



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΟΝ
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΕΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΩΝ ΤΟΥ ΕΔΕ
ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΧΑΝΙΩΝ

ΜΕΛΑΝΘΙΑ Γ. ΛΙΑΝΤΡΑΚΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΕΠΙΚ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Χανιά 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας στους σταθμούς Χανίων και Παλαιόχωρας του Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων χρησιμοποιώντας τις μεθόδους της ηλεκτρικής τομογραφίας, της σεισμικής τομογραφίας και της πολυκάναλης ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων με τα προγράμματα SeisImager και EarthImager προέκυψαν οι αντίστοιχες σεισμικές και γεωηλεκτρικές τομές. Ο στόχος ήταν να συσχετιστούν γεωτεχνικά και γεωφυσικά δεδομένα.

Οι σεισμικές και γεωηλεκτρικές τομές συνδυάστηκαν με τη χρήση σχεδιαστικού προγράμματος και απεικονίστηκαν οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί. Επίσης, προσδιορίστηκαν οι μηχανικές ιδιότητες όπως ο λόγος του Poisson, το μέτρο ελαστικότητας και το μέτρο διάτμησης σε σχέση με το βάθος. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι παράμετροι V_{S30} καθώς και το N_{spt} σύμφωνα με τον ευροκώδικα.

Τέλος, προσδιορίστηκε η κατηγορία εδάφους με βάση τον ευροκώδικα 8. Η κατηγορία εδάφους για τον σταθμό των Χανίων είναι η Β. Επίσης, οι τιμές του μέγιστου μέτρου διάτμησης κυμαίνονται από 0,2 έως 0,8 GPa και οι τιμές μέτρου ελαστικότητας 1 έως 2,5 GPa. Τα γεωφυσικά αποτελέσματα συμφωνούν με τα δεδομένα της γεώτρησης ως προς τη στρωμάτωση των γεωλογικών σχηματισμών.

Η κατηγορία εδάφους για τον σταθμό της Παλαιόχωρας είναι η Γ. Οι τιμές του μέγιστου μέτρου διάτμησης κυμαίνονται από 0,2 έως 0,7 GPa και οι τιμές μέτρου ελαστικότητας 0,5 έως 2 GPa.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο << ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΟΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΕΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΩΝ ΤΟΥ ΕΔΕ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΧΑΝΙΩΝ>> έχει σαν στόχο να συγκεντρωθούν γεωτεχνικά και σεισμολογικά δεδομένα και να συσχετιστούν με δεδομένα γεωφυσικών διασκοπήσεων, προκειμένου να γίνει βαθμονόμηση και συσχέτιση των επιμέρους μεθόδων (ηλεκτρική τομογραφία, σεισμική τομογραφία, MASW, Refraction -Microtremor).

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Αντώνη Βαφείδη, επιβλέποντα καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής και την συνεχή καθοδήγησή του.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της επιτροπής, κ.Μανούτσογλου Εμμανουήλ, καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και τον επίκουρο καθηγητή Ε. Στειακάκη της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Θέλω να ευχαριστήσω τον διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων εργαστηρίου εφαρμοσμένης Γεωφυσικής κ.Γεώργιο Κρητικάκη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγηση που μου παρείχε σε κάθε της βήμα. Τέλος, να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με την οικονομική και ψυχολογική τους βοήθεια με βοήθησαν να δουλέψω σε άνετο περιβάλλον όλα αυτά τα χρόνια.

*"Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σ' αυτό το έγγραφο εκφράζουν
τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες
θέσεις των εξεταστών"*

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	8
1.2 ΣΤΟΧΟΙ.....	8
1.3 ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ.....	9
1.3.1 Ορισμός.....	9
1.3.2 Φυσική σημασία.....	9
1.3.3 Τύπο φασμάτων.....	9
1.3.4 Παράμετροι ελαστικών φασματικών απόκρισης.....	11
1.3.5 Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ 2000).....	12
1.3.5.1 Φάσματα σχεδιασμού ΕΑΚ 2000.....	12
1.3.5.2 Οριζόντιες συνιστώσες.....	12
1.3.5.3 Κατακόρυφη συνιστώσα.....	14
1.3.5.4 Σεισμική επιτάχυνσης εδάφους.....	14
1.3.5.5 Συντελεστής σπουδαιότητας κτιρίων.....	15
1.3.5.6 Συντελεστής συμπεριφοράς q	16
1.3.5.7 Κατάταξη εδαφών.....	16
1.3.5.8 Συντελεστής θεμελίωσης.....	17
1.3.6 Ευροκώδικας (EUROCODE 8).....	18
1.3.6.1 Συνθήκες εδάφους.....	18
1.3.6.2 Προσδιορισμός των τύπων εδάφους.....	18
1.3.6.3 Σεισμική δράση.....	20
1.3.6.4 Φάσμα σχεδιασμού ευροκώδικα 8.....	20
1.3.7 Σύγκριση των δύο Κανονισμών.....	21
1.3.8 Μικροζωνικές μελέτες.....	22
1.3.9 Πρότυπος φασματικός λόγος.....	24
1.3.10 Προσδιορισμός ε.φ.α με προσομίωση.....	24
1.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	26
1.4.1 Η γεωλογική δομή νήσου Κρήτης.....	26
1.4.2 Τεχνολογικές συνθήκες στη θέση τους επιταχυνσιογράφου CHN2 Χανίων.....	27
1.4.3 Τεχνολογικές συνθήκες στη θέση τους επιταχυνσιογράφου PLC1 Παλαιόχωρας Χανίων.....	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	31
2.1.1 Βασικές αρχές.....	31
2.1.2 Μεθοδολογία απόκτησης δεδομένων.....	32
2.1.3 Διατάξεις ηλεκτροδίων.....	32
2.1.3.1 Διάταξη διπόλου-διπόλου.....	32
2.1.3.2 Διάταξη Wenner.....	34
2.1.3.3 Διάταξη Schlumberger.....	34
2.1.3.4 Διάταξη Gradient Electrode Array.....	35
2.1.4 Στάδια επεξεργασίας ηλεκτρικής τομογραφίας.....	36
2.1.4.1 Περιγραφή του προγράμματος επεξεργασίας (Earthimager 2D).....	38
2.2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ.....	43
2.2.1 Βασικές αρχές.....	43
2.2.1.1 Περιορισμοί της μεθόδου.....	44
2.2.2 Μεθοδολογία απόκτησης δεδομένων.....	46
2.2.3 Στάδια επεξεργασίας σεισμικής τομογραφίας.....	46
2.3 ΠΟΛΥΚΑΝΑΛΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ (MASW).....	50
2.3.1 Βασικές αρχές.....	50
2.3.2 Μεθοδολογία απόκτησης δεδομένων.....	51
2.3.3 Αντιστροφή των καμπυλών διασποράς.....	52
2.3.4 Στάδια επεξεργασίας MASW.....	53
2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ REFRACTION-MICROTREMOR (RE-MI).....	55
2.4.1 Βασικές αρχές.....	55
2.4.2 Συλλογή δεδομένων.....	56
2.4.3 Στάδια επεξεργασίας.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: : ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.....	60
3.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	63
3.3 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	65
3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	68
3.4.1 Αποτελέσματα ηλεκτρικής τομογραφίας.....	68
3.4.2 Αποτελέσματα σεισμικής διάθλασης.....	70
3.4.3 Αποτελέσματα MASW και Re-Mi.....	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ-ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	74
4.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ (ΛΟΓΟΣ POISSON, ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ).....	83
4.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ VS30 ΚΑΙ NSTP ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΟΚΩΔΙΚΑ 8.....	88
4.3.1 Προσδιορισμός Vs30.....	88
4.3.2 Προσδιορισμός Nspt.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	93

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στη γεωτεχνική μηχανική εκτός από τις στατικές απαντώνται και δυναμικές φορτίσεις όπως μηχανικές ταλαντώσεις, σεισμικές φορτίσεις, κ.α. Ιδιότητες που σχετίζονται με δυναμικές φορτίσεις είναι η διατμητική ταχύτητα εγκάρσιων κυμάτων (V_s), το μέτρο διάτμησης (G), ο παράγοντας απόσβεσης (D) και ο λόγος Poisson (ν). Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετώνται οι γεωφυσικές τεχνικές ως μέθοδοι διερεύνησης των γεωτεχνικών παραμέτρων του υπεδάφους. Οι γεωτεχνικές δοκιμές παρέχουν με ακρίβεια τις γεωτεχνικές παραμέτρους με το βάθος όμως η διάτρηση γεωτρήσεων και η εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, ασαφής και χρονοβόρα διαδικασία. Οι γεωφυσικές μέθοδοι είναι αποτελεσματικές στη διερεύνηση του υπεδάφους, αλλά τα αποτελέσματά τους δεν μπορούν άμεσα να μεταφραστούν σε μεταβολή των γεωτεχνικών παραμέτρων. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται γεωτεχνικά και τεχνικογεωλογικά στοιχεία, ενώ ταυτόχρονα αναλύονται τα αποτελέσματα γεωφυσικών διασκοπήσεων με σκοπό τη μελέτη του υπεδάφους σε 2 σταθμούς επιταχυνσιογράφων του Ε.Δ.Ε. (Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων) στην Κρήτη και ειδικότερα στα Χανιά και την Παλαιόχωρα Χανίων. Οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία είναι η ηλεκτρική τομογραφία, η σεισμική τομογραφία, Πολυκάναλη Ανάλυση των επιφανειακών Κυμάτων (MASW) και η μέθοδος Refraction –Microtremor (Re-Mi). Το σύνολο των δεδομένων επιτρέπει τον συνδυασμό των μηχανικών παραμέτρων, από εργαστηριακές ή επιτόπου δοκιμές, με τις γεωφυσικές παραμέτρους. Επίσης, αυτά τα δεδομένα επιτρέπουν τη διερεύνηση γεωτεχνικών προβλημάτων καθώς και της απόκρισης των σχηματισμών που δομούν την περιοχή σε ενδεχόμενη δυναμική – σεισμική φόρτιση.

1.2 ΣΤΟΧΟΙ

Στόχος είναι ο προσδιορισμός ταχύτητας διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων στους επιφανειακούς σχηματισμούς και στον υπολογισμό μηχανικών ιδιοτήτων του υπεδάφους όπως λόγος Poisson και μέτρο ελαστικότητας του Young και μέγιστο μέτρο διάτμησης. Τέλος, από την αξιοποίηση των παραπάνω αποτελεσμάτων και με τη βοήθεια γεωλογικών χαρτών, προκύπτει μια εικόνα των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης.

1.3 ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

1.3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Ένα φάσμα απόκρισης απεικονίζει γραφική παράσταση των τιμών της μέγιστης απόκρισης (μετακίνηση, ταχύτητα, επιτάχυνση) ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή με απόσβεση ως συνάρτηση της φυσικής του συχνότητας (ή περιόδου) και του συντελεστή απόσβεσης, όταν διεγείρεται από μία σεισμική εδαφική κίνηση. Τα χαρακτηριστικά της ισχυρής εδαφικής κίνησης συμμετέχουν έμμεσα στο φάσμα απόκρισης. Βασικοί παράμετροι της ισχυρής εδαφικής κίνησης είναι το μέγιστο πλάτος της εδαφικής κίνησης, το συχνотικό περιεχόμενο της κίνησης και η διάρκεια της δόνησης (Πανδή, 2010).

1.3.2 ΦΥΣΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ

- Το φάσμα των απόλυτων μετακινήσεων S_d δίνει απ'ευθείας την μέγιστη μετακίνηση και συνεπώς και την μέγιστη ελαστική δύναμη (για δεδομένη ιδιοσυχνότητα ω και απόσβεση ξ) (Πανδή, 2010).

$$F_{smax} = k * S_d \text{ και } \lim_{\omega \rightarrow 0} S_d(\xi, \omega) = |U_g(t)|_{max} \quad (1.1)$$

Δηλαδή σε μεγάλες περιόδους η φασματική μετακίνηση ισούται με την μέγιστη εδαφική μετακίνηση.

- Το φάσμα απόλυτης επιτάχυνσης S_a (ή και ψευδοεπιτάχυνσης PSA) δίδει την μέγιστη δύναμη αδράνειας της μάζας της κατασκευής, που για συνηθισμένες τιμές απόσβεσης ($\xi \leq 5\%$) ορίζει ουσιαστικά και την ελαστική δύναμη που επιβάλλεται στο σύστημα.

$$S_a \approx PSA = \omega_n * PSV = \omega_n^2 * S_d \quad (1.2)$$

$$F_{s,max} = k * U_{max} = k * S_d = \omega^2 * m * S_a = m * S_a \quad (1.3)$$

Για $T=0$ ($\omega \rightarrow \infty$) ισχύει:

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} PSA(\xi, \omega) = |\ddot{u}_g(t)| \quad (1.4)$$

Δηλαδή όταν η ιδιοπερίοδος του συστήματος είναι σχεδόν μηδενική, η φασματική επιτάχυνση ισούται με την μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους.

- Η φασματική ταχύτητα ορίζει την συνολική (κινητική και δυναμική) ενέργεια που εισάγεται στην κατασκευή ανά μονάδα μάζας:

$$E = \frac{1}{2} * S_u^2 \quad (1.5)$$

1.3.3 ΤΥΠΟΙ ΦΑΣΜΑΤΩΝ

Το περιεχόμενο συχνотήτων μιας κίνησης του εδάφους μπορεί επίσης να περιγραφεί από μία φασματική συνάρτηση πυκνότητας. Η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της στατιστικής ιδιότητας μιας

κίνησης εδάφους και για να υπολογιστεί η στοχαστική απόκριση χρησιμοποιώντας τεχνικές τυχαίας δόνησης (Clough and Penzien, 1975 , Vanmarcke, 1976, Yang, 1986).

Η λειτουργία της φασματικής πυκνότητας είναι χρήσιμη για τον χαρακτηρισμό του σεισμού ως τυχαία διαδικασία. Η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας από μόνη της μπορεί να περιγράψει μία στατική τυχαία διαδικασία. Η πραγματική ισχυρή επιταχυνσιογραφημένη κίνηση, ωστόσο, συχνά δείχνει ότι η ένταση συσσωρεύεται σε μία μέγιστη τιμή στο πρώτο μέρος της κίνησης, και τότε παραμένει σχεδόν σταθερή για ένα χρονικό διάστημα, και τελικά μειώνεται κοντά στο τέλος της κίνησης.

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός μπορεί να βασίζεται στην μέγιστη τιμή της απόκρισης μιας συγκεκριμένης δομής στην κίνηση. Η απόκριση θα εξαρτηθεί από τη μάζα, τη δυσκαμψία, τα χαρακτηριστικά απόσβεσης της δομής και τα χαρακτηριστικά της βασικής κίνησης. Το φάσμα απόκρισης περιγράφει τη μέγιστη απόκριση ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή του συστήματος σε μια συγκεκριμένη κίνηση ως συνάρτηση της φυσικής συχνότητας (ή φυσική περίοδος) και του συντελεστή απόσβεσης του μονοβάθμιου ταλαντωτή. Η απόκριση μπορεί να εκφράζεται σε όρους όπως επιτάχυνση, ταχύτητα ή μετατόπιση. Οι μέγιστες τιμές κάθε μίας από αυτές τις παραμέτρους εξαρτάται μόνο από την φυσική συχνότητα και το λόγο απόσβεσης. Οι μέγιστες τιμές της επιτάχυνσης, της ταχύτητας και της μετατόπισης αναφέρεται ως η φασματική επιτάχυνση S_n , φασματική ταχύτητα S_v και φασματική μετατόπιση S_d (Krammer, 1996).

Τα σχήματα των τυπικών φασμάτων απόκρισης δείχνουν ότι οι τιμές της φασματικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης σχετίζονται με διαφορετικές συχνότητες (ή περίοδο). Σε χαμηλές συχνότητες, η μέση φασματική μετατόπιση είναι σχεδόν σταθερή, σε υψηλές συχνότητες, η μέση φασματική επιτάχυνση είναι αρκετά σταθερή. Εξαιτίας αυτής της συμπεριφοράς, τα φάσματα απόκρισης συχνά χωρίζονται στα εξής τμήματα: στην ελεγχόμενη επιτάχυνση (υψηλής συχνότητας), στην ελεγχόμενη ταχύτητα (ενδιάμεσης συχνότητας) και στην ελεγχόμενη μετατόπιση (χαμηλής συχνότητας).

Τα ελαστικά φάσματα απόκρισης αναφέρονται στη γραμμική συμπεριφορά μετατόπισης δύναμης μιας δομής. Για πολλές πραγματικές δομές, ωστόσο, η ανελαστική συμπεριφορά μπορεί να προκληθεί κατά την διάρκεια σεισμού. Ένα φάσμα ανελαστικής απόκρισης, που αντιστοιχεί σε μια μη γραμμική σχέση μετατόπισης δύναμης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τα αποτελέσματα της ανελαστικής συμπεριφοράς. Ένα ξεχωριστό ανελαστικό φάσμα πρέπει να σχεδιάζεται για να δείξει συνολικά (ελαστική συν πλαστική) μετατόπιση. Με μείωση της επιτάχυνσης και αύξηση της πλαστικότητας έχουμε τη συνολική αύξηση της μετατόπισης. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι τα φάσματα απόκρισης αντιπροσωπεύουν μόνο την μέγιστη απόκριση.

1.3.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Οι παράμετροι που περιγράφουν ένα ελαστικό φάσμα απόκρισης είναι οι εξής (Kramer, 1996):

1. Κυρίαρχη Περίοδος (Predominant Period)

Μια ενιαία παράμετρος που παρέχει μια χρήσιμη αναπαράσταση του περιεχομένου της συχνότητας μίας κίνησης του εδάφους είναι η κυρίαρχη περίοδος (T_p). Η T_p ορίζεται ως η περίοδος της δόνησης που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του φάσματος πλάτους Fourier. Ενώ η T_p παρέχει κάποιες πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο της συχνότητας, είναι εύκολο να δούμε ότι οι κινήσεις με ριζικά διαφορετικά περιεχόμενα συχνότητας μπορεί να έχουν την ίδια κυρίαρχη περίοδο.

2. Εύρος ζώνης (Bandwidth)

Η επικρατούν περίοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εντοπίσουμε την κορυφή του φάσματος πλάτους Fourier, όμως δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με την διασπορά των φασματικών πλατών. Το εύρος ζώνης του φάσματος πλάτους Fourier είναι το φάσμα των συχνοτήτων επί της οποίας υπερβαίνεται κάποιο επίπεδο πλάτους Fourier. Το εύρος ζώνης συνήθως μετράται στο επίπεδο όπου η δύναμη του φάσματος είναι το μισό της μέγιστης τιμής της. Το ακανόνιστο σχήμα των ατομικών φασμάτων πλάτους Fourier συχνά δυσχεραίνει την εκτίμηση του εύρους ζώνης.

3. Κεντρική συχνότητα (Central frequency)

Η φασματική πυκνότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθούν στατιστικές ιδιότητες της κίνησης του εδάφους. Ο καθορισμός της νιοστής φασματικής στιγμής της κίνησης του εδάφους από την κεντρική συχνότητα εκφράζεται με τον εξής τύπο:

$$\Omega = \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_0}} \quad (1.6)$$

Η κεντρική συχνότητα είναι ένα μέτρο της συχνότητας, όπου η ισχύς της φασματικής πυκνότητας συμπυκνώνεται. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της θεωρητικής μέγιστης επιτάχυνσης.

4. Συντελεστής σχήματος (shape factor)

Ο συντελεστής σχήματος (Vanmarcke, 1976) δείχνει την διασπορά της συνάρτησης φασματικής πυκνότητας ως προς την κεντρική συχνότητα.

$$\delta = \sqrt{1 - \frac{\lambda_1^2}{\lambda_0 \cdot \lambda_2}} \quad (1.7)$$

Ο συντελεστής σχήματος κυμαίνεται από 0 έως 1 με υψηλότερες τιμές που αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Τα λ_0 , λ_1 και λ_2 είναι συντελεστές.

5. Παράμετροι Knai-Tajimi

Παρόλο που η φασματική πυκνότητα μπορεί να έχει ακανόνιστο σχήμα, κατά μέσο όρο μια σειράς φασματικής πυκνότητας για παρόμοιες ισχυρές εδαφικές κινήσεις προκύπτει ένα ομαλό χαρακτηριστικό σχήμα. Οι Knai (1957) και Tajimi (1960) χρησιμοποίησαν ένα περιορισμένο αριθμό καταγραφών της ισχυρής δόνησης και πρότειναν το ακόλουθο μοντέλο τριών παραμέτρων για τη φασματική πυκνότητα ισχύος:

$$G(\omega) = G_0 + \frac{1 + [2\xi_g(\frac{\omega}{\omega_g})]^2}{[1 - (\frac{\omega}{\omega_g})^2]^2 + [2\xi_g(\frac{\omega}{\omega_g})]^2} \quad (1.8)$$

Οι παράμετροι G_0 , ξ_g και ω_g καθορίζουν το σχήμα της συνάρτησης.

Η αντίδραση μετατόπισης κατά την κίνηση μονοβάθμιου ταλαντωτή ενός συστήματος με φυσική συχνότητα ω_g και απόσβεση ξ_g , θα πρέπει να περιγράφεται από μια συνάρτηση φασματικής πυκνότητας τύπου Knai-Tajimi. Οι Clough και Penzien (1975) πρότειναν μια διόρθωση στη σχέση της φασματικής πυκνότητας Knai-Tajimi για να αποφευχθεί υπερβολική ταχύτητα και μετατόπιση σε πολύ χαμηλές συχνότητες. Η διορθωμένη συνάρτηση φασματικής πυκνότητας Knai-Tajimi απαιτεί δύο επιπλέον παραμέτρους για να περιγράψει τη φασματική πυκνότητα.

1.3.5 ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΑΚ 2000)

1.3.5.1 ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΑΚ 2000

Τα φάσματα σχεδιασμού περιλαμβάνουν 2 μέρη (ΕΑΚ,2000):

Α) Το σχήμα φάσματος

Β) Την ένταση των σεισμικών διεγέρσεων, η οποία εκτός από την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας, επηρεάζεται και από τις ελαστοπλαστικές και αποσβετικές ιδιότητες της κατασκευής.

1.3.5.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ

Τα φάσματα σχεδιασμού των οριζόντων συνιστωσών (Σχήμα 1.1) του σεισμού καθορίζονται από τις εξής εξισώσεις:

Περιοχή περιόδων

Εξίσωση

$$0 \leq T < T_1: \quad \Phi_d(T) = \gamma_1 * A * [1 + \frac{T}{T_1} (\frac{\eta * \theta * \beta_0}{q} - 1)] \quad (1.9)$$

$$T_1 \leq T \leq T_2: \quad \Phi_d(T) = \gamma_1 * A * \frac{\eta * \theta * \beta_0}{q} \quad (1.10)$$

$$T_2 < T \quad \Phi_d(T) = \gamma_1 * A * \frac{\eta * \theta * \beta_0}{q} (\frac{T_2}{T})^{2/3} \quad (1.11)$$

Όπου,

$A=a \cdot g$: μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους

g : επιτάχυνση της βαρύτητας

γ_1 : συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου

q : συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής

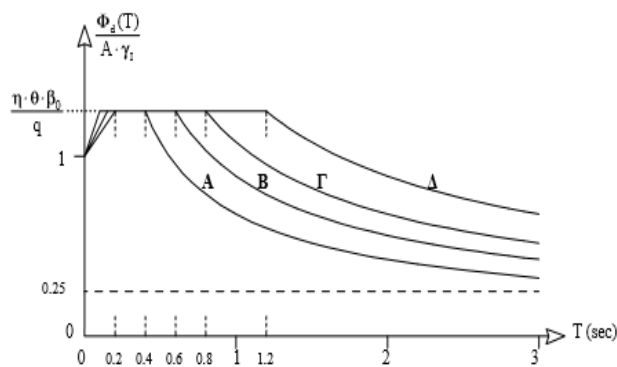
η : διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό απόσβεσης $\neq 5\%$

θ : συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης

T_1 και T_2 : χαρακτηριστικές περιόδους του φάσματος

$\beta_0 = 2,5$: συντελεστής φασματικής ενίσχυσης

A, B, Γ, Δ: κατηγορία εδάφους



Σχήμα 1.1 : Φάσμα σχεδιασμού.

Ο δείκτης q εκφράζει την ικανότητα ενός δομικού συστήματος να απορροφά και διαχέει ενέργεια με πλαστική συμπεριφορά χωρίς να μειώνεται δραστικά η αντοχή του. Παράγοντες που εξαρτάται ο δείκτης συμπεριφοράς είναι η διαθέσιμη πλαστικότητα, η υπερστατικότητα, η υστερητική απόσβεση κ.α. Η τιμή του q ορίζεται για ολόκληρο το κτίριο.

Ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης υπολογίζεται από την σχέση:

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\zeta}} \geq 0,7 \quad (1.12)$$

Όπου οι τιμές της κρίσιμης απόσβεσης $\zeta(\%)$ δίδονται στον πίνακα 1.1 για κάθε είδους κατασκευής.

Πίνακας 1.1: Τιμές ποσοστού απόσβεσης.

Είδος Κατασκευής		ζ%
Μεταλλική:	με συγκολλήσεις	2
	με κοχλιώσεις	4
Σκυρόδεμα:	άοπλο	3
	οπλισμένο	5
	προεντεταμένο	4
Τοιχοποιία:	οπλισμένη	6
	διαζωματική	5
Ξύλινη:	κολλητή	4
	κοχλιωτή	4
	ηλωτή	5

Ο διορθωτικός συντελεστής "η" εκφράζει την αυξομείωση της επιρροής της ιξώδους απόσβεσης στην ελαστική περιοχή της συμπεριφοράς, όταν το ποσοστό της κρίσιμης απόσβεσης ζ είναι διαφορετικό του 5%.

Αν δεν υπολογίζεται η ιδιοπερίοδος T, τότε το $\Phi_d(T)$ θα λαμβάνεται από την εξίσωση (1.10).

Σε κάθε περίπτωση απαιτείται:

$$\frac{\Phi_d}{A \cdot \gamma_i} \geq 0,25 \quad (1.13)$$

γ_i : συντελεστής σπουδαιότητας σε κτίρια με μικτές χρήσεις.

1.3.5.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ

Το φάσμα της κατακόρυφης συνιστώσας καθορίζεται επίσης από τις εξισώσεις (1.9, 1.10, 1.11) (ΕΑΚ,2000) όπου:

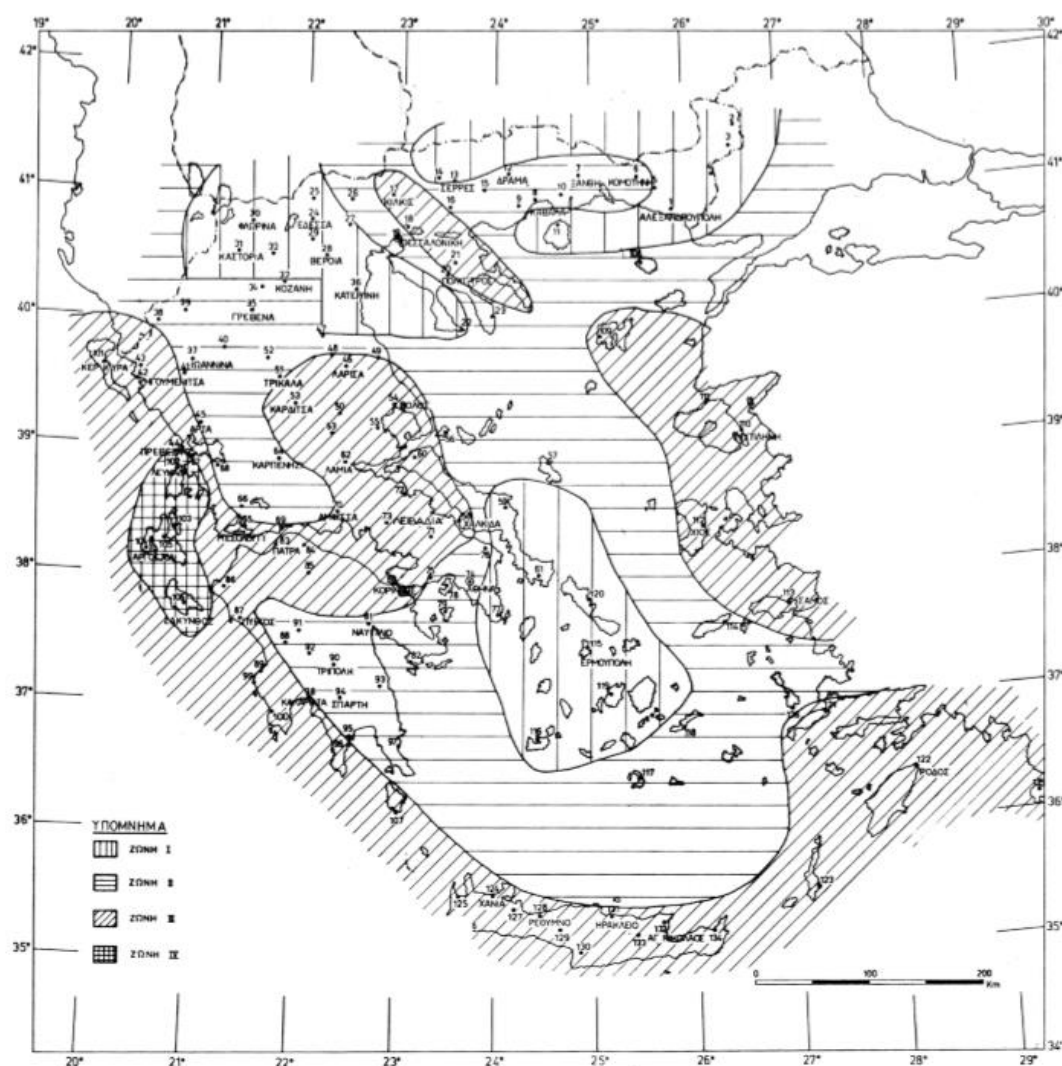
1) Αντί της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης A χρησιμοποιείται η αντίστοιχη κατακόρυφη συνιστώσα $A_v = 0,70 A$.

2) Αντί του συντελεστή συμπεριφοράς q χρησιμοποιείται ο συντελεστής $q_v = 0,50 \cdot q \geq 1,00$ και ,

3) η τιμή του συντελεστή θεμελίωσης θ λαμβάνεται πάντα ίση με 1,00.

1.3.5.4 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για την εφαρμογή του παρόντος Κανονισμού (ΕΑΚ,2000) η Ελλάδα υποδιαιρείται σε τέσσερις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας όπου τα όρια καθορίζονται στον Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδος (σχήμα 1.2). Υπάρχει κατάλογος οικισμών του ελληνικού χώρου και η αντίστοιχη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας όπου σε κάθε Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας αντιστοιχεί μία τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους (πίνακας 1.2).



Σχήμα 1.2: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδος.

Πίνακας 1.2: Σεισμική επιτάχυνση εδάφους

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	III	IV
α	0.12	0.16	0.24	0.36

Η σεισμική επιτάχυνση του εδάφους υπολογίζεται με τον τύπο:

$$A = \alpha * g \quad (1.14)$$

Όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας.

1.3.5.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Τα κτίρια κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας, ανάλογα με τον κίνδυνο που συνεπάγεται για τον άνθρωπο και τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες που μπορεί να έχει ενδεχόμενη καταστροφή τους ή διακοπή της λειτουργίας τους. Σε

κάθε κατηγορία σπουδαιότητας αντιστοιχεί μία τιμή του συντελεστή σπουδαιότητας γ_I σύμφωνα με τον πίνακα 1.3:

Πίνακας 1.3: Συντελεστής σπουδαιότητας Κτιρίων.

Κατηγορία Σπουδαιότητας		γ_I
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, π.χ. αγροτικά οικήματα, υπόστεγα, στάβλοι κλπ.	0.85
Σ2	Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ.	1.00
Σ3	Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου. Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κλπ.	1.15
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία κλπ.).	1.30

1.3.5.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ α

Ο συντελεστής αυτός εισάγει την μείωση των σεισμικών επιταχύνσεων της πραγματικής κατασκευής λόγω μεταλαστικής συμπεριφοράς, σε σχέση με τις επιταχύνσεις που προκύπτουν υπολογιστικά σε απεριόριστα ελαστικό σύστημα.

1.3.5.7 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΕΔΑΦΩΝ

Από άποψη σεισμική επικινδυνότητας τα εδάφη κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες Α,Β,Γ,Δ και Χ (ΕΑΚ,2000) (πίνακας 1.4).

Πίνακας 1.4: Κατηγορίες εδαφών από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ($I_p > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
X	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοιλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Βλπ. και παρ. 5.1[3]). Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεριφοράς ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Δόμηση μόνιμων έργων σε εδάφη κατηγορίας X μπορεί να γίνει μόνο ύστερα από λεπτομερείς έρευνες και μελέτες, εφόσον ληφθούν κατάλληλα μέτρα βελτίωσης των ιδιοτήτων του εδάφους, και αντιμετωπιστούν με ειδικό τρόπο τα συγκεκριμένα προβλήματα που υπάρχουν.

Σχηματισμός πάχους μικρότερου των 5m μπορεί να θεωρείται ότι ανήκει στην αμέσως προηγούμενη κατηγορία εδάφους με εξαίρεση στην κατηγορία X.

1.3.5.8 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Ο συντελεστής θεμελίωσης θ εξαρτάται γενικά από το βάθος και τη δυσκαμψία της θεμελίωσης.

Ανάλογα με τα εδάφη κατηγορίας (πχ A ή B) ο συντελεστής θ λαμβάνει την τιμή 1. Σε άλλα εδάφη κατηγορίας (πχ Γ ή Δ) ο συντελεστής θεμελίωσης θ επιτρέπεται να λαμβάνει τις τιμές που δίνονται στον πίνακα 1.5 (ΕΑΚ,2000) :

Πίνακας 1.5: Συντελεστής Θεμελίωσης θ σε κατηγορίες εδάφους Γ ή Δ.

Προϋποθέσεις		
1α.	Το κτίριο διαθέτει ένα υπόγειο	0.90
1β.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι γενική κοιτόστρωση	
1γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που φέρουν δοκούς σύνδεσης στην κεφαλή	
2α.	Το κτίριο διαθέτει δύο τουλάχιστον υπόγεια	0.80
2β.	Το κτίριο διαθέτει ένα τουλάχιστον υπόγειο και η θεμελίωση είναι γενική κοιτόστρωση	
2γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που συνδέονται με ενιαίο κεφαλόδεσμο (όχι αναγκαστικά ενιαίου πάχους)	
Παρατήρηση: Υπόγειος θεωρείται ένας όροφος όταν έχει περιμετρικά τοιχώματα έτσι, ώστε οι συνδεόμενες πλάκες να είναι πρακτικά αμετάθετες.		

Ο συντελεστής θεμελίωσης εκφράζει την ευνοϊκή επιρροή της δύσκαμπτης θεμελίωσης όχι μόνο στην μείωση της έντασης της σεισμικής δόνησης από την επιφάνεια του εδάφους προς το θεμέλιο, αλλά και στην μείωση των κινδύνων διαφορικών καθιζήσεων λόγω δυναμικής διατμητικής συνίζησης χαλαρών εδαφών, αύξηση αξιοπιστίας κτλ.

1.3.6 ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ (EUROCODE 8)

1.3.6.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Κατάλληλες έρευνες διεξάγονται προκειμένου να προσδιοριστούν οι συνθήκες του εδάφους, σύμφωνα με τους τύπους που θα αναφερθούν παρακάτω.

Ανάλογα με την κατηγορία της δομής και των ιδιαίτερων συνθηκών του έργου, έρευνες εδάφους ή / και γεωλογικές μελέτες θα πρέπει να πραγματοποιηθούν για τον προσδιορισμό της σεισμικής δράσης (Eurocode 8).

1.3.6.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ

Οι τύποι εδάφους Α, Β, Γ, Δ, και Ε, που περιγράφονται από τα στρωματογραφικά προφίλ και τις παραμέτρους που δίδονται στον πίνακα 1.6, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ληφθεί υπόψη η επίδραση των τοπικών συνθηκών έδαφος στην σεισμική δράση (Eurocode 8).

Πίνακας 1.6: Τύποι εδάφους για τον ευρωκώδικα 8.

Τύπος εδάφους	Περιγραφή του στρωματογραφικού προφίλ	Παράμετροι		
		Vs30(m/s)	NSPT(30cm)	Cu(kPa)
A	Πέτρωμα ή γεωλογικός σχηματισμός πάχους το πολύ 5m από το ασθενέστερο υλικό στην επιφάνεια	>800		
B	Πυκνή άμμο,χαλίκι ή άργιλο με αρκετές δεκάδες μέτρα σε πάχος,επίσης εκφράζεται από μία σταδιακή αύξηση μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος	από 360 έως 800	>50	>25
Γ	Πυκνή άμμο,χαλίκι ή σκληρό πέτρωμα από δεκάδες έως εκατοντάδες μέτρα	180 έως 360	15 έως 50	70 έως 250
Δ	Χαλαρά και μεσαία εδάφη με συνεκτικά (με ή χωρίς κάποια μαλακά συνεκτικά στρώματα)	<180	<15	<70
E	Προφίλ εδάφους που αποτελείται από ένα στρώμα επιφάνειας με αλλουβιανές με τιμές Vs του τύπου Γ ή Δ και πάχος που κυμαίνεται από 5m έως 20m όπου βρίσκεται κάτω από το άκαμπτο υλικό με Vs>800m/s			
S1	Μαλακή άργιλος ή ίλος πάχους 10m με υψηλό δείκτη πλαστικότητας (PI>40) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό	<100 (ενδεικτική τιμή)		από 10 έως 20
S2	Ευαίσθητη άργιλος ή οποιοδήποτε άλλο προφίλ εδάφους που δεν περιλαμβάνει τους τύπους A-E ή S1			

Η περιοχή θα πρέπει να ταξινομείται ανάλογα με την τιμή της μέσης ταχύτητας των κύματων διατμητικών, Vs30, εάν αυτό είναι διαθέσιμο, διαφορετικά θα χρησιμοποιηθεί η τιμή του NSPT.

Η μέση ταχύτητα κύματος των διατμητικών κυμάτων V_{s30} υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη έκφραση:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}} \quad (1.15)$$

όπου h_i και v_i υποδηλώνουν το πάχος (σε m) και τη ταχύτητα διατμητικών κυμάτων του i-οστού σχηματισμού ή στρώματος αντίστοιχα, σε ένα σύνολο (N), που υπάρχουν στα 30 μέτρα.

Για χώρους με συνθήκες του εδάφους των τύπων εδάφους S1 και S2, απαιτούντε οι ειδικές μελέτες για τον καθορισμό της σεισμικής δράσης. Για αυτούς τους τύπους, και ιδιαίτερα για την S2, θα πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο της αποτυχίας του εδάφους κάτω από την σεισμική δράση (Eurocode 8).

1.3.6.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

Ζώνες σεισμικότητας

Τα εθνικά εδάφη πρέπει να υποδιαιρούνται μέσω των Εθνικών Αρχών σε σεισμικές ζώνες, ανάλογα με τον κινδύνου περιοχής σε περίπτωση σεισμού. Εξ ορισμού, ο κίνδυνος σε κάθε ζώνη θεωρείται ότι είναι σταθερός.

Η επιτάχυνση του εδάφους αναφοράς, επιλέγεται από τις εθνικές αρχές για κάθε σεισμική ζώνη. Η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού για τον τύπο Α υπολογίζεται με τον τύπο $\gamma_i = \gamma_I * a_{gR}$. Όπου γ_I είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας και a_{gR} είναι η μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους για τον τύπο Α του εδάφους.

Για την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης θα πρέπει κανονικά να υιοθετηθεί ένας συντελεστής συμπεριφοράς q ίσο με 1,5 για όλα τα υλικά και τα δομικά συστήματα.

1.3.6.4 ΦΑΣΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΥΡΟΚΩΔΙΚΑ 8

Η ικανότητα των δομικών συστημάτων να αντισταθούν σε σεισμικές δράσεις σε μη-γραμμική περιοχή γενικά επιτρέπει το σχεδιασμό τους για δυνάμεις μικρότερες από εκείνες που αντιστοιχούν σε μία γραμμική ελαστική απόκριση.

Για να αποφευχθεί ρητή ανελαστική δομική ανάλυση στο σχεδιασμό, η ικανότητα της δομής να διαχέει την ενέργεια, μέσω σε κυρίως όλκιμες συμπεριφορές των στοιχείων και / ή άλλους μηχανισμούς, λαμβάνεται υπόψη και εκτελείται μια ελαστική ανάλυση η οποία βασίζεται σε ένα φάσμα απόκρισης και μειώνεται σε σχέση με το ελαστικό, όπου αποκαλείται "φάσμα σχεδιασμού". Αυτή η μείωση επιτυγχάνεται με την εισαγωγή του συντελεστή συμπεριφοράς q .

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q είναι μια προσέγγιση του λόγου των σεισμικών δυνάμεων (ελαστική με 5% ιξώδη απόσβεση), για τις ελάχιστες σεισμικές δυνάμεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σχεδιασμό - με ένα συμβατικό μοντέλο ελαστικής ανάλυσης - ακόμη εξασφαλίζοντας ικανοποιητική απόκριση της δομής. Οι τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς q , ο οποίος αντιπροσωπεύει επίσης την επίδραση της ιξώδους απόσβεσης όταν αυτή είναι διαφορετική από το 5. Ο παράγοντας q μπορεί να είναι διαφορετικός σε διάφορες οριζόντιες κατευθύνσεις της δομής, όμως η κατάταξη ολκιμότητας πρέπει να είναι η ίδια σε όλες τις κατευθύνσεις.

Για τις οριζόντιες συνιστώσες της σεισμικής δράσης το φάσμα σχεδιασμού, $S_d(T)$, ορίζεται από τις ακόλουθες ενδείξεις (Eurocode 8):

$$0 \leq T \leq T_B: S_d(T) = \alpha_g * S * \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (1.16)$$

$$T_B \leq T \leq T_c: S_d(T) = \alpha_g * S * \frac{2,5}{q} \quad (1.17)$$

$$T_c \leq T \leq T_D: S_d(T) = \alpha_g * S * \frac{2,5}{q} * \frac{T_c}{T} \quad \text{ή} \quad S_d(T) \geq \alpha_g * \beta \quad (1.18)$$

$$T_D \leq T: S_d(T) = \alpha_g * S * \frac{2,5}{q} * \frac{T_c * T_D}{T^2} \quad \text{ή} \quad S_d(T) \geq \alpha_g * \beta \quad (1.19)$$

Όπου,

$S_D(T)$: φάσμα σχεδιασμού

q : συντελεστής συμπεριφοράς

β : μειωμένος παράγοντας για το οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού

α_g : σχεδιασμός του εδάφους για τον τύπο Α

T_B, T_C : όρια της σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

T_D : αξία που καθορίζει την έναρξη της σταθερής απόκρισης της μετατόπισης του φάσματος

S : παράγοντας του εδάφους

T : περίοδος δόνησης ενός γραμμικού συστήματος ενός βαθμού ελευθερίας

Για την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης το φάσμα σχεδιασμού δίνεται από τις εξισώσεις (1.16) και (1.17). Για την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης θα πρέπει κανονικά να υιοθετηθεί ένας συντελεστής συμπεριφοράς q ίσο με 1,5 για όλα τα υλικά και τα δομικά συστήματα.

1.3.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

Η κατάταξη των εδαφών σε κατάλληλες κατηγορίες διαφέρει στους δύο κανονισμούς που εξετάστηκαν (ΕΑΚ και EC8). Στον κανονισμό ΕΑΚ 2000 η κατάταξη των εδαφών γίνεται με βάση την περιγραφή του εδάφους ενώ στον Ευροκώδικα η κατάταξη των εδαφών γίνεται με βάση κάποιες παραμέτρους όπως το V_{s30} , N_{SPT} και το C_u .

Οι εξισώσεις υπολογισμού του συντελεστή απόσβεσης ξ ή όταν το ποσοστό κρίσιμης ιξώδους απόσβεσης είναι $\xi \neq 5\%$ διαφέρουν στους δύο κανονισμούς.

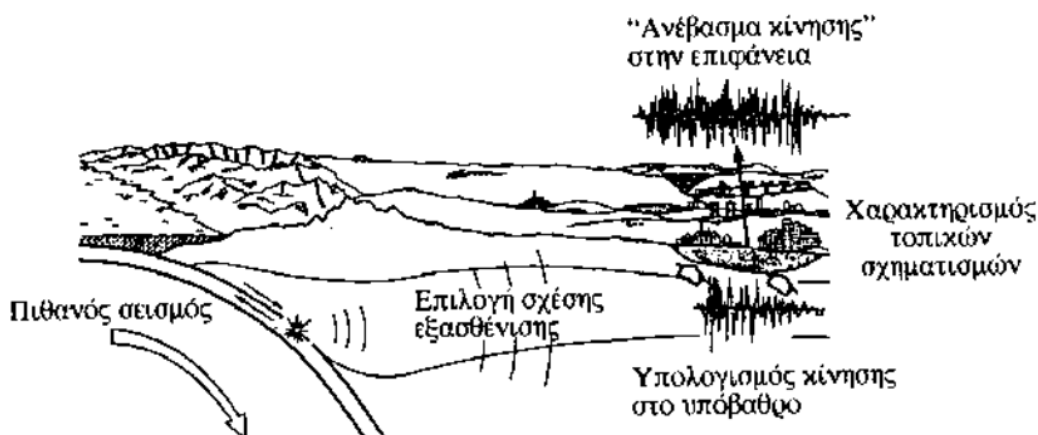
Τα φάσματα σχεδιασμού του ΕΑΚ για όλες τις εδαφικές κατηγορίες αξιολογούνται ως αρκετά συντηρητικά, τόσο ως προς τις τιμές της επιτάχυνσης, όσο και ως προς τις γωνιακές περιόδους (τιμές περιόδων που καθορίζουν τον οριζόντιο κλάδο του φάσματος).

Τα φάσματα σχεδιασμού των οριζόντιων συνιστωσών του σεισμού καθορίζονται από διαφορετικές συνιστώσες στον κάθε κανονισμό. Επίσης για την κατακόρυφη συνιστώσα στον κανονισμό ΕΑΚ 2000 η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς υπολογίζεται $q_v = 0,50 * q \geq 1,00$. Στον ευροκώδικα η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού για τον τύπο Α υπολογίζεται $\gamma_{i=\gamma_I} * a_{gR}$ ενώ στον ΕΑΚ 2000 η σεισμική εδαφική επιτάχυνση υπολογίζεται $A = \alpha * g$. Όπου γ_I είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας και a_{gR} είναι η μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους για τον τύπο Α του εδάφους.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς εισάγει την μείωση των σεισμικών επιταχύνσεων της πραγματικής κατασκευής στο κανονισμό ΕΑΚ 2000 ενώ στον ευροκώδικα ο συντελεστής συμπεριφοράς q είναι μια προσέγγιση του λόγου των σεισμικών δυνάμεων για τις ελάχιστες σεισμικές δυνάμεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σχεδιασμό εξασφαλίζοντας ικανοποιητική απόκριση της δομής.

1.3.8 ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Με τον όρο μικροζωνική μελέτη εννοούμε την εκτίμηση των αναμενόμενων εδαφικών κινήσεων σε μία περιοχή λαμβάνοντας υπ' όψη το σεισμικό περιβάλλον και δίνοντας έμφαση στην επίδραση των τοπικών γεωλογικών και εδαφοτεχνικών συνθηκών. Οι μικροζωνικές μελέτες αναπτύχθηκαν όταν έγινε κατανοητή η σημαντική επίδραση των εδαφικών σχηματισμών στην εδαφική κίνηση, αλλά και το γεγονός της απότομης αλλαγής αυτής της επίδρασης σε μικρή απόσταση (Σώκος, 2014). Στο σχήμα 1.3 φαίνονται τα κύρια στάδια μιας μικροζωνικής μελέτης.

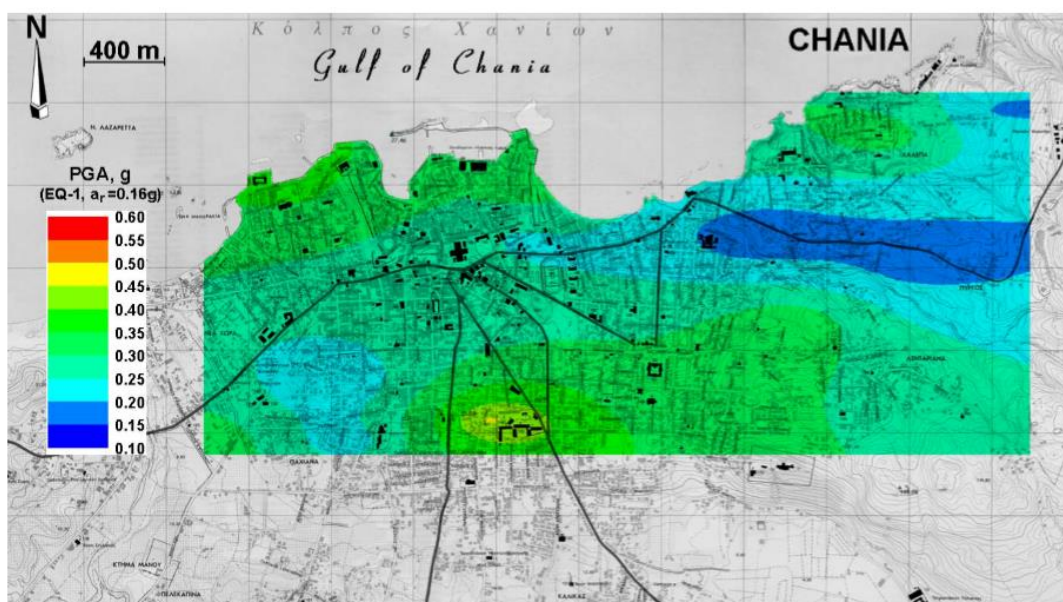


Σχήμα 1.3: Κύρια στάδια μιας μικροζωνικής μελέτης (Σώκος, 2014).

Μια μικροζωνική μελέτη έχει σαν στόχο τον προσδιορισμό του σεισμικού κινδύνου μιας περιοχής ή ενός οικισμού λαμβάνοντας υπόψη τόσο το σεισμικό καθεστώς όσο και τις τοπικές γεωλογικές και εδαφοτεχνικές συνθήκες. Τελικό αποτέλεσμα μιας μικροζωνικής μελέτης θα πρέπει να είναι η αποτελεσματικότερη και με το μικρότερο δυνατό κόστος αντισεισμική προστασία μιας περιοχής. Περιλαμβάνει ένα σύνολο ερευνητικών εργασιών που συνδυάζει τις ειδικότητες του μηχανικού του γεωλόγου του γεωφυσικού του σεισμολόγου κ.α. Μια ολοκληρωμένη και πολυπαραμετρική μικροζωνική θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις ερευνητικές εργασίες, που είναι οι εξής (Βούλγαρης, 2006):

1. Η μεταβολή της αναμενόμενης σεισμικής έντασης σε σχέση με αυτή του βραχώδους υποβάθρου ή σε σχέση με αυτή που προβλέπεται από τον Αντισεισμικό Κανονισμό.
2. Τις αριθμητικές τιμές των συντελεστών σχεδιασμού των κατασκευών.
3. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της αναμενόμενης ισχυρής εδαφικής κίνησης (μέγιστες τιμές εδαφικών παραμέτρων, συχνотικό περιεχόμενο).
4. Προτάσεις για το είδος των κατασκευών.
5. Το ύψος των κτιρίων κατά ζώνες.
6. Προτάσεις για χρήσης γης και την διάταξη των γραμμών ζωής.

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 1.4) απεικονίζεται PGA στην περιοχή των Χανίων.



Σχήμα 1.4: Μικροζωνική μελέτη στα Χανιά (PGA) (Seismocare, 2000).

Η χρήση πολυκάναλης ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (MASW) αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τον προσδιορισμό του χάρτη κατανομής διατμητικών κυμάτων ταχύτητας Vs και της τοπικής γεωλογίας. Η μέθοδος MASW έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα εργαλείο για την ανίχνευση σηράγγων, την χαρτογράφηση της επιφάνειας εδάφους, τον εντοπισμό υπόγειων ορυχείων κτλ. Ο χαρακτηρισμός στον υπολογισμό σεισμικών κινδύνων γίνεται με βάση τις τιμές της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων κοντά στην επιφάνεια, όπως την ταχύτητα Vs30. Ο Διεθνής Κώδικας Κτιρίων (IBC) υπολογίζει σαν παράμετρο στο δομικό σχεδιασμό την ταχύτητα Vs30. Διεθνής Κώδικας Κτιρίων είναι κώδικας που περιέχει όλους τους κανονισμούς και τις προδιαγραφές κατά τις οποίες πρέπει να τηρούντε κατά την κατασκευή κτιρίων. Επομένως, η μεθοδολογία που επιλέγεται σε αυτή τη μελέτη, η οποία βασίζεται στην ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (Vs) κυμαίνεται με βάση αυτές τις εκτιμήσεις. Η μέθοδος MASW έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς κατά την τελευταία δεκαετία για να προσδιοριστεί κοντά στην επιφάνεια της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων (Vs) ένα προφίλ για εφαρμογές μηχανικής. Μία ακόμη λειτουργία της MASW είναι να διαφοροποιεί τις ξεχωριστές πηγές θορύβου (δηλαδή, άμεση, διαθλάται και αντανακλάται P- και S- κύματα). Ένα από τα κύρια στάδια της επεξεργασίας δεδομένων MASW είναι να προσδιορίσουν συνεκτικές αφίξεις και στη συνέχεια να αφαιρεθούν από τα στοιχεία όσες είναι απαραίτητο. Στη συνέχεια, οι ιδιότητες διασποράς των επιφανειακών κυμάτων μπορούν να αναλυθούν, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για γεωτεχνικές εφαρμογές.

1.3.9 ΠΡΟΤΥΠΟΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ

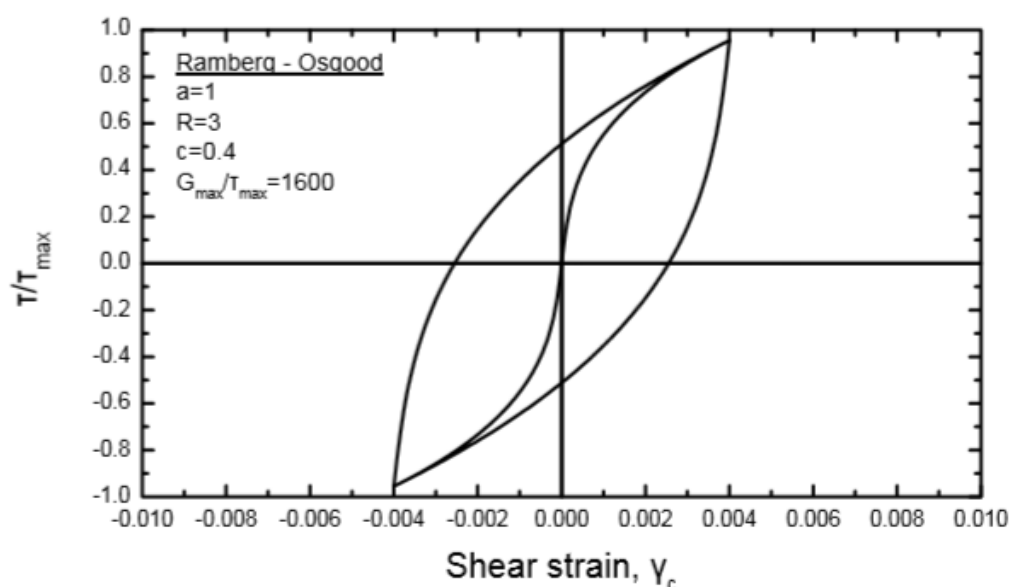
Η πιο δημοφιλής και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον χαρακτηρισμό της εδαφικής ενίσχυσης είναι ο Πρότυπος Λόγος Φασμάτων Fourier (Standard Spectral Ratio – SSP, Borchardt, 1970). Ορίζεται ως ο λόγος του φάσματος πλάτους Fourier μιας καταγραφής σε έδαφος προς το αντίστοιχο μιας καταγραφής κοντινού βράχου από τον ίδιο σεισμό και το ίδιο στοιχείο της κίνησης. Οι πληροφορίες που αφορούν στην πηγή είναι ίδιες για αυτές τις δύο καταγραφές και όταν οι δύο θέσεις είναι κοντά η μία στην άλλη, η επίδραση της διαδρομής μπορεί να θεωρηθεί ίδια. Επομένως ο λόγος των φασμάτων πλάτους Fourier εκφράζει μόνο την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην συγκεκριμένη θέση. Θεωρητικά, αυτή η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε δεδομένα από πυκνά τοπικά δίκτυα. Οι βασικές προϋποθέσεις για της εφαρμογή αυτής της τεχνικής στην περίπτωση σταθμού αναφοράς στην επιφάνεια είναι: α) η ύπαρξη ταυτόχρονων καταγραφών σε εδαφική θέση και στο σταθμό αναφοράς, β) η θέση αναφοράς πρέπει να μην επηρεάζεται από κανενός είδους ενισχύσεις (ιζήματα και τοπογραφία) και γ) η απόσταση ανάμεσα στην εδαφική θέση και τη θέση αναφοράς πρέπει να είναι μικρή (μικρότερη από την επικεντρική απόσταση) προκειμένου να μπορεί να θεωρηθεί ότι η επίδραση της διαδρομής του κύματος είναι ίδια για τις δύο θέσεις (Πιτιλάκης, 2010).

1.3.10 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ Ε.Φ.Α ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ

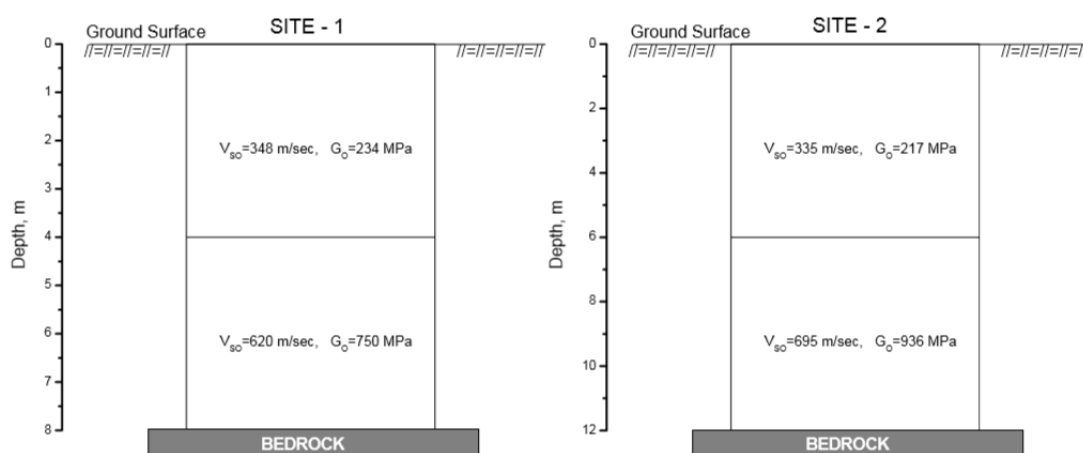
Ο αποτελεσματικός Αντισεισμικός Σχεδιασμός προϋποθέτει την περιγραφή αναμενόμενων αποτελεσμάτων ενός σεισμού στην θέση ενδιαφέροντος δηλαδή στην αντικειμενική και ποσοτική περιγραφή της ισχυρής εδαφικής κίνησης στη θέση αυτή. Θεωρητικά για την περιγραφή αυτή απαιτούνται 3 συνιστώσες μεταφοράς και 3 περιστροφές. Με την αποδοχή ότι η σοβαρότητα των βλαβών που οφείλονται στην περιστροφή είναι αμελητέα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι 3 συνιστώσες μεταφοράς αρκούν για να περιγραφεί η ισχυρή εδαφική κίνηση κατά την διάρκεια ενός σεισμού. Ο στόχος αυτός είναι δυνατόν να επιτευχθεί με τη χρήση ενός αισθητήρα τριών συνιστωσών και ενός καταγραφικού. Οι επιταχυνσιογράφοι αντιπροσωπεύουν τον καλύτερο συνδυασμό αισθητήρα – καταγραφικού δεδομένου ότι καταγράφοντας την χρονική εξέλιξη της επιτάχυνσης κατά την διάρκεια ενός σεισμού προσφέρουν την δυνατότητα δευτερογενούς υπολογισμού των αντίστοιχων χρονικών εξελίξεων της ταχύτητας και της μετάθεσης με τη βοήθεια της μαθηματικής ολοκλήρωσης. Η διαθεσιμότητα ενός ικανού αριθμού επιταχυνσιογραφημάτων (χρονοσειρών επιτάχυνσης) από αντιπροσωπευτικούς σεισμούς με ευρύ φάσμα μεγεθών και από διαφορετικές εστιακές αποστάσεις για μία συγκεκριμένη θέση, θα αποτελούσε την ιδανική περίπτωση για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας στη θέση αυτή και θα οδηγούσε στον αποτελεσματικότερο αντισεισμικό σχεδιασμό με τα μικρότερα ποσοστά αβεβαιοτήτων. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από την ανάλυση των επιταχυνσιογραφημάτων επιτρέπουν και τον υπολογισμό των σχέσεων απόσβεσης που χρησιμοποιούνται κατά την εκτίμηση της Σεισμικής Επικινδυνότητας, καθώς και διερεύνηση άλλων επιδράσεων στην ενίσχυση ή απομείωση των ισχυρών εδαφικών

κινήσεων, όπως για παράδειγμα οι τοπικές εδαφικές συνθήκες και ο χαρακτήρας των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών (Βούλγαρης, 2006).

Είναι γνωστό ότι στη σεισμική απόκριση του εδάφους αναλύεται η υπόθεση της ισοδύναμης-γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους που μπορεί να οδηγήσει σε κινήσεις επιφανείας εξωπραγματικές λόγω φαινομένων συντονισμού. Στο παρακάτω σχήμα 1.5 παρουσιάζεται μια μη γραμμική ανελαστική συμπεριφορά του εδάφους με προσομοίωση 1-D για τα Χανιά (Kramer, 1996). Στο σχήμα 1.6 απεικονίζεται ενδεικτικά η στρωματογραφία του εδάφους σε δύο θέσεις της πόλης των Χανίων και οι αντίστοιχες τιμές V_{so} και G_o για την σεισμική ανάλυση.



Σχήμα 1.5: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης, που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση απόκρισης για τις συνθήκες του εδάφους της πόλης των Χανίων (Seismocare, 2000).



Σχήμα 1.6: Στρωματογραφία του εδάφους της πόλης Χανίων και οι αντίστοιχες τιμές V_{so} και G_o που χρησιμοποιούνται στη σεισμική ανάλυση (Seismocare, 2000).

1.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

1.4.1 Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

Η γεωλογία της Κρήτης χαρακτηρίζεται από τα αλληπάλληλα επωθημένα τεκτονικά καλύμματα των Ελληνίδων ζωνών τα οποία συνωθούνται στον μικρό σχετικά γεωγραφικό χώρο του νησιού, με γενικά κατεύθυνση από Βορρά προς το Νότο (Μουντράκης, 1985).

Η Κρήτη συγκροτείται από ένα αυτόχθονο σύστημα, που είναι η ενότητα Ταλέα Όρη των πλακωδών ασβεστολίθων, πάνω στο οποίο τοποθετούνται με λεπιοειδή τεκτονική διάταξη οι σειρές των πετρωμάτων των άλλων ζωνών και ενοτήτων.

Η ενότητα Ταλέα Όρη-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι περιλαμβάνει κυρίως τυπικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους με πυριτικές ενστρώσεις και κερατολιθικούς κονδύλους, αλλά επίσης και μαζώδεις ασβεστόλιθους, δολομίτες, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και φυλλιτικές-χαλαζιτικές παρεμβολές. Η σειρά αυτή είναι ημιμεταμορφωμένη και ανήκει πιθανότατα στην Αδιατικοϊόνιο ζώνη. Αποτελεί το σχετικά αυτόχθονο υπόβαθρο της Κρήτης και αποκαλύπτεται σε πολλές περιοχές του νησιού υπο μορφή πολλαπλού τεκτονικού παραθύρου κάτω από τα αλληπάλληλα επωθημένα καλύμματα. Μεγάλες μάζες των ορεινών όγκων των Λευκών Ορέων και της Ίδης δομούνται από την σειρά των πλακωδών ασβεστολίθων.

Πάνω στην σειρά των πλακωδών ασβεστολίθων βρίσκεται μια σειρά κροκαλοπαγών-λατυποπαγών ασβεστολίθων που ονομάζεται σειρά Τρυπαλίου. Η ηλικία της θεωρήθηκε Άνω Τριαδική-Κάτω Ιουρασική αν και δεν αποκλείεται και πολύ νεότερη ηλικία. Η σειρά Τρυπαλίου θεωρείται από άλλους ως ο υποκείμενος ορίζοντας την αμέσως ανώτερης φυλλιτικής σειράς, ενώ από άλλους επικλυσιογενή σειρά πάνω στους πλακώδεις ασβεστόλιθους και επομένως αποτελεί λιθοφασική πλευρική διαφοροποίηση της ίδιας της ενότητας Ταλέα Όρη-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι.

Επωθημένη πάνω στην ενότητα Ταλέα Όρη και στην σειρά Τρυπαλίου βρίσκεται μια φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά ηλικίας Περμίου-Τριαδικού, που αποτελείται από φυλλίτες, χαλαζίτες, μετα-κροκαλοπαγή, μετα-ψαμμίτες, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μετα-βασίτες μετα-ανδεσίτες. Άλλοι θεωρούν την γεωτεκτονική της θέση ως απόβαθρο της Γαβρόβου-Τριπόλεως και άλλοι ανεξάρτητη μονάδα προερχόμενη με επώθηση από πιο εσωτερικά (Μιχαλάκης, 2008).

Πάνω στην φυλλιτική σειρά τοποθετείται η ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως με τους γνωστούς νηριτικούς ασβεστολίθους και σε ανώτερη τεκτονική θέση βρίσκεται επωθημένο το τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Πίνδου.

Εκτός από τα παραπάνω τεκτονικά καλύμματα των εξωτερικών Ελληνίδων στν χώρο της Κρήτης βρίσκονται σε ακόμη ανώτερη τεκτονική θέση και αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των εσωτερικών ζωνών. Τέτοια είναι η ενότητα Άρβης με οφιολιθικά πετρώματα καθώς και άλλες διάσπαρτες αφιολιθικές εμφανίσεις που θεωρούνται ότι

έχουν επωθεί από τον χώρο της Υποπελογικής, όπως επίσης και κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες της ενότητας Αστερούσια) με προέλευση την Πελαγονική.

Τέλος, πάνω σε αυτούς τους αλπικούς σχηματισμούς επίκεινται σε στρωματογραφική ασυμφωνία ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς, τα οποία έχουν μεγάλο πάχος και εξάπλωση στις παραλιακές περιοχές της Κρήτης.

