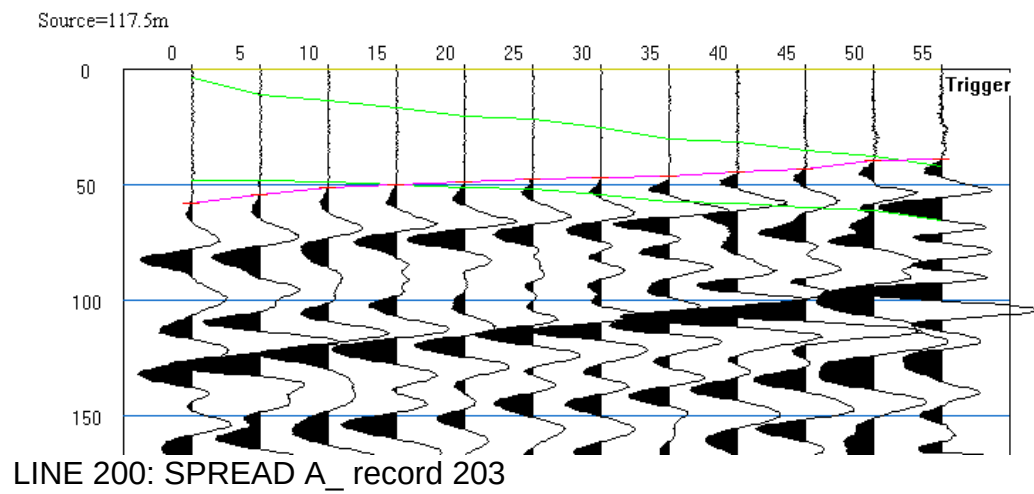
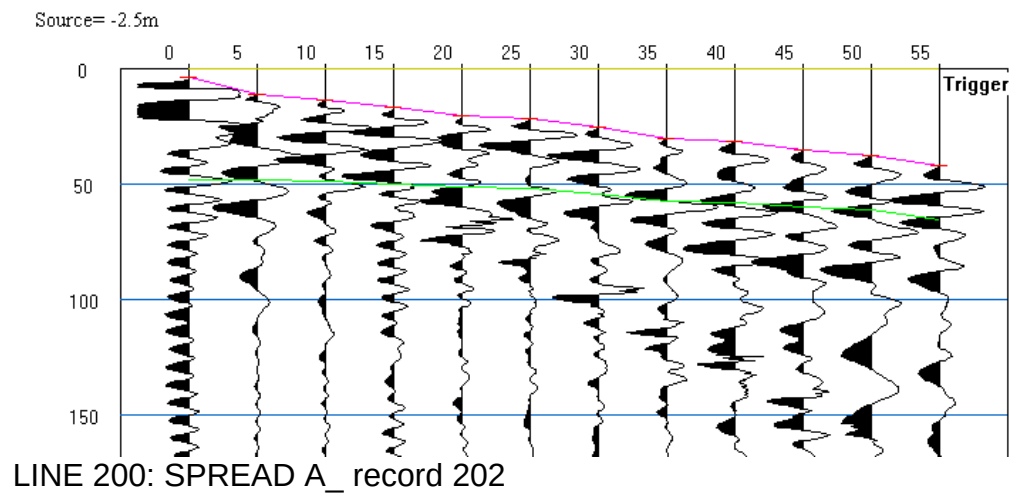
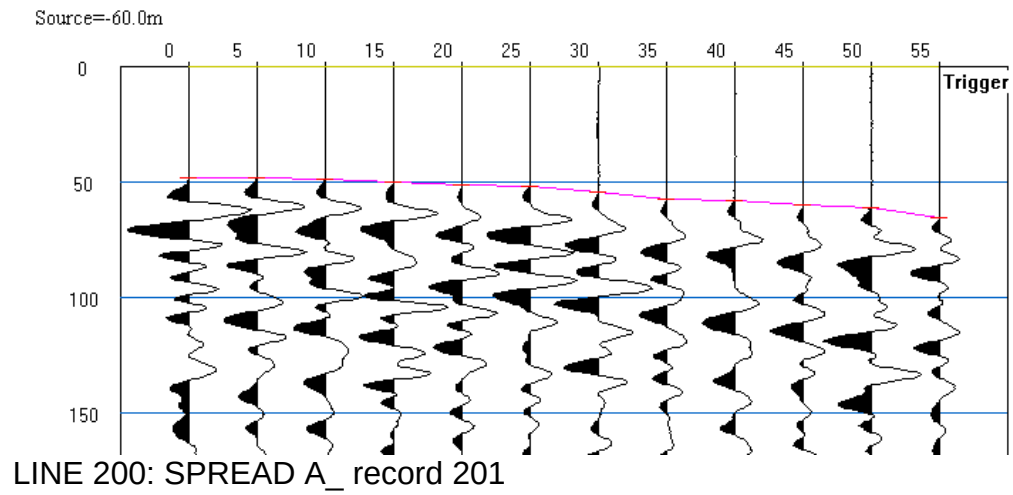


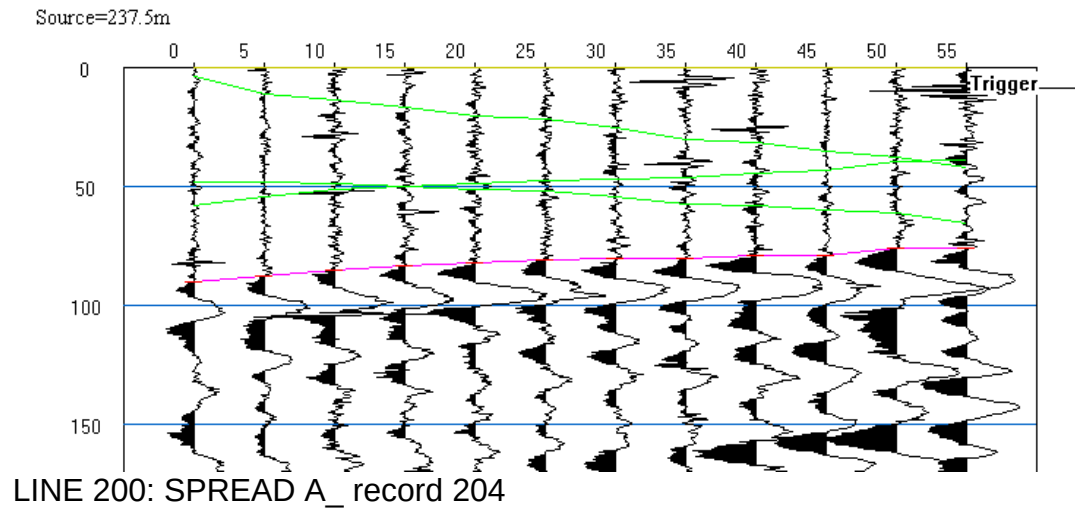
LINE 100: SPREAD D



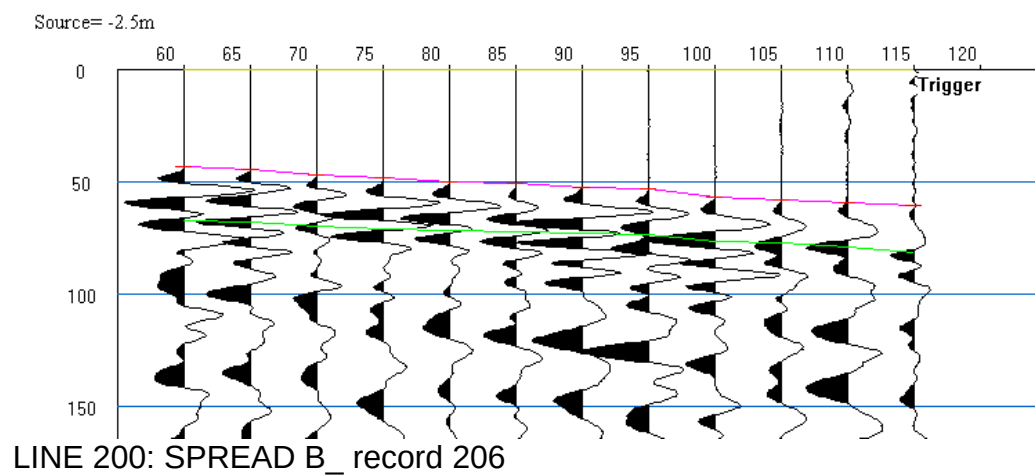
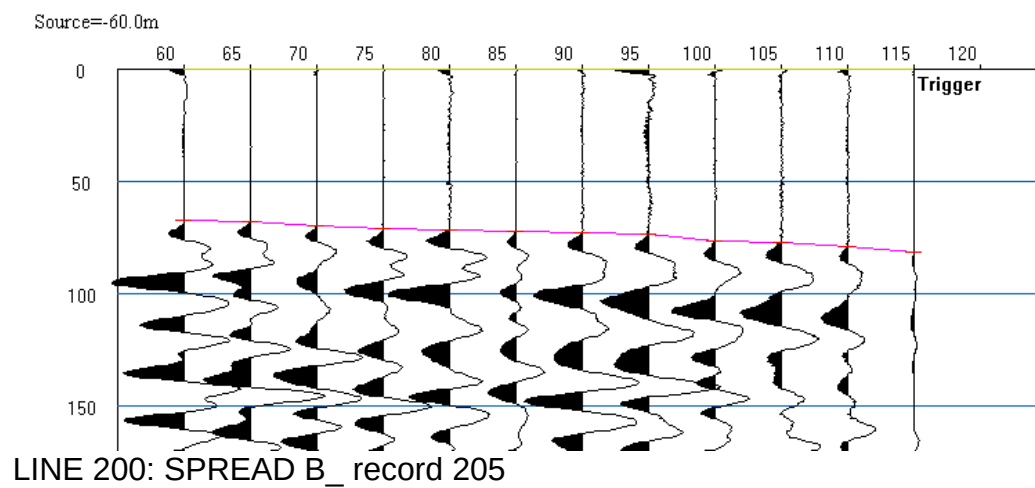


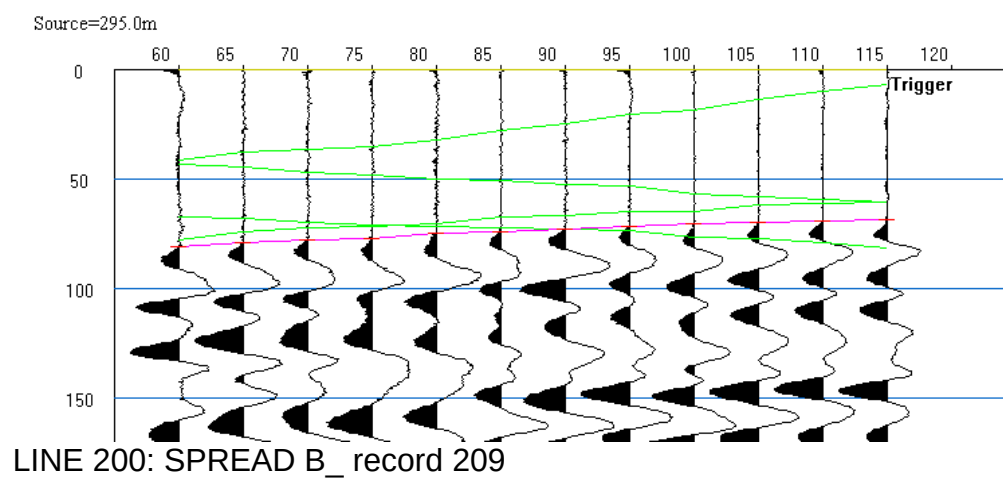
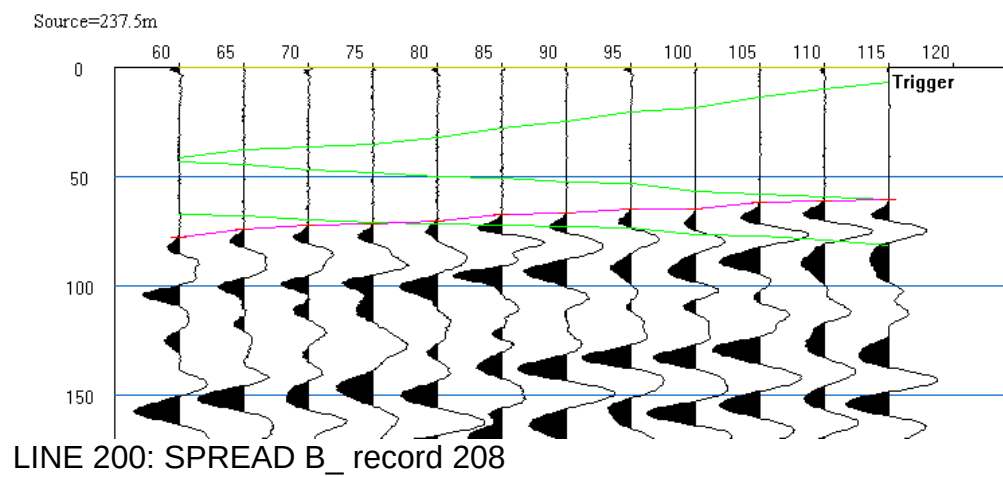
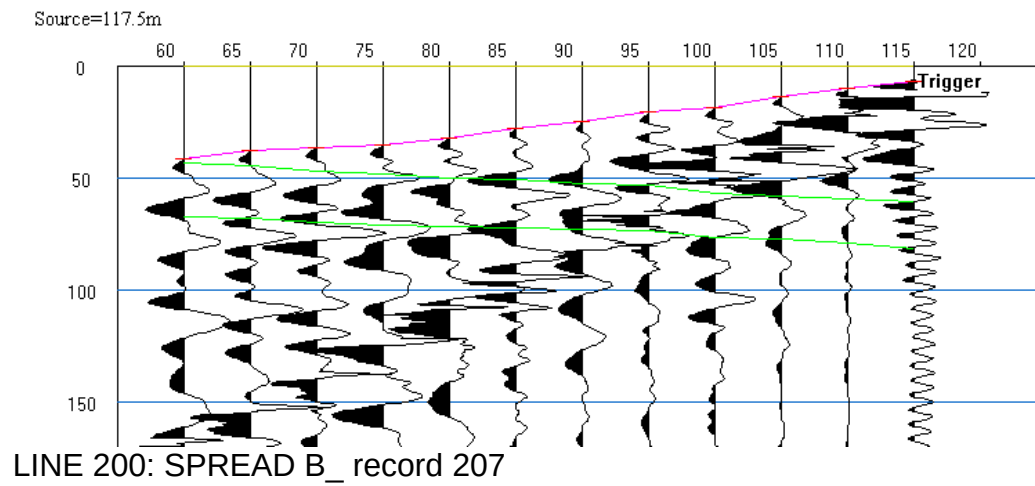
LINE 200: SPREAD A



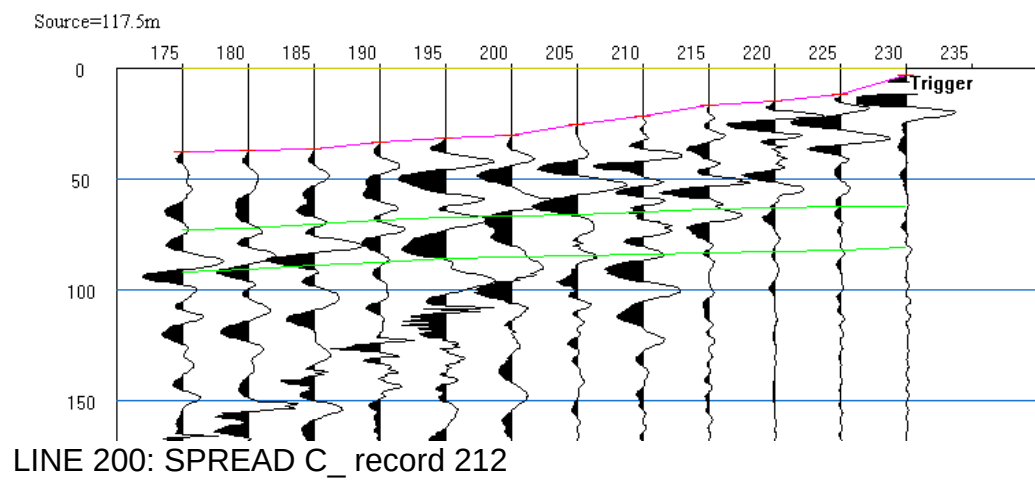
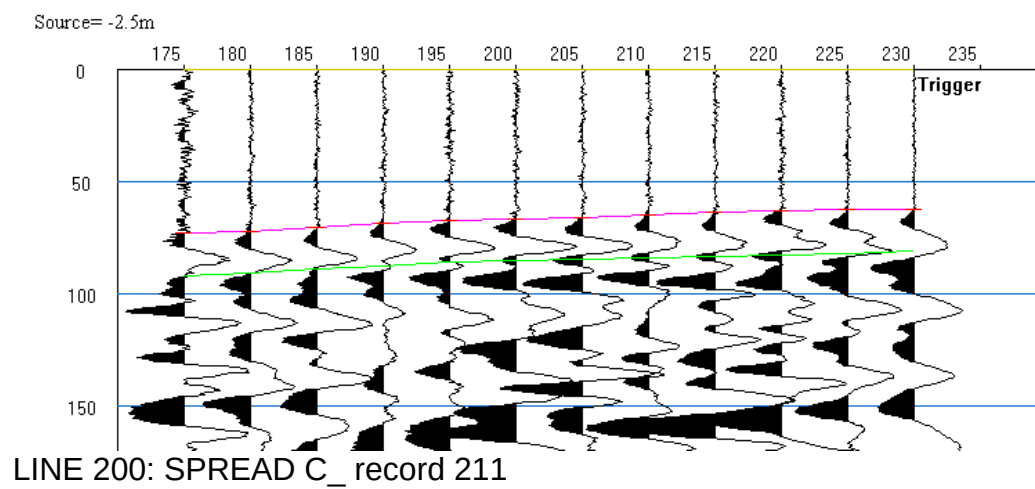
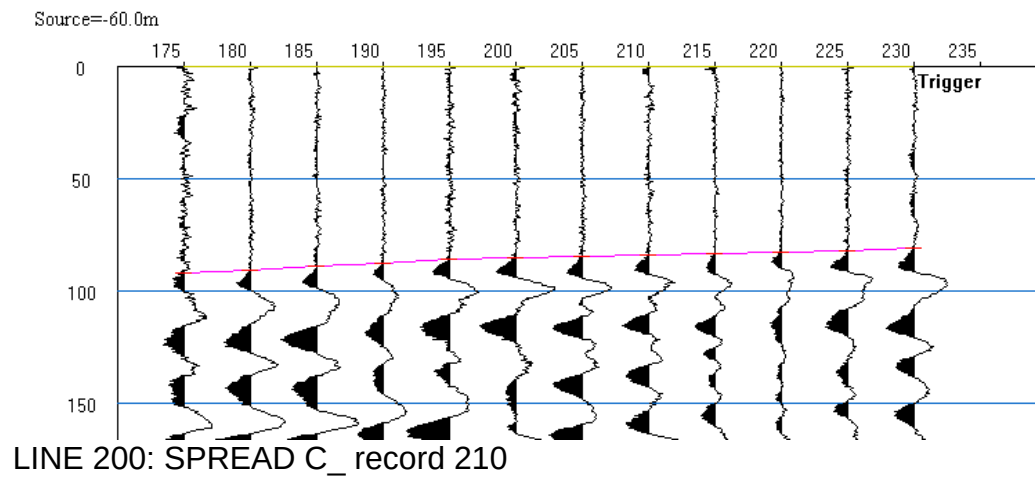


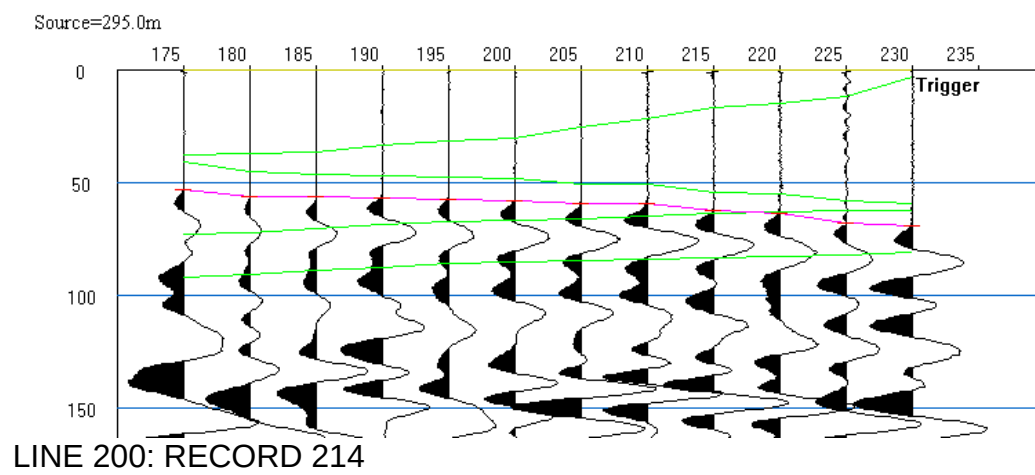
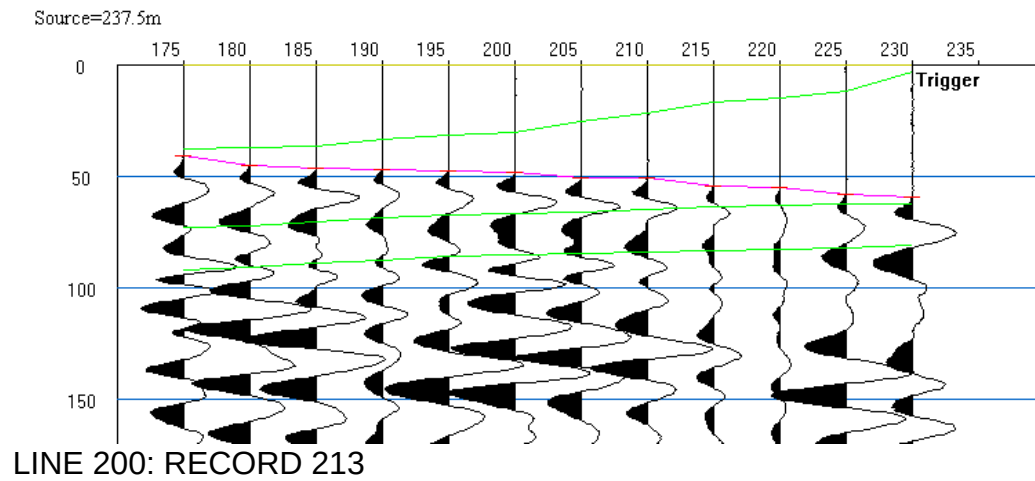
LINE 200: SPREAD B



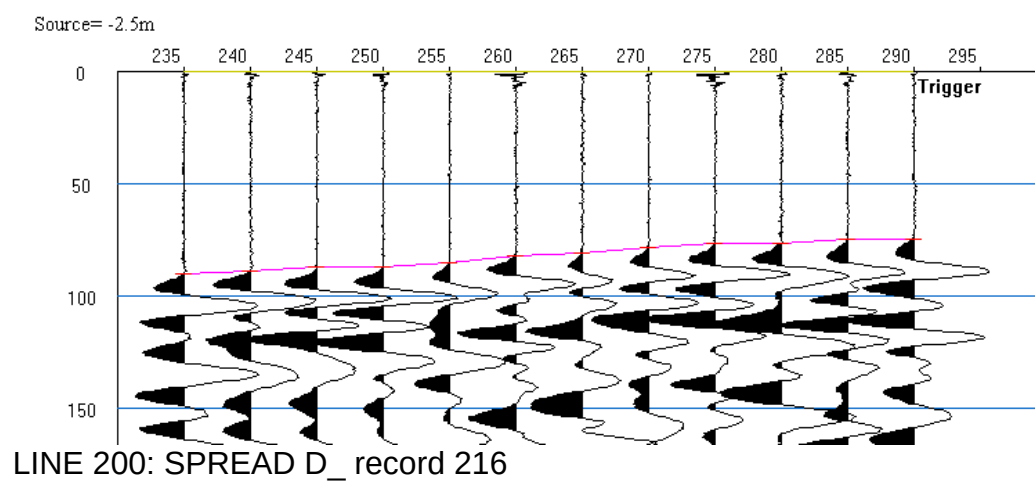


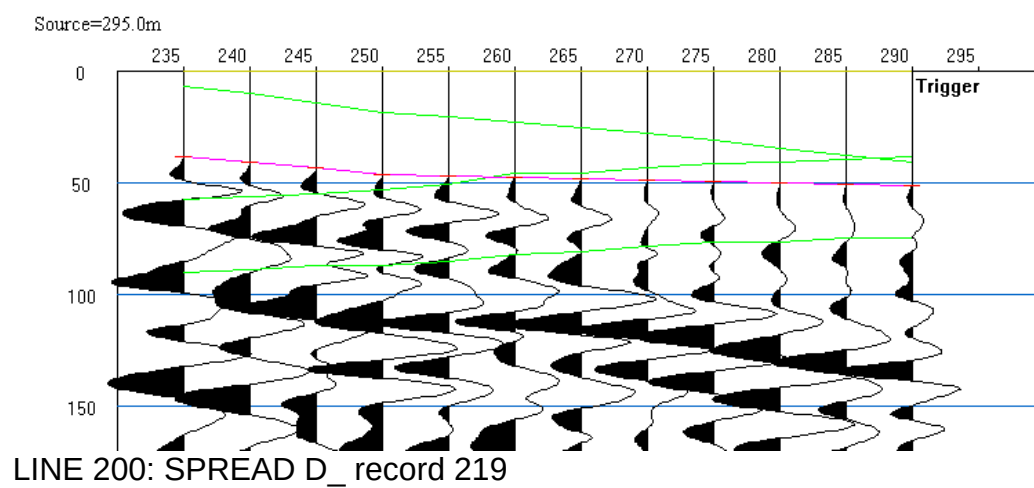
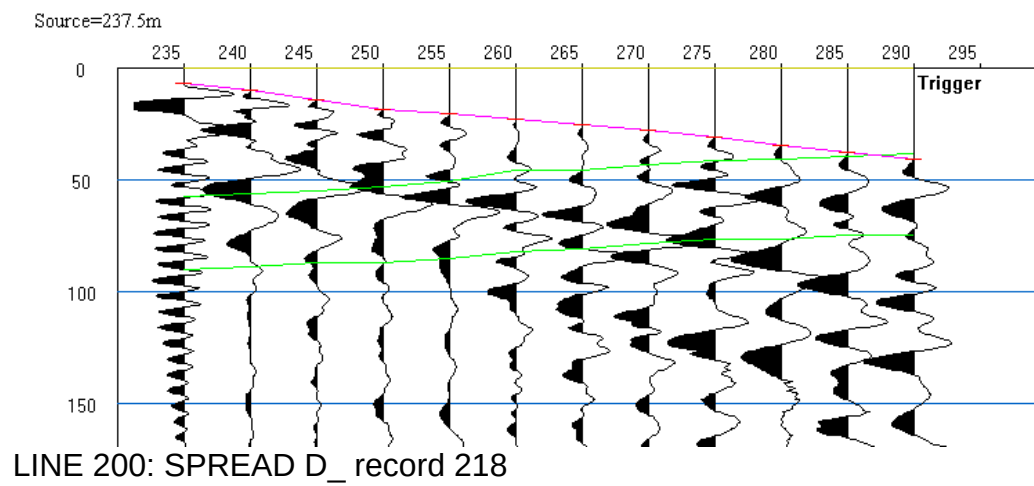
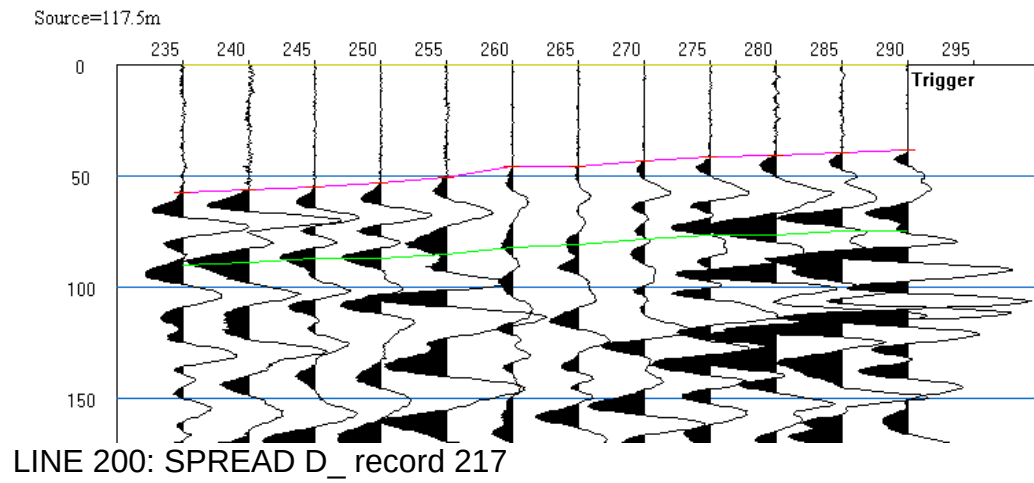
LINE 200: SPREAD C





