



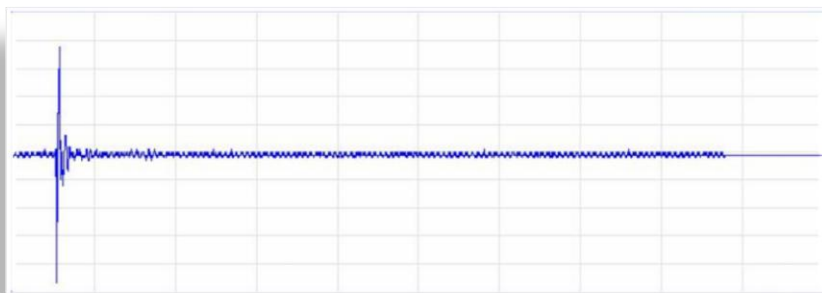
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ»

ΚΕΧΑΓΙΑ ANNA



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Δρ. Κωνσταντίνος Προβιδάκης, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Δρ. Γεώργιος Καρατζάς, Καθηγητής

Δρ. Ιωάννης Τσομπανάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Απρίλιος, 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Το περιεχόμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματεύεται τον καθορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους ενός τμήματος του Βιολογικού Καθαρισμού Χανίων, με στόχο την ανάλυση της σεισμικής επικινδυνότητας του εδάφους. Η μελέτη πραγματοποιείται εφαρμόζοντας μία μη καταστροφική τεχνική, η οποία βασίζεται στο φαινόμενο διασποράς των κυμάτων Rayleigh μέσα σε διαστρωματωμένα συστήματα, και ονομάζεται μέθοδος Φασματικής Ανάλυσης Επιφανειακών Κυμάτων (*Spectral Analysis of Surface Waves – SASW*).

Για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους:

- **Δρ. Προβιδάκη Κωνσταντίνο**, Καθηγητή του Γενικού τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης και επιβλέποντα.
- **Δρ. Καρατζά Γεώργιο**, Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.
- **Δρ. Τσομπανάκη Ιωάννη**, Επίκουρο Καθηγητή του Γενικού τμήματος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω, το εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μηχανικής του Γενικού Τμήματος και ιδιαίτερα τον κ. Καντηλιεράκη Ιωάννη και τον κ. Νικηφόρο Στεφανουδάκη, καθώς και τους προπτυχιακούς φοιτητές Χρήστο Στεφάνου και Πέτρο Κατσαρό για την βοήθεια που πρόσφεραν πάνω στα πειράματα SASW.

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή	v
Κεφάλαιο 1. Θεωρία Κυμάτων και η Μέθοδος SASW	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Θεωρία Κυμάτων.....	2
1.2.1 Κατηγορίες Ελαστικών Κυμάτων.....	2
1.2.2 Σεισμικά Κύματα και Γεωλογικές Ασυνέχειες	6
1.3 Υπολογισμός Φασικής Ταχύτητας – Μέθοδος της Διαφοράς Φάσης	8
1.4 Η Μέθοδος SASW	11
1.4.1 Η Διαδικασία της Μεθόδου SASW στο Πεδίο	11
1.4.2 Ερμηνεία και Ανάλυση των μετρήσεων SASW	14
Κεφάλαιο 2. Εφαρμογή της Μεθόδου SASW στο Βιολογικό Καθαρισμό Χανίων	19
2.1 Εισαγωγή	19
2.2 Διαδραστική Απόρριψη Περιοχής Φάσματος -(Interactive Masking).....	20
2.2.1 Η Τεχνική IRF	21
2.2.2 Προσδιορισμός των Παραμέτρων της τεχνικής IRF	23
2.2.3 Επεξεργασία της Περιοχής Απόρριψης	29
2.3 Προσδιορισμός της Καμπύλης Διασποράς Φασικής Ταχύτητας	33
2.4 Αντίστροφη Ανάλυση	37
2.4.1 Η Διαστρωμάτωση του Υπεδάφους και τα Δεδομένα Διασποράς για την Αντίστροφη Ανάλυση	37
2.4.2 Παράμετροι Αρχικού Μοντέλου – (Starting Model Parameters)	39
2.4.3 Αντίστροφη Ανάλυση	41
Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα και Επαλήθευση της Αντίστροφης Ανάλυσης	44
3.1 Αποτελέσματα Αντίστροφης Ανάλυσης	44
3.2 Επαλήθευση Αντίστροφης Ανάλυσης	46
3.3 Ανάλυση Σεισμικής Επικινδυνότητας	48
Κεφάλαιο 4. Σύνοψη, Συμπεράσματα και Προτάσεις	50
4.1 Σύνοψη	50
4.2 Συμπεράσματα	51
4.3 Προτάσεις για Επόμενες Μελέτες	53

Παράρτημα

Παράρτημα Α'. Εφαρμογή της Μεθόδου SASW στο Πολυτεχνείο Κρήτης	56
A.1 Εισαγωγή	56
A.2 Διαδραστική Απόρριψη Περιοχής Φάσματος	57
A.2.1 Η Τεχνική IRF - Προσδιορισμός των IRF Παραμέτρων	58
A.2.2 Επεξεργασία της Περιοχής Απόρριψης	60
A.3 Προσδιορισμός της Καμπύλης Διασποράς Φασικής Ταχύτητας	62
A.4 Αντίστροφη Ανάλυση	64
A.4.1 Η Διαστρωμάτωση του Υπεδάφους και τα Δεδομένα Διασποράς για την Αντίστροφη Ανάλυση	64
A.4.2 Παράμετροι Αρχικού Μοντέλου	65
A.4.3 Αντίστροφη Ανάλυση	66
A.5 Αποτελέσματα	68
Παράρτημα Β'. Σύγκριση των Προφίλ Ταχύτητας Εγκάρσιου Κύματος Αρχικού και Τελικού Μοντέλου	70
Παράρτημα Γ'. Το Πρόγραμμα WinSASW 2.0	72
Γ.1 Εισαγωγή	72
Γ.2 Περιγραφή Βασικών Λειτουργιών	73
Γ.3 ASCII Format Data	75
Γ.4 Διαδραστική Απόρριψη Περιοχής Φάσματος – (Interactive Masking)	77
Γ.5 Προσδιορισμός της Καμπύλης Διασποράς της Φασικής Ταχύτητας	82
Γ.6 Αντίστροφη Ανάλυση	87
Γ.6.1 Η Διαστρωμάτωση του Υπεδάφους και τα Δεδομένα Διασποράς για την Αντίστροφη Ανάλυση	87
Γ.6.2 Προσδιορισμός του Αρχικού Μοντέλου για την Αντίστροφη Ανάλυση	90
Γ.6.3 Αντίστροφη Ανάλυση	92
Βιβλιογραφία	96

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος Φασματικής Ανάλυσης Επιφανειακών Κυμάτων (SASW) είναι μία *in situ* σεισμική μέθοδος για την εκτίμηση των δυναμικών χαρακτηριστικών διαστρωματωμένων συστημάτων όπως γεωτεχνικά συστήματα, οδοστρώματα, πεζοδρόμια και δομικά συστήματα.

Τα δυναμικά χαρακτηριστικά προκύπτουν σε αντιστοιχία με μία σειρά οριζόντιων στρώσεων, κατακόρυφα κατανεμημένων, όπου η ταχύτητα εγκάρσιου κύματος και το πάχος των στρώσεων προσδιορίζονται από την ανάλυση των μετρήσεων στο πεδίο.

Όλα τα πειράματα στο πεδίο πραγματοποιούνται μέσα σε επίπεδα μικρών παραμορφώσεων ($\text{strain} < 0.001\%$) και επιφανειακή διάταξη μέτρησης. Επειδή η μικρών παραμορφώσεων φύση της τεχνικής την καθιστά μη καταστροφική και μη επεμβατική, είναι σχετικά εύκολο να λάβει τις απαραίτητες άδειες για δοκιμές. Σε χώρους που είναι ευνοϊκοί για τη διάδοση επιφανειακών κυμάτων, η μέθοδος SASW επιτρέπει αισθητά την εξοικονόμηση κόστους και χρόνου.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η μέθοδος SASW παρουσιάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του '70 και αρχές '80 για την εκτίμηση των δυναμικών χαρακτηριστικών οδοστρωμάτων. Αρχικά η χρήση της μεθόδου SASW ήταν συμπληρωματική σε άλλου είδους πειράματα αξιολόγησης οδοστρώματος όπως η μέθοδος FWD (*Falling Weight Deflectometer*). Από την αρχική της εμφάνιση, οι εφαρμογές της έχουν αναπτυχθεί σημαντικά. Στα τέλη της δεκαετίας του '80 και στις αρχές '90, τα πειράματα SASW έχουν χρησιμοποιηθεί για έλεγχο ποιότητας κατασκευών, εξέταση κατολισθήσεων, αξιολόγηση δυναμικών χαρακτηριστικών των ΧΥΤΑ, διερεύνηση σεισμικών κινδύνων, εξέταση δομικής ακεραιότητας, χαρτογράφηση γεωλογικών χαρακτηριστικών, όπως ρήγματα, εύρεση υπόγειων δεξαμενών αποθήκευσης πετρελαίου και σε υποθαλάσσιες έρευνες μεγάλου βάθους.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Αντικείμενο της εργασίας είναι ο προσδιορισμός της σχέσης φασικής ταχύτητας – συχνότητας (ή μήκους κύματος), η οποία παρουσιάζεται μέσω των καμπυλών διασποράς φασικής ταχύτητας, και στη συνέχεια, η απόκτηση του προφίλ της εγκάρσιας ταχύτητας κύματος μέσω της διαδικασίας της αντιστροφής. Στόχος είναι η απόκτηση του προφίλ της εγκάρσιας ταχύτητας κύματος, το οποίο καθώς σχετίζεται άμεσα με το προφίλ των δυναμικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους το καθιστά γνωστό, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για την ανάλυση της σεισμικής επικινδυνότητας του εδάφους.

Η μελέτη πραγματοποιείται με την εφαρμογή της μεθόδου SASW, η οποία περιλαμβάνει :

- α) την προετοιμασία του πειράματος
- β) τις δοκιμές που διεξάγονται στο πεδίο του Βιολογικού Καθαρισμού Χανίων και
- γ) τις διαδικασίες ερμηνείας και ανάλυσης των δεδομένων που ανακτώνται από τις παραπάνω δοκιμές.

Κατά την προετοιμασία του πειράματος, γίνεται μελέτη της περιοχής, που πρόκειται να εξεταστεί, και επιλογή των κατάλληλων οργάνων μέτρησης. Η ερμηνεία των δεδομένων των μετρήσεων της μεθόδου SASW εμπεριέχει, αρχικά, την επεξεργασία του, προσδιοριζόμενου στο πεδίο, φάσματος γωνίας φάσης. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως διαδραστική απόρριψη (interactive masking) και περιλαμβάνει την απόρριψη των ανεπιθύμητων τμημάτων του φάσματος γωνίας φάσης και την εκτίμηση του αριθμού των πλήρων κύκλων των γωνιών μέσα στο φάσμα φάσης. Η εκτίμηση του αριθμού των πλήρων κύκλων είναι σημαντική για τον ακριβή υπολογισμό των φασικών ταχυτήτων. Σε απλές εδαφικές συνθήκες, όπου η ακαμψία αυξάνεται με το βάθος, δεν υπάρχει δυσκολία στην ερμηνεία του φάσματος φάσης. Ωστόσο, σε μερικές εδαφικές συνθήκες, η απαρίθμηση του σωστού αριθμού κύκλων μέσα στο φάσμα φάσης δεν γίνεται εύκολα. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητη η μέθοδος IRF (*Impulse Response Filtration*), για την απλοποίηση της παραπάνω διαδικασίας.

Τέλος, η ανάλυση των μετρήσεων της μεθόδου SASW εμπεριέχει την εκτίμηση του προφίλ των ταχυτήτων εγκάρσιου κύματος από τα δεδομένα διασποράς της φασικής ταχύτητας και κατά συνέπεια την εκτίμηση του προφίλ των δυναμικών χαρακτηριστικών μέσα στο εξεταζόμενο μέσο. Η παραπάνω διαδικασία γίνεται εφικτή μέσω ενός αλγορίθμου αντιστροφής, ο οποίος αναλύει τα δεδομένα της SASW και αποδίδει με μεγάλη προσέγγιση τα δυναμικά χαρακτηριστικά του εδάφους λαμβάνοντας έτσι συμπεράσματα για τις ιδιότητες του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΕΙΑ ΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ **Η ΜΕΘΟΔΟΣ SASW**

1.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος SASW βασίζεται στην ιδιότητα της διασποράς των επιφανειακών κυμάτων σε διαστρωματωμένο εδαφικό μέσο. Σύμφωνα με την εν λόγω μέθοδο, προκαλώντας σεισμική διέγερση μέσω μίας πηγής στην επιφάνεια του εδάφους, διαδίδονται σεισμικά κύματα τα οποία καταγράφονται από δύο γεώφωνα τοποθετημένα, επίσης, στην επιφάνεια. Στη συνέχεια με φασματική ανάλυση των δύο καταγεγραμμένων σημάτων, γίνεται γνωστή η μεταβολή της ταχύτητας του επιφανειακού κύματος με τη συχνότητα (ή το μήκος κύματος) και προσδιορίζεται η διαστρωμάτωση του υπεδάφους σε συνάρτηση με το βάθος.