1.4.2 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στη θέση του επιταχυνσιογράφου CHN2 Χανίων

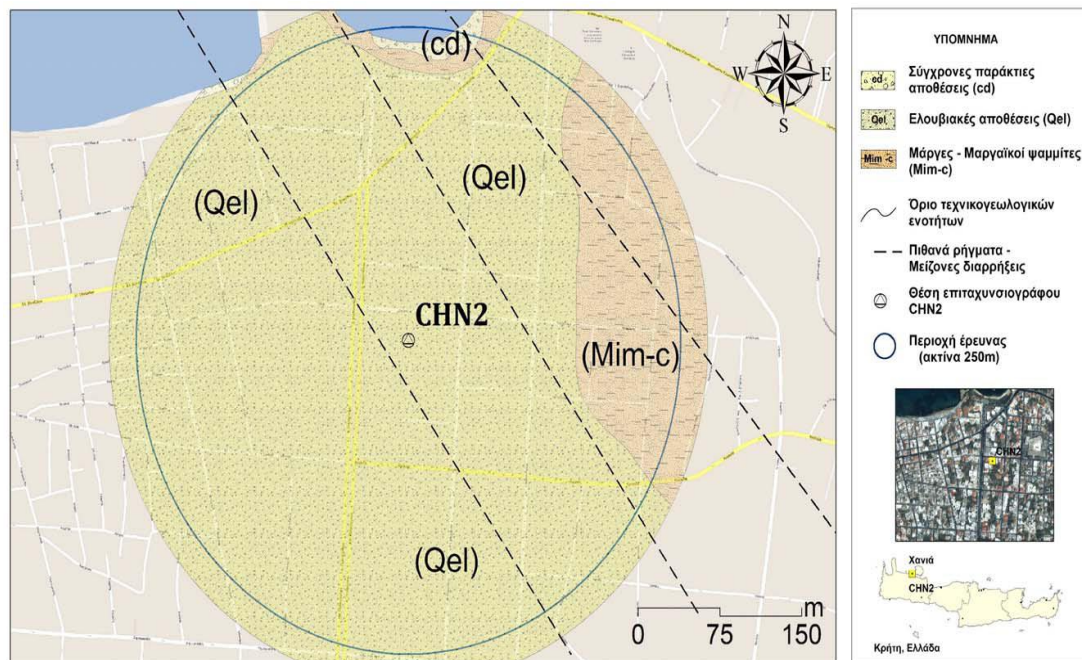
Ο συγκεκριμένος σταθμός βρίσκεται σε μονώροφη λιθόκτιστη κατασκευή με κεραμοσκεπή στον προαύλιο χώρο του κτιρίου της Διεύθυνσης Δημόσιας Υγείας της Περιφέρειας Χανίων. Το υπόβαθρο της περιοχής όπου εδράζεται ο σταθμός CHN2 αποτελείται από μάργες – μαργαϊκούς ψαμμίτες. Υπερκείμενα σε αυτούς τους σχηματισμούς εντοπίζονται ελουβιακές αποθέσεις το πάχος των οποίων αυξάνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Ωστόσο, το κτίριο εντός του οποίου είναι εγκατεστημένος ο επιταχυνσιογράφος πιθανώς είναι θεμελιωμένο απευθείας στους υποκείμενους μαργαϊκούς ψαμμίτες. Το σύνολο των σχηματισμών διατρέχονται από ρήγματα ΒΔ-ΝΑ/κής διεύθυνσης. Οι σχηματισμοί που εντοπίστηκαν κατά την επιφανειακή χαρτογράφηση στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού παρουσιάζονται στο σχήμα 1.7 (από τους νεότερους προς τους παλαιότερους) αναλυτικά ως εξής:

Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις (cd). Αποτελούνται από κροκάλες, κυρίως ασβεστολιθικής, ψαμμιτομαργαϊκής ή και ασβεστομαργαϊκής σύστασης, καθώς επίσης και άμμους. Χαλαρά ασύνδετα υλικά, με πτωχή διαβάθμιση, υψηλό πορώδες, μηδενική συνοχή και υψηλή τιμή συντελεστή υδροπερατότητας. Αναπτύσσονται επί του Μειοκαινικού υποβάθρου, κατά μήκος του αιγιαλού.

Ελουβιακές αποθέσεις (Qel). Ερυθρά έως κιτρινέρυθρα, χαλαρά έως ημισυνεκτικά αργιλοαμμώδη εδαφικά υλικά με χάλικες και λατύπες κυρίως ψαμμιτομαργαϊκής σύστασης. Πρόκειται για τον ελουβιακό μανδύα των υποκείμενων μαργαϊκών ψαμμιτών. Το πάχος τους αυξάνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Πιο συγκεκριμένα, επί της συμβολής των οδών Ι. Καποδιστρίου και Δραγούμη, στη θέση του παλαιού Νοσοκομείου, το πάχος τους δεν υπερβαίνει το 0.5m, ενώ δυτικότερα, επί της συμβολής των οδών Βίκτωρος Ουγκό και Γκερόλα, εντός εκσκαφής θεμελίωσης φαίνεται να συνεχίζουν έως το βάθος των 3m. Στη θέση του επιταχυνσιογράφου δεν αναμένεται να υπερβαίνουν το πάχος των 1 – 1,5m. Μάλιστα, πιθανώς το κτίριο εντός του οποίου είναι εγκατεστημένος ο επιταχυνσιογράφος ΝΑ/κα είναι θεμελιωμένο απευθείας στους υποκείμενους μαργαϊκούς ψαμμίτες.

1. **Μάργες - Μαργαϊκοί ψαμμίτες (Mim-c).** Απολιθωματοφόρος σχηματισμός Μειοκαινικής ηλικίας αποτελούμενος από κιτρινέρυθρους μαργαϊκούς ψαμμίτες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και λευκοκίτρινες μάργες. Εντός των στενών ορίων της περιοχής μελέτης, τόσο σε εκσκαφές όσο και σε επιφανειακές εμφανίσεις, εντοπίστηκαν μόνο οι ανώτερα ευρισκόμενοι

ορίζοντες των μαργαϊκών ψαμμιτών, οι οποίοι υπόκεινται του ελουβιακού μανδύα. Οι υπόλοιποι ορίζοντες γίνονται διακριτοί στα φυσικά πρανή του παρακείμενου ρέματος και της παραλιακής ζώνης. Ο ενδιάμεσος ορίζοντας των μαργαϊκών ασβεστολίθων δεν εντοπίζεται στα πρανή της παραλίας. Ο μαργαϊκός ψαμμίτης περιέχει χάλικες ασβεστομαργαϊκής ή και μαργαϊκής σύστασης. Γενικά, αποτελούν μαλακό βραχώδη σχηματισμό με ποικίλη γεωμηχανική συμπεριφορά λόγω των διαφορετικής φυσικής κατάστασης και σύστασης των εμπλεκόμενων φάσεων. Το ορατό πάχος του σχηματισμού στις φυσικές τομές κυμαίνεται από 10 έως 30m (Λουπασάκης & συνεργάτες, 2014).



Σχήμα 1.7: Τεχνικογεωλογικός χάρτης στη θέση του επιταχυνσιογράφου CHN2 Χανιών.

1.4.3 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στη θέση του επιταχυνσιογράφου PLC1 Παλαιοχώρας Χανίων

Στην πόλη της Παλαιοχώρας είναι εγκατεστημένος ο επιταχυνσιογράφος PLC1 στο κτίριο του ΚΕΠ (Παλαιό Δημαρχείο). Σύμφωνα με τα δεδομένα της επιφανειακής τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης, το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από σχιστοκερατόλιθους και ασβεστόλιθους, του Ιουρασικού – Κρητιδικού, στους οποίους επικάθονται ασύμφωνα, μαργαϊκά λατυποκροκαλοπαγή και οι υπερκείμενες αυτών, αλλουβιακές αποθέσεις. Το κτίριο του ΚΕΠ είναι θεμελιωμένο επί των αλλουβιακών αποθέσεων, το πάχος των οποίων εκτιμάται ότι φτάνει τις λίγες δεκάδες μέτρων. Οι σχηματισμοί που εντοπίστηκαν κατά την επιφανειακή χαρτογράφηση στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού παρουσιάζονται στο σχήμα 1.8 (από τους νεότερους προς τους παλαιότερους) αναλυτικά ως εξής:

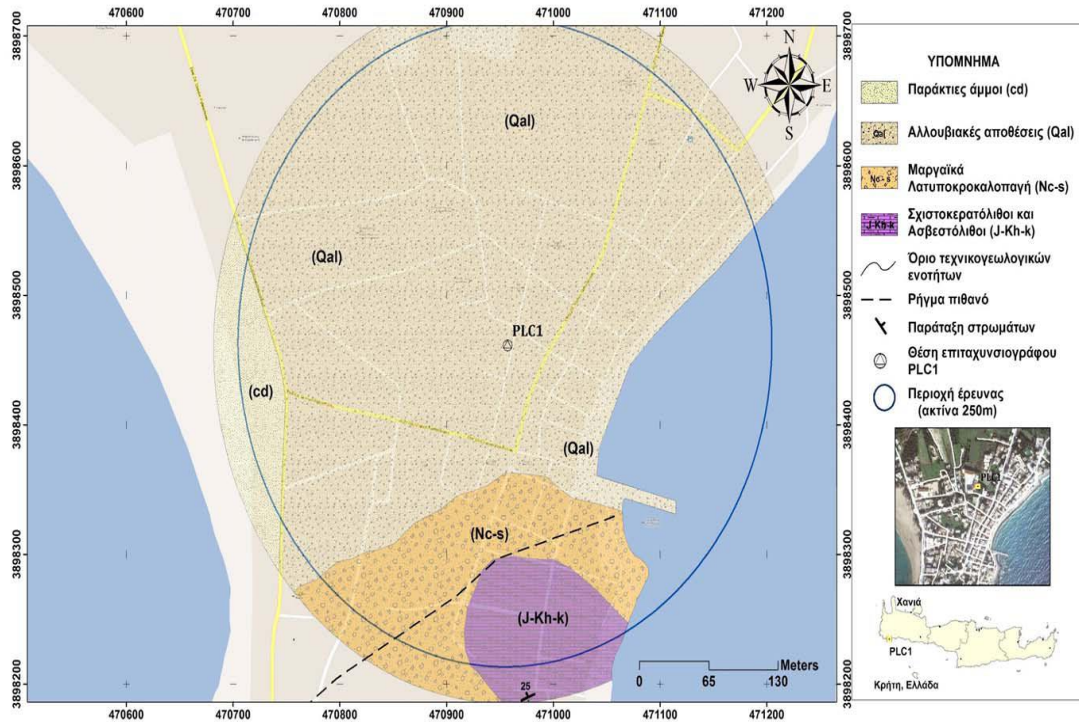
Παράκτιες άμμοι (cd). Άμμοι, λεπτόκοκκοι έως μεσόκοκκοι με επικράτηση των λεπτόκοκκων, που με σχετικά μικρό πάχος καλύπτουν την παραλιακή ζώνη στην περιοχή μελέτης με εύρος 40-50 μέτρων. Χαλαρός σχηματισμός, πτωχά διαβαθμισμένος, με υψηλό πορώδες, μηδενική σχεδόν συνοχή και υψηλή τιμή συντελεστή υδροπερατότητας.

Αλλουβιακές αποθέσεις (Qal). Ερυθρές έως κιτρινέρυθρες, χαλαρές έως ημισυνεκτικές άμμοι και άργιλοι με κατά θέσεις αυξημένη παρουσία λατυπών και κροκάλων, κυρίως στις κοίτες των χειμάρρων. Πρόκειται για σχηματισμό μικτών φάσεων, συνήθως χαλαρό, που προέρχεται από την αποσάθρωση των διαφόρων οριζόντων των πλειστοκαινικών αποθέσεων (λατυποκροκαλοπαγών, μαργαϊκών ή και ψαμμιτικών), που δομούν τις πέριξ της Παλαιοχώρας λοφοειδείς εξάρσεις. Το πάχος τους στην ευρύτερη περιοχή φθάνει τα μερικές δεκάδες μέτρα.

Μαργαϊκά Λατυποκροκαλοπαγή (Nc-s). Πολύμεικτα λατυποκροκαλοπαγή με αργιλομαργαϊκό συγκολλητικό υλικό, του Νεογενούς, που επικάθονται ασύμφωνα επί των υποκείμενων σχιστολίθων και ασβεστολίθων. Ο σχηματισμός αυτός καταλαμβάνει τα βόρεια πρηνή και την κορυφή του λόφου Φορτέτσα. Πρόκειται για συνεκτικά έως πολύ συνεκτικά τεφρά λατυποκροκαλοπαγή τα οποία σε ορισμένες θέσεις εμφανίζονται χαλαρά λόγω της επιφανειακής αποσάθρωσης ή της ελλιπούς διαγένεσης. Τα αδρομερή στοιχεία τους είναι από χάλικες και κροκάλες μερικών εκατοστών έως και μικροί ογκόλιθοι, στην πλεονότητά τους ασβεστολιθικής σύστασης. Στο σχηματισμό αυτό συμμετέχουν επίσης με τη μορφή ενστρώσεων ανοιχτότεφροι μαργαϊκοί, ψαμμιτικοί και ψαμμιτοψηφιδοπαγείς ορίζοντες, πάχους 20 – 40cm, που αποκαλύπτονται στα βόρεια πρηνή του λόφου της Φορτέτσα, σε εναλλαγές με τα λατυποκροκαλοπαγή. Το μέγιστο ορατό πάχος του σχηματισμού εντός των ορίων της στενής περιοχής έρευνας δεν φαίνεται να υπερβαίνει τα 20m.

Σχιστοκερατόλιθοι και Ασβεστόλιθοι (J-Kh-k). Πρόκειται για εναλλαγές ερυθρών έως βυσσινέρυθρων κερατόλιθων πάχους 7-10cm, σε εναλλαγές με βυσσινέρυθρους σχιστολίθους, πάχους 3-5cm. Στα ΒΑ/κά πρηνή της Φορτέτζας στο σχηματισμό συμμετέχουν και λεπτοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι με

κονδύλους κερατολίθων τεφρού χρώματος, με τη μορφή πάγκων πάχους έως και 3m. Ο σχηματισμός αυτός του Ιουρασικού – Κρητιδικού με γενική κλίση προς τα ΒΔ/κά, εμφανίζεται στα ανατολικά και νότια πρηνή του λόφου, κάτω από το κάλυμμα των λατυποκροκαλοπαγών. Στις θέσεις που επικρατούν οι σχιστοκερατόλιθοι τα πρηνή εμφανίζονται με ηπιότερες κλίσεις λόγω της αποσάθρωσής τους. Το αντίθετο παρατηρείται στα τμήματα των πρηνών που καταλαμβάνονται από τους ασβεστόλιθους και τα οποία εμφανίζουν ιδιαίτερα απότομες κλίσεις. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού είναι αρκετές δεκάδες μέτρα (Λουπασάκης & συνεργάτες, 2014).



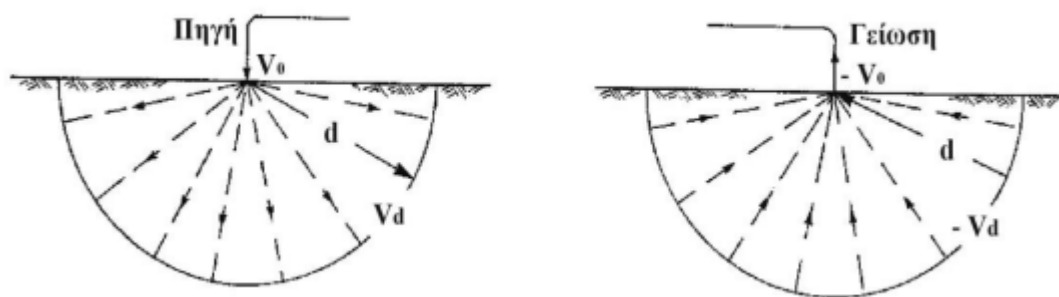
Σχήμα 1.8: Τεχνικογεωλογικός χάρτης στη θέση του επιταχυνσιογράφου PLC1 Παλαιόχωρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

2.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Η κατευθυνόμενη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων ονομάζεται ηλεκτρικό ρεύμα. 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 ηλεκτρονίων. Αν το έδαφος συνδεθεί με ένα αρνητικό και ένα θετικό πόλο μιας μπαταρίας, αν δηλαδή εφαρμοστεί διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, παρατηρείται στο υπέδαφος ρεύμα με φορά από το θετικό προς το αρνητικό πόλο.



Σχήμα 2.1: Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομοιογενή και ισότροπη γή στην περίπτωση που δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων (Γκανιάτσος 2000, Σούρλας 2000)

Η ηλεκτρική τομογραφία συγγαταλέγεται στη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης η οποία βασίζεται στο νόμο του Ohm:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

Ως αντίσταση R ενός αγωγού ορίζεται ο λόγος διαφοράς δυναμικού ΔV που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού αυτού, προς την ένταση I του ρεύματος που τον διαρρέει. Η αντίσταση δίνεται σε Ω όταν το ΔV δίνεται σε Volt και το I σε Ampere.

Για ομογενή αγωγό ισχύει η σχέση:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

ρ : ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένος ο αγωγός

L : το μήκος του αγωγού

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 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 την βοήθεια των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης καθορίζονται οι ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων που αποτελούν τα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γής. 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 (Σαγκιώτη, 2010).

2.1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η κατευθυνόμενη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων, η οποία συμβαίνει στους αγωγούς εξ αιτίας κάποιας διαφοράς δυναμικού. Φορείς του κινούμενου φορτίου στα μέταλλα είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και στους ηλεκτρολύτες, τα ιόντα. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, I , είναι ίση με το πηλίκο του φορτίου q που περνά από τον αγωγό διατομής S ίσης με τη μονάδα προς την αντίστοιχη χρονική διάρκεια t που χρειάζεται. Μονάδα μέτρησης είναι το Ampere.

$$I = \frac{q}{t} \quad (2.7)$$

Το δυναμικό είναι μονόμετρο μέγεθος. Το δυναμικό σε σημείο M του ηλεκτρικού πεδίου που οφείλεται στα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των δυναμικών κάθε ηλεκτροδίου (Βαφείδης, 2001).

Με τον όρο φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση εννοούμε την αντίσταση που εκφράζει τον 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. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή την ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος και από την γεωμετρία των ηλεκτροδίων (Βαφείδης, 2001).

2.1.3 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

2.1.3.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ

Στη διάταξη διπόλου-διπόλου (Σχήμα 2.2) τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος αποτελούν το ένα δίπολο και απέχουν μεταξύ τους απόσταση a . Τα ηλεκτρόδια δυναμικού

αποτελούν το άλλο δίπολο και απέχουν μεταξύ τους την ίδια απόσταση α , ενώ τα δύο δίπολα απέχουν απόσταση $n\alpha$, όπου n ακέραιος. Στη διάταξη αυτή η ειδική ηλεκτρική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$\rho = n(n+1)(n+2) \left(\frac{V}{I}\right) l \quad (2.3)$$

Όπου,

ρ : ειδική αντίσταση εδάφους Ωm

l : απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος ή τάσης σε m

n : θετικός ακέραιος

V, I : μετρήσεις της τάσης (V) και της έντασης του ρεύματος (A)

Για την συλλογή των δεδομένων, δηλαδή των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ηλεκτρόδια τοποθετούνται κατά μήκος ευθείας γραμμής, διατηρώντας σταθερή απόσταση α μεταξύ τους. Κάθε ηλεκτρόδιο έχει έναν αριθμό για να είναι δυνατή η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων με αριθμητική σειρά. Για την πρώτη μέτρηση τα 1 και 2 ηλεκτρόδια αποτελούν το δίπολο ρεύματος, ενώ τα 3 και 4 αποτελούν το δίπολο δυναμικού. Στη συνέχεια τα ηλεκτρόδια 2 και 3 αποτελούν το δίπολο ρεύματος, ενώ το δίπολο δυναμικού αποτελείται από τα ηλεκτρόδια 4 και 5 και ούτω καθεξής μέχρι να χρησιμοποιηθούν όλα τα ηλεκτρόδια. Όλες οι τιμές της φαινόμενης αντίστασης που υπολογίστηκαν μέχρι τώρα, τοποθετούνται στο ίδιο επίπεδο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

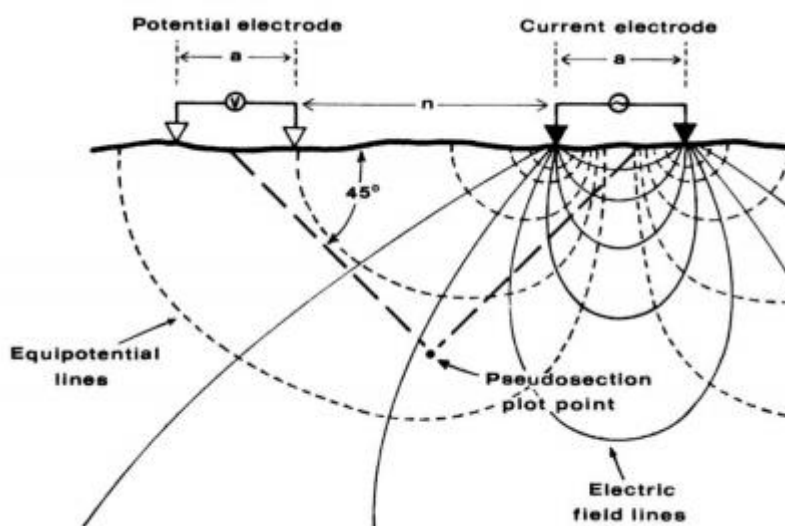
Αυξάνοντας την απόσταση που χωρίζει τα δύο δίπολα, οι τιμές της φαινόμενης αντίστασης τοποθετούνται σε επίπεδο που βρίσκεται βαθύτερα από το προηγούμενο (σχήμα 2.2). Στην περίπτωση αυτή το δίπολο ρεύματος αποτελούν τα ηλεκτρόδια 1,2 και το δίπολο δυναμικού τα ηλεκτρόδια 4,5. Η προηγούμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να χρησιμοποιηθούν όλα τα ηλεκτρόδια, οπότε και αυξάνουμε την απόσταση που χωρίζει τα δύο δίπολα. Η απόσταση που χωρίζει τα δύο δίπολα είναι πάντα ακέραιο πολλαπλάσιο της απόστασης των ηλεκτροδίων του διπόλου.

Όσο αυξάνεται η απόσταση που χωρίζει τα δύο δίπολα, το ρεύμα τείνει να εισχωρεί βαθύτερα στο έδαφος και η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης επηρεάζεται από βαθύτερα τμήματα του υπεδάφους. Ωστόσο επειδή το δίπολο δυναμικού σταδιακά απομακρύνεται από το δίπολο ρεύματος, οι μετρήσεις αρχίζουν να περιέχουν όλο και περισσότερο θόρυβο. Για αξιόπιστα αποτελέσματα η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του n είναι 8. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό αυξάνεται και η απόσταση των ηλεκτροδίων που αποτελούν τα δίπολα, δηλαδή το μήκος του διπόλου γίνεται 2α , 3α , 4α ... και η προηγούμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται (Βαφειδής, 2001).

Η διάταξη διπόλου-διπόλου είναι μια συχνά χρησιμοποιούμενη διάταξη, ειδικά σε γεωλογικές μελέτες. Άρχισε να γίνεται δημοφιλής ως μία παραλλαγή των διατάξεων

Wenner και Schlumberger, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερο βάθος έρευνας χωρίς να απαιτείται μεγάλο μήκος καλωδίων. Είναι ευαίσθητη στις οριζόντιες αλλαγές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εδάφους και λιγότερο ευαίσθητη στις κατακόρυφες. Έχει όμως πολύ αδύναμο σήμα για μεγάλο “n. Για να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά πρέπει να διαθέτουμε ένα όργανο μέτρησης με υψηλή ευαισθησία (Κουτσομάρκος, 2012).

Στο παρακάτω σχήμα παρατίθεται η διάταξη διπόλου-διπόλου.



Σχήμα 2.2: Διάταξη διπόλου-διπόλου (Κουτσομάρκος, 2012).

2.1.3.2 ΔΙΑΤΑΞΗ WENNER

Η διάταξη Wenner είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος μέτρησης της ειδικής αντίστασης εδάφους.

Χρησιμοποιούνται τέσσερα ηλεκτρόδια, δύο ρεύματος και δύο δυναμικού τα οποία τοποθετούνται σε προκαθορισμένες θέσεις. Η ειδική αντίσταση εδάφους δίνεται από την σχέση:

$$\rho_{\alpha} = 2\pi a \frac{V}{I} \quad (2.4)$$

Όπου:

V : μέτρηση διαφοράς δυναμικού

I : ένταση ηλεκτρικού ρεύματος

a : απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων

2.1.3.3 ΔΙΑΤΑΞΗ SCHLUMBERGER

Η διάταξη Schlumberger διαφέρει από την μέθοδο Wenner στο ότι η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού δεν πρέπει να είναι υποχρεωτικά ίση απόσταση L που απαιτούνταν στην διάταξη Wenner, καθώς και στο ότι η διάταξη

των ηλεκτροδίων είναι δυνατό να μην είναι σε ευθεία. Η ειδική αντίσταση εδάφους δίνεται από την σχέση:

$$\rho = \pi \frac{L^2}{2l} - \frac{l}{2} \quad (2.5)$$

Όπου,

ρ , η φαινόμενη ειδική αντίσταση εδάφους σε Ωm

L , η απόσταση των εξωτερικών ηλεκτροδίων από το κέντρο σε m

l , η απόσταση των εσωτερικών ηλεκτροδίων από το κέντρο σε m

2.1.3.4 ΔΙΑΤΑΞΗ GRADIENT

Στη διάταξη gradient η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος ορίζεται $(s+2)*a$, όπου ο συντελεστής διαχωρισμού είναι s , ο a είναι παράγοντας όπου ορίζεται ως η μικρότερη σχετική απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού και ο m είναι ο συντελεστής ηλεκτροδίου δυναμικού σε σχέση με το μεσαίο σημείο των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος. Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται ως εξής (Dahlin and Zhou, 2006):

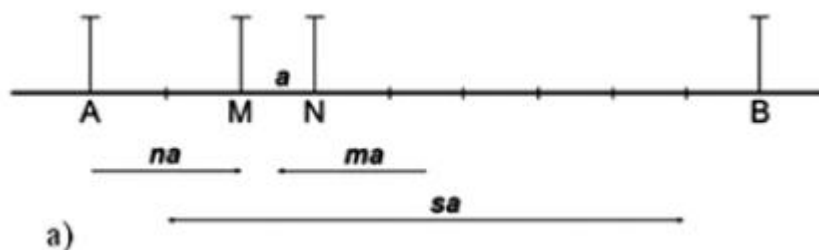
$$m = \frac{\frac{x_M + x_N}{2} - \frac{x_A + x_B}{2}}{x_N - x_M} = \frac{x_{MN} - x_{AB}}{a} \quad (2.6)$$

Όπου,

x_A, x_B, x_N, x_M : θέσεις των ηλεκτροδίων δυναμικού

x_{AB}, x_{MN} : μεσαία σημεία των αντίστοιχων ηλεκτροδίων

Μία αρνητική τιμή του m αντιστοιχεί σε δίπολο δυναμικού τοποθετημένο αριστερά του μέσου των ηλεκτροδίων ρεύματος, ενώ μία θετική τιμή του m αντιστοιχεί σε δίπολο δυναμικού με θέση δεξιά, σε σχέση με το μέσο των ηλεκτροδίων ρεύματος. Στο σχήμα 2.3 απεικονίζεται πώς τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια με διάταξη Gradient όπου τα M και N είναι ηλεκτρόδια δυναμικού και τα A και B είναι ηλεκτρόδια ρεύματος.



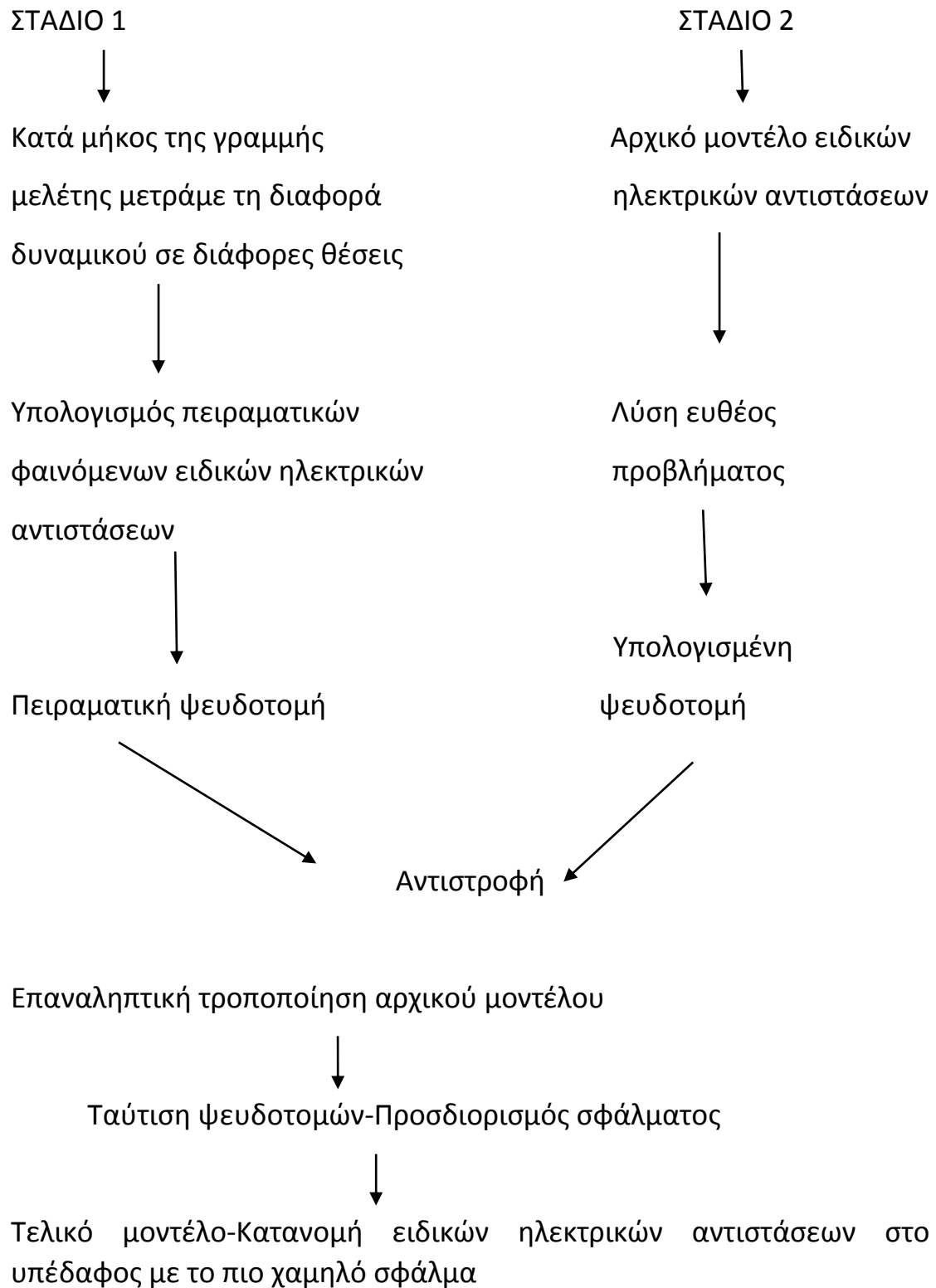
Σχήμα 2.3: Διάταξη ηλεκτροδίων με gradient (Dahlin and Zhou, 2006).

Γενικά παρατηρείται ότι η διάταξη gradient είναι μία διάταξη πόλου διπόλου όταν το δίπολο δυναμικού είναι κοντά σε ένα από τα ηλεκτρόδια ρεύματος (για μεγάλες τιμές του s). Όταν το δίπολο δυναμικού είναι κοντά στο κέντρο μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος τότε προσεγγίζει την διάταξη Schlumberger.

2.1.4 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η μεθοδολογία επεξεργασίας πραγματοποιείται με την μέθοδο αντιστροφής σε δύο διαστάσεις. Με την αντιστροφή γίνεται ο υπολογισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες αντιστάσεις. Στην περίπτωση της αντιστροφής των φαινόμενων αντιστάσεων το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Επιπλέον το πρόβλημα είναι υπερπροσδιορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων υπερβαίνει τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου. Τα στάδια επεξεργασίας δεδομένων με την μέθοδο ηλεκτρικής τομογραφίας περιγράφονται από το ακόλουθο διάγραμμα ροής (Σχήμα 2.4):

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ



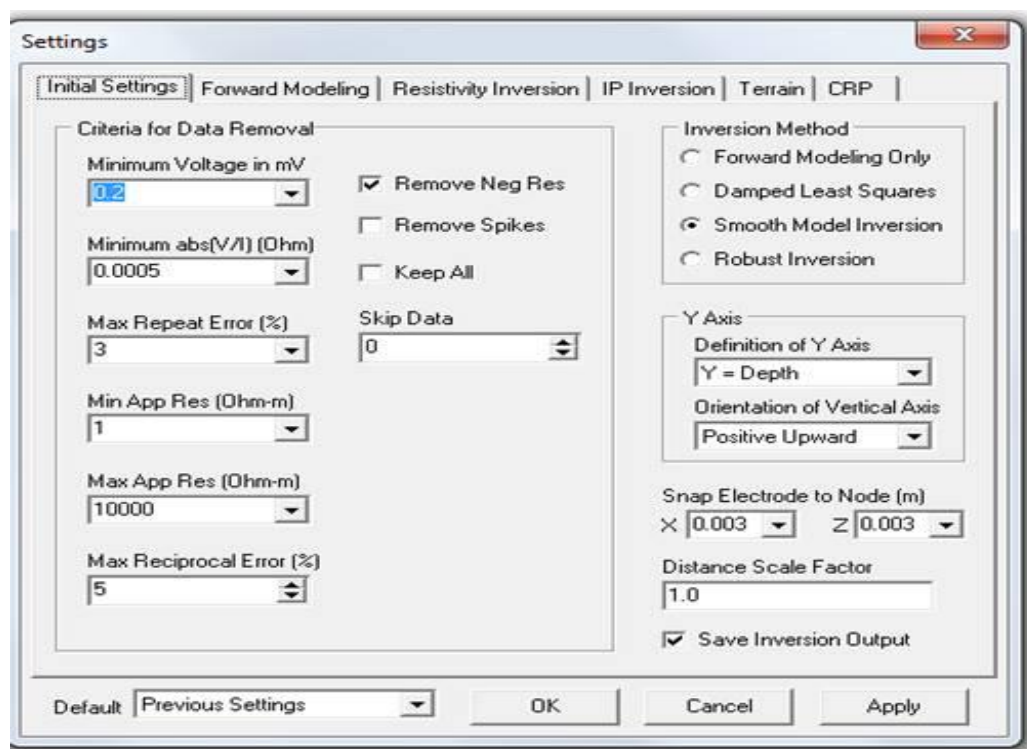
Σχήμα 2.4: Διάγραμμα ροής για την επεξεργασία των δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας.

2.1.4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ (EARTHMAGER 2D)

Βήμα 1: Καθορισμός των αρχικών παραμέτρων της επεξεργασίας.

Στόχος του βήματος αυτού είναι να καθορίσουμε σωστά τις παραμέτρους επεξεργασίας. Ειδικότερα στην ενότητα “Initial Settings” δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει τα εξής (Σχήμα 2.5):

- Κριτήρια για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων μετρήσεων (Criteria for data Removal):
Minimum Voltage in mV (Ελάχιστη τάση σε mV):0,2
Minimum abs(V/I) Ohm:0,0005
Max Repeat Error% (Μέγιστη επανάληψη σφαλμάτων):3
Min App Res (Ohm-m):1
Max App Res (Ohm-m):10000
Max Reciprocal Error % (Μέγιστο Αμοιβαίο σφάλμα):5
- Μέθοδος αντιστροφής (Inversion Method): Επιλέγουμε την Smooth Model Inversion (ομαλό μοντέλο αντιστροφής).
- Y Axis: Definition of Y Axis (ορισμός του Y): βάθος κατά μήκος γραμμής Orientation of vertical axis (προσανατολισμός του κατακόρυφου άξονα): επιλέγουμε Positive Upward (θετικό προς τα πάνω).
- Snap Electrode to Node (m) (Ηλεκτρόδια Κόμβου): X:0,003 και Z:0,003
- Distance Scale Factor (Συντελεστής κλίμακας απόστασης):1



Σχήμα 2.5 : Καθορισμός των αρχικών ρυθμίσεων.

Στην ενότητα “Forward Modeling” δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει τα εξής:

- Forward Model Method: Finite Element Method (μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων)
- Forward Equation Solver: Cholesky Decomposition (ανάλυση Cholesky)
- Type of Boundary Condition (οριακή συνθήκη): Dirichlet
- Number of Mesh Divisions (Αριθμός υποδιαίρεσεων του κανάβου):2
- Thickness Incremental Factor (Συντελεστής αύξησης του πάχους με το βάθος):1,1
- Depth Factor (Συντελεστής μέγιστου βάθους):1,1
- Max Number of CG Iterations (μέγιστος αριθμός επαναλήψεων):100

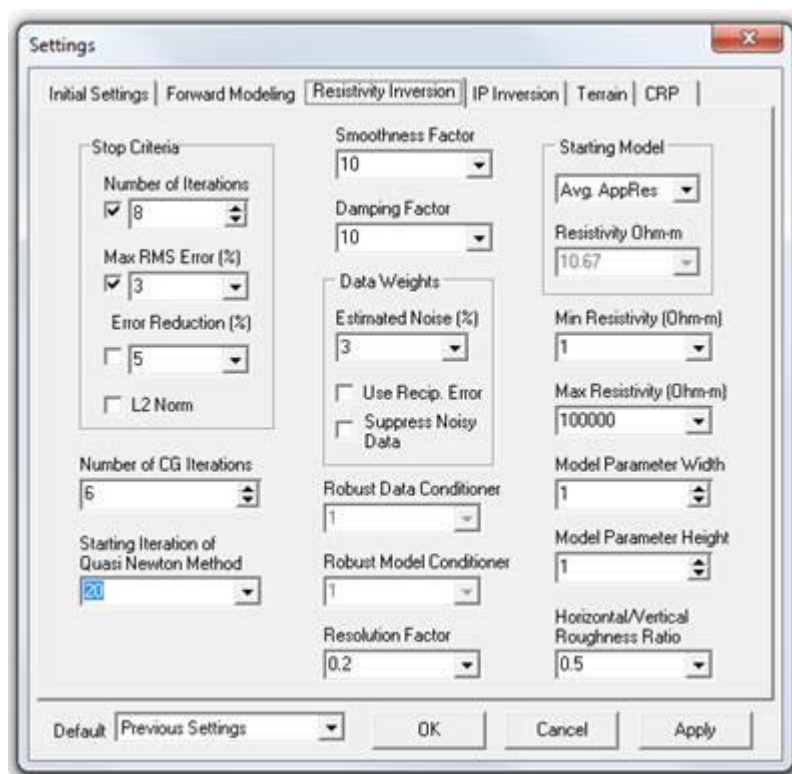


Σχήμα 2.6: Καθορισμός των ρυθμίσεων επίλυσης του ευθέως προβλήματος.

Βήμα 2: Αρχικό μοντέλο

Το αρχικό μοντέλο της αντιστροφής έχει οριστεί στις αρχικές παραμέτρους στην ενότητα “Resistivity Inversion” στο πεδίο “Starting Model”. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε στην ενότητα “Starting Model” το Avg AppRes (ομοιογενές μέσο με ειδική ηλεκτρική αντίσταση τη μέση τιμή των μετρούμενων φαινόμενων

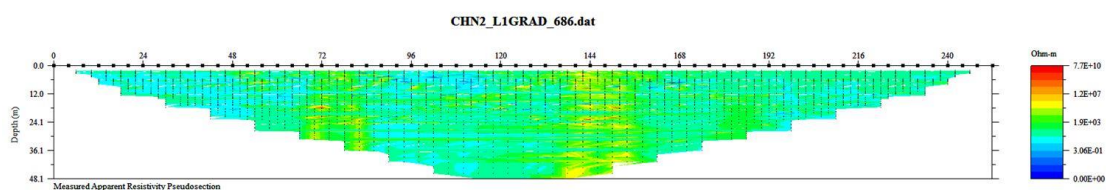
ειδικών ηλεκτρικών Αντιστάσεων) και στην ενότητα Resistivity Ohm-m (ειδική αντίσταση) ίση με 10,67.



Σχήμα 2.7: Καθορισμός των παραμέτρων αντιστροφής.

Βήμα 3: Ανάγνωση και απεικόνιση δεδομένων.

Γίνεται μία πρώτη εκτίμηση του σφάλματος από όλα τα δεδομένα για κάθε περιοχή μελέτης. Στο σχήμα 2.8 παρουσιάζεται το αρχικό μοντέλο πριν την αντιστροφή με αφαίρεση δεδομένων ανάλογα με τις παραμέτρους που έχει ορίσει ο χρήστης αρχικά στο Initial settings. Για την αναγνώριση των δεδομένων επιλέγεται: File → Read Data σε αρχείο (.dat) και γίνεται εισαγωγή του αρχείου στο πρόγραμμα.



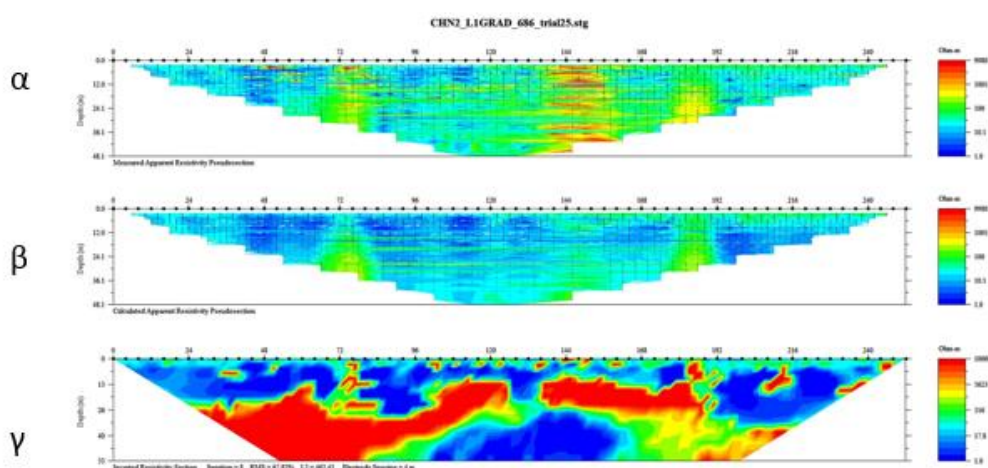
Σχήμα 2.8: Αρχικό μοντέλο πριν την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις και είναι λογαριθμική. Τα μαύρα τετράγωνα στην επιφάνεια δείχνουν τις θέσεις των ηλεκτροδίων.

Βήμα 4: Αντιστροφή

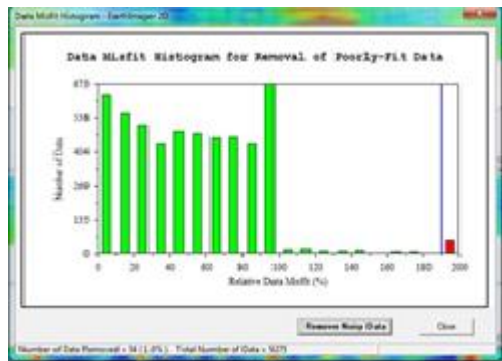
Για την πραγματοποίηση της αντιστροφής επιλέγεται εντολή για run. Η διαδικασία πραγματοποιείται αυτόματα και ολοκληρώνεται όταν ικανοποιηθεί κάποιο από τα stopping criteria.

Βήμα 5: Μείωση του σφάλματος.

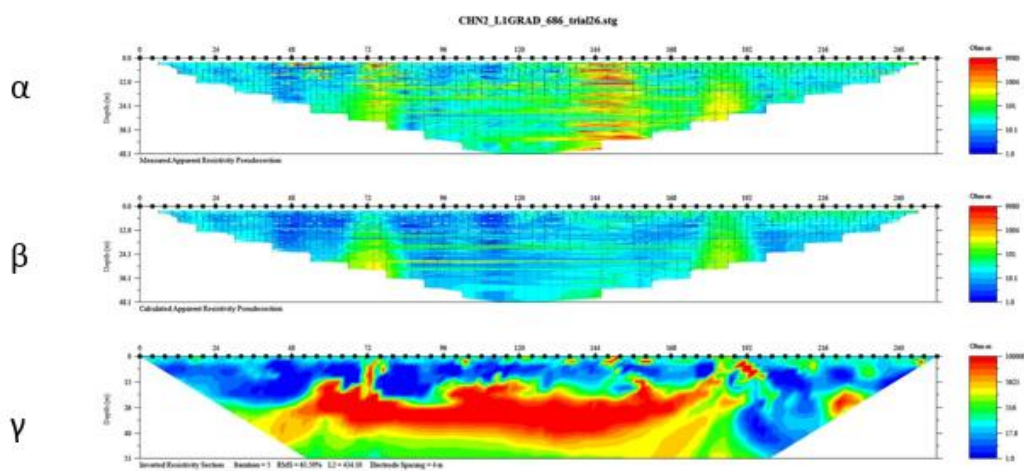
Σκοπός του βήματος είναι να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο το σφάλμα κρατώντας ένα αντιπροσωπευτικό αριθμό των δεδομένων. Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζονται επαναληπτικές τεχνικές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Ο αριθμός των δεδομένων που αφαιρέθηκε υπολογίζεται με βάση κάποια κριτήρια. Η αφαίρεση των δεδομένων πρέπει να γίνεται με αφαίρεση λίγων στοιχείων κάθε φορά και οποιαδήποτε αλλαγή στα κριτήρια για την αφαίρεση δεδομένων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ώστε να είναι γνωστό πόσα δεδομένα έχουν αφαιρεθεί κάθε φορά. Στο σχήμα 2.9 απεικονίζεται η γεωηλεκτρική τομή μετά την αντιστροφή με σφάλμα 67,82%. Για την απομάκρυνση μετρήσεων με υψηλό σφάλμα επιλέγεται: (Εντολή). Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο του σχήματος 2.10 όπου απεικονίζεται το πλήθος των μετρήσεων σε συνάρτηση με το εκατοστιαίο σφάλμα μεταξύ μετρούμενων ή υπολογισμένων τιμών ρ_a (ειδική ηλεκτρική αντίσταση). Με τα πλήκτρα $\leftarrow \rightarrow$ του πληκτρολογίου επιλέγεται το επίπεδο του σφάλματος (οριζόντιος άξονας) πάνω από το οποίο οι μετρήσεις αφαιρούνται. Μετά την απομάκρυνση των μετρήσεων επαναλαμβάνεται το βήμα 4. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου προκύψει ένα ικανοποιητικό σφάλμα ($\rho_a < 10\%$). Στο σχήμα 2.12 παρουσιάζεται το τελικό μοντέλο με σφάλμα 9,72%. Ενδεικτικά, για την διάταξη gradient στη θέση CHN2 οι μετρήσεις από 6520 μειώθηκαν στις 3305 και το σφάλμα από 67,82% έφτασε στο 9,72%. Η μείωση των μετρήσεων ήταν αρκετά μεγάλη διότι τα αρχικά δεδομένα περιείχαν υψηλά ποσοστά θορύβου. Ωστόσο, συγκρίνοντας το αποτέλεσμα της αρχικής με την τελική, η μείωση των μετρήσεων δεν επηρέασε πολύ την τελική γεωηλεκτρική τομή.



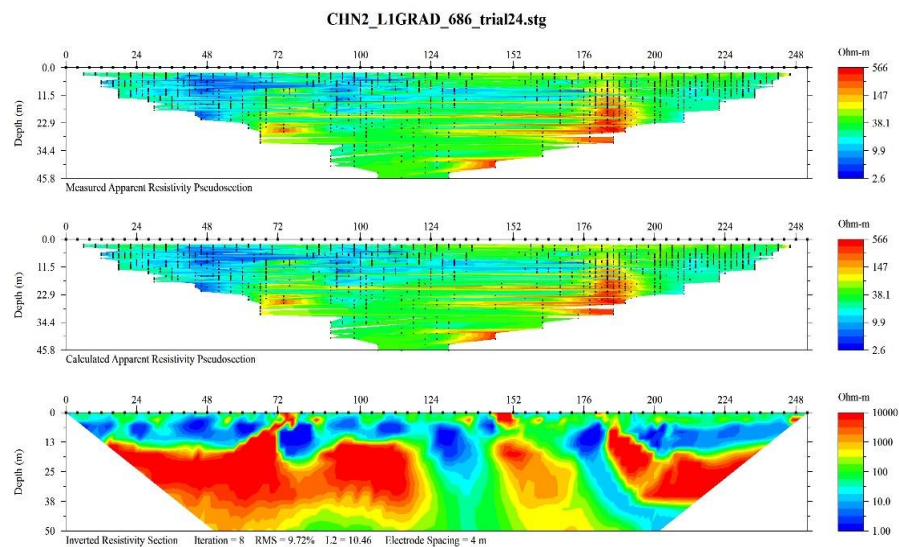
Σχήμα 2.9: α)Ψευδοτομή μετρούμενων ρ_a β)Ψευδοτομή υπολογισμένων ρ_a γ)Γεωηλεκτρική τομή ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων. Σφάλμα 67,82%.



Σχήμα 2.10: Αφαίρεση μετρήσεων με σκοπό να μειωθεί το σφάλμα.



Σχήμα 2.11: Αποτελέσματα αντιστροφής μετά την πρώτη αφαίρεση μετρήσεων και εφαρμογή της αντιστροφής. Το σφάλμα μειώθηκε σε 63,5%.



Σχήμα 2.12: Τελικό αποτέλεσμα στα Χανιά με διάταξη gradient.

2.2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

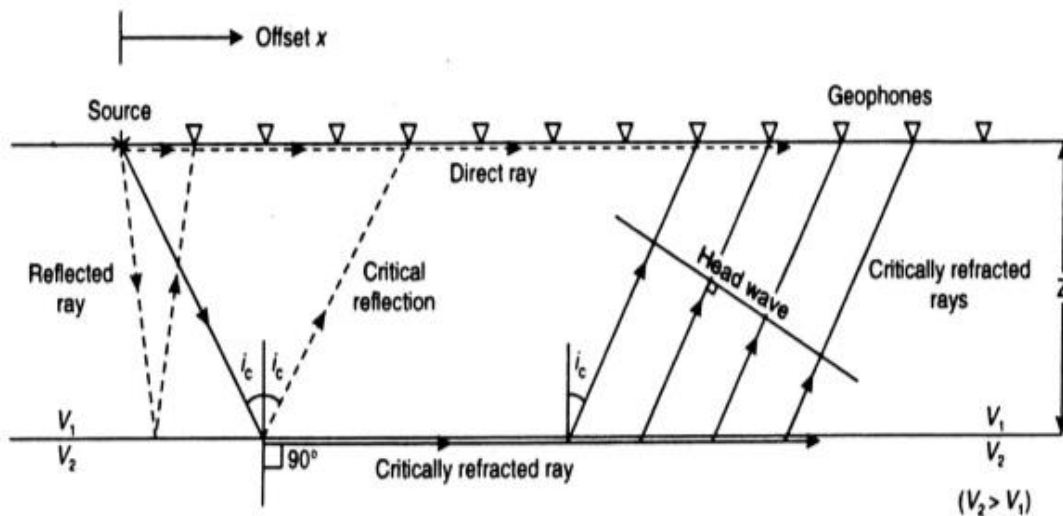
2.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

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 ακτινών. Ο νόμος του Snell για σεισμική ακτίνα η οποία συναντά διαχωριστική επιφάνεια με γωνία πρόσπτωσης i_0 και γωνία διάθλασης i_2 δίνεται από την σχέση:

$$p = \frac{\sin(i_0)}{V_1} = \frac{\sin(i_2)}{V_2} \quad (2.8)$$

όπου V_1, V_2 είναι οι ταχύτητες διάδοσης για το στρώμα 1 και 2 αντίστοιχα και p είναι η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας.

Αν μια σεισμική ακτίνα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία, τότε το διαθλώμενο κύμα θα διαδοθεί στο δεύτερο στρώμα σε διεύθυνση παράλληλη προς την διαχωριστική επιφάνεια. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, κάθε σημείο του διαθλώμενου μετώπου κύματος αποτελεί ουσιαστικά μια δευτερεύουσα πηγή σεισμικών κυμάτων. Από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές, προέρχονται σεισμικά κύματα τα οποία αναδύονται προς την επιφάνεια:



Σχήμα 2.13: 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 την 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 της ορικής απόστασης. 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):

$$x_c = 2z_1 \sqrt{\frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1}} \quad (2.9)$$

όπου z_1 : πάχος πρώτου στρώματος

V_1, V_2 : οι ταχύτητες διάδοσης για το στρώμα 1 και 2 αντίστοιχα.

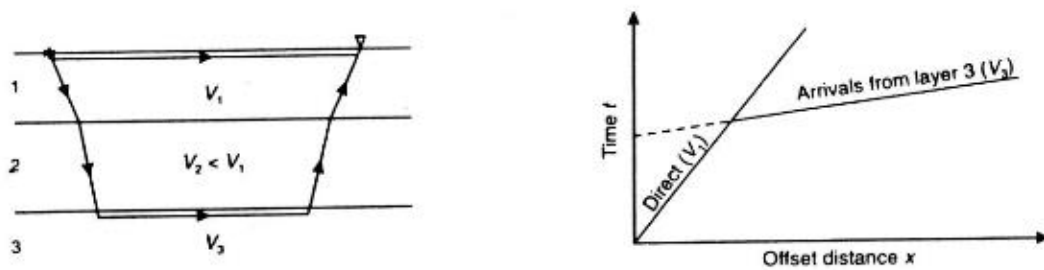
x_c : ορική απόσταση

2.2.1.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

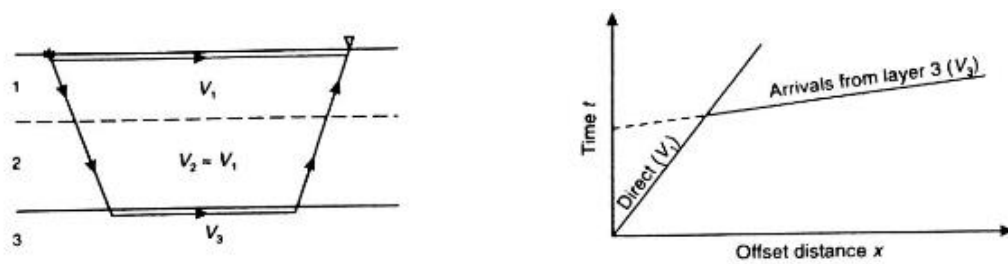
Θεωρητικά η εύρεση του πάχους των στρωμάτων και της ταχύτητας με τη μέθοδο σεισμικής διάθλασης είναι εύκολη. Η δυσκολία όμως που υπάρχει πρακτικά έγκειται στο γεγονός ότι η μέθοδος αυτή αδυναμεί να εντοπίσει ενδιάμεσο στρώμα μικρού πάχους. Συνέπεια της αδυναμίας αυτής είναι ο εσφαλμένος προσδιορισμός της ταχύτητας και η λανθασμένη εκτίμηση του πάχους ορισμένων στρωμάτων. Κάποιοι παράγοντες που οδηγούν σε λάθος εκτιμήσεις αναφέρονται παρακάτω:

- Όταν η ταχύτητα στο υπερκείμενο στρώμα είναι μεγαλύτερη από αυτή στο υποκείμενο (σχήμα 2.14), τότε η σεισμική ακτίνα (σύμφωνα με τον νόμο του snell) αποκλίνει από την διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ των δύο στρωμάτων, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η δημιουργία μετωπικών κυμάτων.
- Όταν κάποιο στρώμα έχει ταχύτητα περίπου ίδια με την ταχύτητα στο αμέσως υπερκείμενο στρώμα (σχήμα 2.15), τότε στην περίπτωση αυτή δεν είναι δυνατή η δημιουργία μετωπικών κυμάτων λόγω μικρής αντίθεσης της ταχύτητας στα δύο στρώματα.
- Όταν κάποιο στρώμα έχει πολύ μικρό πάχος συγκριτικά με το υποκείμενο και το υπερκείμενό του (σχήμα 2.16), συνεπάγεται ότι τα μετωπικά κύματα από το υποκείμενο στρώμα καταγράφονται πριν από τα αντίστοιχα κύματα του λεπτού στρώματος.

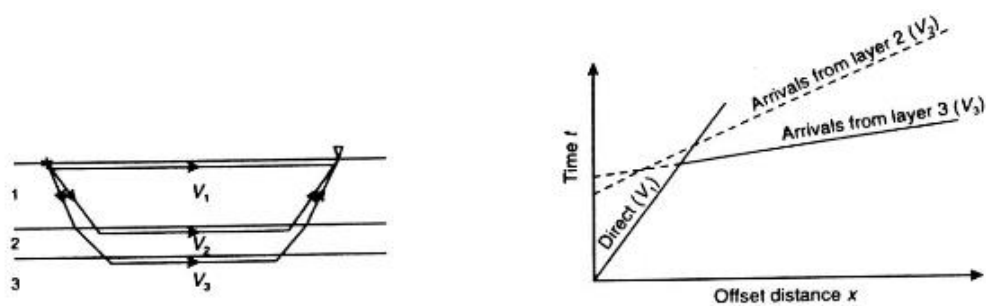
Λόγω των παραπάνω η μέθοδος της σεισμικής διάθλασης δίνει έγκυρα αποτελέσματα μόνο όταν η ταχύτητα σε κάθε στρώμα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ταχύτητα στο υπερκείμενο στρώμα και όταν το πάχος των στρωμάτων είναι αρκετά μεγάλο (Παπαλουκάς, 2010).



Σχήμα 2.14: Απουσία μετωπικού κύματος στο δεύτερο στρώμα ($V_1 < V_2$)(Reynolds, 1997).



Σχήμα 2.15: Απουσία μετωπικού κύματος στο δεύτερο στρώμα ($V_1 \approx V_2$)(Reynolds, 1997).



Σχήμα 2.16: Μεταγενέστερη άφιξη μετωπικού κύματος από το δεύτερο στρώμα λόγω μικρού πάχους (Reynolds, 1997).

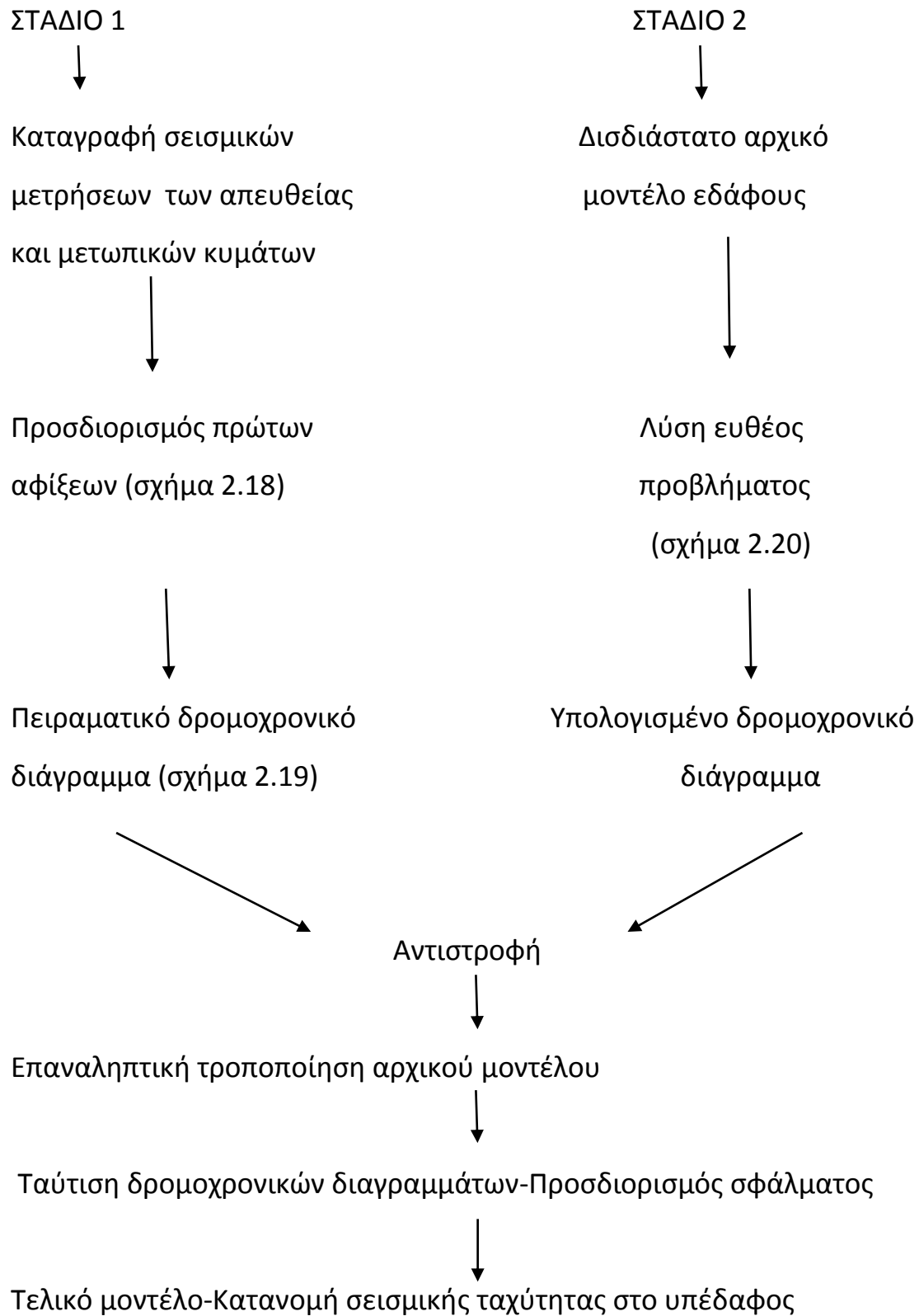
2.2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Κατά την συλλογή δεδομένων με την μέθοδο σεισμικής διάθλασης αρχικά οριοθετείται η γραμμή μελέτης, κατά μήκος της οποίας τοποθετούνται τα γεώφωνα σε ισαπέχουσες θέσεις. Τα γεώφωνα που τοποθετούνται 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 αυτές σταθερές. Τα απαραίτητα όργανα για την πραγματοποίηση διασκοπήσεων με την μέθοδο σεισμικής διάθλασης είναι η σεισμική πηγή, τα γεώφωνα και το καταγραφικό. 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 εξής χαρακτηριστικά: η ιδιοσυχνότητα, ο παράγοντας απόσβεσης και η δυναμική μεγέθυνση.

2.2.3 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

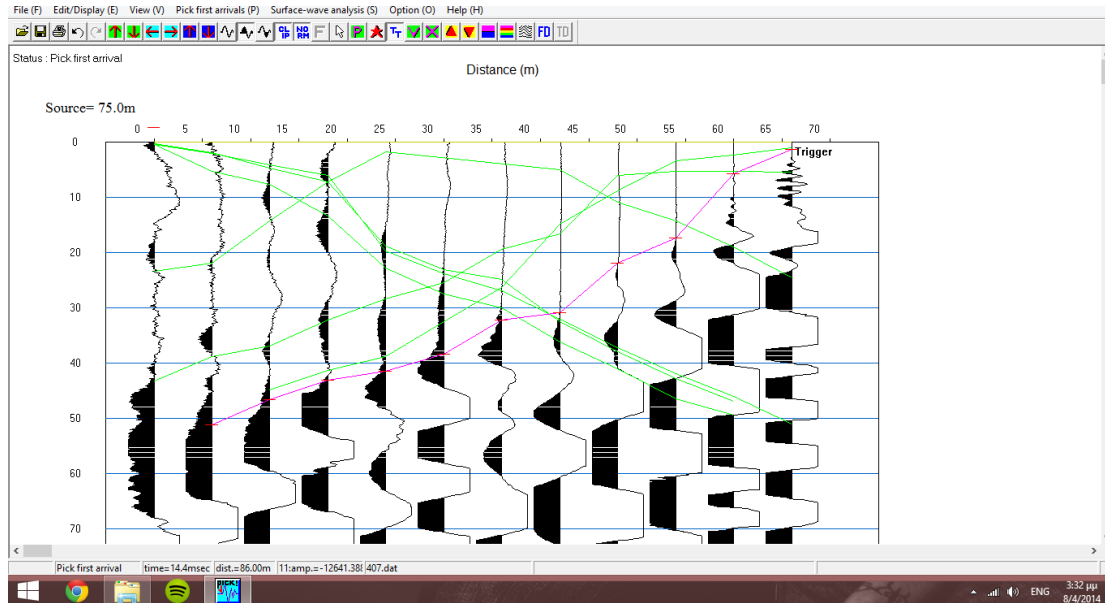
Για την επεξεργασία των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης στις περιοχές μελέτης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος επεξεργασίας της σεισμικής τομογραφίας. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν υπάρχει έντονο ανάγλυφο, όταν υπάρχει πλευρική μεταβολή της σεισμικής ταχύτητας ή όταν υπάρχει βαθμιαία μεταβολή στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων με το βάθος. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μία δισδιάστατη κατανομή της ταχύτητας στο υπέδαφος. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν πρώτες αφίξεις των σεισμικών κυμάτων (απευθείας και μετωπικά κύματα) για τον προσδιορισμό της ταχύτητας διάδοσής τους, και του μοντέλου βάθους. Για την επιλογή των πρώτων αφίξεων των σεισμικών κυμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Pickwin του λογισμικού πακέτου Seisimager. Για την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων με την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο Plotrefa. Τα στάδια επεξεργασίας δεδομένων με την μέθοδο σεισμικής τομογραφίας περιγράφονται από το ακόλουθο διάγραμμα ροής (Σχήμα 2.17):

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ



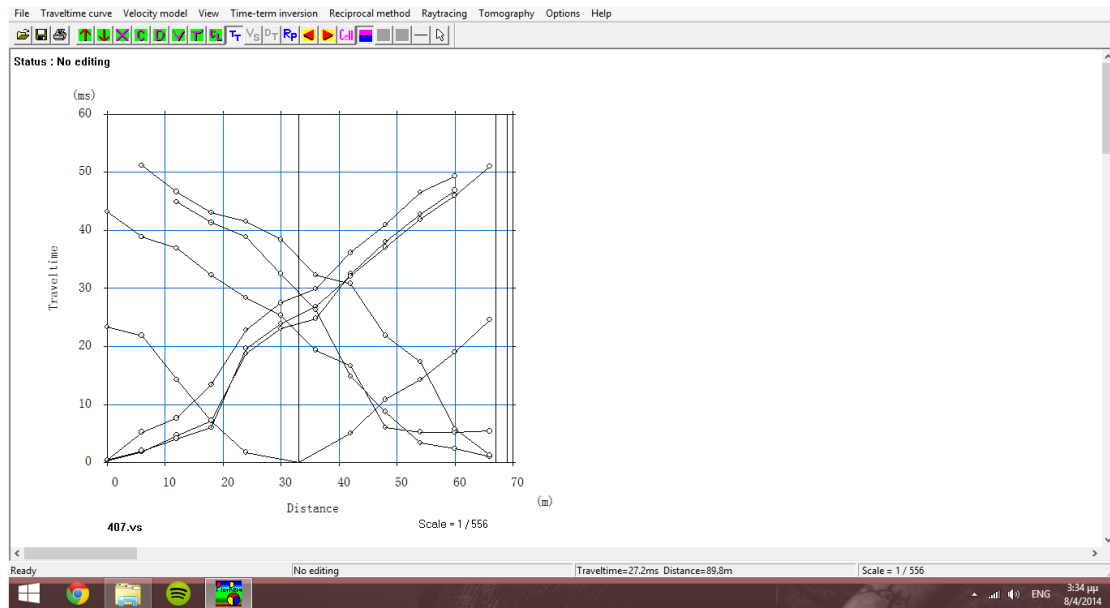
Σχήμα 2.17: Διάγραμμα ροής που περιγράφει την σεισμική τομογραφία.