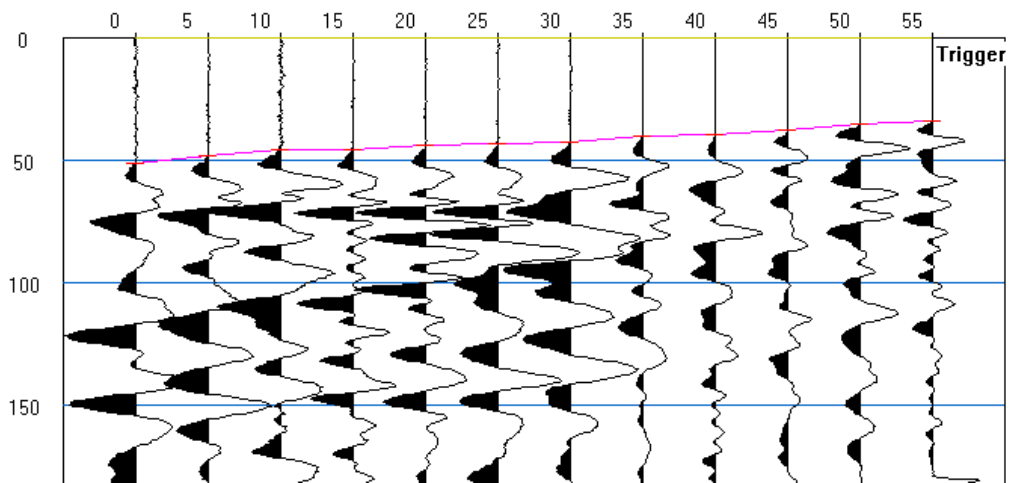
LINE 200: SPREAD D





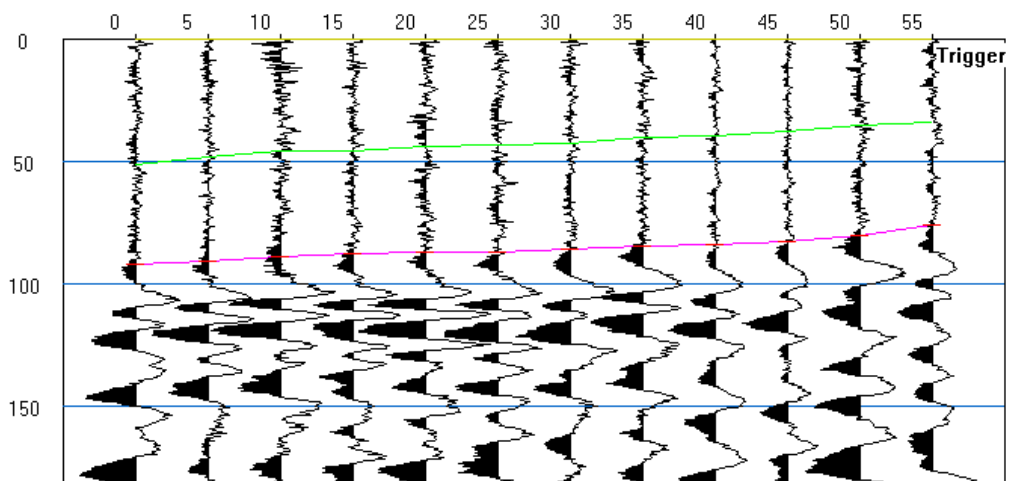
LINE 300:SPREAD A

Source=117.5m



LINE 300: SPREAD A_record 303

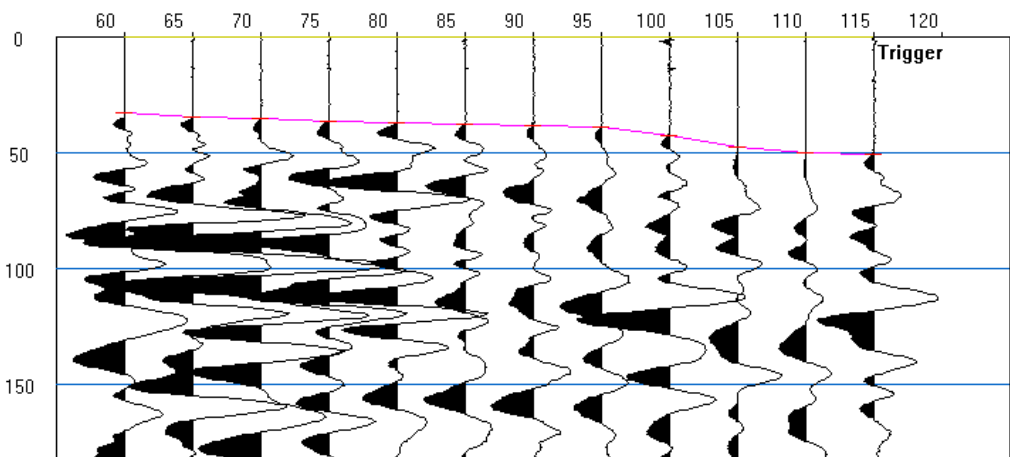
Source=237.5m



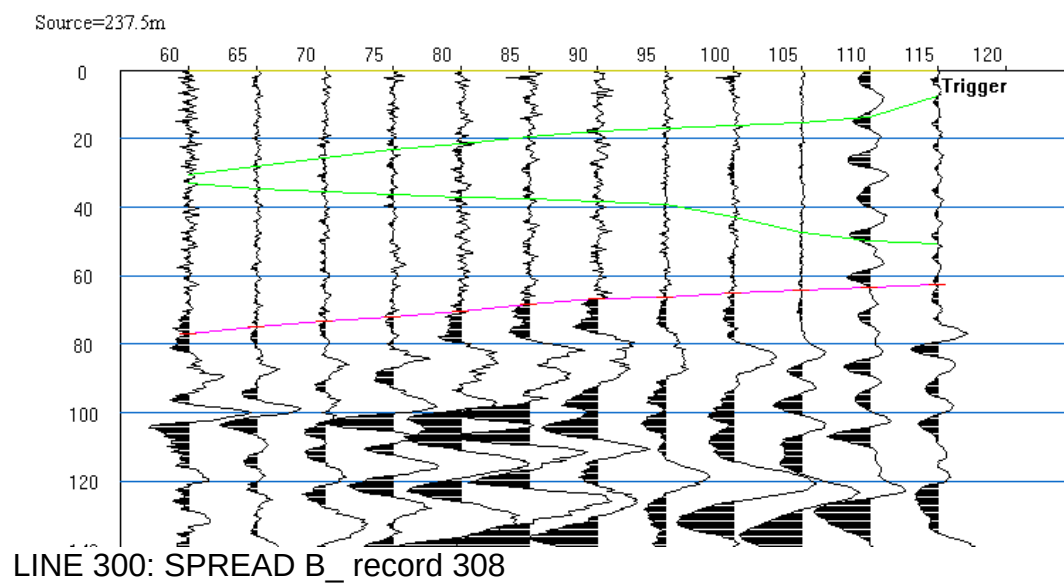
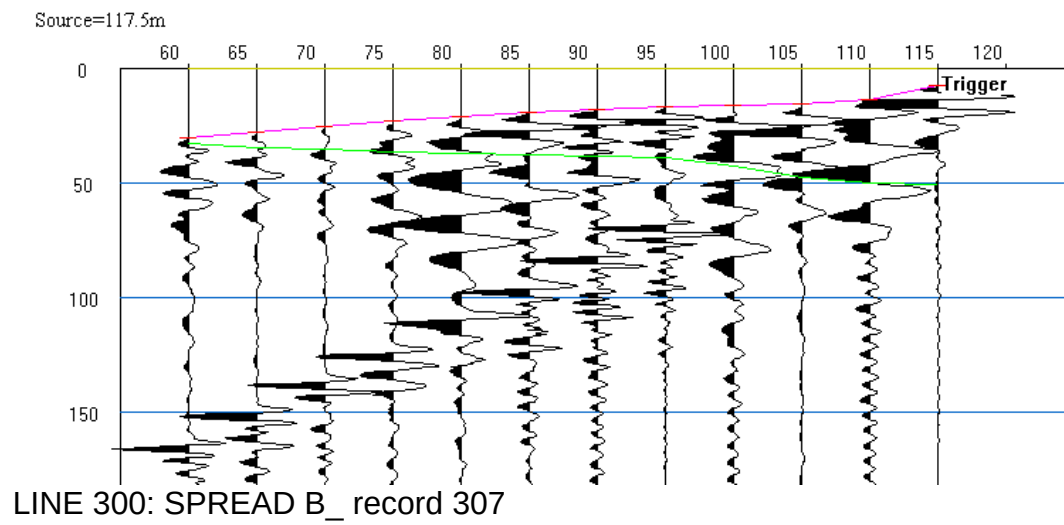
LINE 300: SPREAD A_record 304

LINE 300: SPREAD B

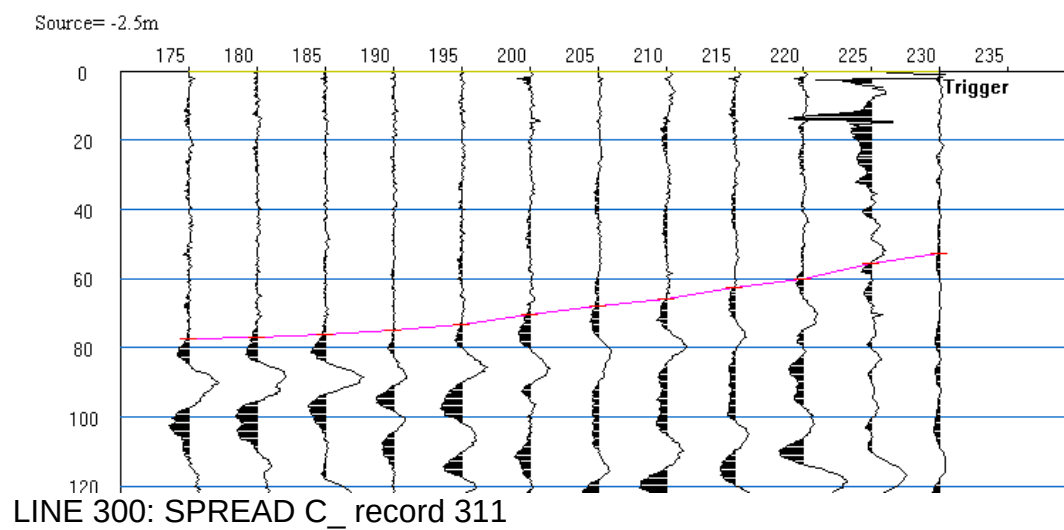
Source=-2.5m

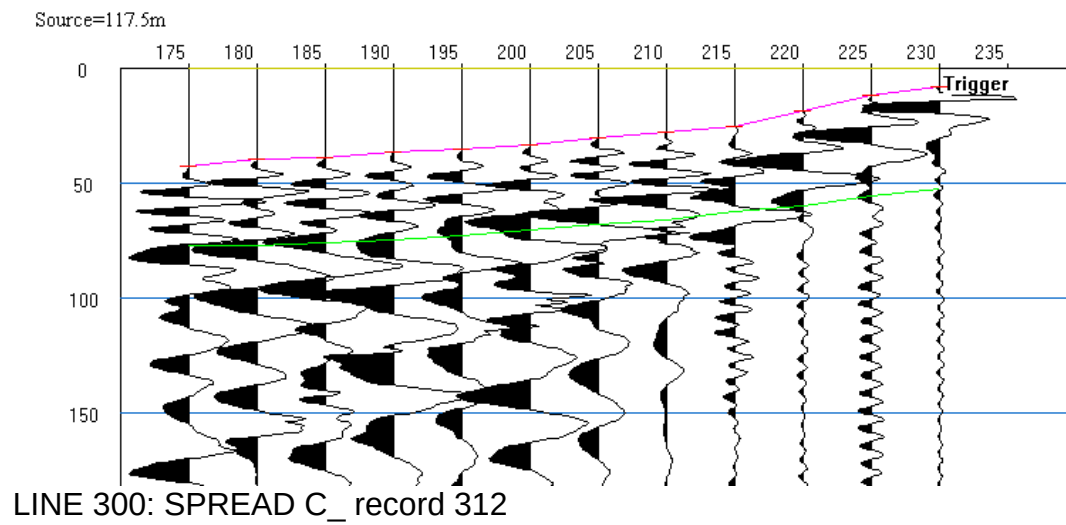


LINE 300: SPREAD B_record 306

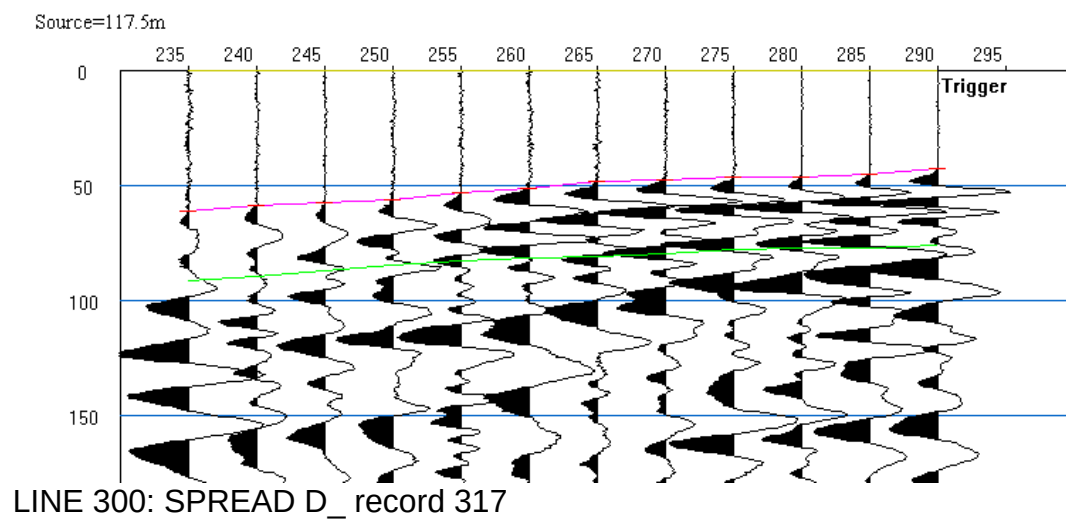
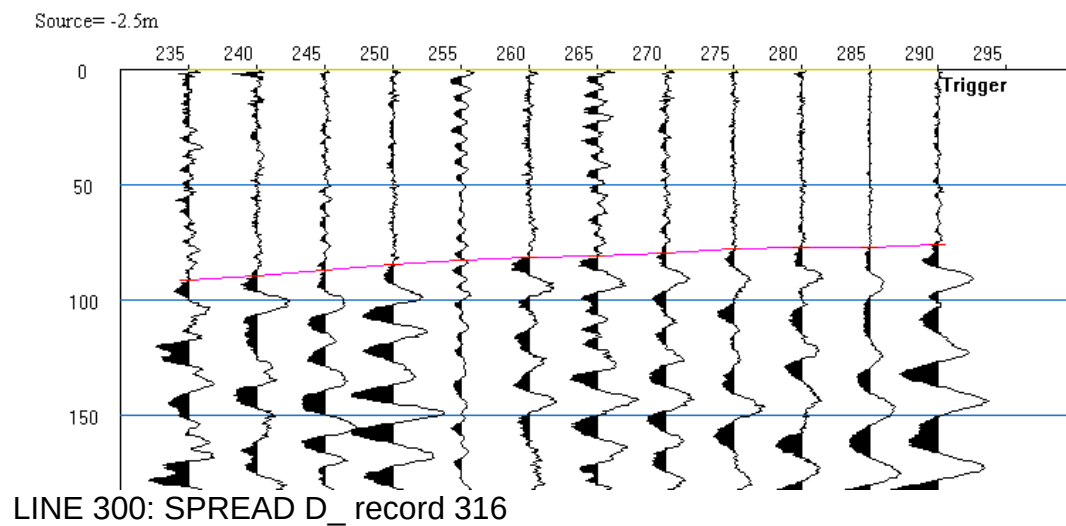


LINE 300: SPREAD C

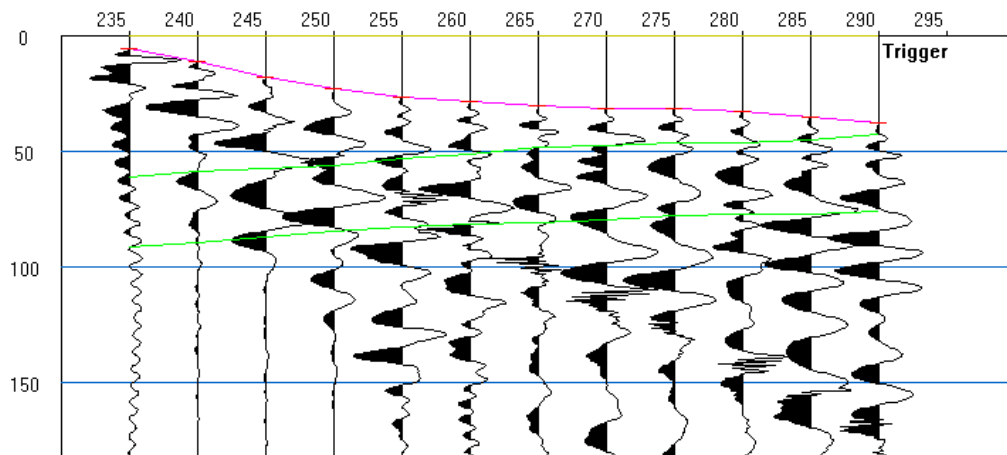




LINE 300: SPREAD D

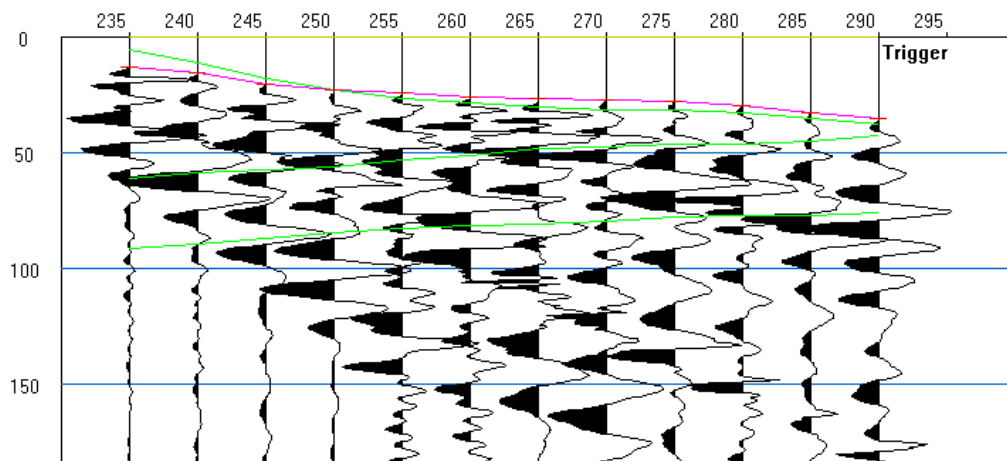


Source=237.5m



LINE 300: SPREAD D_record 318

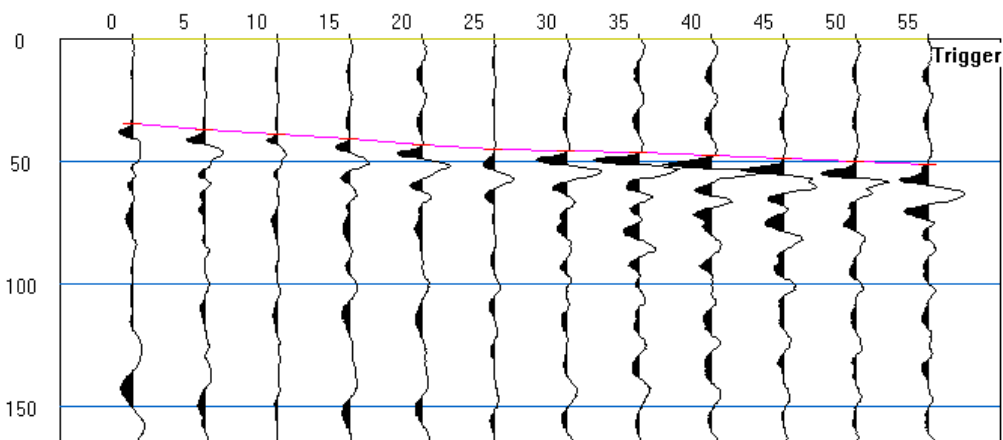
Source=245.0m



LINE 300: SPREAD D_record 319

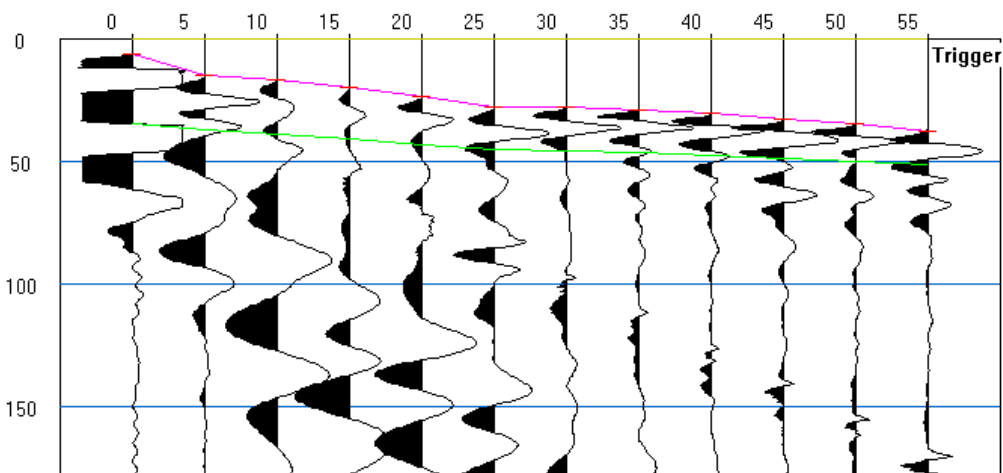
LINE 400: SPREAD A

Source=-60.0m



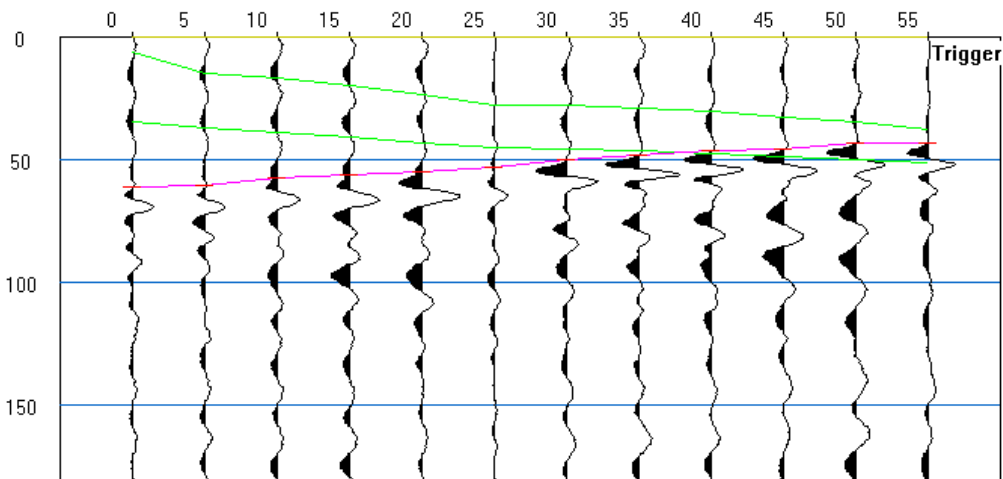
LINE 400: SPREAD A_record 401

Source= -2.5m

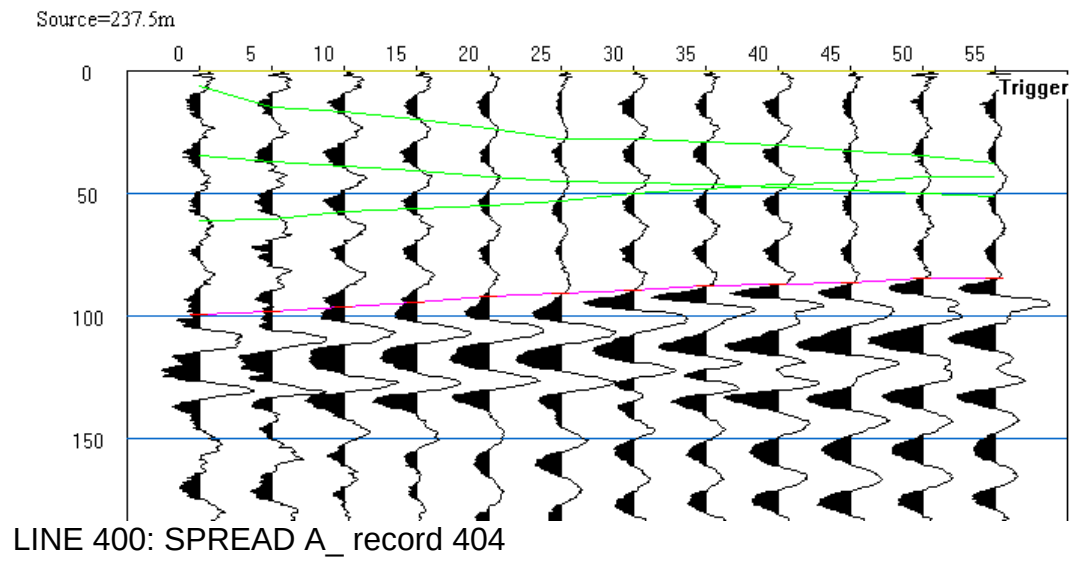


LINE 400: SPREAD A_record 402

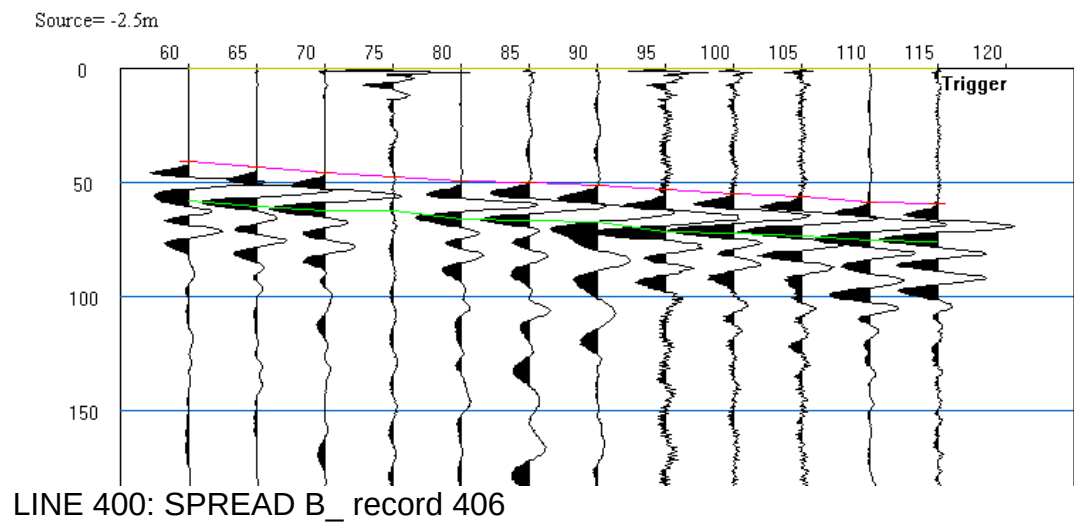
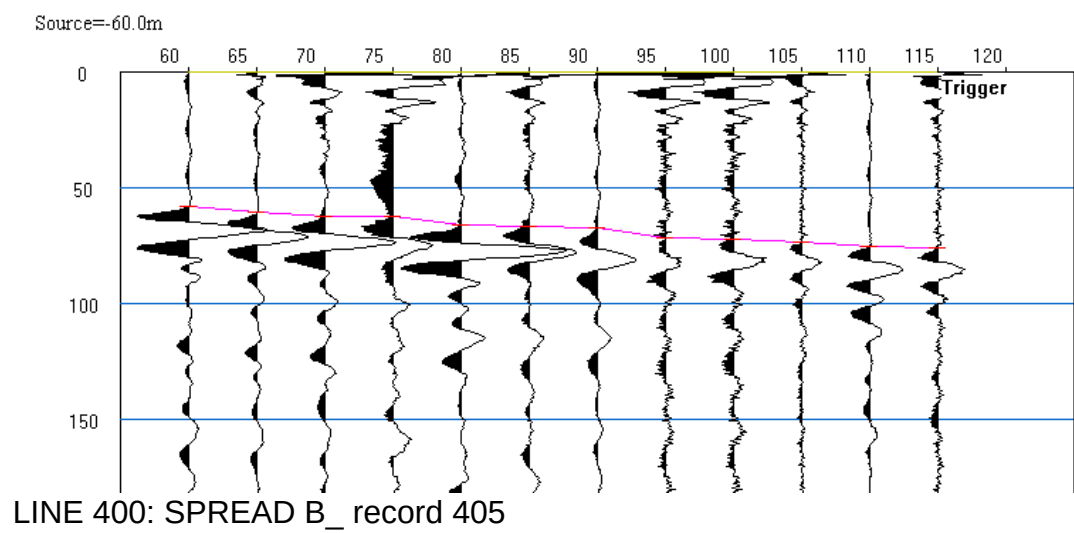
Source=117.5m