Στις ενότητες που ακολουθούν, αρχικά παρουσιάζονται οι κατηγορίες ελαστικών κυμάτων και τα φαινόμενα που παρατηρούνται κατά τη διάδοσή τους στο υπέδαφος. Στη συνέχεια αναλύεται η μέθοδος της Διαφοράς Φάσης για τον υπολογισμό της φασικής ταχύτητας και τέλος περιγράφεται η μέθοδος SASW .

1.2 Θεωρία Κυμάτων

Τα πετρώματα του εσωτερικού της Γης έχουν ελαστικές ιδιότητες, που τους επιτρέπουν να παραμορφώνονται και να δονούνται όταν ασκούνται πάνω τους δυνάμεις πίεσης ή εφελκυσμού.

Ως *κύμα* ορίζεται μια διαταραχή που διαδίδεται μέσα από ένα μέσο με πεπερασμένη ταχύτητα. Στην περίπτωση διάδοσης μονοχρωματικού (έχει μόνο μία συχνότητα) αρμονικού κύματος, μέσα από ένα μέσο, τα σημεία τα οποία ευρίσκονται επάνω στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος εξαναγκάζονται σε απλή αρμονική κίνηση. Καθώς το κύμα διαδίδεται μέσα στο μέσο θέτει σε αρμονική ταλάντωση διαδοχικά όλα τα υλικά σημεία του μέσου που συναντά και το πλάτος της κίνησης κάθε υλικού σημείου μεταβάλλεται με το χρόνο.

1.2.1 Κατηγορίες Ελαστικών Κυμάτων

Όταν προκληθεί μία διατάραξη σε ένα ελαστικό και ισότροπο μέσο απείρων διαστάσεων, παράγονται δύο είδη ελαστικών κυμάτων, τα επιμήκη κύματα και τα εγκάρσια κύματα, γνωστά ως Κύματα Χώρου. Όταν, όμως, το ελαστικό μέσο δεν επεκτείνεται στο άπειρο προς όλες τις διευθύνσεις, αλλά περιορίζεται από ορισμένη επιφάνεια (π. χ. Επιφάνεια Γης) αναπτύσσεται και ένα άλλο είδος ελαστικών κυμάτων, τα Επιφανειακά Κύματα.

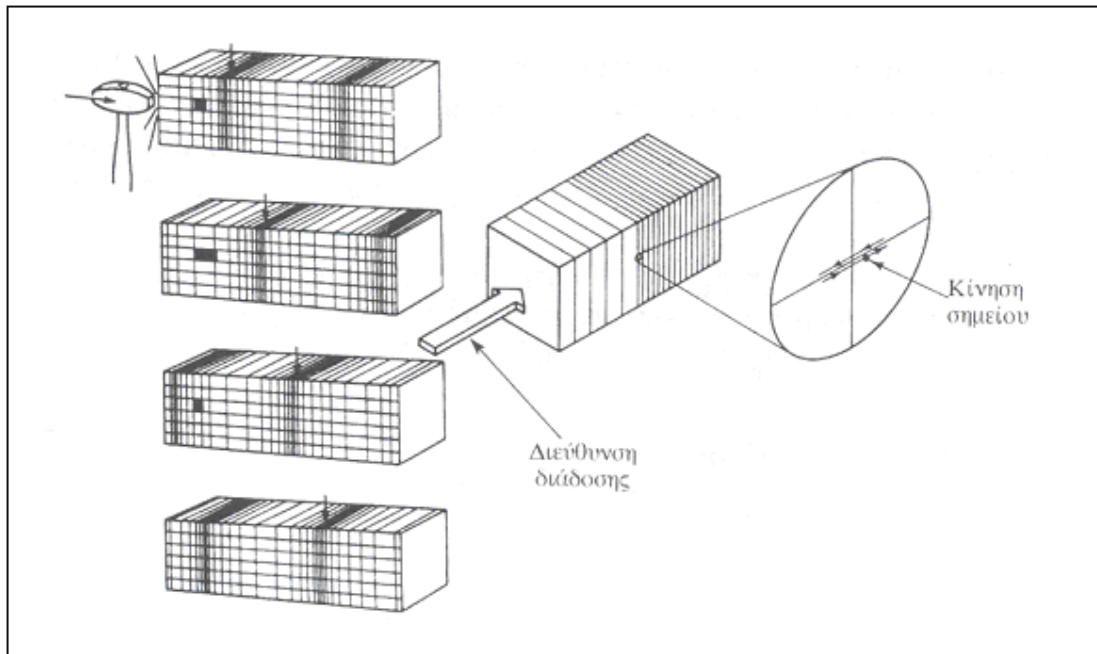
A. Κύματα Χώρου (*Body Waves*)

Τα κύματα χώρου χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι, καθώς διέρχονται από διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς, τα στοιχειώδη τμήματα του μέσου διάδοσης αντιδρούν τόσο στη μεταβολή του όγκου τους όσο και στη μεταβολή του σχήματός τους. Δύο χαρακτηριστικές κατηγορίες κυμάτων χώρου είναι οι εξής :

- *Επιμήκη Ελαστικά Κύματα (P – waves)*. Η συγκεκριμένη κατηγορία κυμάτων αφορά τη διάδοση της μεταβολής του όγκου ή της πυκνότητας. Είναι σεισμικά κύματα που διαδίδονται υπό μορφή πυκνωμάτων και αραιωμάτων.

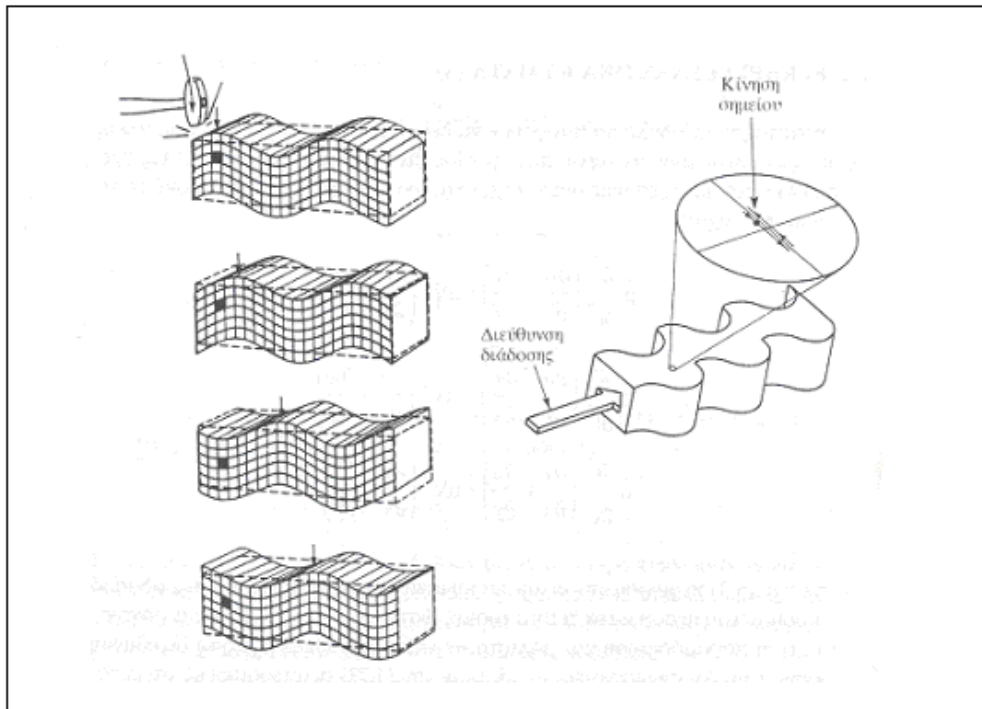
Επειδή έχουν τη μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης από όλα τα άλλα είδη κυμάτων είναι γνωστά και ως πρωτεύοντα. Κατά τη διάδοση των

επιμηκών κυμάτων μέσα σε ελαστικό μέσο, τα υλικά σημεία του μέσου ταλαντώνονται κατά διεύθυνση παράλληλη προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1 : Κύματα τύπου P, τα υλικά σημεία ταλαντώνονται παράλληλα προς τη διεύθυνση διάδοσης

- *Εγκάρσια Ελαστικά Κύματα (S- waves).* Είναι σεισμικά κύματα που αντιστοιχούν σε ταλάντωση των μορίων του μέσου κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το μέσο να υπόκειται μόνο σε διατμητική παραμόρφωση και σε επίπεδα κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσής του, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Επειδή τα S κύματα ακολουθούν τα P κύματα έχει επικρατήσει να ονομάζονται δευτερεύοντα (secondary). Στα ρευστά (υγρά, αέρια) δεν είναι δυνατή η διάδοση εγκαρσίων κυμάτων.



Σχήμα 2 : Κύματα τύπου S, τα υλικά σημεία ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης

B. Επιφανειακά Κύματα (*Surface waves*)

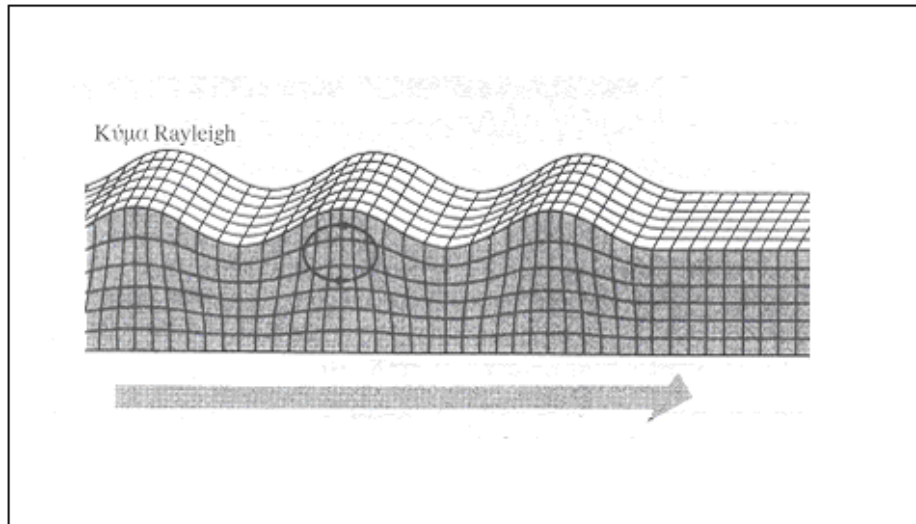
Η συγκεκριμένη κατηγορία κυμάτων χαρακτηρίζεται από μεγάλες περιόδους και πλάτη. Τα επιφανειακά κύματα παρουσιάζουν έντονο το φαινόμενο της διασποράς (*dispersion*), δηλαδή τη μεταβολή της ταχύτητάς τους στις διάφορες συχνότητες. Δύο χαρακτηριστικές κατηγορίες επιφανειακών κυμάτων είναι οι εξής :

- *Επιφανειακά κύματα Rayleigh.* Τα κύματα Rayleigh διαδίδονται κοντά στην επιφάνεια, με φορά κίνησης αντίθετη με τη φορά δεικτών του ρολογιού και προκαλούν μία σύνθετη κίνηση των σωματιδίων της ύλης, η οποία είναι συνισταμένη της ακτινικής και διατμητικής συνιστώσας, και έχει τη μορφή έλλειψης, σύμφωνα με το Σχήμα 3.

Στην περίπτωση που υπάρχουν πολλά γεωλογικά στρώματα με διαφορετικές φυσικές ιδιότητες, για κάθε συχνότητα αναλογεί διαφορετικός βαθμός διείσδυσης, αυτό συνεπάγεται και διαφορετική ταχύτητα διάδοσης, πράγμα το οποίο οδηγεί στο φαινόμενο της διασποράς.

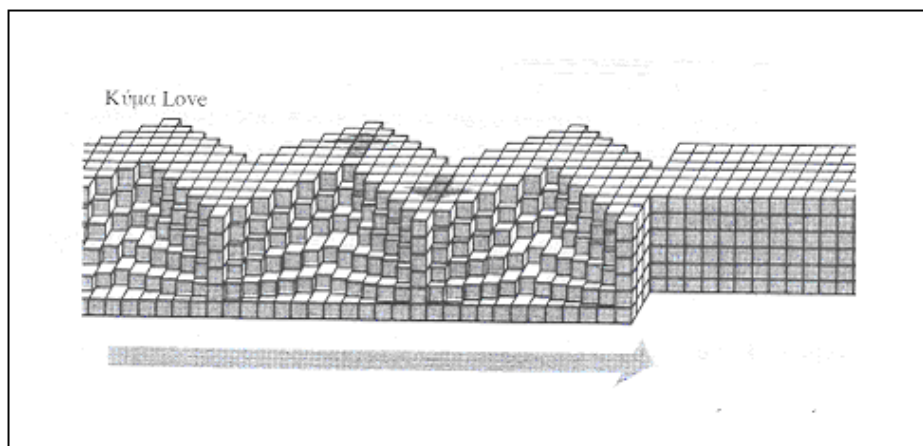
Έχει αποδειχτεί ότι η σχέση που συνδέει την ταχύτητα του κύματος Rayleigh V_R με την ταχύτητα εγκάρσιου κύματος V_S είναι η εξής :

$$V_S \approx 1.1V_R \quad (1)$$



Σχήμα 3 : Τρόπος κίνησης των στοιχειωδών σωματίων του μέσου κατά τη διάδοση σεισμικών κυμάτων τύπου Rayleigh

- *Επιφανειακά κύματα Love.* Τα κύματα Love συνδέονται με την εδαφική κίνηση, που περιορίζεται σε οριζόντιο επίπεδο και είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης, σύμφωνα με το Σχήμα 4.