Στο σχήμα 2.18 παρουσιάζεται η επιλογή πρώτων αφίξεων όταν η θέση της πηγής (Χανιά) βρίσκεται στα 75m της γραμμής μελέτης (με το φούξια χρώμα). Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι πρώτες αφίξεις από καταγραφές με την πηγή να βρίσκεται σε άλλες θέσεις κατά μήκος της γραμμής. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η απόσταση σε m και στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος με ms ενώ τα πλάτη ταλάντωσης των σωματιδίων του εδάφους εκφράζονται, για κάθε θέση γεωφώνου, με σκιασμένες γραμμές.



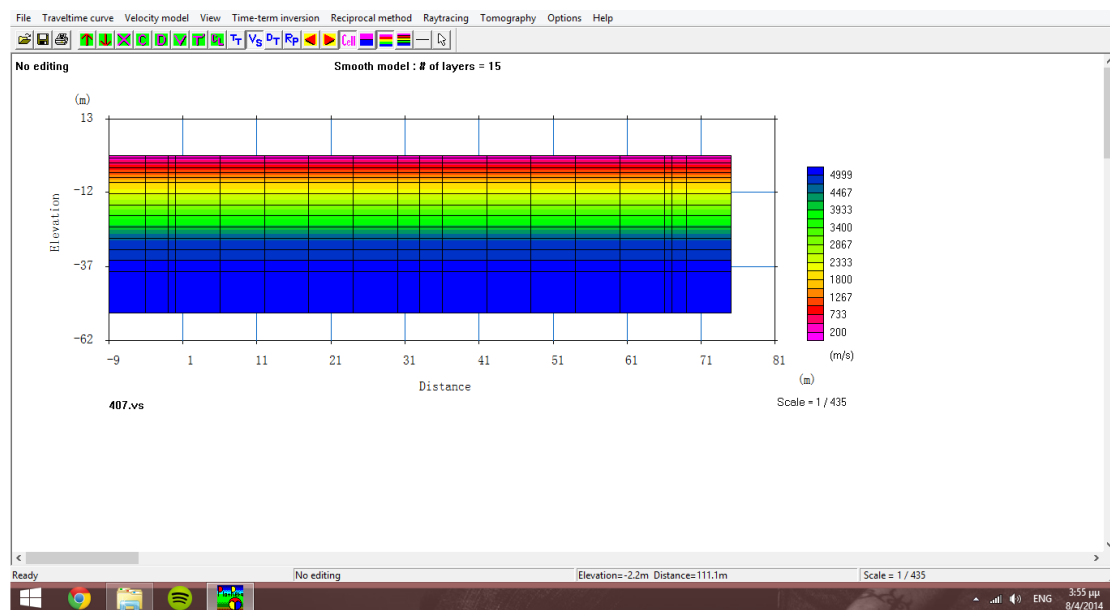
Σχήμα 2.18: Πρώτες αφίξεις.

Στο σχήμα 2.19 απεικονίζεται η αντιστοίχιση των πρώτων αφίξεων με τα εδαφικά στρώματα στο δρομοχρονικό διάγραμμα (Χανιά) από πείραμα σεισμικής διάθλασης με τη σεισμική πηγή σε τρεις θέσεις. Παρατηρούνται τρεις δρομοχρονικές καμπύλες οι οποίες αποτελούνται από ευθύγραμμα τμήματα. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η απόσταση σε m και στον κατακόρυφο απεικονίζεται ο χρόνος σε ms. Το πλήθος των ευθύγραμμων τμημάτων κάθε δρομοχρονικής καμπύλης υποδεικνύει τον αριθμό των στρωμάτων.



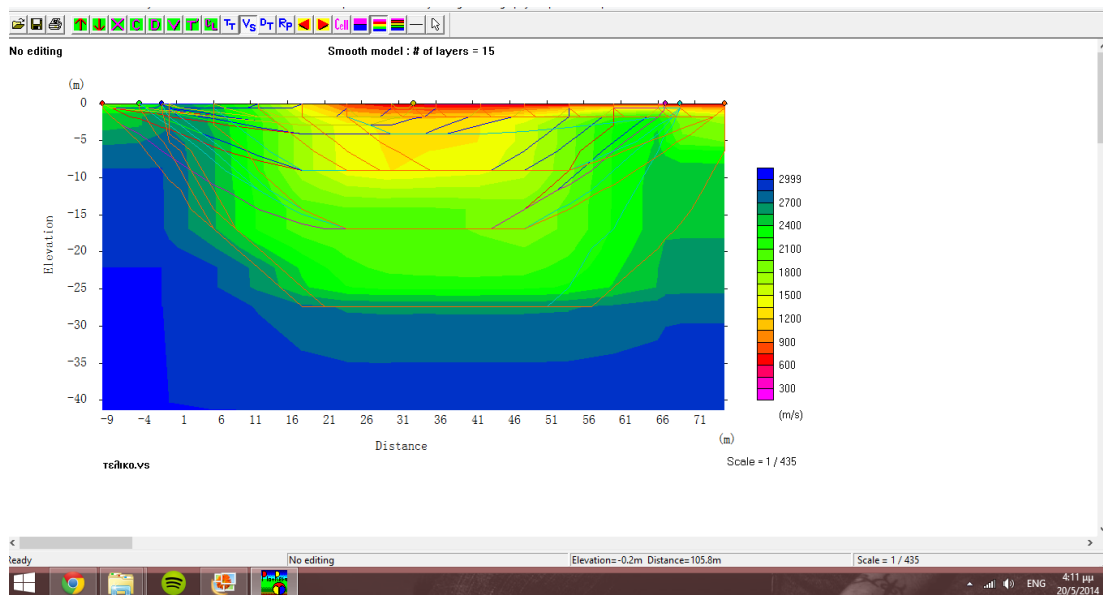
Σχήμα 2.19: Αντιστοίχιση πρώτων αφίξεων με τα εδαφικά στρώματα.

Στο σχήμα 2.20 απεικονίζεται η δημιουργία αρχικού μοντέλου από την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων (μετρήσεις από Χανιά).



Σχήμα 2.20: Επεξεργασία των πρώτων αφίξεων.

Στο σχήμα 2.21 απεικονίζεται το τελικό μοντέλο στην περιοχή των Χανίων με τις σεισμικές ακτίνες του εδάφους.

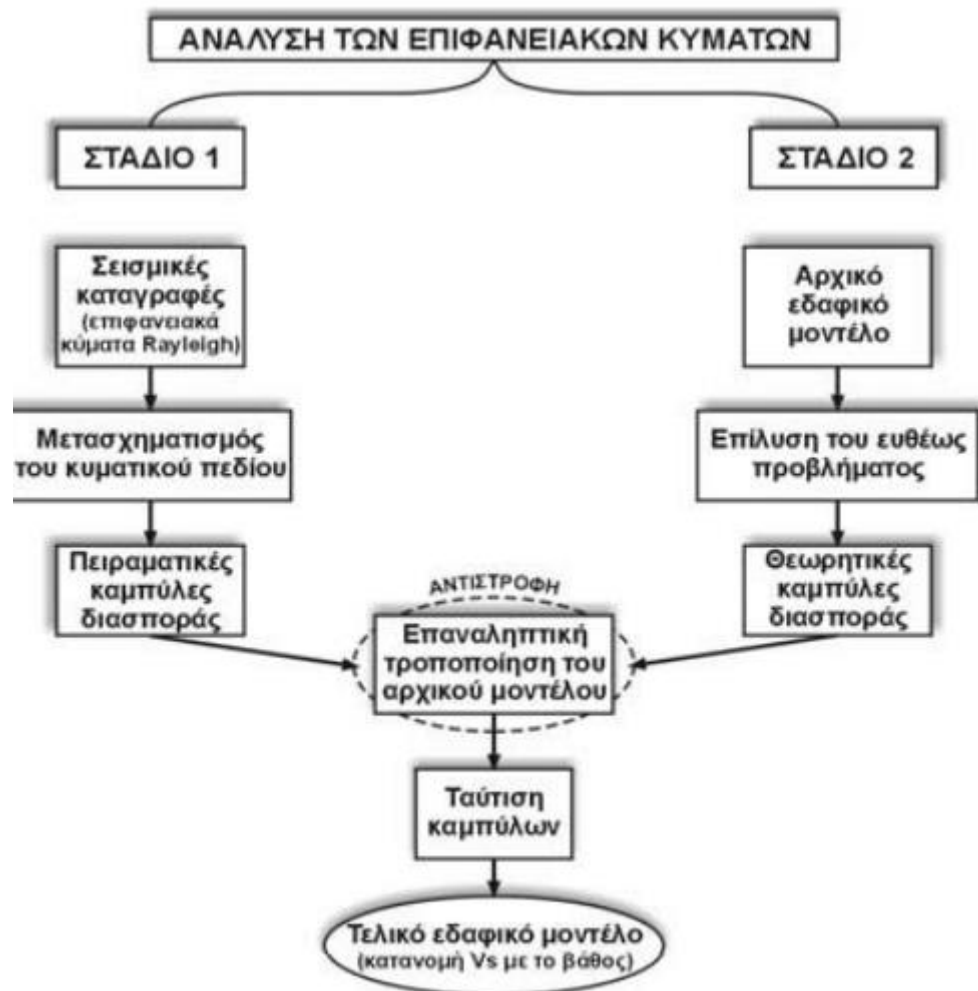


Σχήμα 2.21: Τελικό μοντέλο στην περιοχή των Χανίων.

2.3 Πολυκάναλη Ανάλυση των Επιφανειακών Κυμάτων, (MASW)

2.3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

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 (σχήμα 2.22). 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. Στο δεύτερο στάδιο προσδιορίζονται οι θεωρητικές καμπύλες διασποράς για οριζόντια στρωματωμένο εδαφικό μοντέλο, χρησιμοποιώντας την τεχνική Thomson-Haskell (Haskell, 1953, Schwab and Knoroff, 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 (V_s) με το βάθος). Η κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας V_s αντιστοιχείται στο κέντρο της διάταξης των γεωφώνων (Αβαγιανός, 2011).

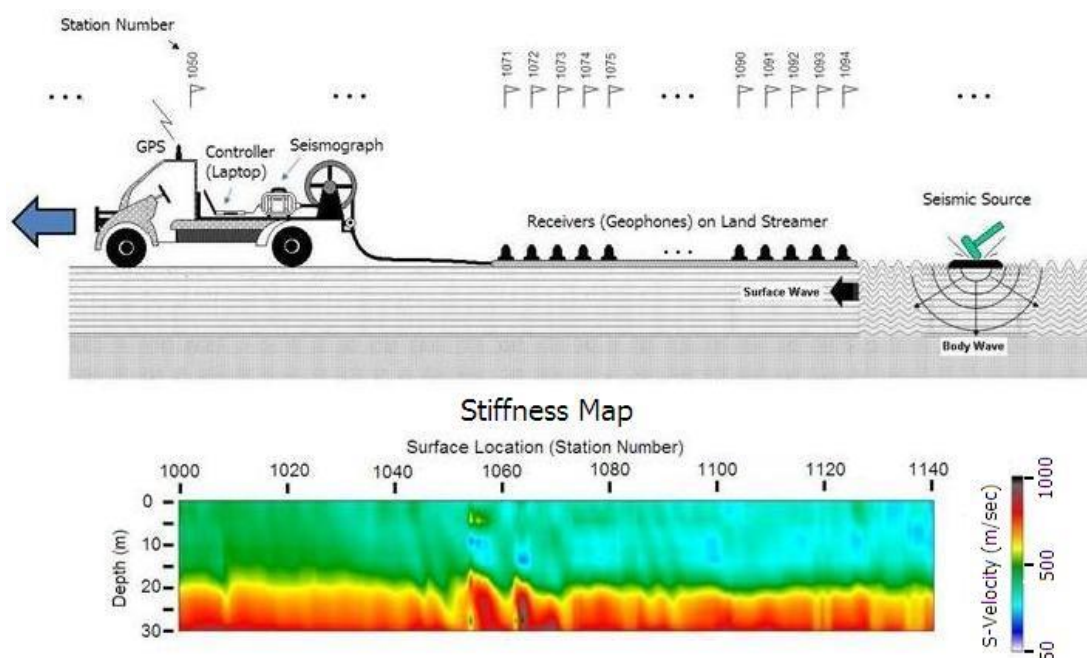


Σχήμα 2.22: Διάγραμμα ροής που περιγράφει τη μεθοδολογία της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh (MASW) (Αβαγιανός, 2011).

2.3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η βασική προϋπόθεση για την υλοποίηση της μεθόδου της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων είναι η χρήση πολλών σταθμών παρατήρησης (> 2) κατά μήκος μιας γραμμής μελέτης. Για τον προσδιορισμό της κατακόρυφης κατανομής της ταχύτητας Vs με το βάθος, αρκεί μια τυπική διάταξη κοινής πηγής, με την πηγή να τοποθετείται πριν το πρώτο ή μετά το τελευταίο γεώγωνο, κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η εκτίμηση της παραμέτρου αυτής (Vs) στις 2 διαστάσεις προσεγγίζεται με την κύλιση (roll along) της διάταξης πηγής-γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης, με τις ισαποστάσεις των διαδοχικών θέσεων των πηγών που αντιστοιχούν συνήθως σε ακέραιο πολλαπλάσιο της ισαπόστασης των γεωφώνων (σχήμα 2.23). Σε μια τέτοια περίπτωση, για κάθε καταγραφή κοινής πηγής πραγματοποιείται ξεχωριστή επεξεργασία και η κατακόρυφη κατανομή της Vs που προκύπτει, αντιστοιχεί στο κέντρο της διάταξης των γεωφώνων (Luo et al., 2009a). Με την βοήθεια παρεμβολής κατασκευάζεται μια ψευδοτομή της ταχύτητας διάδοσης των

εγκαρσίων σεισμικών κυμάτων (Κρητικάκης, 2010). Στο σχήμα 2.23 απεικονίζεται το πώς εφαρμόζεται η μέθοδος MASW στις 2 διαστάσεις.



Σχήμα 2.23: Εφαρμογή της μεθόδου MASW σε 2 διαστάσεις (https://www.google.gr/search?q=stiffness+map&espv=2&biw=1517&bih=714&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=ahBOVeLmGsazswHJ7YHwAw&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=stiffness+map+2+D&imgsrc=Pky2dht8eHbqMM%253A%3B0qameTPvnq3YnM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.parkseismic.com%252Ffiles%252FVs_2-D_survey_.JPG%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.parkseismic.com%252FServicesOthers.html%3B864%3B374).

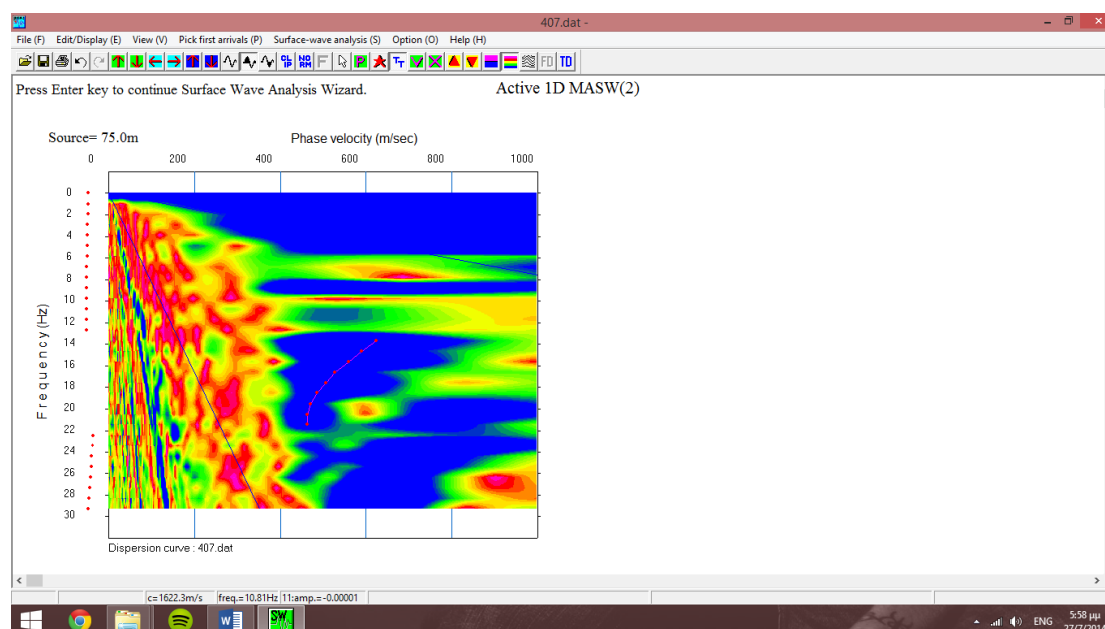
2.3.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

Η διαδικασία της αντιστροφής αποτελεί το πρόβλημα προσδιορισμού των παραμέτρων του εδαφικού μοντέλου από τις καμπύλες διασποράς. Ο ακριβής προσδιορισμός των πειραματικών και θεωρητικών καμπυλών διασποράς αποτελεί σημαντικό κομμάτι στην ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων, ωστόσο, η αντιστροφή τους είναι η διαδικασία εκείνη που θα επηρεάσει κατά κύριο λόγο την ορθότητα της τελικής λύσης. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο μεγάλο πλήθος των πιθανών μοντέλων που αναπαράγουν τις πειραματικές καμπύλες διασποράς. Θεωρώντας ότι οι μετρήσεις (πειραματικές καμπύλες διασποράς) συμπεριλαμβάνουν τυχαία ή συναφή σφάλματα ορίζεται ως αντικειμενική συνάρτηση η διαφορά μεταξύ υπολογισμένων και πειραματικών τιμών των καμπυλών διασποράς. Βρίσκεται το ελάχιστο της αντικειμενικής συνάρτησης και βρίσκεται ο γενικευμένος αντίστροφος πίνακας που ουσιαστικά συσχετίζει γραμμικά τις παραμέτρους του μοντέλου με τις πειραματικές μετρήσεις.

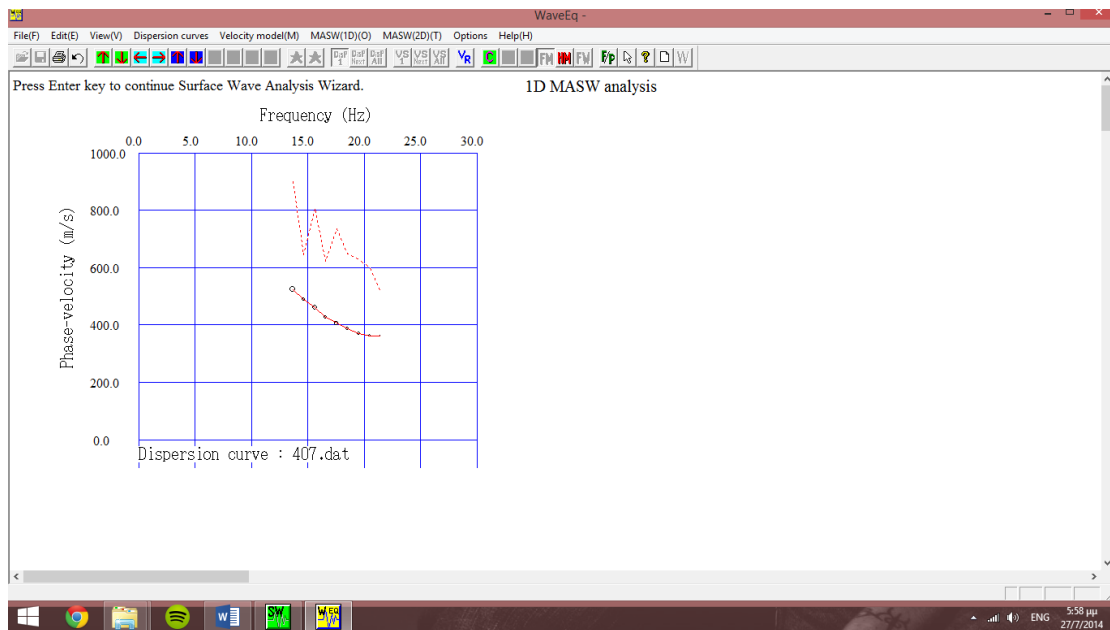
2.3.4 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ MASW

Η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Plotrefa. Αρχικά επιλέγεται αρχικό εδαφικό μοντέλο με στόχο τον υπολογισμό της καμπύλης διασποράς. Και στη συνέχεια υπολογίζεται η πειραματική καμπύλη διασποράς μέσω μετασχηματισμού των αρχικών καταγραφών στο χώρο συχνότητας ταχύτητας φάσης. Τέλος, μέσω επαναληπτικής διαδικασίας προσαρμογής της θεωρητικής καμπύλης διασποράς στην πειραματική, προκύπτει η ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων συναρτήσει του βάθους.

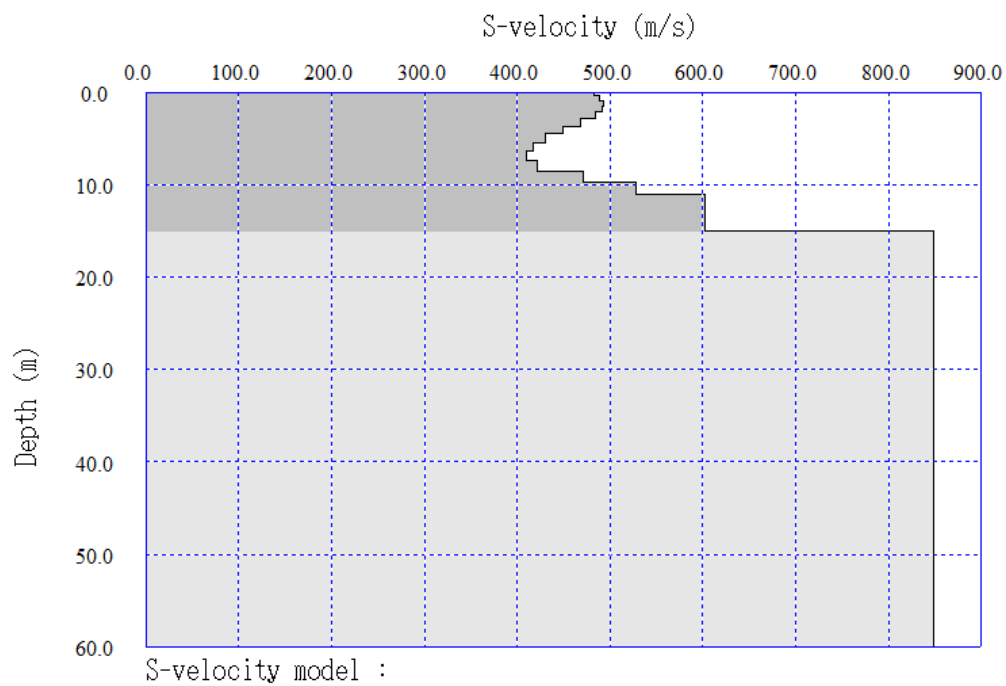
Σε κάθε θέση από όλα τα δεδομένα επιλέγεται η πιο σωστή εικόνα που προσδιορίζει καλύτερα την καμπύλη διασποράς. Τα αποτελέσματα φαίνονται αναλυτικά παρακάτω. Στο σχήμα 2.24 απεικονίζεται η θεμελιώδης καμπύλη διασποράς, στο σχήμα 2.25 η επιλεγμένη καμπύλη διασποράς και στα σχήματα 2.26 και 2.27 απεικονίζονται το αρχικό και τελικό μοντέλο αντίστοιχα.



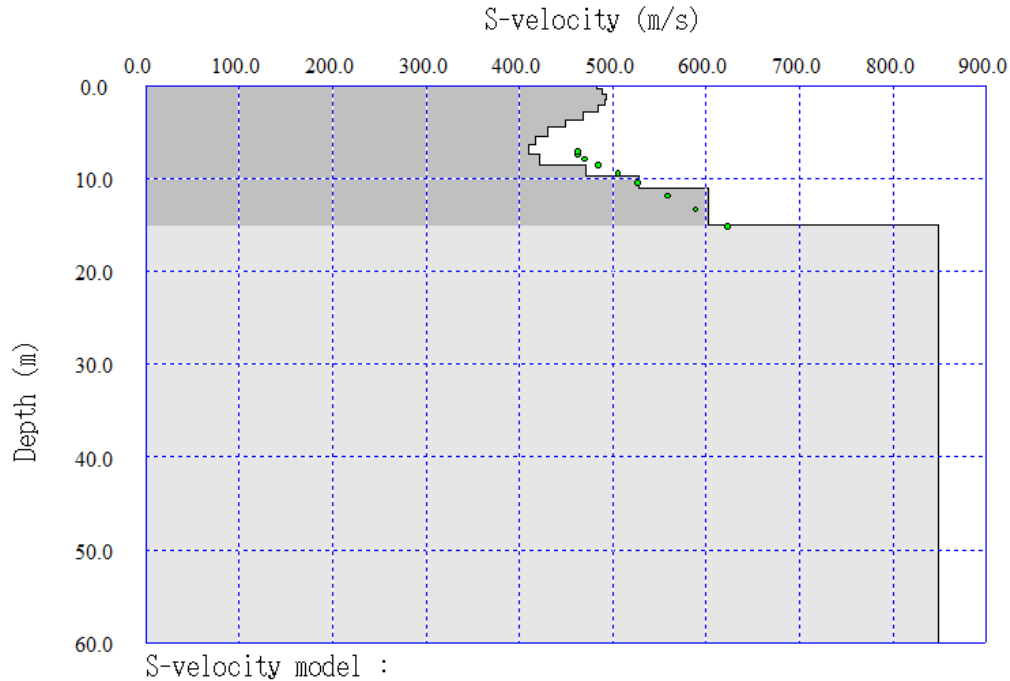
Σχήμα 2.24: Μετασχηματισμός του κυματικού πεδίου στο χώρο συχνότητας (κατακόρυφος άξονας)-ταχύτητας φάσης (οριζόντιος άξονας) της καταγραφής 407 στα Χανιά. Η θεμελιώδης καμπύλης διασποράς εντοπίζεται στα τοπικά μέγιστα.



Σχήμα 2.25: Επιλεγμένη καμπύλη διασποράς στα Χανιά. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η συχνότητα (Hz) και στον κατακόρυφο απεικονίζεται η ταχύτητα (m/s).



Σχήμα 2.26: Αρχικό μοντέλο της ταχύτητας των εγκάρσιων κυμάτων . Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ταχύτητα (m/s) και στον κατακόρυφο απεικονίζεται το βάθος (m).



Σχήμα 2.27: Τελικό μοντέλο της ταχύτητας των εγκάρσιων κυμάτων. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ταχύτητα (m/s) και στον κατακόρυφο απεικονίζεται το βάθος (m).

2.4 Μέθοδος Refraction-Microtremor (Re-Mi)

2.4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Η μέθοδος Refraction Microtremor (Re-Mi) βασίζεται σε ήδη υφιστάμενες αρχές της επεξεργασίας των επιφανειακών κυμάτων και ιδίως τα κύματα Rayleigh. Η τεχνική Re-Mi βασίζεται σε δύο θεμελιώδεις ιδέες. Η πρώτη ιδέα είναι ότι ο εξοπλισμός καταγραφής ορίζεται με τρόπο σχεδόν ταυτόσημος με τη σεισμική διάθλαση. Και η δεύτερη ιδέα είναι ότι μπορεί να διαχωριστούν τα κύματα Rayleigh από άλλες σεισμικές αφίξεις χρησιμοποιώντας το αρχείο θορύβου από διάταξη δύο διαστάσεων .

Όταν μια σεισμική ακτίνα κύματος SV προσπέσει υπό γωνία σε μια ελεύθερη επιφάνεια τότε, ένα μέρος της σεισμικής ενέργειας θα ανακλαστεί ως κύμα SV, ενώ ένα άλλο μέρος θα μετατραπεί σε διαμήκες (P) κύμα (Aki and Richards, 1980). Σύμφωνα με τον νόμο του Snell, η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας (p) δίνεται από την σχέση:

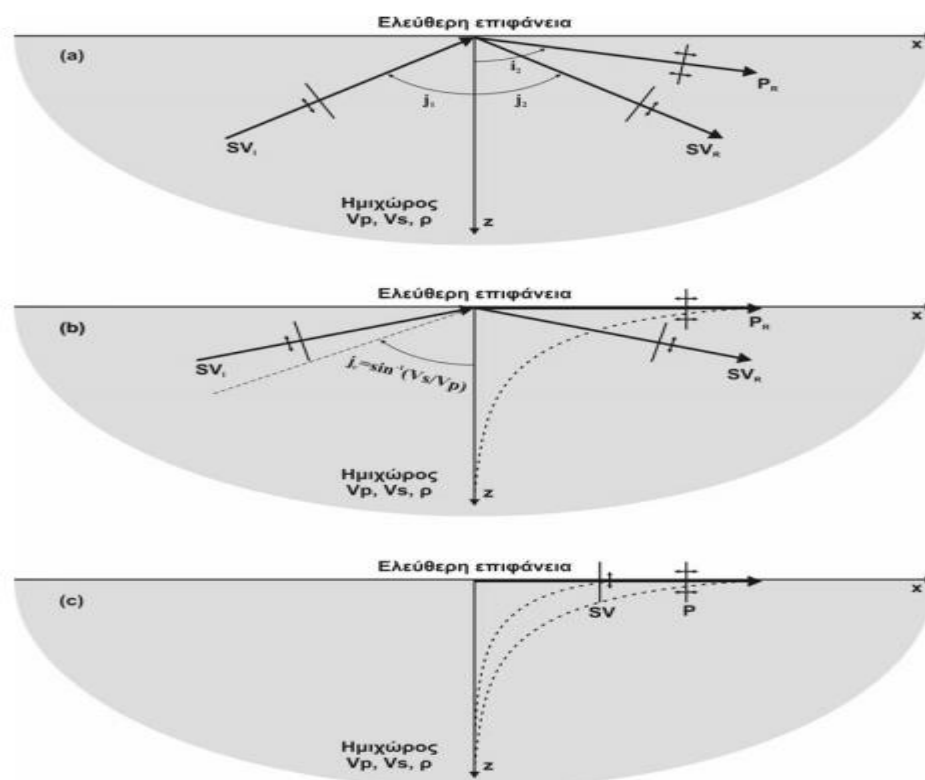
$$p = \frac{\sin(J_1)}{V_s} = \frac{\sin(J_2)}{V_p} \quad (2.7)$$

Όπου J_1 και J_2 είναι η γωνία πρόπτωσης και ανάκλασης (σε σχέση με την κατακόρυφο) αντίστοιχα. Η παράμετρος αυτή αντιστοιχεί στην οριζόντια συνιστώσα της βραδύτητας (το αντίστροφο της ταχύτητας). Όπως προκύπτει από την εξίσωση 2.7, η οριζόντια συνιστώσα της βραδύτητας των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων ισούται με την οριζόντια συνιστώσα της βραδύτητας των διαμήκων κυμάτων. Είναι προφανές ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει για την κατακόρυφη συνιστώσα της βραδύτητας

των δύο αυτών κυμάτων, εφόσον οι γωνίες πρόσπτωσης και ανάκλασης δεν είναι οι ίδιες. Η συνιστώσα αυτή δίνεται για κάθε είδος κύματος από την σχέση (Aki and Richards, 1980)(Κρητικάκης, 2010):

$$n_{VS} = \frac{\cos(j_1)}{V_S} \quad (2.8)$$

$$n_{VP} = \frac{\cos(i_2)}{V_P} \quad (2.9)$$



Σχήμα 2.28: α) Πρόσπτωση SV κύματος στην ελεύθερη επιφάνεια και δημιουργία ανακλώμενων κυμάτων SV και P. β) Δημιουργία αποσβενόμενου P-κύματος όταν η γωνία πρόσπτωσης του κύματος SV είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη (j_c). γ) Η συμβολή οριζόντια διαδιδόμενων κατά μήκος μιας ελεύθερης επιφάνειας αποσβενόμενων P και SV κυμάτων οδηγεί στην δημιουργία επιφανειακών κυμάτων Rayleigh.

2.4.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η μέθοδος χρησιμοποιεί τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται τυπικά σε σεισμικές έρευνες διάθλασης. Αυτός ο εξοπλισμός αποτελείται από ένα σειсмоγράφο που καταγράφει τα δεδομένα και γεωφώνα όπου τοποθετούνται γραμμικά. Δύο βασικοί παράγοντες που επιτρέπουν στον εξοπλισμό να καταγράψει τη διασπορά επιφανειακής ταχύτητας κύματος είναι: 1) η χρήση ενός μόνο αισθητήρα γεωφώνου σε κάθε κανάλι και όχι μία σειρά γεωφώνων και 2) η χρήση μιας γραμμικής σειράς από 12 ή περισσότερους αισθητήρες γεωφώνων μικρής ιδιοσυχνότητας που ισαπάχουν μεταξύ τους. Για τις καταγραφές μικροθορύβου, δεν απαιτείται η χρήση κάποιας ενεργής πηγής από το συνεργείο συλλογής των δεδομένων. Απλά καταγράφονται οι μικροδονήσεις που επικρατούν στην περιοχή, οι οποίες προκαλούνται είτε από φυσικά αίτια (π.χ. θαλάσσια κύματα, άνεμος, μικροσεισμοί

κλπ) είτε από ανθρωπογενή αίτια (κίνηση οχημάτων, δόνηση μηχανολογικού εξοπλισμού κλπ). Ως καταγραφικό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε πολυκάναλο καταγραφικό μπορεί να υποστηρίξει μικρό βήμα δειγματοληψίας. Πριν από την ψηφιοποίηση, τα αναλογικά σήματα από τα γεώφωνα περνούν μέσα από προ-ενισχυτές. Τα πλεονέκτημα της μεθόδου είναι τα εξής: είναι πολύ γρήγορη και όχι ακριβή μέθοδος, ο εξοπλισμός είναι ο ίδιος κάθε φορά και λειτουργεί αρκετά καλά σε ένα αστικό περιβάλλον όπου υπάρχει θόρυβος.

2.4.3 ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το φαινόμενο της διασποράς αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh, σύμφωνα με το οποίο η ταχύτητα διάδοσής τους μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη συχνότητα. Αντίθετα, η διασπορά των κυμάτων χώρου (θεωρητικά) αποτελεί συνέπεια της απόσβεσης (μετατροπή της κινητικής σε άλλου είδους ενέργεια, π.χ. θερμική) (Sheriff and Geldart, 1995).

Η διαφορά των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: α)στην υλική διασπορά, που οφείλεται στην απόσβεση των κυμάτων ανάλογα με τη σύσταση του γεωυλικού και θεωρείται αμελητέα και β)στην διασπορά που οφείλεται στις γεωμετρικές μεταβολές των ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών (Ραπτάκης, 1995). Κάθε επιφανειακό κύμα Rayleigh με συγκεκριμένο μήκος κύματος, πρακτικά διεισδύει μέχρι βάθος ίσο με 1,5 φορές του μήκους κύματός του. Σε περίπτωση κατακόρυφα ανομοιογενούς μέσου, η ιδιότητα αυτή έχει ως συνέπεια την διάδοση των επιφανειακών κυμάτων διαφορετικού μήκους κύματος με διαφορετική ταχύτητα (Socco and Strobbia, 2004). Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στα επιφανειακά κύματα Rayleigh παρατηρείται έντονα το φαινόμενο της διασποράς που οφείλεται στις γεωμετρικές μεταβολές των ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών. Το αποτέλεσμα της διασποράς αυτής γίνεται "ορατό" στις σεισμικές καταγραφές με την αλλαγή του σχήματος της κυματομορφής, όταν οι βραδύτερες αφίξεις διαχωρίζονται από τις ταχύτερες.

Το φαινόμενο διασποράς ερμηνεύεται με βάση την διαφορετική ταχύτητα με την οποία διαδίδονται συγκεκριμένα σεισμικά γεγονότα σε καταγραφές από τουλάχιστον δύο δέκτες. Η ταχύτητα διάδοσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh διακρίνεται σε δύο είδη: α)την ταχύτητα φάσης και β)την ταχύτητα ομάδας (U).

Οι διαφορετικοί τρόποι διάδοσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh στις σεισμικές καταγραφές αποτυπώνονται με την συγκέντρωση την ενέργειας των κυμάτων αυτών κοντά στις καμπύλες διασποράς. Για να είναι όμως δυνατός ο διαχωρισμός των διαφορετικών τρόπων διάδοσης, θα πρέπει η ενέργεια των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh να απεικονιστεί στο πεδίο των ανεξάρτητων μεταβλητών που λαμβάνουν χώρα (άμεσα ή έμμεσα) στην θεμελιώδη σχέση της κυματικής:

$$c = \frac{\omega}{k} \quad (2.10)$$

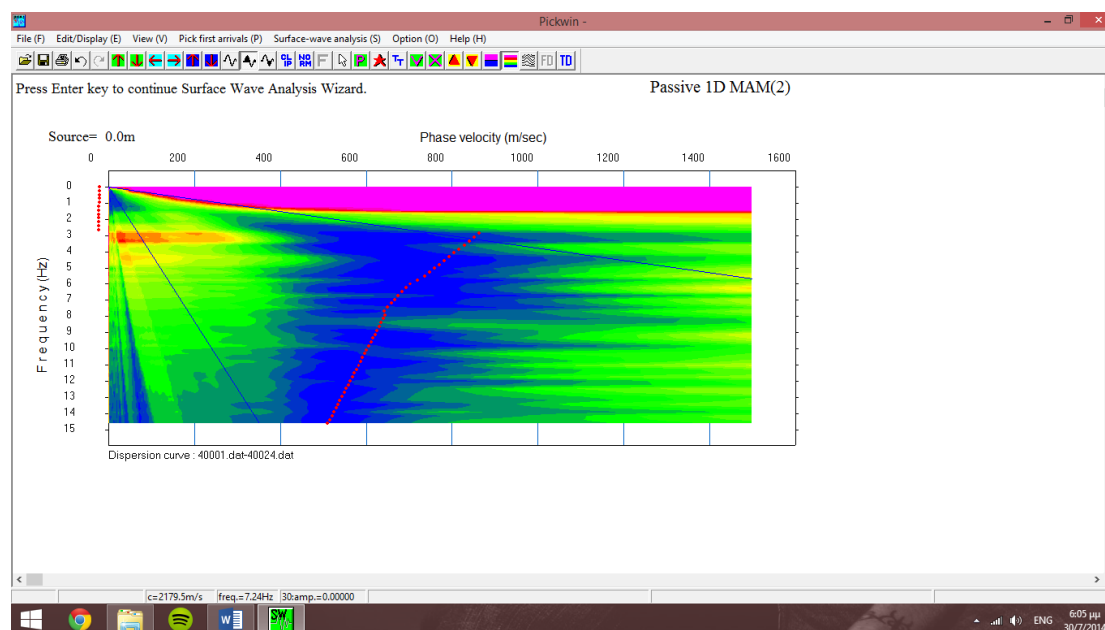
Όπου,

ω =γωνιακή συχνότητα και k =κυματαριθμός

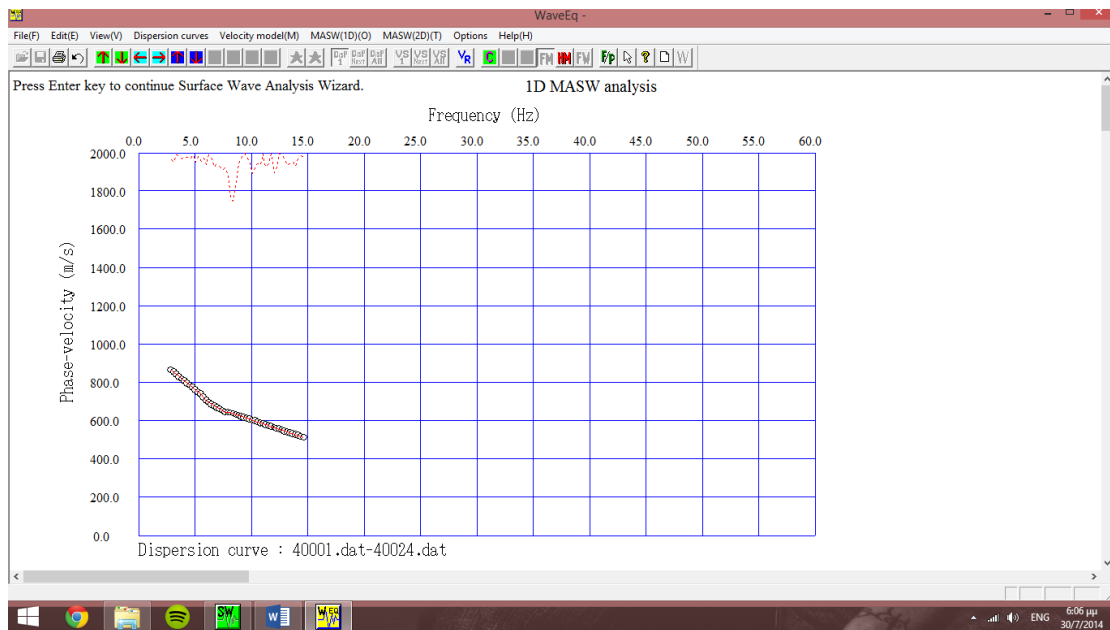
δηλαδή στο πεδίο ταχύτητας (φάσης ή ομάδας) - συχνότητας, ή ταχύτητας (φάσης ή ομάδας) - μήκους κύματος (ή κυματαριθμού) ή συχνότητας – κυματαριθμού (Κρητικάκης, 2010).

Ο προσδιορισμός της διασποράς των σεισμικών κυμάτων είναι δυνατό να εκτιμηθεί από οποιαδήποτε χωρική ανάλυση των καταγραφών στις συνιστώσες της ταχύτητας φάσης και της συχνότητας. Αυτό προϋποθέτει την καταγραφή σεισμικών κυμάτων τουλάχιστον σε 2 θέσεις παρατήρησης. Ο υπολογισμός της ταχύτητας με την οποία διαδίδονται τα διαφορετικά μήκη κύματος των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh μεταξύ δύο δεκτών αποτελεί την καμπύλη διασποράς των εν λόγω κυμάτων. Οι περιορισμοί που προκύπτουν από την χρήση 2 δεκτών αποτυπώνονται στην ποιότητα των καμπυλών διασποράς. Επομένως, για την καταγραφή των επιφανειακών κυμάτων, χρησιμοποιείται ανάπτυγμα (περισσότερων από 2) δεκτών με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο υπολογισμός του φάσματος φάσης για κάθε ζεύγος δεκτών, ενώ ο υπολογισμός της βέλτιστης καμπύλης διασποράς πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Κρητικάκης, 2010) .

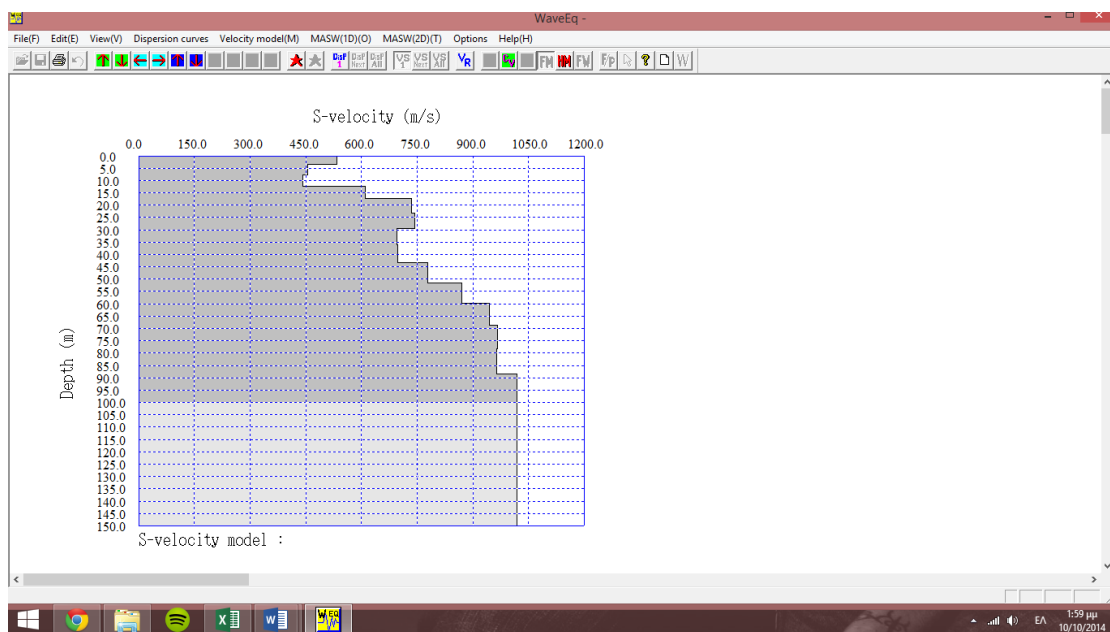
Στο σχήμα 2.29 απεικονίζεται μια πρώτη προσέγγιση της καμπύλης διασποράς. Στο σχήμα 2.30 παρουσιάζεται η καμπύλη διασποράς και στα σχήματα 2.31 και 2.32 παρουσιάζονται το αρχικό και τελικό μοντέλο αντίστοιχα.



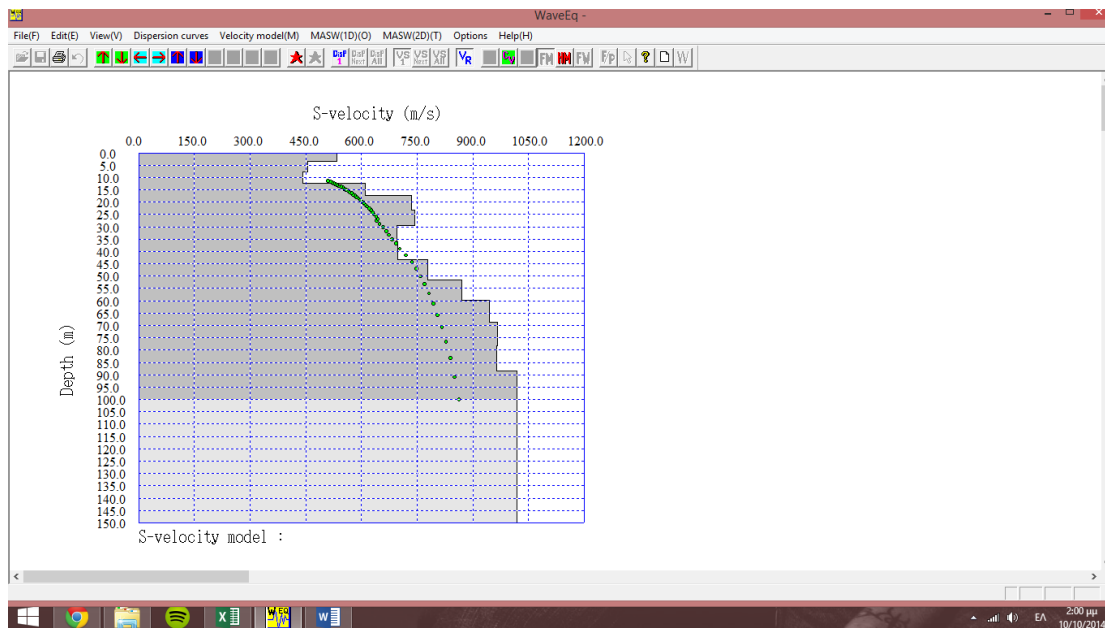
Σχήμα 2.29: Μία πρώτη προσέγγιση της καμπύλης διασποράς. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ταχύτητα (m/s) και στον κατακόρυφο απεικονίζεται η συχνότητα (Hz).



Σχήμα 2.30: Καμπύλη διασποράς. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η συχνότητα (Hz) και στον κατακόρυφο η ταχύτητα (m/s).



Σχήμα 2.31: Αρχικό μοντέλο της ταχύτητας των εγκάρσιων κυμάτων. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ταχύτητα (m/s) και στον κατακόρυφο το βάθος (m).



Σχήμα 2.32: Τελικό μοντέλο της ταχύτητας των εγκαρσίων κυμάτων. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η ταχύτητα (m/s) και στον κατακόρυφο το βάθος (m).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

3.1 ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην οδό Δραγούμη στα Χανιά και στην οδό Δασκαλογιάννη στη Παλαιόχωρα. Στον πίνακα 3.1 δίνονται οι συντεταγμένες των γραμμών μελέτης της ηλεκτρικής τομογραφίας και της σεισμικής διάθλασης στην περιοχή των Χανίων και στον πίνακα 3.3 δίνονται οι συντεταγμένες στην περιοχή Παλαιόχωρας για την ηλεκτρική τομογραφία, τη σεισμική τομογραφία και 2D MASW. Στον πίνακα 3.2 απεικονίζονται οι συντεταγμένες της γεώτρησης στα Χανιά και στο πίνακα 3.4 για την Παλαιόχωρα αντίστοιχα. Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας, της σεισμικής διάθλασης καθώς και τις συντεταγμένες γεώτρησης στην περιοχή των Χανίων. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης της ηλεκτρικής τομογραφίας, σεισμικής τομογραφίας, 2D MASW καθώς και της γεώτρησης στην περιοχή της Παλαιόχωρας.

Πίνακας 3.1: Συντεταγμένες των γραμμών μελέτης της ηλεκτρικής τομογραφίας (ERT1) και της σεισμικής διάθλασης στην περιοχή των Χανίων (Seismic Line 1).

γραμμή μελέτης	θέση	X (ΕΓΣΑ '87)	Y (ΕΓΣΑ '87)	Z
ηλεκτρική τομογραφία	αρχή	502679,045	3929828,577	25,682
	τέλος	502929,615	3929814,758	43,374
σεισμική γραμμή	αρχή	502678,806	3929829,648	20,000
	τέλος	502747,117	3929825,974	21,000

Πίνακας 3.2: Συντεταγμένες γεώτρησης στα Χανιά.

Χανιά	X	Y
συντεταγμένες γεώτρησης	502696	3929828



Σχήμα 3.1: Θέσεις των γραμμών μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας (πράσινη γραμμή), της σεισμικής διάθλασης (κίτρινη γραμμή) καθώς και της γεώτρησης (μπλέ σημείο) στην περιοχή των Χανίων.

Πίνακας 3.3: Συντεταγμένες στην περιοχή Παλαιόχωρας για την ηλεκτρική τομογραφία (ERT1), τη σεισμική τομογραφία (Seismic Line 1) και 2D MASW.

γραμμή μελέτης	θέση	X (ΕΓΣΑ '87)	Y (ΕΓΣΑ'87)	Z
ηλεκτρική τομογραφία	αρχή	470971,350	3898577,324	5,298
	τέλος	470879,488	3898290,457	12,052
σεισμική διάθλαση	αρχή	470945,890	3898409,750	13,412
	τέλος	470963,790	3898473,460	18,915
2D MASW	αρχή	470908,940	3898378,800	13,520
	τέλος	470944,490	3898492,170	14,410

Πίνακας 3.4: Συντεταγμένες γεώτρησεις στην Παλαιόχωρα.

Παλαιόχωρα	X	Y
συντεταγμένες γεώτρησης	470928	3898468



Σχήμα 3.2: Θέσεις των γραμμών μελέτης της ηλεκτρικής τομογραφίας (κόκκινη γραμμή), σεισμικής τομογραφίας (γαλάζια γραμμή-πάνω στην γραμμή), 2D MASW (πράσινη γραμμή) καθώς και της γεώτρησης (μπλέ σημείο) στην περιοχή της Παλαιόχωρας.

Στη συνέχεια ακολουθούν πίνακες 3.5 και 3.6 που απεικονίζουν τα δεδομένα Πρότυπης Δοκιμής Διείσδυσης (Standard Penetration Test) και από τις δοκιμές περατότητας (Maag) ανά γεώτρηση για Χανιά και Παλαιόχωρα αντίστοιχα.

Πίνακας 3.5: Βάθος δοκιμών Πρότυπης Διείσδυσης ανά γεώτρηση για Χανιά και Παλαιόχωρα.

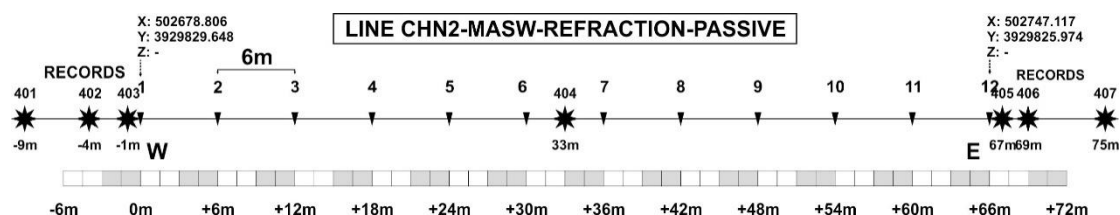
Χανιά	1,50-1,95	3,00-3,45	4,60-5,05	15,00-15,45	20,00-20,54	25,30-25,53
Παλαιόχωρα	1,70-1,84	3,00-3,42	19,50-19,68			

Πίνακας 3.6: Βάθη (m) δοκιμών περατότητας (Maag) για την γεώτρηση στα Χανιά και την Παλαιόχωρα.

Χανιά	7,50-8,50
Παλαιόχωρα	22,00-22,70

3.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

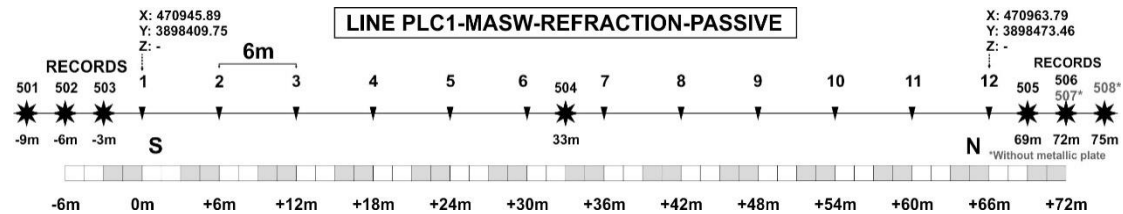
Για τις περιοχές μελέτης των Χανίων επί της οδού Δραγούμη και της Παλαιόχωρας επί της οδού Δακαλογιάννη συλλέχθηκαν δεδομένα ηλεκτρικής τομογραφίας, σεισμικής διάθλασης, πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh (MASW), καθώς επίσης και δεδομένα με τη μέθοδο Refraction-Microtremor. Για τα γεωφυσικά δεδομένα με την μέθοδο της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων και της σεισμικής διάθλασης στα Χανιά (σχήμα 3.3) πραγματοποιήθηκε γραμμή μελέτης με διεύθυνση από τη Δύση στην ανατολή, χρησιμοποιώντας 12 γεώφωνα κατακόρυφης ιδιοσυχνότητας 4,5Hz. Ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 0.125ms, με διάρκεια καταγραφής 1000ms, η ισαπόσταση γεωφώνων ήταν 6m καθώς και το συνολικό μήκος αναπτύγματος γεωφώνων ήταν 66m. Τέλος, ως σεισμική πηγή χρησιμοποιήθηκε βαριοπούλα 8kg καθώς και ο σειсмоγράφος ήταν 12κάναλος GEODE της Geometrics. Για την απόκτηση των γεωφυσικών δεδομένων με την μέθοδο Refraction-Microtremor στα Χανιά χρησιμοποιήθηκε το ίδιο αναπτύγμα γεωφώνων και ο ίδιος εξοπλισμός (εκτός από τη σεισμική πηγή) με τη μόνη διαφορά ότι ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 2ms, η διάρκεια καταγραφής 32.768 ms, ενώ αποκτήθηκαν επίσης 24 καταγραφές (FFID: 40001 - 40024) μικροθρόβου. Στην ηλεκτρική τομογραφία οι διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η διάταξη Gradient και η διάταξη Wenner-Shlumberger. Χρησιμοποιήθηκαν 64 ηλεκτρόδια σε ισαποστάσεις των 4 μέτρων, ενώ το όργανο μέτρησης ήταν το SyscalPro της IRIS.



Σχήμα 3.3: Γεωμετρία της σεισμικής γραμμής μελέτης στην περιοχή των Χανίων.

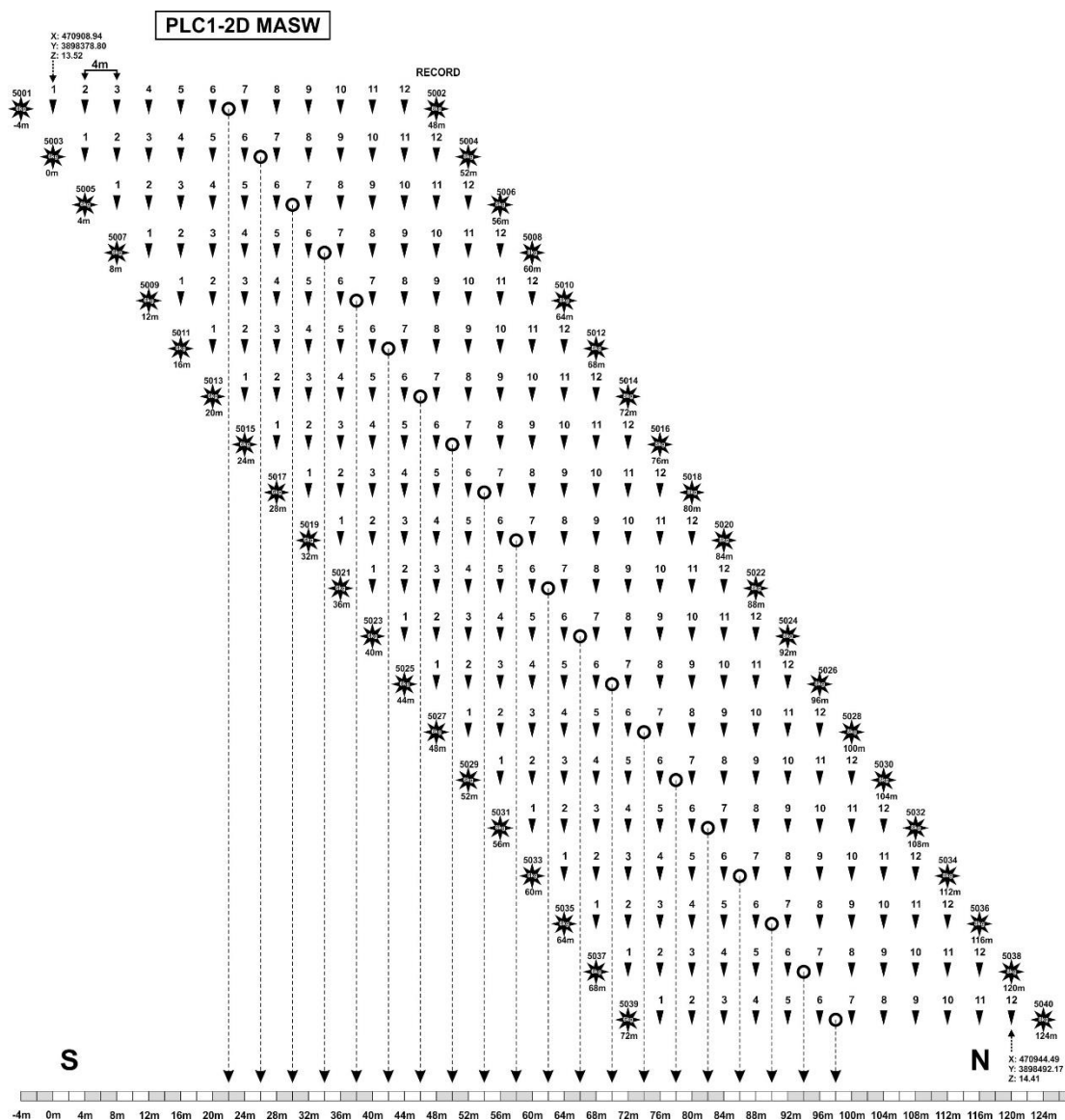
Για τα γεωφυσικά δεδομένα με την μέθοδο πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων και τις σεισμικής διάθλασης στην Παλαιόχωρα (σχήμα 3.4) πραγματοποιήθηκε γραμμή μελέτης με διεύθυνση από το Νότο στο Βορρά, χρησιμοποιώντας 12 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας με ιδιοσυχνότητα 4,5Hz. Ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 0.125ms με διάρκεια καταγραφής 1000ms, η ισαπόσταση γεωφώνων ήταν 6m και το συνολικό μήκος αναπτύγματος γεωφώνων ήταν 66m. Επίσης, ως σεισμική πηγή χρησιμοποιήθηκε βαριοπούλα 8kg καθώς και ο σειсмоγράφος ήταν 12κάναλος GEODE της Geometrics. Για τα γεωφυσικά δεδομένα με την μέθοδο Refraction-Microtremor στην Παλαιόχωρα πραγματοποιήθηκε γραμμή μελέτης με διεύθυνση από το Νότο στο Βορρά, χρησιμοποιώντας 12 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας με ιδιοσυχνότητα 4,5Hz. Ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 2ms με διάρκεια καταγραφής 32.768 ms, ο αριθμός εγγραφών ήταν 24 (FFID: 50.001 - 50.024), η ισαπόσταση γεωφώνων ήταν 6m και το συνολικό μήκος αναπτύγματος γεωφώνων ήταν 66m. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκε το ίδιο ανάπτυγμα γεωφώνων όμως στη μέθοδο Refraction-Microtremor καταγράφηκε μικροθρόβος χωρίς την δημιουργία τεχνητής δόνησης

τόσο στα Χανιά όσο και την Παλαιόχωρα. Δηλαδή η καταγραφή έγινε σύμφωνα με τις δονήσεις που πραγματοποιούνται στο έδαφος κάθε στιγμή χωρίς την δική μας παρέμβαση. Στην ηλεκτρική τομογραφία οι διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η διάταξη Gradient και η διάταξη Wenner. Το όργανο μέτρησης ήταν το Syscal Pro της IRIS με δυνατότητα έως 96 ηλεκτρόδια.



Σχήμα 3.4: Γεωμετρία της σεισμικής γραμμής μελέτης στην περιοχή της Παλαιόχωρας.

Στην Παλαιόχωρα (σχήμα 3.5) πραγματοποιήθηκε γραμμή μελέτης με διεύθυνση από Νότο προς Βορρά, χρησιμοποιώντας την μέθοδο MASW-2D και 12 γεωφώνια κατακόρυφης συνιστώσας με ιδιοσυχνότητα 4,5Hz. Ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 0.125ms με διάρκεια καταγραφή 1000ms, η ισαπόσταση γεωφώνων ήταν 4m και το συνολικό μήκος αναπτύγματος γεωφώνων ήταν 120m. Επίσης, ως σεισμική πηγή χρησιμοποιήθηκε βαριοπούλα 8kg καθώς και ο σειсмоγράφος ήταν 12κάναλος GEODE της Geometrics.

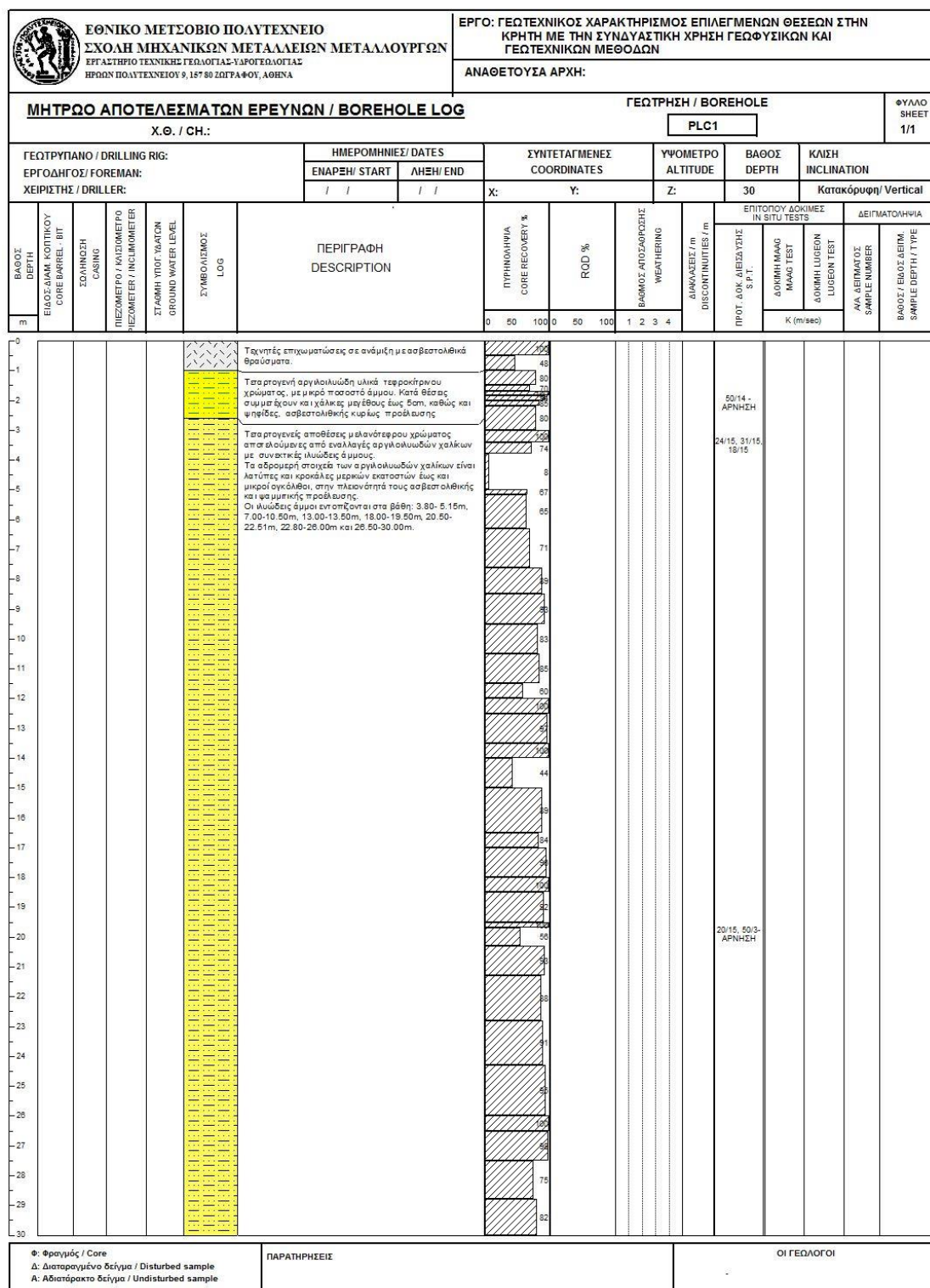


Σχήμα 3.5: Γεωμετρία της MASW γραμμής μελέτης στην περιοχή της Παλαιόχωρας.