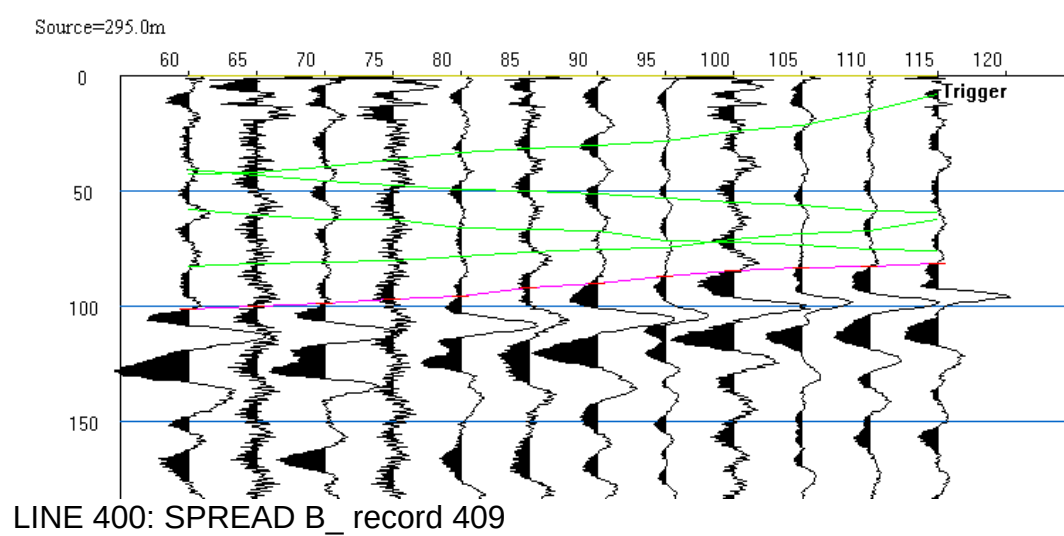
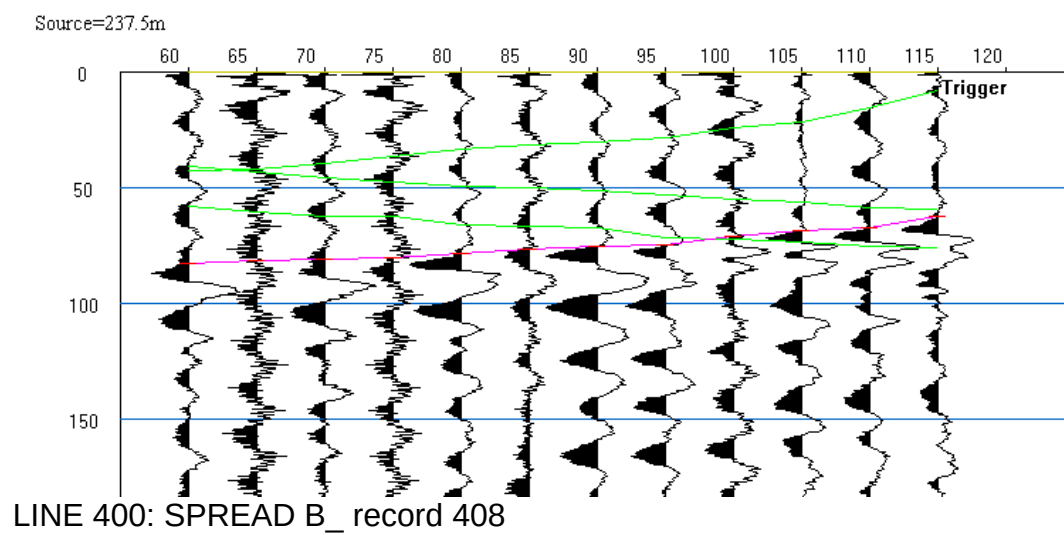
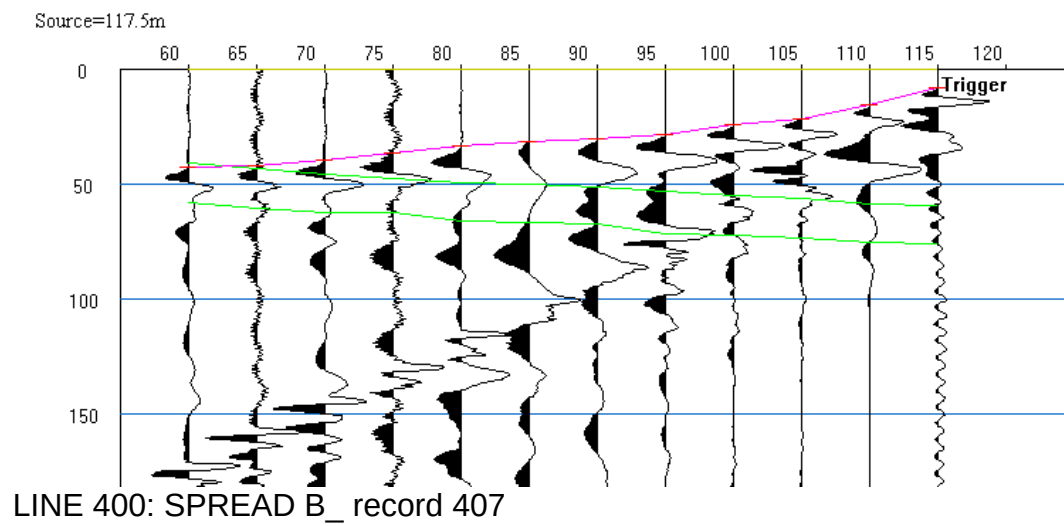


LINE 400: SPREAD A_record 403

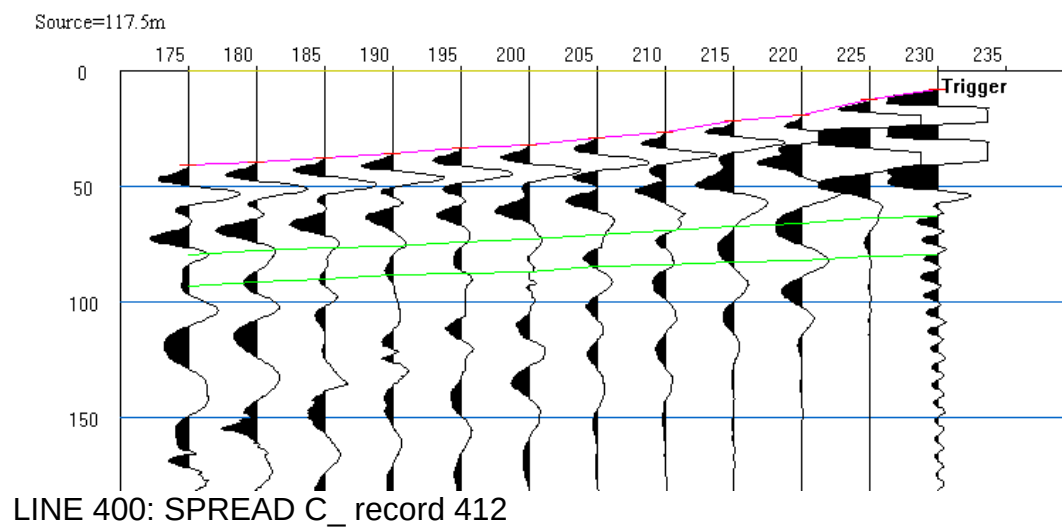
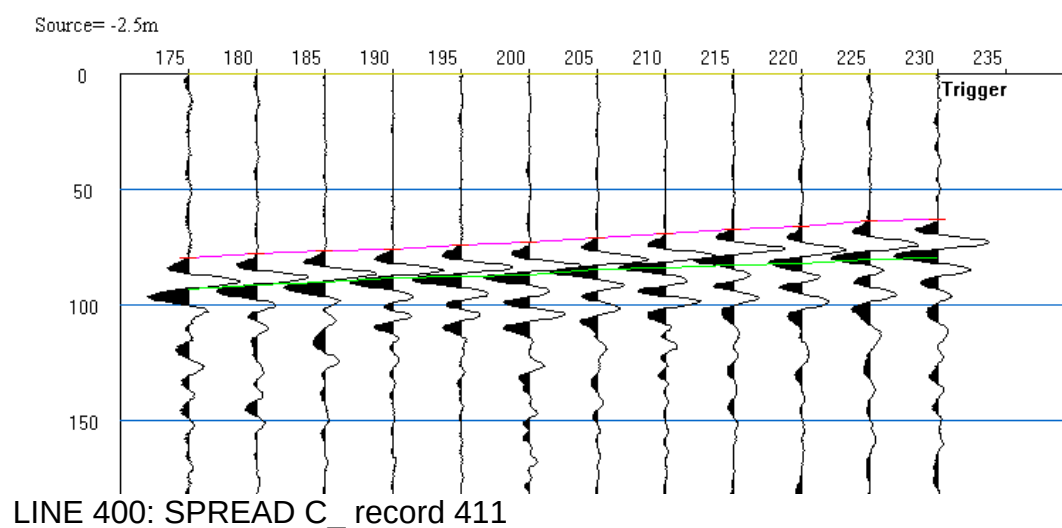
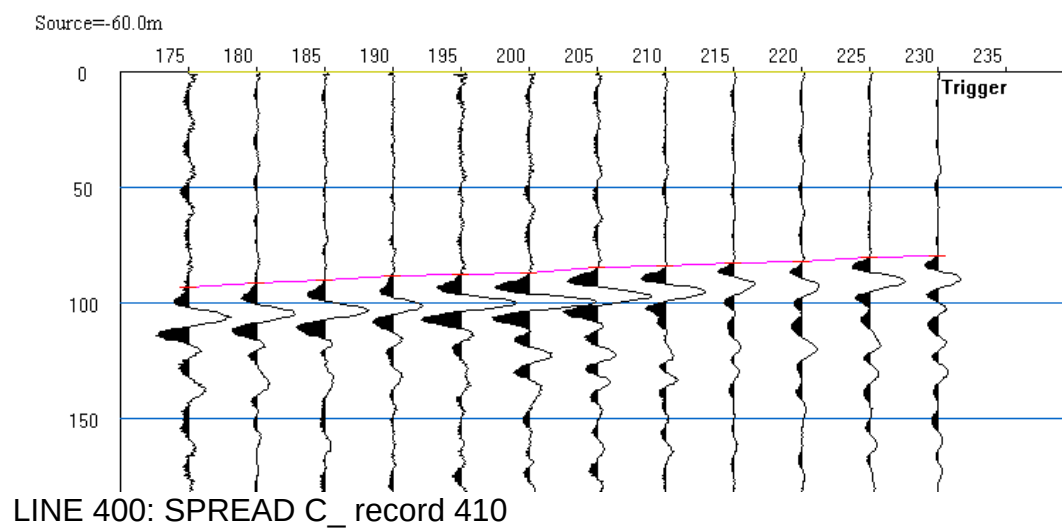


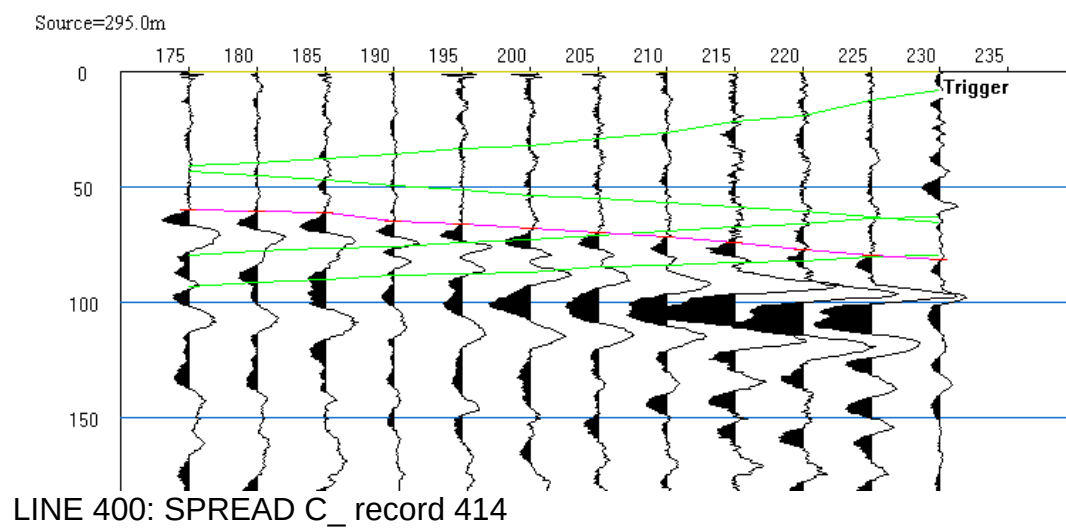
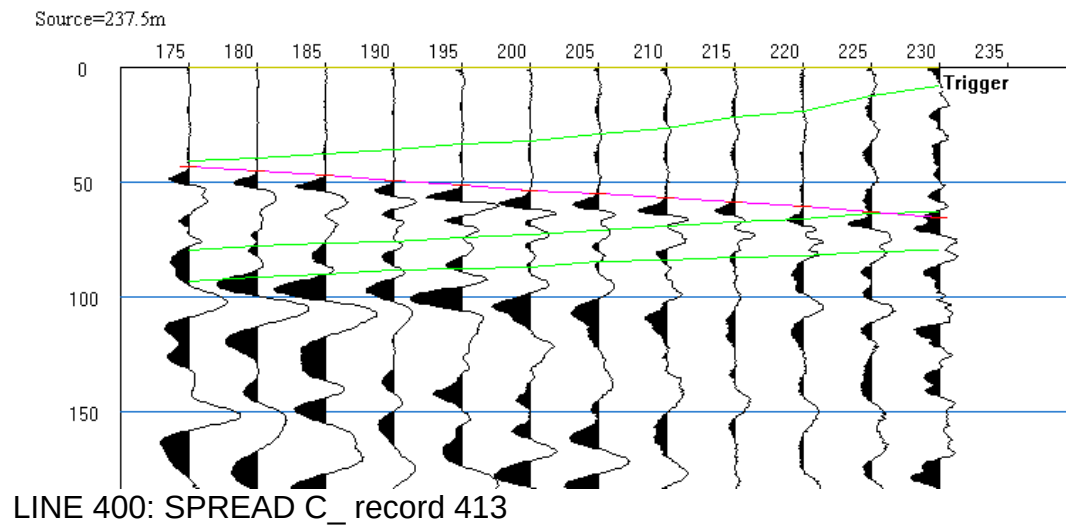
LINE 400: SPREAD B



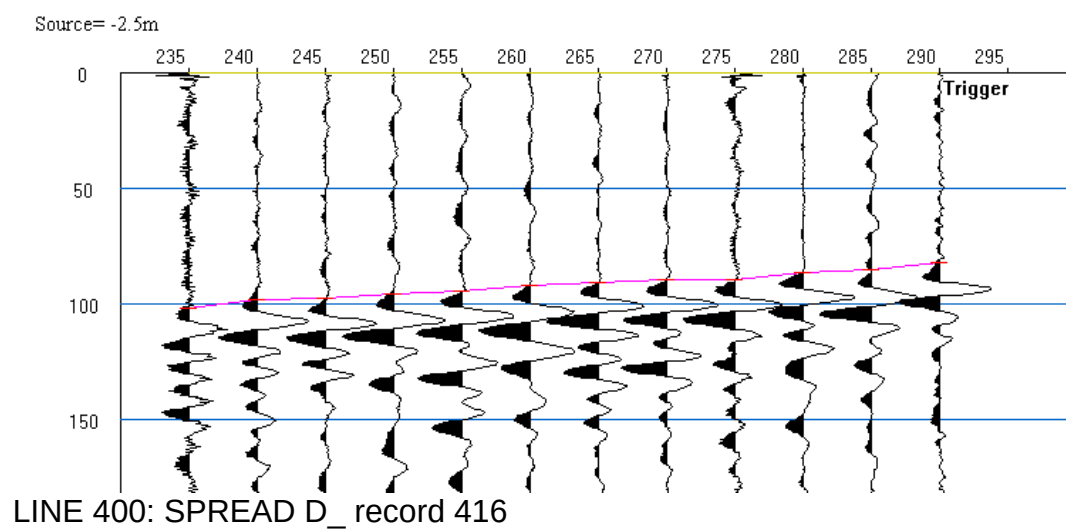


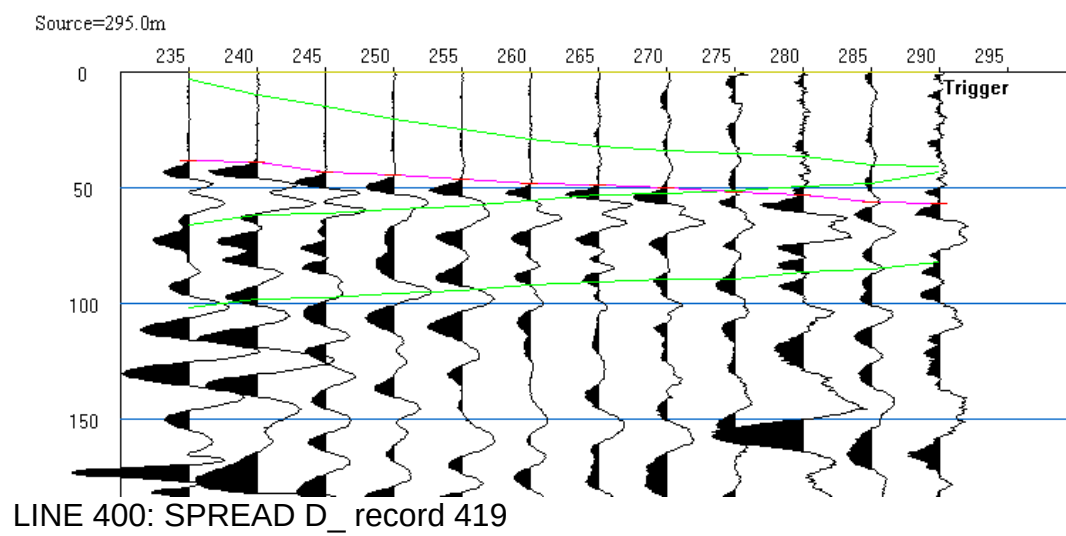
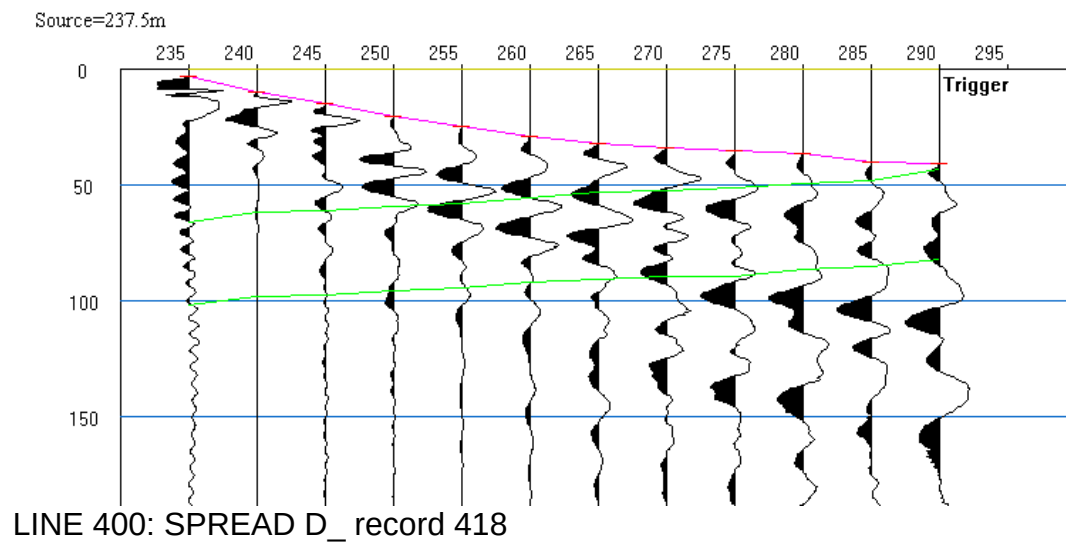
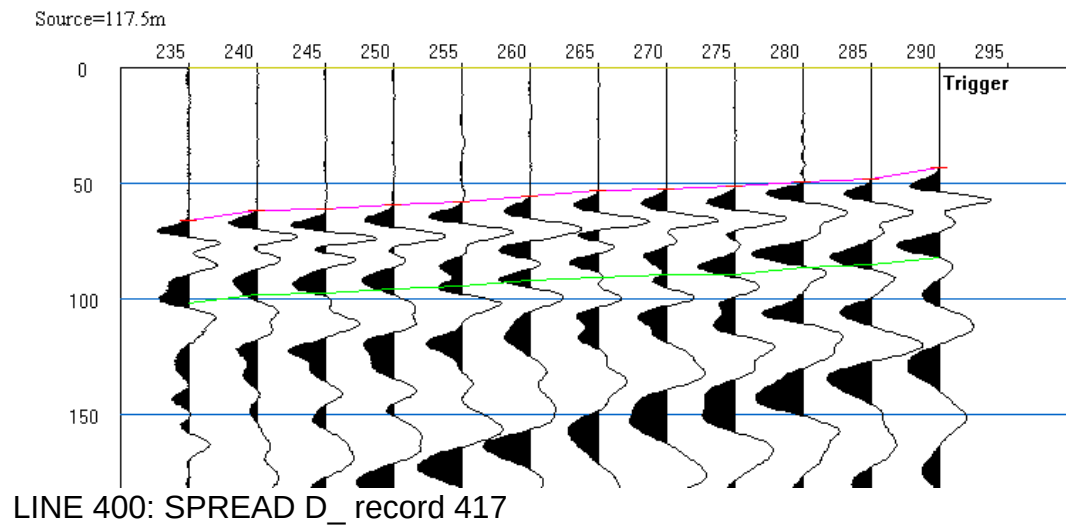
LINE 400: SPREAD C



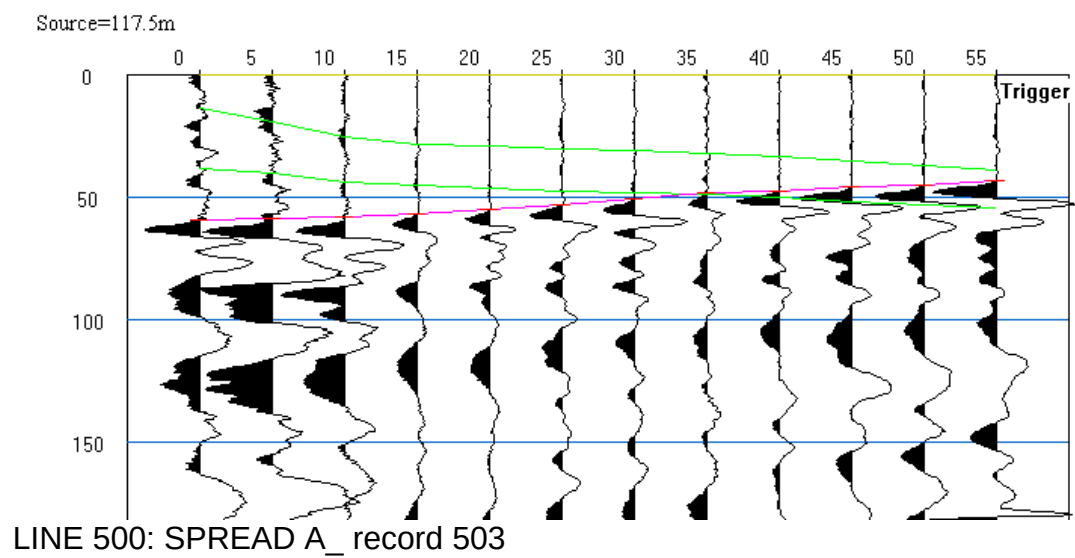
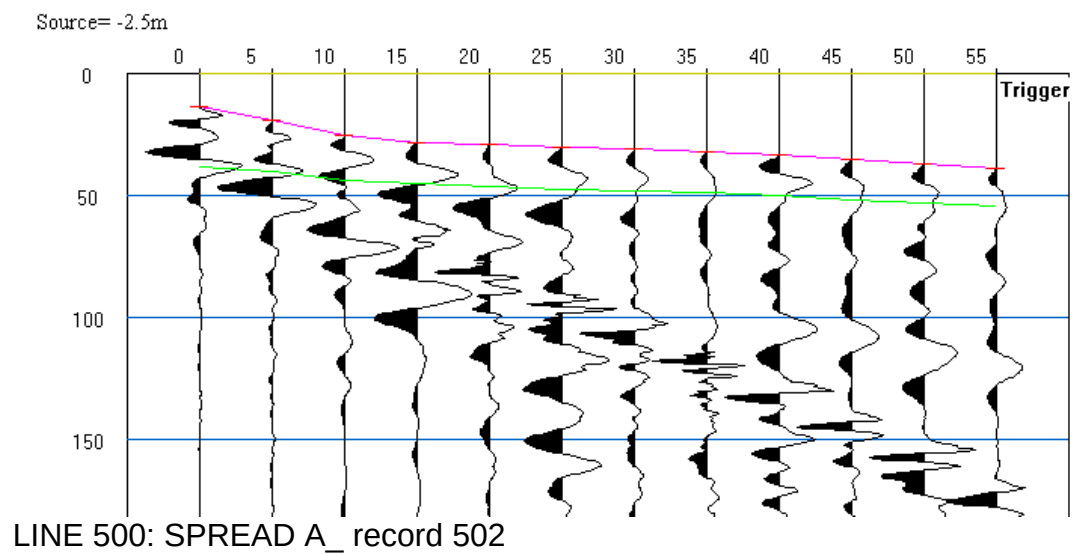
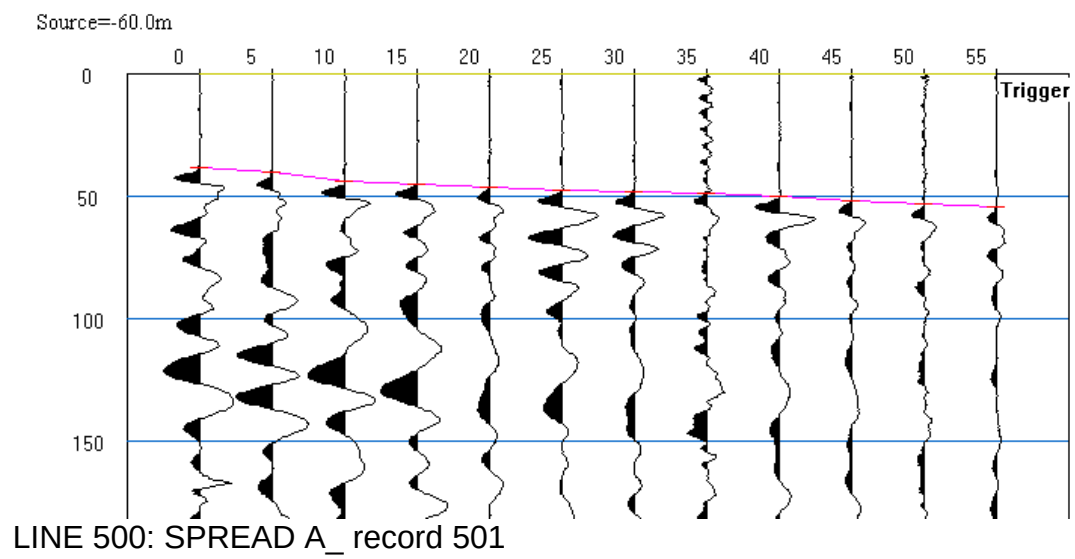