Σχήμα 4 : Τρόπος κίνησης των στοιχειωδών σωματιδίων του μέσου κατά τη διάδοση σεισμικών κυμάτων τύπου Love

1.2.2 Σεισμικά Κύματα και Γεωλογικές Ασυνέχειες

A. Διάθλαση Σεισμικών Κυμάτων

Όταν ένα σεισμικό κύμα πέσει επάνω σε επιφάνεια που χωρίζει δύο γεωλογικούς σχηματισμούς με διαφορετικές ελαστικές ιδιότητες, τότε μέρος της σεισμικής ενέργειας ανακλάται και παραμένει στο ίδιο μέσο όπως η αρχική ενέργεια ενώ η υπόλοιπη ενέργεια διαθλάται μέσα στο άλλο μέσο με σύγχρονη μεταβολή στη διεύθυνση διάδοσης. Σύμφωνα με το νόμο του Snell ισχύει :

$$\sin(i_0) / V_1 = \sin(i_2) / V_2 = p \quad (2)$$

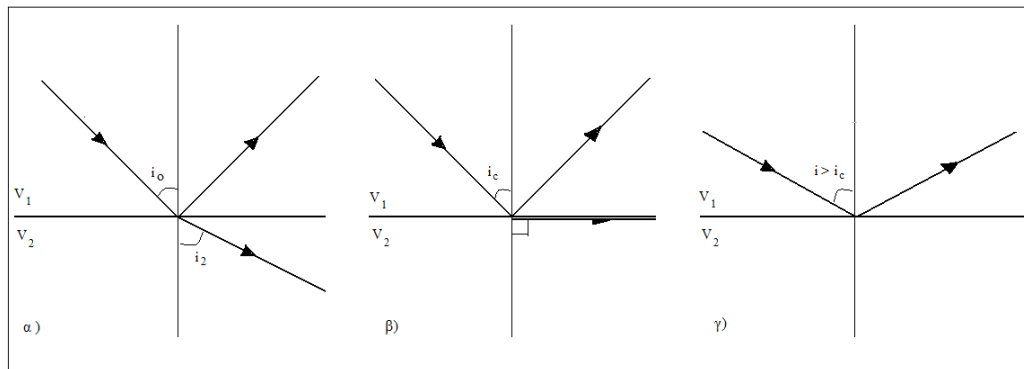
όπου p είναι η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας, i_0 είναι η γωνία πρόσπτωσης και i_2 είναι η γωνία διάθλασης. Δηλαδή, το ημίτονο της γωνίας που σχηματίζει η σεισμική ακτίνα με την κάθετο στη διαχωριστική επιφάνεια προς την αντίστοιχη ταχύτητα διάδοσης του μέσου από το οποίο προέρχεται η σεισμική ακτίνα είναι σταθερό. Χρήσιμη είναι η έννοια της ορικής γωνίας (*critical angle* , i_c) η οποία ορίζεται ως η γωνία πρόσπτωσης που αντιστοιχεί σε γωνία διάθλασης 90° . Επομένως ισχύει :

$$\sin(i_c) = V_1 / V_2 \quad (3)$$

Για γωνίες πρόσπτωσης ίσες της ορικής γωνίας i_c , δεν υπάρχει διαθλώμενο κύμα στο δεύτερο μέσο. Το διαθλώμενο κύμα που αντιστοιχεί σε γωνία πρόσπτωσης ίση με την ορική, διαδίδεται κατά μήκος της διαχωριστικής επιφάνειας με την ταχύτητα V_2 του δεύτερου μέσου.

Για γωνία πρόσπτωσης μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση.

Στο Σχήμα 5 απεικονίζονται τα παραπάνω φαινόμενα.



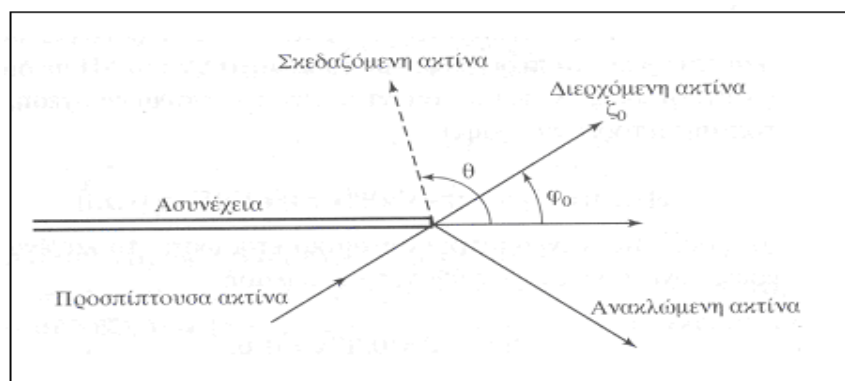
Σχήμα 5 : Κατά την πρόσπτωση υπό γωνία

- α) μικρότερη της ορικής, δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα
- β) ίση με την ορική, δημιουργούνται ανακλώμενα κύματα, ενώ τα διαθλώμενα διαδίδονται κατά μήκος της διαχωριστικής επιφάνειας
- γ) μεγαλύτερη της ορικής, παρατηρείται ολική ανάκλαση

Β. Σκέδαση των Επιφανειακών Σεισμικών Κυμάτων

Το φαινόμενο της σκέδασης (ή διασποράς), αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα των εδαφικών σχηματισμών, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως σκεδάζον μέσον (*dispersive medium*), καθώς αποτελούνται από στρώματα με διαφορετικές ελαστικές σταθερές και πυκνότητες. Ορισμένα σεισμικά κύματα που διαδίδονται σε σκεδάζον μέσο, υπόκεινται στο φαινόμενο της σκέδασης, σύμφωνα με το οποίο η ταχύτητα διάδοσής τους μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη συχνότητα .

Η ιδιότητα της σκέδασης χαρακτηρίζει, κατά κύριο λόγο, τα κύματα επιφάνειας, ενώ η σκέδαση των κυμάτων χώρου είναι συνέπεια της εξασθένησης και ο βαθμός σκέδασης τους δε θεωρείται σημαντικός. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα σκέδασης από ασυνέχεια ή μικρορήγμα .



Σχήμα 6 : Σκέδαση σεισμικού κύματος καθώς συναντά μία ασυνέχεια

1.3 Υπολογισμός της Φασικής Ταχύτητας - Μέθοδος της Διαφοράς Φάσης

Η ταχύτητα διάδοσης ενός αρμονικού σεισμικού κύματος εξαρτάται από τη συχνότητα του. Στη γενική περίπτωση όμως, ένα σεισμικό κύμα μπορεί να αναλυθεί σε πολλά στοιχειώδη μονοχρωματικά αρμονικά κύματα, κάθε ένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από διαφορετική συχνότητα. Συνεπώς κάθε ένα από τα θεμελιώδη κύματα τα οποία απαρτίζουν το σεισμικό κύμα, διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα.

Φασική ταχύτητα (*phase velocity*) ονομάζεται, η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται μία ορισμένη φάση (κύμα ορισμένης συχνότητας) μέσα σε μια ομάδα κυμάτων.

Ομαδική ταχύτητα (*group velocity*) ονομάζεται, η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται η όλη διατάραξη. Η ομαδική ταχύτητα είναι η ταχύτητα με την οποία μεταφέρεται η ενέργεια του σεισμικού κύματος.

Με τη χρήση του χρόνου διάδοσης του κύματος υπολογίζεται με επιτυχία η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται ένα κύμα. Αν ο χρόνος διάδοσης του κύματος μπορεί να μετρηθεί, τότε η ταχύτητα του κύματος προσδιορίζεται εύκολα διαιρώντας την απόσταση με το χρόνο διάδοσης.

Ο χρόνος διάδοσης ενός κύματος με συγκεκριμένη συχνότητα υπολογίζεται από τη διαφορά φάσης του κύματος που έχει καταγραφεί σε δύο τοποθεσίες, σύμφωνα και με το Σχήμα 7. Έστω ένα κύμα με συχνότητα f_0 , διαδίδεται από το σημείο Α στο σημείο Β μέσα σε χρόνο t_1 . Αν η κίνηση του κύματος περιγράφεται ως y_1 στο σημείο Α και ως y_2 στο σημείο Β τότε ισχύει :

$$y_1 = \sin (2\pi f_0 t) \quad (4)$$

$$y_2 = \sin [2\pi f_0 (t - t_1)] \quad (5)$$

$$= \sin [2\pi f_0 t - 2\pi f_0 t_1] \quad (6)$$

$$= \sin [2\pi f_0 t - \varphi] \quad (7)$$

όπου φ είναι η διαφορά φάσης, ανάμεσα στις δύο τοποθεσίες, του κύματος που διαδίδεται με συχνότητα f_0 . Από την Εξίσωση (7), η διαφορά φάσης και ο χρόνος διάδοσης συνδέονται από τη σχέση:

$$\varphi = 2\pi f_0 t_1 \quad (8)$$

Δηλαδή,

$$t_1 = \frac{\varphi}{2\pi f_0} \quad (9)$$

Η φασική ταχύτητα, V_{PH} , που αντιστοιχεί στη συχνότητα f_0 εκφράζεται από τη σχέση (10). Συνεπώς, χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (9) και την απόσταση, d , ανάμεσα στις δύο τοποθεσίες Α και Β προκύπτει:

$$V_{PH} = \frac{d}{t_1} \quad (10)$$

$$V_{PH} = \frac{d \, 2\pi f_0}{\varphi} \quad (11)$$

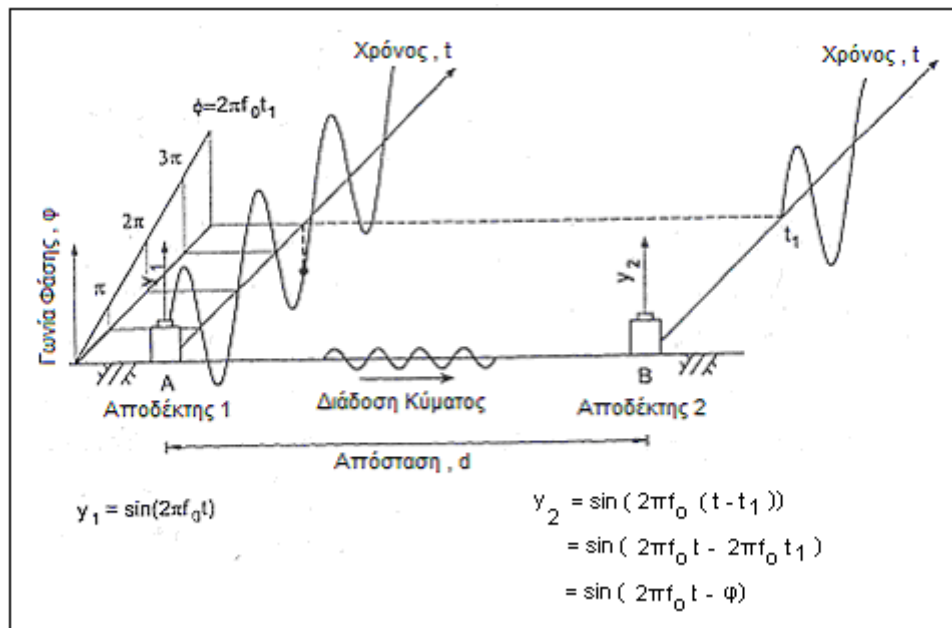
Ανασχηματίζοντας την Εξίσωση (11) προκύπτει :

$$V_{PH} = \frac{f_0 \cdot d}{\frac{\varphi}{2\pi}} \quad (12)$$

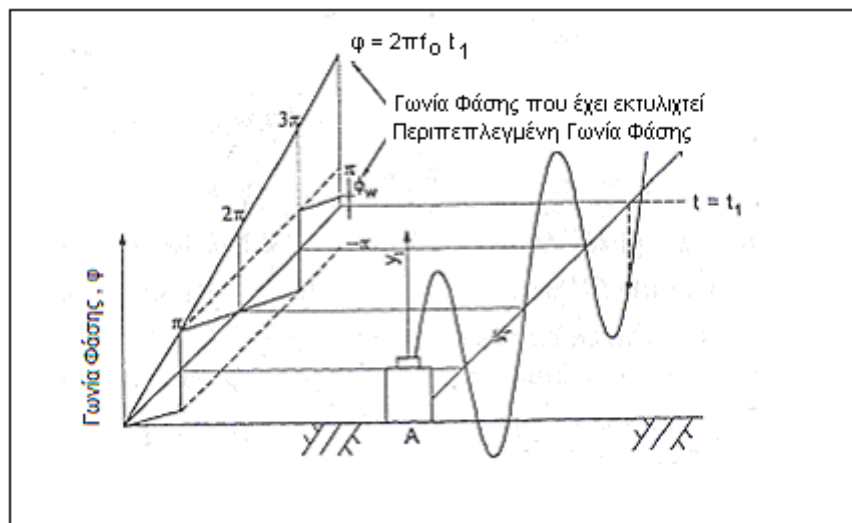
$$V_{PH} = f_0 \cdot \lambda \quad (13)$$

Επομένως, το μήκος κύματος, που αντιστοιχεί στη συχνότητα f_0 εκφράζεται από τη σχέση :

$$\lambda = \frac{d}{\frac{\varphi}{2\pi}} \quad (14)$$



Σχήμα 7 : Διαφορά Φάσης Ανάμεσα σε Δύο Σήματα Χρόνου



Σχήμα 8 : Σύγκριση Περιπεπλεγμένης Γωνίας Φάσης με Γωνία Φάσης που έχει Εκτυλιχτεί

1.4 Η Μέθοδος SASW

Η μέθοδος SASW χωρίζεται σε δύο στάδια. Αρχικά πραγματοποιούνται δοκιμές στο πεδίο ώστε να αποκτηθούν οι απαραίτητες μετρήσεις και ακολουθούν οι διαδικασίες ερμηνείας και ανάλυσης των μετρήσεων. Η μεθοδολογία περιγράφεται παρακάτω.