3.3 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην παρούσα ενότητα παρατίθενται δεδομένα των γεωτρήσεων που διατρήθηκαν στα Χανιά (CHN-2) και στην Παλαιόχωρα (PLC-1). Οι γεωτρήσεις διατρήθηκαν με συνεχή πυρηνοληψία ενώ πραγματοποιήθηκαν επί τόπου δοκιμές εντός των γεωτρήσεων. Οι συντεταγμένες των γεωτρήσεων φαίνονται στους πίνακες 3.1 και 3.2. Η δειγματοληψία έγινε με διαιρούμενη καρτοαρία διπλού τοιχώματος T6S-101 στα ημίσκληρα και σκληρά πετρώματα. Στα μαλακά πετρώματα επιδιώχθηκε η λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων με δειγματολήπτη τύπου Shelby. Στα σχήματα 3.6 και 3.7 αναγράφονται τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT. Στην γεώτρηση της Παλαιόχωρας (σχήμα 3.6) παρατηρούνται 3 στρώματα. Το πρώτο επιφανειακό στρώμα σε βάθος από 0 έως 1m, έχει επιχωματώσεις. Το δεύτερο στρώμα σε βάθος από 1 έως 3m, έχει τετατρογενή αργιλολυώδη. Τέλος το τρίτο στρώμα σε βάθος μεγαλύτερο από 3m έως 30m, έχει τετατρογενή, αργιλολυώδη με εναλλαγές αλλούχων αριζόντων. Στο σχήμα 3.7 στην γεώτρηση για τα Χανιά παρατηρούνται 3 στρώματα. Το πρώτο επιφανειακό

στρώμα σε βάθος από 0 έως 2,5m έχει τεχνητές επιχωματώσεις και αργιλολυώδη υλικά. Το δεύτερο στρώμα σε βάθος από 2,5 έως 14m, έχει ερυθρή άργιλο. Και τέλος το τρίτο στρώμα σε βάθος μεγαλύτερο από 14m έχει μάργες.



Σχήμα 3.6: Τομή γεώτρησης στην Παλαιόχωρα που απεικονίζει πυρηνοληψία, βαθμό αποσάθρωσης, δοκιμή SPT.

 ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΕΩΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ-ΥΠΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΗΡΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9, 157 02 ΖΩΓΡΑΦΟΥ, ΑΘΗΝΑ		ΕΡΓΟ: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΘΕΤΟΥΣΑ ΑΡΧΗ:											
ΜΗΤΡΩΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ / BOREHOLE LOG Χ.Θ. / CH.:		ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE CHN2		ΦΥΛΛΟ SHEET 1/1									
ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΟ / DRILLING RIG: ΕΡΓΟΔΗΓΟΣ / FOREMAN: ΧΕΙΡΙΣΤΗΣ / DRILLER:		ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ / DATES ΕΝΑΡΞΗ / START ΛΗΞΗ / END		ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ COORDINATES Χ: Y: Z:	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ALTITUDE 30	ΚΛΙΣΗ INCLINATION Κατακόρυφη / Vertical							
ΒΑΘΟΣ DEPTH m	ΕΙΔΟΣ ΔΙΑΚ. ΚΟΡΤΗΚΟΥ CORE BARREL - BIT	ΣΤΑΘΜΟΣ CASING	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ / ΚΛΙΝΟΜΕΤΡΟ PIEZOMETER / INCLINOMETER	ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓ. ΎΔΑΤΩΝ GROUND WATER LEVEL	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ LOG	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ DESCRIPTION	ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΑ CORE RECOVERY % 0 50 100	RQD % 0 50 100	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΣΦΑΙΡΙΣΗΣ WEATHERING 1 2 3 4	ΔΙΑΚΟΝΕΣ / m DISCONTINUITIES / m	ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ IN SITU TESTS ΠΡΟΤ. ΔΟΚ. ΔΙΕΣΤΑΣΗΣ S.P.T. ΔΟΚΙΜΗ ΜΑΔΩ MADW TEST ΔΟΚΙΜΗ LUGEON LUGEON TEST K (m/sec)	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ Α/Α ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ SAMPLE NUMBER ΒΑΘΟΣ / ΕΙΔΟΣ ΔΕΙΓΜ. SAMPLE DEPTH / TYPE	
0						Ταχυντές επιχωματώσεις από αργιλοειδή υλικά και θραύσματα σβεστιάς ολικής προέλευσης.	91						
1						Αλλοιβάτες αποθέσεις, ερυθροκάστανου χρώματος σε ανάμειξη με υλικά του αλλοιβάτου μονάδας του Νεογενούς. Πρόκειται για χαλαρά έως ημισυνεπτικά αργιλοσμιμώδη εδαφικά υλικά, με θραύσματα σβεστιάς-αργιλικής σύστασης, σε μικρότερο ποσοστό.	75					29/15, 27/15, 37/15	
2							81						
3						Αργίλος, στεγνή ερυθρού χρώματος, με αυξημένο ποσοστό άμμου. Κατά θέσεις, αντιτίθενται λεπτά σβεστιάς συγκρίσματα.	67					10/15, 21/15, 30/15	
4							58						
5							50					7/15, 14/15, 28/15	
6							49						
7							30						
8							27						
9							20					SPT ?	
10							14						
11						Μαργακός ψαμμίτης έως ψαμμούχα μέτρα κτηνέμβρου χρώματος. Κατά θέσεις αντιτίθενται χάλκεις σβεστιάς-μαργακής σύστασης.	14					1/15, 1/15, 2/15	
12							38						
13							14						
14							40						
15							100					9/15, 6/15, 5/15	
16							80						
17						Αργιλομέτρα κτηνέμβρου χρώματος, κατά θέσεις αντιτίθενται σβεστιάς-μαργακούς συγκρίσματα που πυκνώνουν στο βάθος των 19.70m - 19.80m.	80						
18							80						
19							60						
20							80						
21							84					4/15, 2/15, 2/15	
22							70						
23						Μαργακός ψαμμίτης, κτηνέμβρου χρώματος, μέτρα έως ισχυρά συνεκτικά.	74						
24							72						
25						Αργιλομέτρα, όπως στο βάθος 16.90 - 23.00m. Στα 2,5 τελευταία μέτρα εντοπίζονται λεπτές πορφυροειδείς μαργακούς ψαμμίτη.	100					20/15, 50/15-ΑΡΧΗ	
26							40						
27							56						
28													
29													
30													
Φ: Φραγμός / Core Δ: Διαταραγμένο δείγμα / Disturbed sample Α: Αδιστάρακτο δείγμα / Undisturbed sample		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ		ΟΙ ΓΕΩΛΟΓΟΙ									

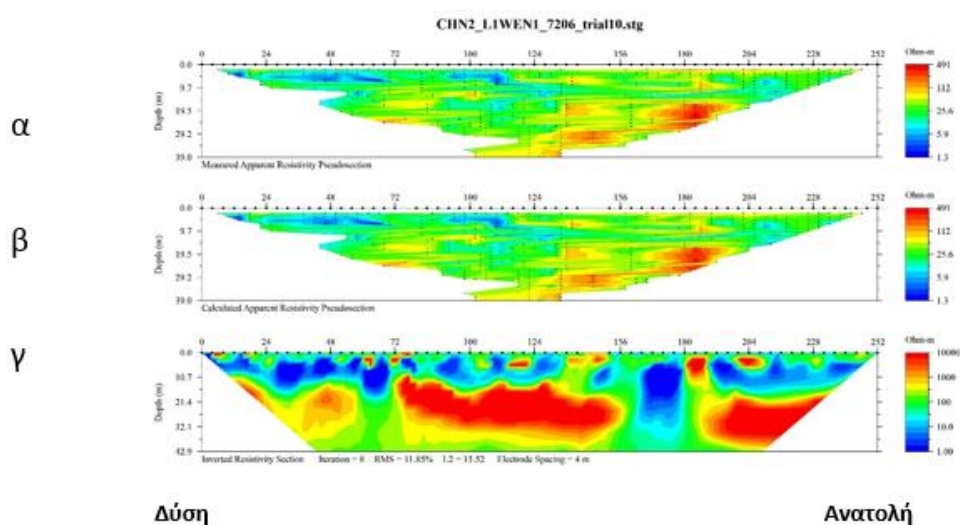
Σχήμα 3.7: Τομή γεώτρησης στα Χανιά που απεικονίζει πυρηνοληψία, RQD, βαθμό αποσάθρωσης, δοκιμή SPT.

3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

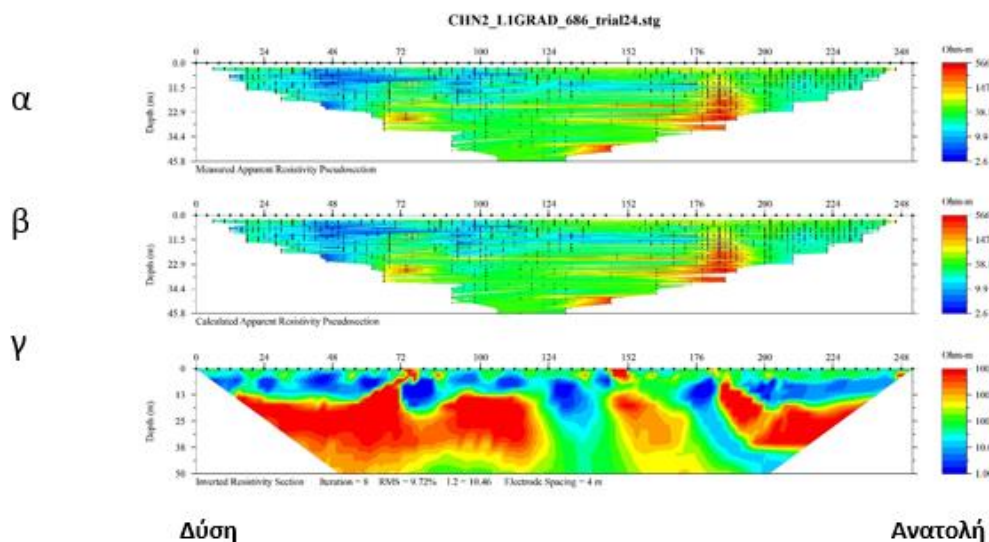
3.4.1 Αποτελέσματα ηλεκτρικής τομογραφίας

Η μέθοδος της αντιστροφής με περιορισμούς εξομάλυνσης αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο για την ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων και για την ανακατασκευή ακόμα και πολύπλοκων δομών του υπεδάφους σε δύο και τρεις διαστάσεις.

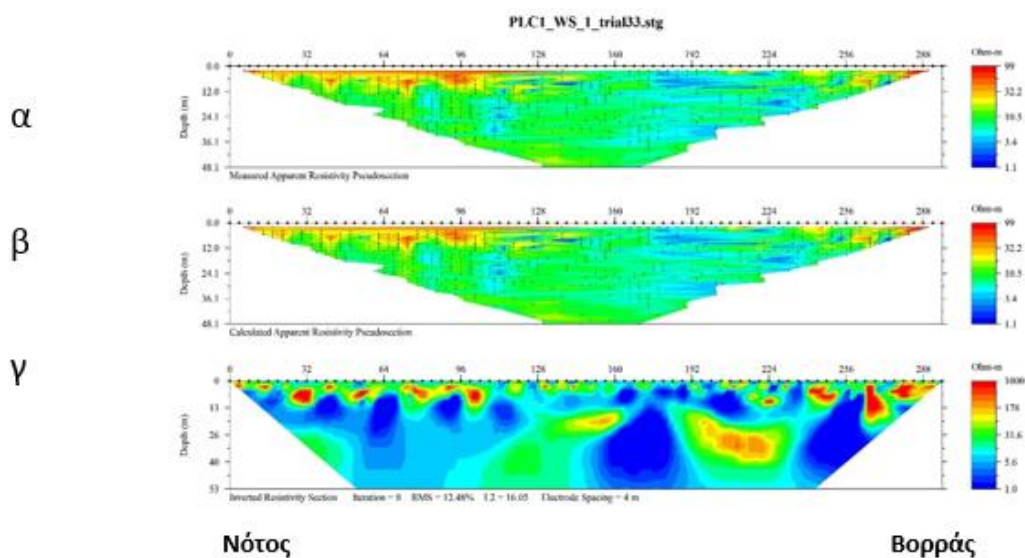
Ακολουθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της ηλεκτρικής τομογραφίας, όπου απεικονίζεται η μετρούμενη ψευδοτομή και η υπολογισμένη ψευδοτομή, η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος. Τέλος παρουσιάζεται η γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την κάθε γραμμή μελέτης. Παρουσιάζεται επίσης το μέσο εκατοστιαίο σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και της υπολογισμένης ψευδοτομής. Η συλλογή δεδομένων με τη μέθοδο ηλεκτρικής τομογραφίας στην περιοχή των Χανίων και Παλαιόχωρας πραγματοποιήθηκε με δύο διατάξεις: τη διάταξη Wenner - Schlumberger (σχήματα 3.8 και 3.10) και τη διάταξη Gradient (σχήματα 3.9 και 3.11). Στα σχήματα παρατηρείται ότι τα στρώματα για κάθε γραμμή μελέτης στην ηλεκτρική τομογραφία είναι τρία.



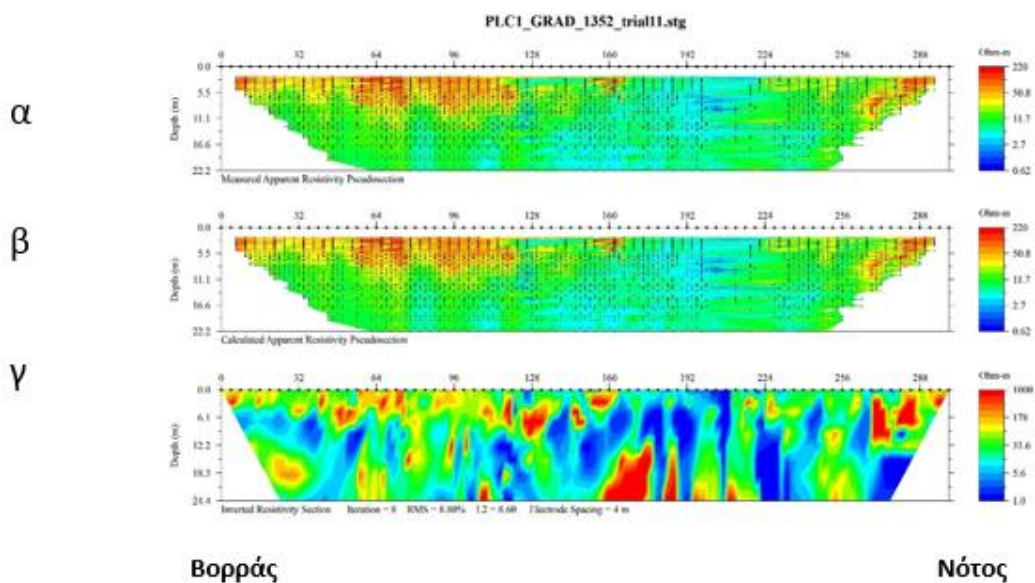
Σχήμα 3.8: α) Μετρούμενη, β) υπολογισμένη ψευδοτομή και γ) γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τα Χανιά με τη χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Wenner- Schlumberger . Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 11,85%. Ο κάθετος άξονας 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 Ωm.



Σχήμα 3.9: α) Μετρούμενη, β) υπολογισμένη ψευδοτομή και γ) γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τα Χανιά με τη χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Gradient. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 9,72%. 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 Ωm .



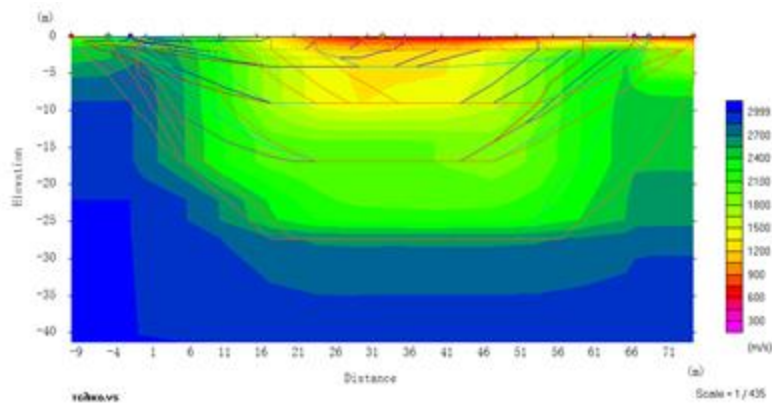
Σχήμα 3.10: α) Μετρούμενη, β) υπολογισμένη ψευδοτομή και γ) γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Παλαιόχωρα με τη χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Wenner-Schlumberger. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 12,48%. Ο κάθετος 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 Ωm .



Σχήμα 3.11: α) Μετρούμενη, β) υπολογισμένη ψευδοτομή και γ) γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την Παλαιόχωρα με τη χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Gradient. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 8,8%. 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 Ωm .

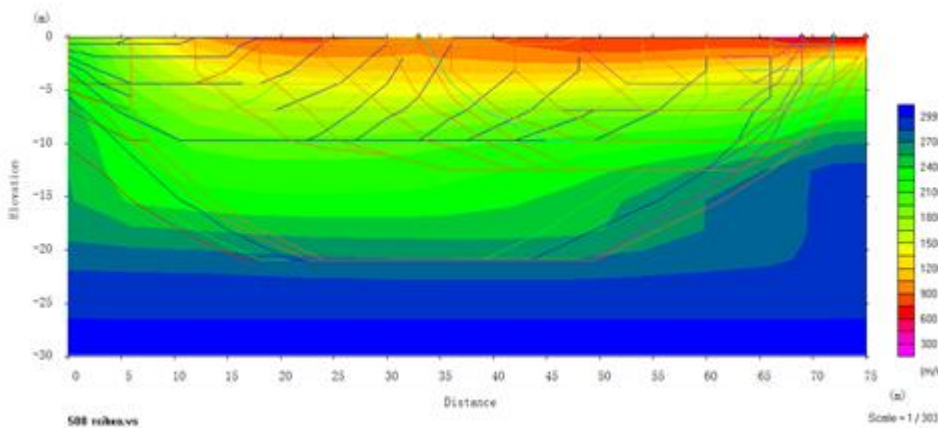
3.4.2 Αποτελέσματα σεισμικής διάθλασης

Ακολουθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της σεισμικής διάθλασης όπου απεικονίζεται το τελικό μοντέλο βάθους που φαίνονται οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Στα σχήματα 3.12 και 3.13 απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου 35m για τα Χανιά (σχήμα 3.12) και 25m για την Παλαιόχωρα (σχήμα 3.13). Η στήλη στα δεξιά δείχνει τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για την στρωματογραφία. Στο σχήμα 3.12 παρατηρείται ότι από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τα 3m υπάρχει ένα στρώμα που παρουσιάζει μικρές ταχύτητες διάδοσης (εώς 1000 m/s περίπου). Κάτω από αυτό το στρώμα υπάρχει ένα δεύτερο με μεγαλύτερες ταχύτητες (φτάνουν τα 2400 m/s) που εκτείνεται σε μέσο βάθος 25m. Το τρίτο στρώμα παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες (πάνω από 2400 m/s).



Σχήμα 3.12: Σεισμική τομή για τα Χανιά που προέκυψε από την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας. 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 (Ρ-κυμάτων)(σε m/s).

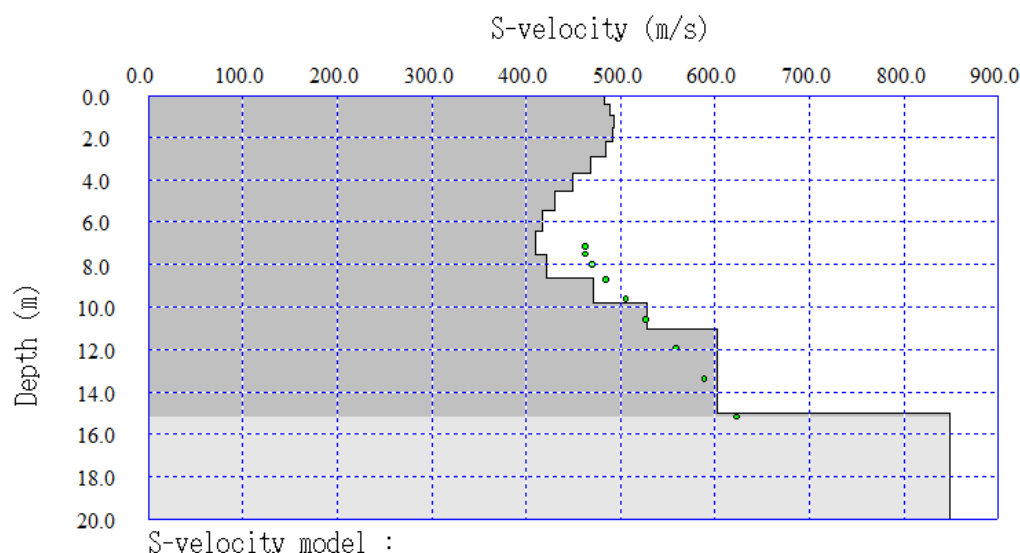
Στο σχήμα 3.13 παρατηρείται ότι από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τα 5m υπάρχει ένα στρώμα που παρουσιάζει μικρές ταχύτητες διάδοσης (εώς 1500 m/s περίπου). Κάτω από αυτό το στρώμα υπάρχει ένα δεύτερο με μεγαλύτερες ταχύτητες (φτάνουν τα 2400 m/s) που εκτείνεται σε μέσο βάθος 20m. Το τρίτο στρώμα, που εκτείνεται σε βάθος μεγαλύτερο από αυτό της διασκόπησης, παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες (πάνω από 2400 m/s).



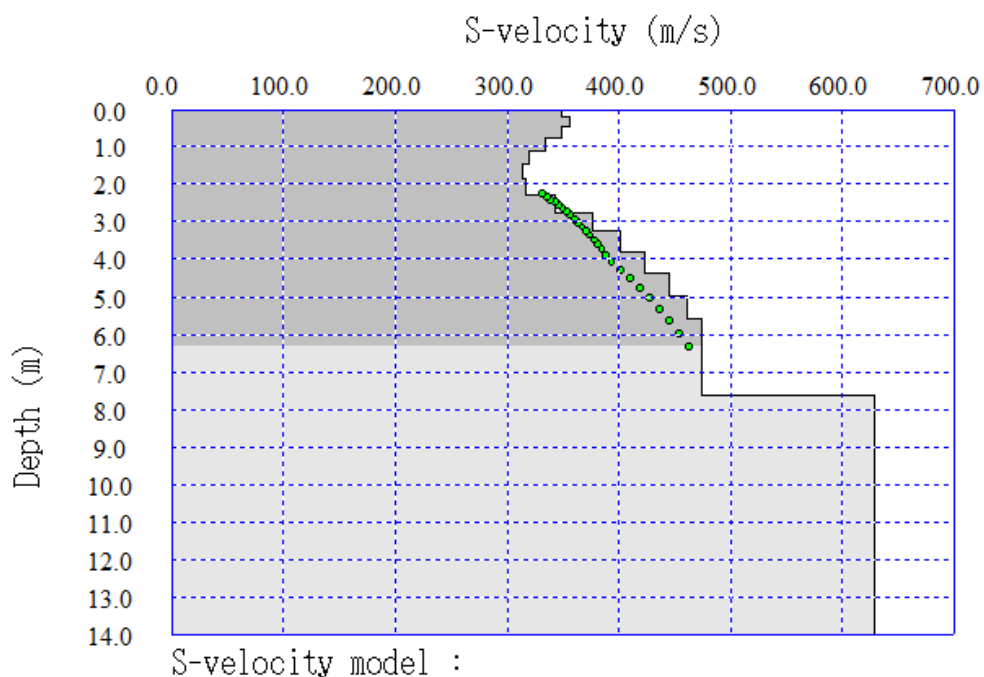
Σχήμα 3.13: Σεισμική τομή για την Παλαιόχωρα που προέκυψε από την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος τις αποστάσεις κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά δείχνει τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (Ρ-κυμάτων)(σε m/s).

3.4.3 Αποτελέσματα MASW και Re-Mi

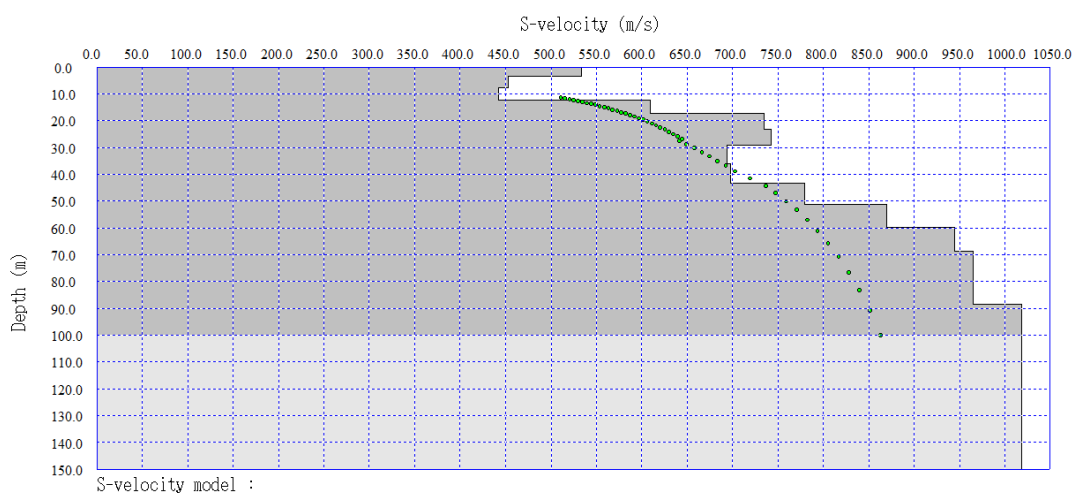
Ακολουθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της MASW. Στα σχήματα 3.14, 3.15, 3.16 και 3.17 απεικονίζονται τα τελικά μοντέλα με οριζόντιο άξονα την ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων (m/s) και κατακόρυφο άξονα το βάθος (m) από την επιφάνεια του εδάφους. Στο σχήμα 3.14 παρουσιάζεται, για την περιοχή των Χανίων, στην αρχή μια αύξηση της ταχύτητας (490m/s) μέχρι τα 2m, από τα 2m έως και τα 8m παρουσιάζεται μείωση της ταχύτητας (405m/s) και από τα 8m έως τα 11m αυξάνεται η ταχύτητα στα 600m/s όπου είναι σταθερή έως και τα 15m. Από τα 15m έως και τα 20m αυξάνεται η ταχύτητα στα 850m/s όπου παραμένει και σταθερή. Στο σχήμα 3.15 παρουσιάζεται στην αρχή μια αύξηση της ταχύτητας (360m/s) μέχρι το 1m, από τα 1m έως και τα 2,5m παρουσιάζεται μείωση της ταχύτητας (310m/s) και από τα 2,5m έως τα 6m αυξάνεται η ταχύτητα στα 580m/s όπου είναι σταθερή έως και τα 7,7m. Από τα 7,7m έως και τα 14m αυξάνεται η ταχύτητα στα 620m/s όπου παραμένει και σταθερή. Στο σχήμα 3.16 παρουσιάζεται στην αρχή μια αύξηση της ταχύτητας στη συνέχεια μείωση της ταχύτητας και μετά πάλι αύξηση της ταχύτητας (740m/s) μέχρι τα 30m, από τα 30m μέχρι τα 40m παρουσιάζεται μείωση της ταχύτητας και μετά πάλι αύξησή της έως τα 1010m/s στα 100m. Στη συνέχεια η ταχύτητα παραμένει σταθερή μέχρι τα 150m. Στο σχήμα 3.17 παρουσιάζεται αύξηση και μετά μείωση της ταχύτητας και στη συνέχεια αύξηση της ταχύτητας στα 700m/s στα 60m και από εκεί και κάτω παραμένει σταθερή στα 800m/s περίπου. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι μέχρι το έντονο γκρί του σχήματος παρουσιάζονται αξιόπιστα αποτελέσματα με μέγιστο βάθος στο σημείο εναλλαγής της απόχρωσης του γκρί. Κάτω από το σημείο εναλλαγής της απόχρωσης τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο αξιόπιστα.



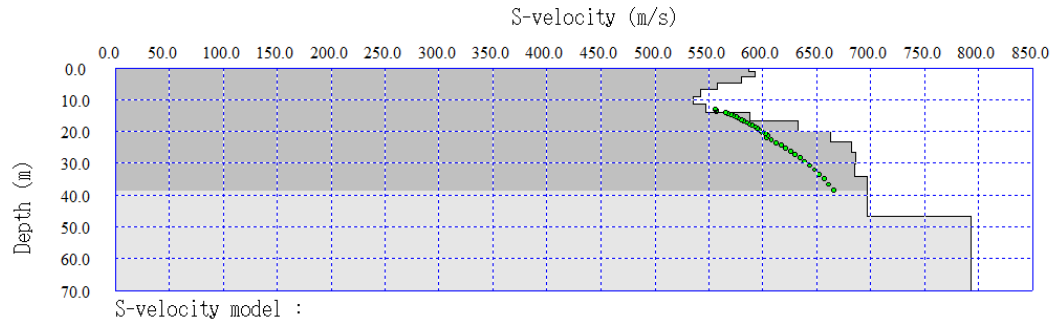
Σχήμα 3.14: Κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος για την περιοχή των Χανίων που προέκυψε με την μέθοδο MASW. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει την ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων (σε m/s).



Σχήμα 3.15: Κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος για την περιοχή της Παλαιόχωρας που προέκυψε με την μέθοδο MASW. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει την ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων (σε m/s).



Σχήμα 3.16: Κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος για την περιοχή των Χανίων που προέκυψε με την μέθοδο Refraction Microtremor. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει την ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων (σε m/s).

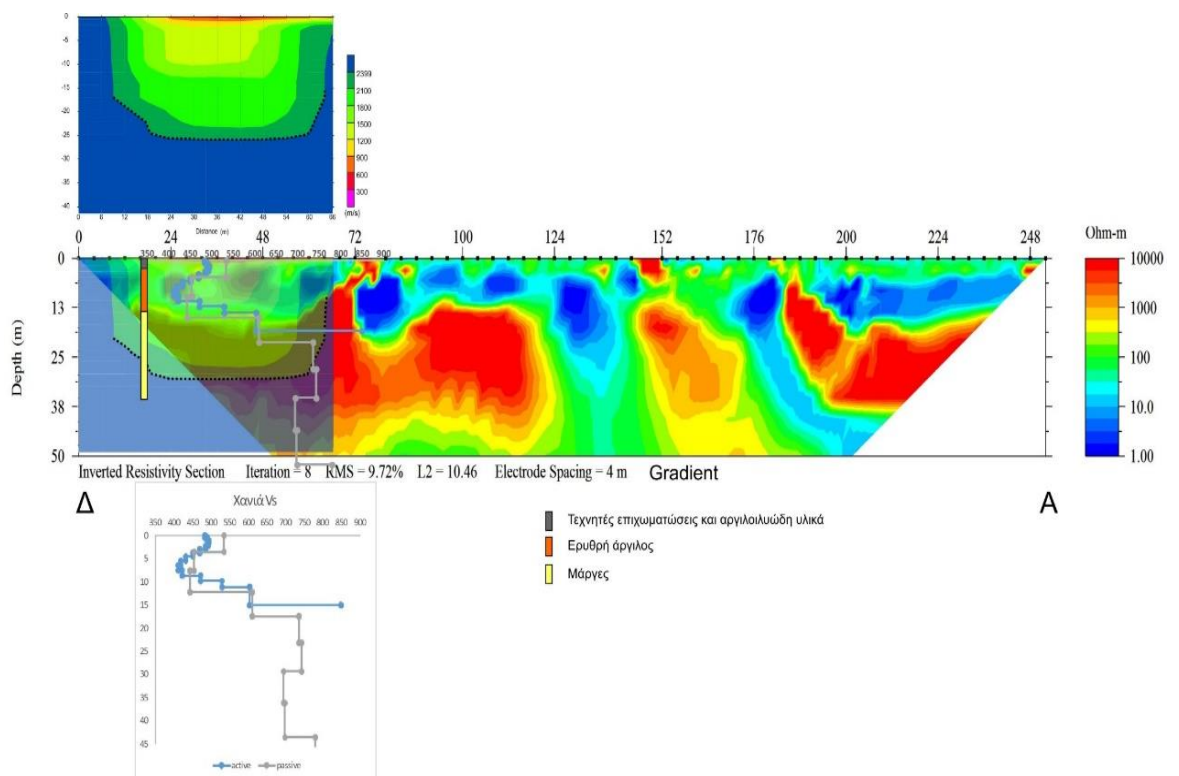


Σχήμα 3.17: Κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος για την περιοχή της Παλαιόχωρας που προέκυψε με την μέθοδο Refraction Microtremor. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει την ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων (σε m/s).

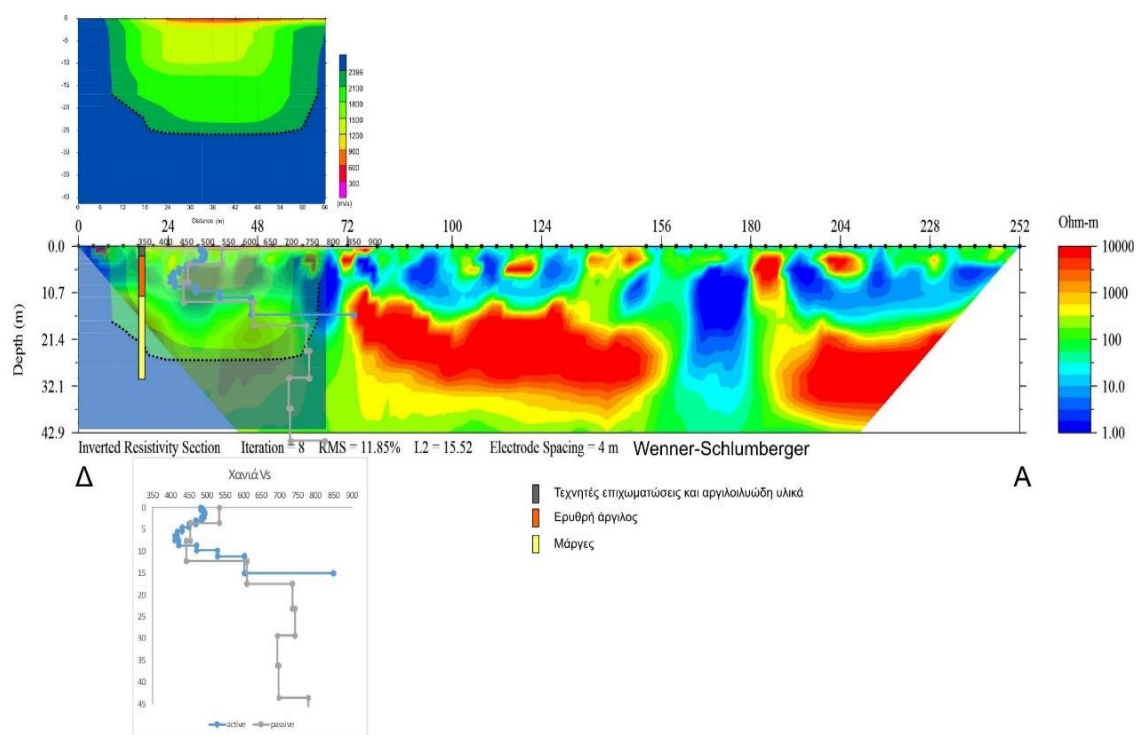
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ-ΥΠΕΡΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ακολουθούν σχήματα με συνδυαστική αναπαράσταση. Οι μέθοδοι που συγκρίθηκαν είναι η ηλεκτρική τομογραφία για διάταξη Gradient και Wenner-Schlumberger αντίστοιχα με την σεισμική διάθλαση καθώς και τα διαγράμματα ταχύτητας (m/s) προς το βάθος (m). Στο σχήμα 4.1 απεικονίζεται η υπέρθεση για τα Χανιά μεταξύ γεωηλεκτρικής τομής (διάταξη Gradient), μοντέλου σεισμικής ταχύτητας και διαγραμμάτων ταχύτητας (m/s) προς το βάθος (m). Στο σχήμα 4.2 απεικονίζεται η υπέρθεση για τα Χανιά μεταξύ γεωηλεκτρικής τομής (Wenner-Schlumberger), μοντέλου σεισμικής ταχύτητας και διαγραμμάτων ταχύτητας (m/s) προς το βάθος (m). Επίσης παρατίθεται και η τομή της γεώτρησης.



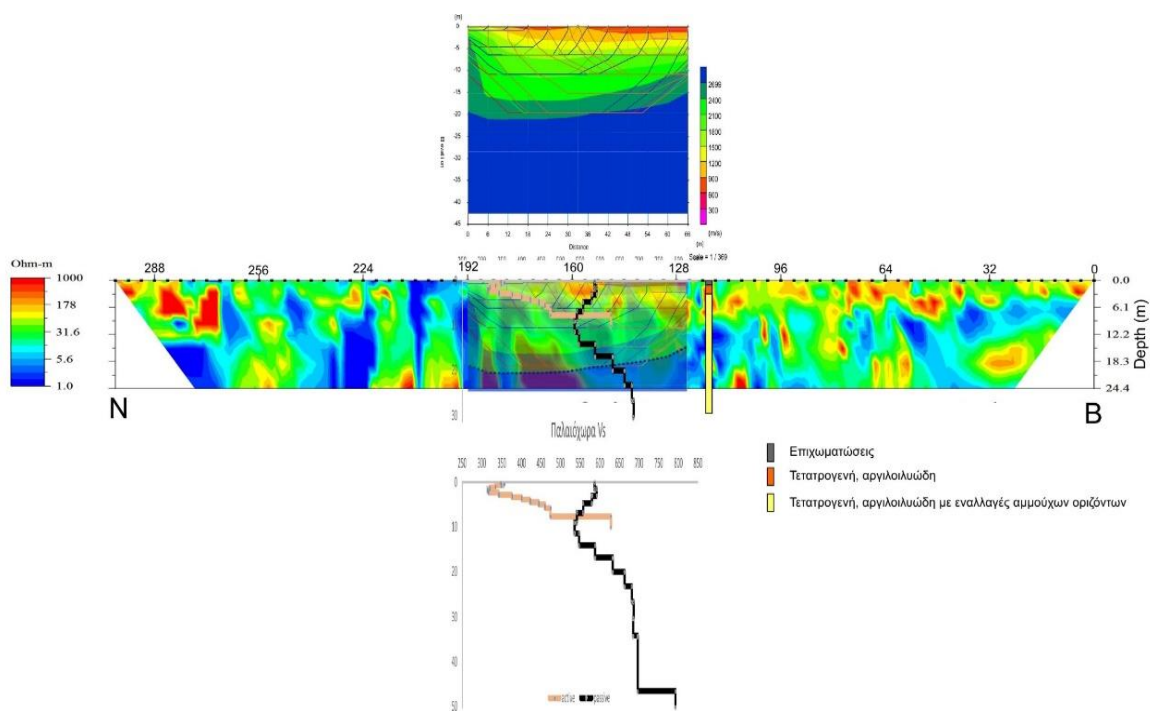
Σχήμα 4.1: Συνδυαστική αναπαράσταση της γεωηλεκτρικής τομής (διάταξη Gradient), σεισμικής τομής και της ταχύτητας Vs συναρτήσεως του βάθους (MASW-ReMi) για την γραμμή μελέτης στον σταθμό CHN2 (Χανιά).



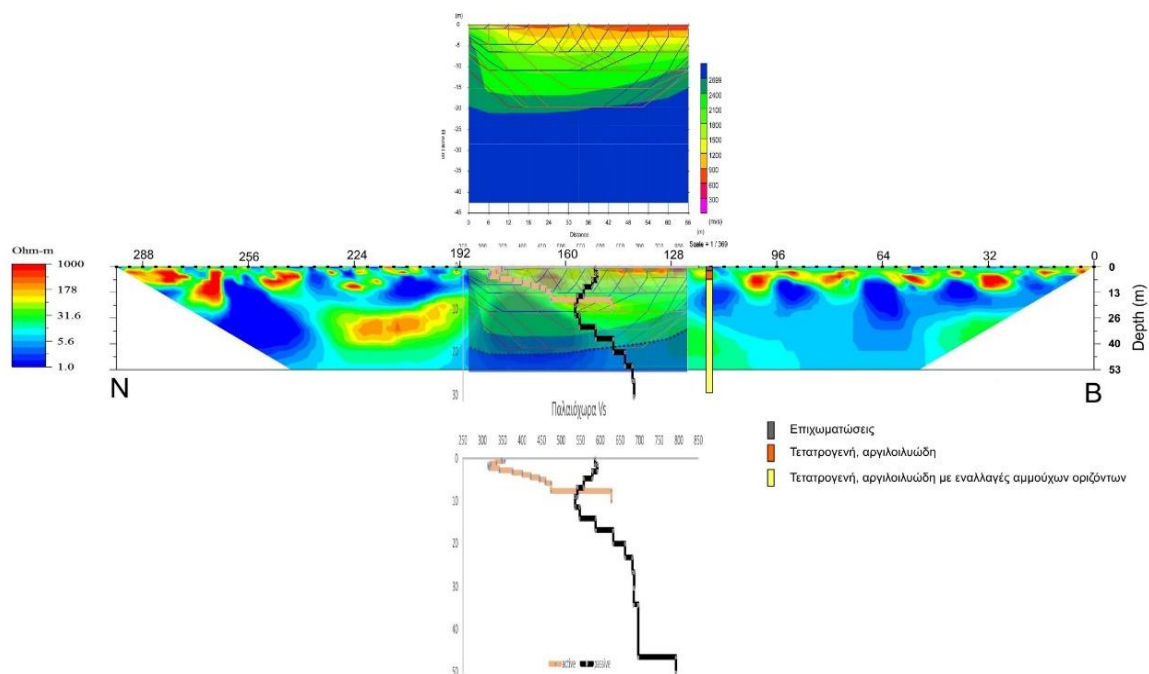
Σχήμα 4.2: Συνδυαστική αναπαράσταση της γεωηλεκτρικής τομής (διάταξη Wenner-Schlumberger), σεισμικής τομής και της ταχύτητας Vs συναρτήσεως του βάθους (MASW-ReMi) για την γραμμή μελέτης στον σταθμό CHN2 (Χανιά).

Στα διαγράμματα 4.1 και 4.2 για τη γραμμή μελέτης στα Χανιά παρατηρείται ότι, σύμφωνα με την διατρηθείσα γεώτρηση, υπάρχουν 3 γεωλογικά στρώματα. Οι άξονες του σχήματος είναι το βάθος και η απόσταση κατά μήκος γραμμής μελέτης. Το πρώτο στρώμα γεώτρησης παρουσιάζει τεχνητές επιχωματώσεις και αργιλολυώδη υλικά (0-2,5m), το δεύτερο παρουσιάζει ερυθρή άργιλος (2,5-14) και το τρίτο παρουσιάζει μάργες (14-30m).

Στο σχήμα 4.3 απεικονίζεται η υπέρθεση για την Παλαιόχωρα μεταξύ ηλεκτρικής τομογραφίας Gradient, σεισμικής διάθλασης και διαγράμματα ταχύτητας (m/s) προς το βάθος (m). Στο σχήμα 4.4 απεικονίζεται η υπέρθεση για την Παλαιόχωρα μεταξύ ηλεκτρικής τομογραφίας Wenner-Schlumberger, σεισμικής διάθλασης και διαγράμματα ταχύτητας (m/s) προς το βάθος (m). Επίσης παρατίθεται και η τομή της γεώτρησης.



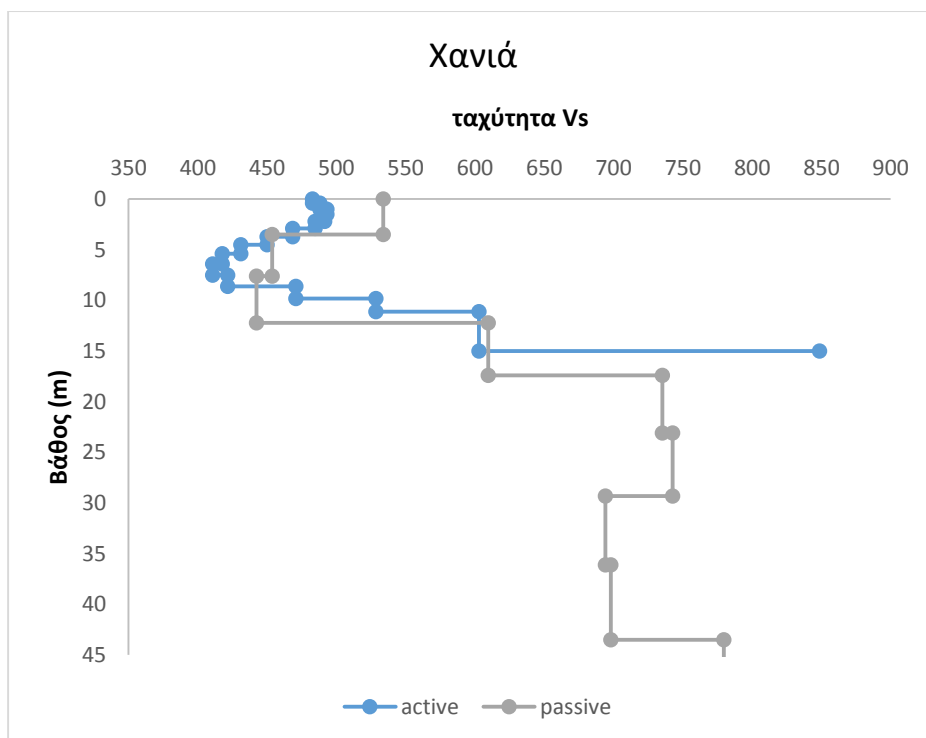
Σχήμα 4.3: Συνδυαστική αναπαράσταση της γεωηλεκτρικής τομής (διάταξη Gradient), σεισμικής τομής και της ταχύτητας Vs συναρτήσει του βάθους (MASW-ReMi) για την γραμμή μελέτης στον σταθμό PLC1 (Παλαιόχωρας).



Σχήμα 4.4: Συνδυαστική αναπαράσταση της γεωηλεκτρικής τομής (διάταξη Wenner-Schlumberger), σεισμικής τομής και της ταχύτητας Vs συναρτήσει του βάθους (MASW-ReMi) για την γραμμή μελέτης στον σταθμό PLC1 (Παλαιόχωρας).

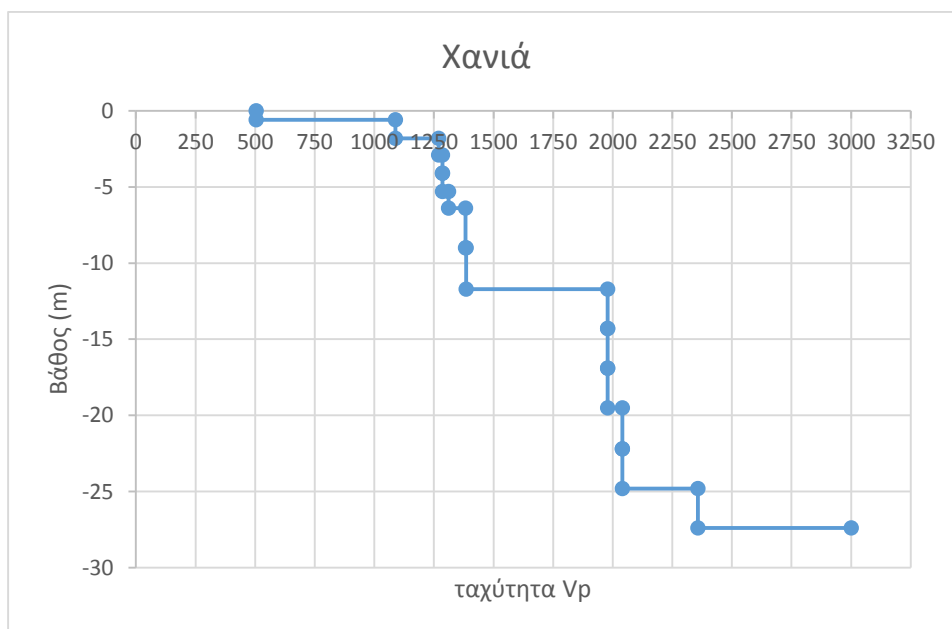
Στα διαγράμματα 4.3 και 4.4 που απεικονίζουν γραμμή μελέτης για την Παλαιόχωρα παρατηρείται ότι, σύμφωνα με την διατρηθείσα γεώτρηση, υπάρχουν 3 στρώματα. . Οι άξονες του σχήματος είναι το βάθος και η απόσταση κατά μήκος γραμμής μελέτης. Το πρώτο στρώμα γεώτρησης παρουσιάζει επιχωματώσεις (0-1m), το δεύτερο παρουσιάζει τετατρογενή αργιλολυώδη (1-3m) και το τρίτο παρουσιάζει τετατρογενή, αργιλολυώδη με έναλλαγές αμμούχων αριζόντων (3-30m).

Ακολουθούν τα διαγράμματα που απεικονίζουν την ταχύτητα Vs (σχήμα 4.5 και 4.6) και την ταχύτητα Vr (σχήμα 4.7 και 4.8) που προέκυψαν από τις μέθοδους ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων (MASW και Re-Mi). Στο σχήμα 4.5 παρατηρείται ότι υπάρχει κάποια ομοιότητα από τα 5m έως τα 15m αλλά στην συνέχεια η ταχύτητα Vs από την μέθοδο MASW φτάνει με μέγιστη ταχύτητα 850m/s ενώ στη Re-Mi συνεχίζεται η μείωση και στην συνέχεια αύξηση της ταχύτητας έως και τα 780m/s.



Σχήμα 4.5: Απεικόνιση της ταχύτητας Vs ως προς το βάθος από την μέθοδο MASW (active) και την μέθοδο Refraction-Microtremor (passive) στην περιοχή των Χανίων.

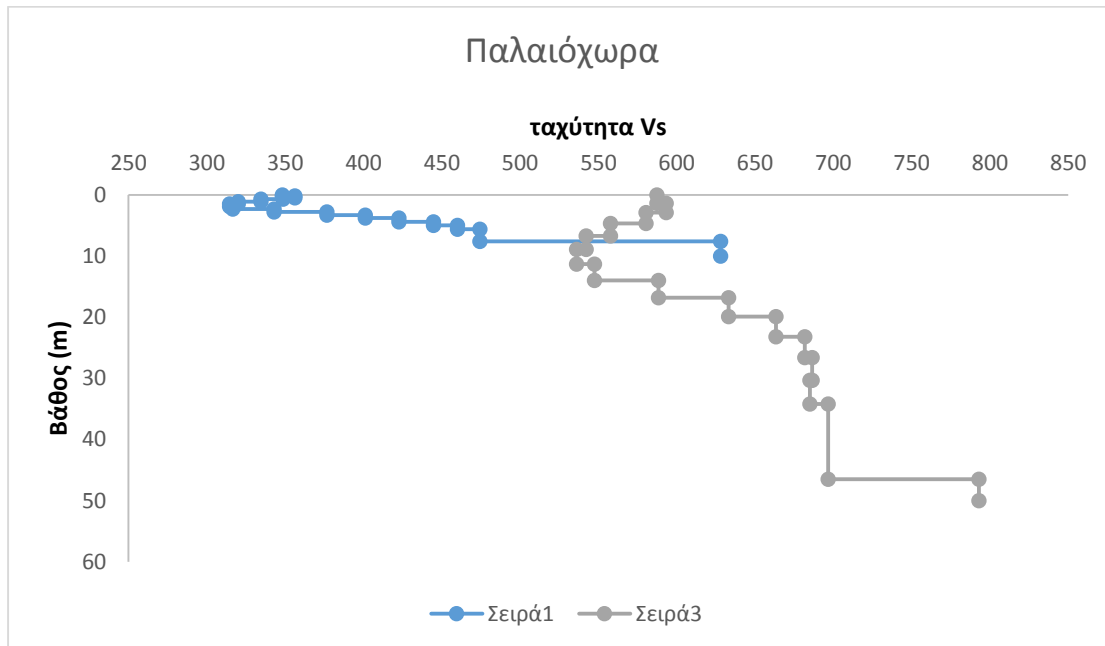
Στο σχήμα 4.6 παρατηρείται ελάχιστη ταχύτητα των P- κυμάτων 500m/s και μέγιστη 3000m/s.



Σχήμα 4.6: Απεικόνιση ταχύτητας Vp ως προς το βάθος που προέκυψε από την μέθοδο σεισμικής διάθλασης στην περιοχή των Χανίων. Το προφίλ αυτό αντιστοιχεί στο κέντρο του αναπτύγματος των γεωφώνων (33m).

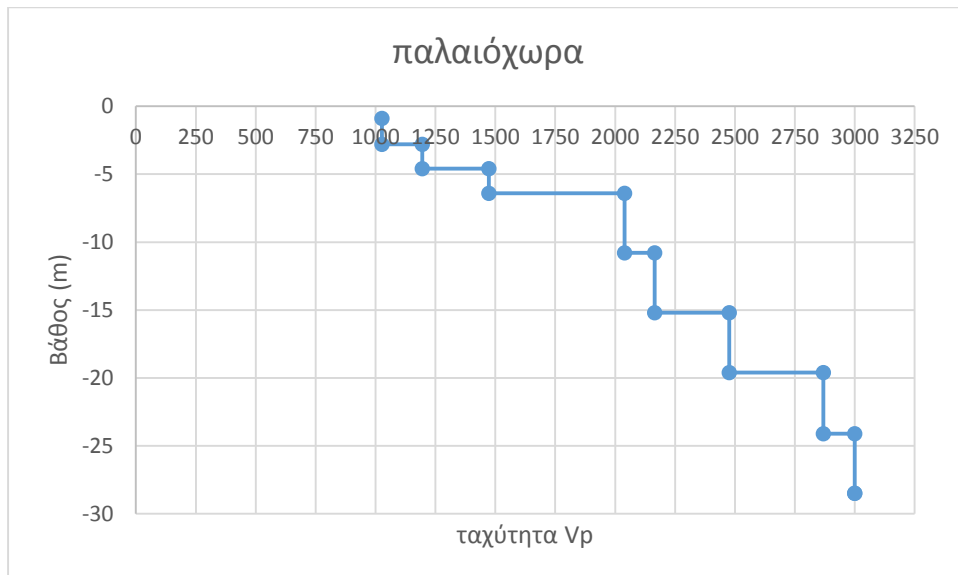
Στο σχήμα 4.7 παρατηρείται ότι η ταχύτητα Vs από την μέθοδο MASW ξεκινάει με ταχύτητα 350m/s και καταλήγει με μέγιστη ταχύτητα 630m/s ενώ η ταχύτητα Vs από

τη μέθοδο Re-Mi ξεκινάει με ταχύτητα 590m/s και καταλήγει με μία μέγιστη ταχύτητα 790m/s.



Σχήμα 4.7: Απεικόνιση της ταχύτητας Vs ως προς το βάθος από MASW και Refraction-Microtremor (passive) στην περιοχή της Παλαιόχωρας.

Στο σχήμα 4.8 παρατηρείται ελάχιστη ταχύτητα 1000m/s και μέγιστη 3000m/s.



Σχήμα 4.8: Απεικόνιση ταχύτητας V_p ως προς το βάθος που προέκυψε από την μέθοδο σεισμικής διάθλασης στην περιοχή της Παλαιόχωρας. Το προφίλ αυτό αντιστοιχεί στο κέντρο του αναπτύγματος των γεωφώνων (33m).

4.2 Προσδιορισμός μηχανικών ιδιοτήτων (Λόγος Poisson, μέτρο ελαστικότητας και μέγιστο μέτρο διάτμησης)

Για δεδομένες θέσεις κατά μήκος των γραμμών μελέτης στη θέση CHN2 που βρίσκεται επί της οδού Δραγούμη και στη θέση PLC1 που βρίσκεται επί της οδού Δασκαλογιάννη, έχει υπολογιστεί ο ν λόγος του Poisson, το μέτρο ελαστικότητας του Young (E) και το μέτρο διάτμησης (G) σε σχέση με το βάθος σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις.

Ο λόγος Poisson υπολογίζεται από την σχέση (Παπαλουκάς, 2010):

$$\nu = \frac{\left[\frac{1}{2}\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1\right]}{\left[\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1\right]} \quad (4.1)$$

με γνωστές τις ταχύτητες V_p και V_s . Το μέτρο ελαστικότητας υπολογίζεται από την εξίσωση:

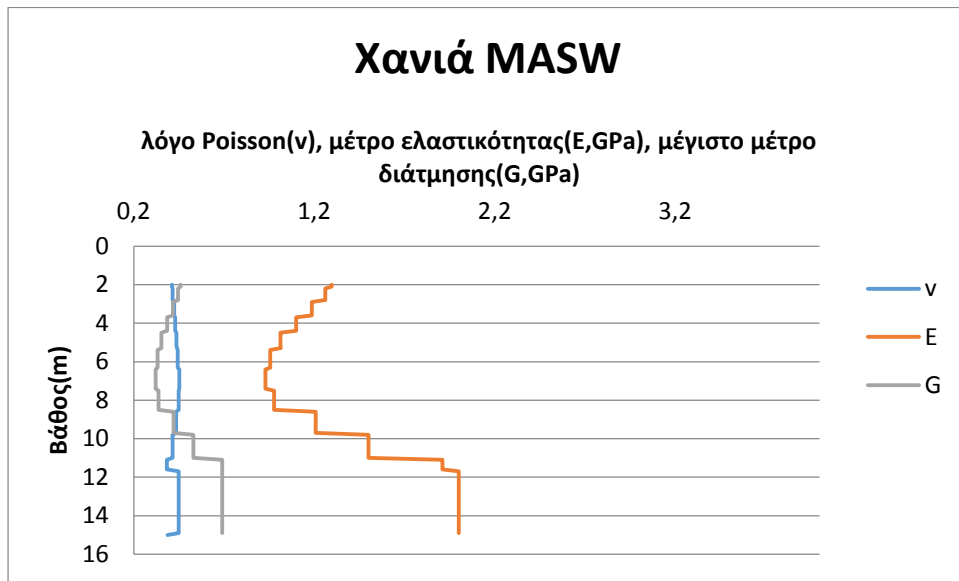
$$E = 2 * \rho * V_s^2 * (1 + \nu) \quad (4.2)$$

Όπου ρ είναι η πυκνότητα. Το μέτρο διάτμησης υπολογίζεται από την εξίσωση:

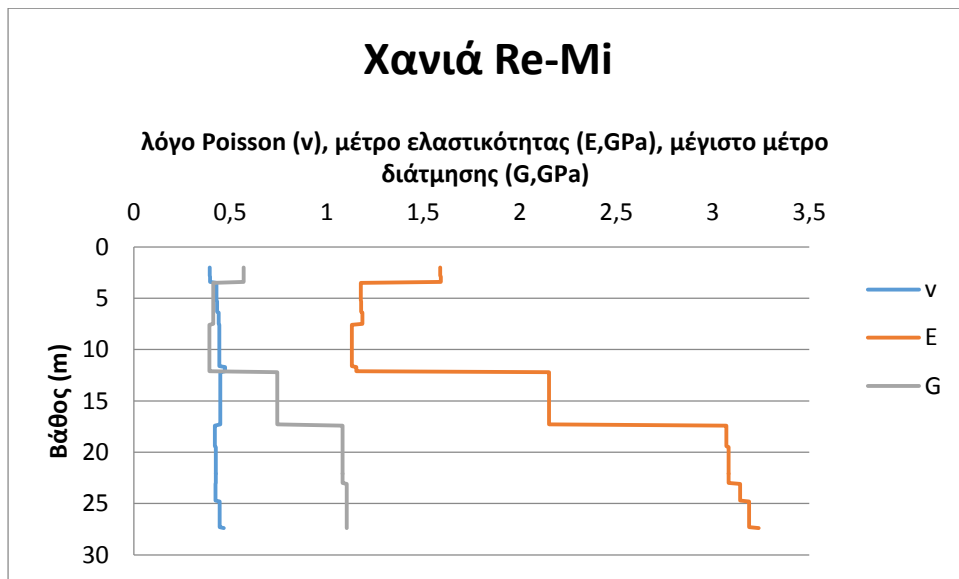
$$G = \frac{E}{2*(1+\nu)} \quad (4.3)$$

Το V_s (m/s) υπολογίστηκε από την μέθοδο των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh (MASW και Re-Mi) ενώ το V_p (m/s) από την επεξεργασία με την μέθοδο σεισμικής διάθλασης.

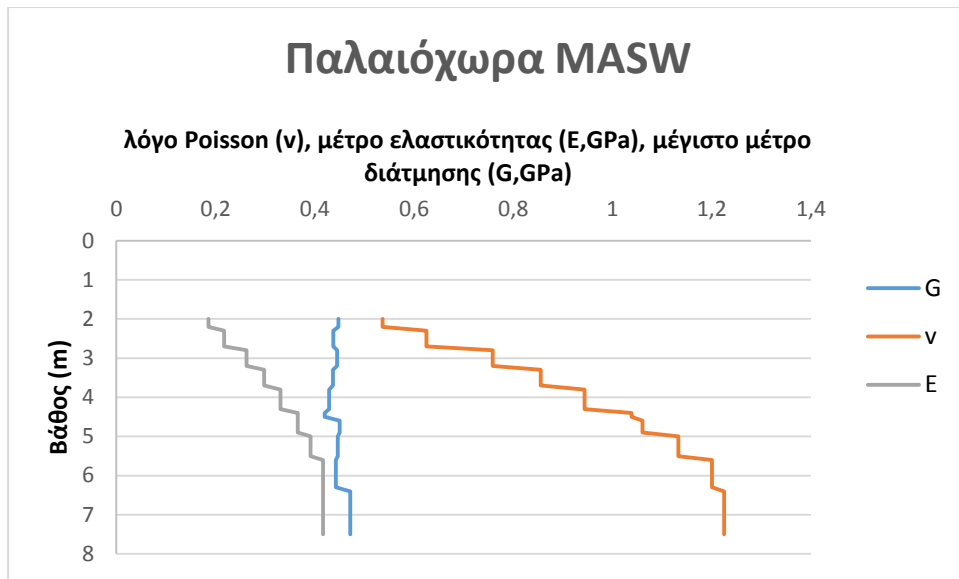
Ακολουθούν διαγράμματα (σχήματα 4.9, 4.10, 4.11 και 4.12) όπου απεικονίζουν το λόγο Poisson (ν), το μέτρο ελαστικότητας (E) και το μέτρο διάτμησης (G) (GPa) σε σχέση με το βάθος (m) για την μέθοδο πολυκάναλης ανάλυσης (MASW) και την μέθοδο Refraction-Microtremor. Στο σχήμα 4.9 παρατηρείται ότι το βάθος κυμαίνεται από 2m έως 16m με παρόμοιες τιμές για την καμπύλη του λόγου Poisson και του μέγιστου μέτρου διάτμησης, ενώ η καμπύλη που απεικονίζει το μέτρο ελαστικότητας έχει μεγαλύτερες τιμές από τις υπόλοιπες καμπύλες με μέγιστη έως και 2,2. Στο σχήμα 4.10 παρατηρείται ότι το βάθος κυμαίνεται από 5m έως και 30m όπου οι μικρότερες τιμές απεικονίζονται στην καμπύλη του λόγου Poisson, οι μεσαίες έως χαμηλές τιμές στην καμπύλη του μέγιστου μέτρου διάτμησης και τέλος μεγαλύτερες τιμές στην καμπύλη του μέτρου ελαστικότητας με μέγιστη τιμή έως και 3. Στο σχήμα 4.11 παρατηρείται ότι το βάθος κυμαίνεται από 2m έως και 8m όπου οι μικρότερες τιμές απεικονίζονται στην καμπύλη του μέτρου ελαστικότητας, οι μεσαίες τιμές στην καμπύλη του μέγιστου μέτρου διάτμησης και τέλος μεγαλύτερες τιμές στην καμπύλη του λόγου Poisson. Στο σχήμα 4.12 παρατηρείται ότι το βάθος κυμαίνεται από 5m έως και 30m όπου οι μικρότερες τιμές απεικονίζονται στην καμπύλη του λόγου Poisson, οι μεσαίες τιμές στην καμπύλη του μέγιστου μέτρου διάτμησης και τέλος μεγαλύτερες τιμές στην καμπύλη του μέτρου ελαστικότητας με μέγιστη τιμή έως 2,5.



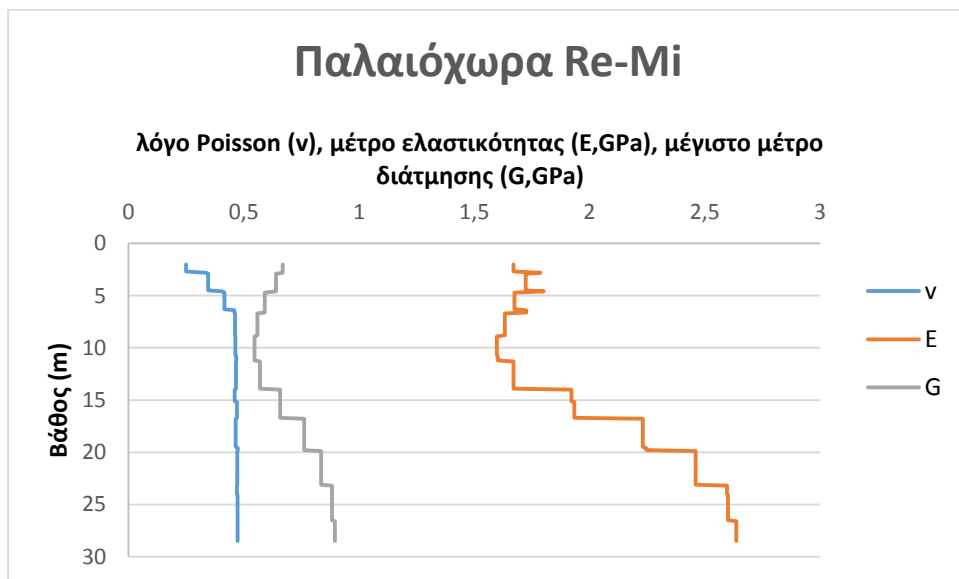
Σχήμα 4.9: Απεικόνιση του λόγου του Poisson, του μέτρου ελαστικότητας και του μέγιστου μέτρου διάτμησης (GPa) ως προς το βάθος (m) για την περιοχή των Χανίων που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της σεισμικής διάθλασης (V_p) και της μεθόδου MASW (V_s).



Σχήμα 4.10: Απεικόνιση βάθους του λόγου του Poisson, του μέτρου ελαστικότητας και του μέγιστου μέτρου διάτμησης (GPa) ως προς το βάθος (m) για την περιοχή των Χανίων που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της μεθόδου Refraction-Microtremor.