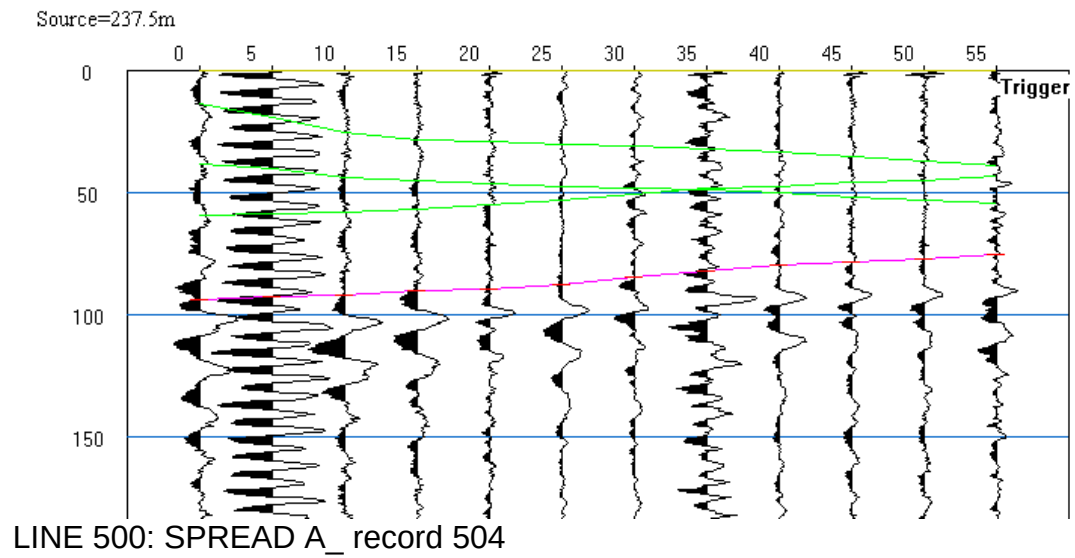
LINE 400: SPREAD D



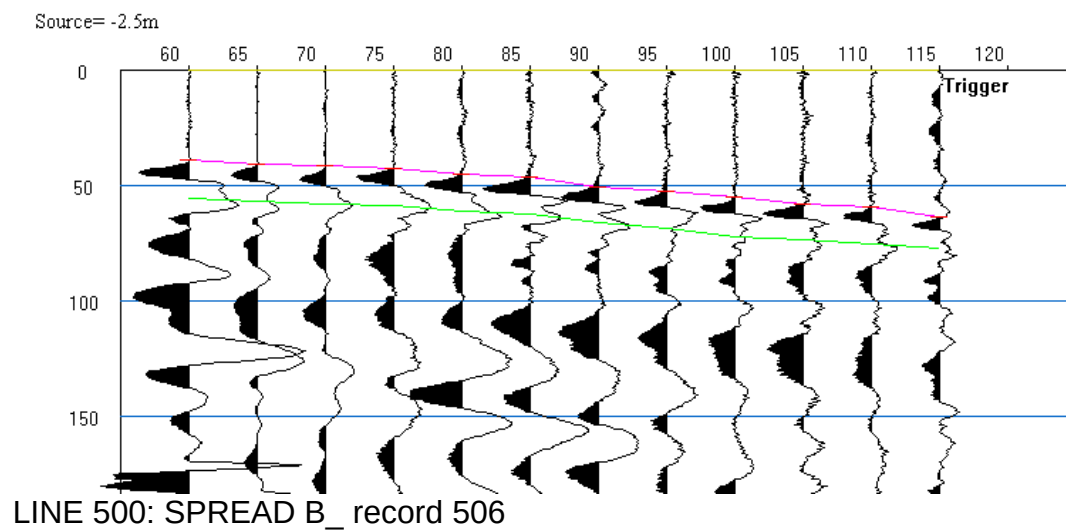
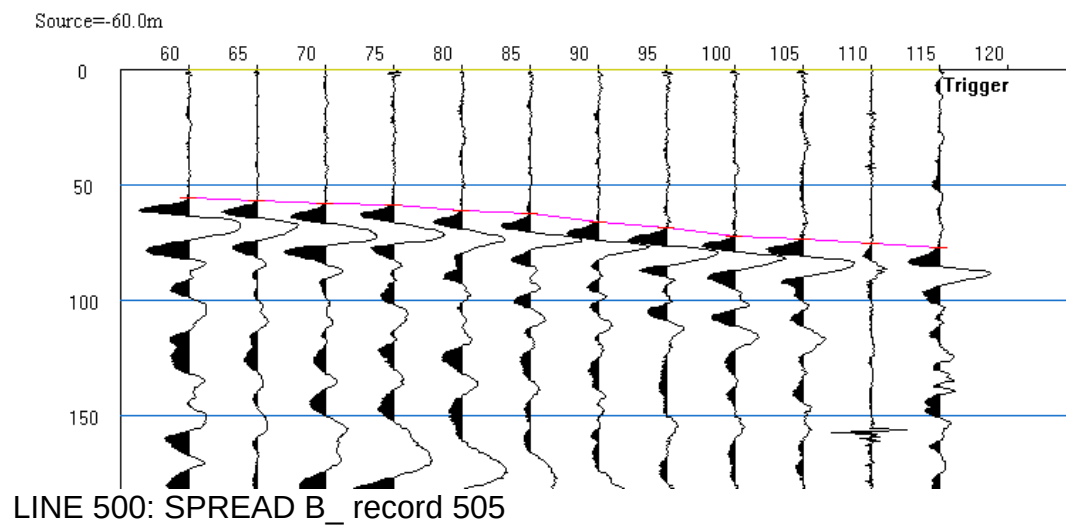


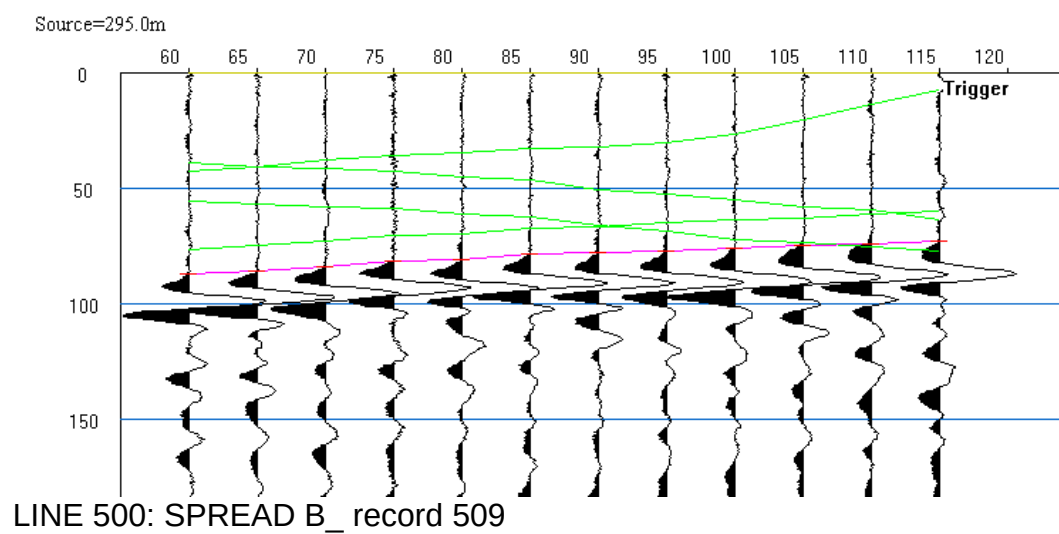
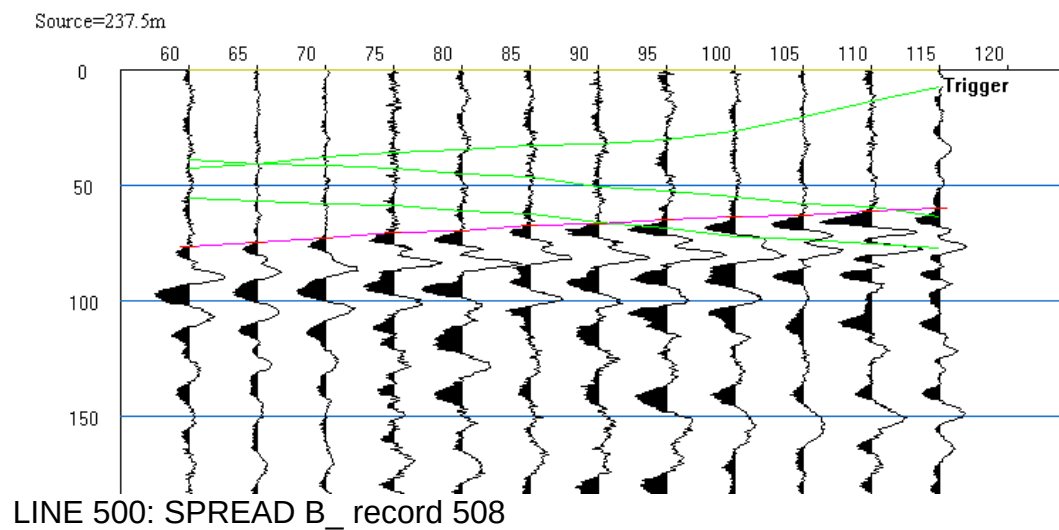
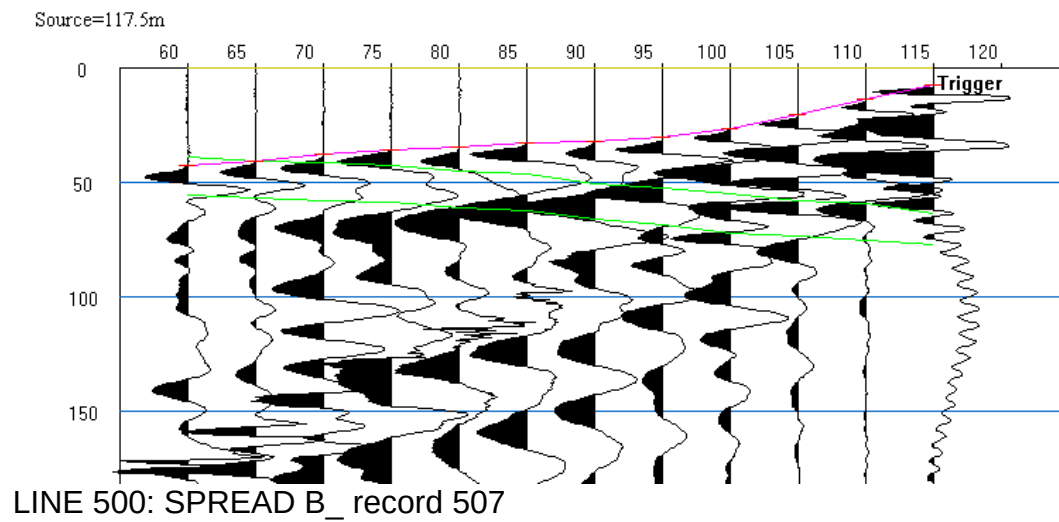
LINE 500: SPREAD A



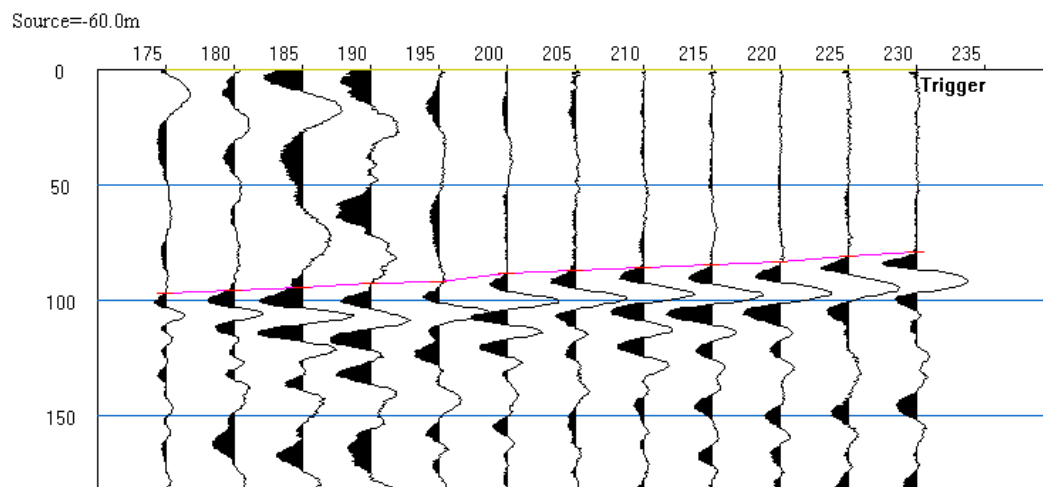


LINE 500: SPREAD B

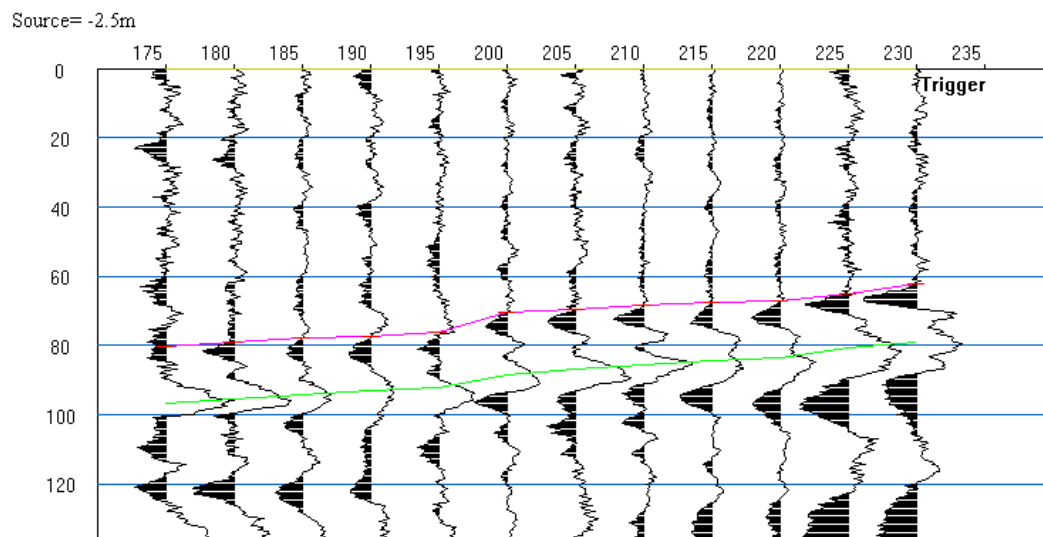




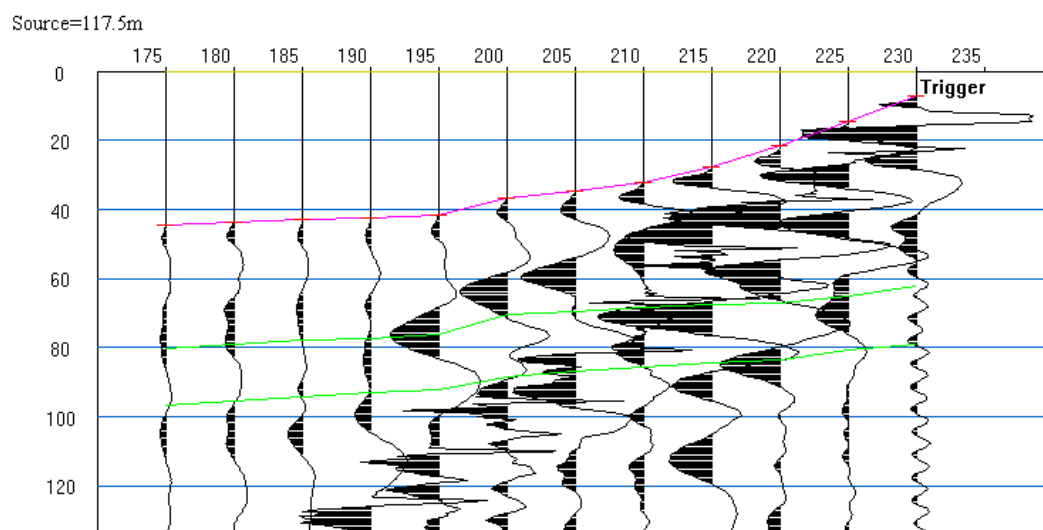
LINE 500: SPREAD C



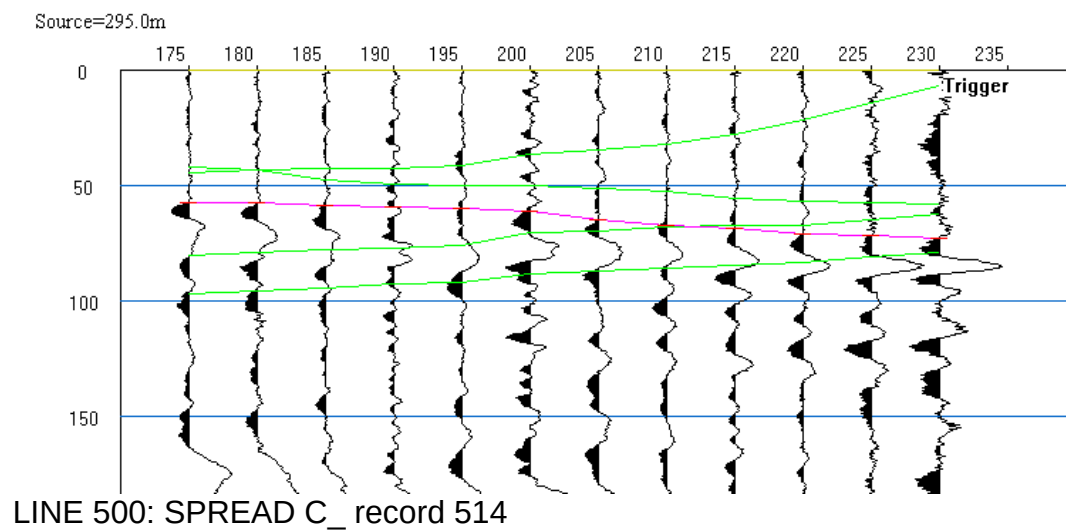
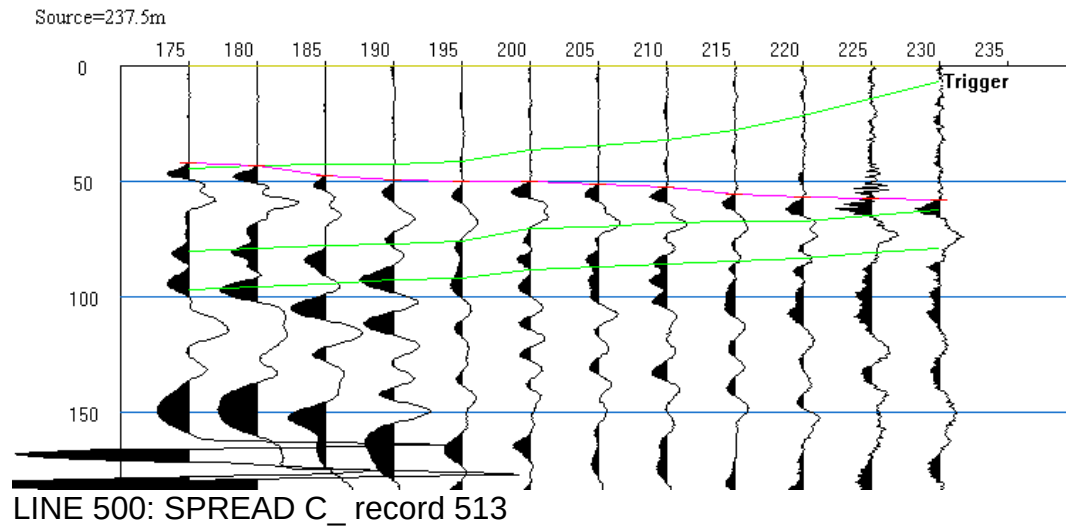
LINE 500: SPREAD C_record 510



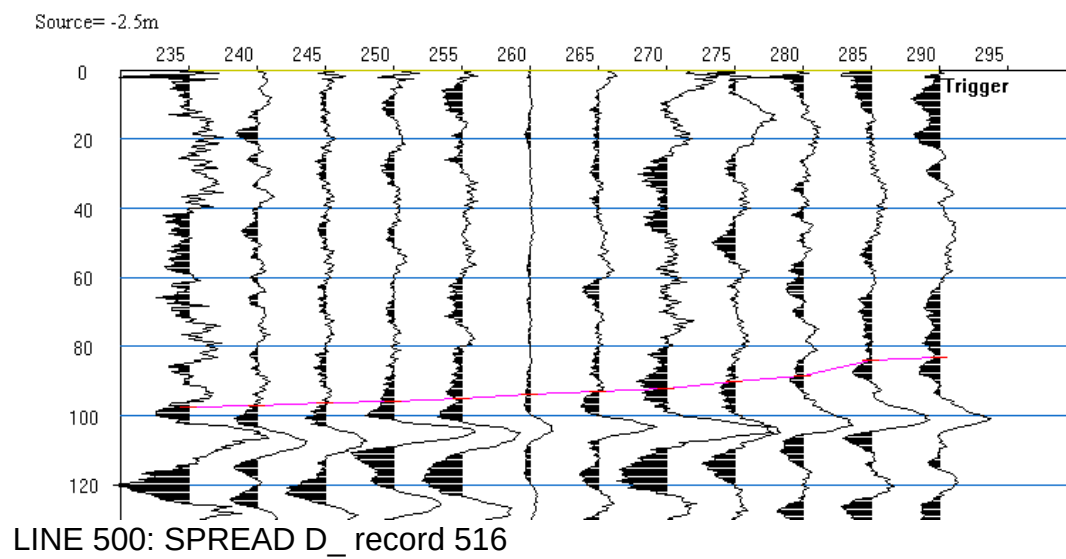
LINE 500: SPREAD C_record 511

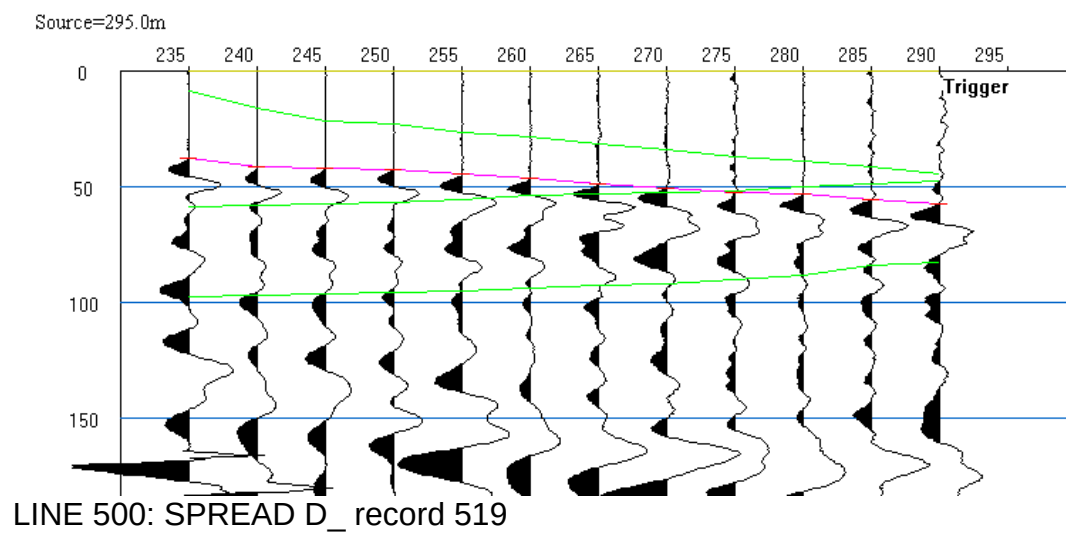
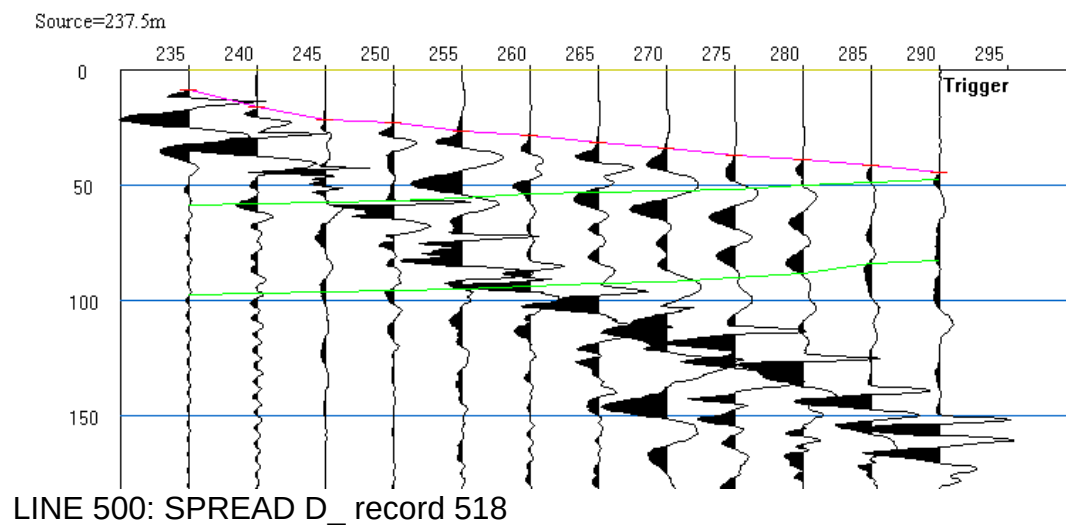
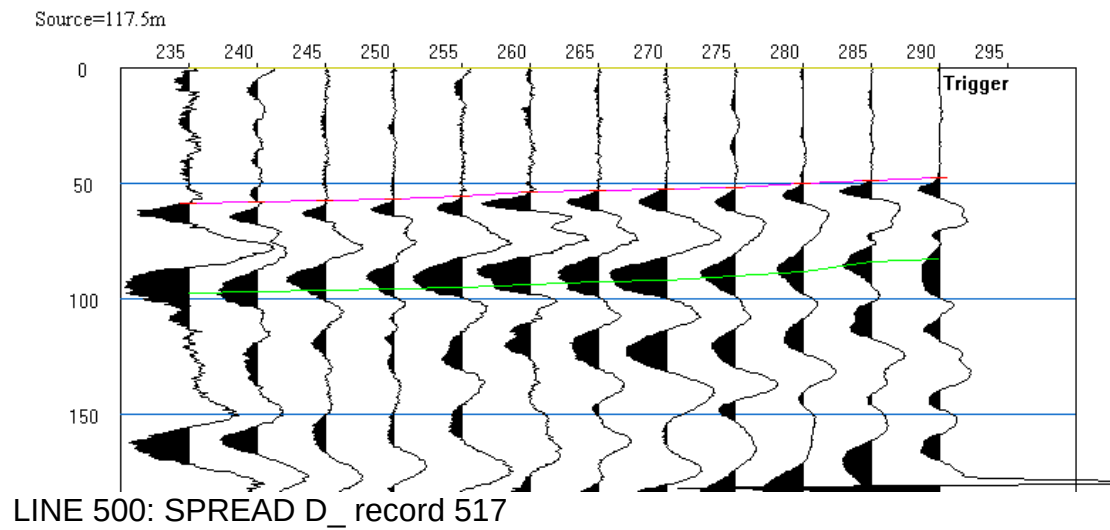