1.4.1 Η Διαδικασία της Μεθόδου SASW στο Πεδίο

Ο σκοπός των μετρήσεων στο πεδίο μέσω των πειραμάτων SASW είναι να προσδιοριστεί η διαφορά φάσης μεταξύ δύο αποδεκτών χρησιμοποιώντας μία εκτενή περιοχή συχνοτήτων.

Ο απαραίτητος εξοπλισμός για της μετρήσεις αποτελείται από μία πηγή επιφανειακών κυμάτων, δύο αποδέκτες επιφανειακών κυμάτων και ένα σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας των μετρήσεων. Η πηγή και οι αποδέκτες τοποθετούνται σε ευθεία για την καταγραφή των κυμάτων που διαδίδονται από τον πρώτο αποδέκτη στον δεύτερο. Η πηγή είναι ένα είδος μηχανικού συστήματος το οποίο προκαλεί κατακόρυφα δυναμικά φορτία στην επιφάνεια του εδάφους.

Για την εκτίμηση των δυναμικών χαρακτηριστικών, πρέπει να προσδιοριστούν ταχύτητες φάσης για ένα ευρύ φάσμα μήκους κύματος. Η περιοχή του μήκους κύματος πρέπει να περιέχει μήκη κύματος αρκετά μικρά για τη δειγματοληψία υλικών σε ρηχά βάθη και όσο γίνεται μεγαλύτερα ώστε να διαπερνούν τα βαθύτερα στρώματα. Τόσο πρακτικά όσο και θεωρητικά μόνο μία πηγή και η αντίστοιχη διαμόρφωση των αποδεκτών δεν είναι αρκετά για τον προσδιορισμό των φασικών ταχυτήτων για μία μεγάλη περιοχή μήκους κύματος.

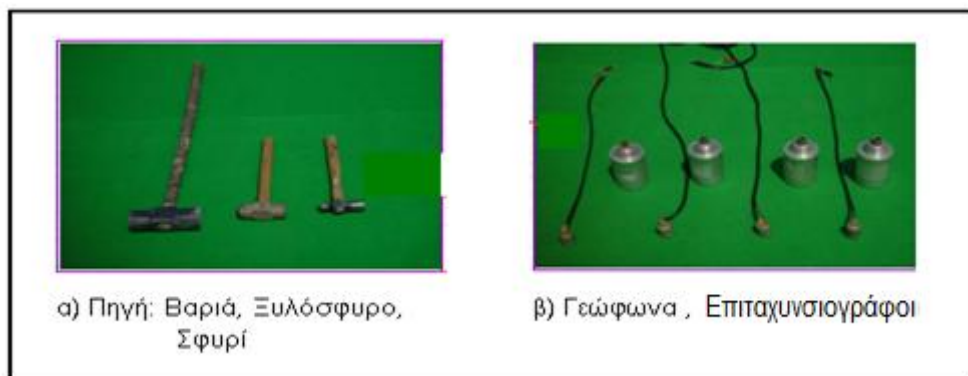
Η γενική διαδικασία για την απόκτηση των μετρήσεων με τη μέθοδο SASW αναφέρεται στα παρακάτω βήματα :

1. *Κατάλληλη διάταξη πηγής-αποδεκτών.* Η διάταξη πηγής αποδεκτών θα πρέπει να ευνοεί την καταγραφή των κυμάτων με τα επιθυμητά μήκη κύματος, το οποίο επιτυγχάνεται με κατάλληλη ισαπόσταση των αποδεκτών.

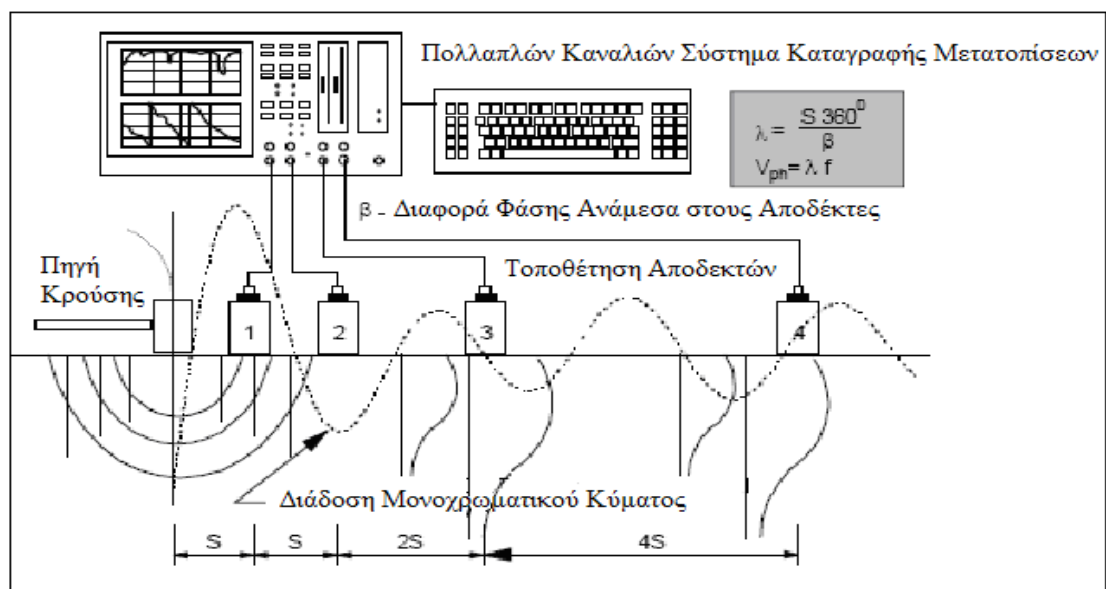
Συνεπώς, για τη δειγματοληψία της εκάστοτε τοποθεσίας απαιτείται ο προσδιορισμός των απαιτούμενων αποστάσεων ανάμεσα στους αποδέκτες, η επιλογή των οποίων βασίζεται είτε σε υποθέσεις είτε σε προϋπάρχουσες πληροφορίες για το προφίλ ταχύτητας εγκάρσιων κυμάτων σε συνάρτηση με το βάθος για το γεωλικό της περιοχής.

Μία σχετικά μικρή απόσταση αποδεκτών δίνει κυρίως τη δυνατότητα της λεπτομερέστερης διασκόπησης των επιφανειακών σχηματισμών, ενώ με μεγάλη απόσταση χάνεται η λεπτομερής ανάλυση των επιφανειακών και μικρού πάχους στρωμάτων, αλλά επιτυγχάνεται η διερεύνησή τους σε μεγάλα βάθη.

2. *Κατάλληλη επιλογή πηγής και αποδεκτών.* Στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται όργανα μέτρησης για τα πειράματα SASW. Σε αντιστοιχία με την επιθυμητή περιοχή συχνοτήτων, η επιλογή της πηγής για τη διέγερση του εδάφους, μπορεί να είναι σφυρί, ξύλινο σφυρί, βαριά ή πίπτον βάρος. Οι αποδέκτες, που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις, είναι γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας ή επιταχυνσιογράφοι. Γενικά, η πηγή παίζει σημαντικό ρόλο για τη λήψη των δεδομένων, καθώς όσο πιο πλούσιο συχνοτικό περιεχόμενο παρέχει, τόσο περισσότερα μήκη κύματος παράγονται, με αποτέλεσμα την καλύτερη διάκριση των εδαφικών στρώσεων. Σημαντικό ρόλο στην “ποιότητα” του σήματος παίζει και η συχνοτική απόκριση των αποδεκτών. Η επιλογή των παραπάνω οργάνων βασίζεται σε μελέτη και δοκιμές, καθώς πρέπει να υποστηρίζουν την επιθυμητή περιοχή συχνοτήτων.
3. *Διαμόρφωση πηγής - αποδεκτών.* Είναι αναγκαίο να υπάρχει ως προς το υλικό, ο βέλτιστος συνδυασμός των αποδεκτών, έτσι ώστε και οι δύο να καταγράφουν τη κίνηση του εδάφους σωστά, αποφεύγοντας έτσι τις διαφορετικές ανταποκρίσεις μεταξύ τους.
4. *Διέγερση του εδάφους.* Οι δύο αποδέκτες αποκτούν τα αποτελέσματα του σήματος από τις κατακόρυφες αντιδράσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.
5. *Υπολογισμός της φασικής ταχύτητας για διαφορετικές συχνότητες μέσω του φάσματος γωνίας φάσης.* Αν το φάσμα προσδιορίζεται *in situ*, ο υπολογισμός γίνεται χρησιμοποιώντας πρόγραμμα υπολογιστή.



Σχήμα 9 : Παραδείγματα Πηγής και Αποδεκτών



Σχήμα 10 : Παράδειγμα διαμόρφωσης πηγής - αποδεκτών

1.4.2 Ερμηνεία και Ανάλυση των μετρήσεων SASW

Εφόσον έχει προσδιοριστεί το φάσμα γωνίας φάσης στο πεδίο, το επόμενο μέρος της διαδικασίας είναι η ερμηνεία του φάσματος διαφοράς φάσης, η εξαγωγή της πειραματικής καμπύλης διασποράς της φασικής ταχύτητας και η ανάλυση των μετρήσεων SASW.

Έχει αναπτυχθεί από τον Sung-Ho Joh [1] ένα πρόγραμμα των Microsoft Windows, ονομαζόμενο WinSASW, το οποίο χρησιμοποιείται ως βοηθητικό εργαλείο στην παραπάνω διαδικασία. Η περιγραφή των βημάτων για την ερμηνεία των μετρήσεων SASW προβλέπονται από το WinSASW και αναφέρονται παρακάτω.

A. Διαδραστική Απόρριψη

Στην ανάλυση των μετρήσεων, απαιτείται ο σχηματισμός της πειραματικής καμπύλης διασποράς. Για την εκτέλεση αυτής της εργασίας είναι αναγκαία η εκτύλιξη του φάσματος της γωνίας φάσης, επομένως πρέπει να προηγηθεί η διαδικασία της ερμηνείας του φάσματος. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως masking και περιγράφεται παρακάτω:

Εντοπισμός και απόρριψη των περιοχών όπου η φάση δίνει πληροφορίες χαμηλής ποιότητας. Δηλαδή, τα μέρη της συχνότητας που έχουν γωνία φάσης, η οποία δεν ακολουθεί τη γενική κατεύθυνση και δε θα έπρεπε να λαμβάνεται υπόψη στην κατασκευή της καμπύλης διασποράς της φασικής ταχύτητας, πρέπει να εξάγονται. Οι γωνίες φάσης που δεν ακολουθούν τη γενική κατεύθυνση περιλαμβάνουν, γωνίες φάσης με έντονο κυματισμό, γωνίες φάσης με πριονωτή διαμόρφωση και περίπλοκες γωνίες φάσης δημιουργούμενες από τον τυχαίο θόρυβο.

Ερμηνεία του αριθμού των πλήρων κύκλων μέσα στο φάσμα. Το φάσμα της γωνίας φάσης μίας συνάρτησης μεταφοράς είναι πλεγμένο έτσι ώστε οι γωνίες φάσης να κινούνται στην περιοχή από -180° έως 180° . Για τη σωστή εκτύλιξη του φάσματος πρέπει να είναι γνωστός ο αριθμός των πλήρων κύκλων.

B. Πειραματική καμπύλη διασποράς Φασικής Ταχύτητας

Η πειραματική καμπύλη διασποράς (*experimental dispersion curve*) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το φάσμα της γωνίας φάσης που έχει εκτυλιχτεί και την απόσταση των αποδεκτών, σύμφωνα με τις Εξισώσεις (12) ή (13) :

$$\begin{aligned} V_{PH} &= f \cdot \lambda \\ &= f \cdot d / (\varphi / 360^\circ) \end{aligned}$$

Όταν ολοκληρωθεί ο σχηματισμός όλων των πειραματικών καμπυλών διασποράς για μία δεδομένη διαμόρφωση αποδεκτών, τότε συνδυάζονται μεταξύ τους. Η συνδυαστική πειραματική καμπύλη διασποράς ονομάζεται σύνθετη πειραματική καμπύλη διασποράς (*composite experimental dispersion curve*).

Γ. Αντιπροσωπευτική Καμπύλη Διασποράς Φασικής Ταχύτητας

Ο τελικός στόχος είναι η εκτίμηση του προφίλ ταχύτητας εγκάρσιου κύματος (*shear wave velocity*). Για αυτό το σκοπό, είναι προτιμότερη η αντιπροσωπευτική καμπύλη διασποράς της φασικής ταχύτητας (*representative phase velocity dispersion curve*). Η αντιπροσωπευτική καμπύλη προσδιορίζεται από την πιο πολύπλοκη πειραματική καμπύλη διασποράς και η κατασκευή της γίνεται μέσω της διαδικασίας εξαγωγής μέσου όρου.