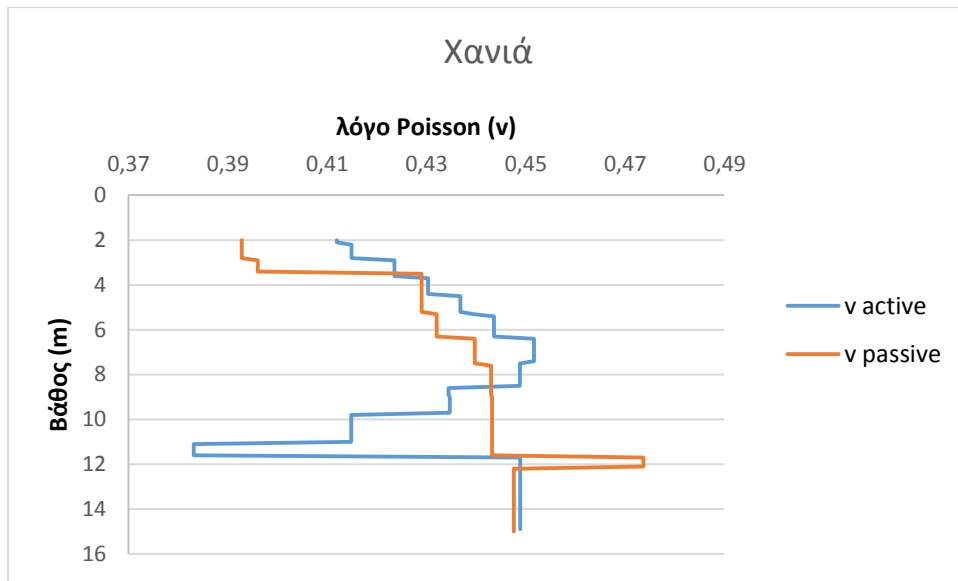
Σχήμα 4.11 Απεικόνιση βάθους του λόγου του Poisson, του μέτρου ελαστικότητας και του μέγιστου μέτρου διάτμησης (GPa) ως προς το βάθος (m) για την περιοχή της Παλιόχωρας που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της μεθόδου πολυκάναλης ανάλυσης.



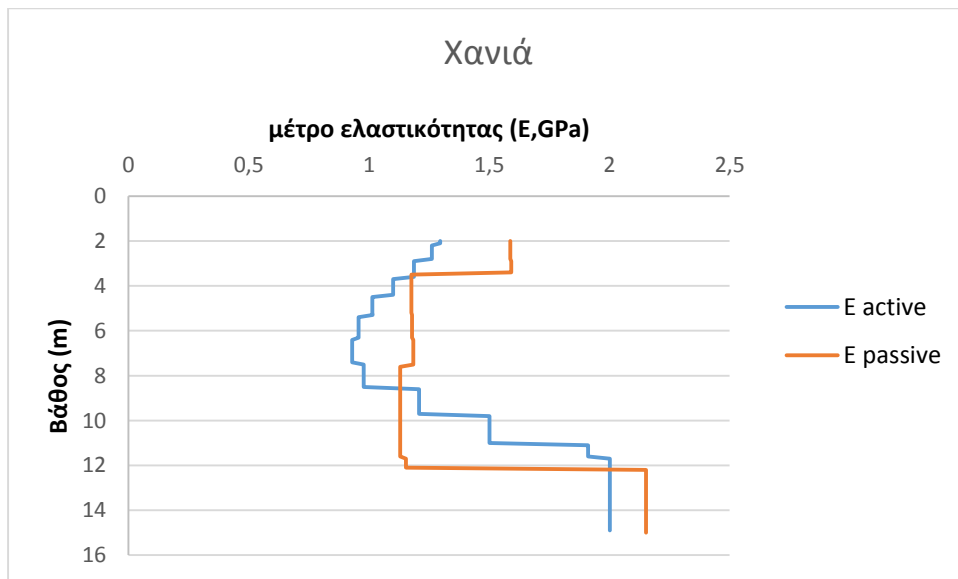
Σχήμα 4.12: Απεικόνιση βάθους του λόγου του Poisson, του μέτρου ελαστικότητας και του μέγιστου μέτρου διάτμησης (GPa) ως προς το βάθος (m) για την περιοχή της Παλιόχωρας που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της μεθόδου Refraction-Microtremor.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα που απεικονίζουν το βάθος (m) ως προς το λόγο Poisson (σχήματα 4.13 και 4.16), ως προς το μέτρο ελαστικότητας (σχήματα 4.14 και 4.17) και ως προς το μέτρο διάτμησης (σχήματα 4.15 και 4.18) (GPa) για την μέθοδο πολυκάναλης ανάλυσης (MASW-active) και για την μέθοδο Refraction-Microtremor (passive). Στο σχήμα 4.13 παρατηρείται η καμπύλη των passive ξεκινάει με χαμηλότερη τιμή λόγου Poisson, στη συνέχεια καθώς διατηρείται σταθερή σε κάποιο σημείο αυξάνεται σε σχέση με την καμπύλη των active και τέλος καταλήγει στην ίδια τιμή βάθους με διαφορετική τιμή λόγου Poisson. Στο σχήμα 4.14 η καμπύλη των passive έχει πολύ χαμηλές τιμές μέτρου ελαστικότητας, ενώ αντίθετα η καμπύλη

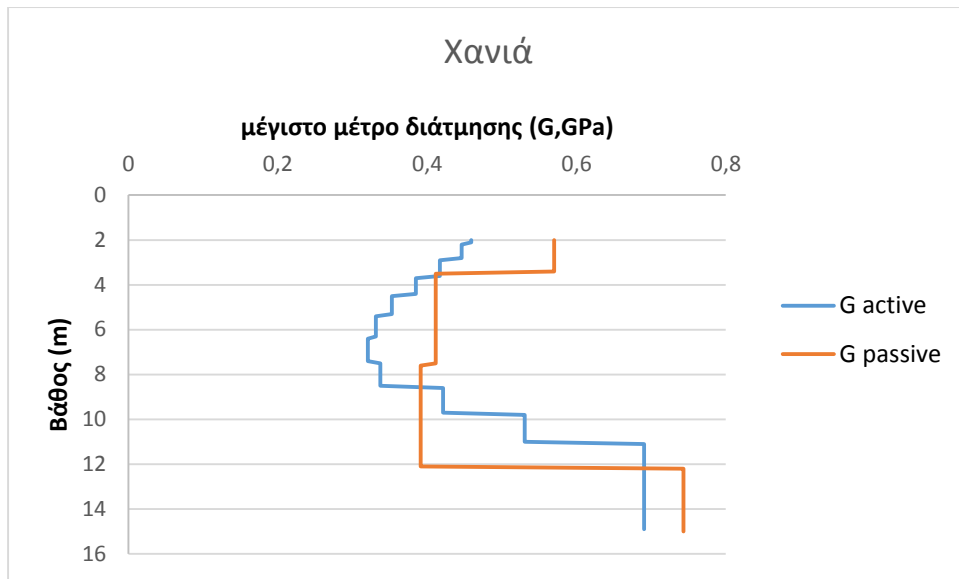
των active ξεκινάει με μία τιμή 1,5 στη συνέχεια μειώνεται και μετά αυξάνεται και καταλήγει με μία τιμή κοντά στο 4. Στο σχήμα 4.15 η καμπύλη των passive έχει πολύ χαμηλές τιμές μέτρου ελαστικότητας, ενώ αντίθετα η καμπύλη των active ξεκινάει με μία τιμή 0,5 στη συνέχεια μειώνεται και μετά αυξάνεται και καταλήγει με μία τιμή κοντά στο 1,5. Στο σχήμα 4.16 η καμπύλη των passive ξεκινάει με μία τιμή 0,25 και στη συνέχεια αυξάνεται, ενώ η καμπύλη των active ξεκινάει με τιμή 0,45 και τέλος καταλήγουν και οι δύο καμπύλες σε πολύ κοντινή τιμή. Στο σχήμα 4.17 η καμπύλη των active έχει πολύ χαμηλές τιμές ενώ η καμπύλη των passive έχει πιο υψηλές τιμές. Στο σχήμα 4.18 η καμπύλη των active έχει πολύ χαμηλές τιμές ενώ η καμπύλη των passive έχει πιο υψηλές τιμές.



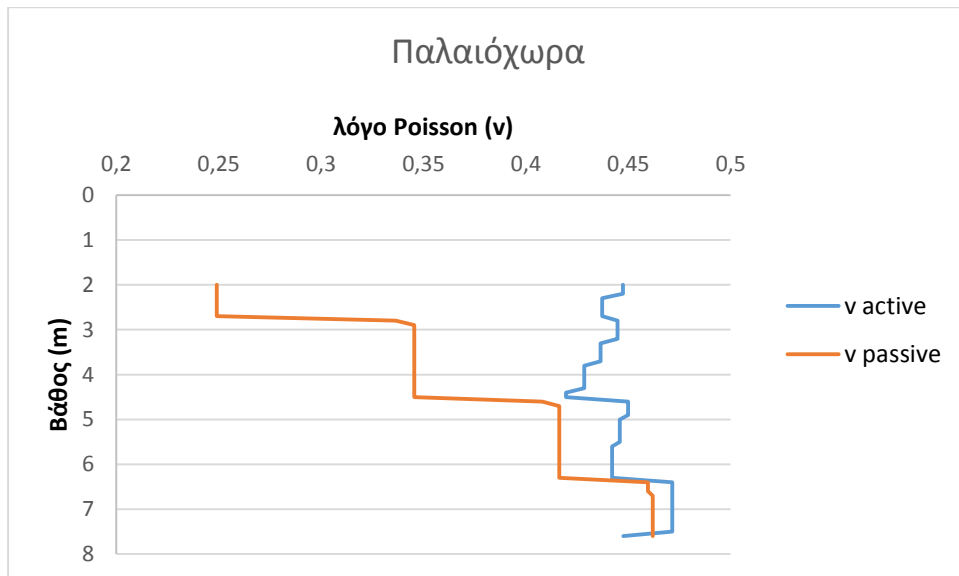
Σχήμα 4.13: Γραμμή μελέτης CHN2 του λόγου Poisson (GPa) σε σχέση με το βάθος (m) όπως προέκυψαν από τη χρήση των μεθόδων MASW (active) και Re-Mi (passive).



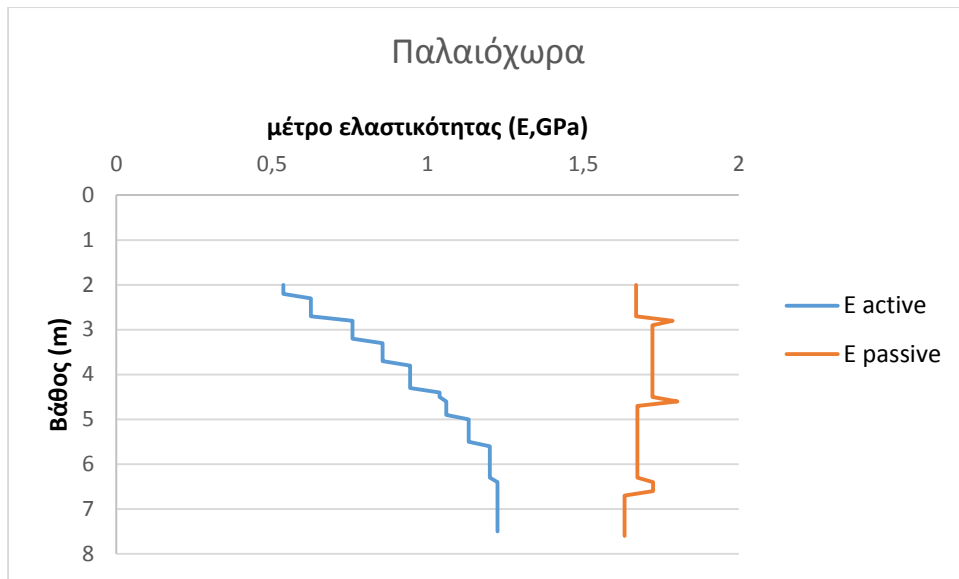
Σχήμα 4.14: Γραμμή μελέτης CHN2 του μέτρου ελαστικότητας (GPa) σε σχέση με το βάθος (m) όπως προέκυψαν από τη χρήση των μεθόδων MASW (active) και Re-Mi (passive).



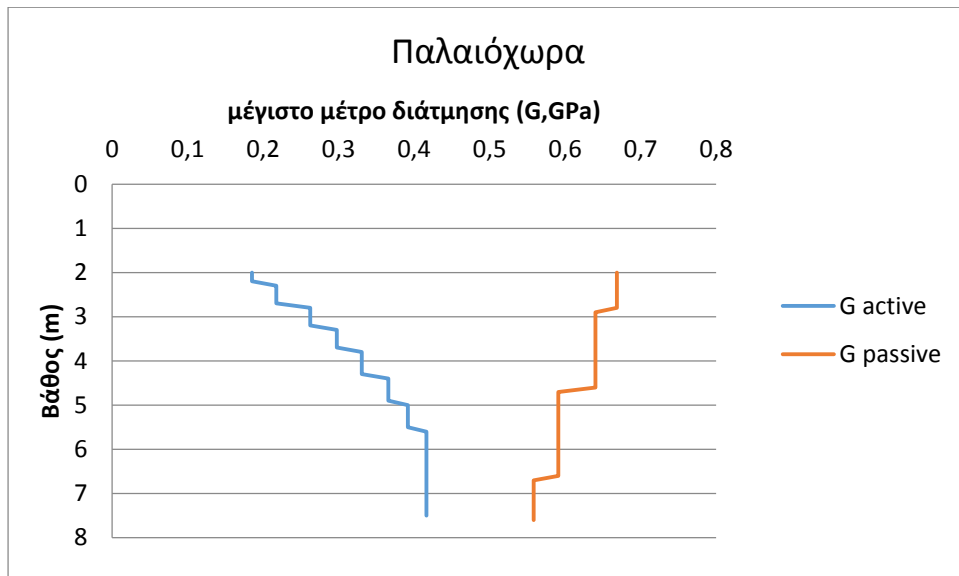
Σχήμα 4.15: Γραμμή μελέτης CHN2 του μέγιστου μέτρου ελαστικότητας (GPa) σε σχέση με το βάθος (m) όπως προέκυψαν από τη χρήση των μεθόδων MASW (active) και Re-Mi (passive).



Σχήμα 4.16: Γραμμή μελέτης PLC1 του λόγου Poisson (GPa) σε σχέση με το βάθος (m) όπως προέκυψαν από τη χρήση των μεθόδων MASW (active) και Re-Mi (passive).



Σχήμα 4.17: Γραμμή μελέτης PLC1 του μέτρου ελαστικότητας (GPa) σε σχέση με το βάθος (m) όπως προέκυψαν από τη χρήση των μεθόδων MASW (active) και Re-Mi (passive).



Σχήμα 4.18: Γραμμή μελέτης PLC1 του μέγιστου μέτρου διάτμησης (GPa) σε σχέση με το βάθος (m) όπως προέκυψαν από τη χρήση των μεθόδων MASW (active) και Re-Mi (passive).

4.3 Ταξινόμηση του εδάφους με βάση τις παραμέτρους V_{s30} και N_{str} σύμφωνα με τον ευρωκώδικα

4.3.1 Προσδιορισμός V_{s30}

- Για την εκτίμηση της ταχύτητας V_{s30} έγιναν κάποιες παραδοχές για την μέθοδο MASW στα Χανιά και την Παλαιόχωρα διότι το βάθος σταματούσε στα 15m και 7,6m αντίστοιχα. Οι παραδοχές είναι οι εξής:

 1. Θεωρήθηκε η V_s σταθερή από τα 15m και 7,6m αντίστοιχα, και κάτω μέχρι τα 30m. Η V_{s30} για τα Χανιά είναι 546 m/s και ανήκει στην Β κατηγορία σύμφωνα με την ευρωκώδικα 8. Η V_{s30} για την Παλαιόχωρα είναι 446 m/s και ανήκει στην Β κατηγορία σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 8.

2. Θεωρήθηκε η ελάχιστη από τα 15m και 7,6m αντίστοιχα μέχρι τα 30m. Η V_{s30} για τα Χανιά είναι 431 m/s και ανήκει στην Β κατηγορία σύμφωνα με τον ευροκώδικα 8. Η V_{s30} για την Παλαιόχωρα είναι 321 m/s και ανήκει στην Γ κατηγορία σύμφωνα με τον ευροκώδικα 8.
3. Υπολογίστηκε η V_{s15} και $V_{s7,6}$ αντίστοιχα. Η V_{s15} για τα Χανιά είναι 390 m/s και ανήκει στην Β κατηγορία σύμφωνα με τον ευροκώδικα 8. Η $V_{s7,6}$ για την Παλαιόχωρα είναι 315 m/s και ανήκει στην Γ κατηγορία σύμφωνα με τον ευροκώδικα 8.

Τα συμπεράσματα είναι ότι για τον υπολογισμό της V_{s30} στα Χανιά με σταθερή την V_s από τα 15m και κάτω, με ελάχιστη V_s από τα 15m και κάτω, καθώς και η V_{s15} καταλήγουν στο ίδιο συμπέρασμα. Πιο συγκεκριμένα στην Β κατηγορία σύμφωνα με τον ευροκώδικα. Στην Παλαιόχωρα από τον υπολογισμό της V_{s30} με σταθερή την V_s από τα 7,6m και κάτω καταλήγει στην Β κατηγορία σύμφωνα με τον ευροκώδικα ενώ στις άλλες δύο παραδοχές καταλήγει στην Γ κατηγορία εδάφους σύμφωνα με τον ευροκώδικα. Πιο ασφαλής είναι ο υπολογισμός της V_{s15} και $V_{s7,6}$ αντίστοιχα οι οποίες αποδίδονται σε σχηματισμούς στην κατηγορία Β και Γ αντίστοιχα.

- Για την εκτίμηση της ταχύτητας V_{s30} με την μέθοδο Refraction Microtremor για τα Χανιά και την Παλαιόχωρα δεν έγινε καμία παραδοχή διότι το βάθος ήταν μεγαλύτερο από τα 30m. Η V_{s30} για τα Χανιά είναι 610 m/s και ανήκει στην Β κατηγορία σύμφωνα με τον ευροκώδικα 8. Η V_{s30} για την Παλαιόχωρα είναι 614 m/s και ανήκει στην Β κατηγορία σύμφωνα με τον ευροκώδικα 8. Για την Παλαιόχωρα υπάρχει μια αντιπαράθεση μεταξύ των μεθόδων MASW και Re-Mi, όμως οι αντίστοιχες καμπύλες διασποράς (βλέπε παραρτήματα) είναι πιο αξιόπιστες, επομένως καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ανήκει στην Γ κατηγορία σύμφωνα με τον ευροκώδικα 8.

4.3.2 Προσδιορισμός N_{spt}

Σαν αντιπροσωπευτική τιμή του N_{spt} για κάθε περιοχή επιλέχθηκε η μέση τιμή. Επομένως για τα Χανια το N_{spt} είναι ίσο με 29, όπου σε σύγκριση με τον Ευροκώδικα ανήκει στην Γ κατηγορία εδάφους. Για την Παλαιόχωρα το N_{spt} είναι ίσο με 49, όπου σε σύγκριση με τον Ευροκώδικα ανήκει και αυτό στην Γ κατηγορία εδάφους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν να συλλεχθούν γεωφυσικά δεδομένα με τις μεθόδους της σεισμικής διάθλασης, ηλεκτρικής τομογραφίας και της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh. Από την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων υπολογίστηκε η V_{s30} . Επίσης υπολογίστηκαν το μέτρο ελαστικότητας του Young, ο λόγος Poisson και το μέγιστο μέτρο διάτμησης. Από το συνδυασμό των V_{s30} και N_{stp} έγινε εκτίμηση της κατηγορίας υπεδάφους με βάση των ευροκώδικα 8.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

1. Για τα Χανιά τα γεωφυσικά αποτελέσματα συμφωνούν με τα δεδομένα της γεώτρησης ως προς τη στρωμάτωση των γεωλογικών σχηματισμών. Η κατηγορία εδάφους είναι η Β τόσο στη μέθοδο MASW (active) όσο και στη μέθοδο Re-Mi (passive). Οι τιμές μεγίστου μέτρου διάτμησης κυμαίνονται από 0,2 έως 0,8 GPa και οι τιμές μέτρου ελαστικότητας 1 έως 2,5 GPa.
2. Για την Παλιόχωρα τα γεωφυσικά αποτελέσματα συμφωνούν με τα δεδομένα της γεώτρησης ως προς τη στρωμάτωση των γεωλογικών σχηματισμών. Η κατηγορία εδάφους είναι η Γ τόσο στη μέθοδο MASW (active) όσο και στη μέθοδο Re-Mi (passive). Σύμφωνα με τις αντίστοιχες καμπύλες διασποράς, οι τιμές μεγίστου μέτρου διάτμησης κυμαίνονται από 0,2 έως 0,7 GPa και οι τιμές μέτρου ελαστικότητας 0,5 έως 2 GPa.

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα προτείνονται:

1. Περαιτέρω γεωφυσική έρευνα με τη μέθοδο σεισμικής διάθλασης MASW και Re-Mi με μεγαλύτερη έκταση κατά μήκος των γραμμών ERT για να επιβεβαιωθούν τα εν λόγω αποτελέσματα.
2. Περισσότερες γεωφυσικές μετρήσεις και μελέτες στην περιοχή των Χανίων επειδή παρουσιάζονται ενδείξεις για ρήγματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής:

1. GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING STEVEN L. KRAMER
2. Hamdan, H., Kritikakis, G., Vafidis, A., and Manoutsoglou, E., 2007, The role of geophysical methods in salt-water intrusion mapping for strongly karst formations, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, PO Y EGINE TO SYNEDRIO.
3. Reynolds, M.J., 1997, An introduction to applied and environmental geophysics, John Wiley & Sons Ltd, Chichester
4. Schlumberger, Inc., 1972a, Log Interpretation, Charts: Houston
5. Schlumberger, Inc., 1972b, Log Interpretation, Vol. 1-Principles: Houston
6. SeisImager, 2003, Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού, Manual, Version 3.0, OYO Corporation
7. Eurocode 8, 2003, Design of structures for earthquake resistance, Brussels
8. Dahlin, T., and Yhou, Bo, p.113-123, Multiple-Gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging, Near Surface Geophysics, 2006
9. Sheriff, R. E., and Geldart, L. P., 1995, Exploration Seismology, 2nd Edition, Cambridge University Press.
10. Schwab, F., and Knopoff, L., 1972, Fast surface wave and free mode computations, in Bolt, B. A., Edition, Methods in computational physics, Academic Press, p. 87 – 180.
11. Haskell N. A., 1953, The dispersion of surface waves in multi – layered media, Bulletin of Seismological Society of America, vol. 43, p. 17 – 34
12. Seismocare., 2000, Computer Aided Reduction of Seismic risk with in existing cities, town planning and construction
13. https://www.google.gr/search?q=stiffness+map&espv=2&biw=1517&bih=714&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=ahBOVeLmGsazswHJ7YHwAw&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=stiffness+map+2+D&imgsrc=Pky2dht8eHbqMM%253A%3B0qameTPvnq3YnM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.parkseismic.com%252Ffiles%252FVs_2-D_survey_.JPG%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.parkseismic.com%252FServicesOthers.html%3B864%3B374

Ελληνική:

14. Λουπασάκης Κ., Ρόζος Δ.,, 2014, Τεχνική Έκθεση, ΕΚΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ (με μικρά γράμματα), Παραδοτέο 2.1 στα πλαίσια του Ερευνητικού έργου ΘΑΛΗΣ, ΥΠΟΕΡΓΟ: 379426
15. «ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ» (με μικρά), Πολυτεχνείο Κρήτης.

16. Κρητικάκης Γ., 2004, Επιφανειακά Κύματα: Εφαρμογές σε περιβαλλοντικά και γεωτεχνικά προβλήματα, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
17. Κυριαζής Πιτιλάκης, Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική, Τόμος Ι, Τεχνική Σεισμολογία και Εδαφοδυναμική,
18. Καλλιόπη Πανδή 2005, Διπλωματική Εργασία: Προσδιορισμός του συντελεστή επιβάρυνσης δισδιάστατης προς μονοδιάστατη σεισμική απόκριση στν Μυγδονια λεκάνη,
19. Παπαλουκάς Νικόλαος., 2010, Διπλωματική εργασία: Χαρακτηρισμός εδάφους (ευρωκώδικας 8) με τις μεθόδους σεισμικής τομογραφίας και ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων. Εφαρμογή στην περιοχή του Ακρωτηρίου (νέο κατάστημα Χαλκιάδακη) και στην Πολυτεχνειούπολη
20. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ(ΕΑΚ 2000)
21. Σώκος Ε., 2014, Μικροζωνικές μελέτες:εργαστήριο σεισμολογίας Παν.Πατρών
22. Σαγκιώτη Κυριακή 2010, Συμβολή της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας στη μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρωσης στα Φαλάσαρνα Χανίων, Διπλωματική εργασία , Πολυτεχνείο Κρήτης, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά p.130
23. Αβαγιανός Αλέξανδρος 2011, Διπλωματική Εργασία: Συμβολή Των Σεισμικών Μεθόδων Στον Γεωτεχνικό Χαρακτηρισμό Των Γεωλογικών Σχηματισμών Για Την Κατασκευή Της Β΄ Φάσης κτιρίων ΜΗ.ΠΕΡ. Του Πολυτεχνείου Κρήτης,
24. Μιχαλάκης Ιωάννης 2007, Μεταπτυχιακή Διατριβή: “Συμβολή της ηλεκτρικής τομογραφίας στην παρακολούθηση της υφαλμύρισης πριν, κατά την διάρκεια και μετά την δοκιμή άντλησης στον οικισμό Φαράγγι Αποκορώνου”,
25. Αναστασιάδης Ανδρέας, Διπλωματική Εργασία: «Γεωηλεκτρική διασκόπηση στο λιγνιτωρυχείο Μαυροπηγής Ν. Κοζάνης. Προσομοίωση του πειράματος ηλεκτρικής τομογραφίας για τον σχεδιασμό της γεωφυσικής διασκόπησης και την ερμηνεία των γεωηλεκτρικών δεδομένων»,
26. Βαφείδης Α., 1993, Εφαρμοσμένη Γεωφυσική 1: Σεισμικές μέθοδοι, Σημειώσεις Πολυτεχνείου Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
27. Αλέξανδρος και Κωνσταντίνος Κουτσομάρκος 2012, Διπλωματική Εργασία: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΓΕΙΩΣΗΣ ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΩΝ-ΘΕΜΕΛΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΑΝΕΛ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ COMSOL Multiphysics,
28. Γκανιάτσος Ι., 2000, Γεωηλεκτρική Τομογραφία σε τρεις Διαστάσεις, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
29. Σούρλας Γ., 2000, Συμβολή της γεωφυσικής διασκόπησης στην αναζήτηση χαμένων αρχαιοτήτων στην Ίτανο Λασιθίου, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
30. Μουντράκης, Δ. Μ., (1985), “Γεωλογία της Ελλάδας”, Θεσσαλονίκη.
31. Βούλγαρης Νικόλαος., 2006, Σημειώσεις Τεχνικής Σεισμολογίας-Μικροζωνικής

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΑΝΙΑ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ
ΚΡΗΤΗΣ

ΜΕΛΕΤΕΣ - ΕΡΕΥΝΕΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ-Δ. ΔΙΑΜΑΝΤΑΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ
ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.
Αραϊσκάκη 49 73 135 Χανιά 28210 - 70.579 Fax: 28210 - 93.647, e-mail: ddiana@tee.gr

ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΑΤΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ - ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΑΑΓ Ε 106-86/6b

ΕΡΓΟ: ΘΑΛΗΣ
ΓΕΩΤΡΗΣΗ: PLC 1 ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ: 22-22,70
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 12/6/14 ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ: _____

ΒΑΘΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ (m)			$H_w = 3.00$
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ (Α ή Β)			= Β
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΜΕΝΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (mm)			$D_{εξ} / D_{εσ} = 107 / 117$
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΣΩΛΗΝΩΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (mm)			$d = 101$
ΜΗΚΟΣ ΑΣΩΛΗΝΩΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (m)			$L = 0,7$
ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΣΩΛΗΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΞΕΧΕΙ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ (m)			$H = 0,30$

α/α μέτρησης	Χρόνος (min)	Βάθος στάθμης (cm)	
1	1	31	<p style="text-align: center;">ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ:</p> <p style="text-align: center;">(A) (B)</p>
2	2	59	
3	3	86	
4	5	124	
5	7	166	
6	10	204	
7	15	237	
8	20		<p>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ</p> <p style="text-align: center;">ΜΕΛΕΤΕΣ - ΕΡΕΥΝΕΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ-Δ. ΔΙΑΜΑΝΤΑΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ</p> <p style="text-align: center;">ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.</p> <p style="text-align: center;">Αραϊσκάκη 49 73 135 Χανιά 28210 - 70.579 Fax: 28210 - 93.647, e-mail: ddiana@tee.gr</p> </div>
9	25		
10	30		
11			
12			

IN_SITU / MAAG / 2η

ΑΔΜ: 92565270 Β' ΔΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΜΗΤΡΩΟ ΔΟΚΙΜΗΣ

Πίνακας 1: Δοκιμές περατότητας που πραγματοποιήθηκαν στην Παλαιόχωρα.

ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΑΤΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ - ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΑΑΓ
Ε 106-86/6b

ΕΡΓΟ: ΘΑΛΗΣ
ΓΕΩΤΡΗΣΗ: CHN 2 ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ: 7.50
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 3/6/2014 ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ:

ΒΑΘΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ (m)			$H_w =$
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ (Α ή Β)			= <u>B</u>
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΜΕΝΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (mm)			$D_{εξ} / D_{εσ} = 117 / 107$
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΣΩΛΗΝΩΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (mm)			$d = 101$
ΜΗΚΟΣ ΑΣΩΛΗΝΩΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (m)			$L = 1.00$
ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΣΩΛΗΝΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΞΕΧΕΙ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ (m)			$H = 0.304$

α/α μέτρησης	Χρόνος (min)	Βάθος στάθμης (cm) <u>1.70</u>	
1	1	<u>2.2</u>	<p>ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ:</p>
2	2	<u>3.1</u>	
3	3	<u>3.5</u>	
4	<u>5</u> 4	<u>4.0</u>	
5	<u>7</u> 5	<u>4.3</u>	
6	<u>10</u> 7	<u>5</u>	
7	<u>15</u> 10	<u>6</u>	
8	20		<p>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ :</p> <div style="text-align: center;"> <p>ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕΛΕΤΕΣ - ΕΡΕΥΝΕΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ-Δ. ΔΙΑΜΑΝΤΑΚΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π. ΤΗΛ: 28210 70.579 FAX: 28210 93.647 e-mail: ddilama@tee.gr</p> </div>
9	25		
10	30		
11			
12			

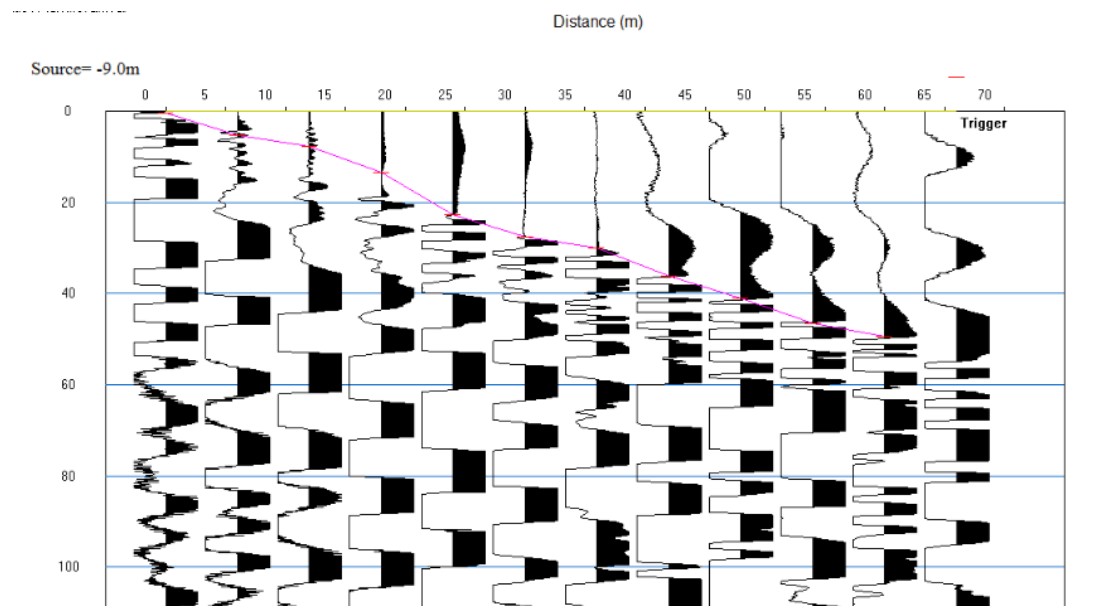
IN_SITU / ΜΑΑΓ / 2η

ΜΗΤΡΩΟ ΔΟΚΙΜΗΣ

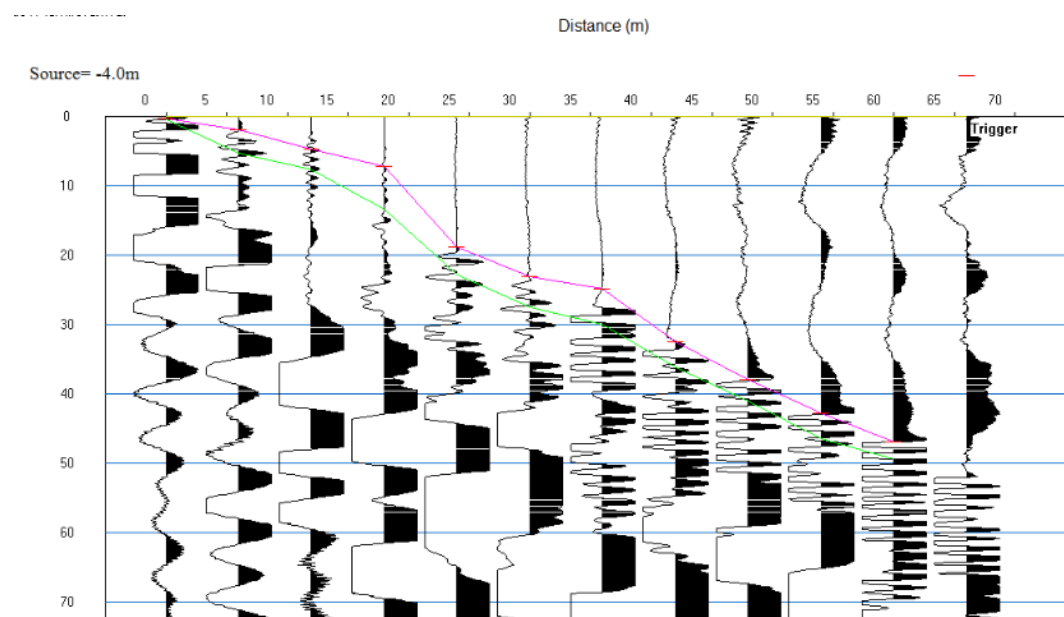
Πίνακας 2: Δοκιμές περατότητας που πραγματοποιήθηκαν στα Χανιά.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΡΩΤΩΝ ΑΦΙΞΕΩΝ

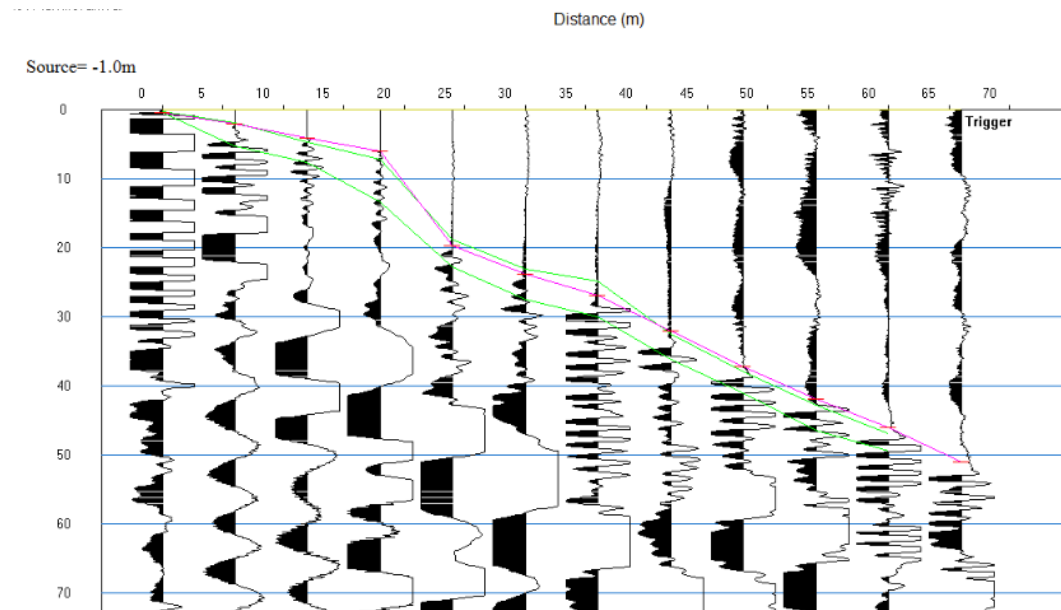
ΧΑΝΙΑ



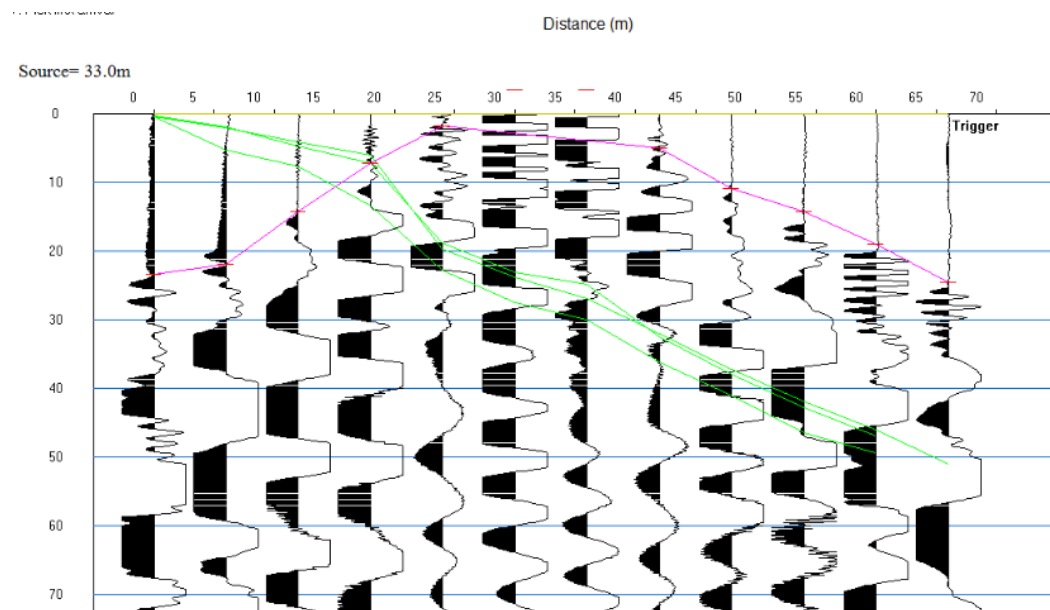
Καταγραφή 401



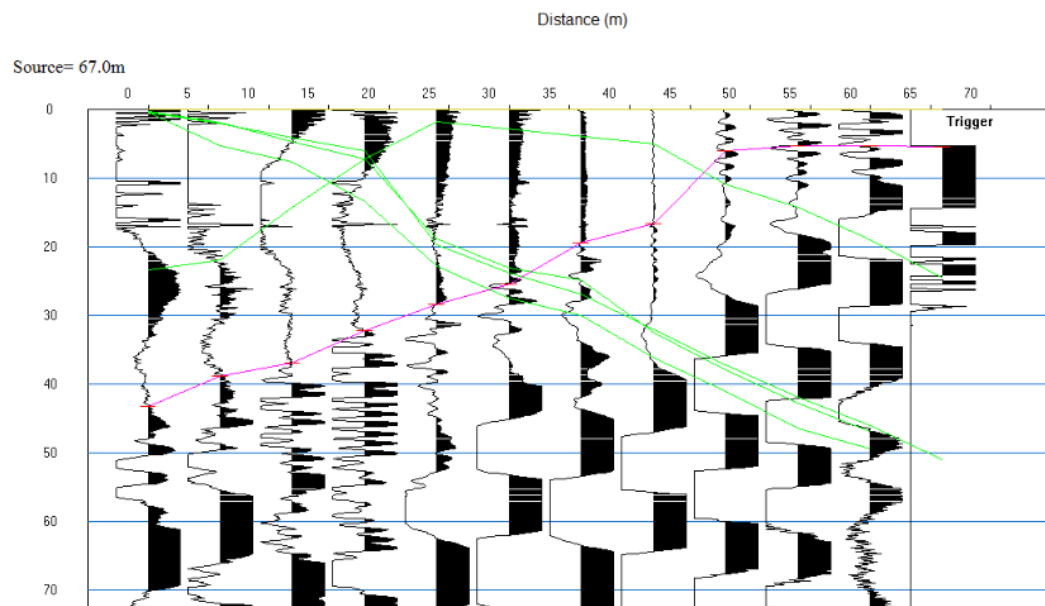
Καταγραφή 402



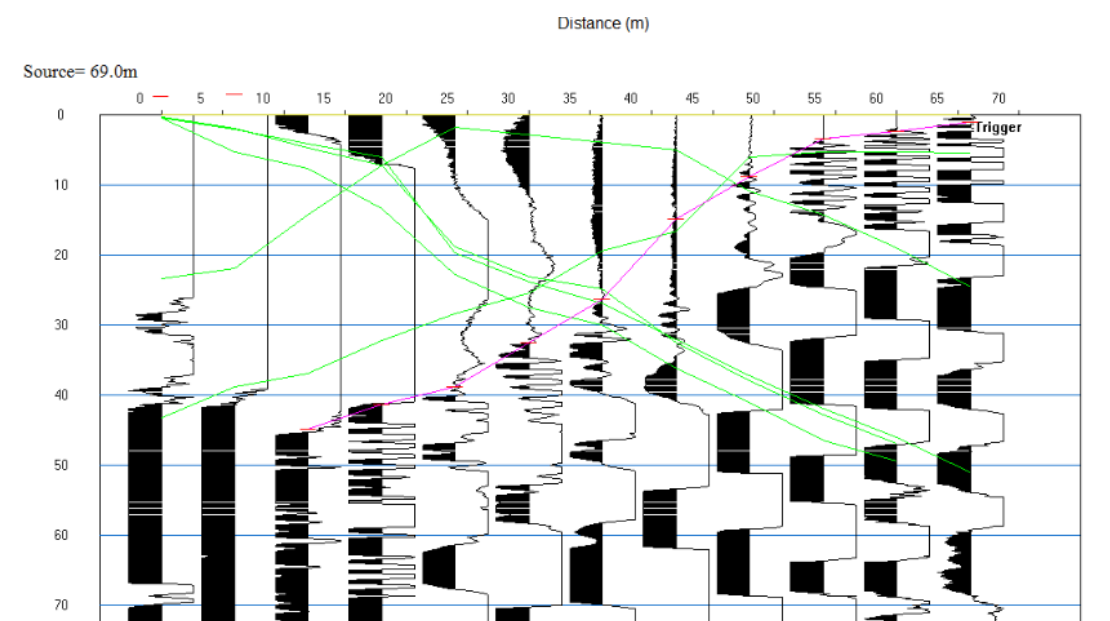
Καταγραφή 403



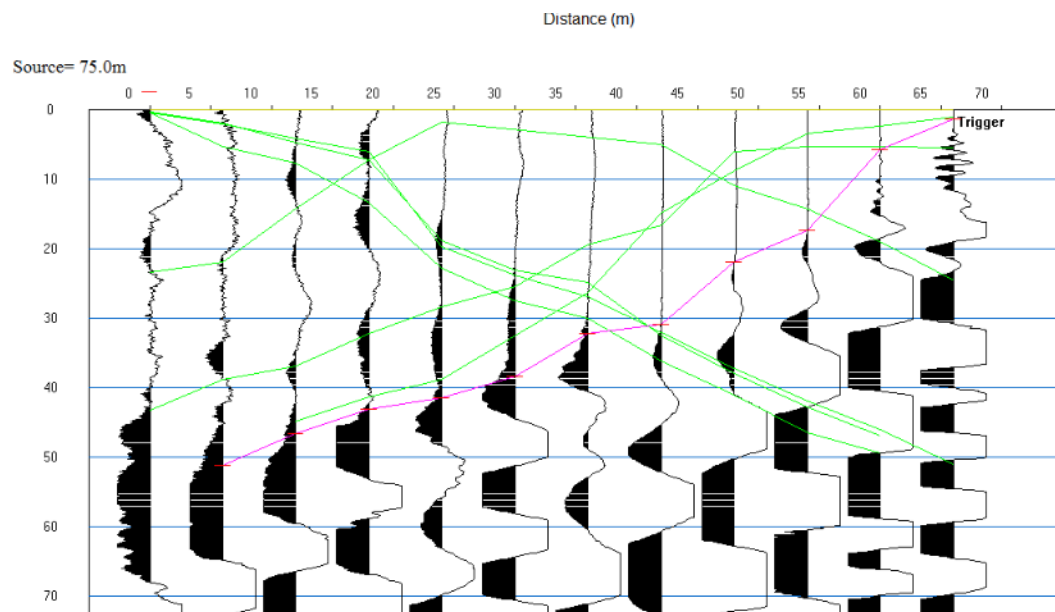
Καταγραφή 404



Καταγραφή 405

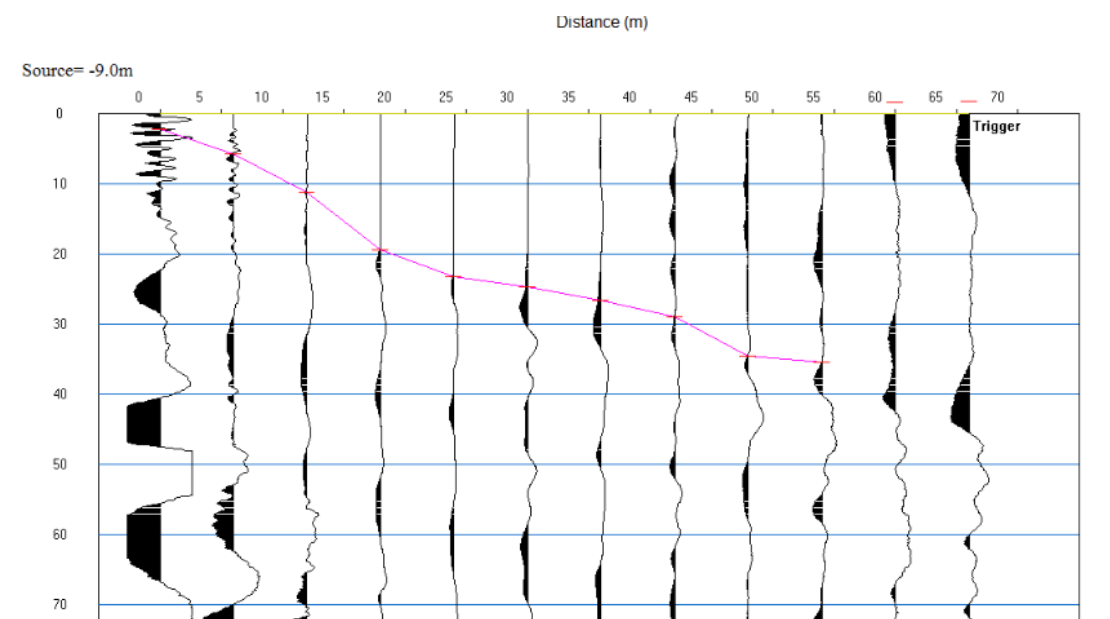


Καταγραφή 406

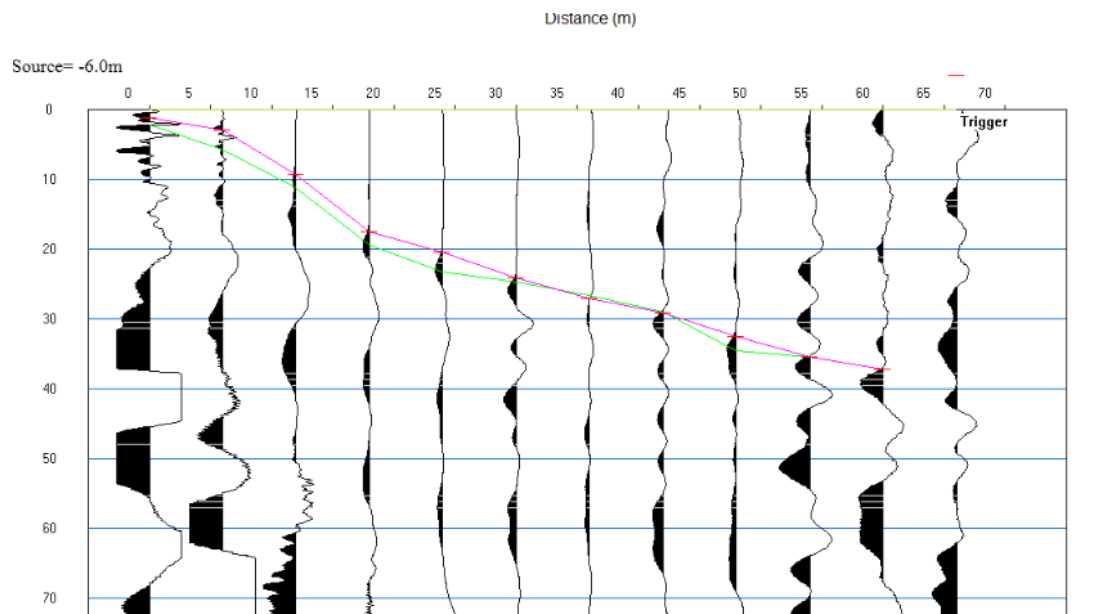


Καταγραφή 407

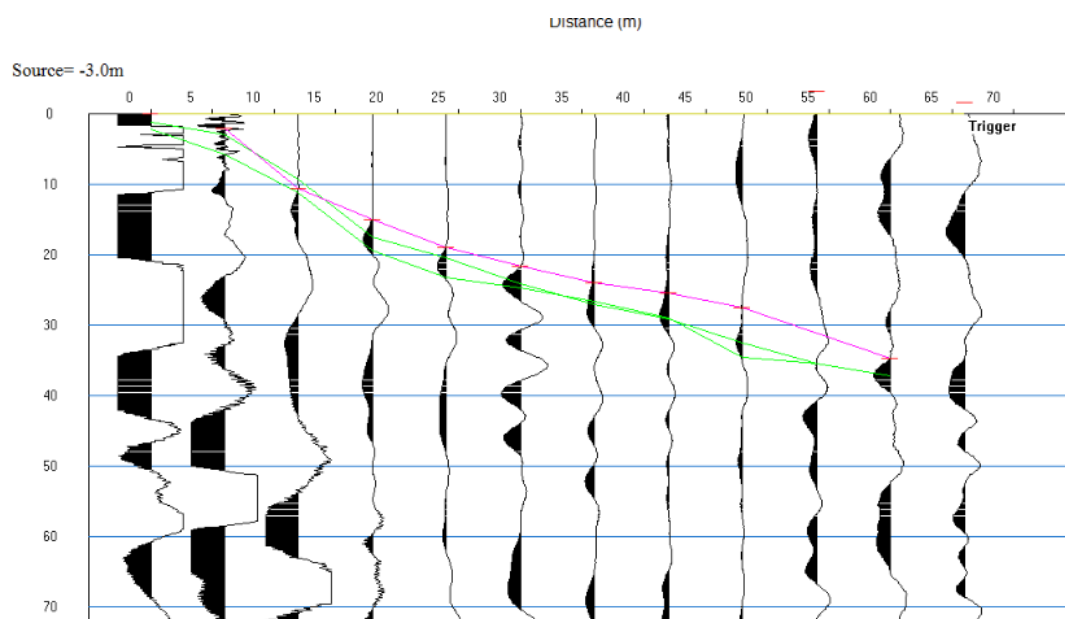
Παλιόχωρα



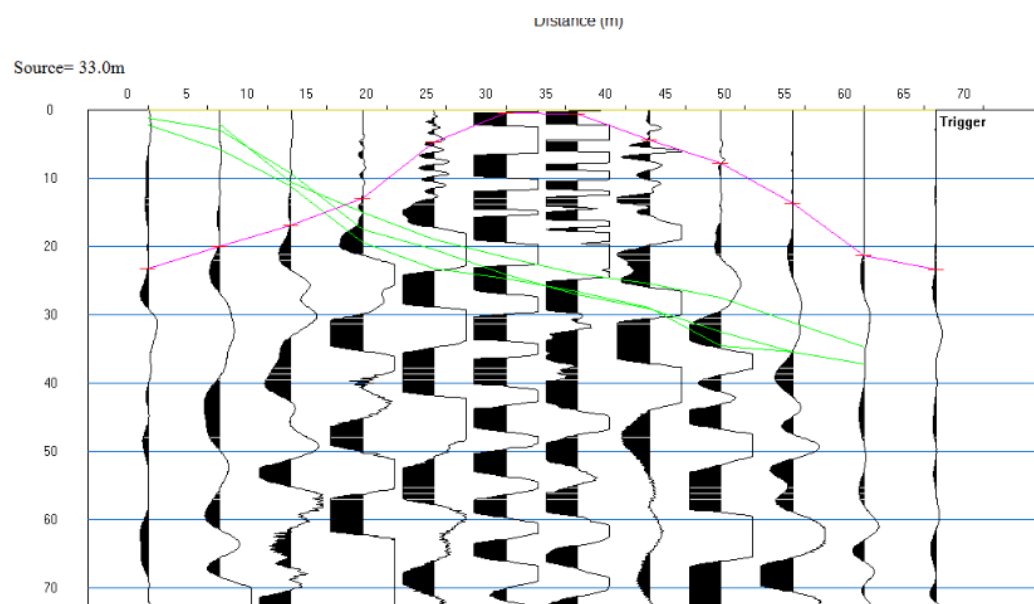
Καταγραφή 501



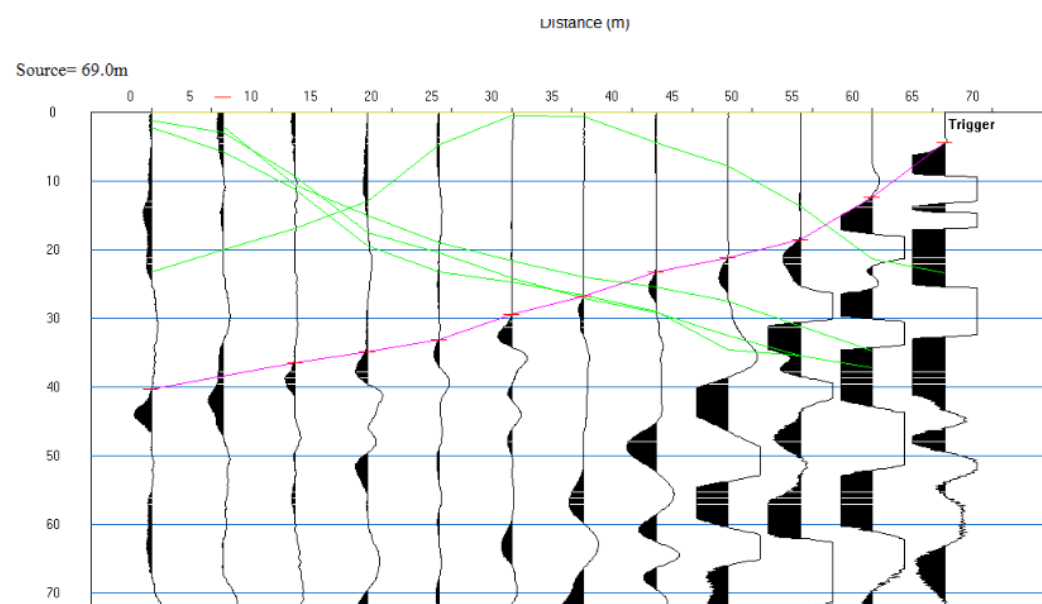
Καταγραφή 502



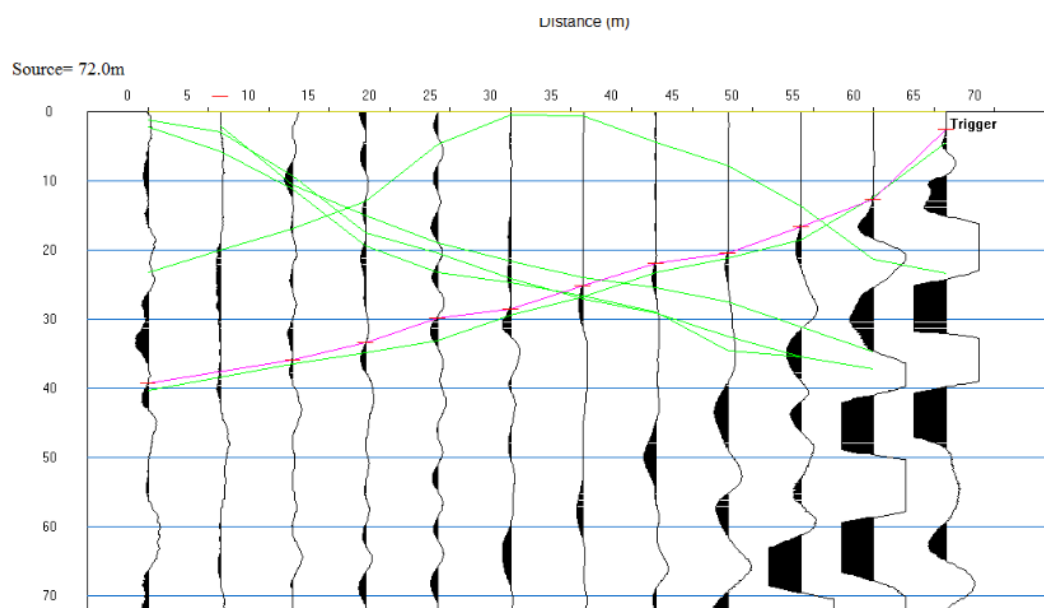
Καταγραφή 503



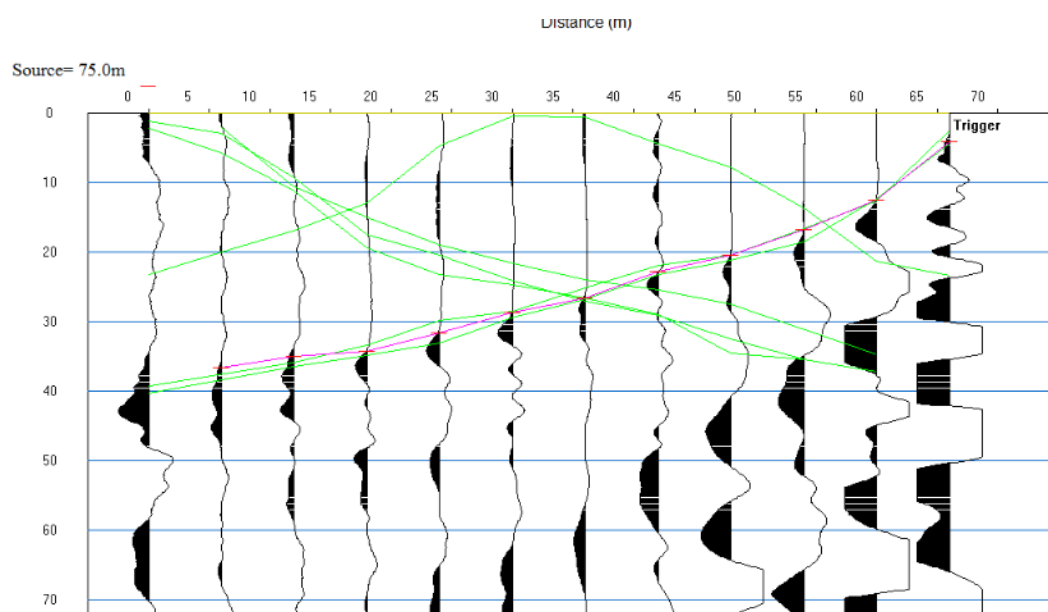
Καταγραφή 504



Καταγραφή 505



Καταγραφή 506

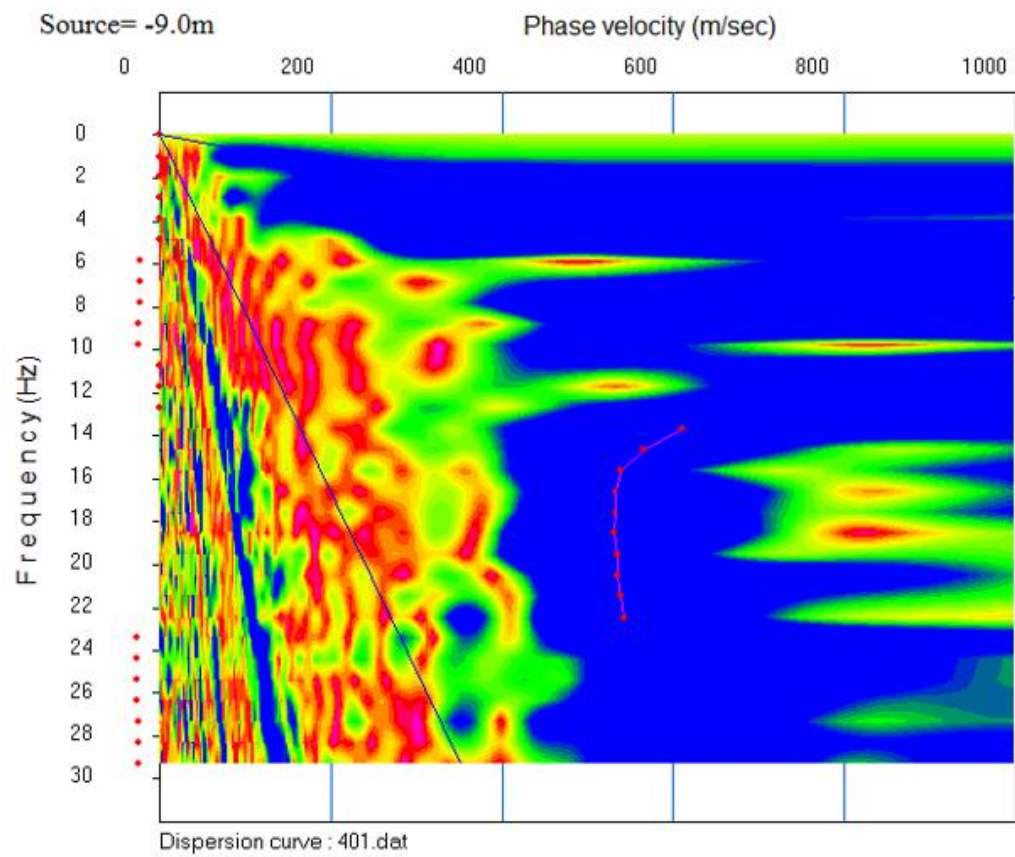
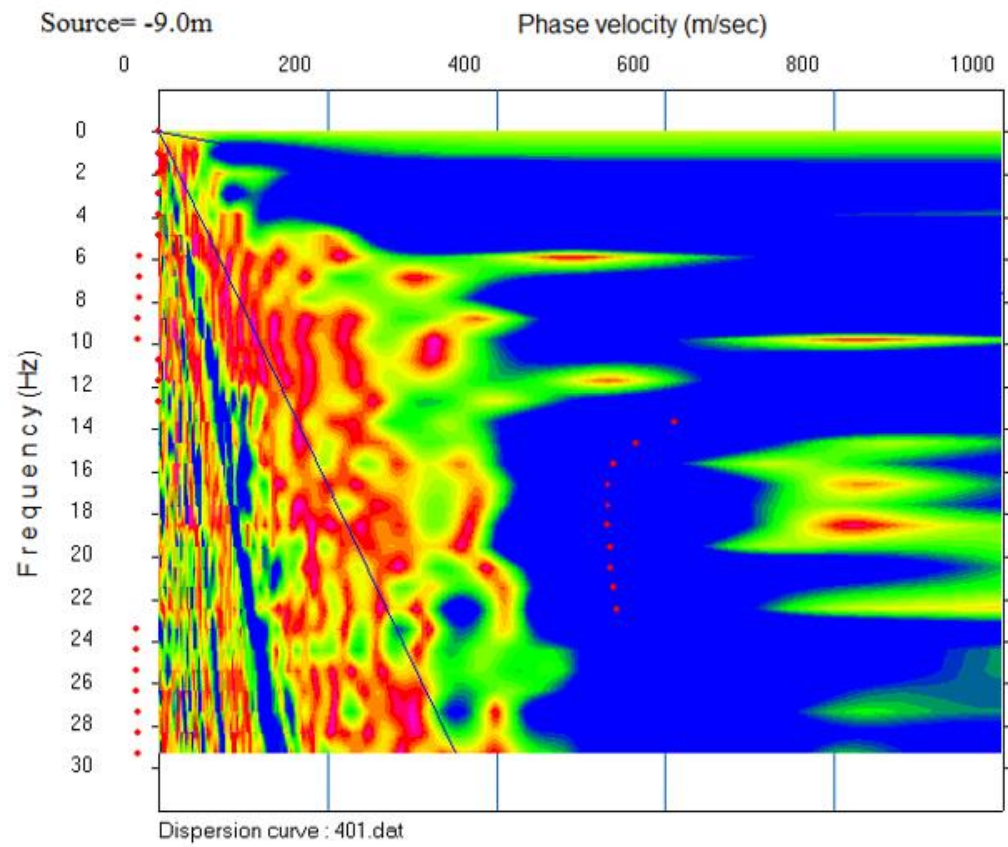