LINE 500: SPREAD C_record 512

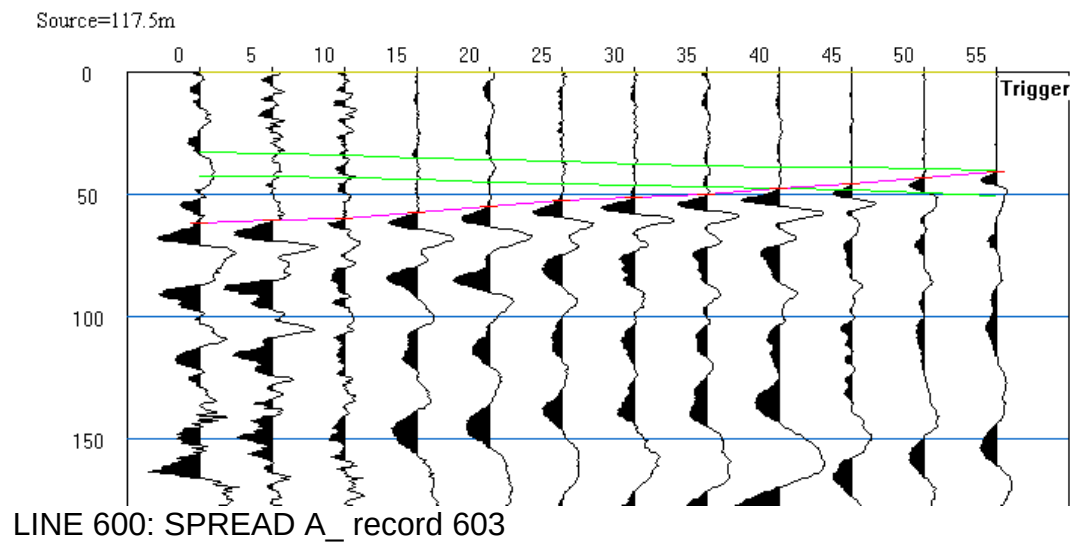
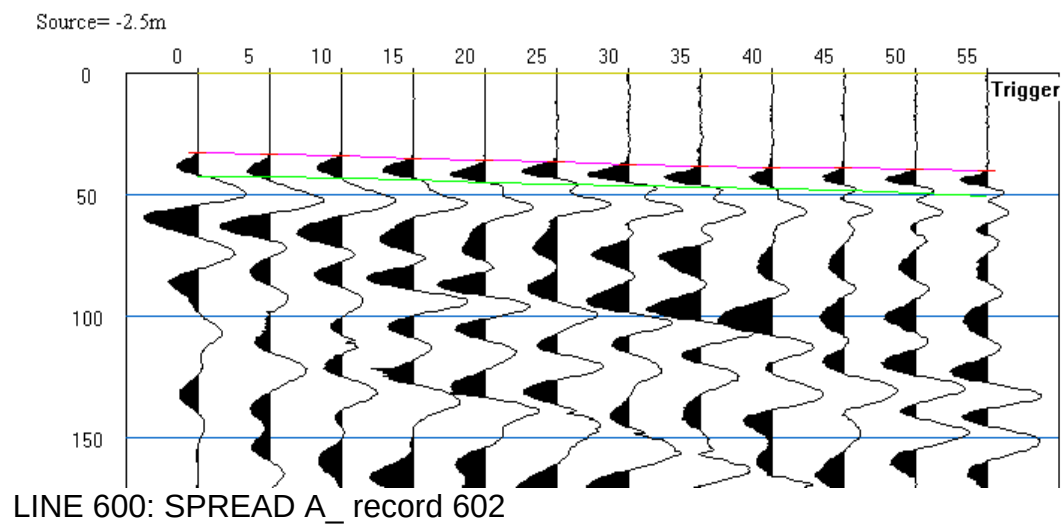
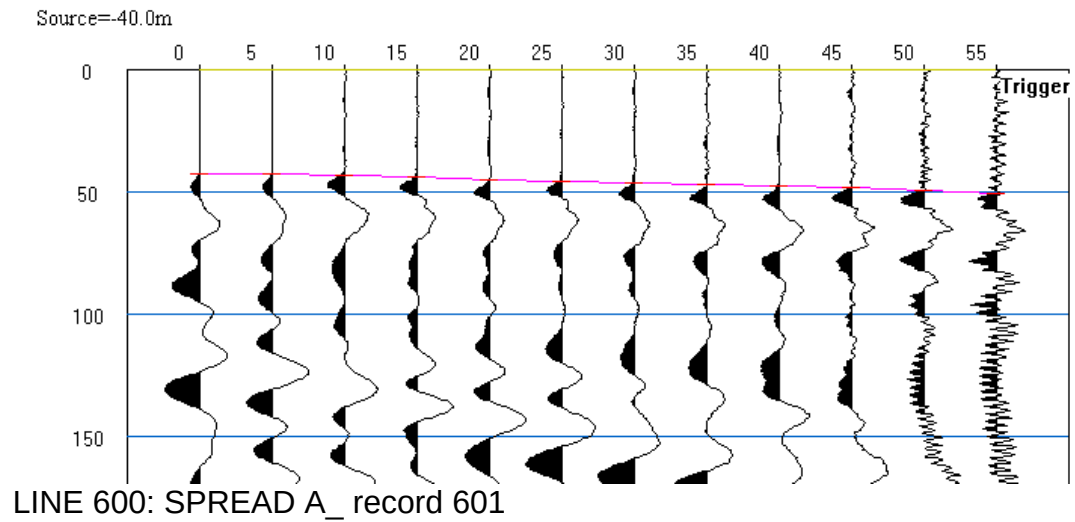


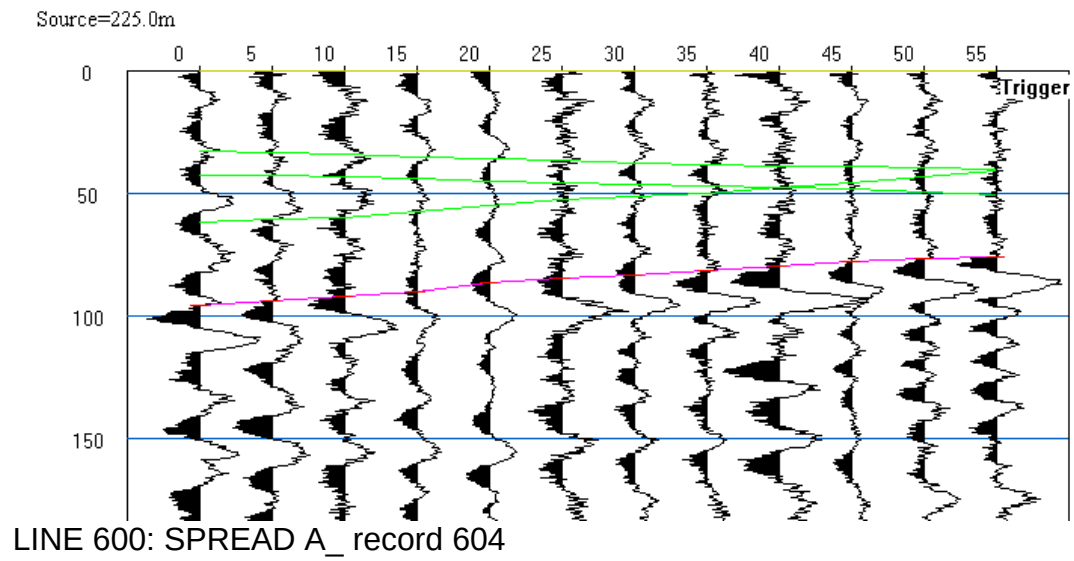
LINE 500: SPREAD D



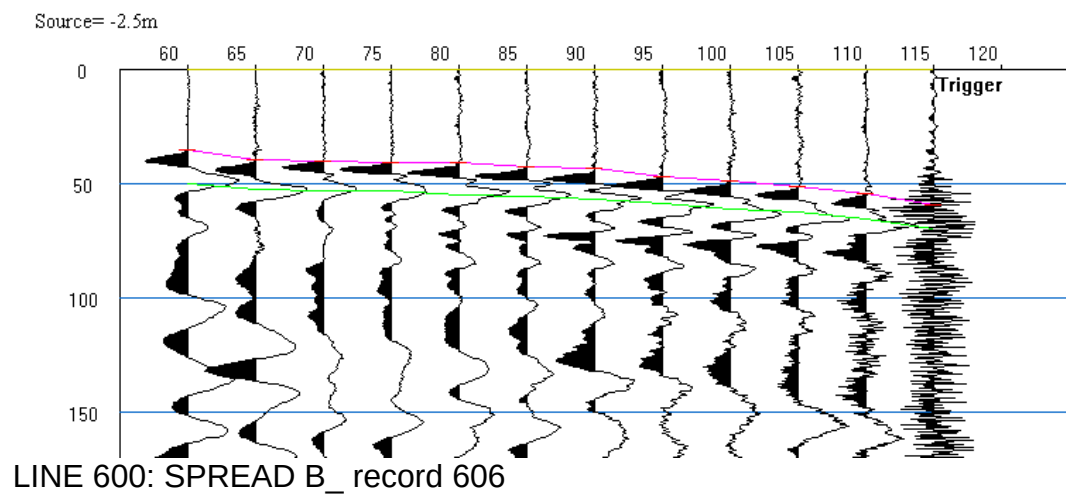
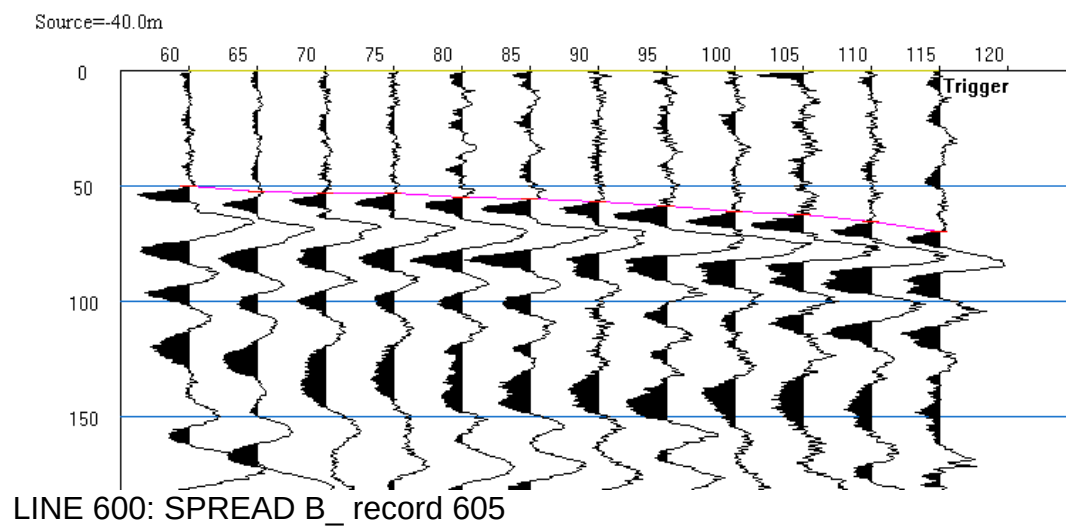


LINE 600: SPREAD A

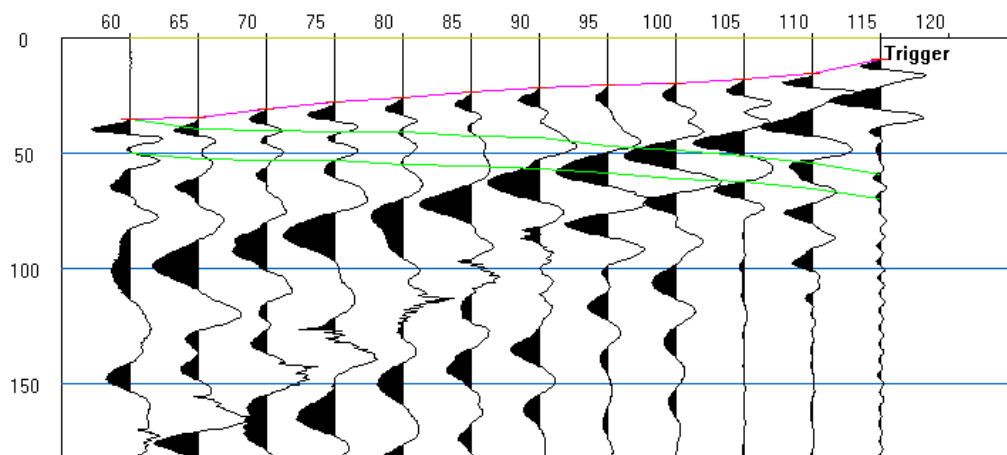




LINE 600: SPREAD B

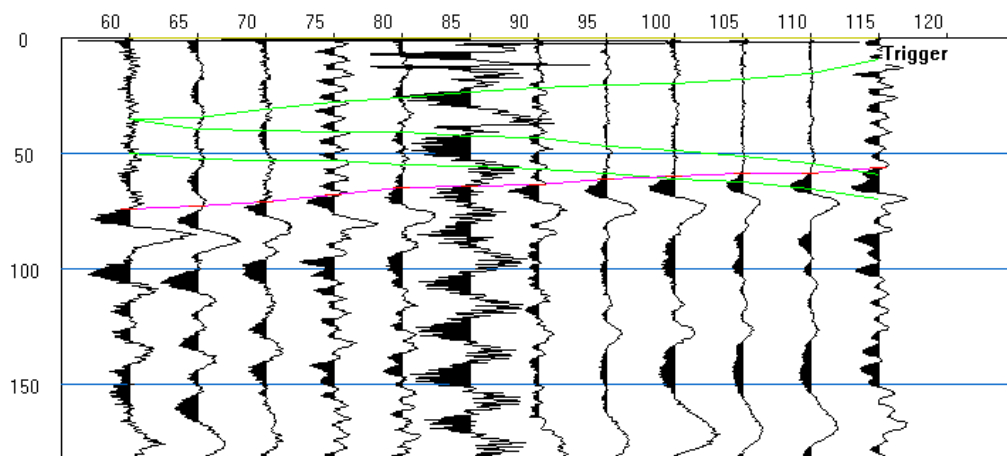


Source=117.5m



LINE 600: SPREAD B_ record 607

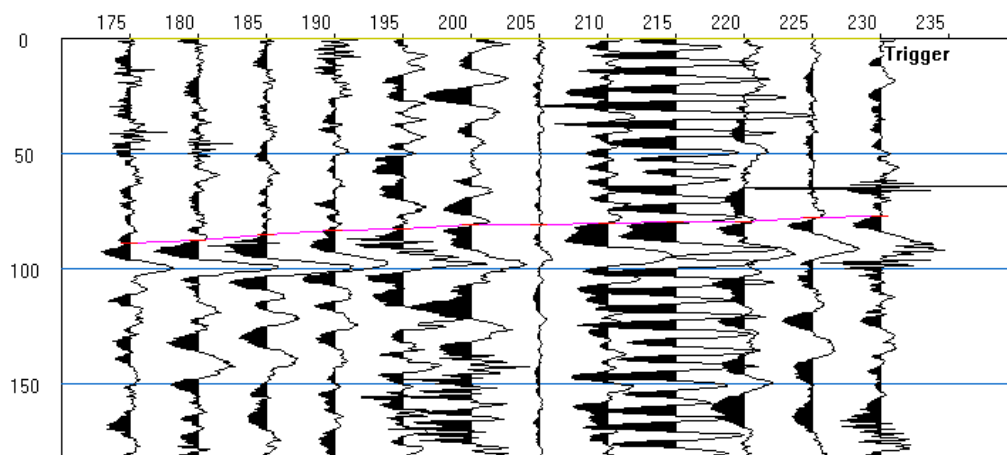
Source=225.0m



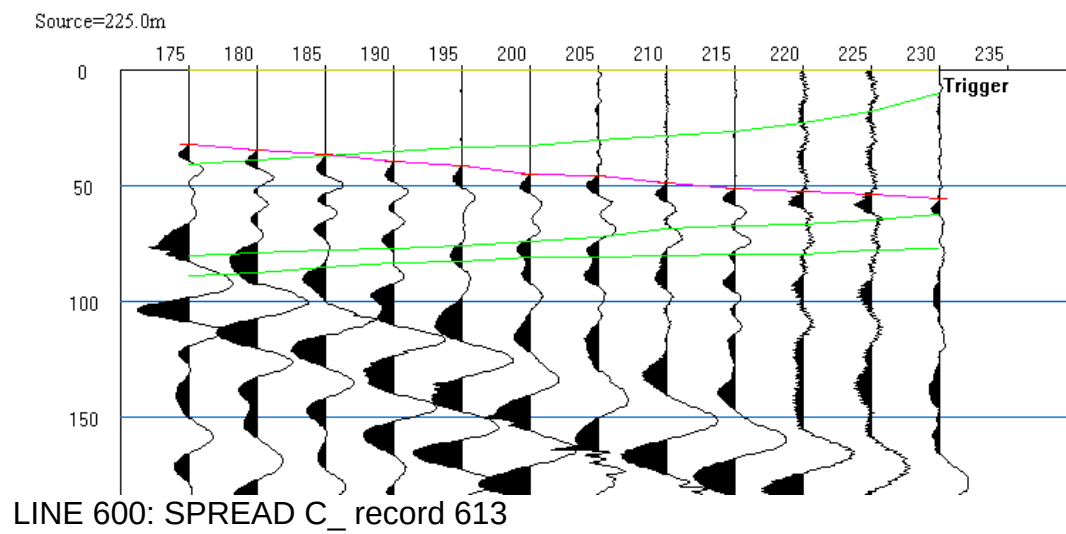
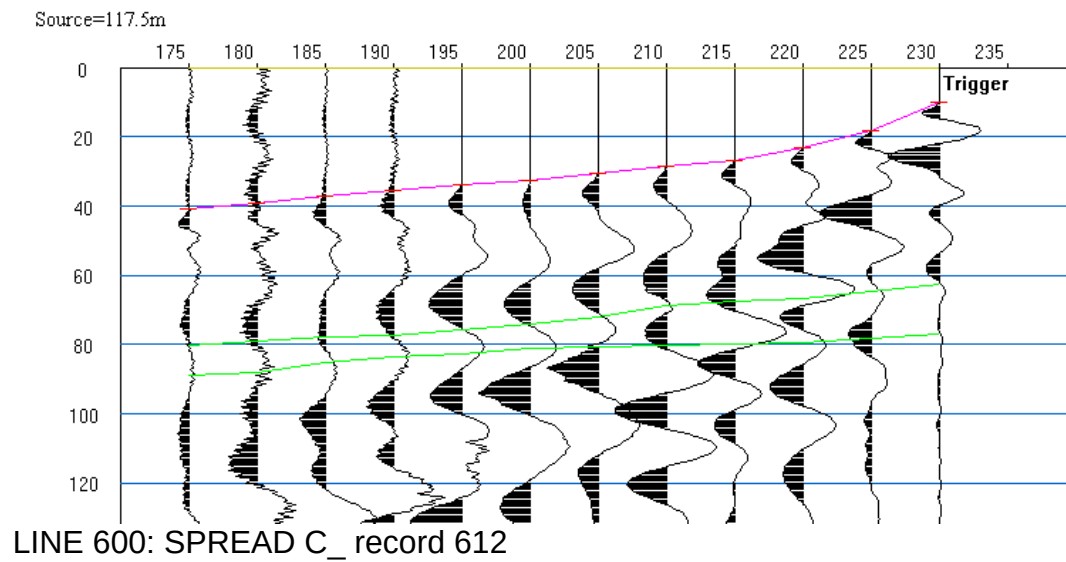
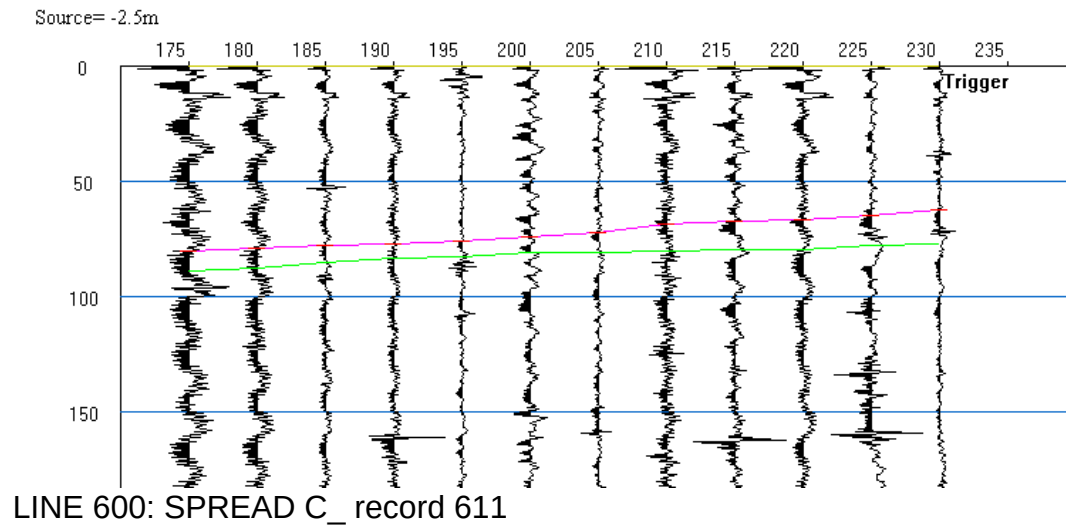
LINE 600: SPREAD B_ record 608

LINE 600: SPREAD C

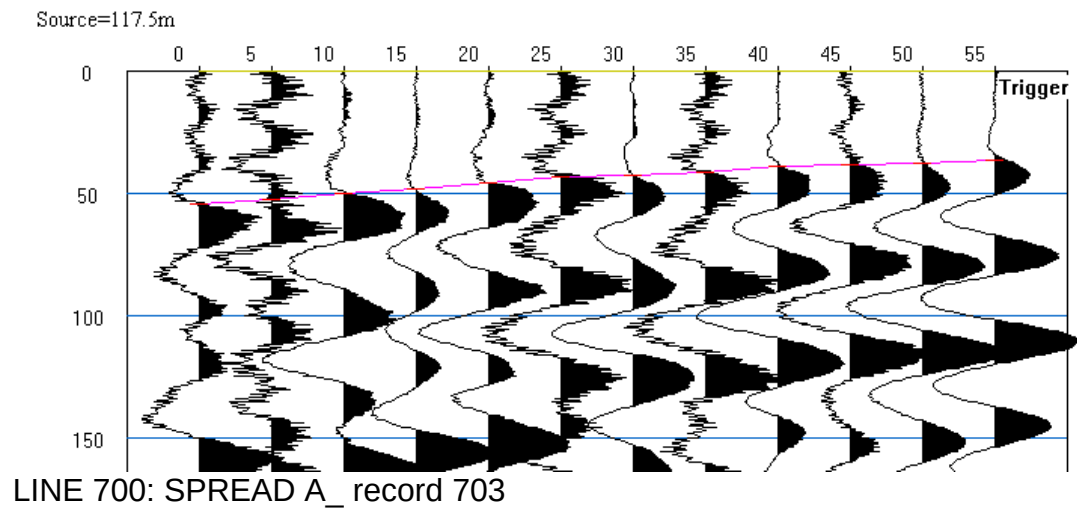
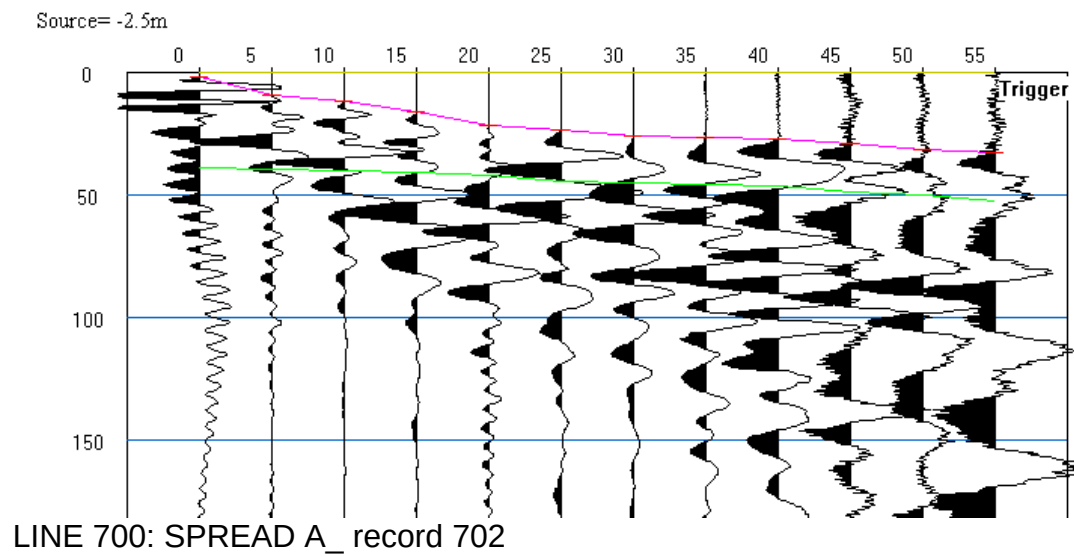
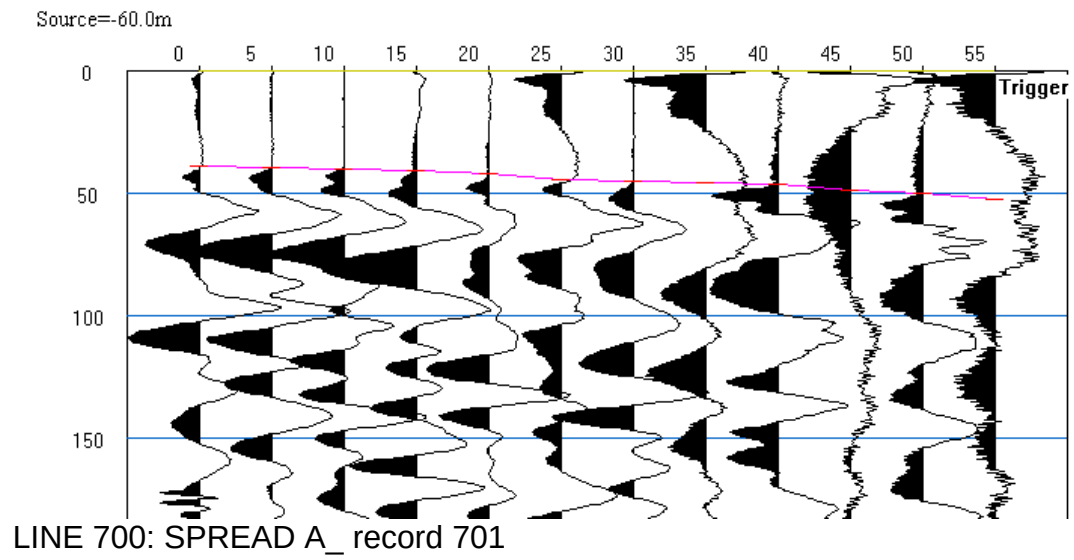
Source=-40.0m