Δ. Ανάλυση των μετρήσεων SASW

Για τις περισσότερες εφαρμογές, η εκτίμηση των δυναμικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους είναι το πιο σημαντικό βήμα της μεθόδου SASW. Υπάρχουν διαθέσιμες δύο μεθοδολογίες : η ανάλυση IFM (*Iterative Forward Modeling*) και η αντίστροφη ανάλυση (*Inversion Analysis*), οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

Η Ανάλυση IFM

Η ανάλυση IFM είναι μία επαναληπτική διαδικασία δοκιμής και σφάλματος. Γίνεται μία αρχική υπόθεση των δυναμικών χαρακτηριστικών. Με βάση την αρχική υπόθεση, υπολογίζεται μία θεωρητική καμπύλη διασποράς χρησιμοποιώντας την κυματική θεωρία, *Stress-wave modeling theory*. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση ανάμεσα στη θεωρητική καμπύλη διασποράς και στην πειραματική καμπύλη διασποράς .

Αν δε συμπίπτουν, η αρχική υπόθεση των δυναμικών χαρακτηριστικών προσαρμόζεται και παράγεται μία καινούρια θεωρητική καμπύλη διασποράς. Γίνεται ξανά σύγκριση μεταξύ της καινούριας θεωρητικής καμπύλης διασποράς και της πειραματικής καμπύλης διασποράς. Η διαδικασία δοκιμής και σφάλματος συνεχίζεται ώσπου οι δύο καμπύλες να είναι παρεμφερείς.

Στη ανάλυση FM (*Forward Modeling*), πρέπει να καθοριστούν οι ιδιότητες του εδάφους. Οι ιδιότητες αυτές περιλαμβάνουν την ταχύτητα εγκάρσιου κύματος, το πάχος των στρώσεων, το λόγο του Poisson και την πυκνότητα της μάζας για κάθε στρώση. Οι μεταβλητές για τη ανάλυση FM είναι συνήθως μόνο η ταχύτητα εγκάρσιου κύματος και το πάχος των στρώσεων. Οι δύο αυτές μεταβλητές προσαρμόζονται μέσω της ανάλυσης FM, ενώ ο λόγος του Poisson και η πυκνότητα της μάζας καθορίζονται είτε από προϋπάρχουσες πληροφορίες είτε από κάποια λογική υπόθεση.

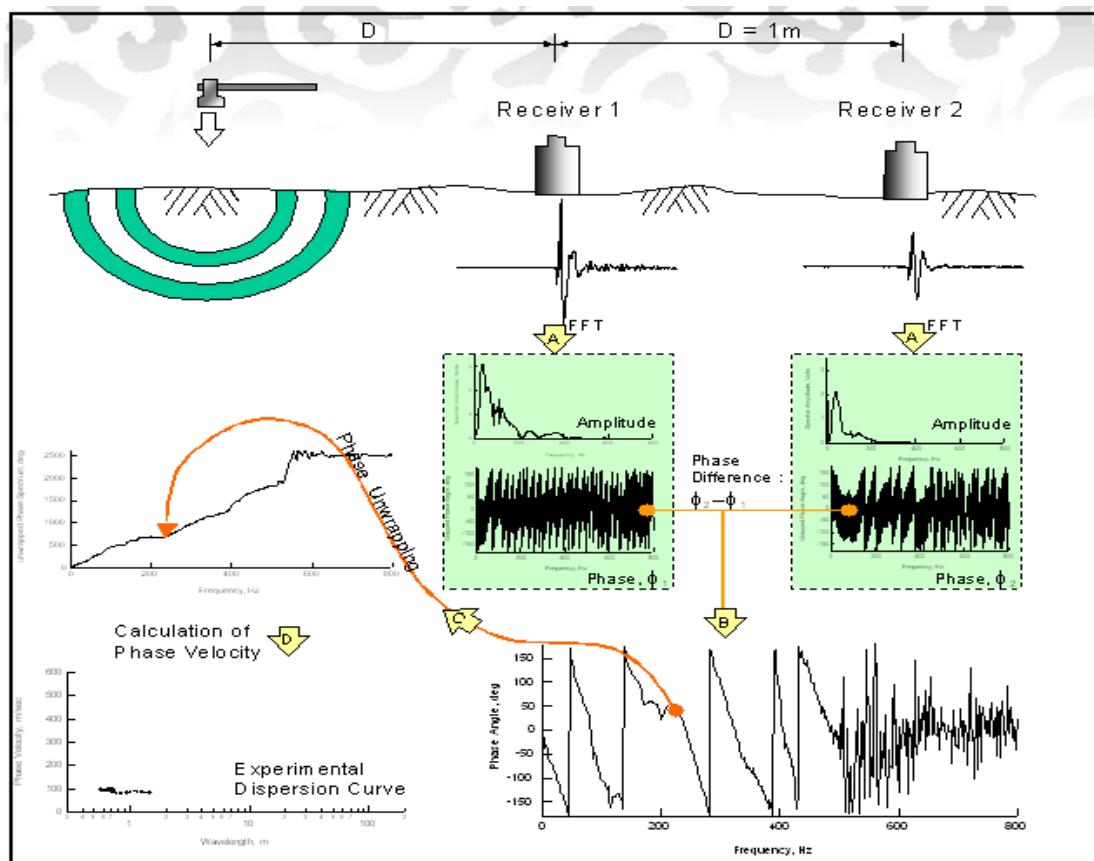
Αντίστροφη Ανάλυση

Η αντίστροφη ανάλυση είναι μία αυτόματη ανάλυση FM. Οι αλλαγές στα δυναμικά χαρακτηριστικά γίνονται από μία τεχνική βελτιστοποίησης. Συνεπώς, η βέλτιστη λύση από την αρχική υπόθεση στην τελική λύση βρίσκεται μέσω της αντίστροφης ανάλυσης.

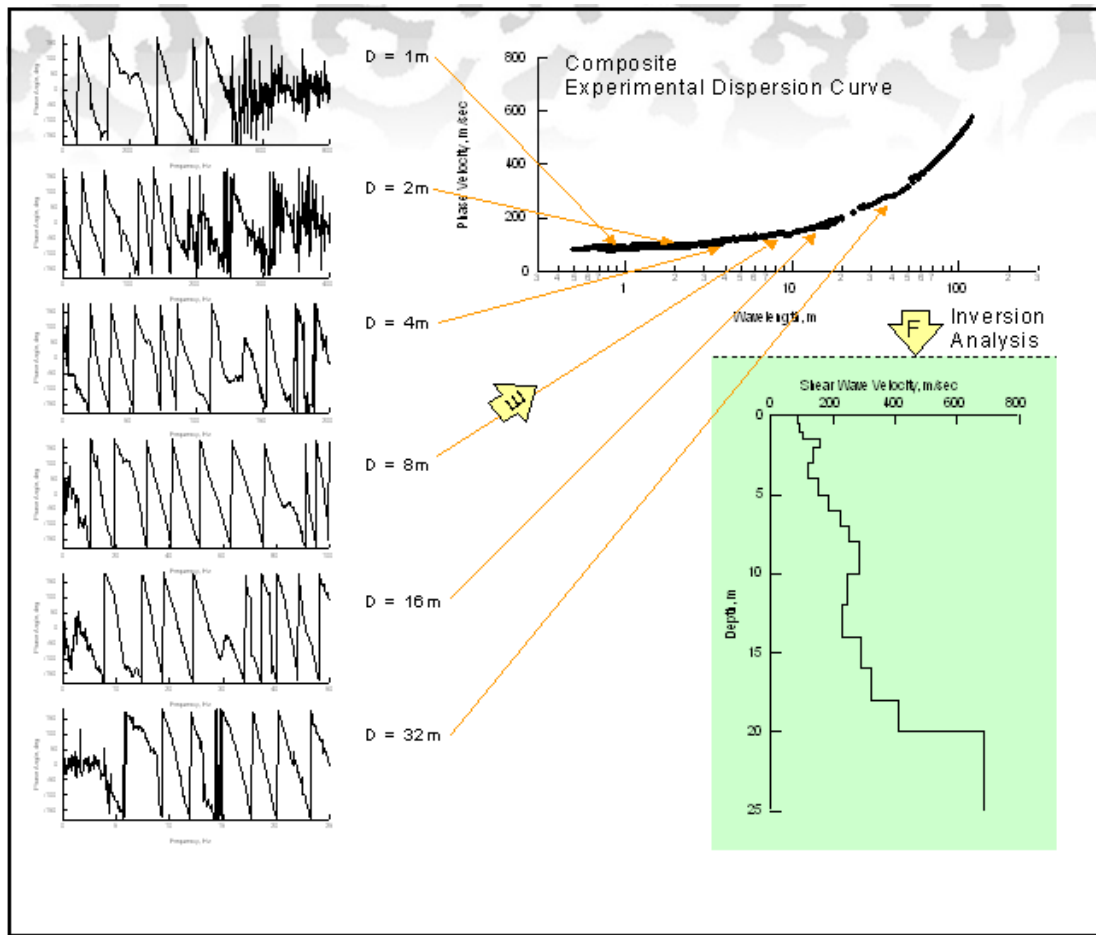
Υπάρχουν πολλές διαδικασίες αντιστροφής που προτείνονται από τη γεωφυσική. Ωστόσο, όταν συγκεκριμένα συνδέονται με τις μετρήσεις SASW, υπάρχουν διατεθειμένες μόνο λίγες προσεγγίσεις. Αυτές περιλαμβάνουν Gukunski (1991,1995) [2-5], Yuan και Nazarian (1992) [6], Rix και Leipski (1991) [7], Tokimatzu (1992) [8]. Στη συγκεκριμένη πραγματεία, έχει εφαρμοστεί η αντίστροφη ανάλυση που χρησιμοποιεί την τεχνική της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (*Maximum Likelihood Approach*), η οποία έχει προταθεί από τον Tarantola (1987) [9].

Οι παράμετροι που πρέπει να ορίζονται σε ένα εδαφικό πρότυπο για την απόκτηση των θεωρητικών καμπυλών διασποράς είναι α) το πάχος των στρωμάτων, β) η ταχύτητα των διαμηκών κυμάτων, γ) η ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων, δ) ο λόγος του Poisson, ε) η πυκνότητα μάζας των στρώσεων και στ) ο παράγοντας απόσβεσης.

Κατά τη διαδικασία της αντιστροφής γνωρίζοντας πέντε από τις παραπάνω εδαφικές παραμέτρους είναι δυνατό να υπολογιστεί η έκτη εδαφική παράμετρος. Στο Σχήμα 11 και στο Σχήμα 12 απεικονίζεται ένα παράδειγμα της μεθόδου SASW.



Σχήμα 11 : Παράδειγμα της μεθόδου SASW



Σχήμα 12 : Παράδειγμα της μεθόδου SASW

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ SASW ΣΤΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΧΑΝΙΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Στις δοκιμές SASW στην τοποθεσία του Βιολογικού Καθαρισμού επιλέχτηκε ως πηγή η χρήση σφυριού και ως αποδέκτες η χρήση γεωφώνων κατακόρυφης συνιστώσας. Οι αποστάσεις, που χρησιμοποιήθηκαν ανάμεσα στους αποδέκτες, ήταν 0.6m, 1.2m, 2.4m και 4.8m.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εξετάζονται οι διαδικασίες ερμηνείας και ανάλυσης για τον προσδιορισμό φασικών ταχυτήτων για μία ομάδα συχνοτήτων και στη συνέχεια η εκτίμηση του προφίλ της ταχύτητας εγκάρσιου κύματος στο υπέδαφος.

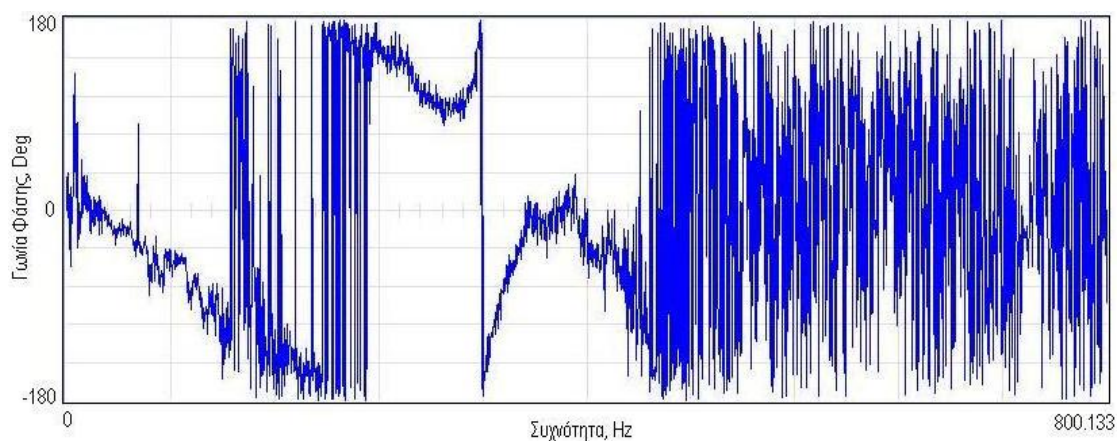
Για τον ορθό προσδιορισμό της καμπύλης διασποράς φασικής ταχύτητας, είναι απαραίτητο να προηγηθεί αφαίρεση των ανεπιθύμητων δεδομένων και ο προσδιορισμός του αριθμού των πλήρων κύκλων στο περιπεπλεγμένο φάσμα γωνίας φάσης, μέσω της διαδικασίας Διαδραστικής Απόρριψης. Η ερμηνεία του φάσματος φάσης είναι ιδιαίτερα δύσκολη σε συστήματα διαστρωμάτωσης με έντονες αντιθέσεις στα δυναμικά χαρακτηριστικά, όπου ανάμεσα στις αποστάσεις αποδεκτών λαμβάνουν χώρα μεταβάσεις κυμάτων διαφορετικής συχνότητας άφιξης. Για την ερμηνεία του φάσματος φάσης εφαρμόστηκε η τεχνική IRF, η οποία απομονώνει μόνο την επιθυμητή ομάδα κύματος από το φάσμα, φιλτράροντας την κρουστική απόκριση (*impulse response*), η οποία προσδιορίζεται για δύο αποδέκτες.