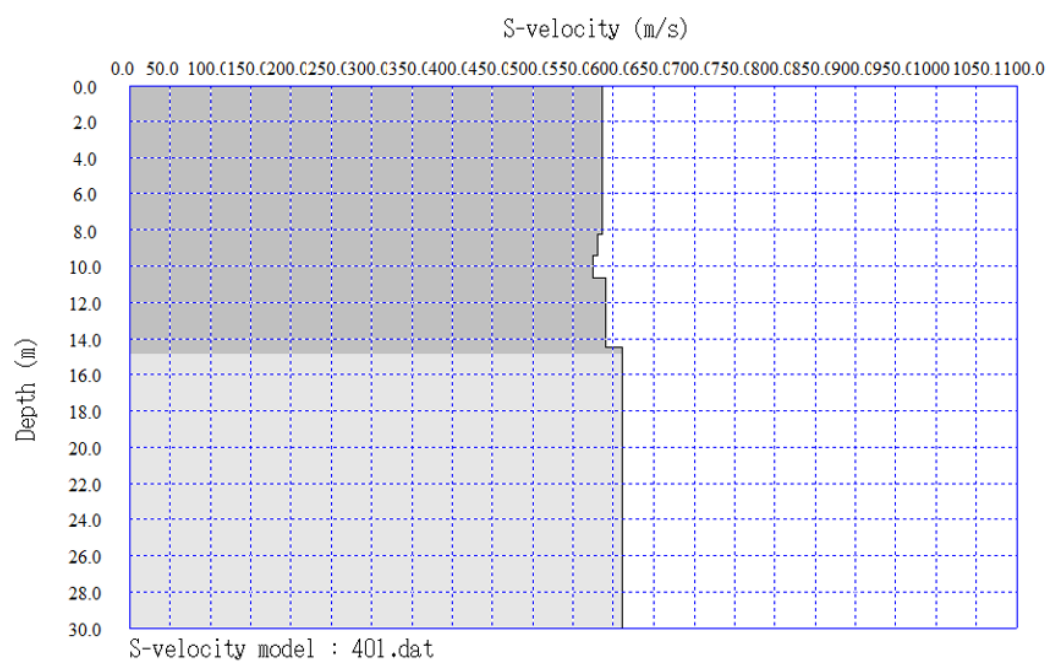
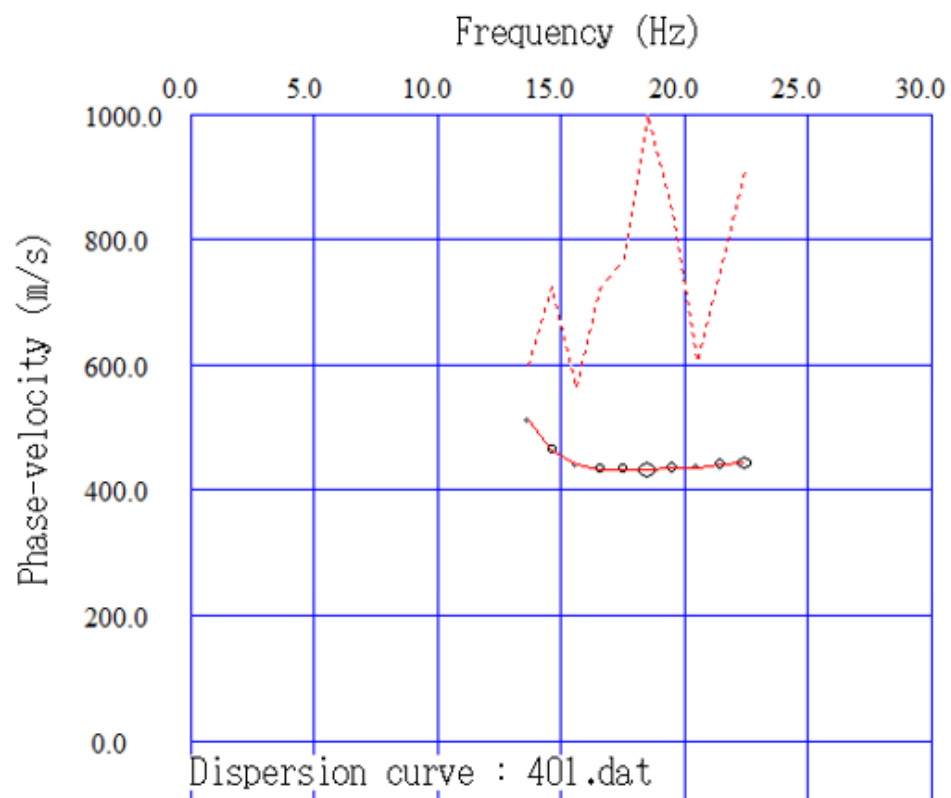
Καταγραφή 507

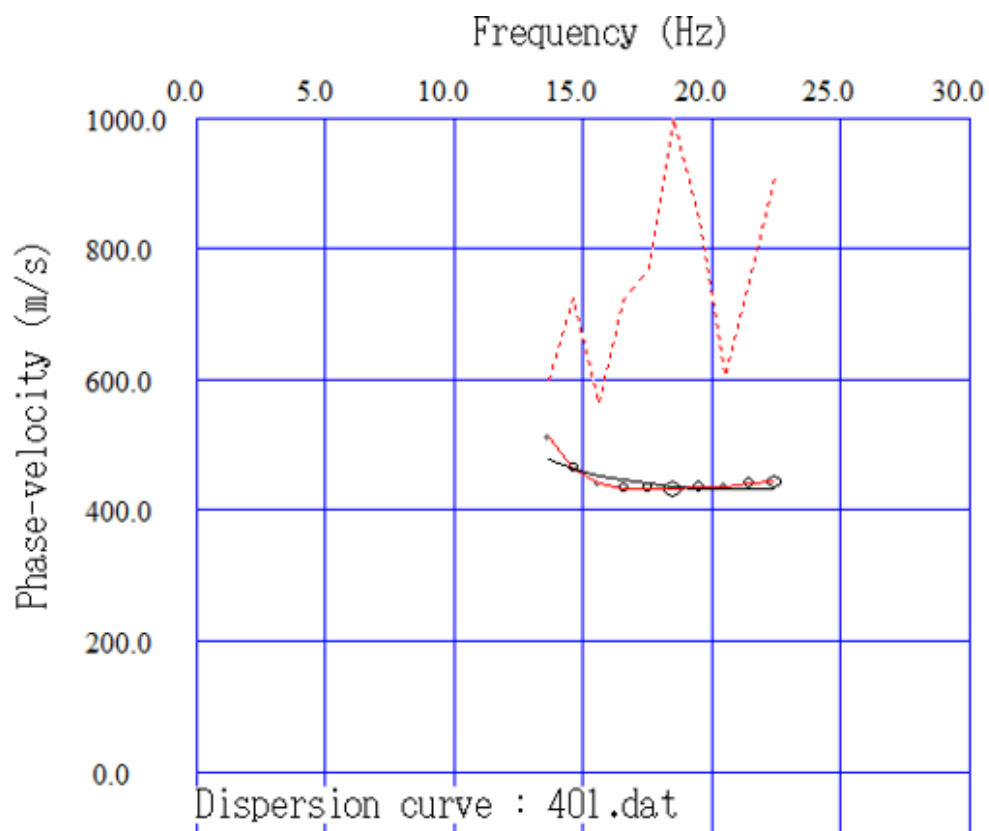
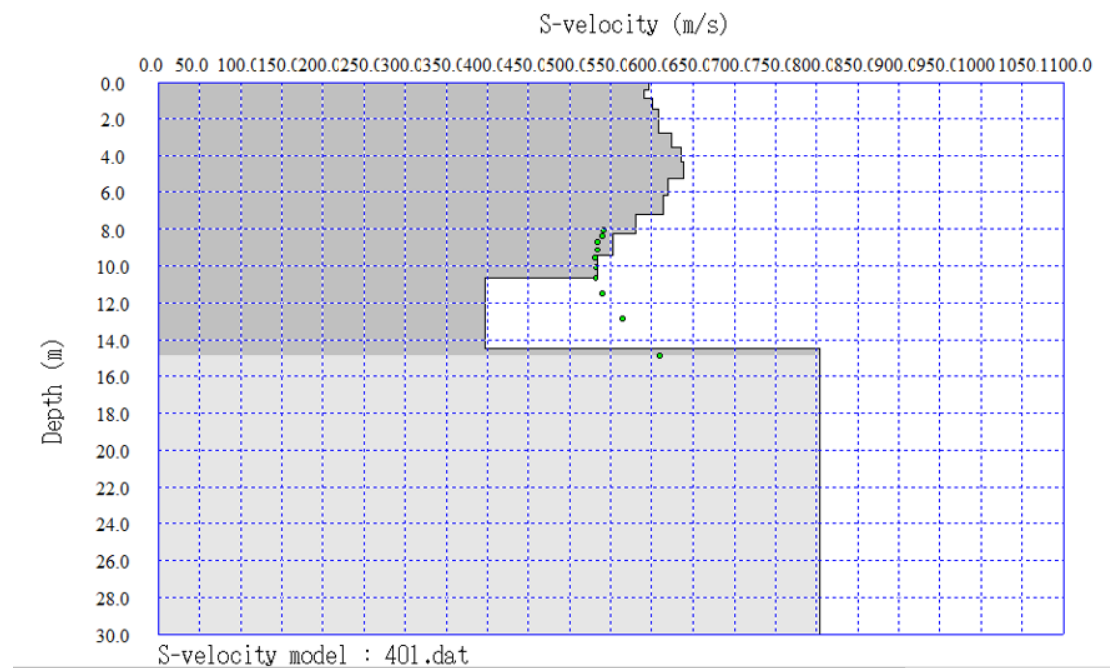
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

ΧΑΝΙΑ ACTIVE

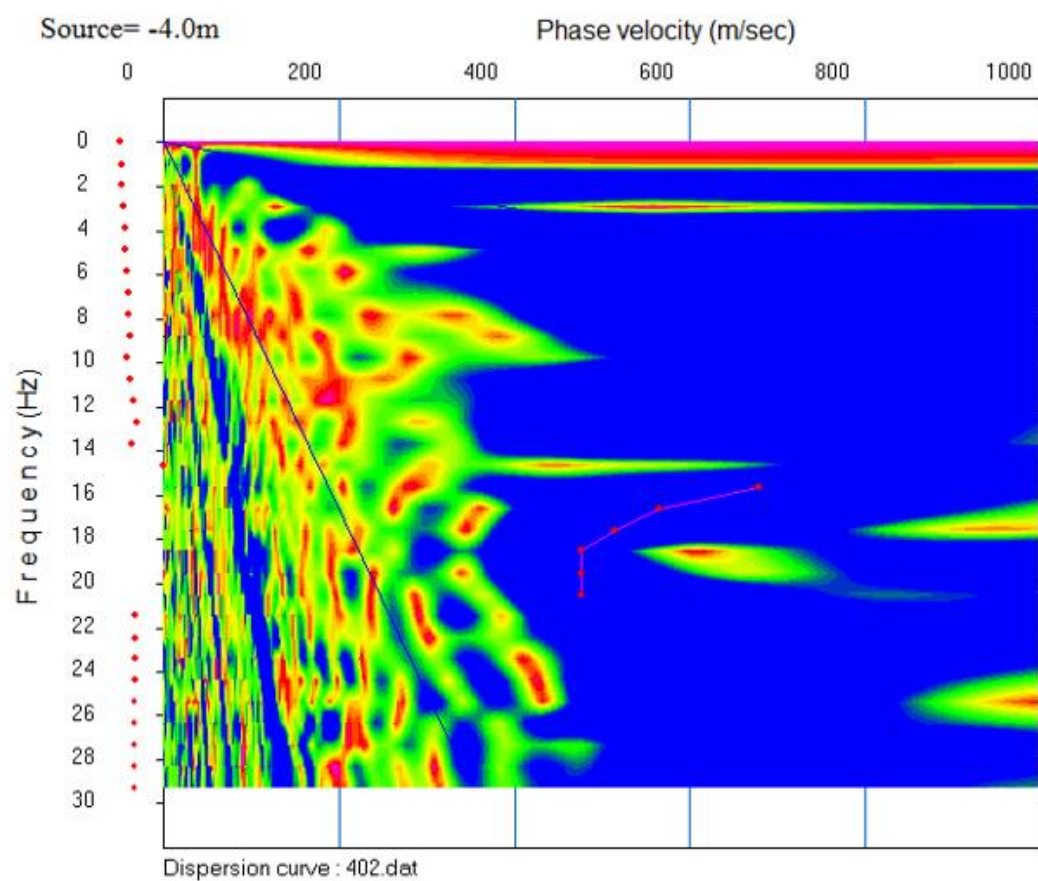
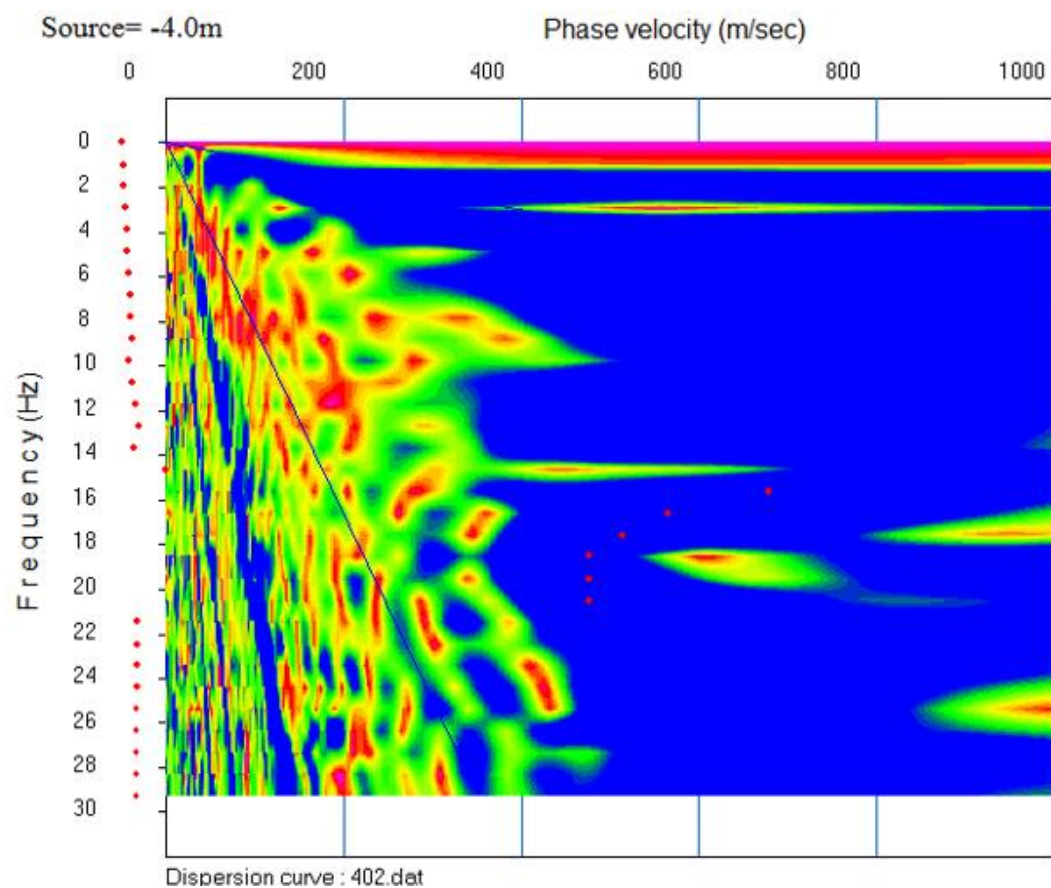
Καταγραφή 401

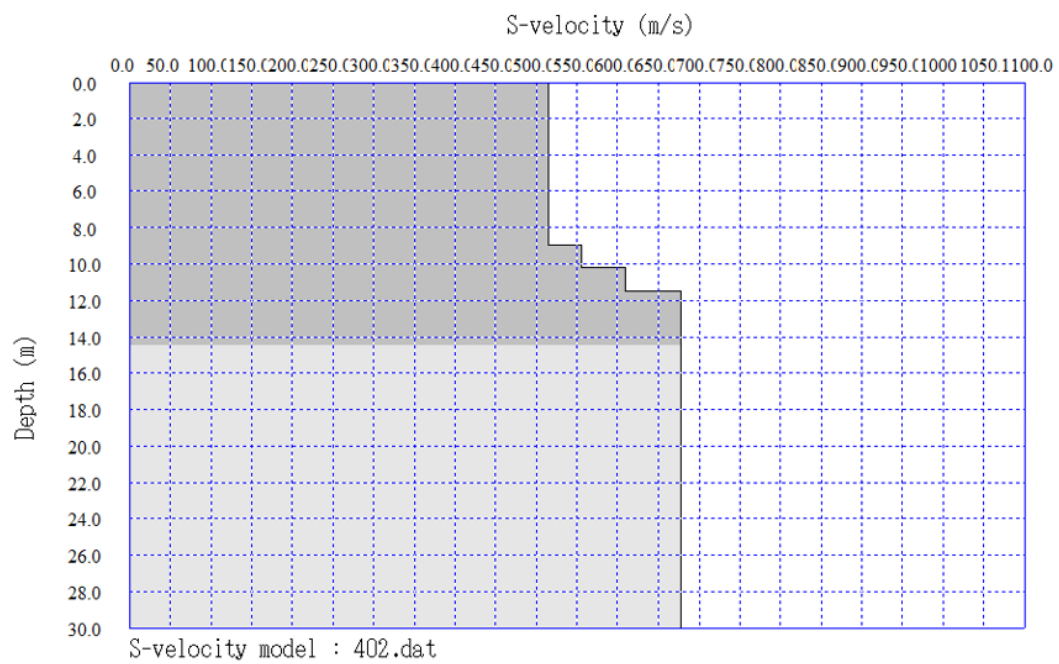
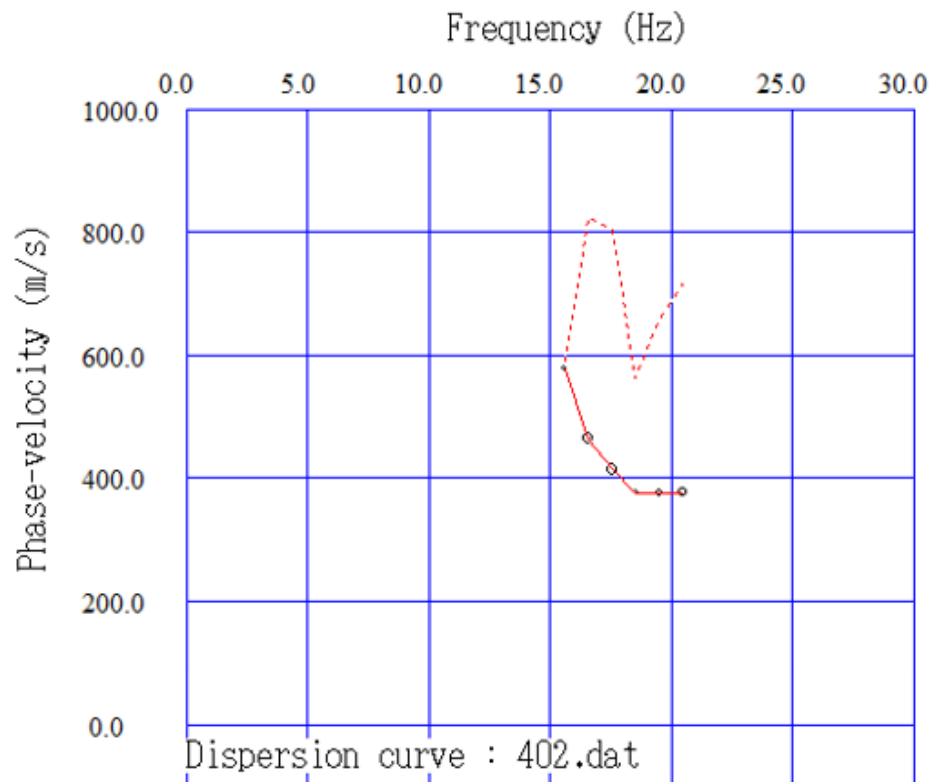


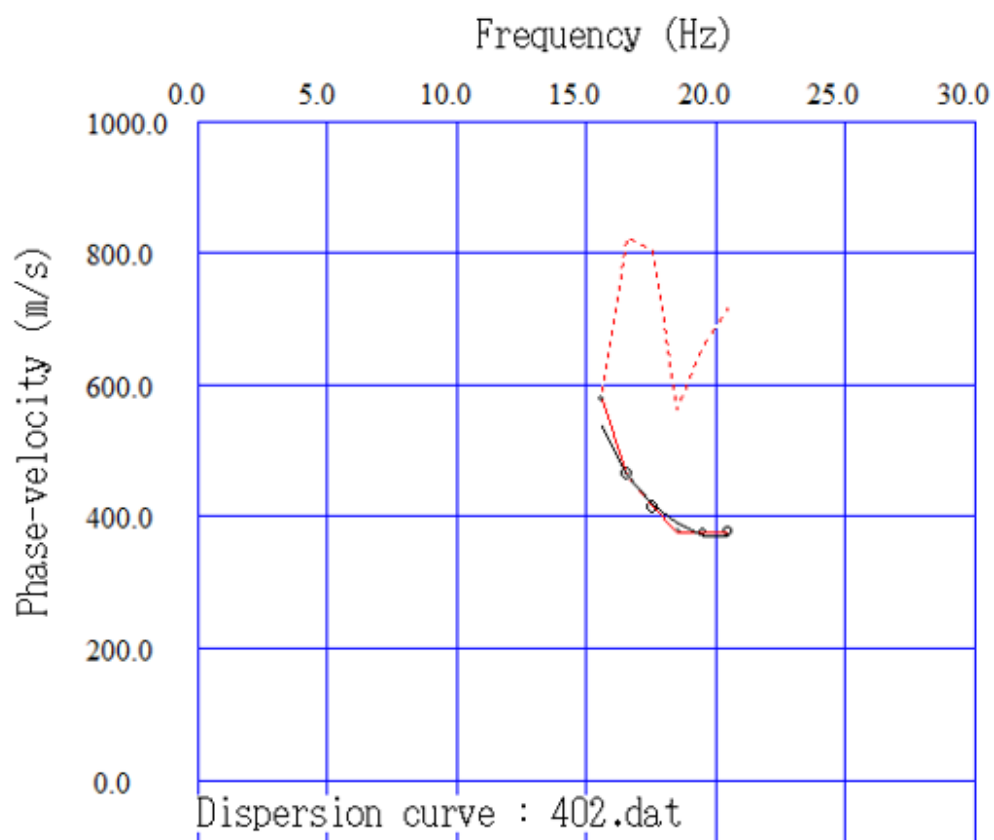
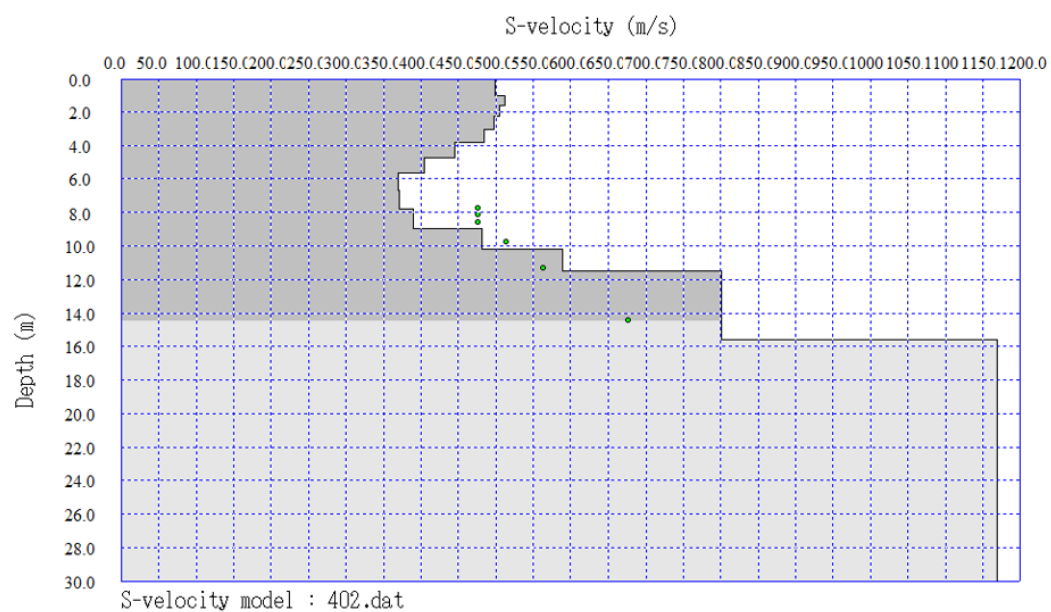




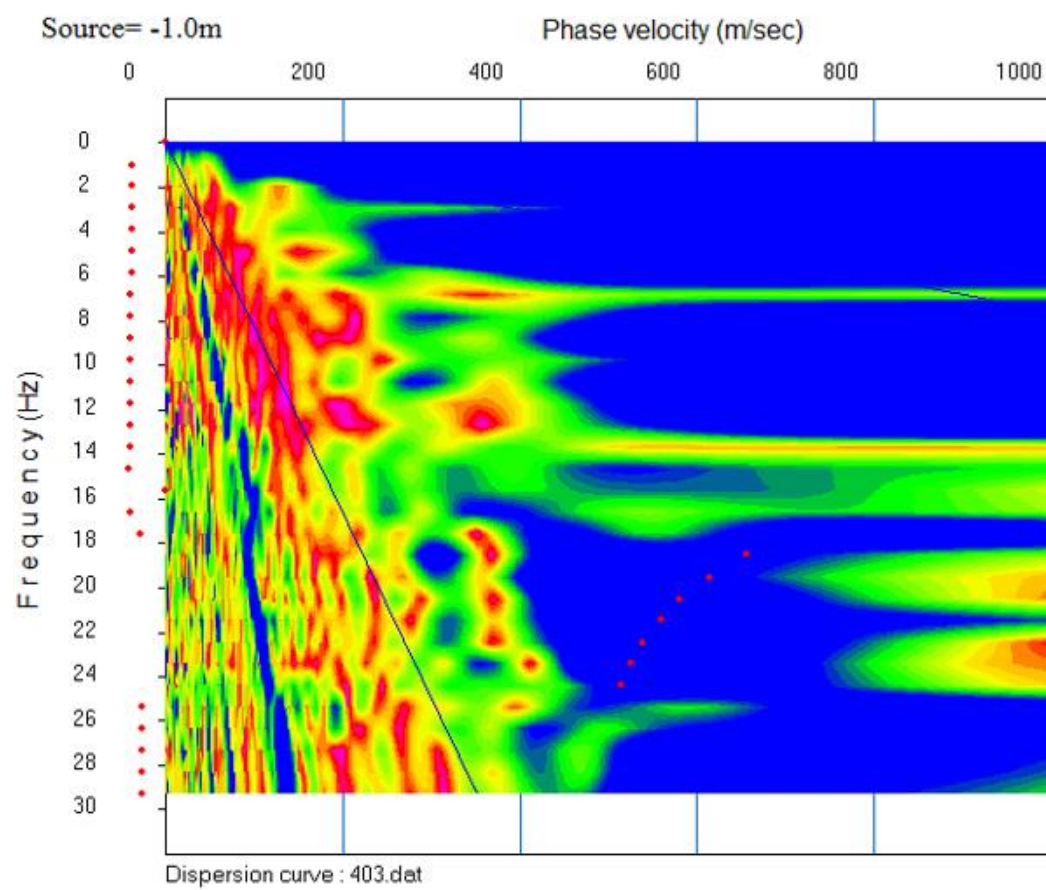
Καταγραφή 402

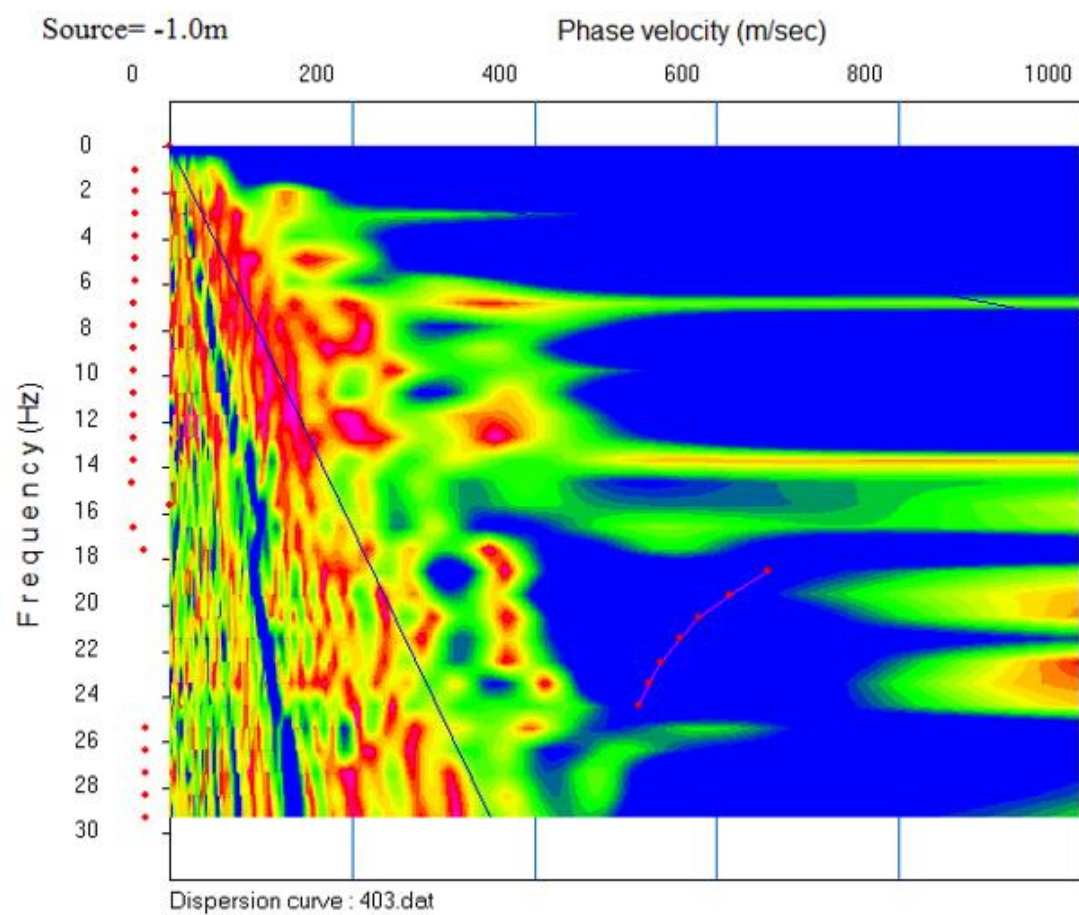


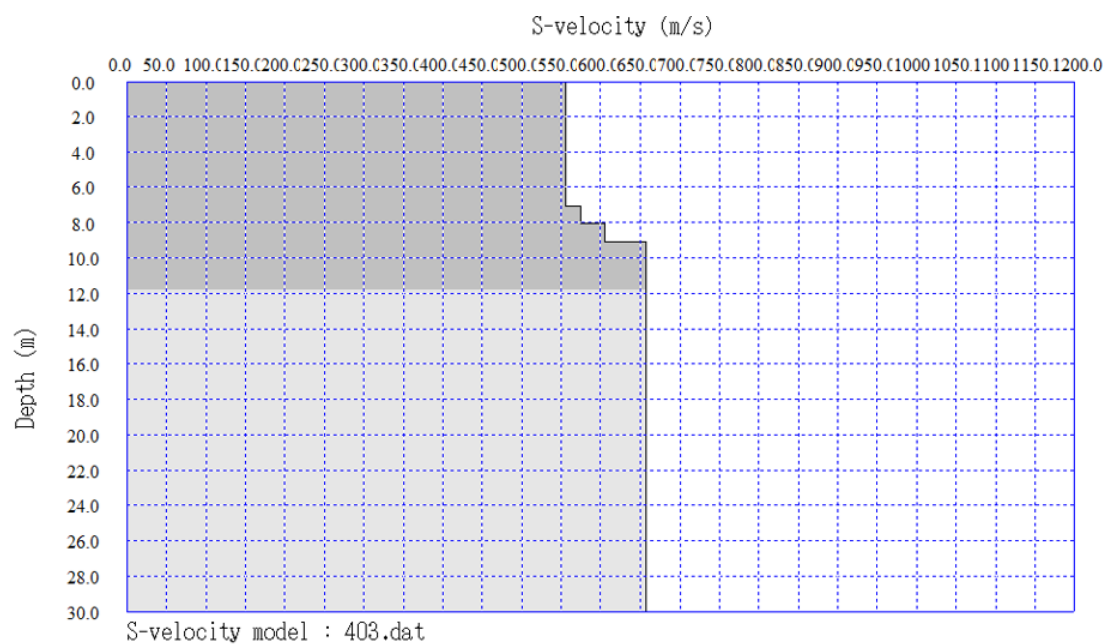
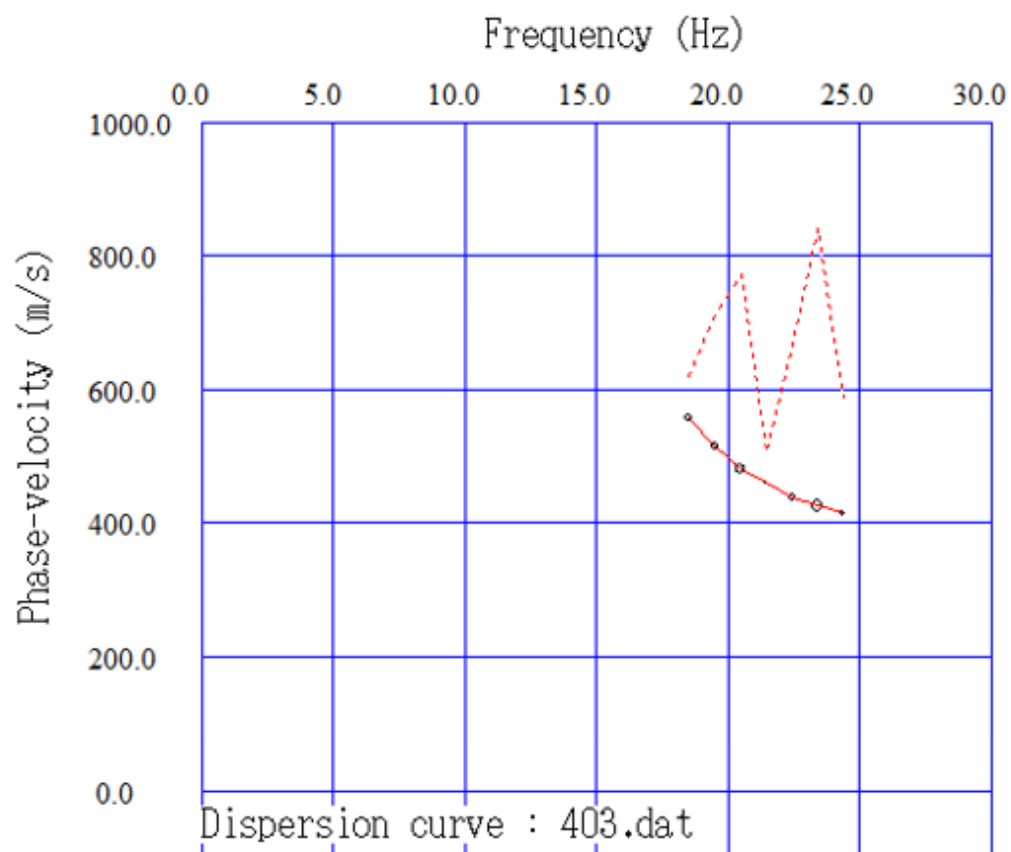


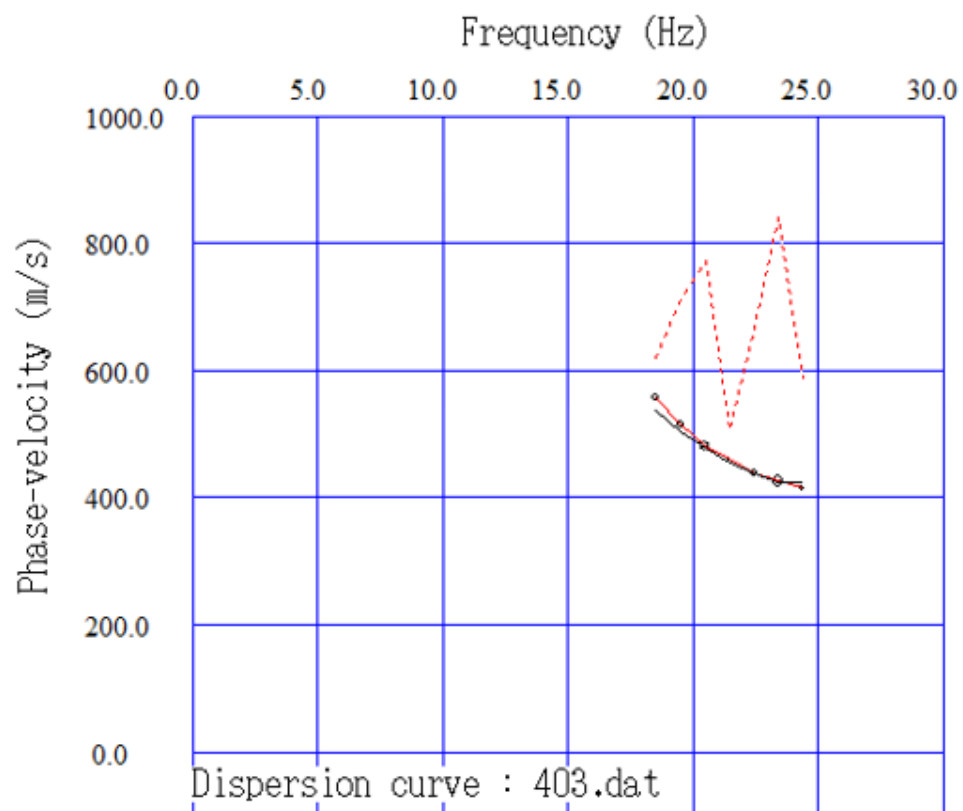
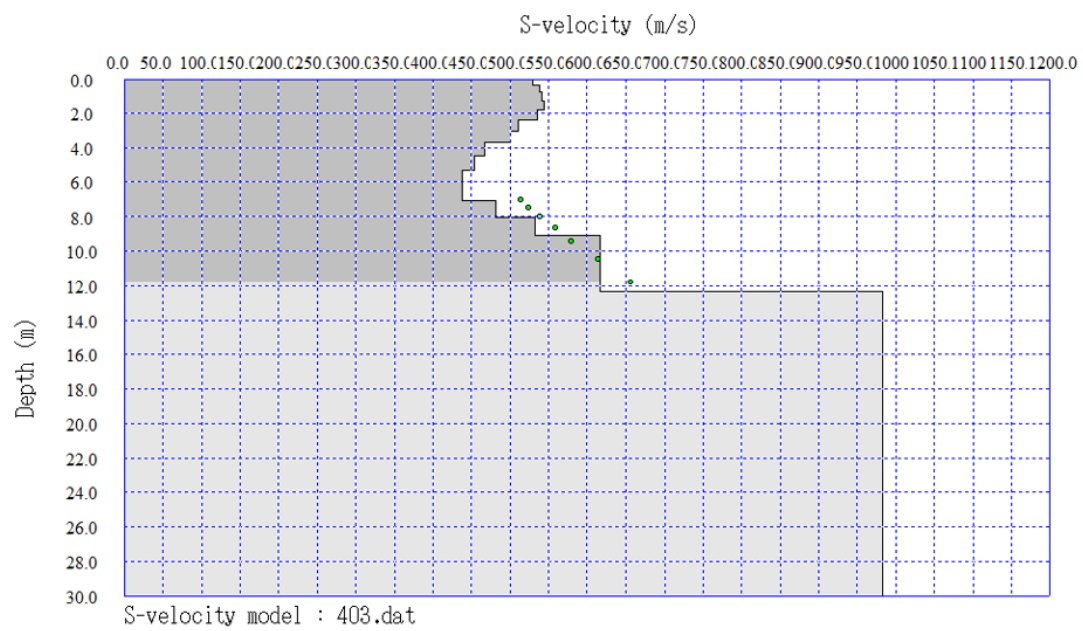


Καταγραφή 403

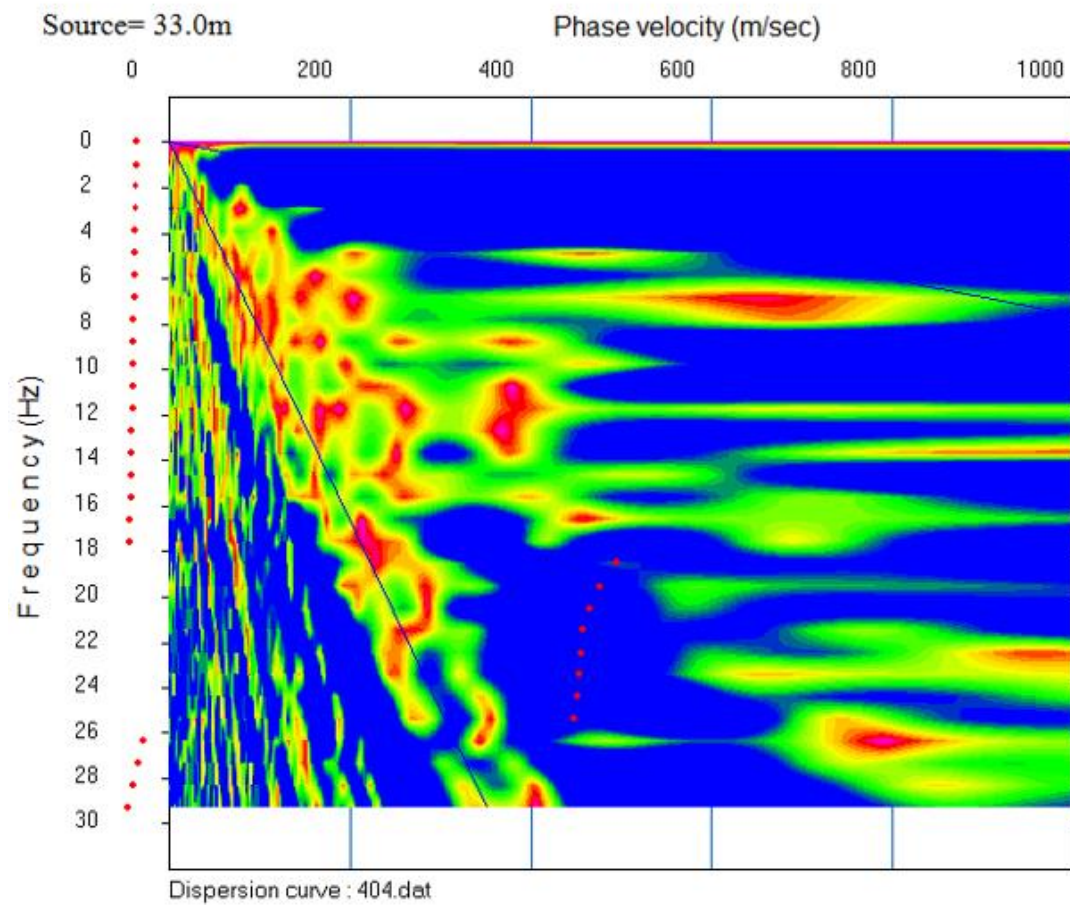


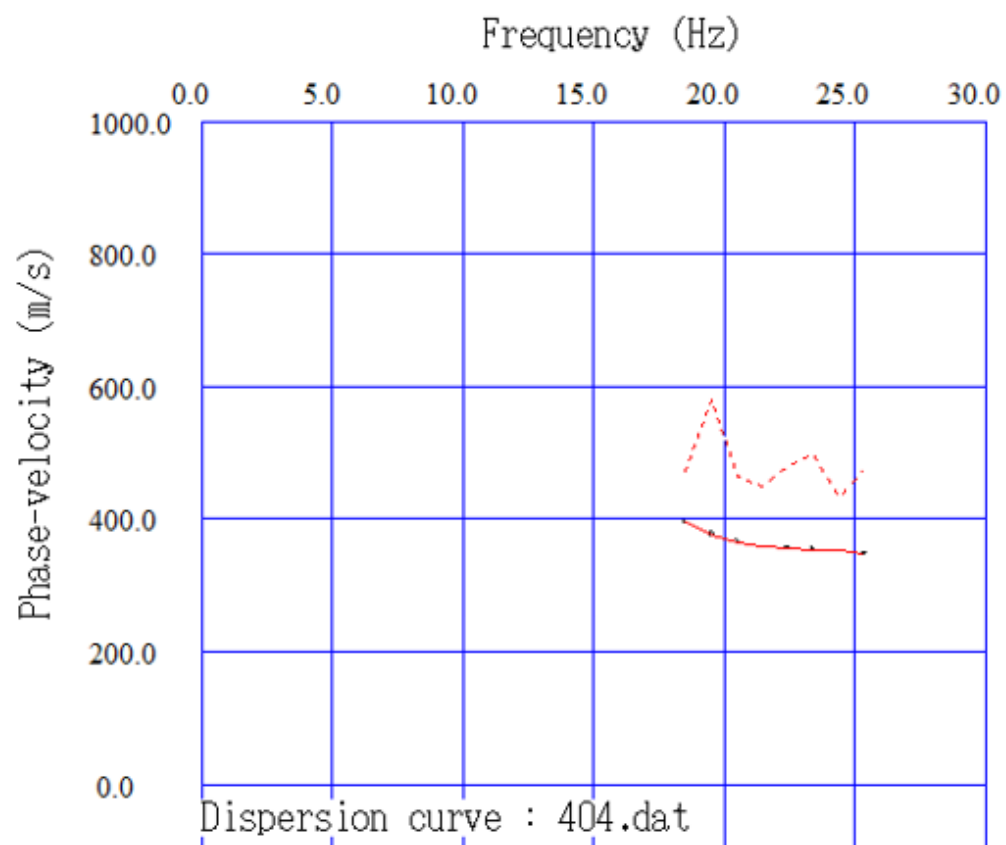
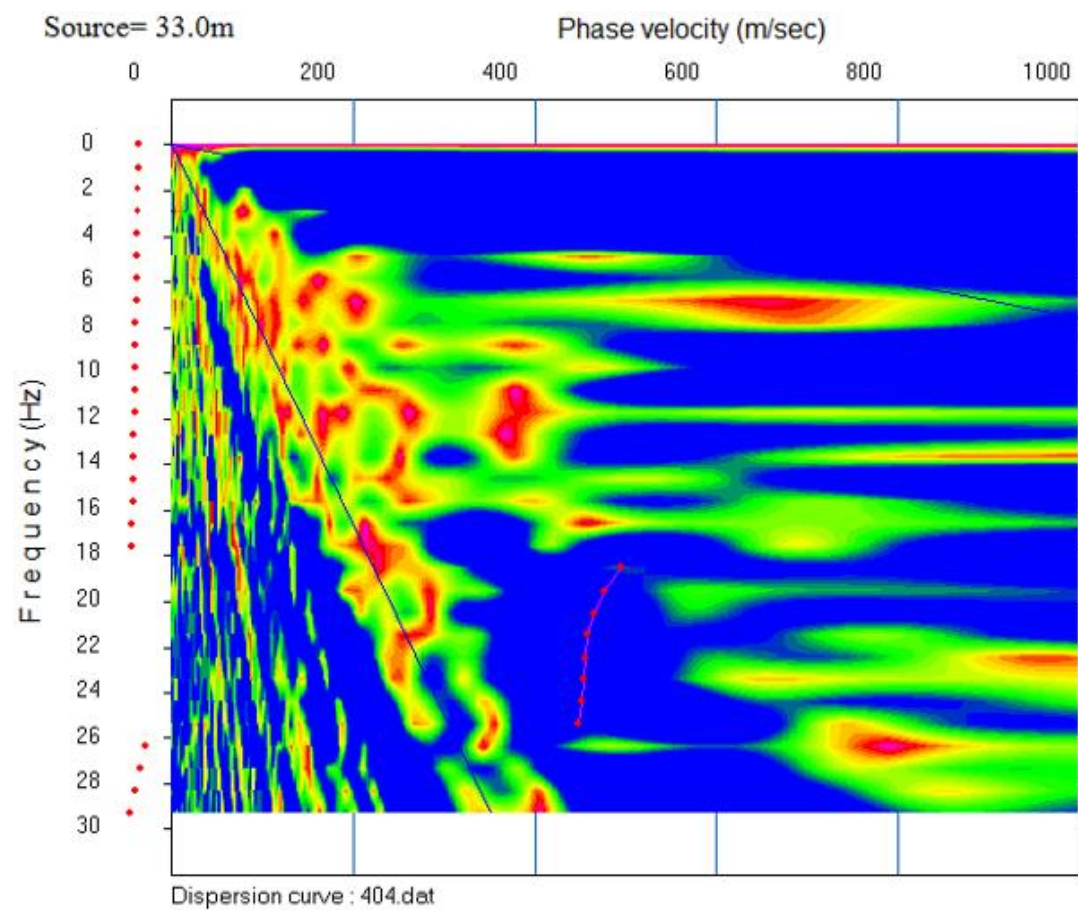


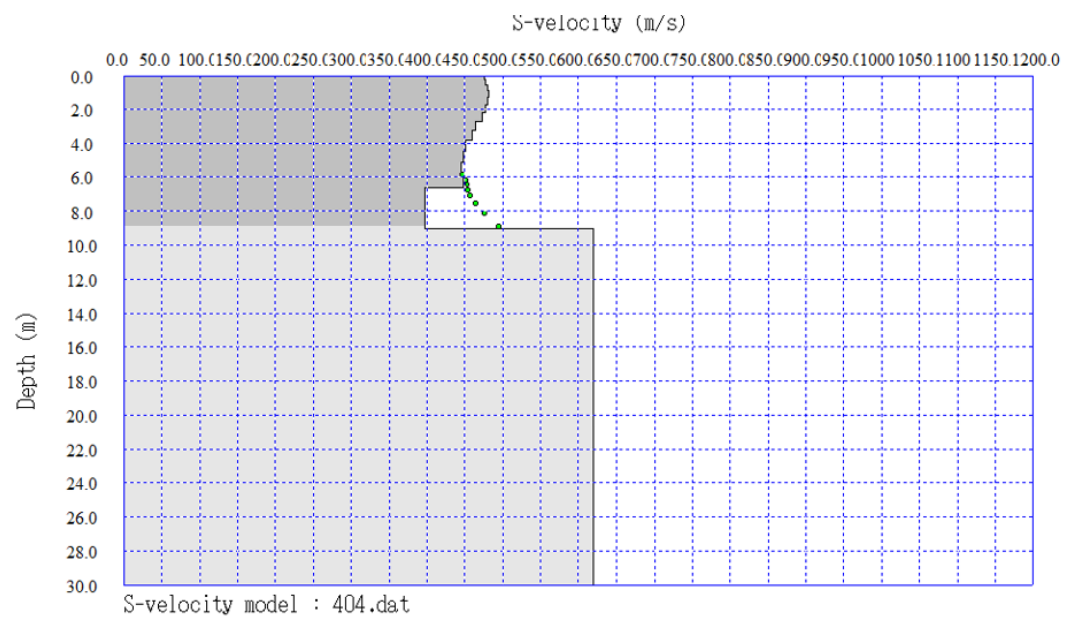
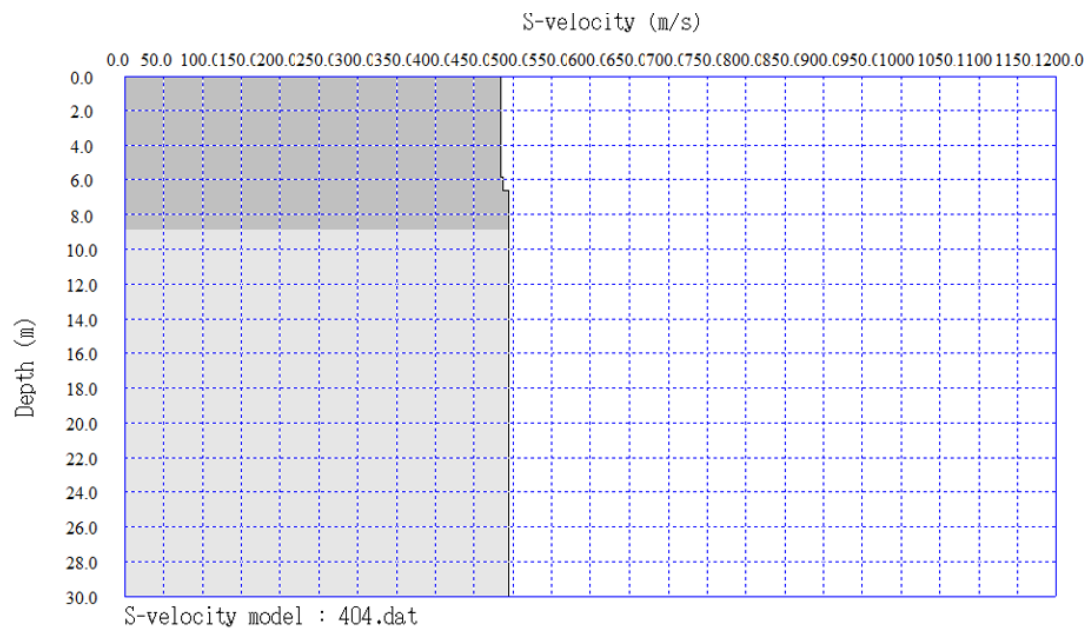


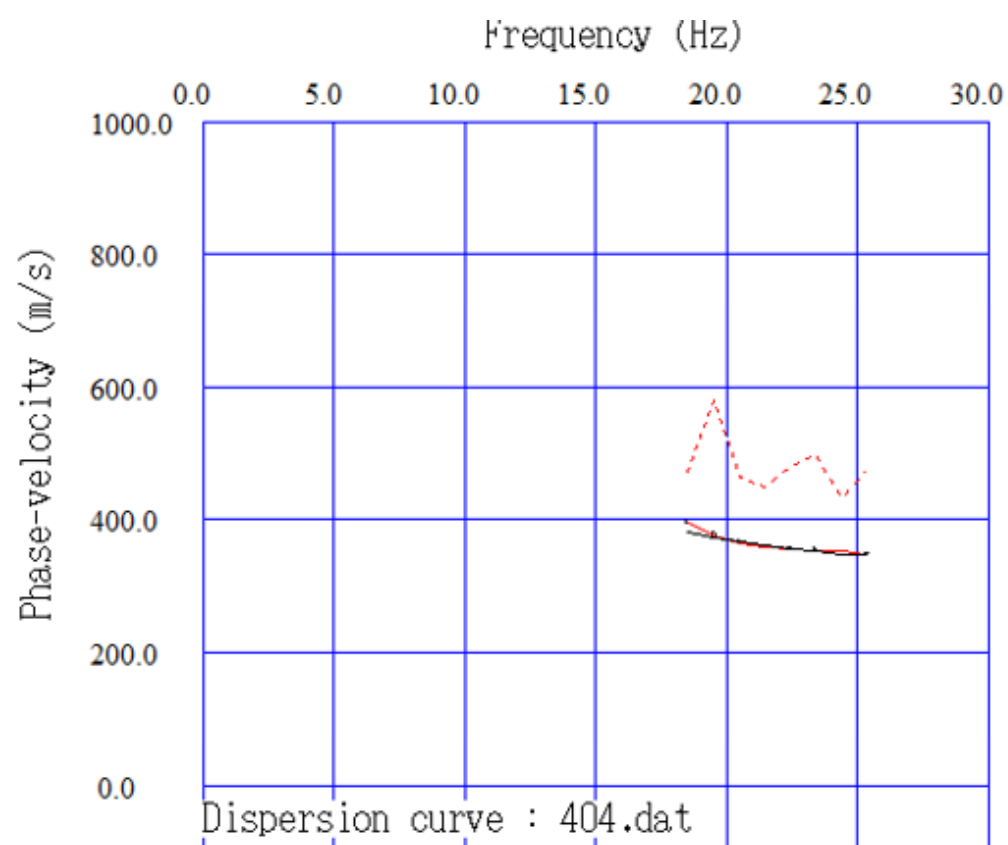


Καταγραφή 404

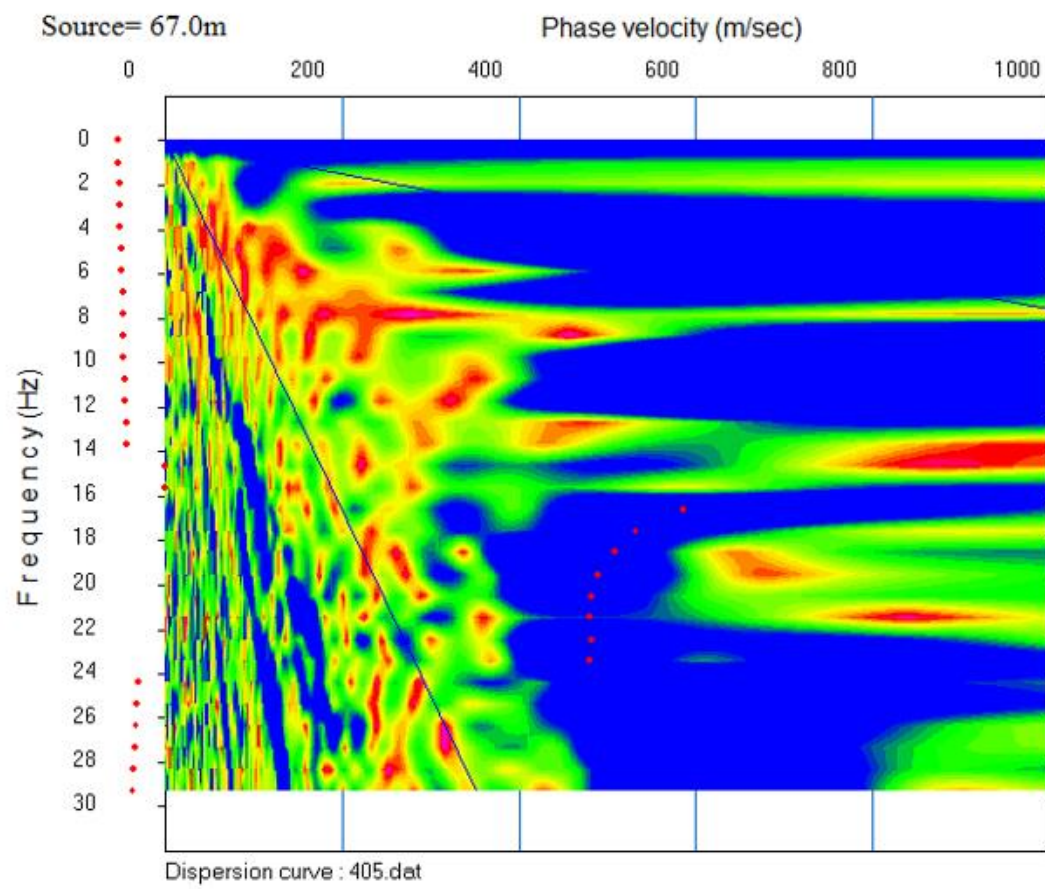


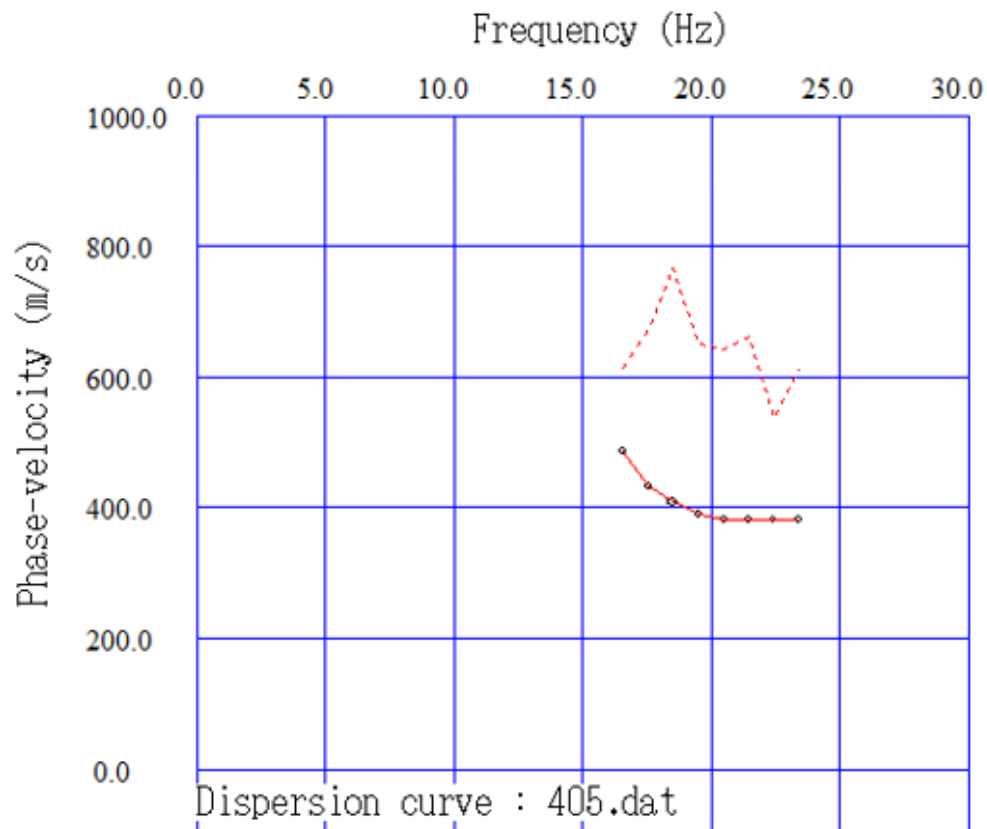
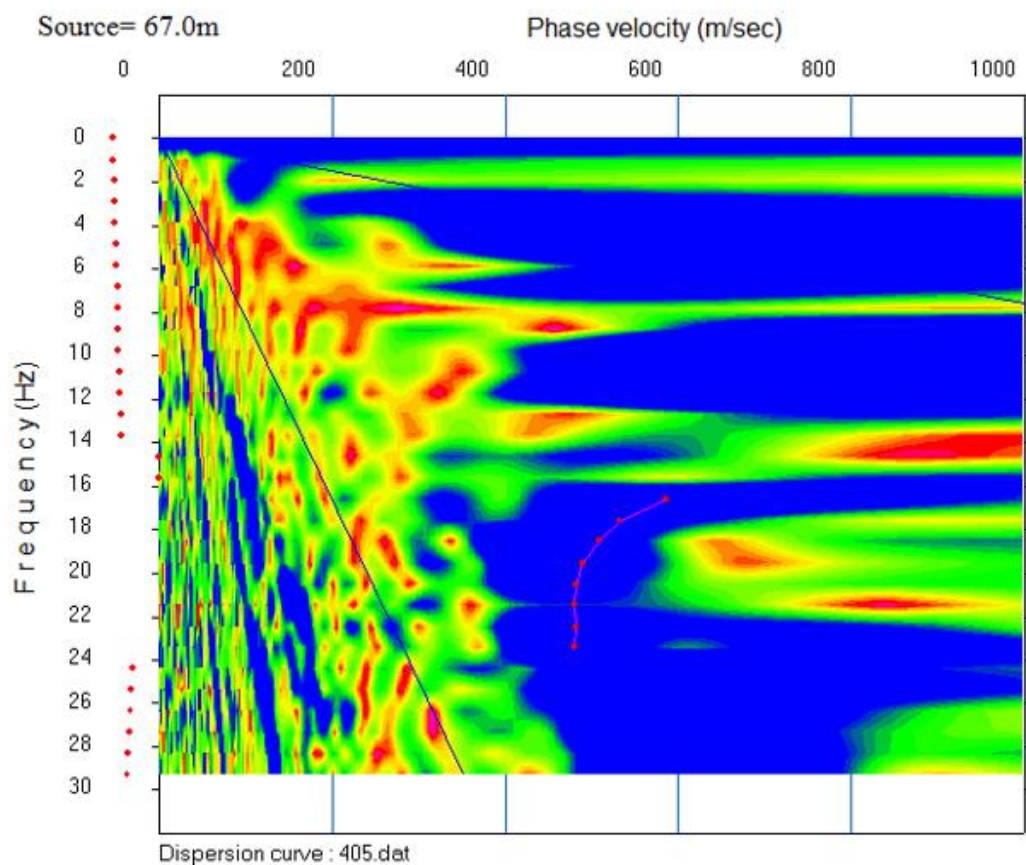


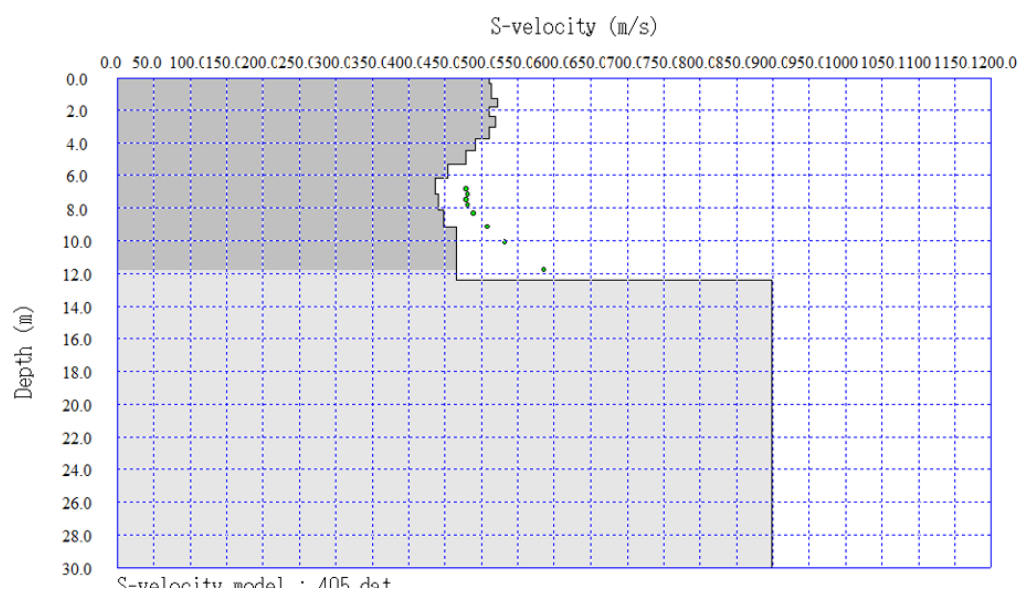
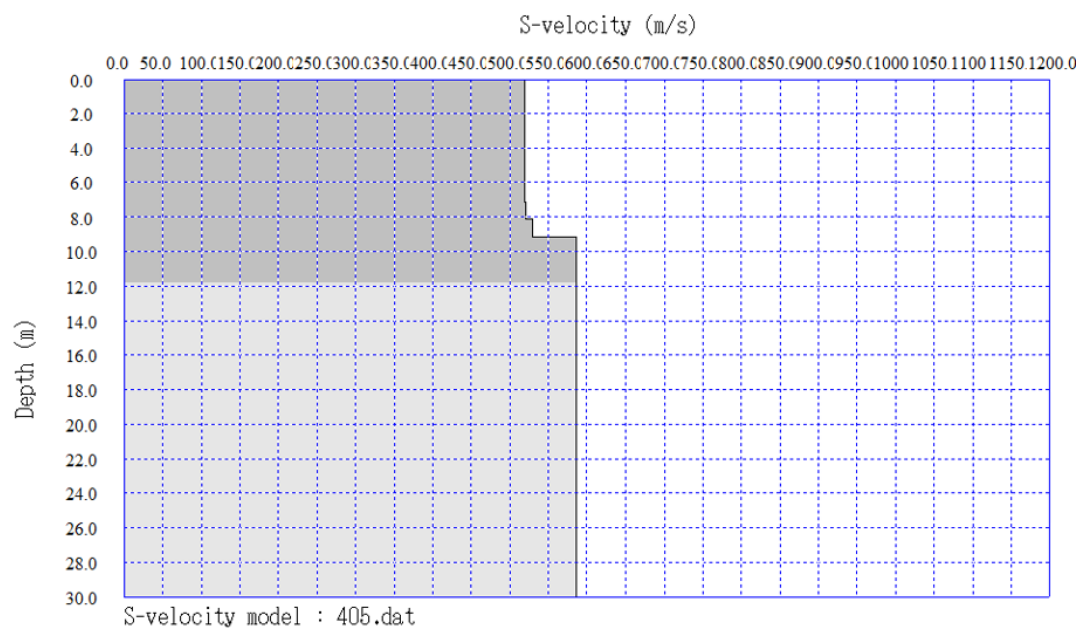