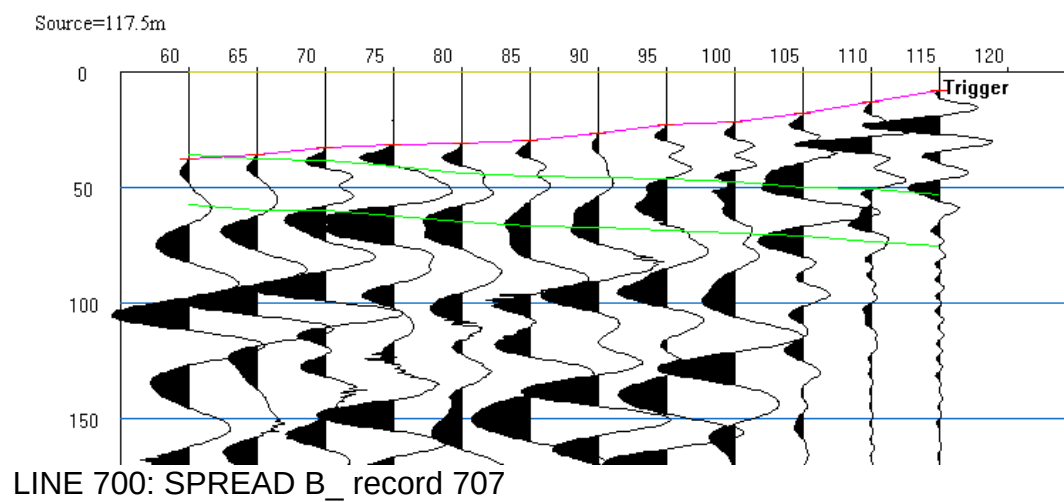
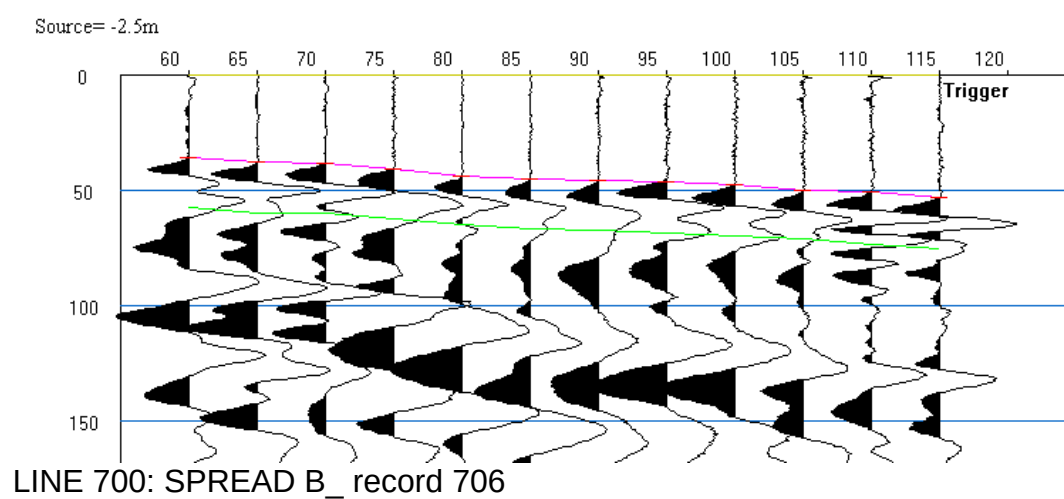
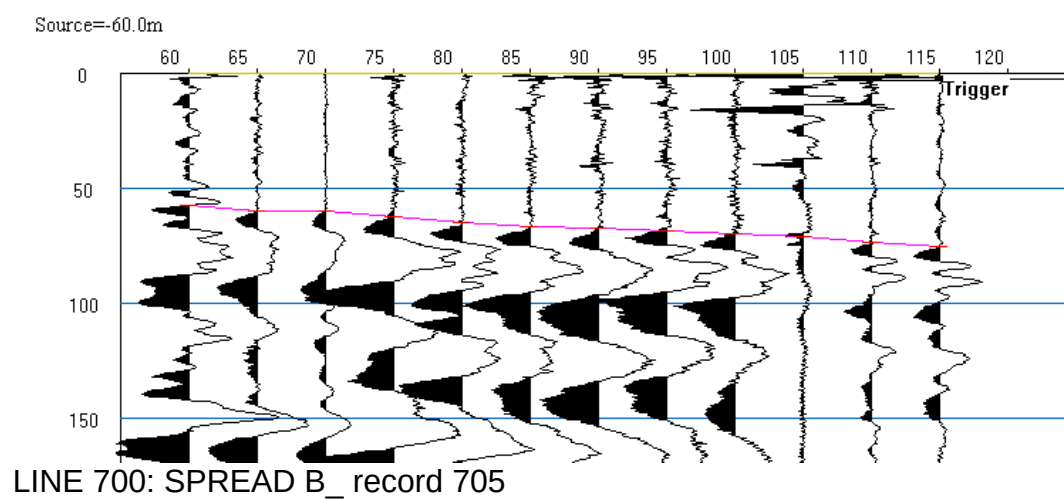
LINE 600: SPREAD C_ record 610

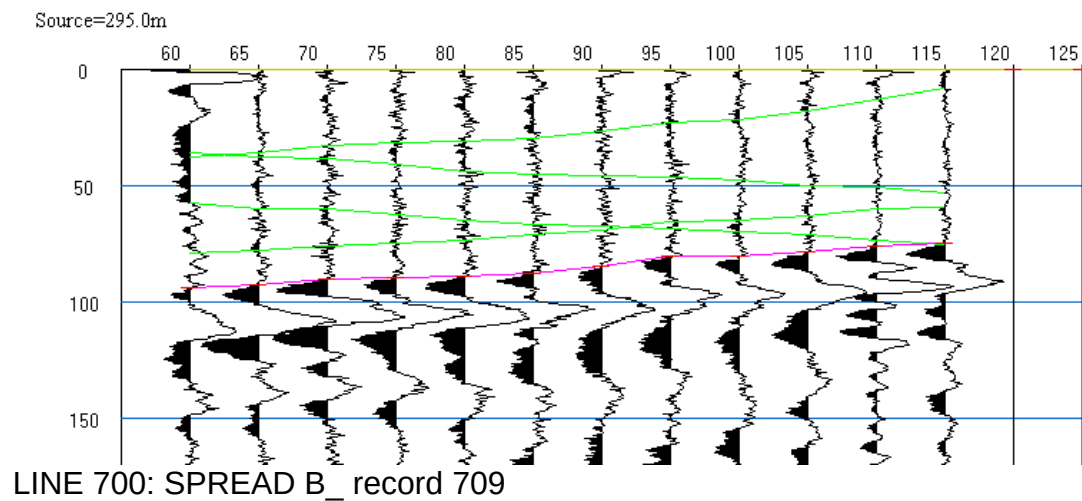
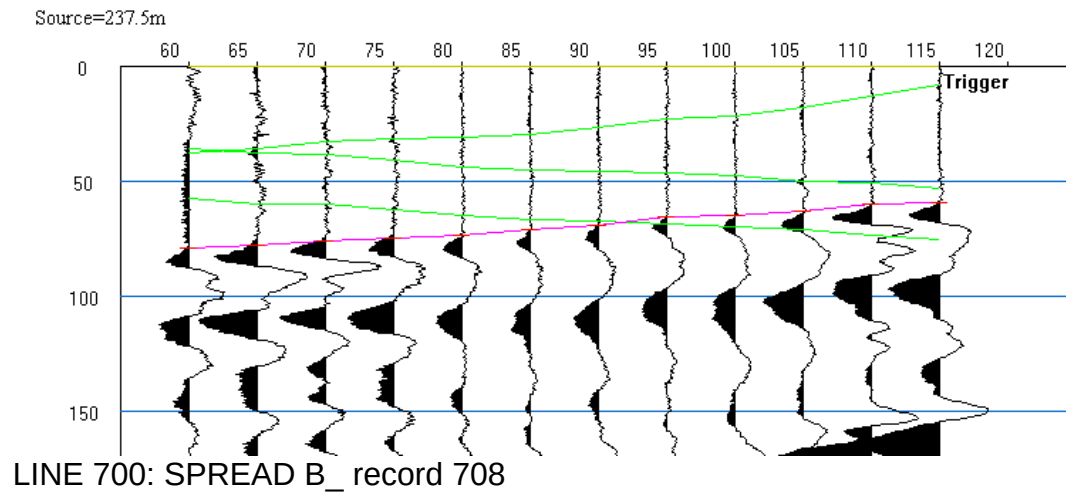


LINE 700: SPREAD A

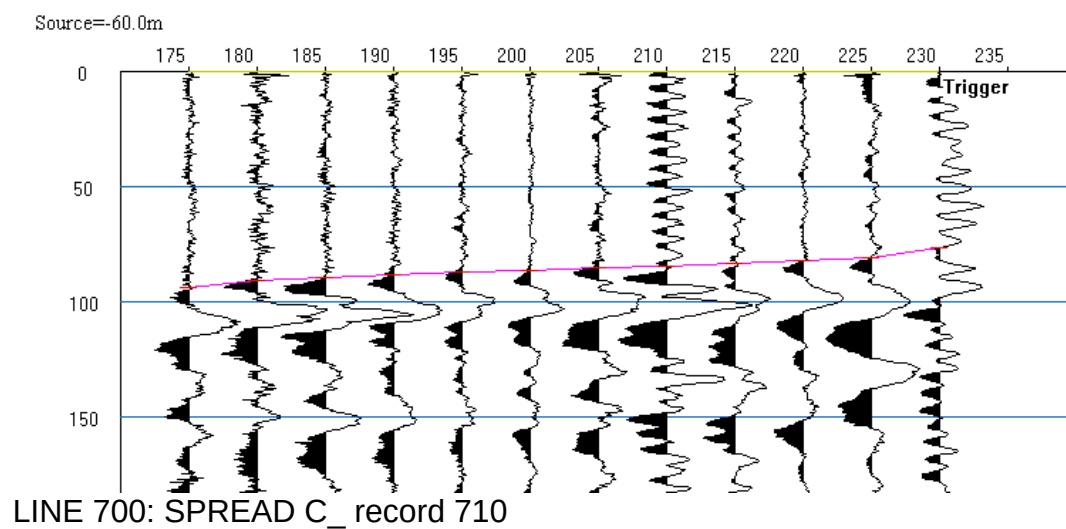


LINE 700: SPREAD B

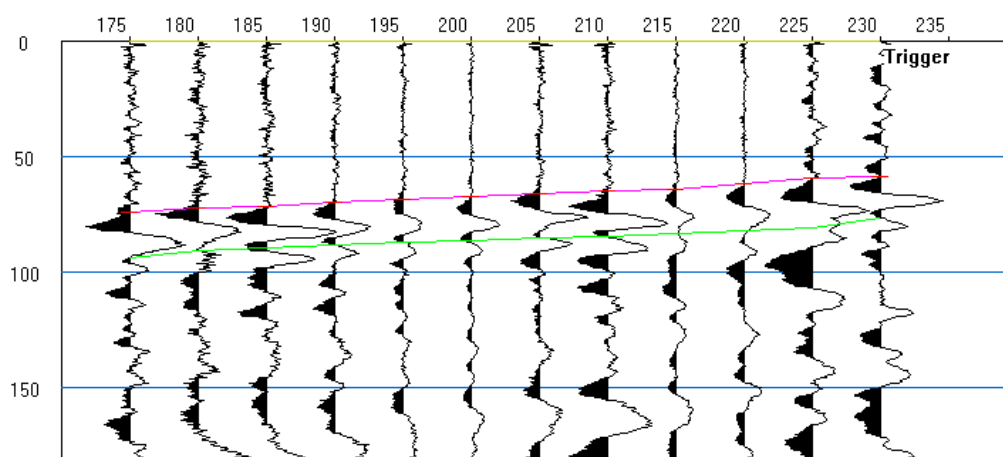




LINE 700: SPREAD C

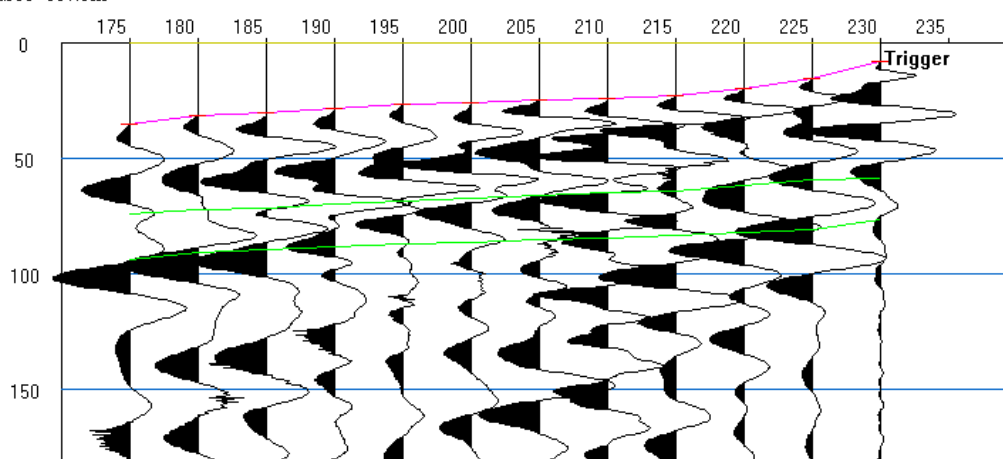


Source=-2.5m



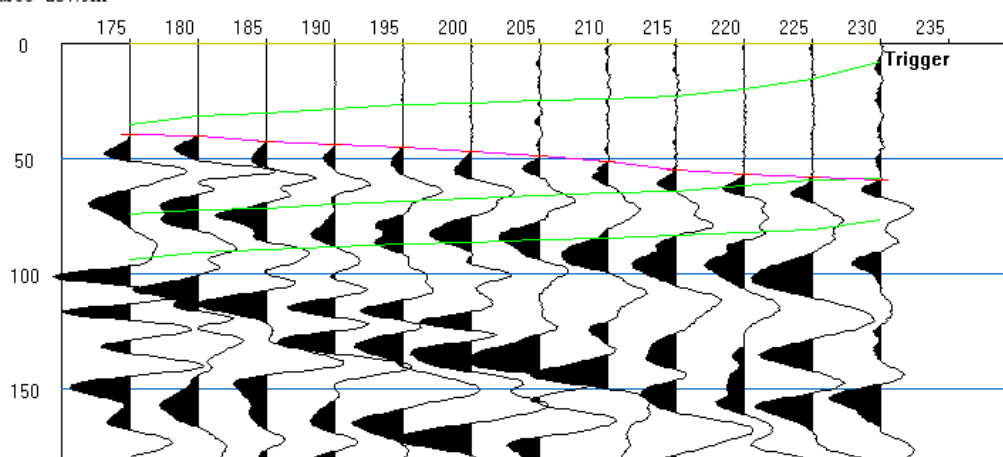
LINE 700: SPREAD C_record 711

Source=117.5m

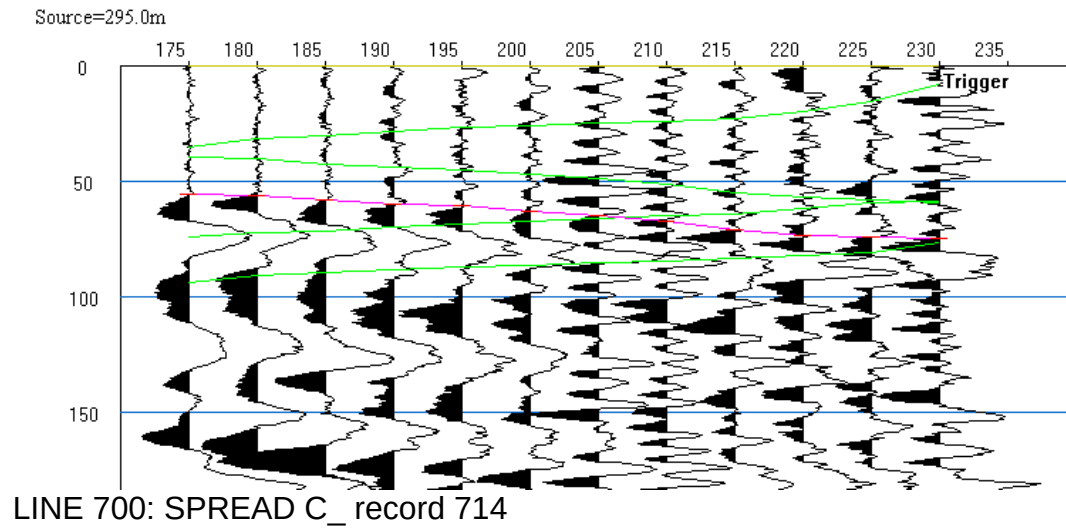


LINE 700: SPREAD C_record 712

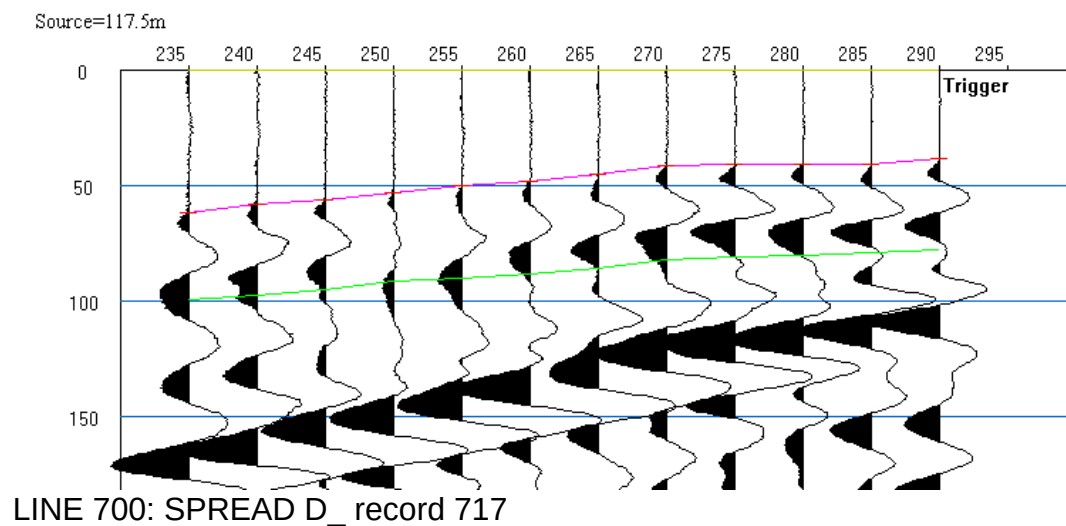
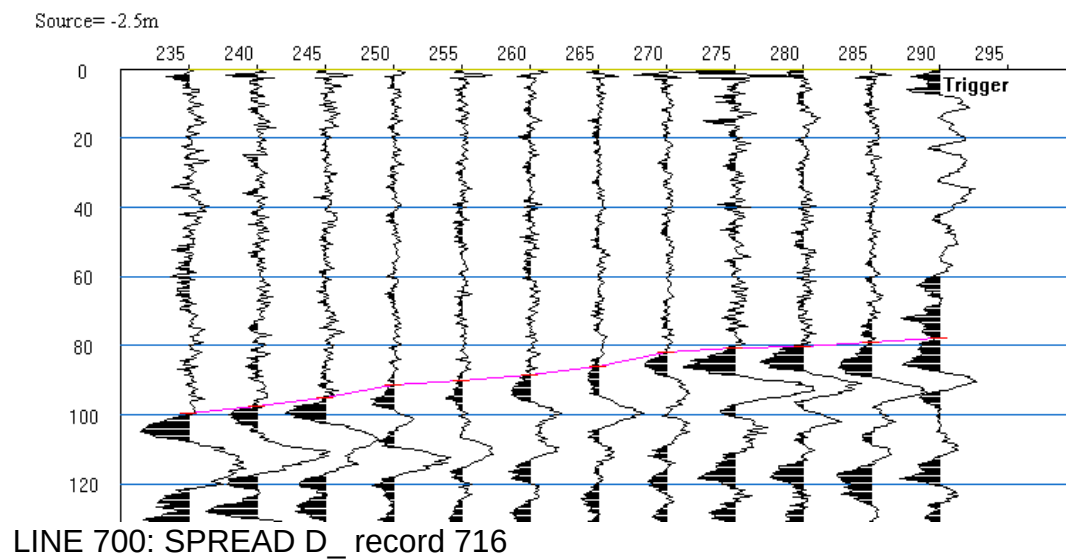
Source=237.5m

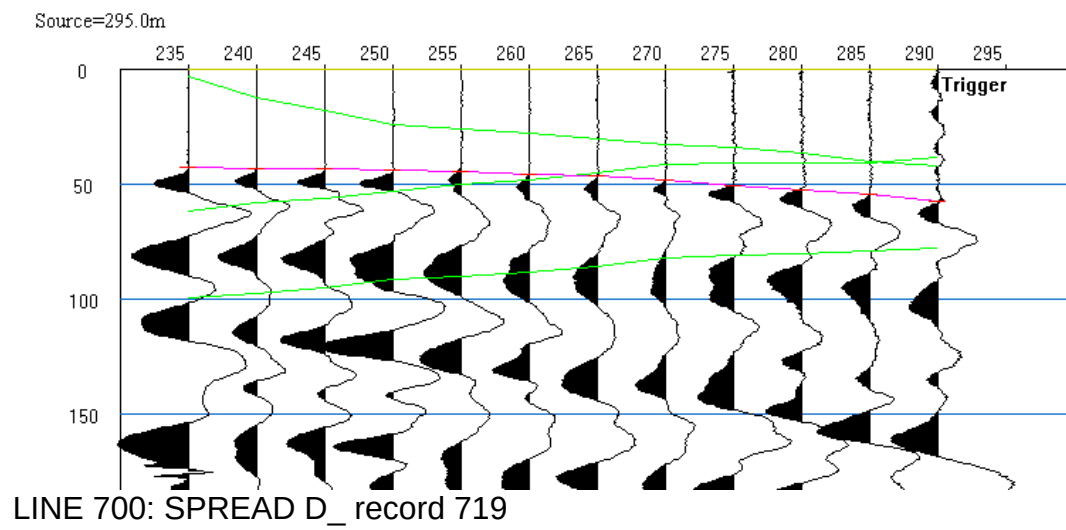
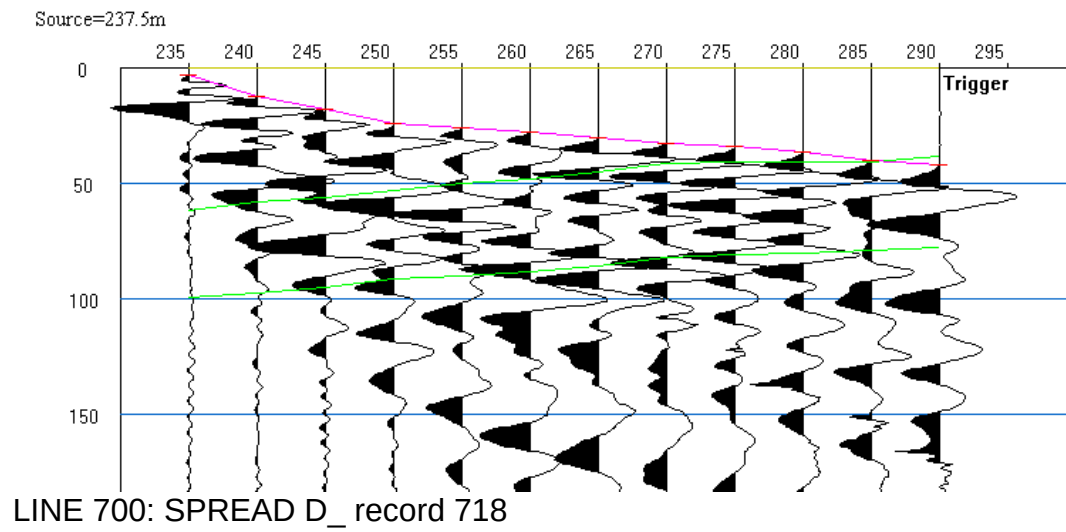


LINE 700: SPREAD C_record 713

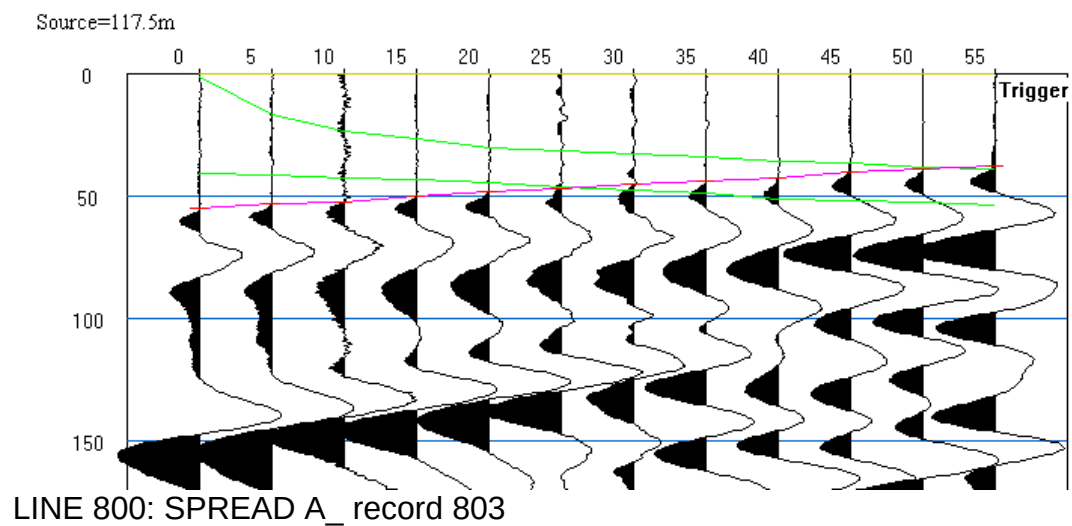
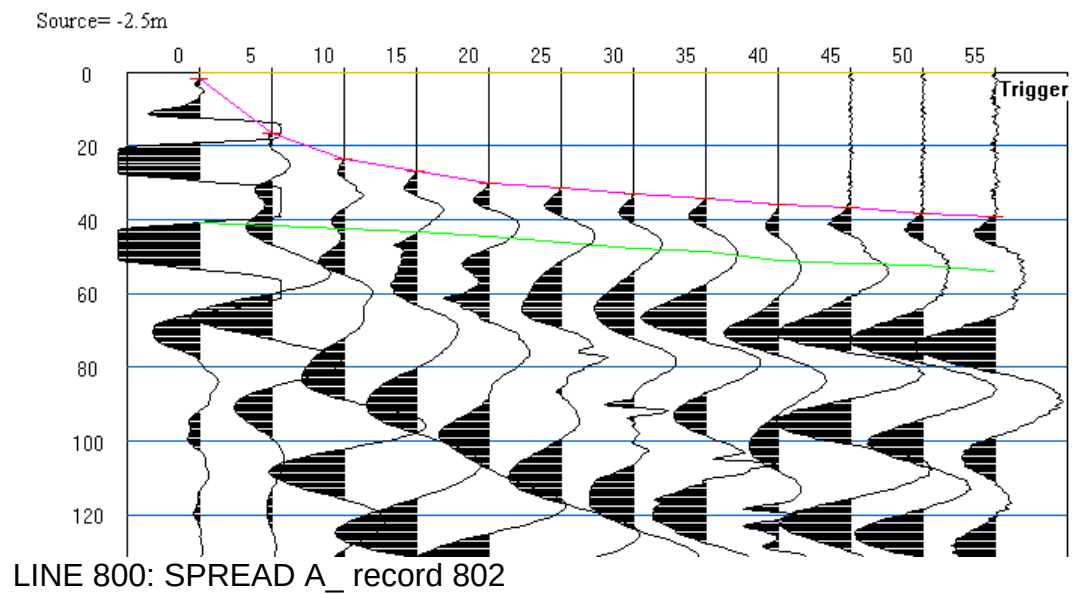
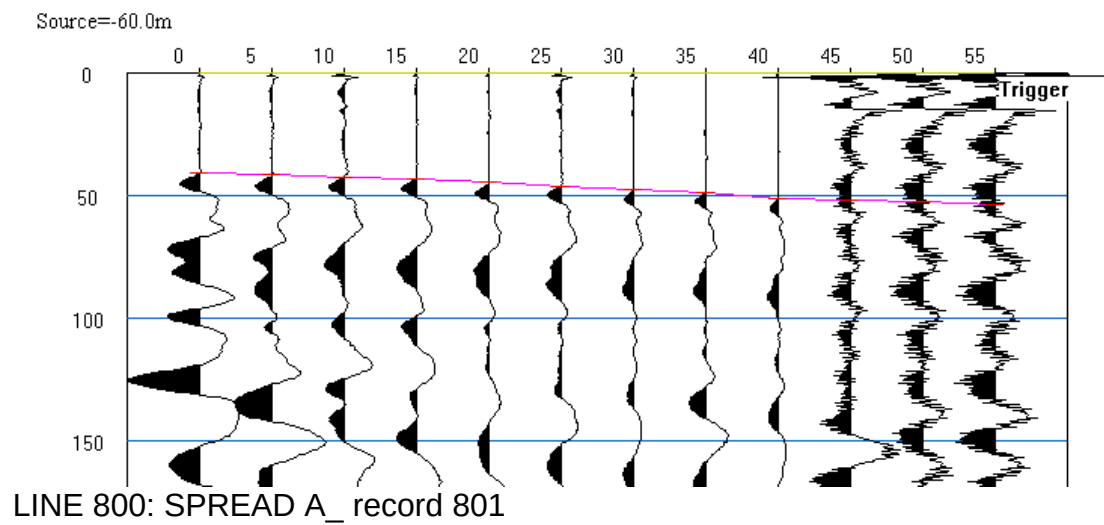