Η εκτίμηση του προφίλ της ταχύτητας εγκάρσιου κύματος γίνεται μέσω της διαδικασίας αντιστροφής, η οποία βασίζεται στην τεχνική της μέγιστης πιθανοφάνειας.

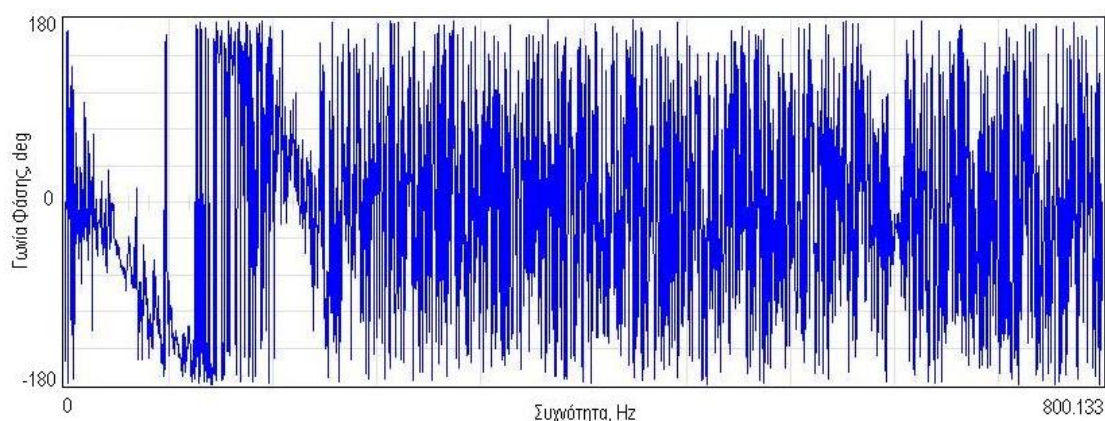
Για τη βελτιωμένη εφαρμογή της αντίστροφης ανάλυσης, εφαρμόστηκε ένας νέος αλγόριθμος, ο οποίος συμπυκνώνει τη σύνθετη πειραματική καμπύλη διασποράς σε αντιπροσωπευτική καμπύλη διασποράς.

2.2 Διαδραστική Απόρριψη Περιοχής Φάσματος - (Interactive Masking)

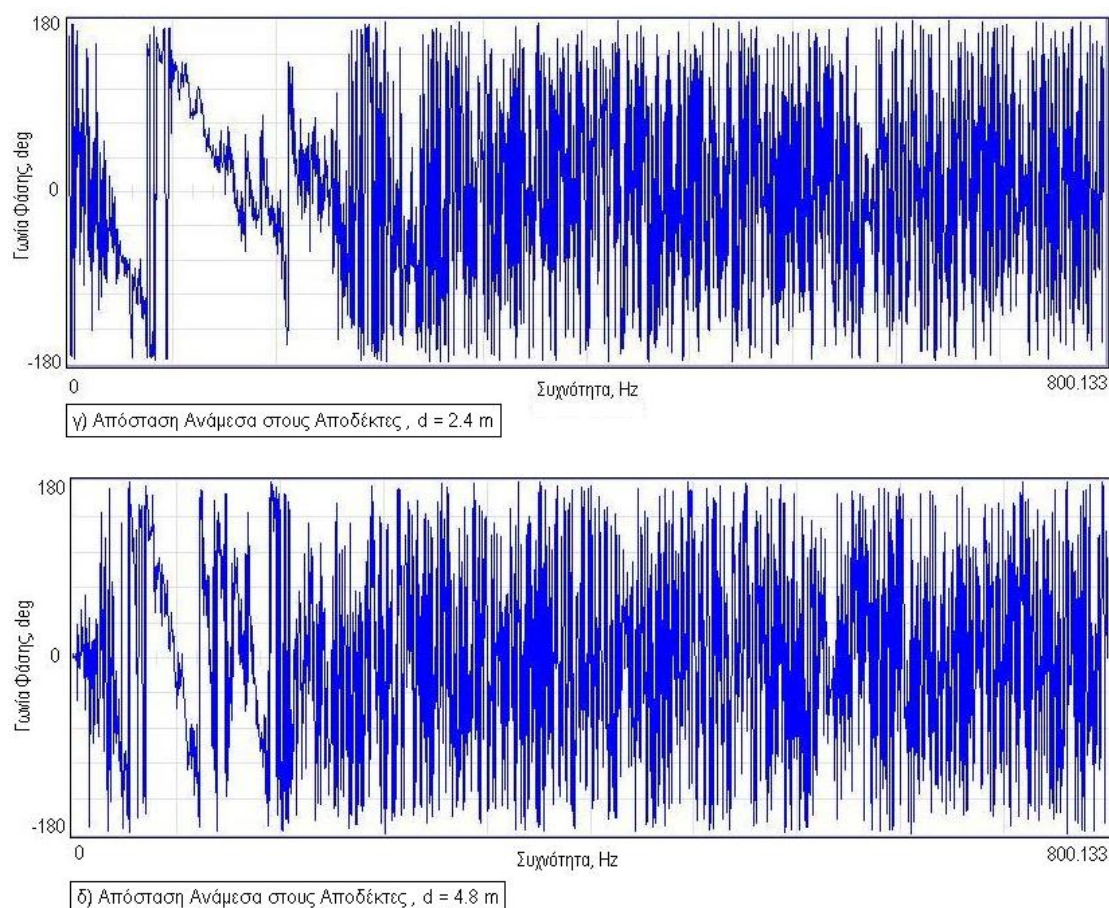
Το υπό μελέτη σύστημα διαστρωμάτωσης χαρακτηρίζεται από γεωλογικά στρώματα με διαφορετικά δυναμικά χαρακτηριστικά. Τα φαινόμενα της ανάκλασης και διάθλασης στις διεπιφάνειες ανάμεσα στις στρώσεις οδηγούν στη διάδοση πολλών ομάδων κύματος, οι οποίες αναμιγνύονται μεταξύ τους. Αποτέλεσμα της ανάμιξης, είναι ο σχηματισμός περίπλοκων μετρούμενων φασμάτων γωνίας φάσης, όπου παρατηρούνται γωνίες φάσης με έντονο κυματισμό, γωνίες φάσης με πριονωτή διαμόρφωση και μπερδεμένες γωνίες φάσης δημιουργούμενες από τον τυχαίο θόρυβο, τα οποία και απεικονίζονται στο Σχήμα 13.



α) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 0.6 \text{ m}$



β) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 1.2 \text{ m}$



Σχήμα 13 : Τα προσδιοριζόμενα στον Βιολογικό Καθαρισμό Φάσματα Φάσης μέσω των μετρήσεων SASW χρησιμοποιώντας Τέσσερις Αποστάσεις Αποδεκτών

2.2.1 Η Τεχνική IRF

Παρατηρώντας το Σχήμα 13, είναι φανερό ότι χωρίς την απόρριψη των ανεπιθύμητων τμημάτων και τη βελτίωση του σήματος μέσα στο φάσμα φάσης, η εκτύλιξη του φάσματος φάσης, άρα και ο υπολογισμός της πειραματικής καμπύλης διασποράς φασικών ταχυτήτων, θα είναι εσφαλμένα. Συνεπώς, το πρώτο βήμα είναι η ερμηνεία του φάσματος.

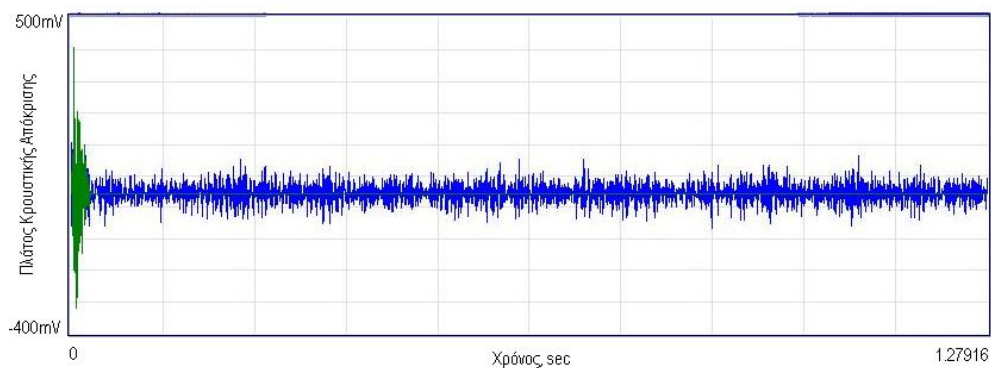
Η τεχνική IRF, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στην ερμηνεία του αριθμού των κύκλων μέσα στο φάσμα της φάσης και στην ορθή εκτύλιξή της. Η αναφερόμενη τεχνική χρησιμοποιείται για να αποσπάσει πληροφορίες, για τις γωνίες φάσης, που αποδίδονται σε ξεχωριστές ομάδες κύματος, όσον αφορά ένα περίπλοκο φάσμα φάσης, και βασίζεται στην εφαρμογή φίλτρων πάνω στην κρουστική απόκριση, η οποία προσδιορίζεται ανάμεσα στα σήματα χρόνου των δύο αποδεκτών, με στόχο την απομόνωση της επιθυμητής ομάδας κύματος.

Η φιλτραρισμένη κρουστική απόκριση οδηγεί σε ένα κυρίαρχο φάσμα φάσης (*Backbone Phase Spectrum*) χωρίς την ανάμιξη άλλων ομάδων κύματος ή θορύβου. Το κυρίαρχο φάσμα φάσης παρέχει πληροφορίες, για τον προσδιορισμό του αριθμού των κύκλων του πλεγμένου αυθεντικού φάσματος φάσης (*Original Phase Spectrum*), οι οποίες χρησιμοποιούνται στην εκτύλιξη του.

Επίσης η τεχνική IRF χρησιμεύει στην ανάκτηση ενός βελτιωμένου φάσματος φάσης (*Enhanced Phase Spectrum*). Τα IRF φίλτρα που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι κατά τέτοιο τρόπο σχεδιασμένα ώστε να εμπεριέχονται στο φάσμα φάσης όσο το δυνατόν περισσότερα από τα σήματα χρόνου (*time signals*) και να απαλείφεται όσο γίνεται ο τυχαίος θόρυβος και οι μετέπειτα αφίξεις.

Ως κρουστική απόκριση ορίζεται το σήμα χρόνου, που καταγράφεται στον δεύτερο αποδέκτη, για κάθε δυνατή διέγερση που εφαρμόζεται στη θέση του πρώτου αποδέκτη. Δηλαδή, χαρακτηρίζοντας τον πρώτο αποδέκτη ως είσοδο και τον δεύτερο ως έξοδο, το σύστημα δέχεται στην είσοδό του τις μετατοπίσεις που προκαλεί η διέλευση των σεισμικών κυμάτων και παρέχει στην έξοδό του μια ηλεκτρική τάση.

Ένα παράδειγμα κρουστικής απόκρισης παρουσιάζεται στο Σχήμα 14.

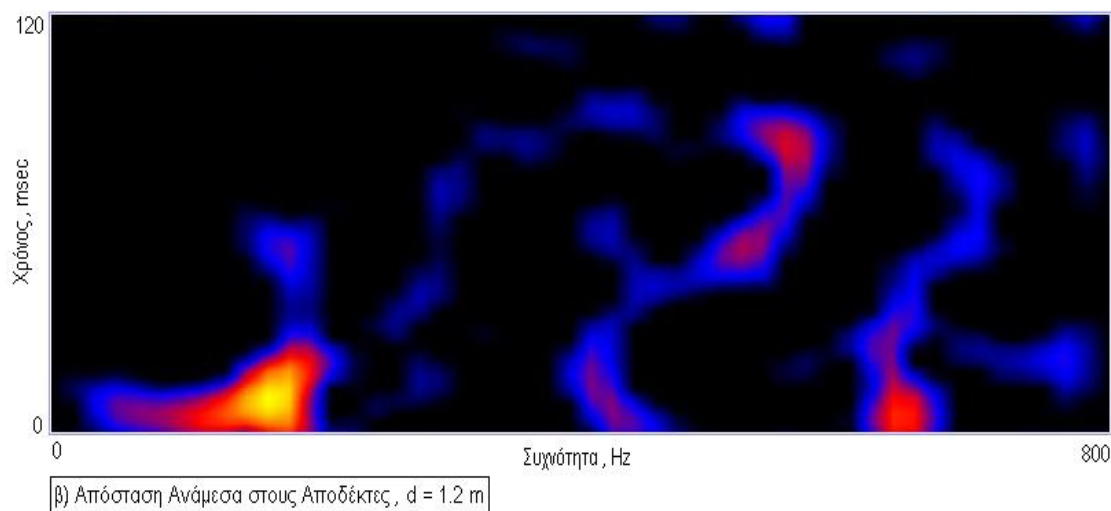
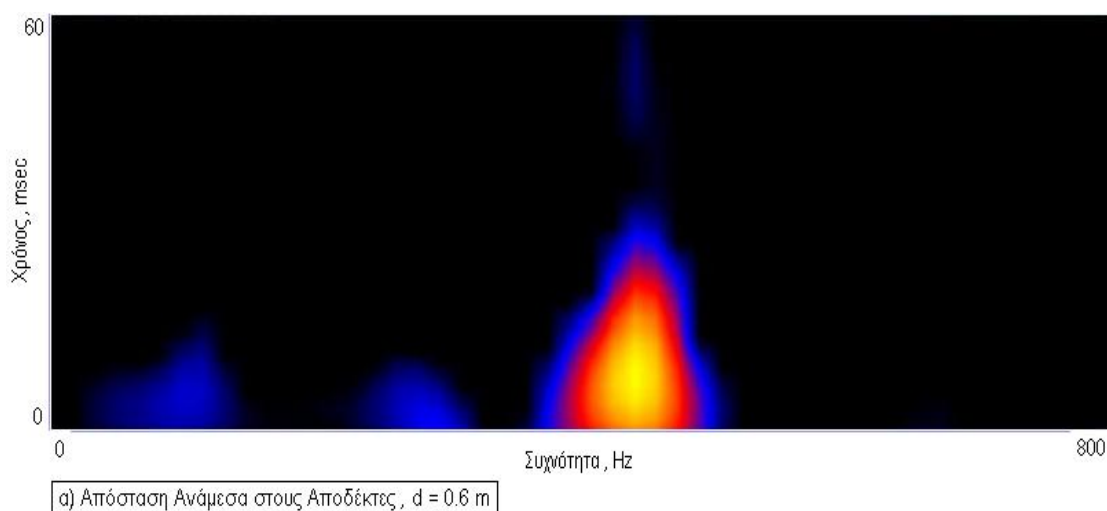