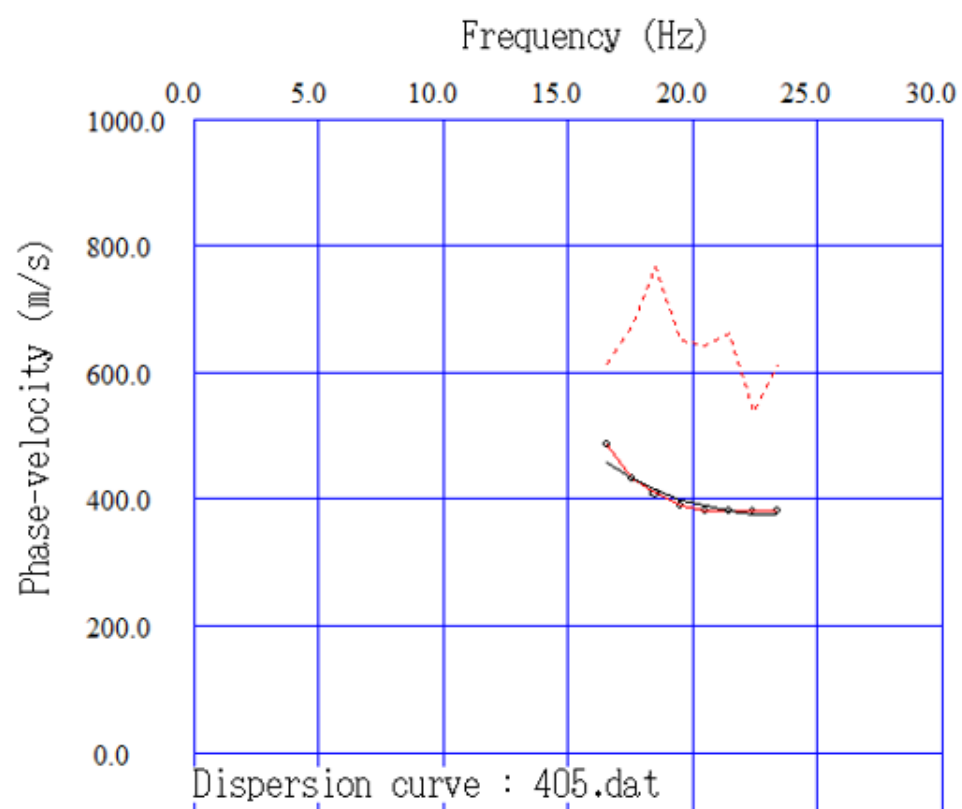


Καταγραφή 405

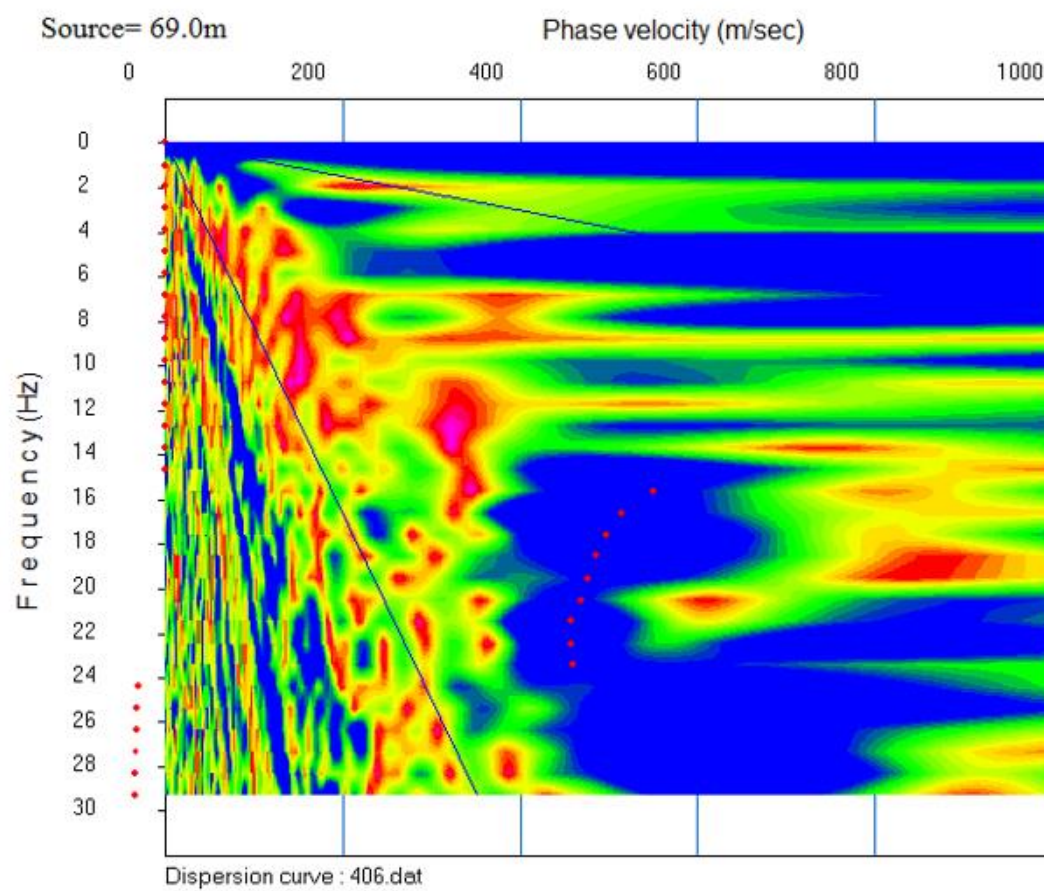


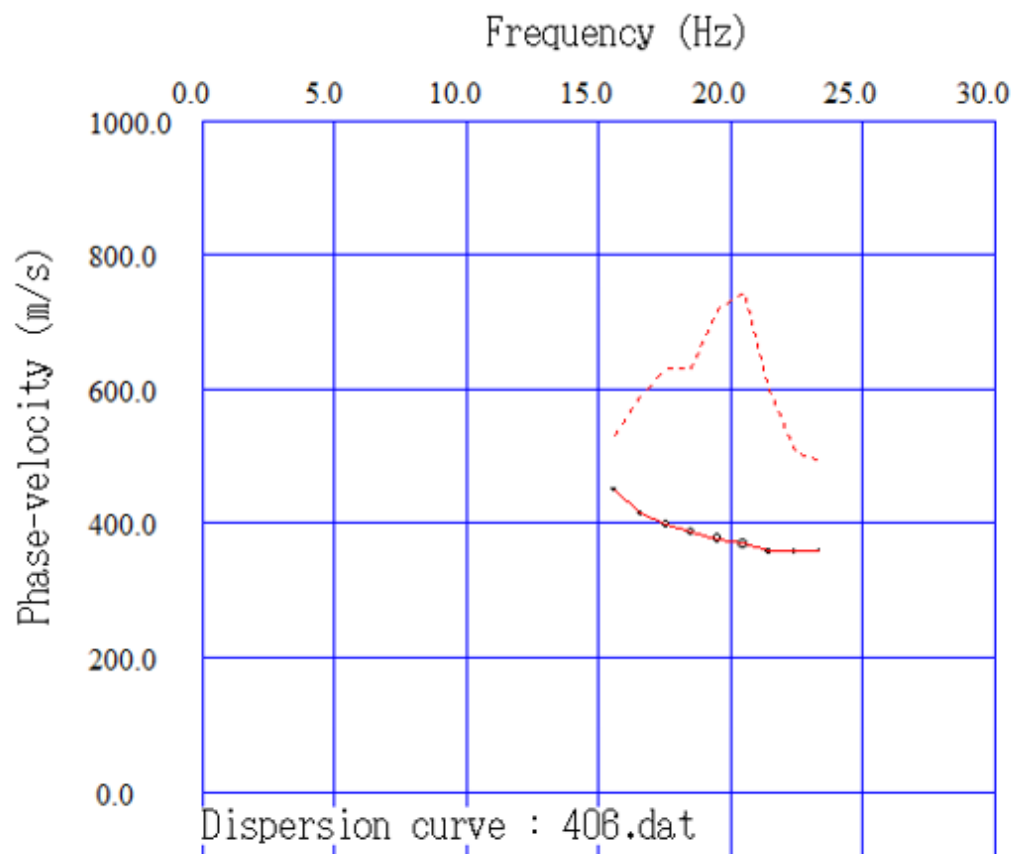
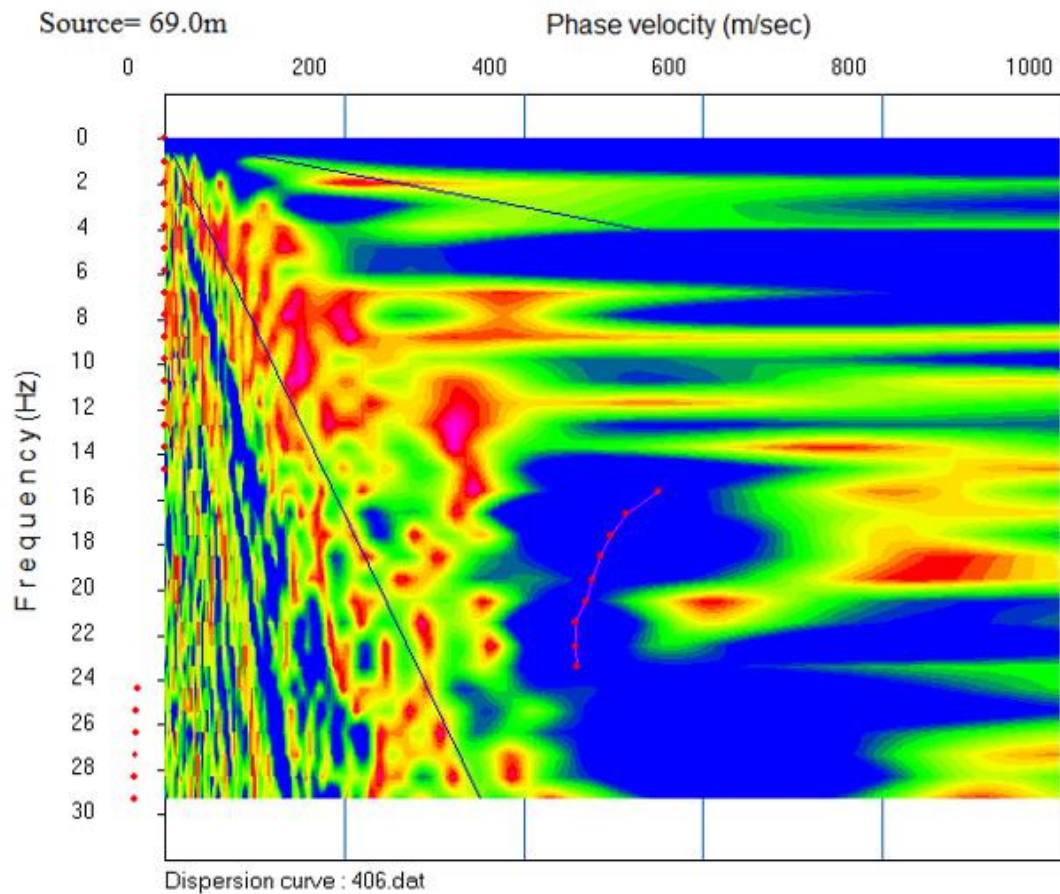


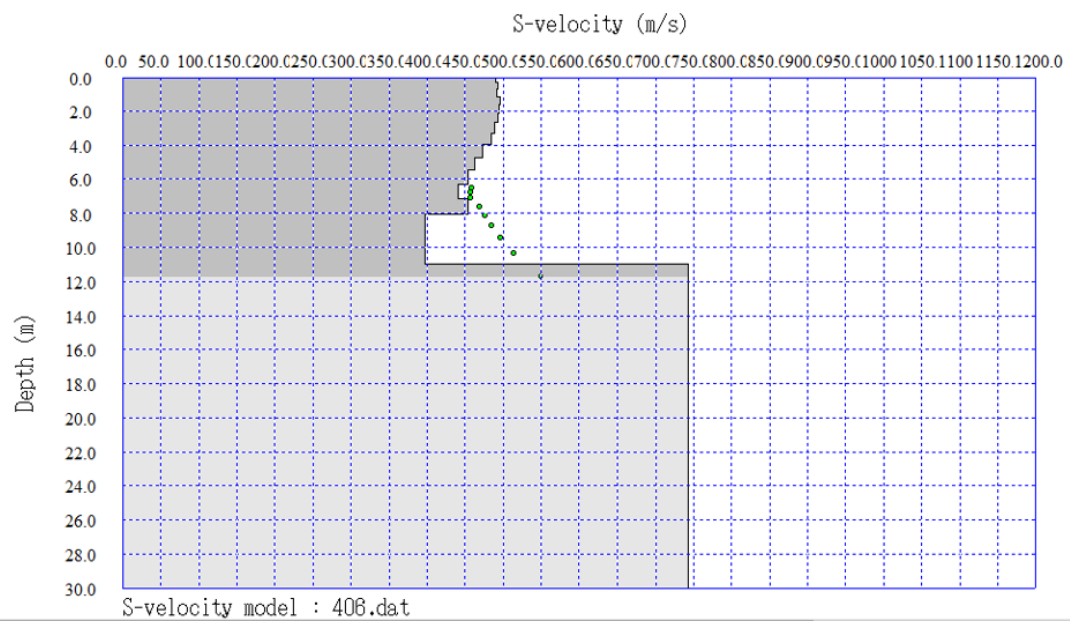
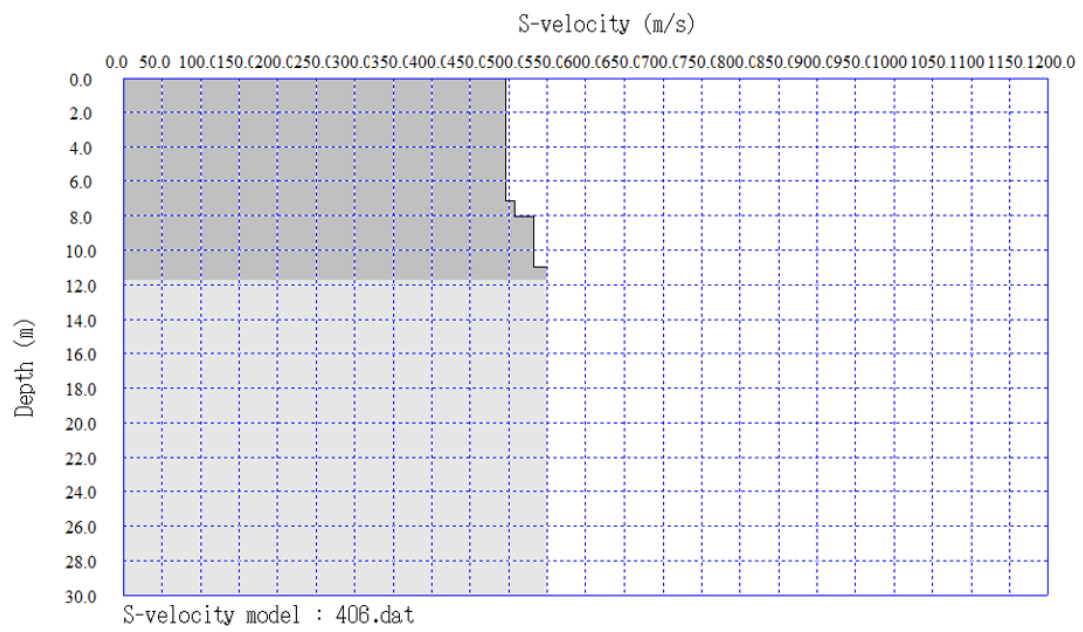


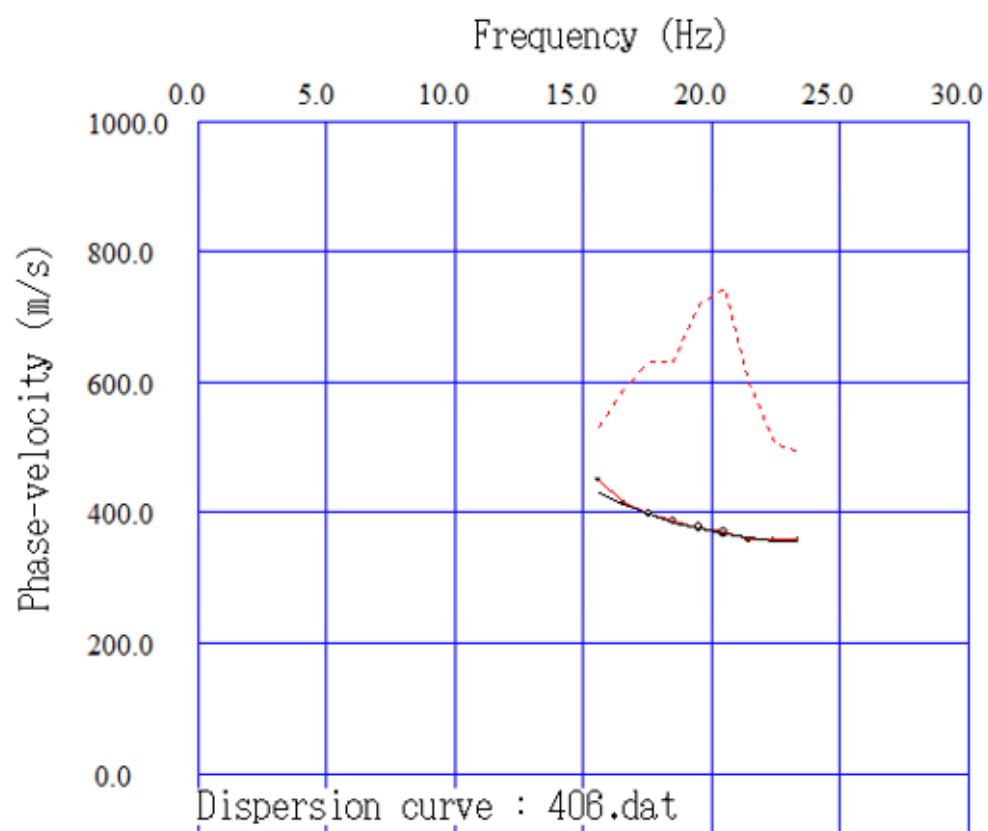


Καταγραφή 406

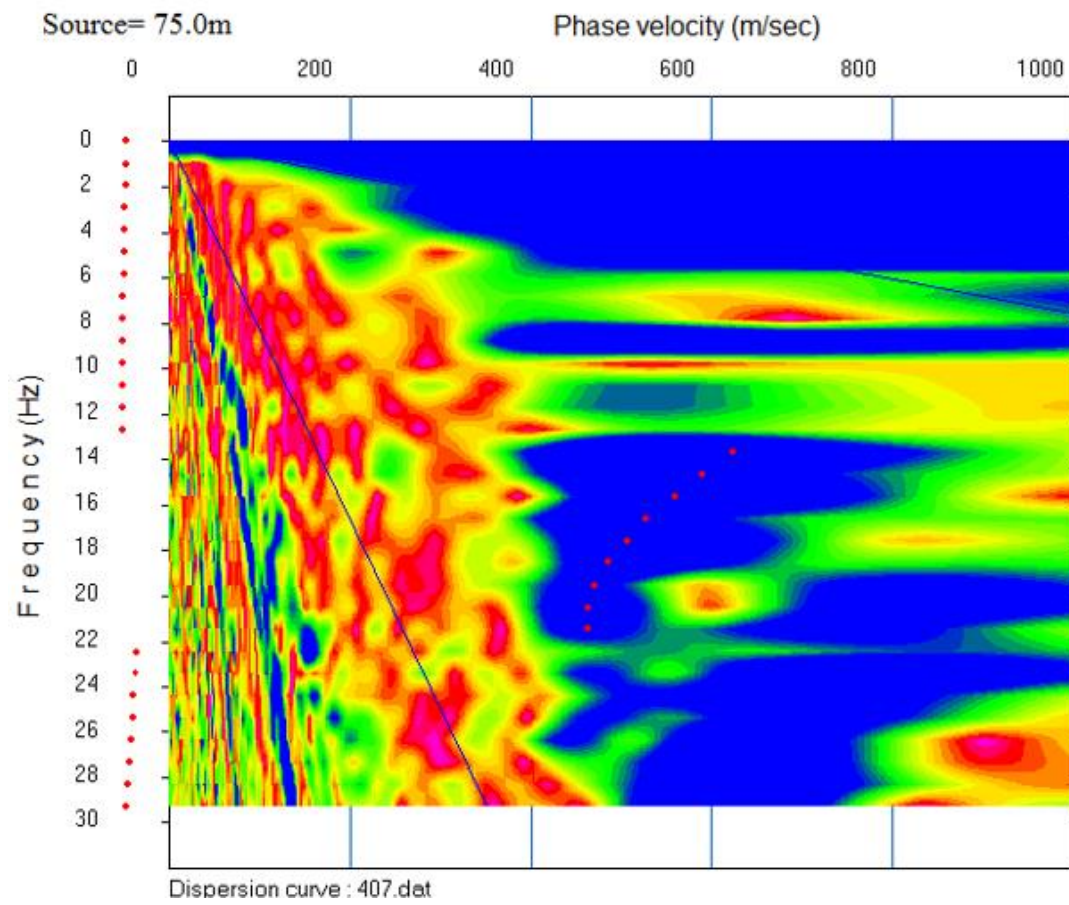


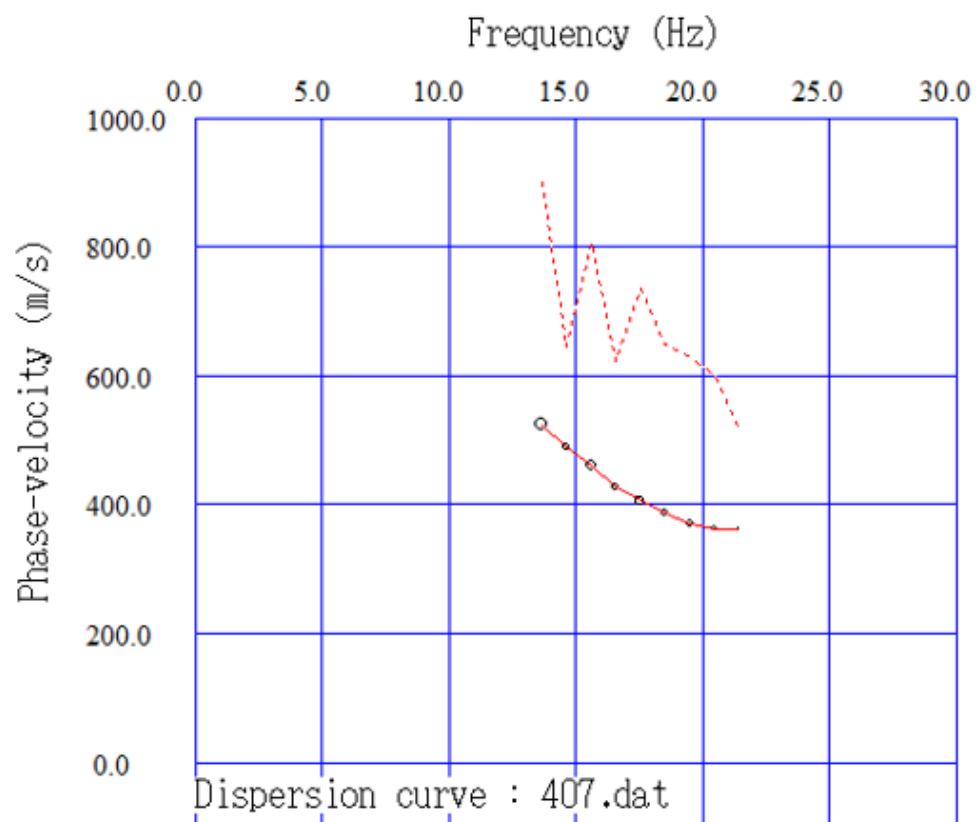
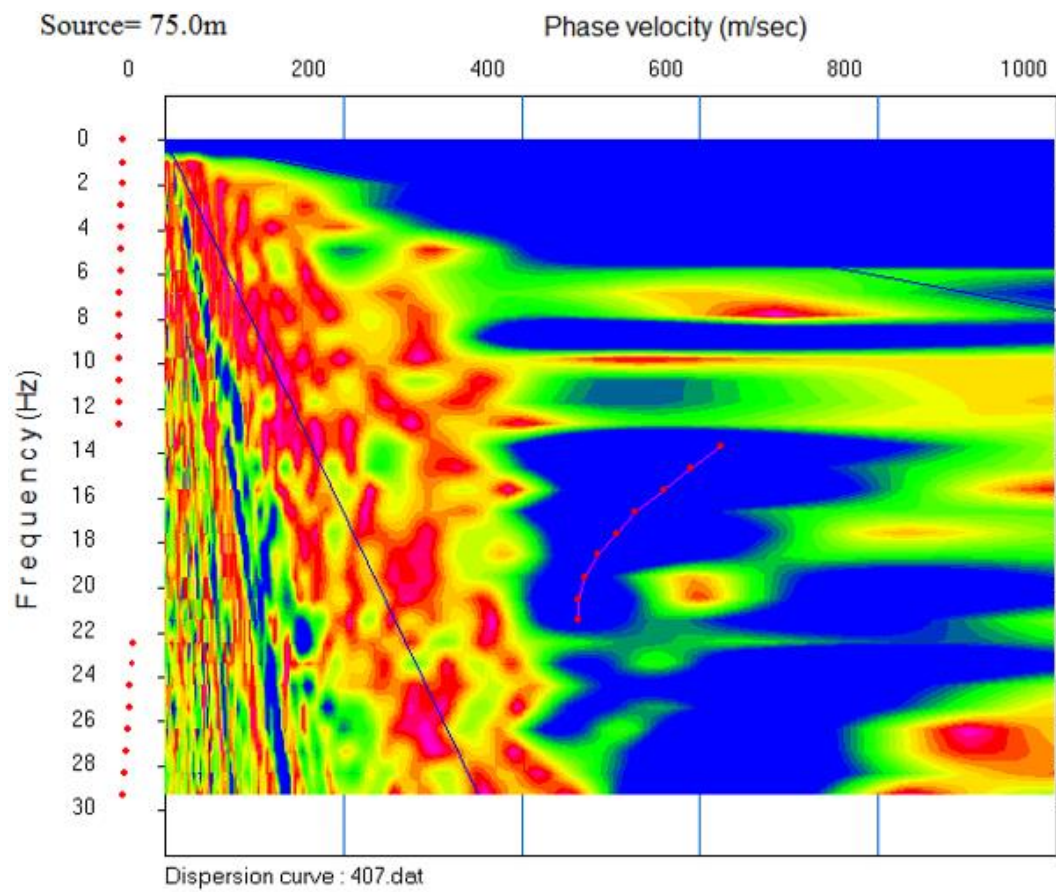


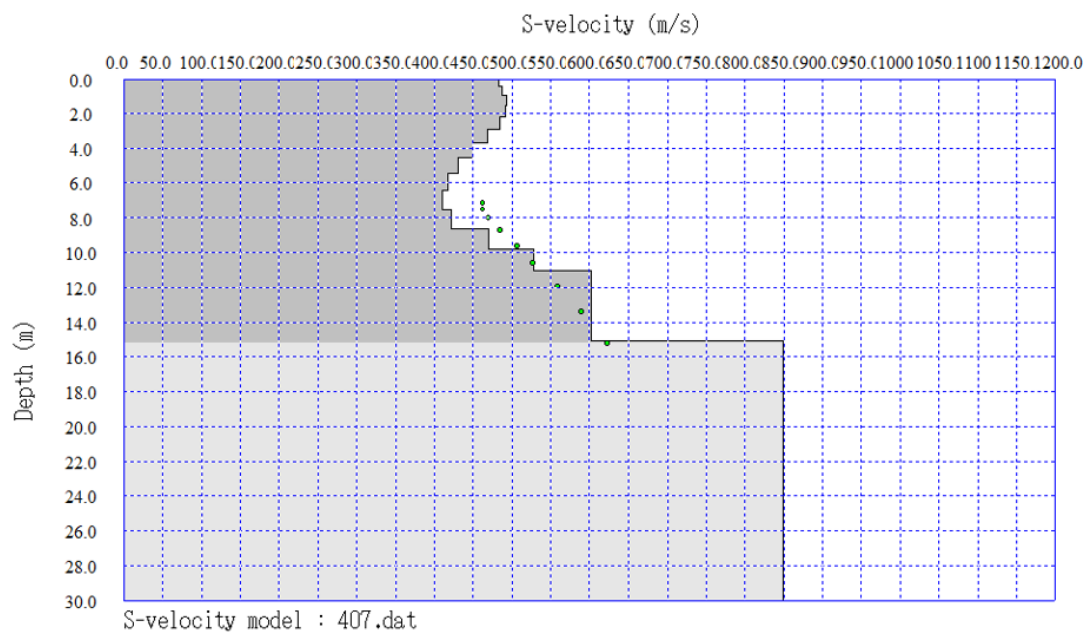
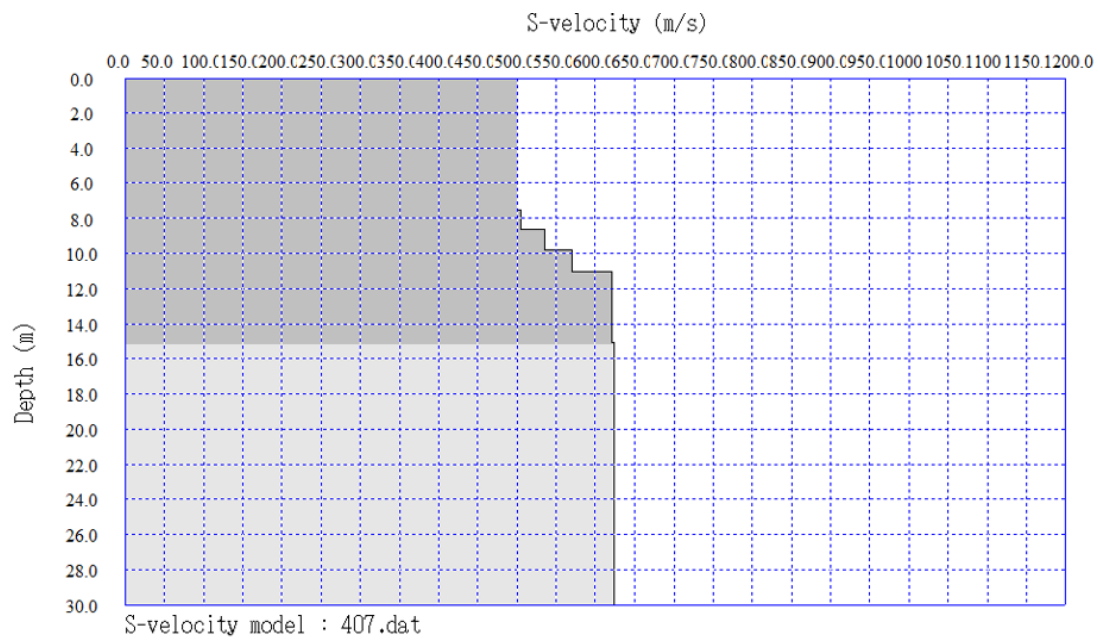


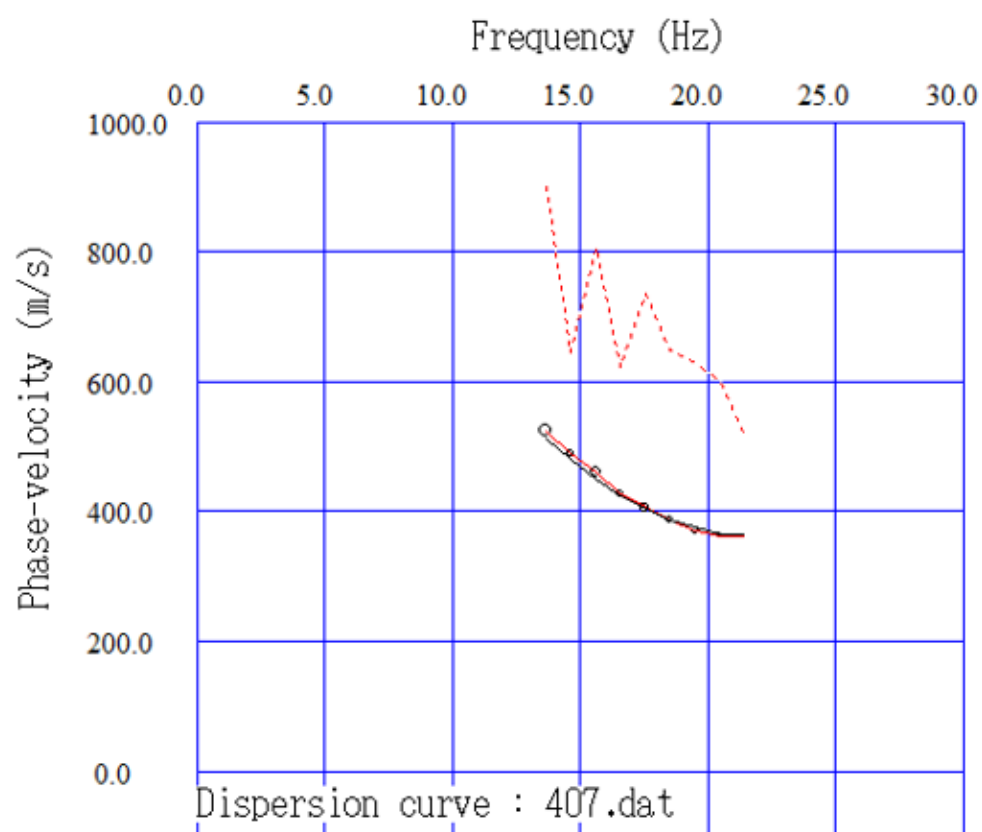


Καταγραφή 407

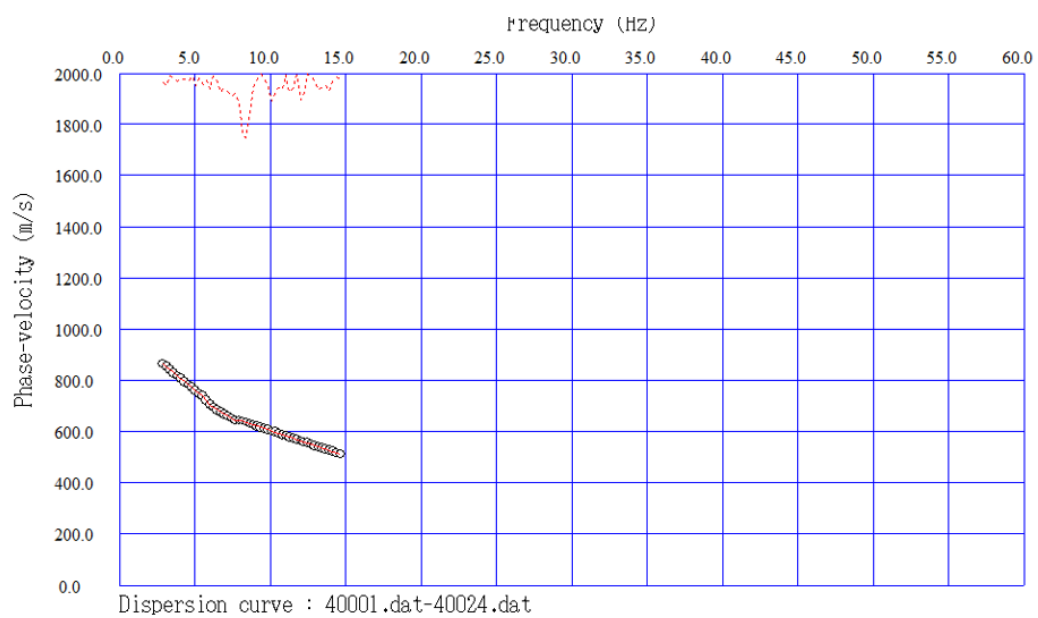
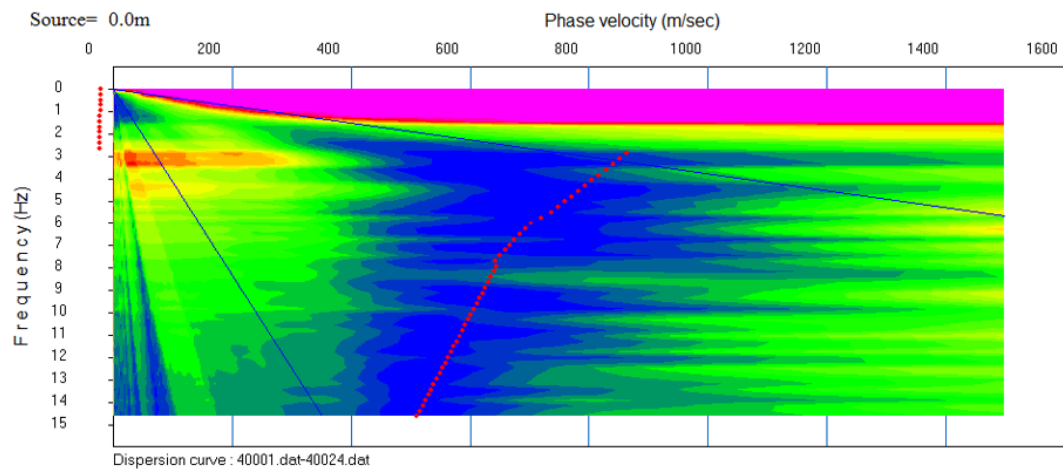


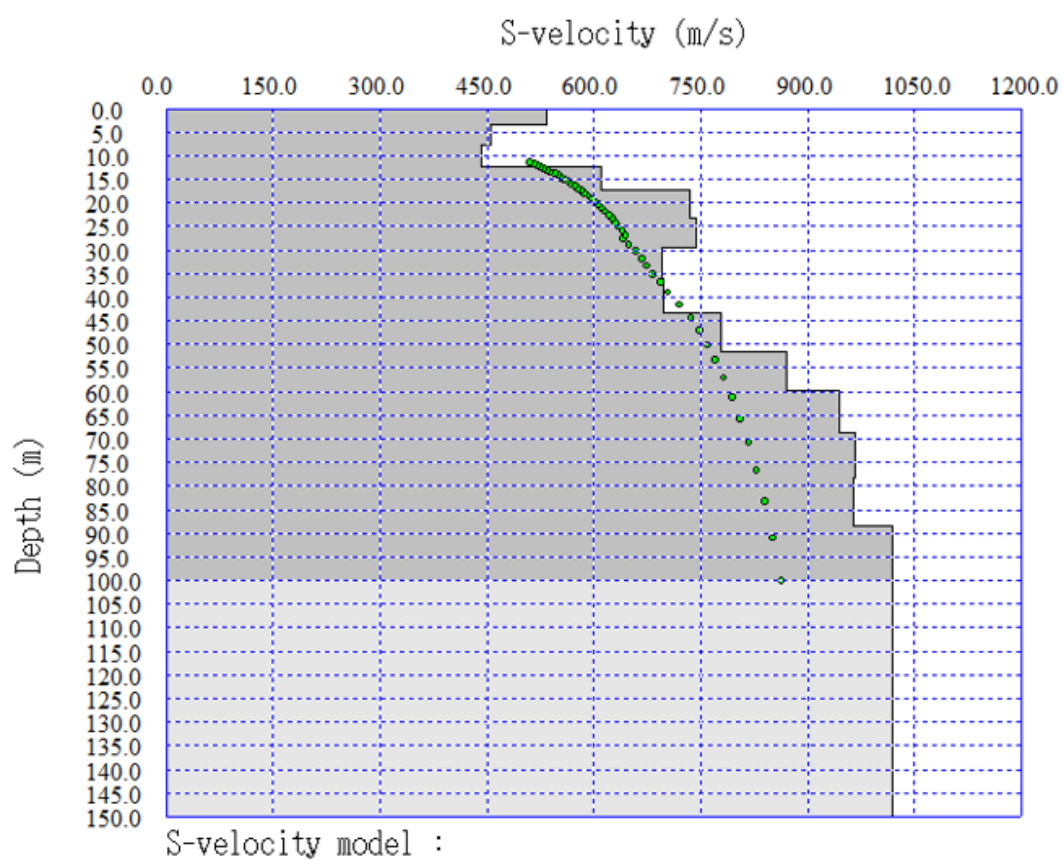
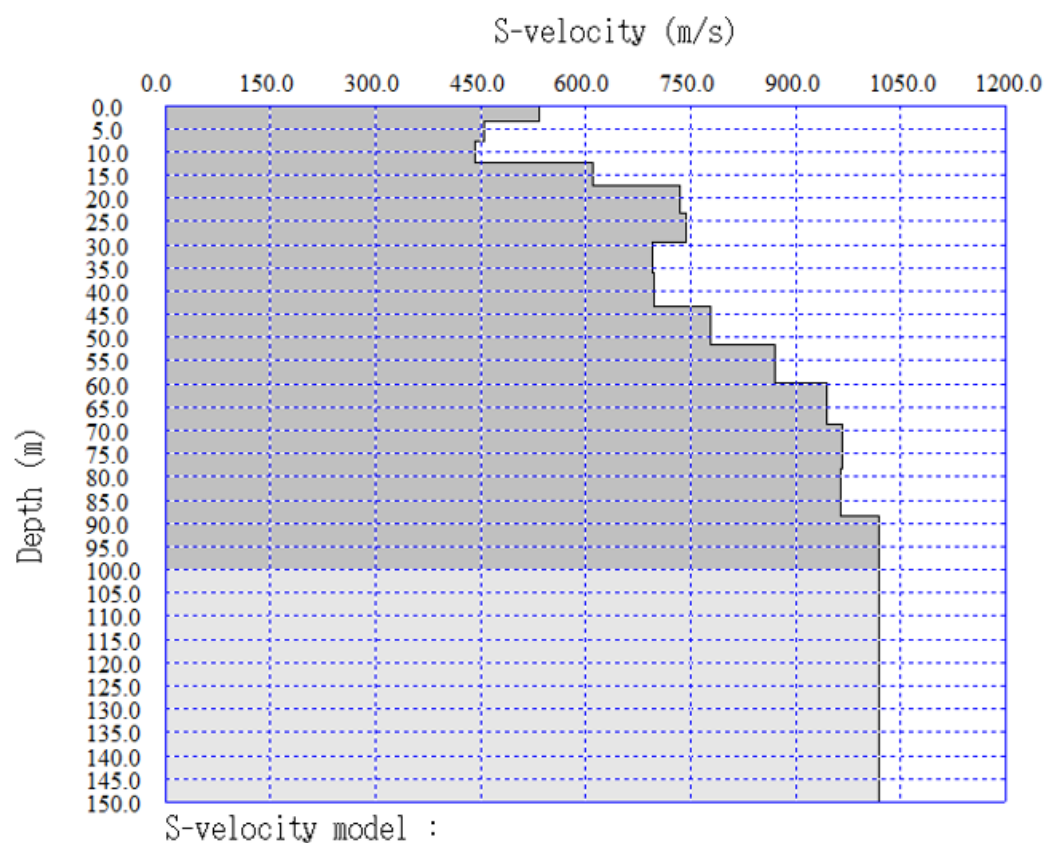






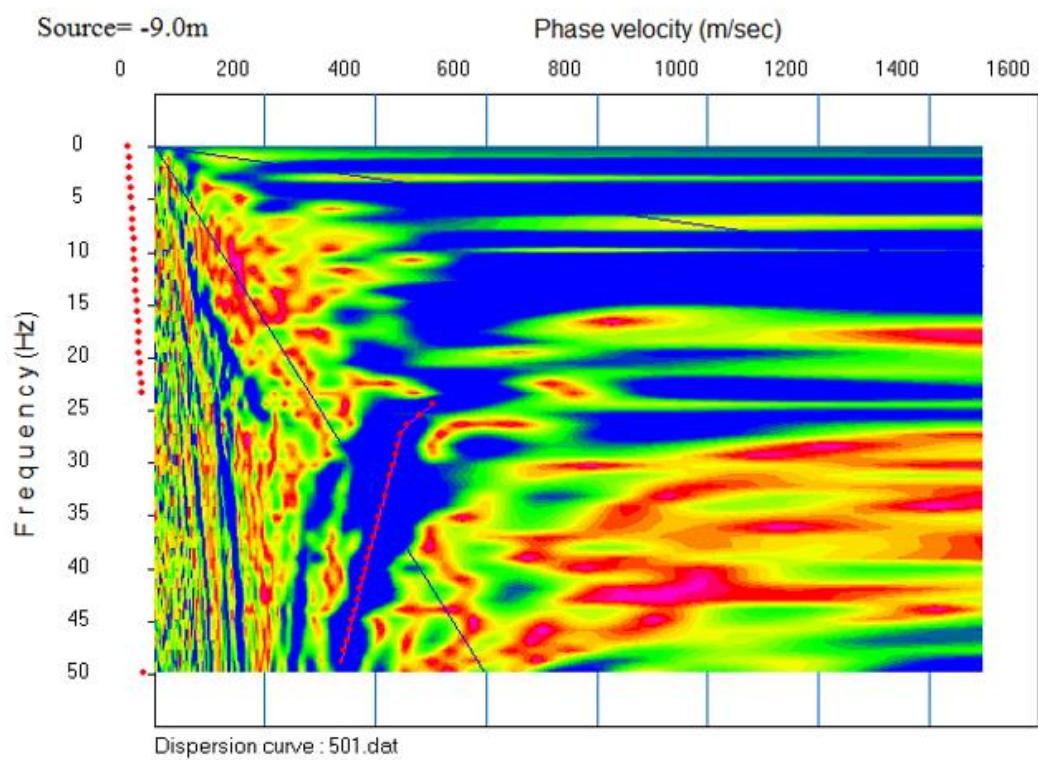
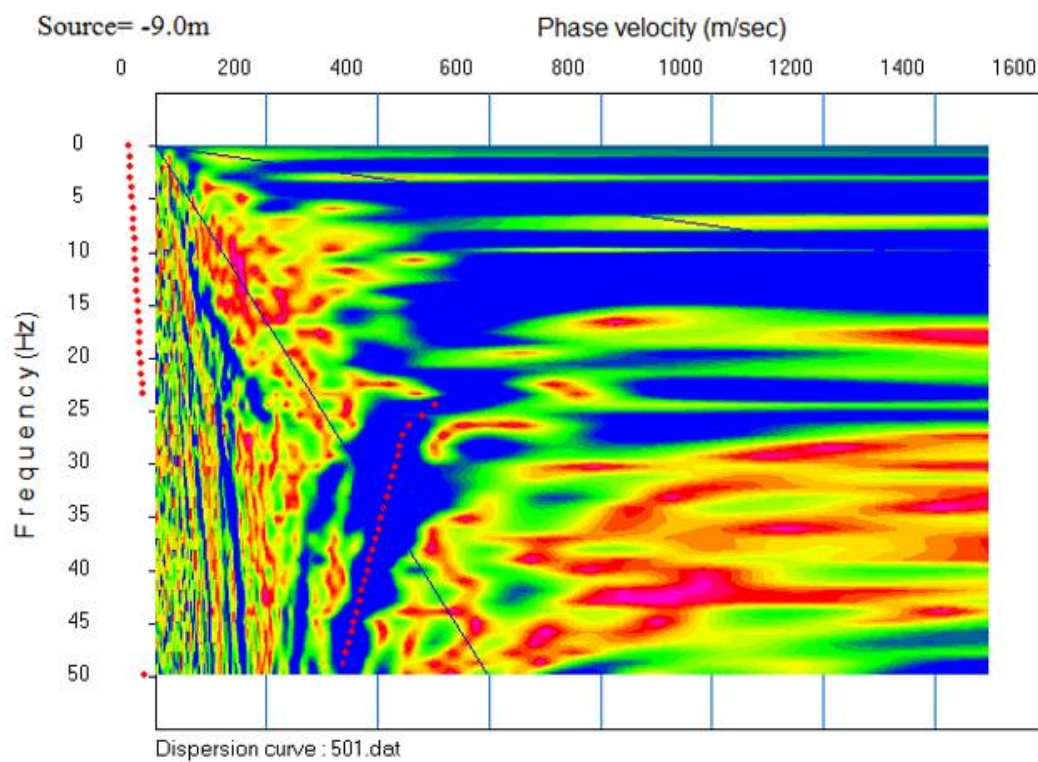
XANIA PASSIVE

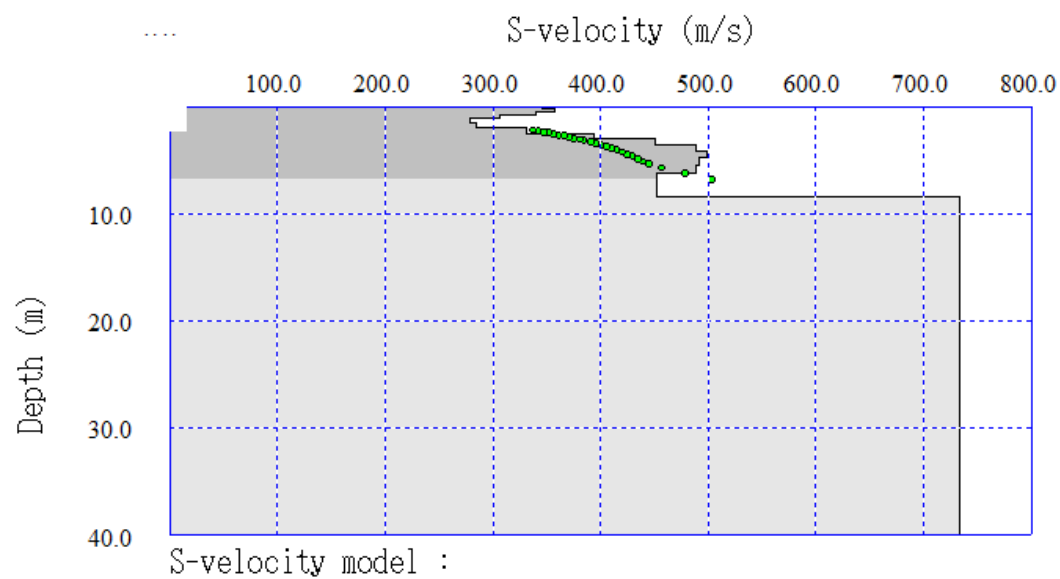
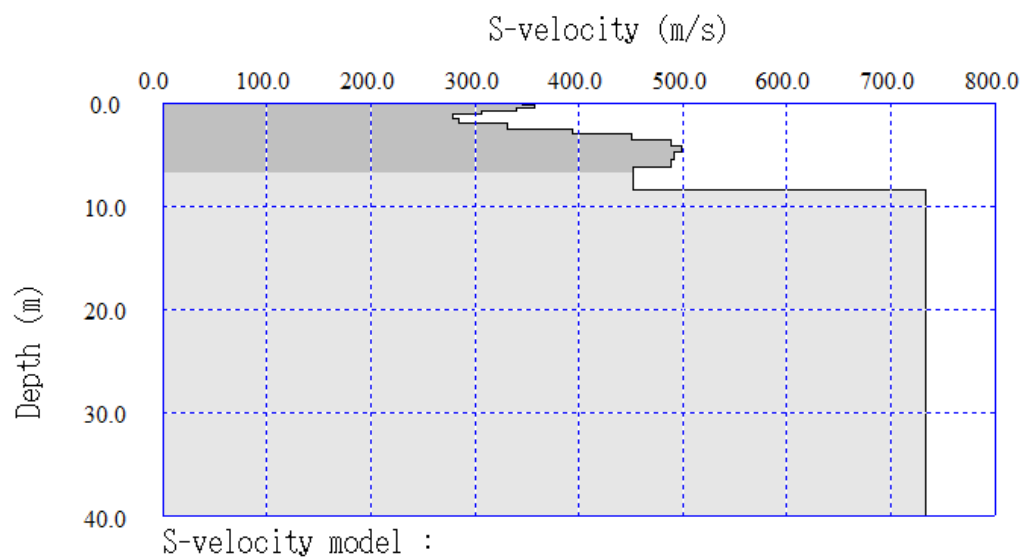
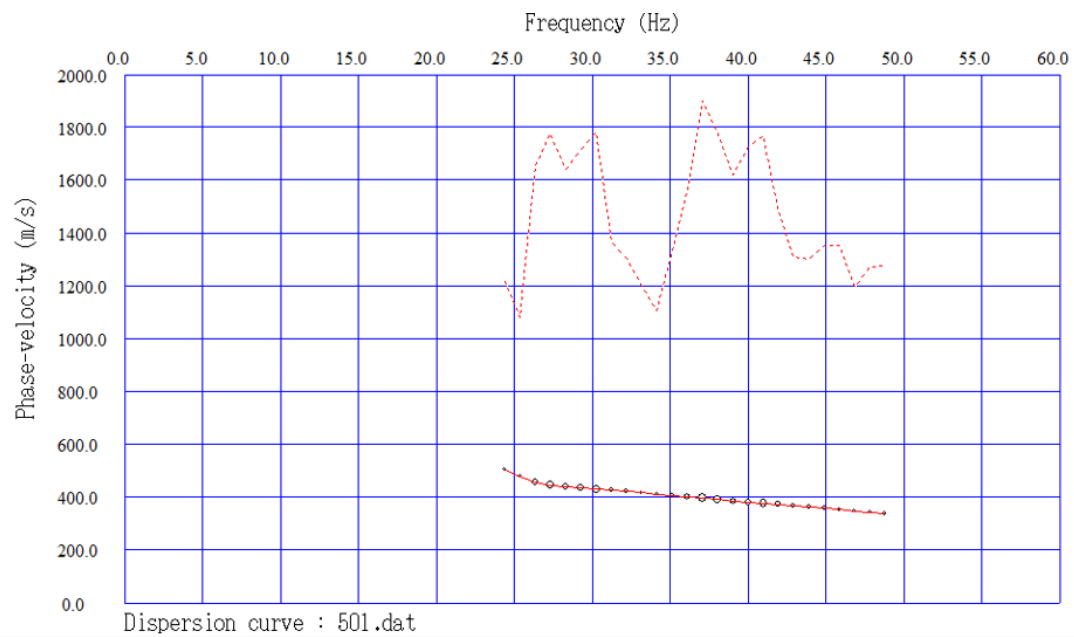


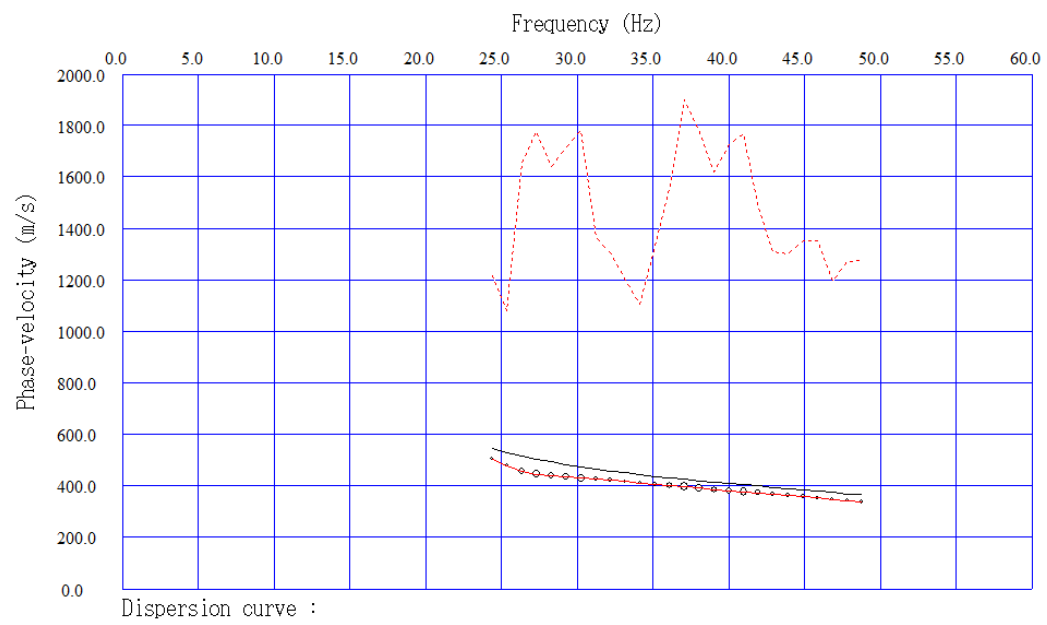


ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ ACTIVE

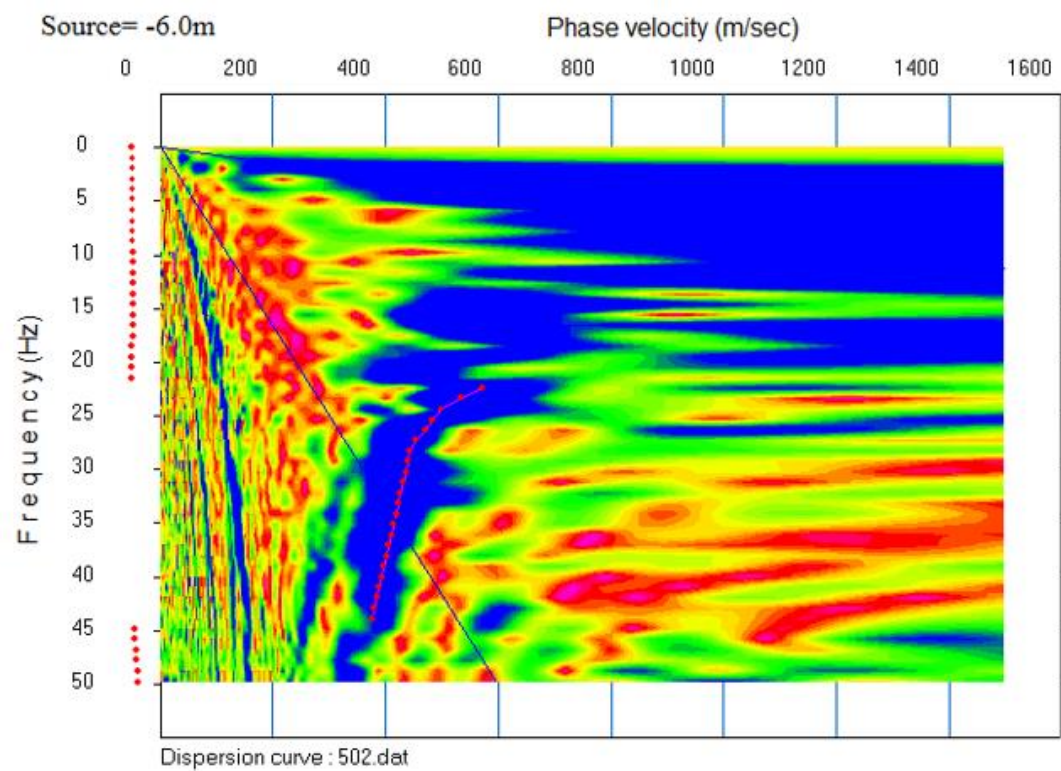
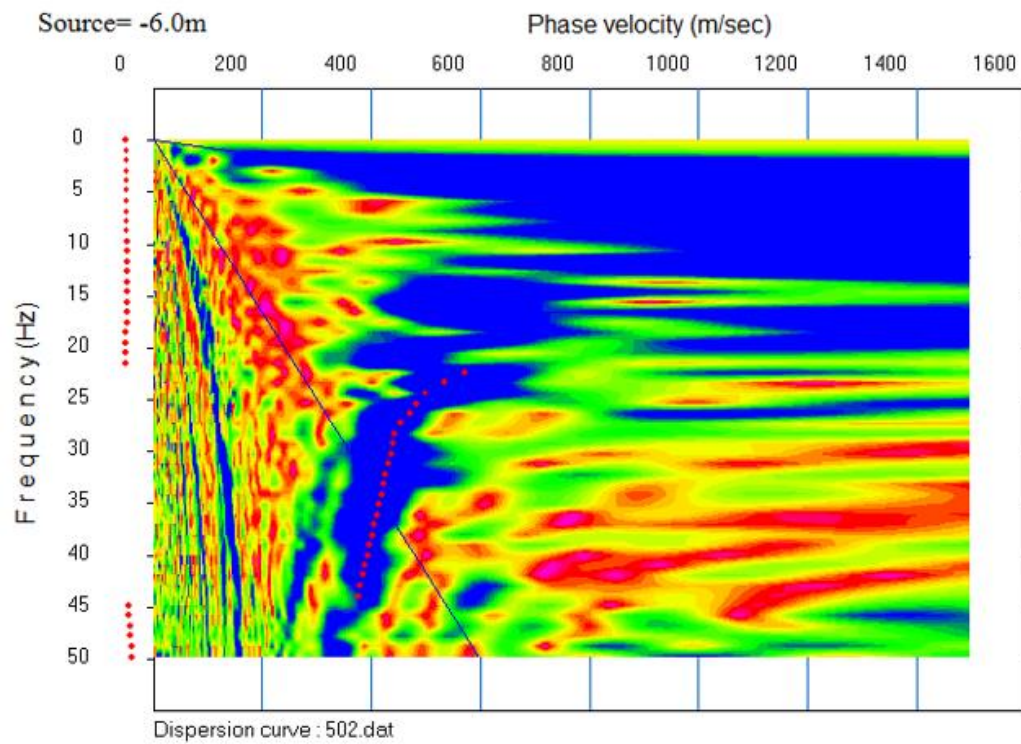
Καταγραφή 501

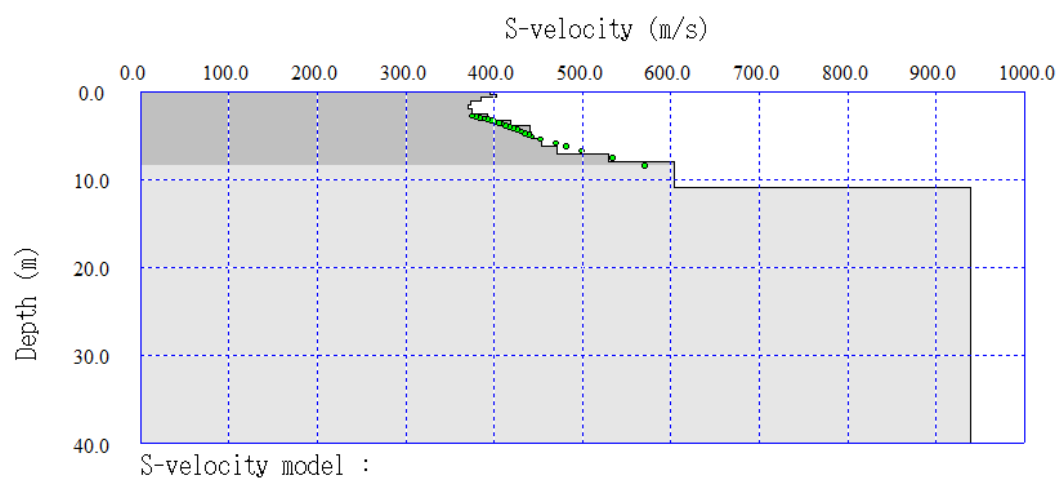
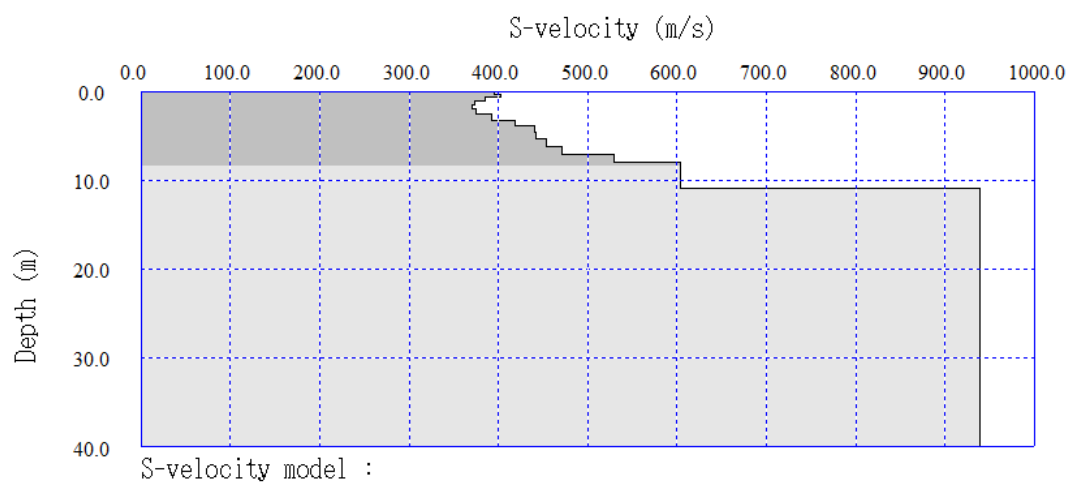
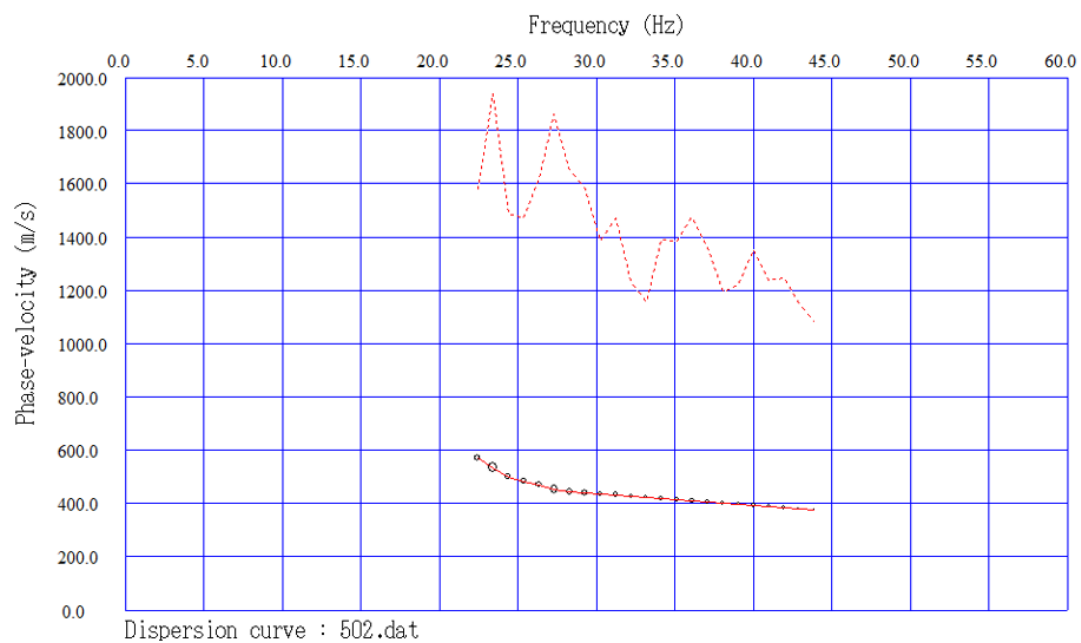