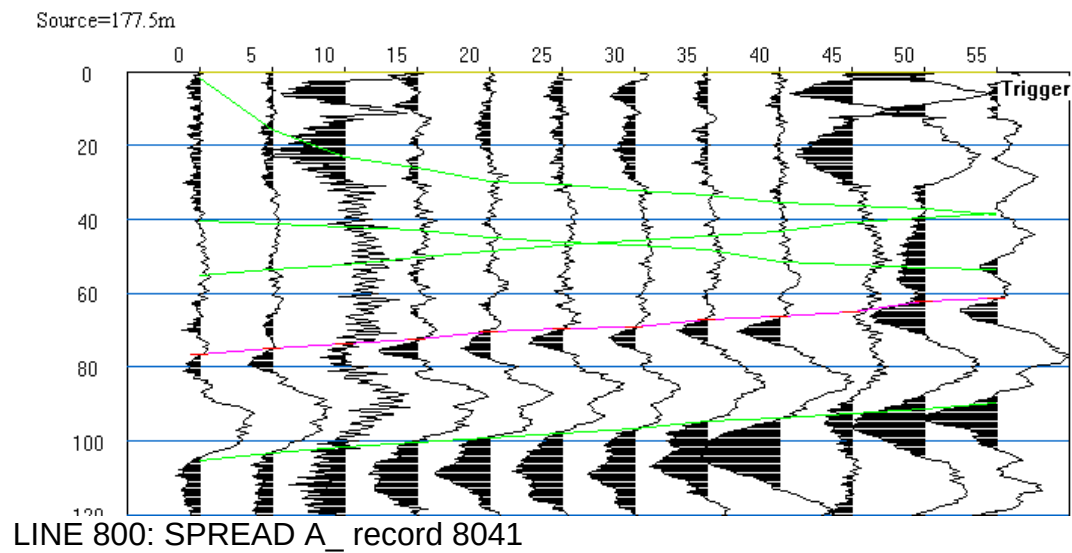
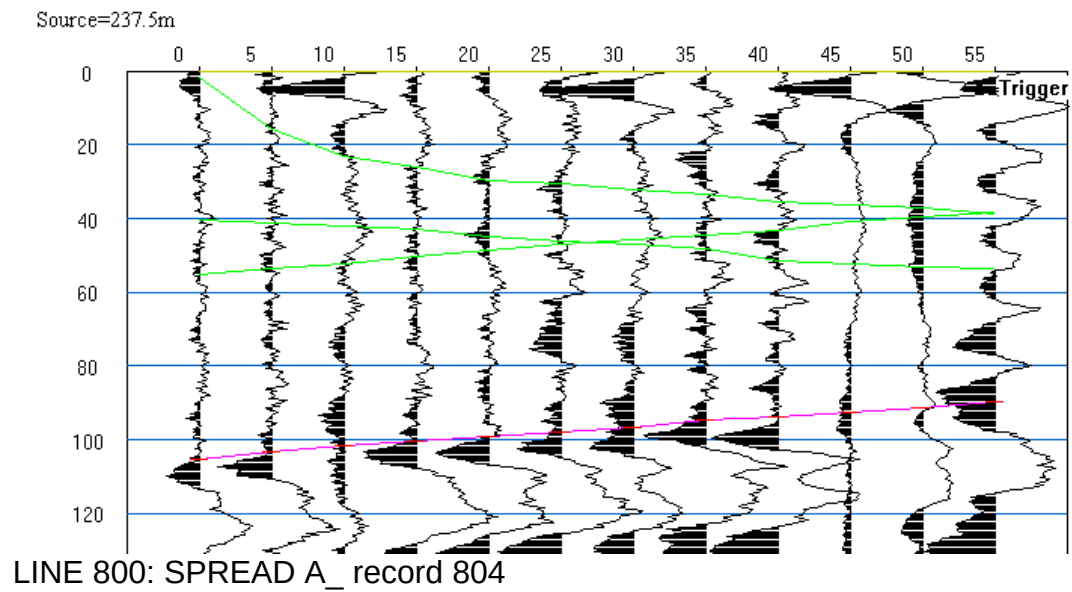
LINE 700: SPREAD D



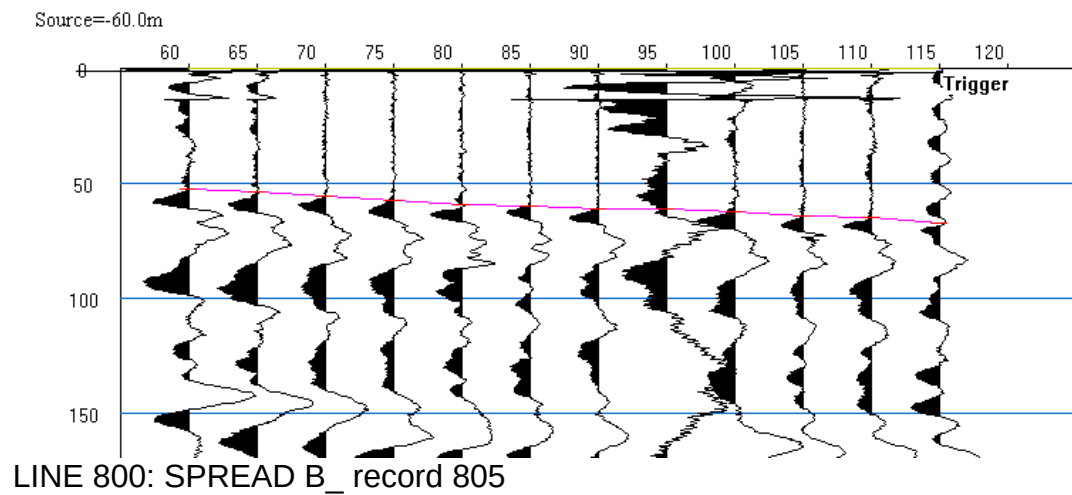


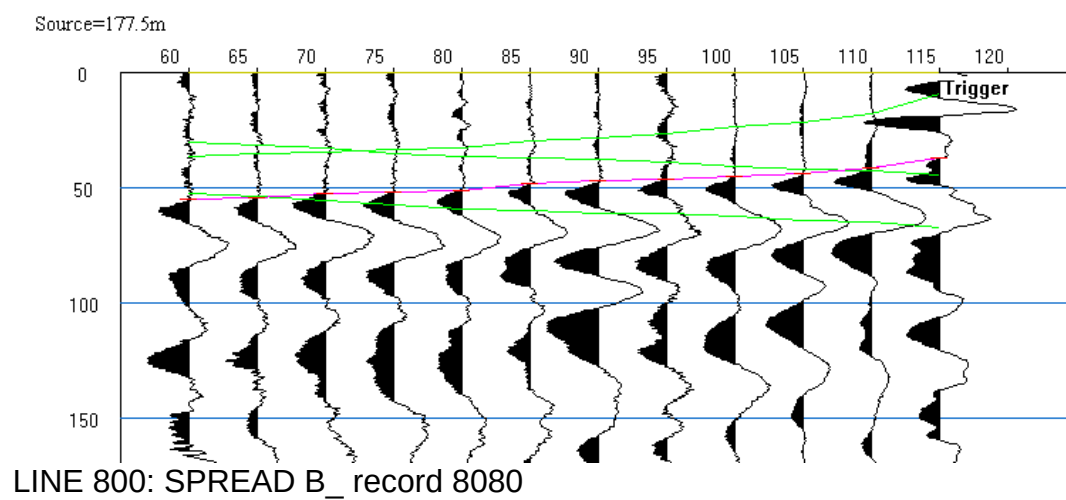
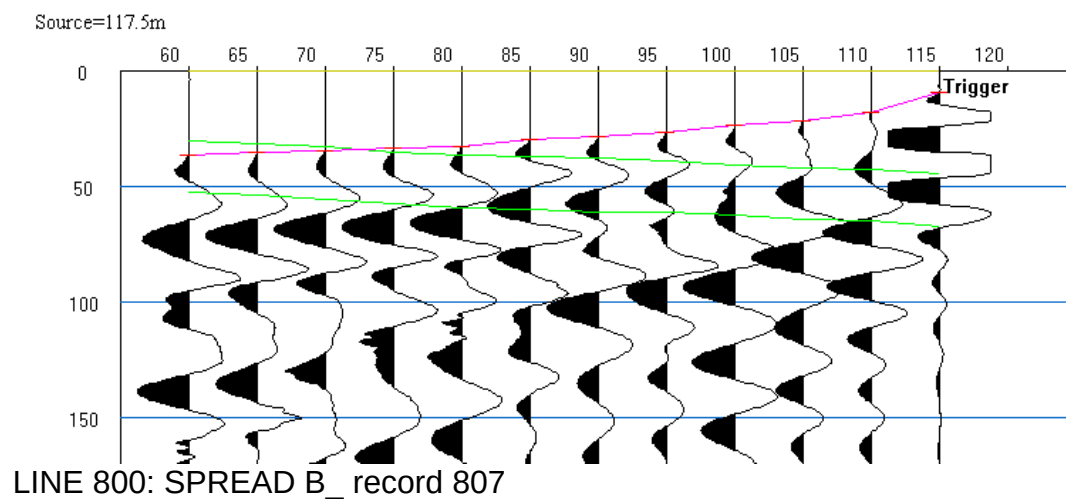
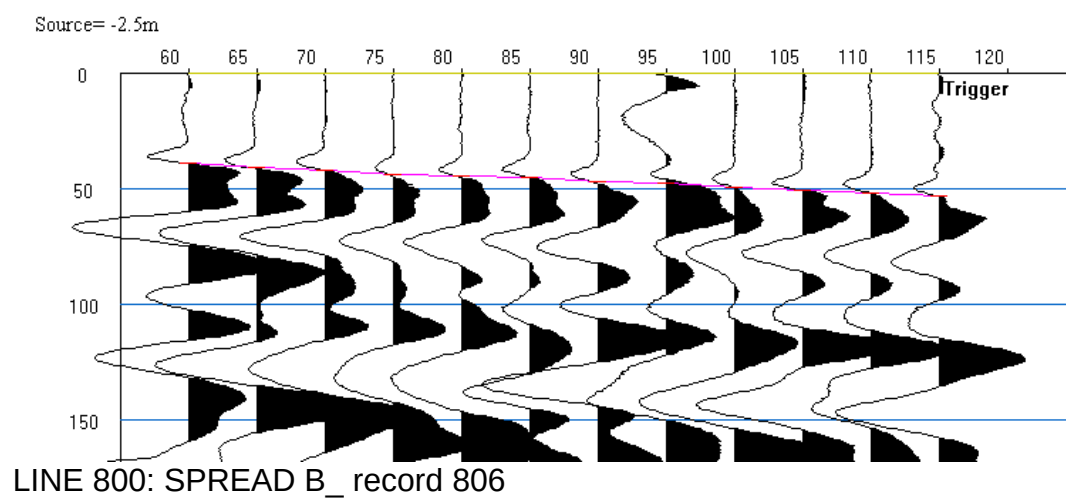
LINE 800: SPREAD A





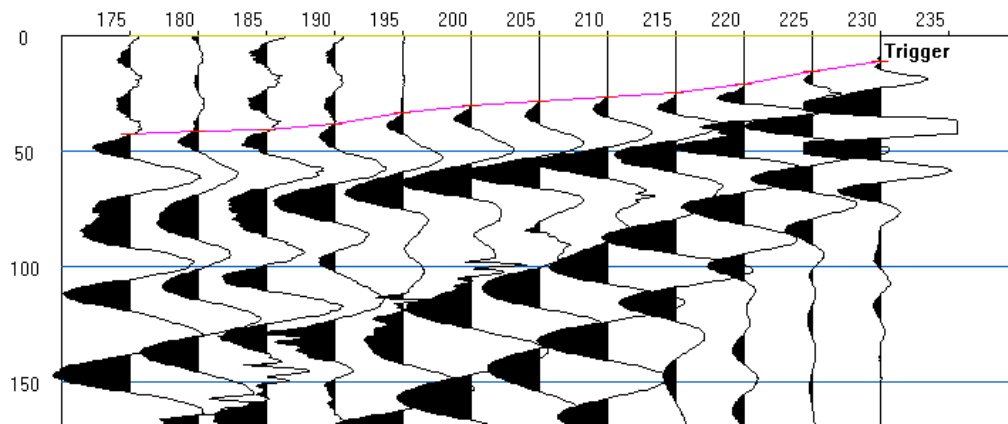
LINE 800: SPREAD B





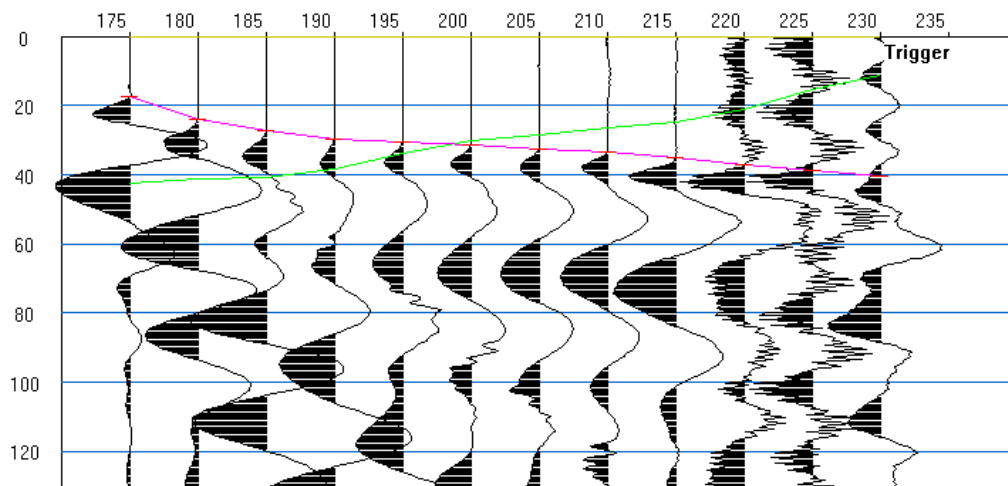
LINE 800: SPREAD C

Source=117.5m



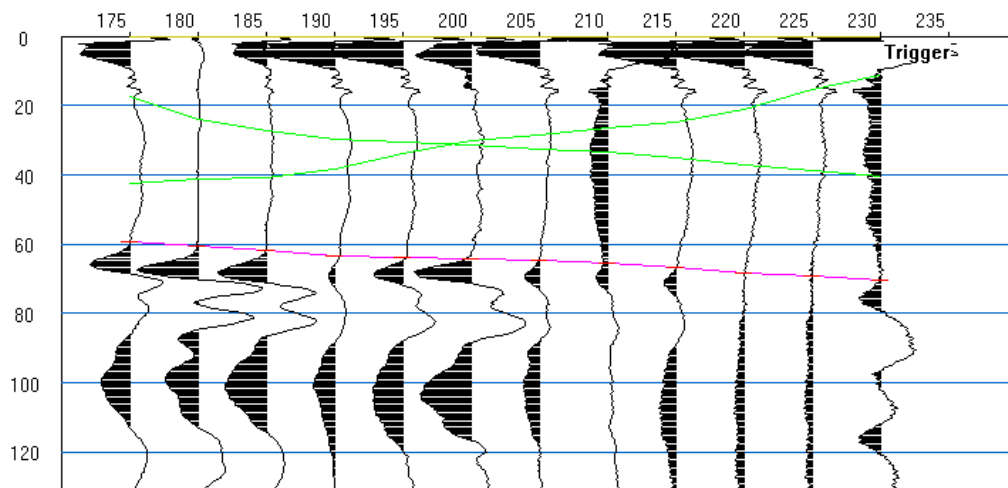
LINE 800: SPREAD C_record 812

Source=177.5m



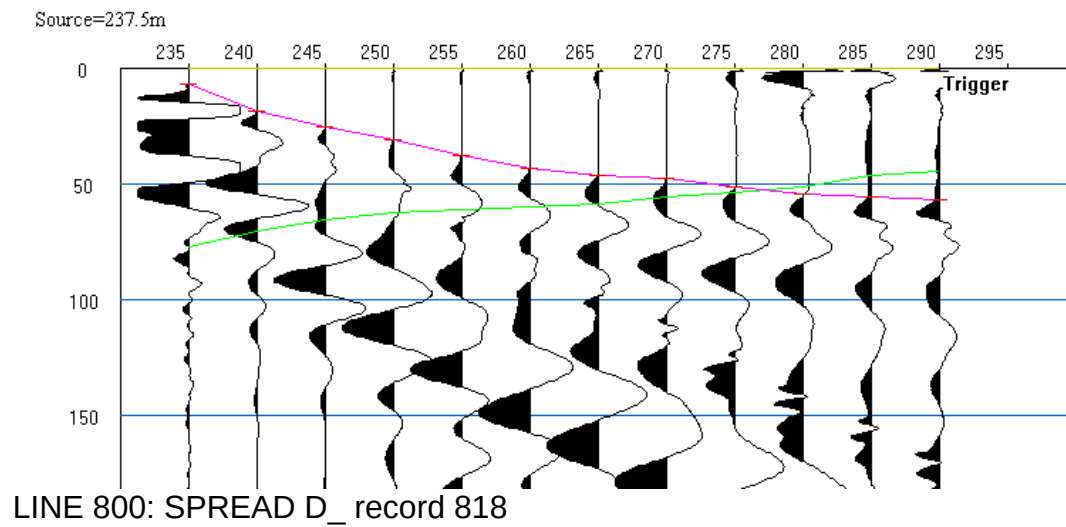
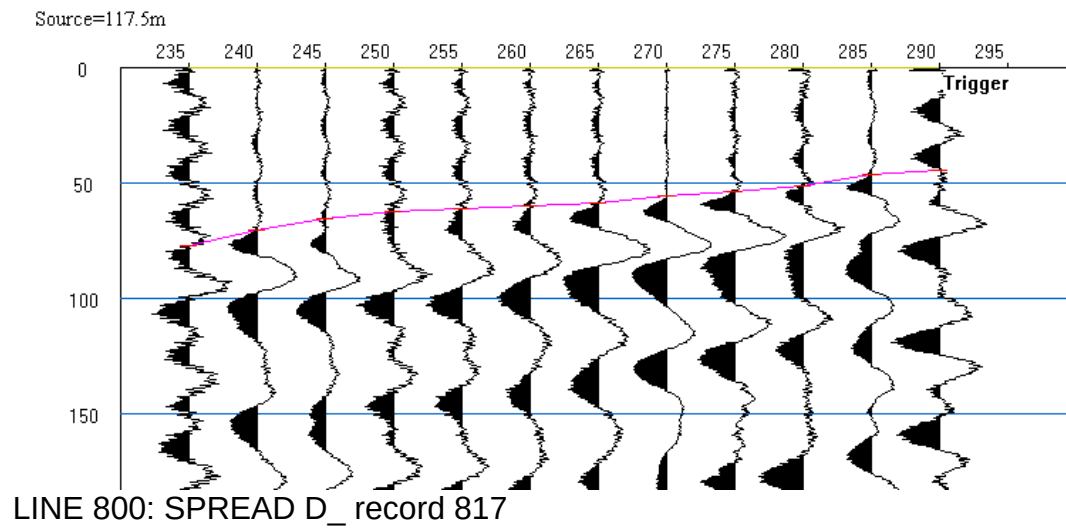
LINE 800: SPREAD C_record 8130

Source=237.5m

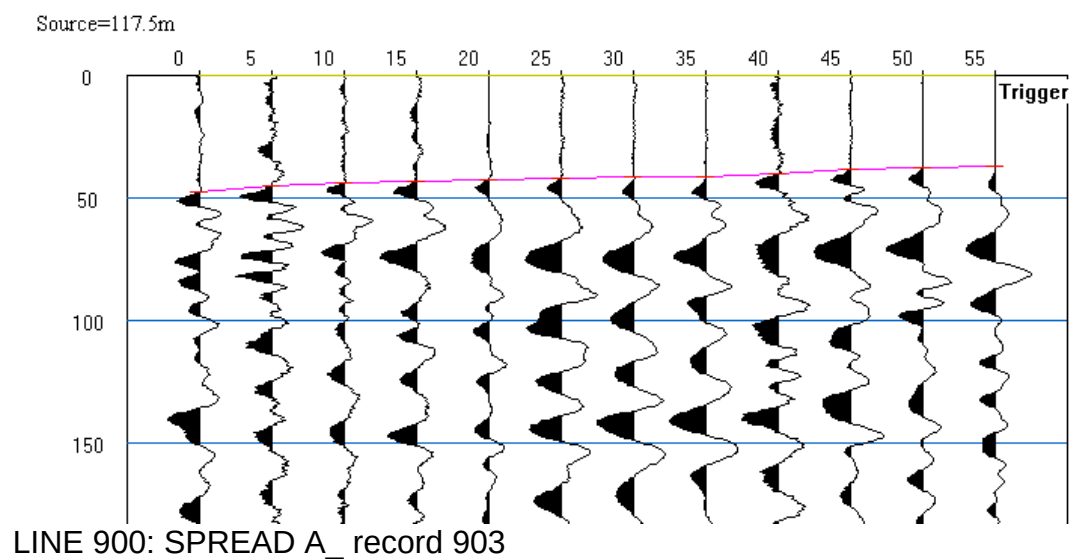


LINE 800: SPREAD C_record 8131

LINE 800: SPREAD D

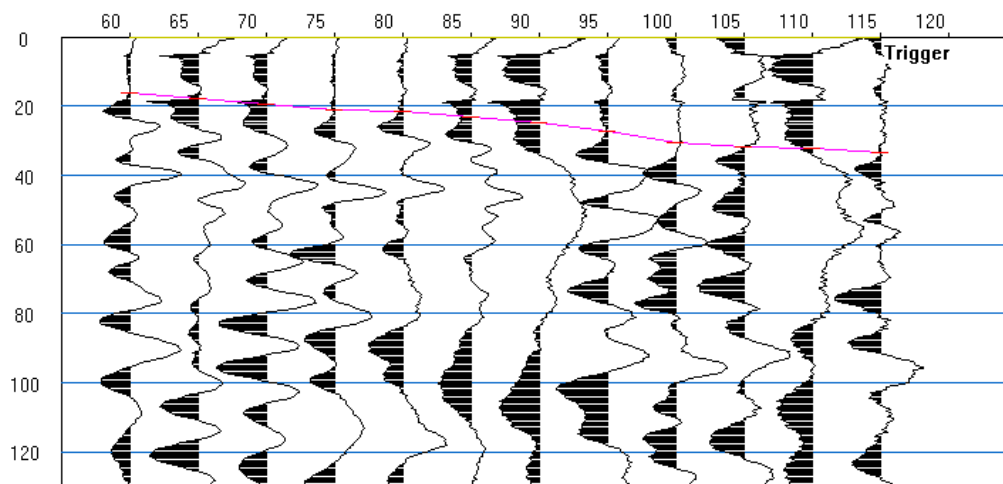


LINE 900: SPREAD A



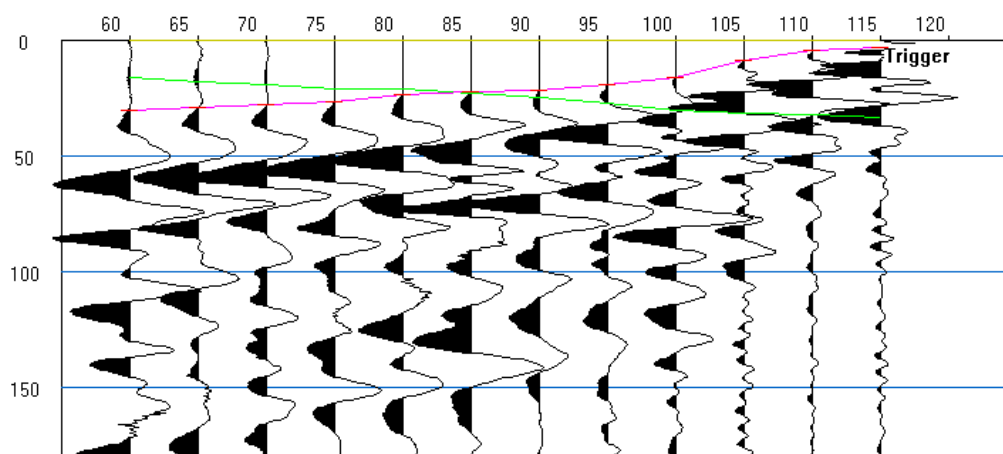
LINE 900: SPREAD B

Source=-2.5m



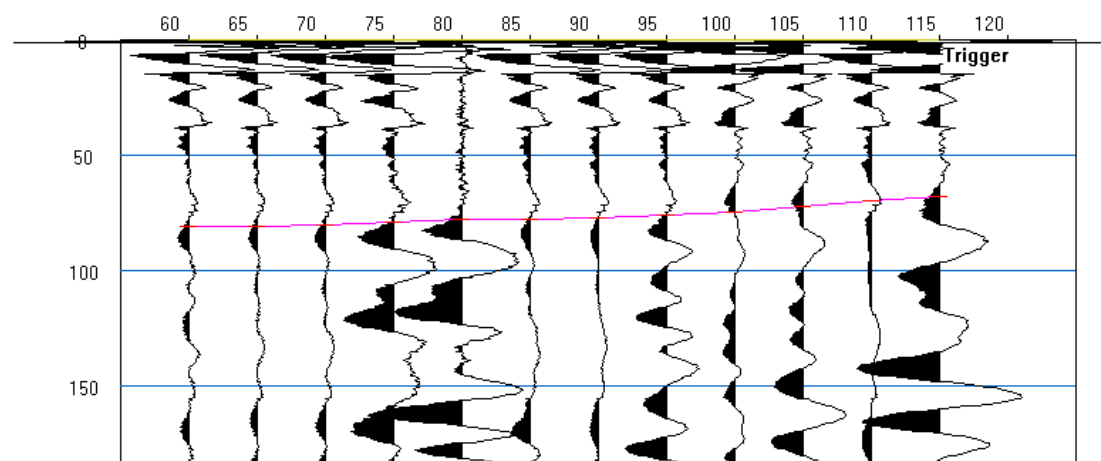
LINE 900: SPREAD B_record 906

Source=117.5m

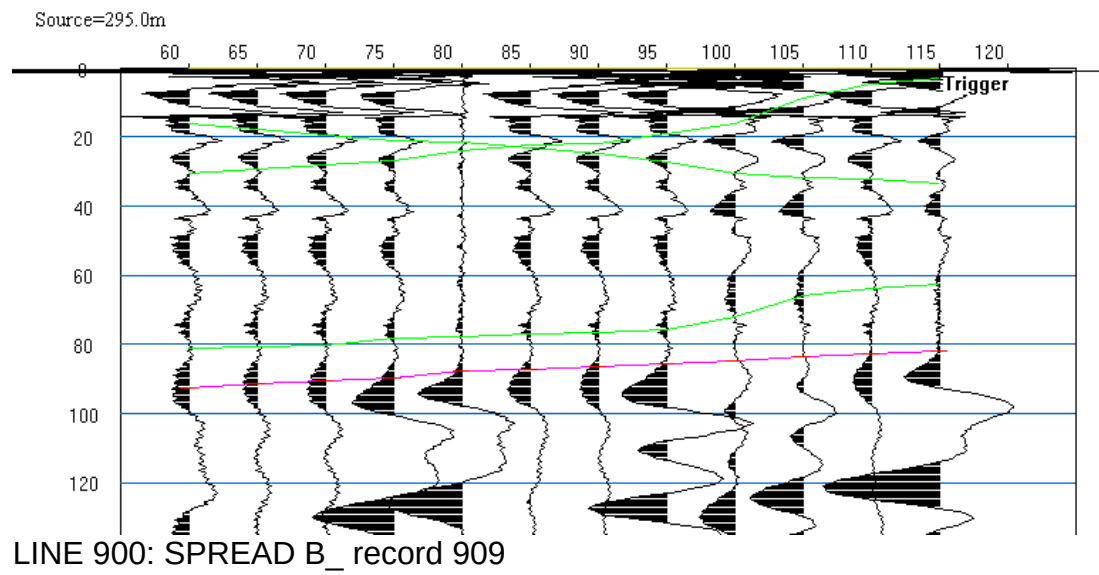


LINE 900: SPREAD B_record 907

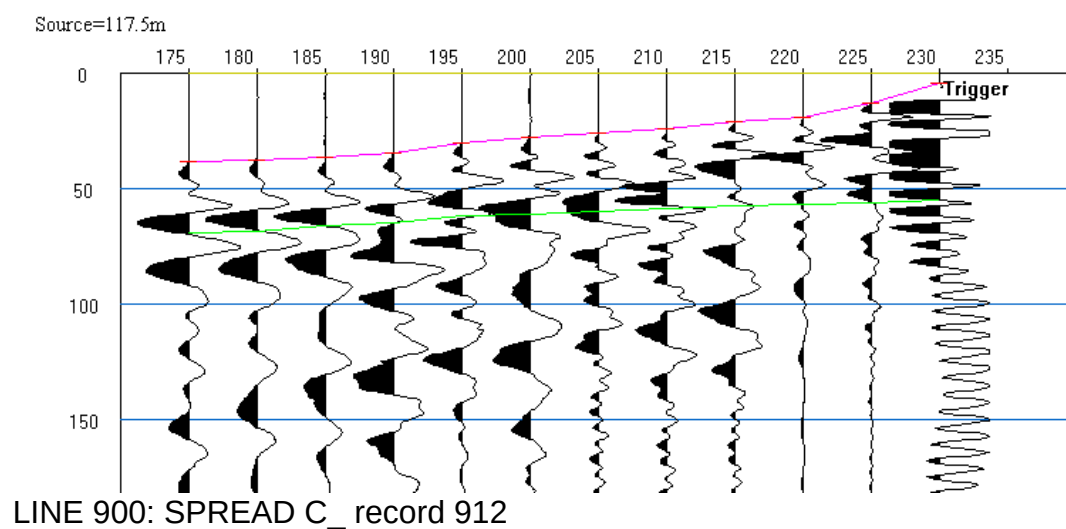
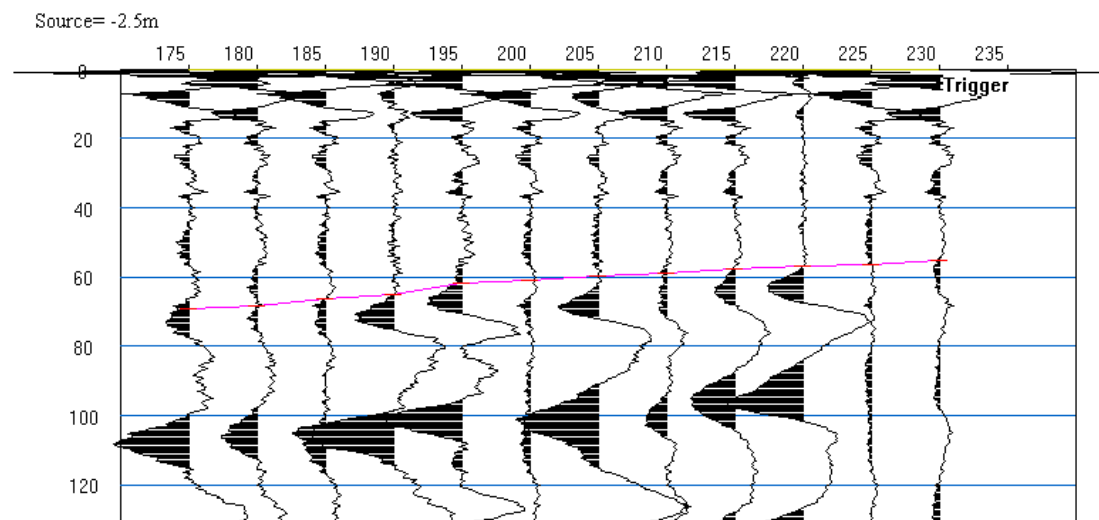
Source=237.5m