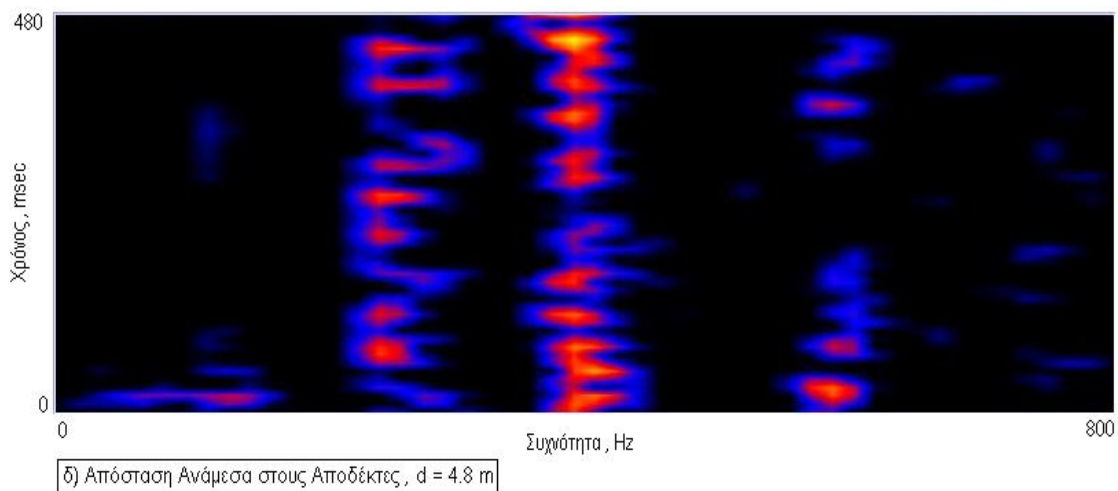
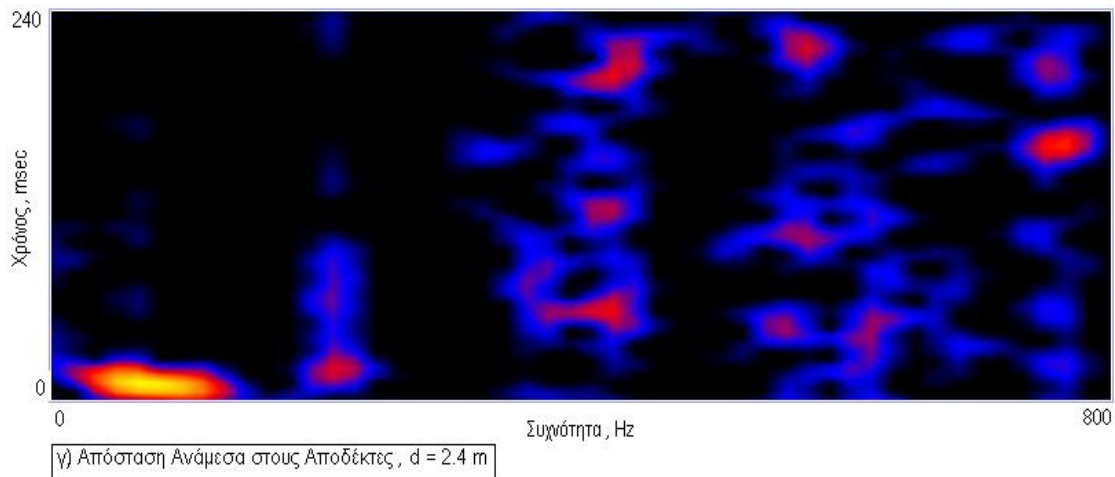
Σχήμα 14 : Παράδειγμα Κρουστικής Απόκρισης για Απόσταση Αποδεκτών, $d=0.6m$

2.2.2 Προσδιορισμός των Παραμέτρων της τεχνικής IRF

Το φάσμα Gabor, είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διερεύνηση και απομόνωση των ξεχωριστών ομάδων κύματος.

Στο μενού Masking του WinSASW 2.0 υπάρχει μία λίστα ελέγχου καμπύλης διασποράς με τις εξής τρεις επιλογές “Original”, “Enhanced” και “Backbone”. Αφού ενεργοποιηθεί το φάσμα Gabor, είναι απαραίτητο να επιλεγεί ως καμπύλη διασποράς η “Original”. Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται το φάσμα Gabor για κάθε ξεχωριστή απόσταση αποδεκτών.





Σχήμα 15 : Τα Φάσματα Gabor για τα Αντίστοιχα Φάσματα Φάσης του Σχ. 13

Μετά τη διέγερση της πηγής διαδίδονται προς τους αποδέκτες δύο ομάδες κύματος. Η αρχική άφιξη είναι ομάδες κύματος υψηλής συχνότητας, ονομαζόμενες *higher mode*, ενώ η επόμενη άφιξη είναι ομάδες κύματος χαμηλότερης συχνότητας, ονομαζόμενες *lower mode*. Η ομάδα χαμηλότερης συχνότητας αντιπροσωπεύει κύματα χαμηλότερης ταχύτητας από αυτή της ομάδας υψηλότερης συχνότητας. Δηλαδή, καταφθάνουν πρώτα τα κύματα χώρου, με πρωτεύοντα τα διαμήκη κύματα, που χαρακτηρίζονται από πλούσιο συχνοτικό περιεχόμενο, ενώ αργότερα καταφθάνουν τα επιφανειακά κύματα τα οποία έχουν χαμηλότερες συχνότητες. Επίσης, παρατηρείται ότι, καθώς

αυξάνονται οι αποστάσεις από την πηγή διέγερσης, αυξάνονται και τα γεγονότα διάθλασης, ανάκλασης ή σκέδασης.

Για τη σωστή εκτύλιξη των φασμάτων γωνίας φάσης, απαιτείται ο διαχωρισμός των δύο ομάδων κύματος. Ο παραπάνω διαχωρισμός, πραγματοποιείται με την εφαρμογή κατάλληλων φίλτρων στην κρουστική απόκριση. Στόχος είναι η απομόνωση των ομάδων χαμηλότερης συχνότητας άφιξης από την κρουστική απόκριση και η βελτίωση του φάσματος γωνίας φάσης.

Η τεχνική IRF χρησιμοποιείται για την απαλλαγή από τα συστατικά μέρη υψηλότερης συχνότητας που παρεμβαίνουν και την βελτίωση της γωνίας φάσης του φάσματος. Το φάσμα Gabor χρησιμοποιείται για τη λήψη των σωστών παραμέτρων φίλτρου, τα οποία χρησιμοποιούνται στην τεχνική IRF.

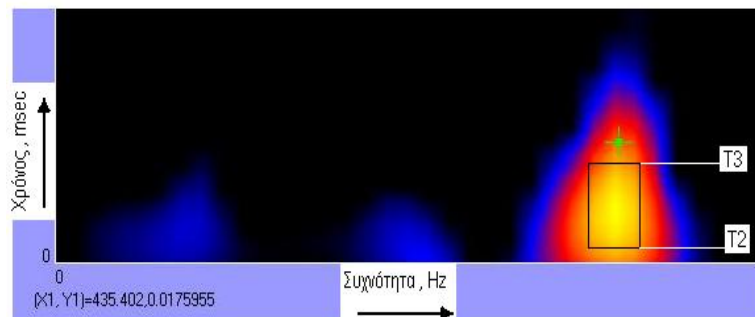
Η επιλογή των παραμέτρων της Βελτιωμένης Καμπύλης γίνεται ως εξής :

Η διάρκεια ανάμεσα στους T2 και T3 πρέπει να καλύπτει την κεντρική περιοχή της ενδιαφερόμενης ομάδας κύματος, άρα γίνεται επιλογή του 'low mode'. Η επιλογή των T1 και T4, βασίζεται στην ορθή κρίση του χρήστη. Στην επιλογή των παραπάνω παραμέτρων χρησιμοποιείται, στην οθόνη του φάσματος Gabor, ο μονός δείκτης (*Single Marker*) για να εξακριβωθεί ο χρόνος .

Οι παράμετροι της Κυρίαρχης Καμπύλης διατηρούνται ίδιοι.

Στο Σχήμα 16 παρουσιάζεται ο προσδιορισμός των παραμέτρων IRF για κάθε απόσταση αποδεκτών.

Στην επιλογή των παραμέτρων είναι σημαντικό στο φάσμα γωνίας φάσης η βελτιωμένη καμπύλη να βρίσκεται κοντά με την αυθεντική και να μην είναι ιδιαίτερα λεία, γιατί διαστρεβλώνονται οι πληροφορίες της φάσης, ιδιαίτερα σε χαμηλές περιοχές συχνοτήτων.



α) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 0.6 \text{ m}$

Parameters of IR Filtration (IRF)

Cat. of Test Site : **Geotechnical Site**

IRF Mode

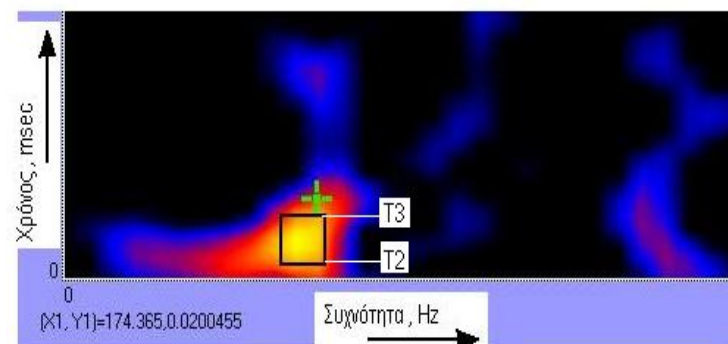
Low Mode High Mode

Factors for the Filter

Enhanced Curve		Backbone Curve	
T1 :	0.000000	T1 :	0.000600
T2 :	0.001875	T2 :	0.000632
T3 :	0.017497	T3 :	0.005455
T4 :	0.031000	T4 :	0.006000

* Total record length = 2.55895

OK Apply Close



β) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 1.2 \text{ m}$

Parameters of IR Filtration (IRF)

Cat. of Test Site : **Geotechnical Site**

IRF Mode

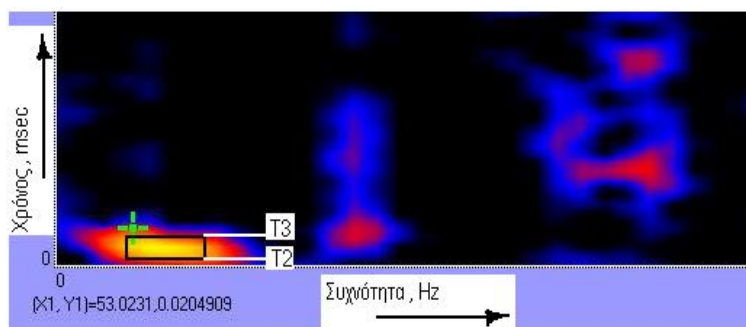
Low Mode High Mode

Factors for the Filter

Enhanced Curve		Backbone Curve	
T1 :	0.000000	T1 :	0.001200
T2 :	0.001875	T2 :	0.001263
T3 :	0.020622	T3 :	0.022041
T4 :	0.033000	T4 :	0.024490

* Total record length = 2.55895

OK Apply Close



γ) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 2.4 \text{ m}$

Parameters of IR Filtration (IRF)

Cat. of Test Site : **Geotechnical Site**

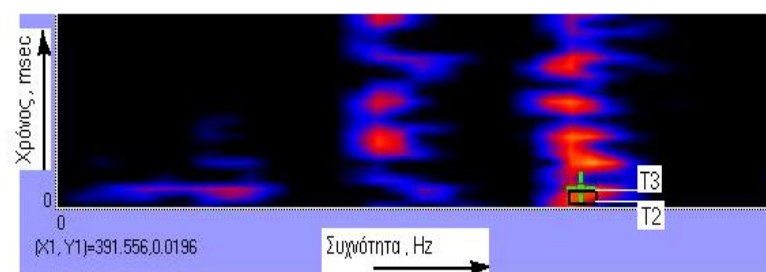
IRF Mode : **Low Mode** **High Mode**

Factors for the Filter

Enhanced Curve		Backbone Curve	
T1 :	0.000000	T1 :	0.002400
T2 :	0.006870	T2 :	0.002526
T3 :	0.020620	T3 :	0.019592
T4 :	0.025000	T4 :	0.019592