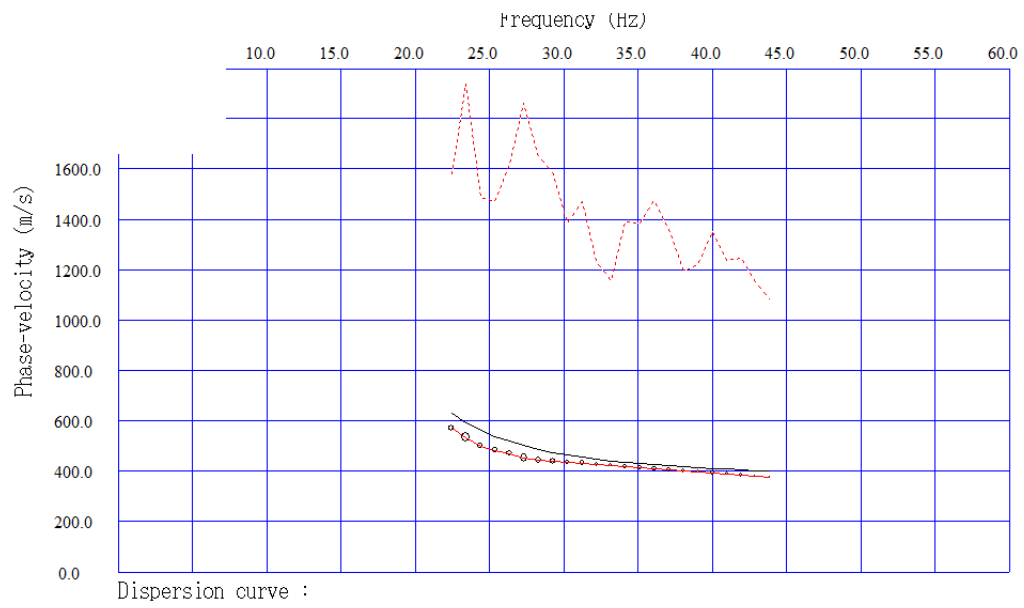




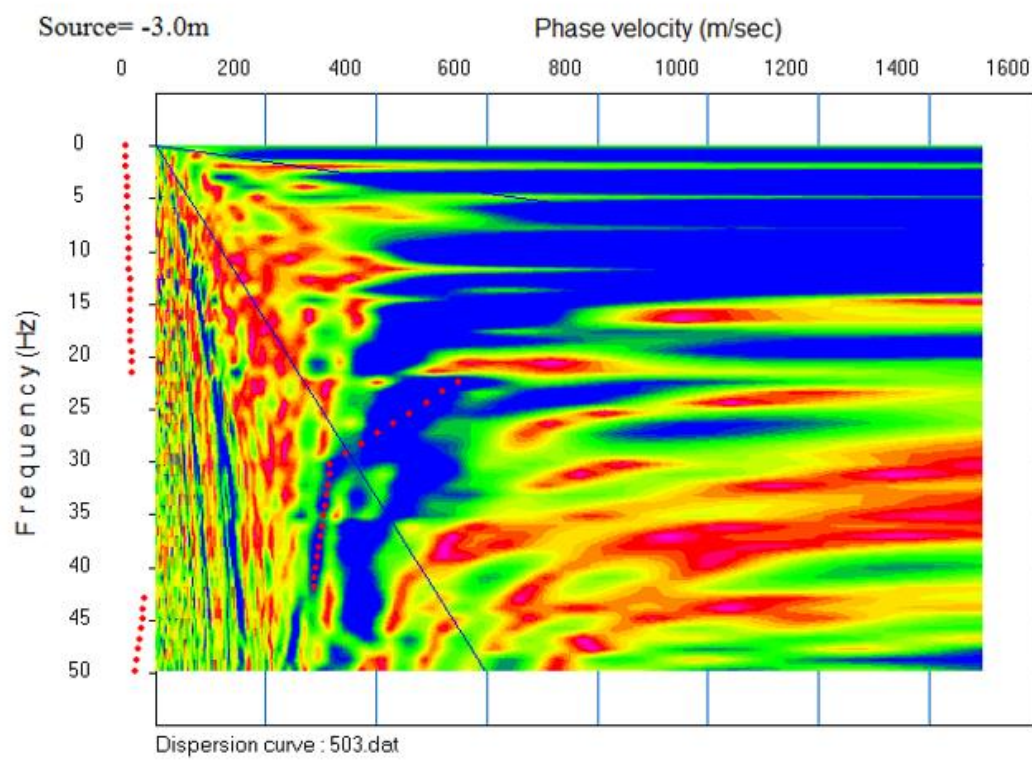
Καταγραφή 502

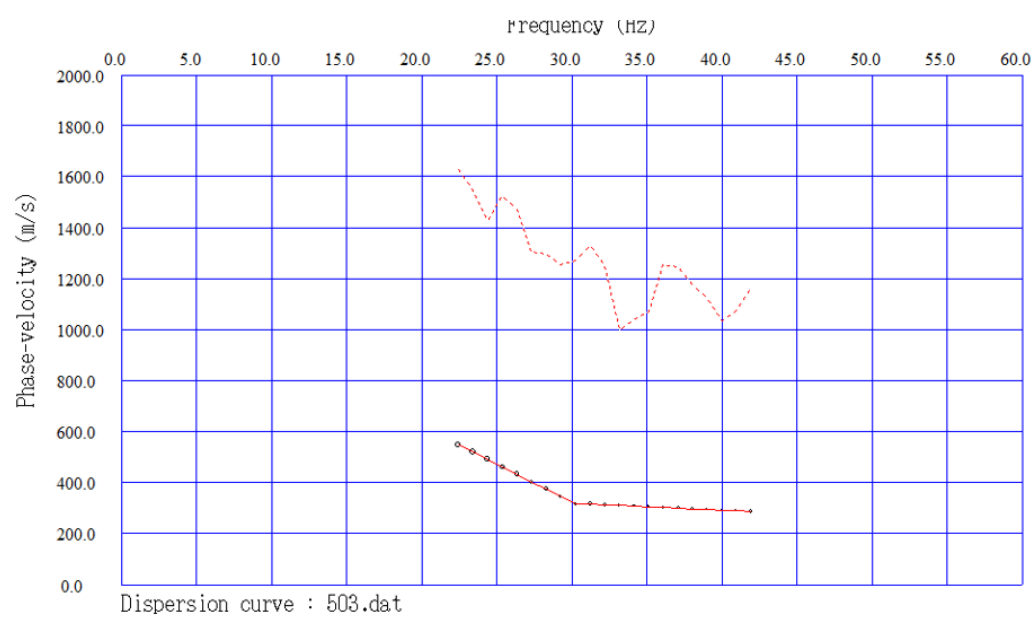
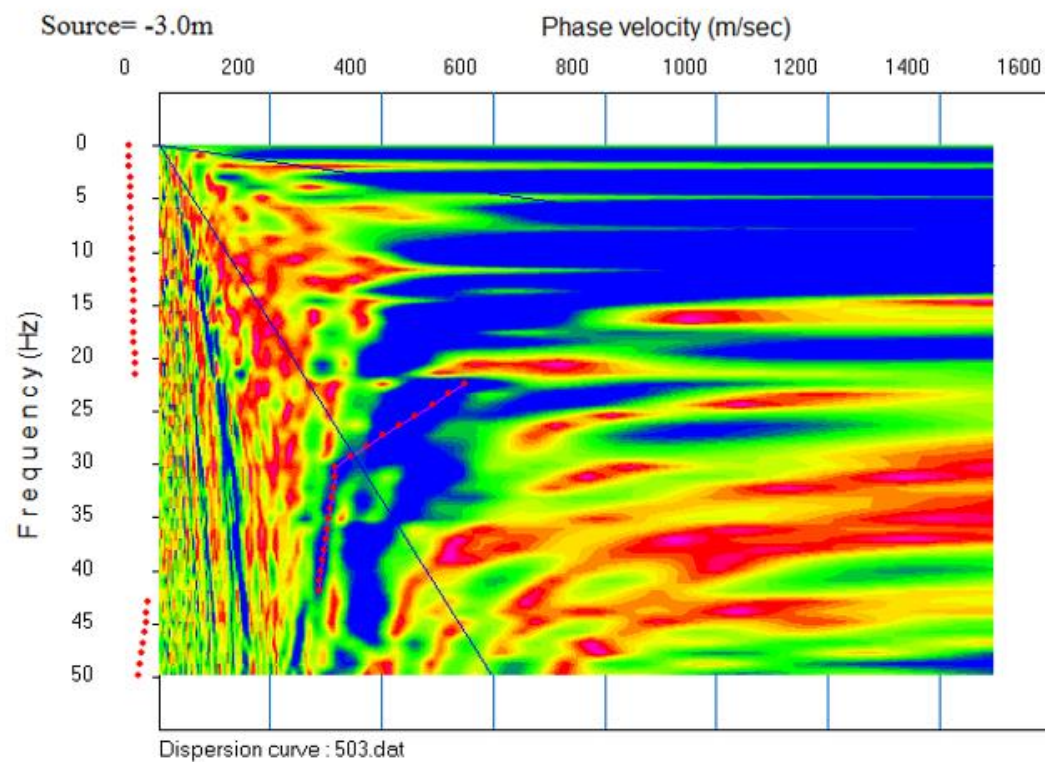


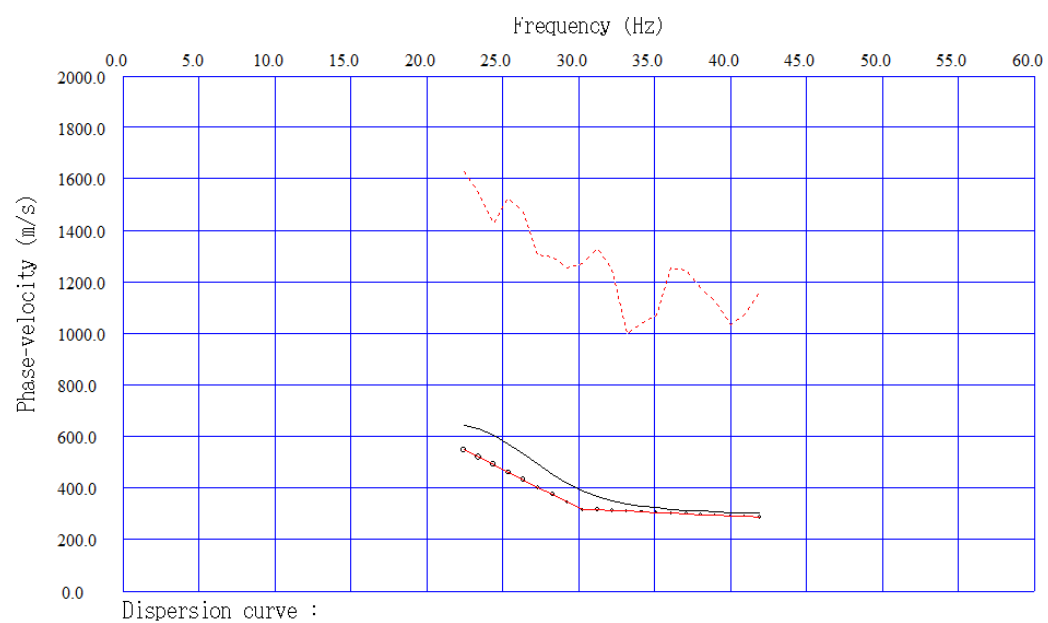
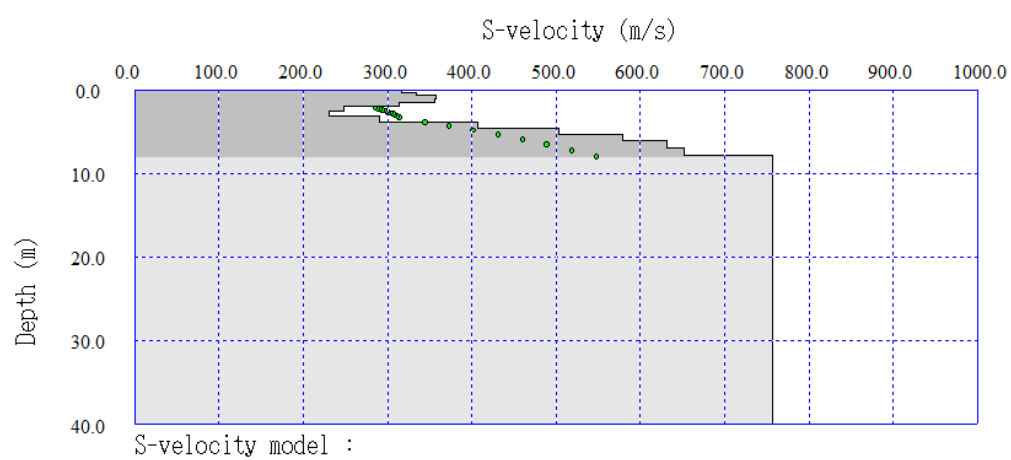
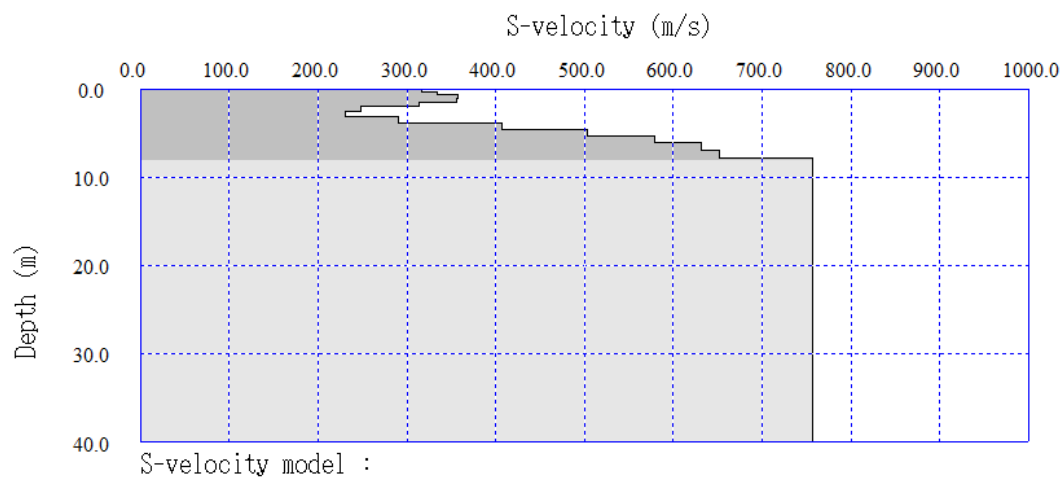




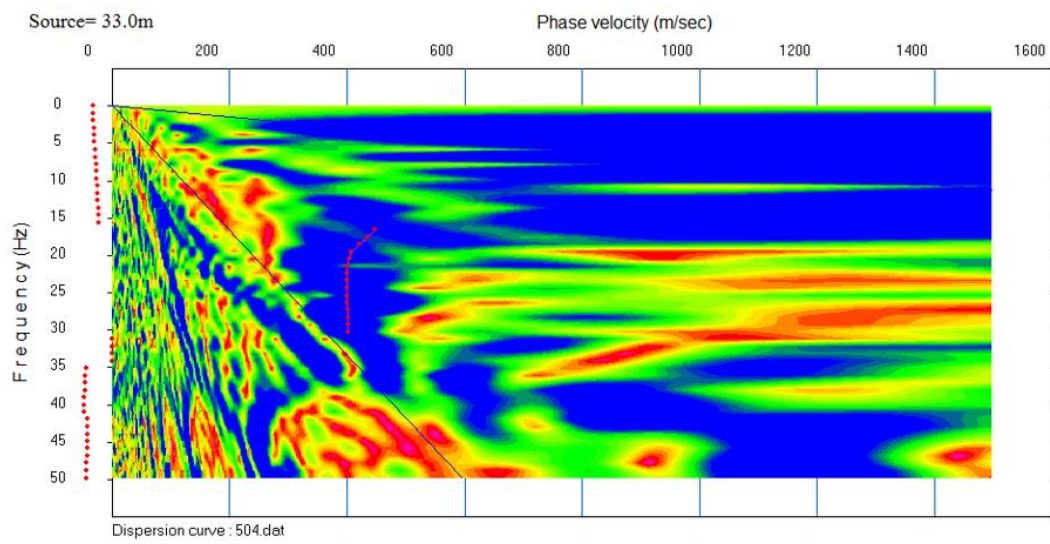
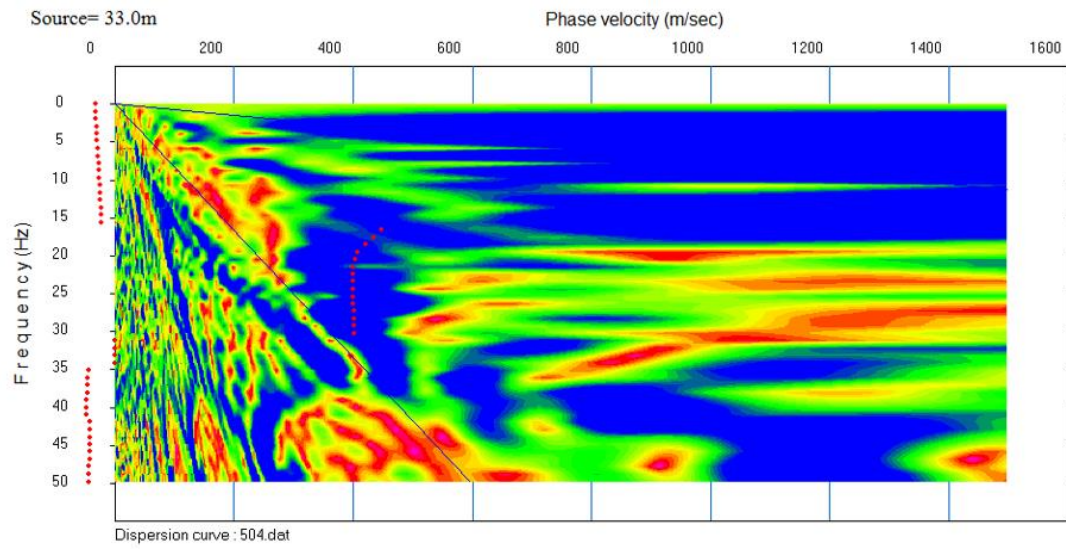
Καταγραφή 503

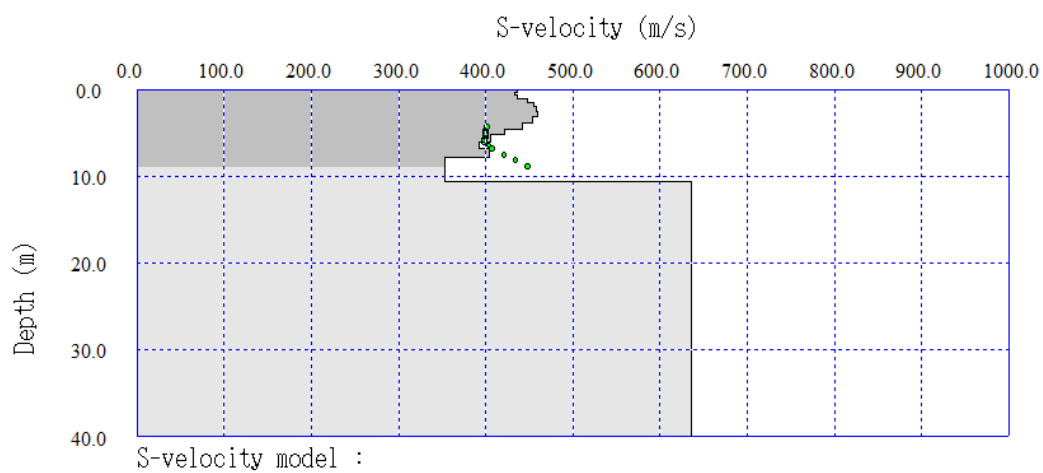
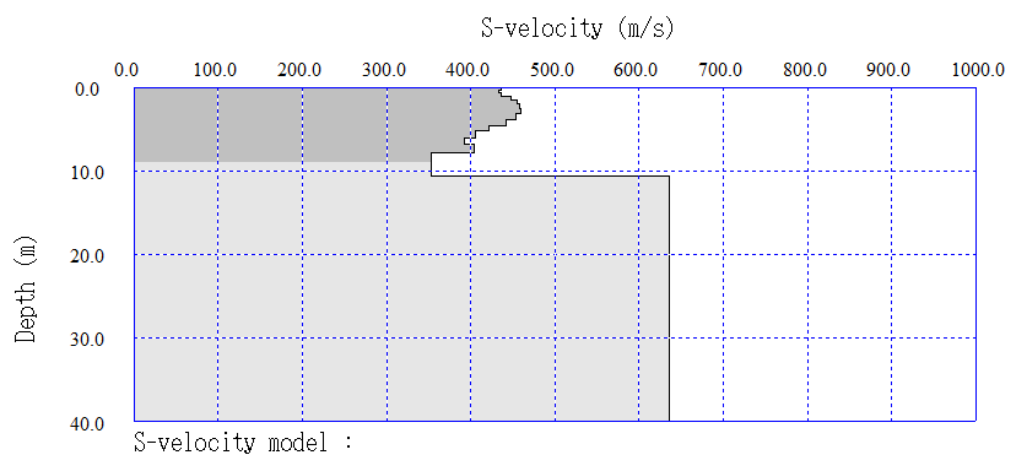
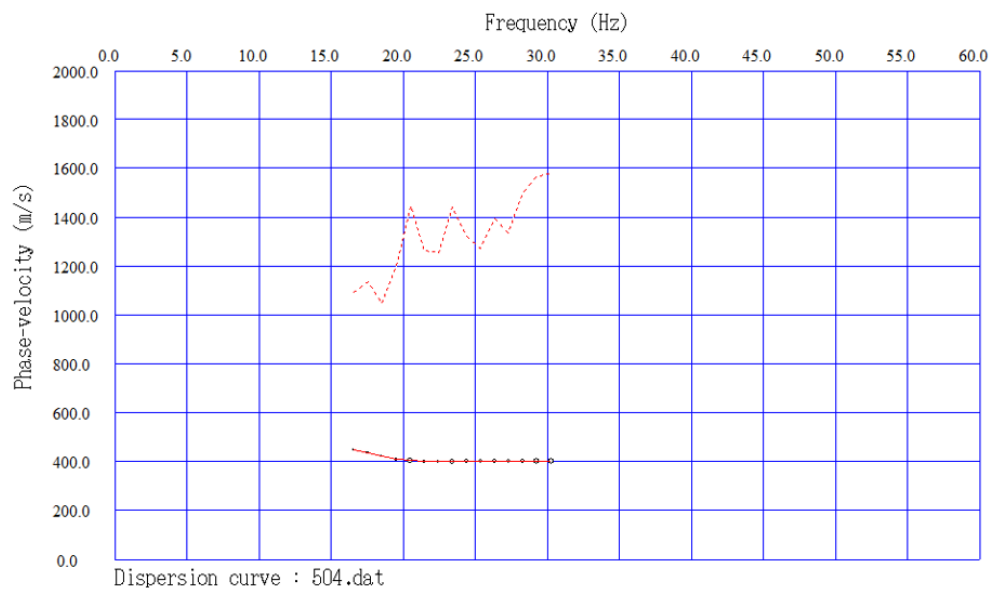


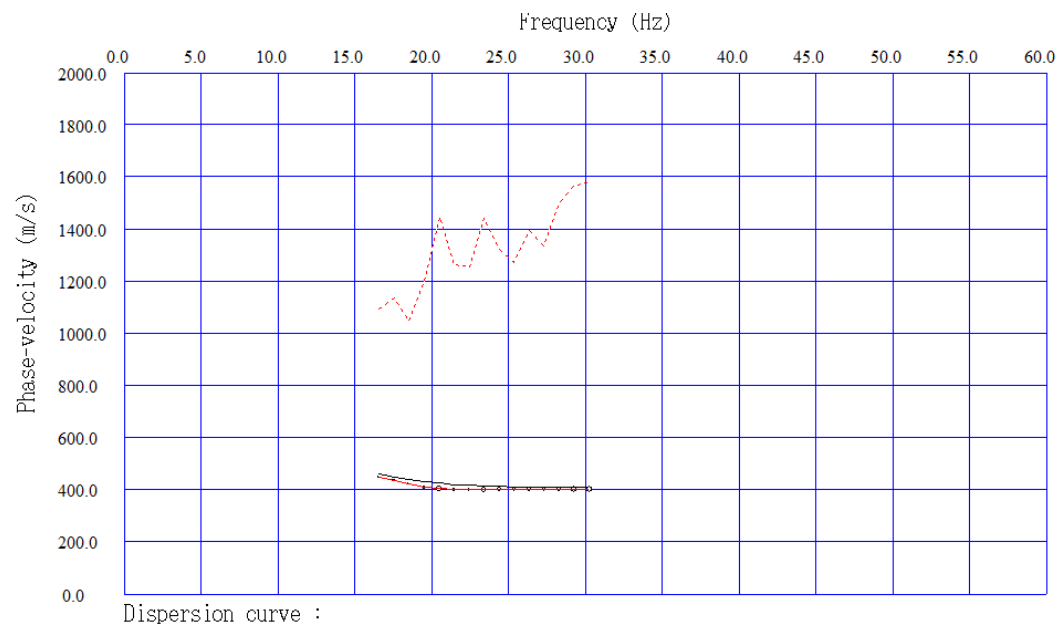




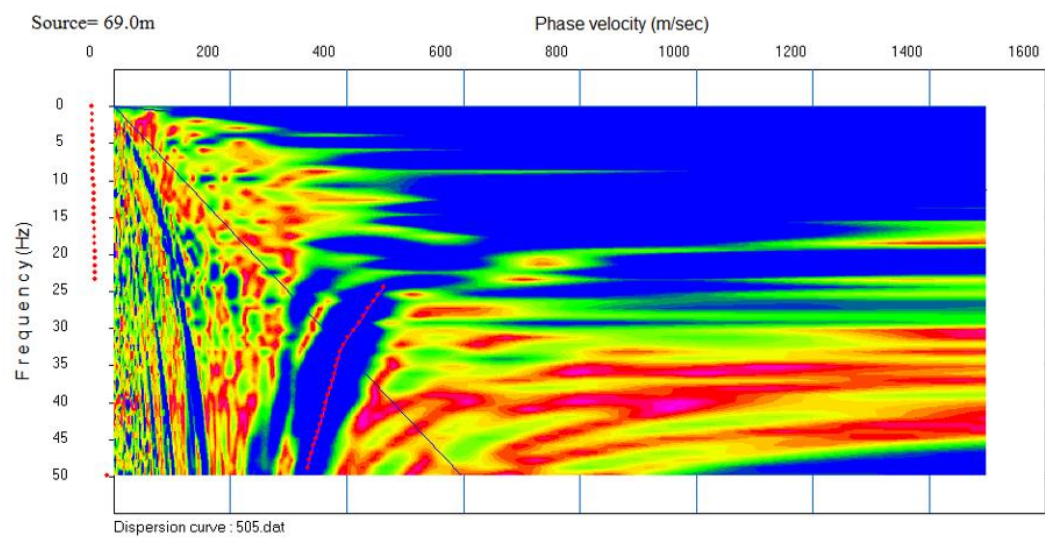
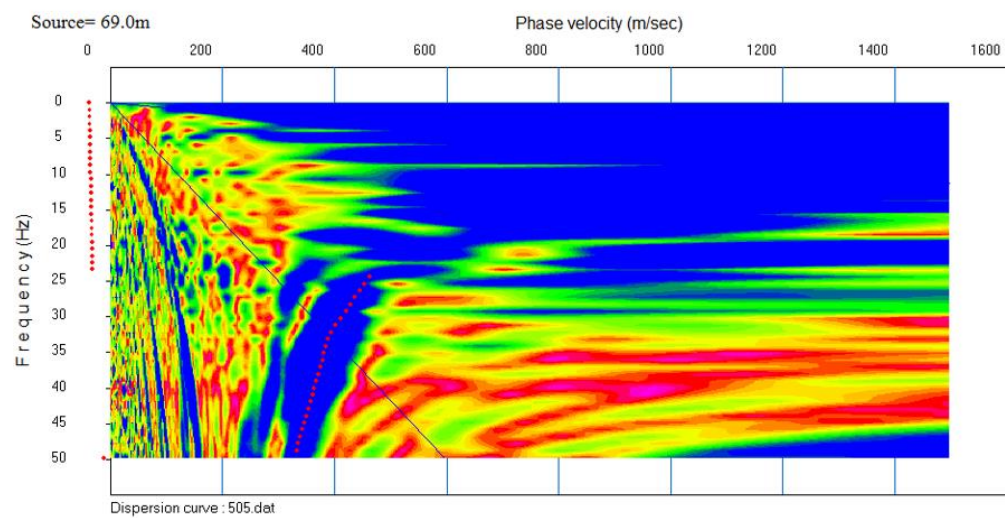
Καταγραφή 504

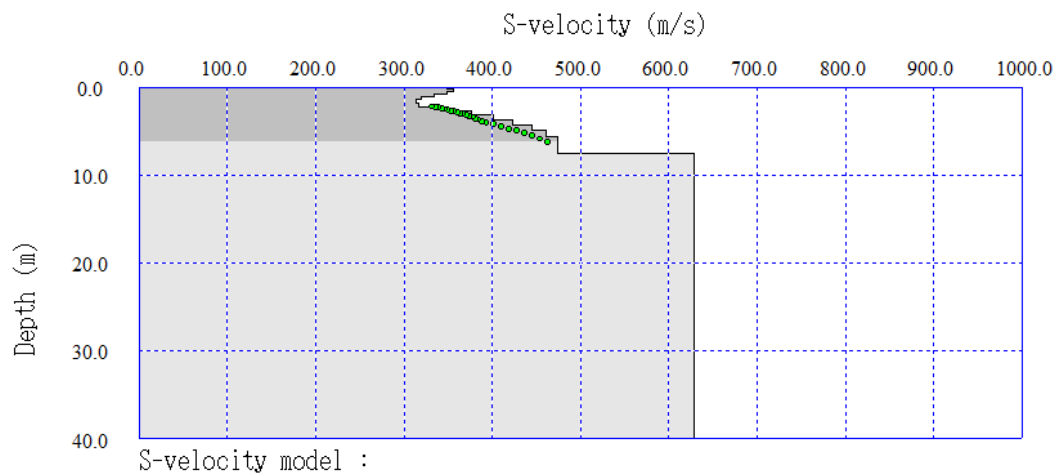
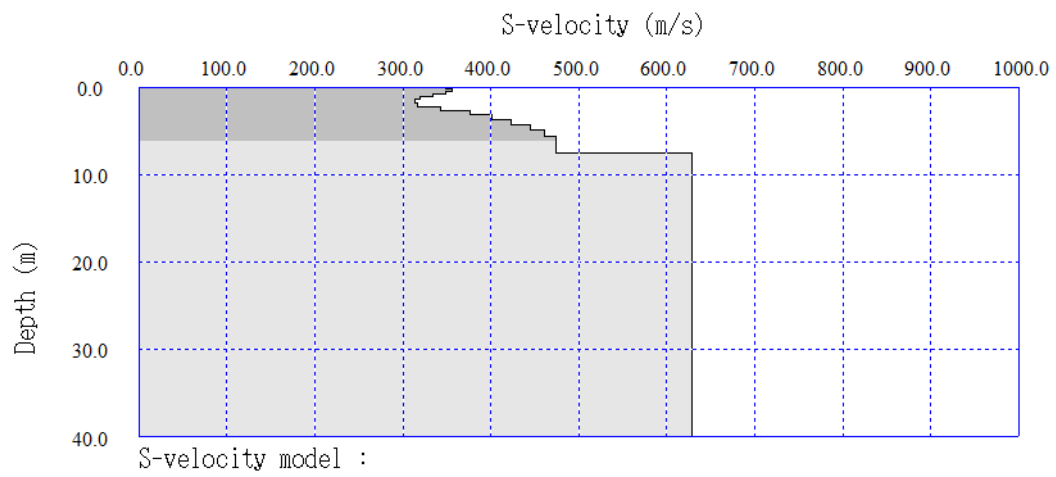
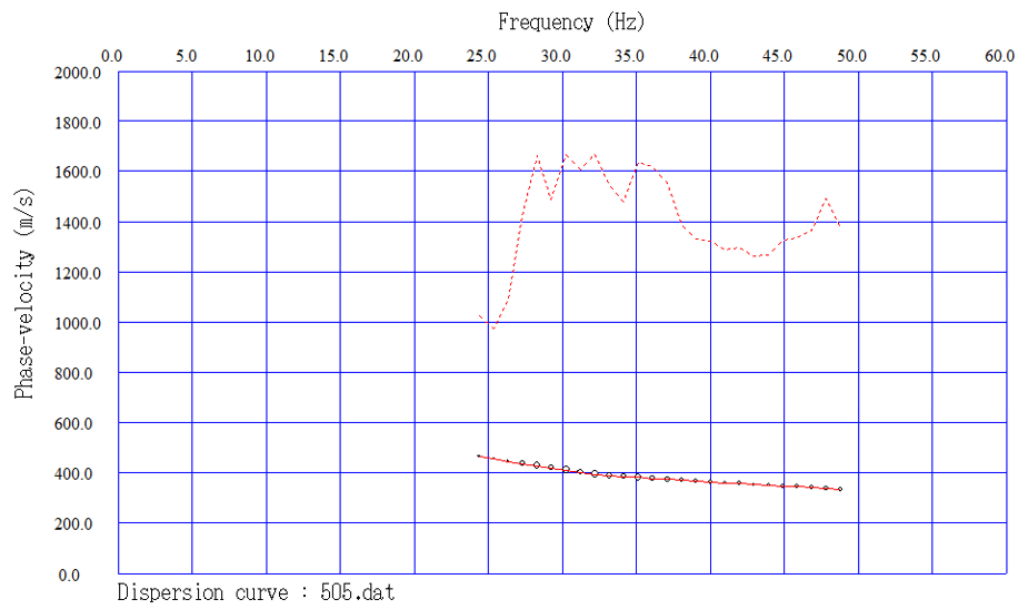


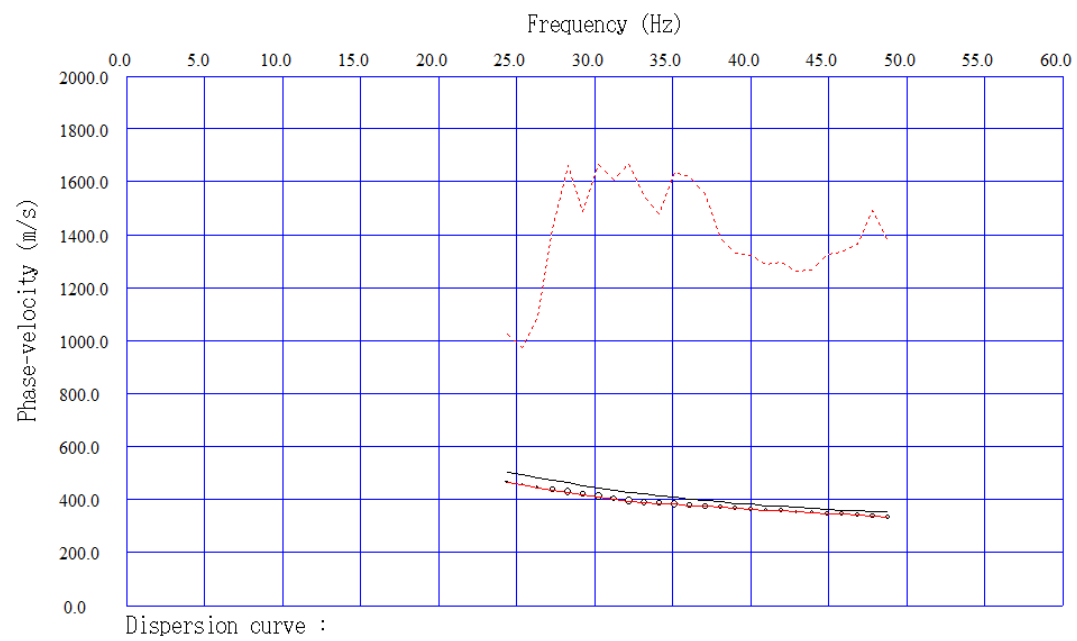




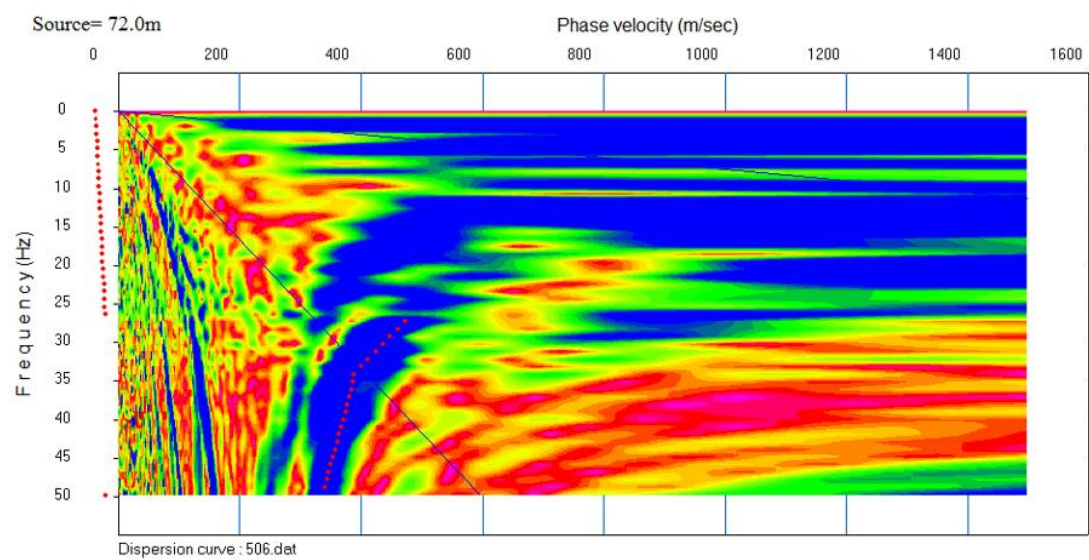
Καταγραφή 505

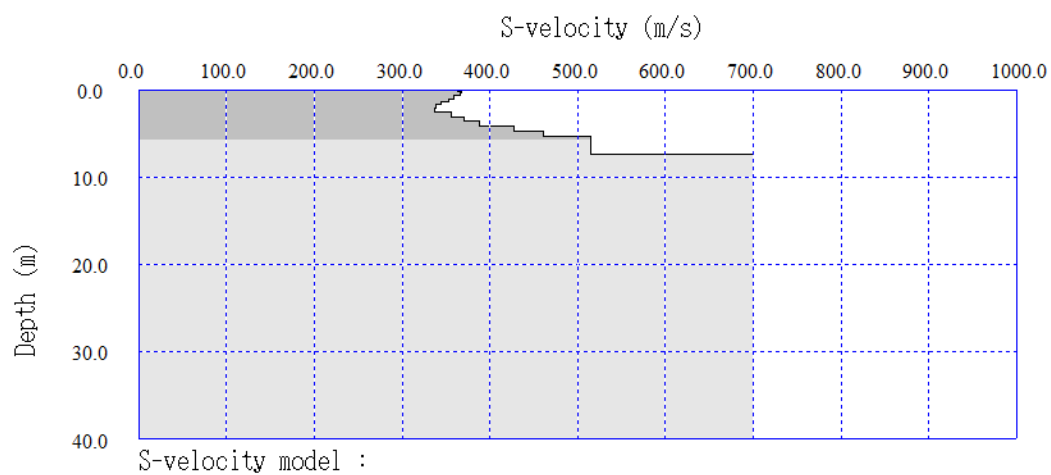
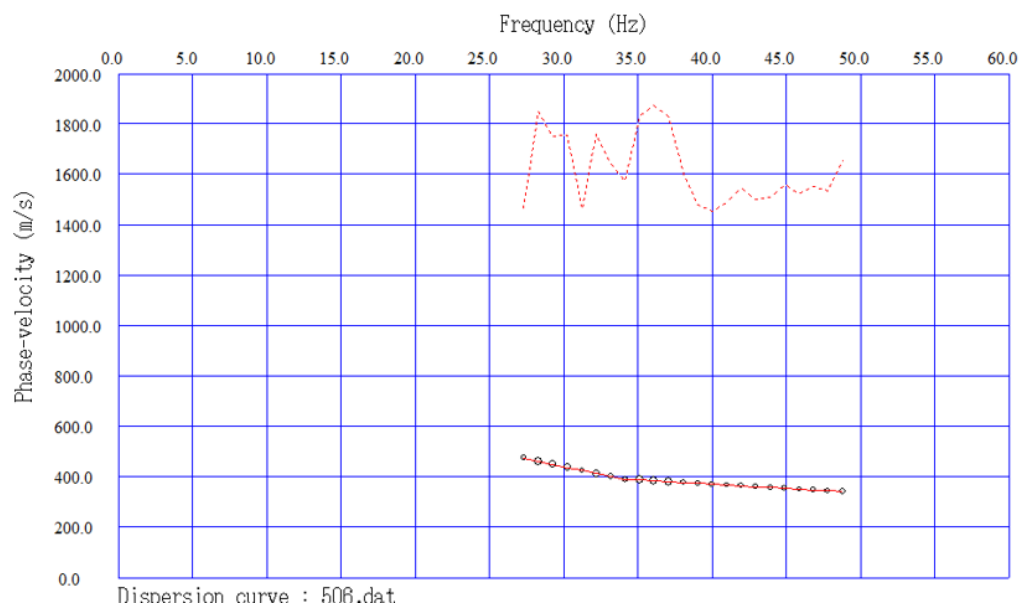
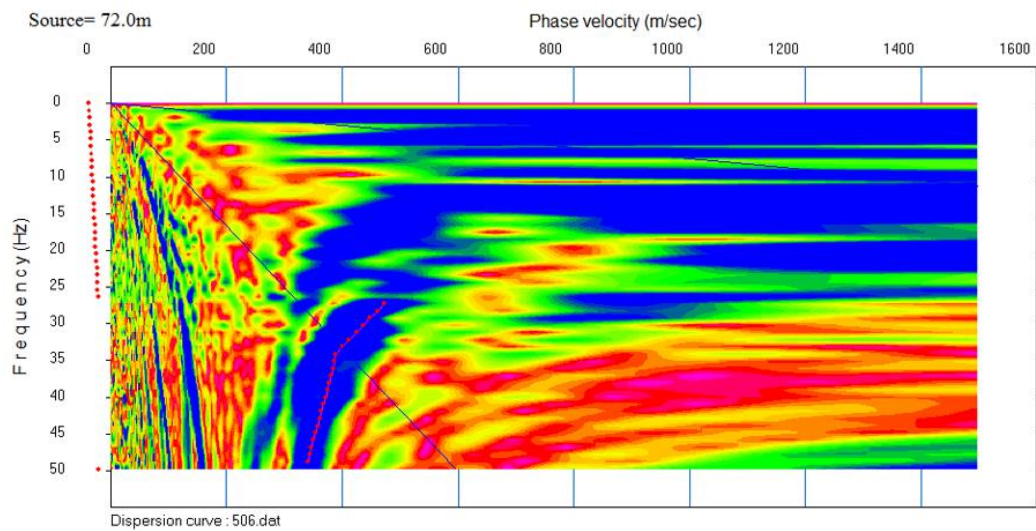


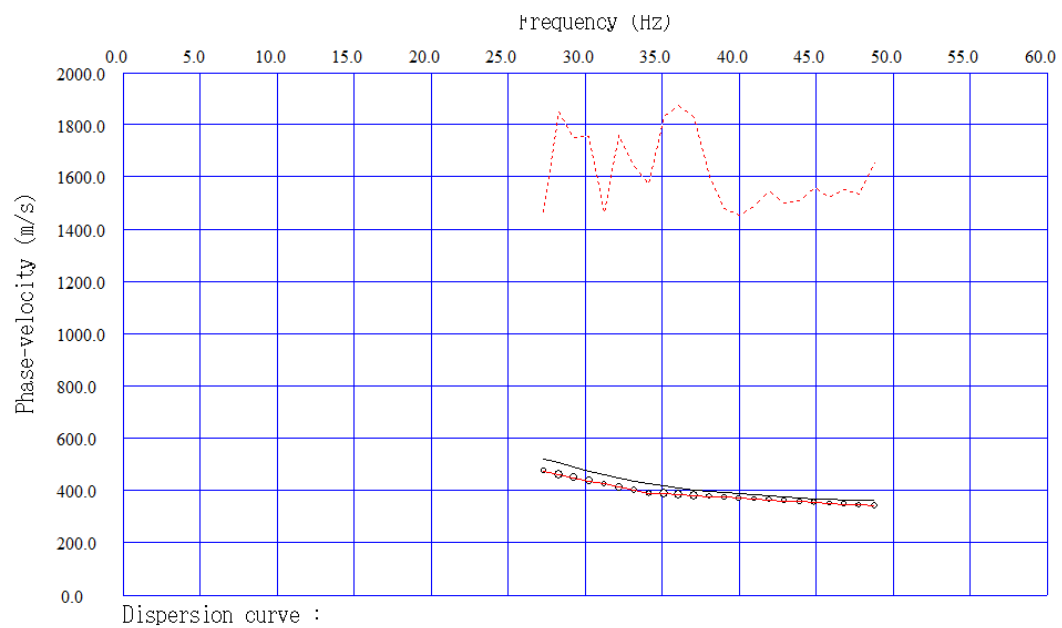
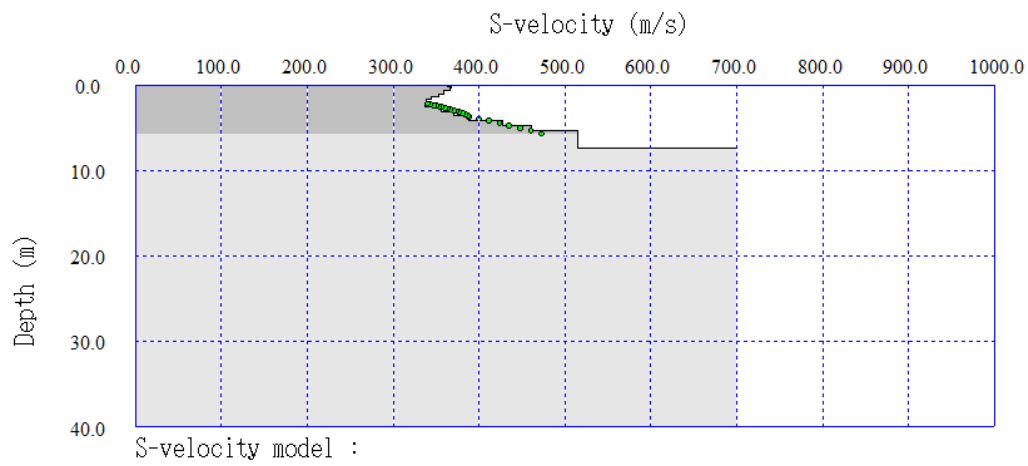




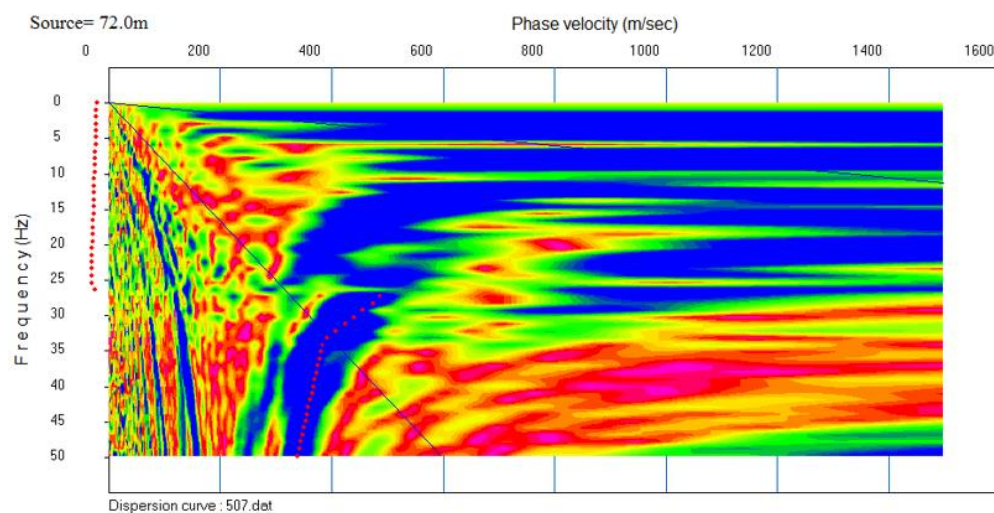
Καταγραφή 506

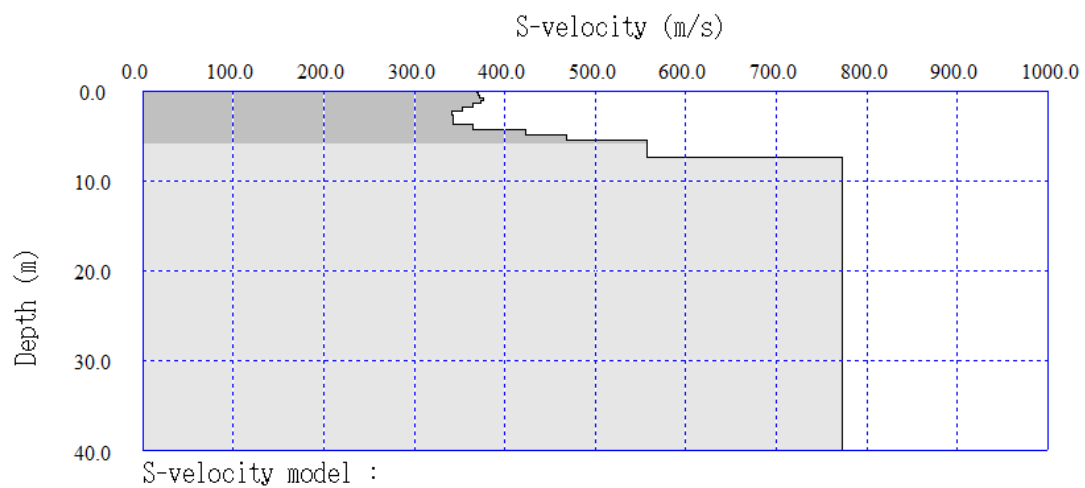
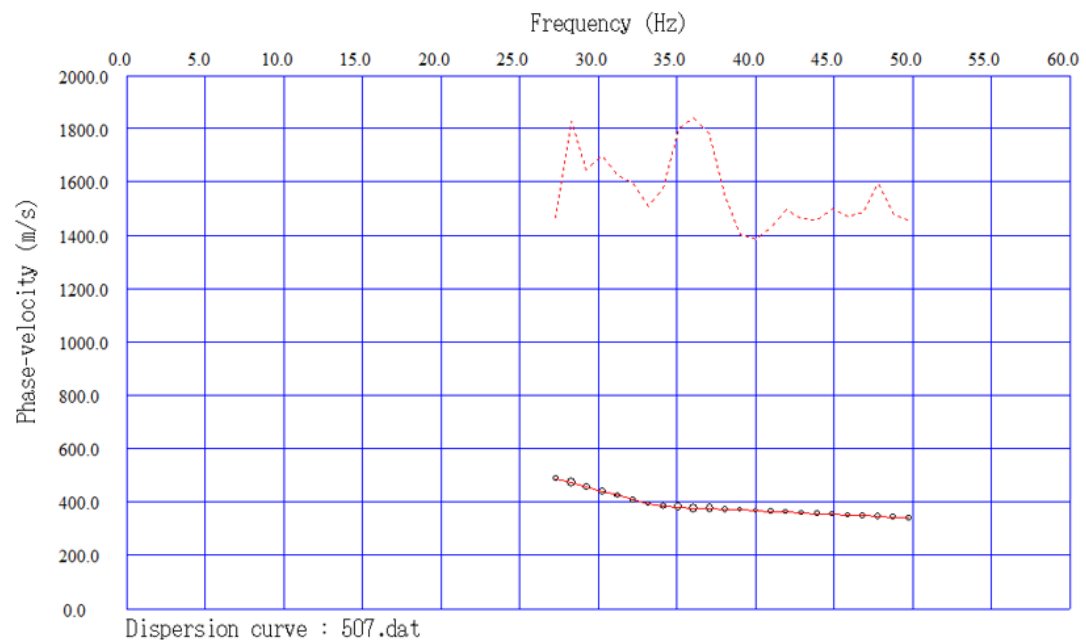
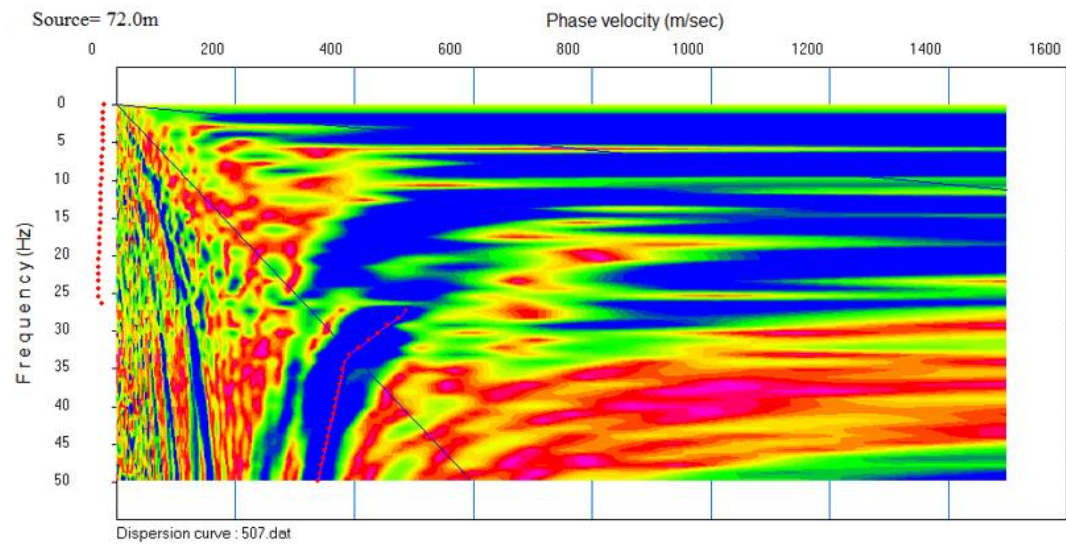


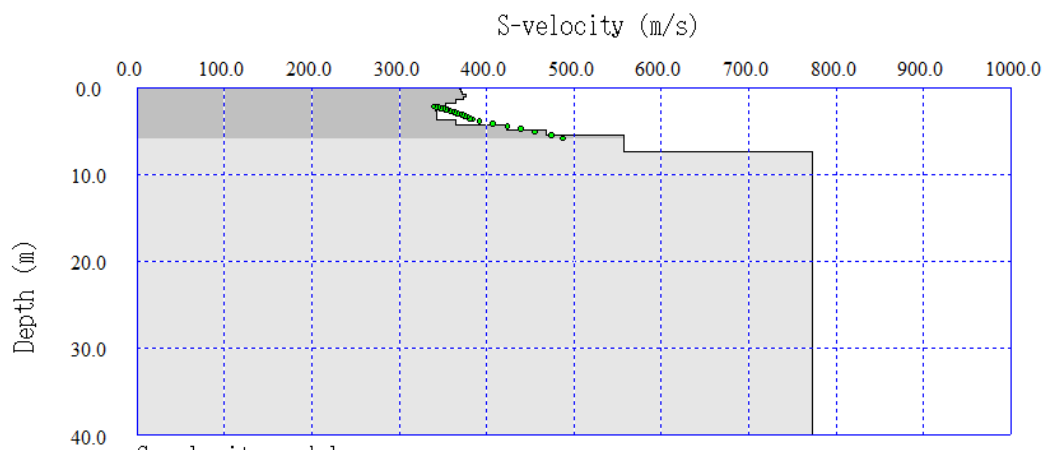




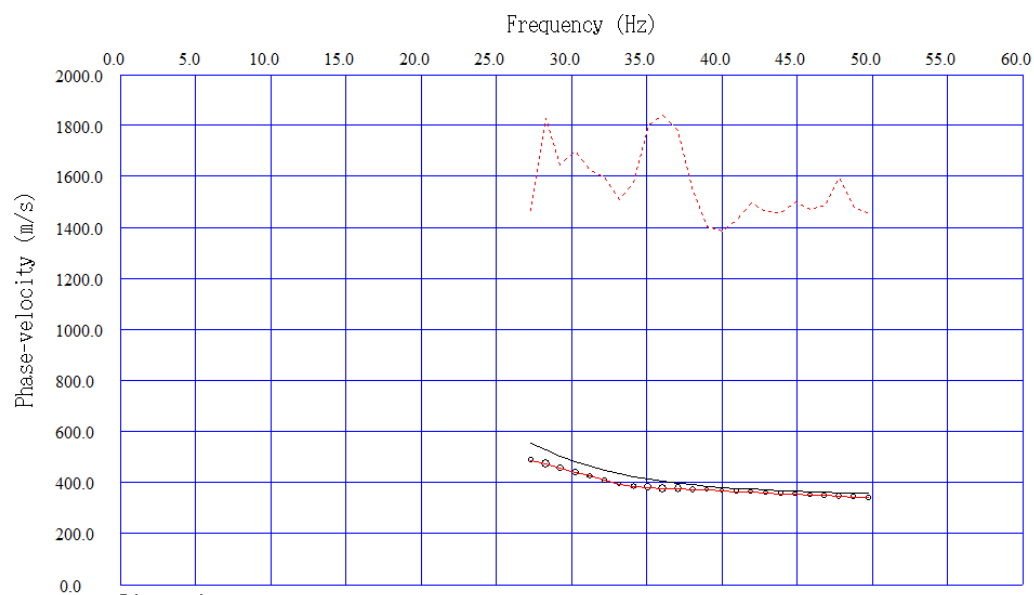
Καταγραφή 507





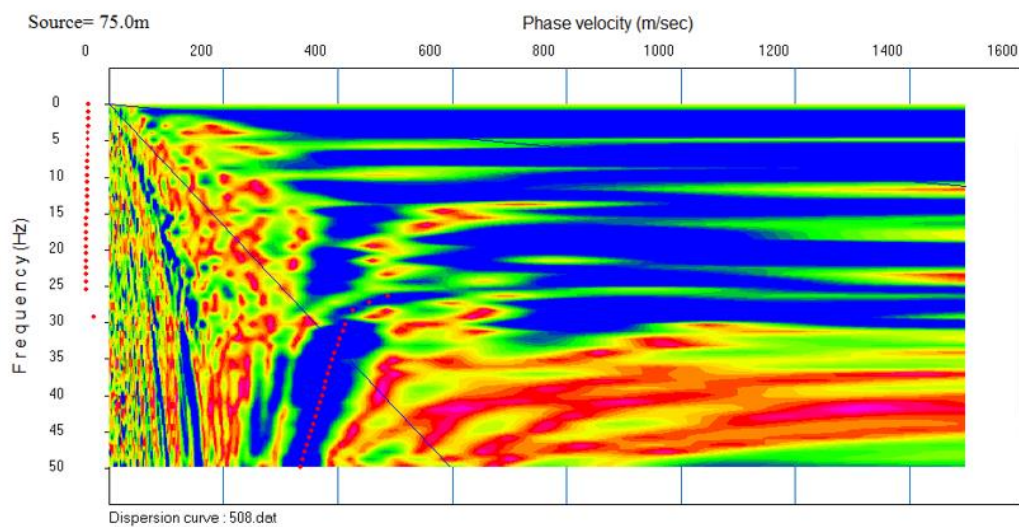


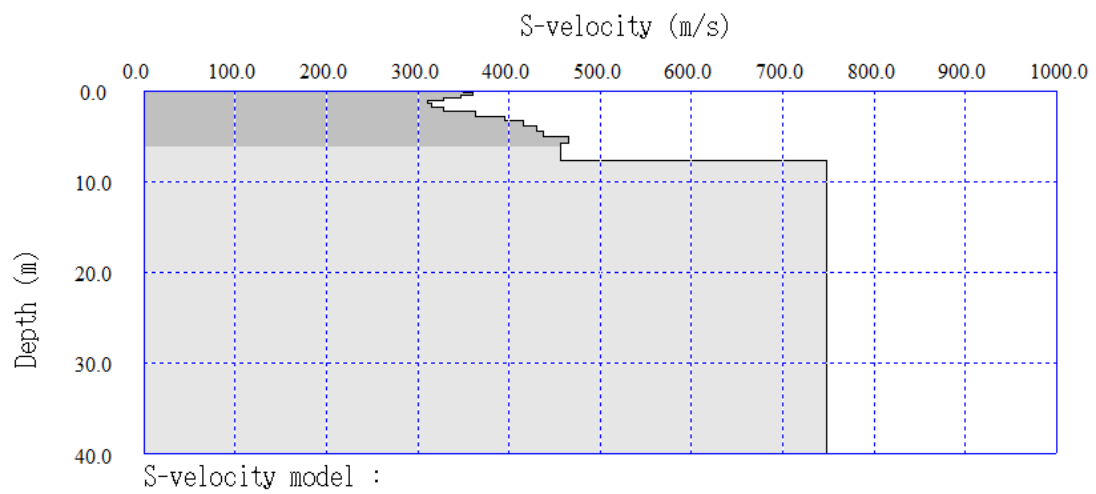
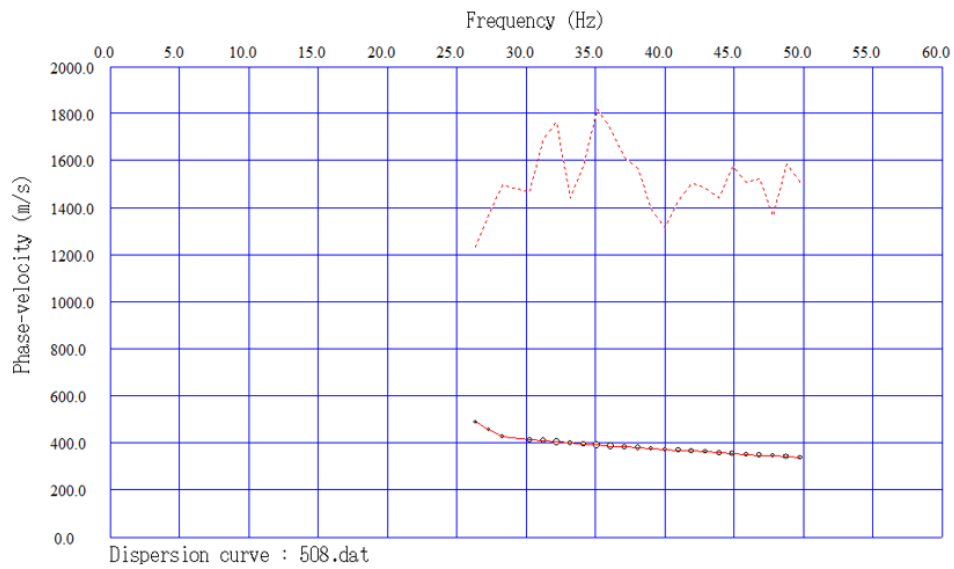
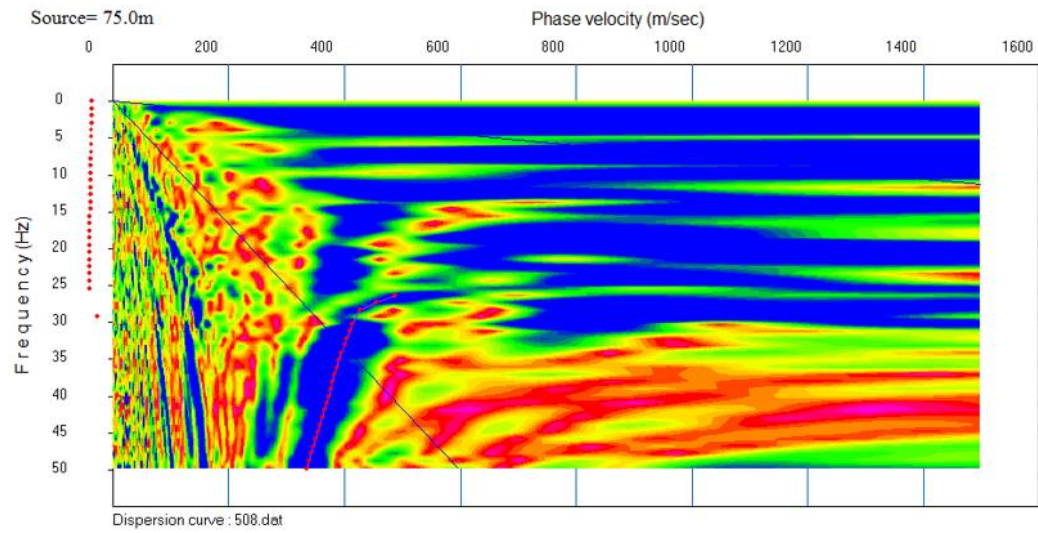
S-velocity model :

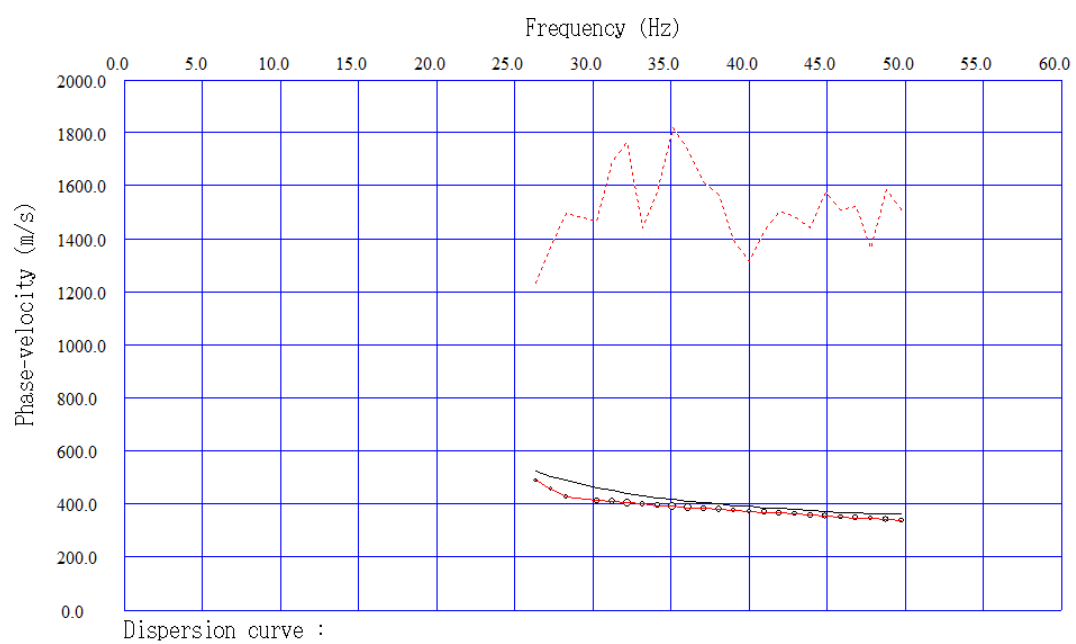
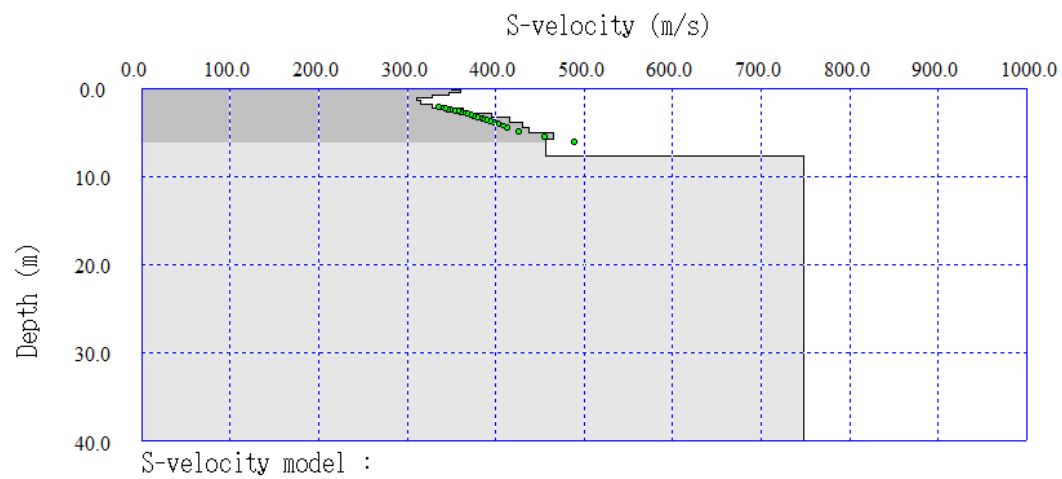


Dispersion curve :

Καταγραφή 508







ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ PASSIVE