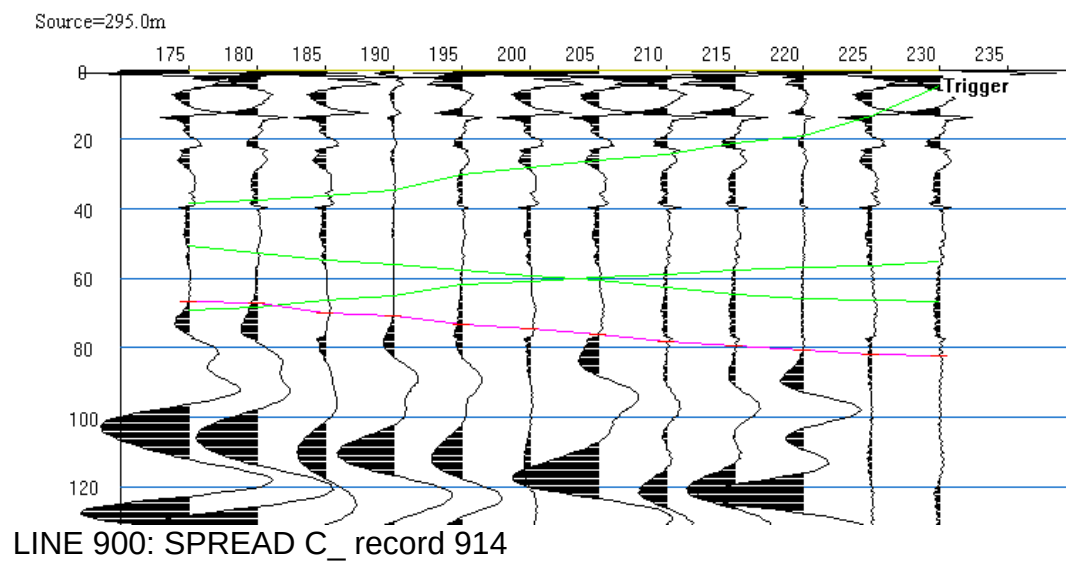
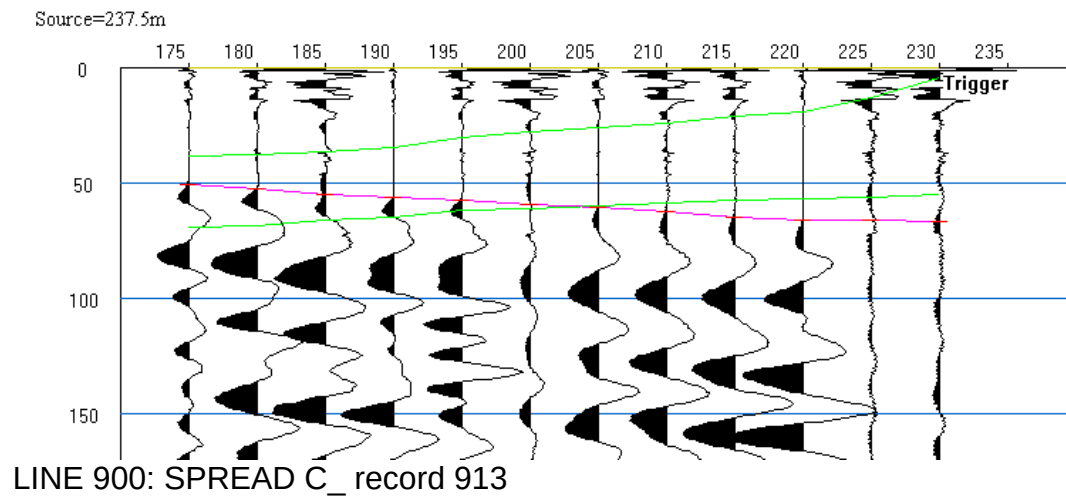


LINE 900: SPREAD B_record 908

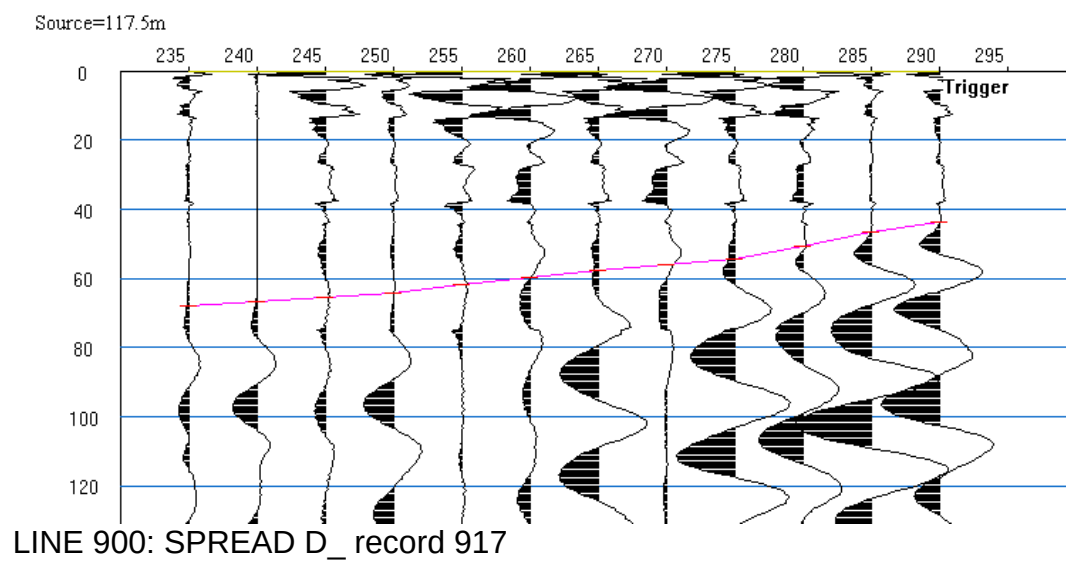


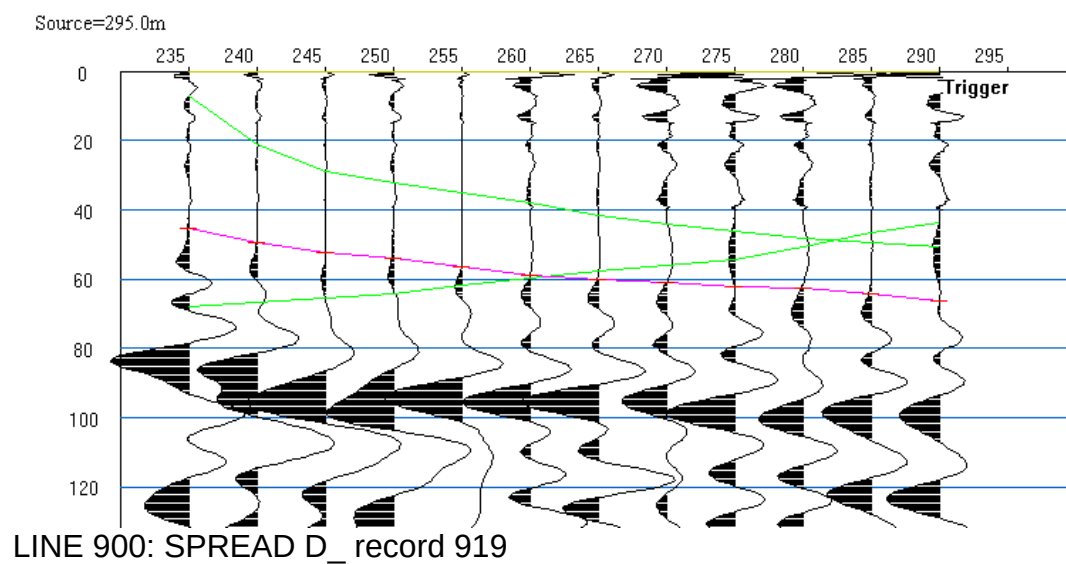
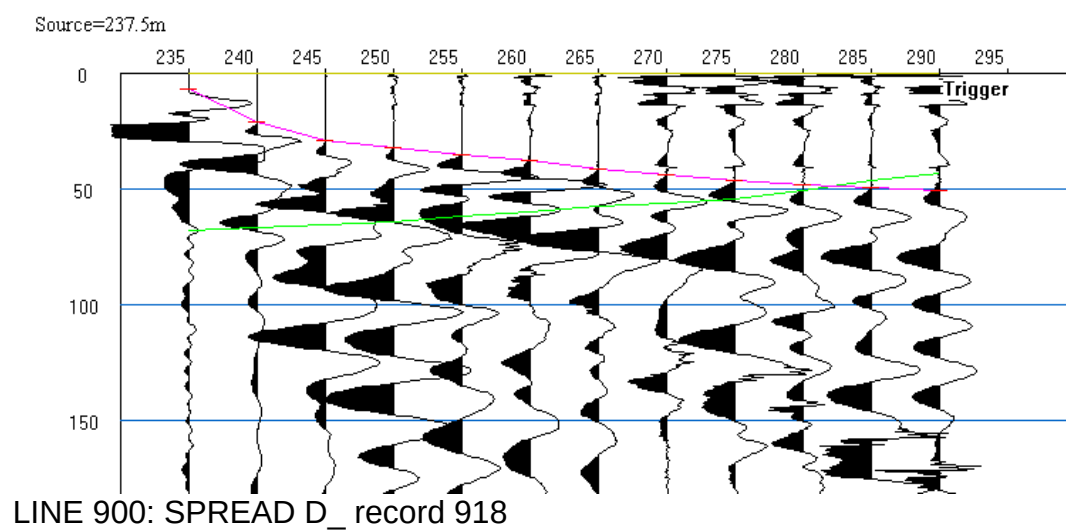
LINE 900: SPREAD C





LINE 900: SPREAD D

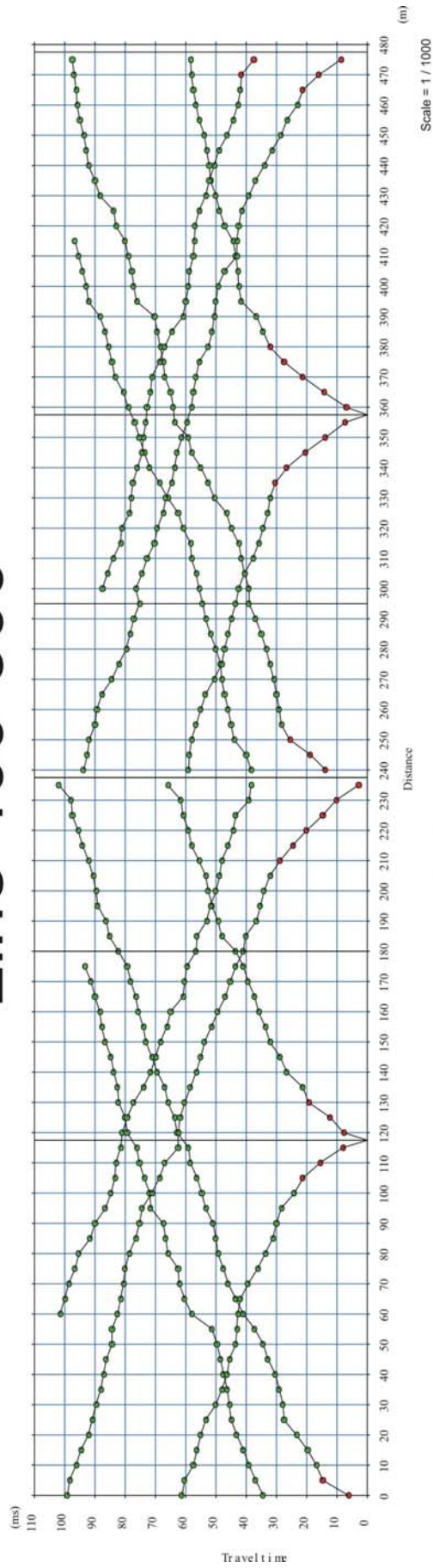




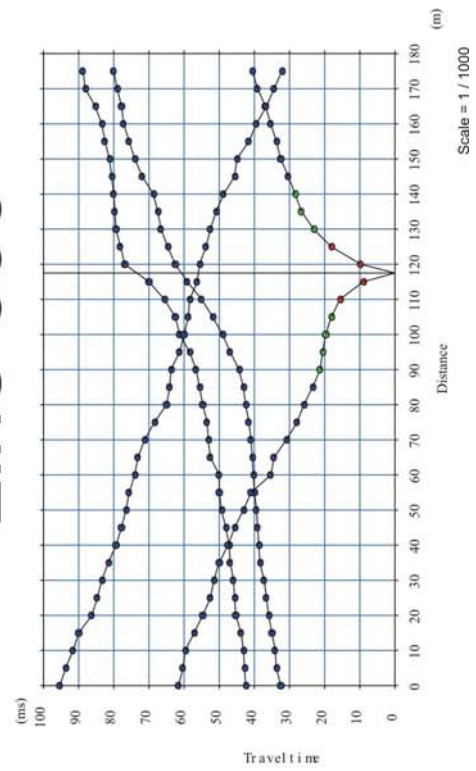
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΔΡΟΜΟΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

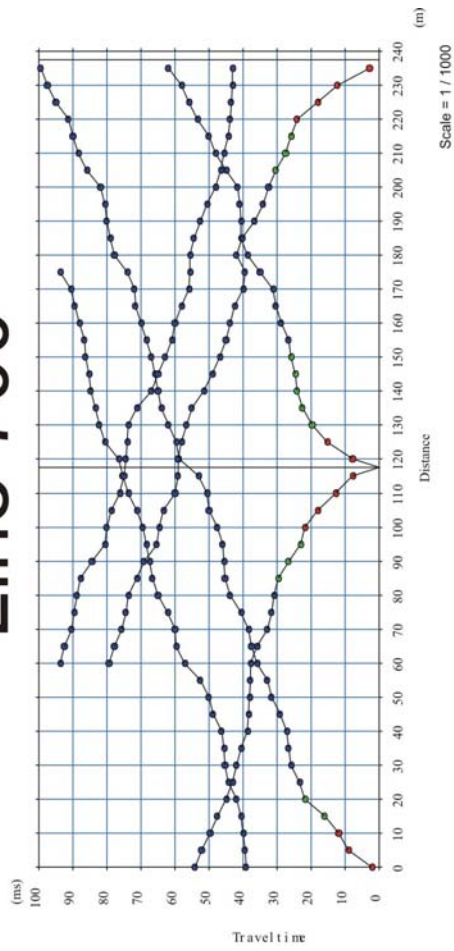
Line 400-500



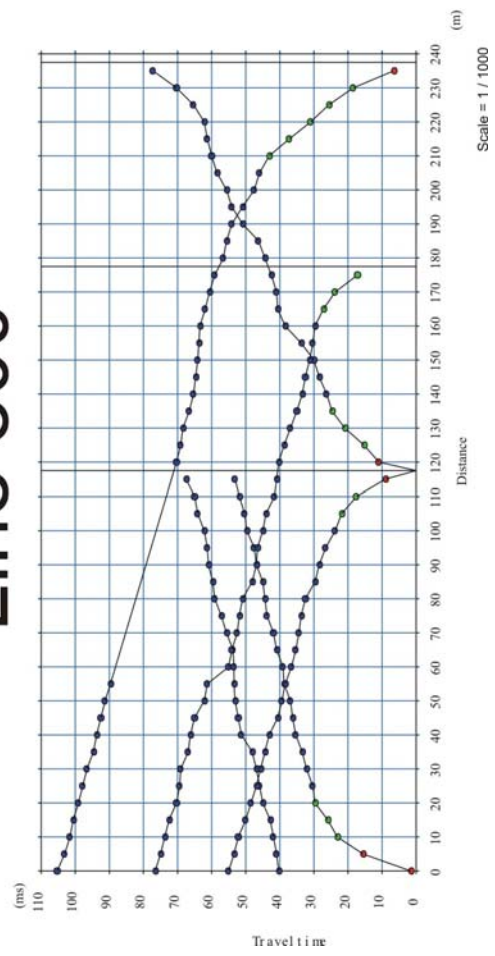
Line 600



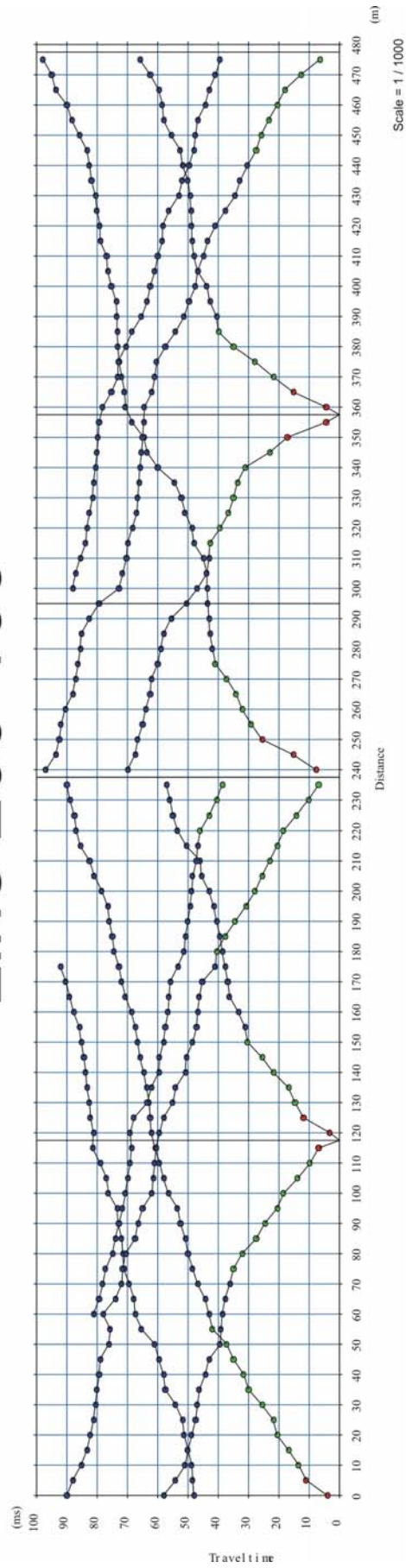
Line 700



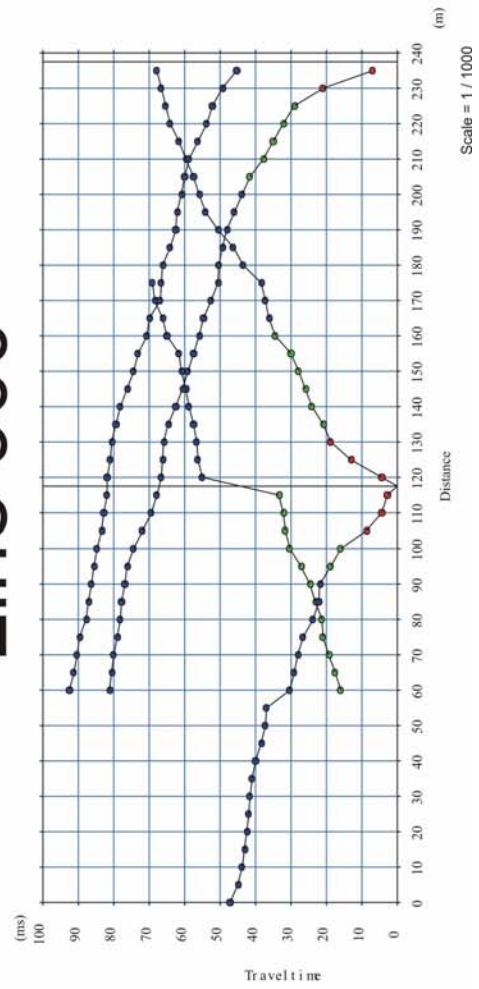
Line 800



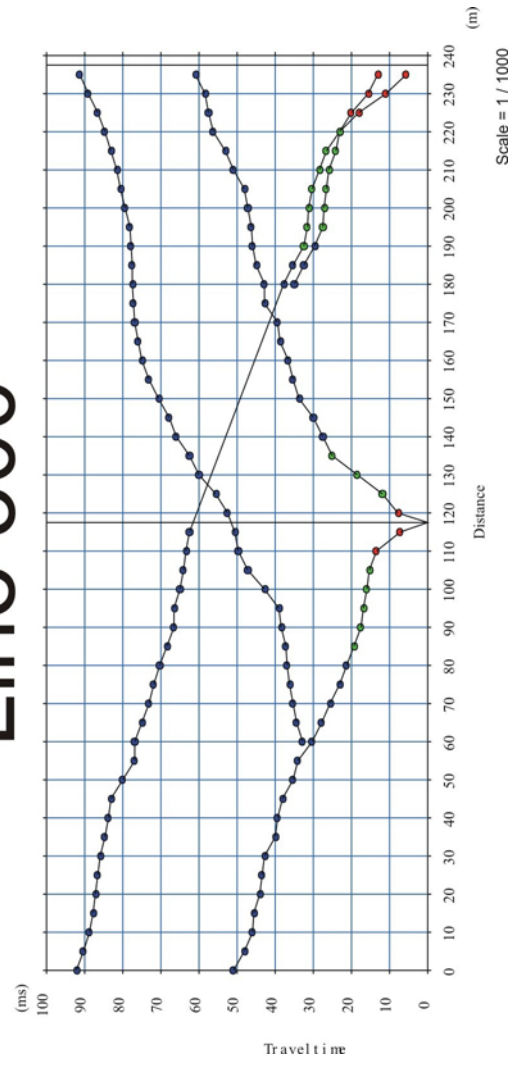
Line 200-100



Line 900



Line 300

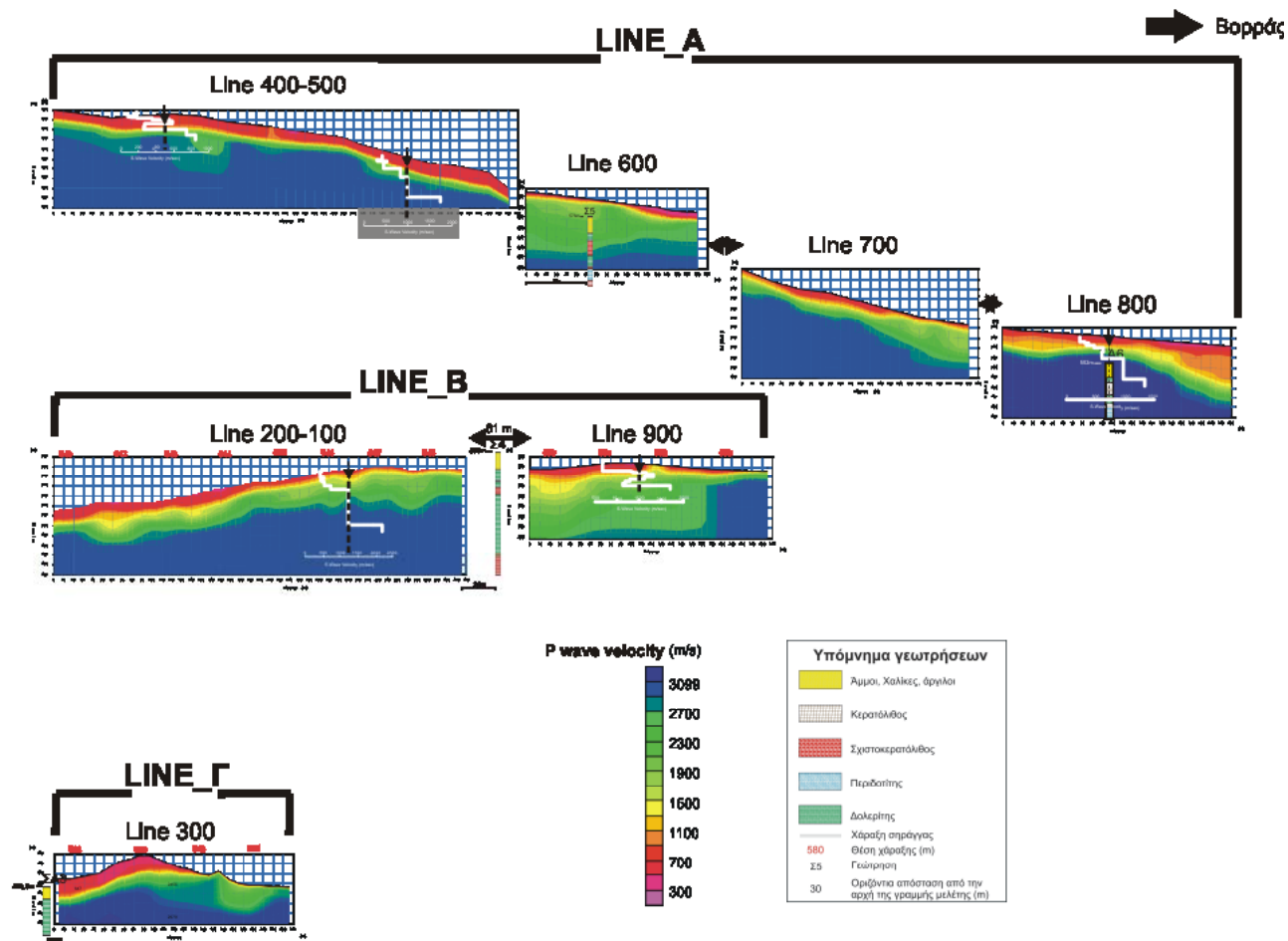


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΕΝΘΕΤΟ

***[ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ
ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ
ΚΥΜΑΤΩΝ]***

ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΛΥΓΑΡΙΑ-ΠΕΡΙΒΟΛΙ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ Ε65



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Βαφείδης, Α., (1993), Εφαρμοσμένη Γεωφυσική – 1: Σεισμικές Μέθοδοι, Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.**
2. **Βαφείδης, Α., (2005), Γεωφυσική Διασκόπηση για την Εκτίμηση Σεισμικής Ταχύτητας Επιφανειακών Σχηματισμών σε Περιοχή του Μοχού Ηρακλείου, Έκθεση Γεωφυσικής Έρευνας, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής.**
3. **Κρητικάκης, Γ., 2000, Συμβολή των επιφανειακών κυμάτων *Rayleigh* στην εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων του υπεδάφους, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.**
4. **Lankston, W. R., 1990, *High-Resolution Refraction Seismic Data Acquisition and Interpretation*, Geotechnical and Environmental Geophysics, Vol. I, Ward, S., ed., Society of Exploration Geophysicists.**
5. **McCann, D.M. and Fenning, P. J., (1995), “Estimation of rippability and excavation conditions from seismic velocity measurements”, Geological Society of London, Engineering Special Publication, Vol. 10, p. 335-343.**
6. **Reynolds, M. J., (1997), *An introduction to applied and environmental geophysics*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester.**
7. **Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού SeisImager, (2003), Manual, Version 3.0, OYO Corporation.**