* Total record length = 2.55895

OK Apply Close



δ) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 4.8 \text{ m}$

Parameters of IR Filtration (IRF)

Cat. of Test Site : **Geotechnical Site**

IRF Mode : **Low Mode** **High Mode**

Factors for the Filter

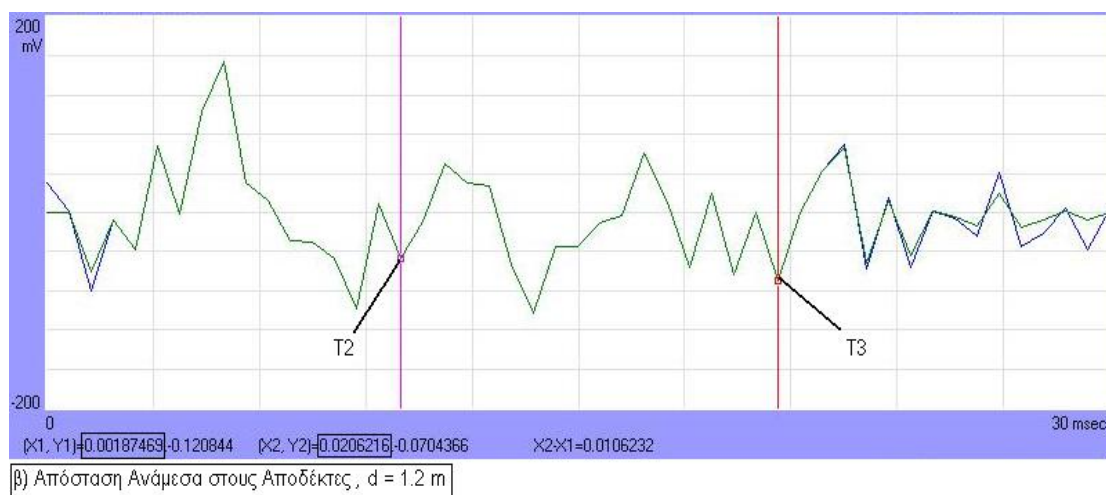
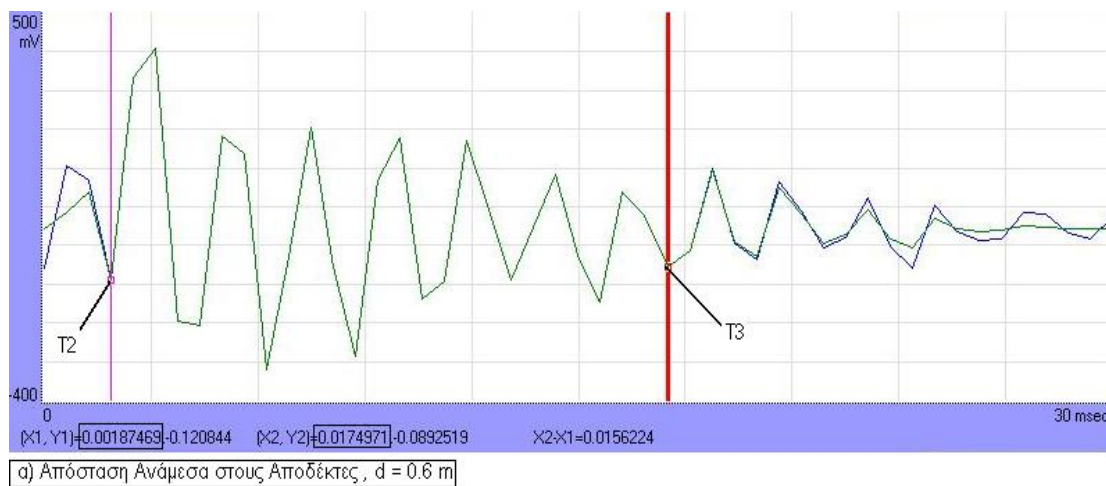
Enhanced Curve		Backbone Curve	
T1 :	0.000000	T1 :	0.000000
T2 :	0.002499	T2 :	0.000000
T3 :	0.018740	T3 :	0.048980
T4 :	0.030000	T4 :	0.048980

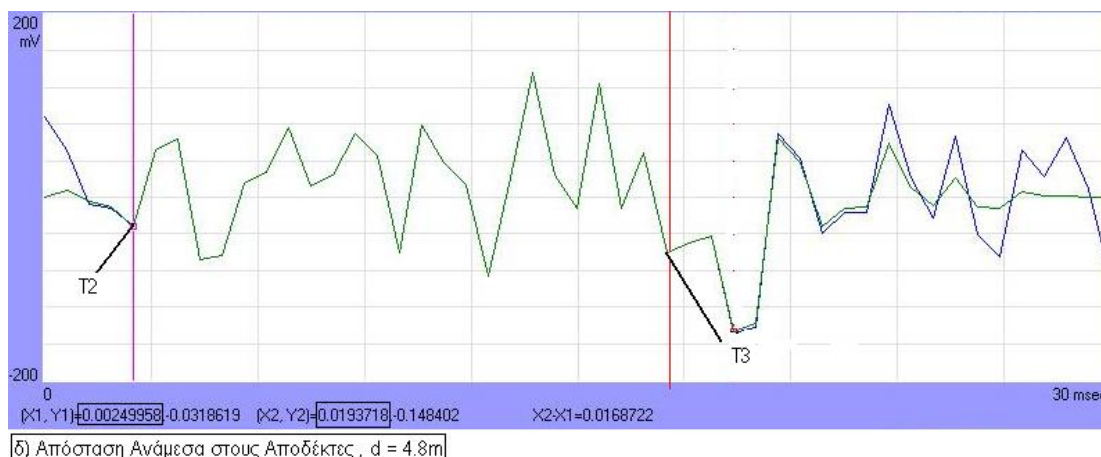
* Total record length = 2.55895

OK Apply Close

Σχήμα 16 : Προσδιορισμός των Παραμέτρων IRF

Στο Σχήμα 17 παρουσιάζονται τα σχήματα της κρουστικής απόκρισης σε αναπτυγμένη μορφή, όπου για κάθε απόσταση αποδεκτών εντοπίζεται η περιοχή της κρουστικής απόκρισης, που αντιστοιχεί στην ομάδα κύματος που απομονώνεται, βασισμένη στα αντίστοιχα φάσματα Gabor του Σχ. 15.





Σχήμα 17 : Κρουστική Απόκριση σε Αναπτυγμένη Μορφή

2.2.3 Επεξεργασία της Περιοχής Απόρριψης

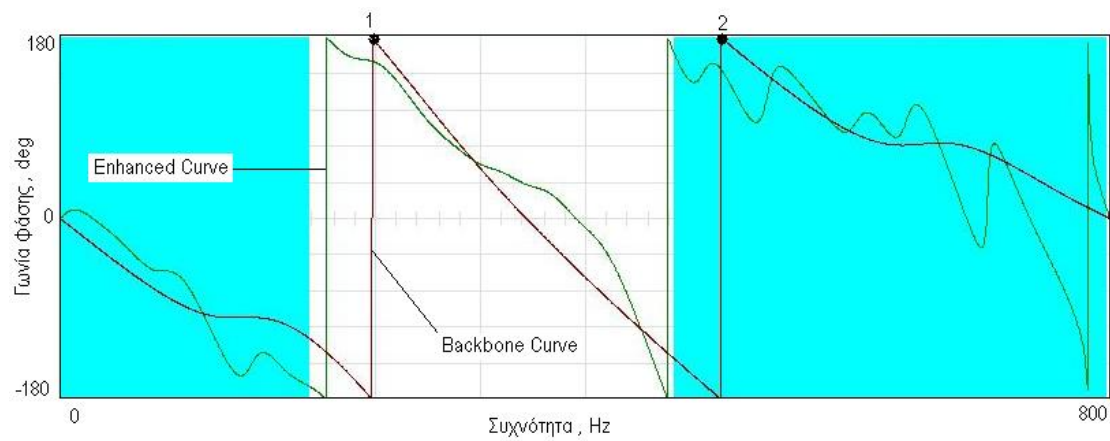
Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία ακολουθεί η επεξεργασία του φάσματος γωνίας φάσης.

Έχει προαναφερθεί ότι η διαδραστική απόρριψη, αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία εντοπίζονται και απορρίπτονται οι περιοχές του φάσματος όπου οι γωνίες φάσης δεν ακολουθούν τη γενική κατεύθυνση, έχουν έντονο κυματισμό, πριονωτή διαμόρφωση και είναι περίπλοκες, έτσι ώστε να μη ληφθούν υπόψη στο σχηματισμό της πειραματικής καμπύλης διασποράς φασικής ταχύτητας.

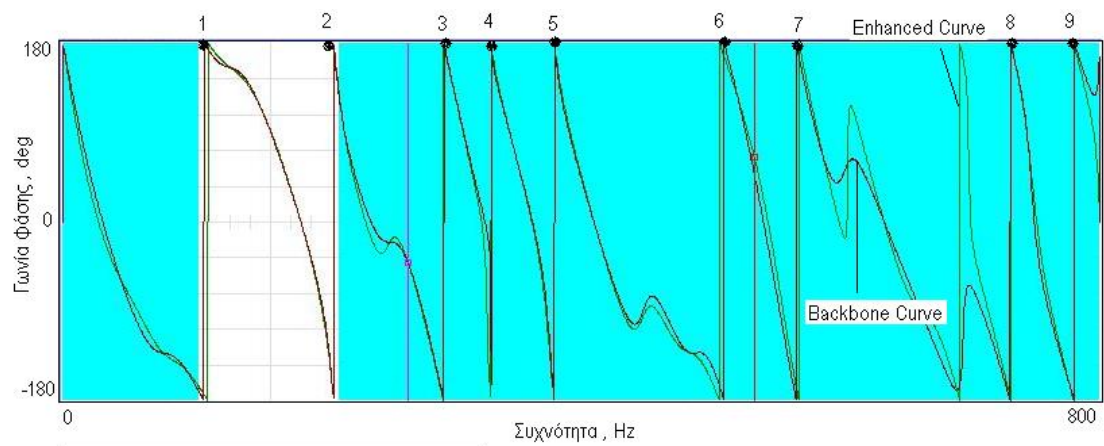
Ο προσδιορισμός των τμημάτων που δε θα περιλαμβάνονται στον υπολογισμό των καμπύλων διασποράς γίνεται με βάση το βελτιωμένο φάσμα φάσης και η περιοχή του φάσματος που θα λαμβάνεται υπόψη, πρέπει να περιέχει τουλάχιστον έναν πλήρη κύκλο.

Επίσης, κατά τον προσδιορισμό της περιοχής απόρριψης πρέπει να υπολογιστεί ο σωστός αριθμός κύκλων, όπου η γωνία φάσης αλλάζει από -180° σε 180° . Ο αριθμός των κύκλων υπολογίζεται από μηδενική συχνότητα έως τον τελικό δείκτη και βασίζεται στο κυρίαρχο φάσμα φάσης. Στο Σχήμα 18 παρουσιάζονται οι περιοχές απόρριψης καθώς και ο αριθμός των πλήρων κύκλων.

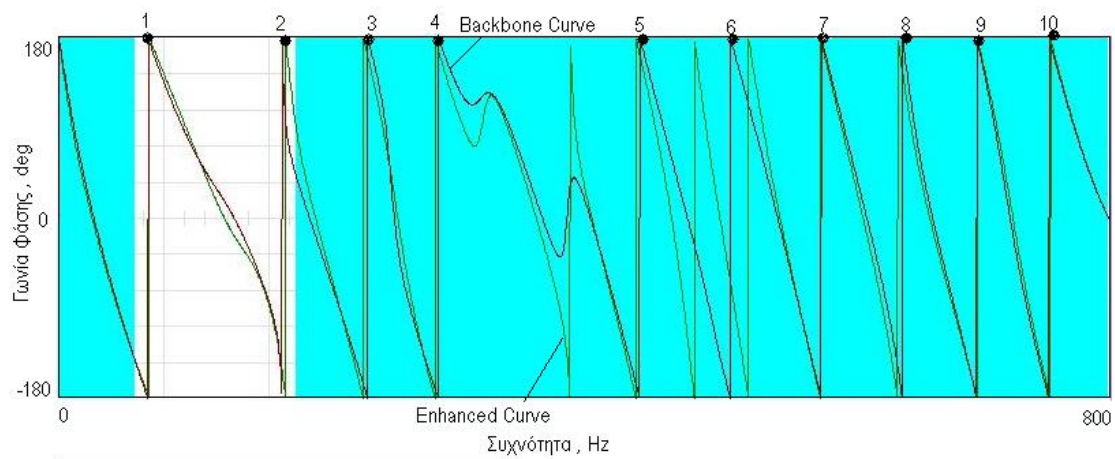
Στο μενού Masking του WinSASW 2.0 κατά τη διαδικασία προσδιορισμού των περιοχών απόρριψης πρέπει πάντα να δηλώνεται και ο αντίστοιχος αριθμός κύκλων που περιλαμβάνεται στο συγκεκριμένο τμήμα που απορρίπτεται.



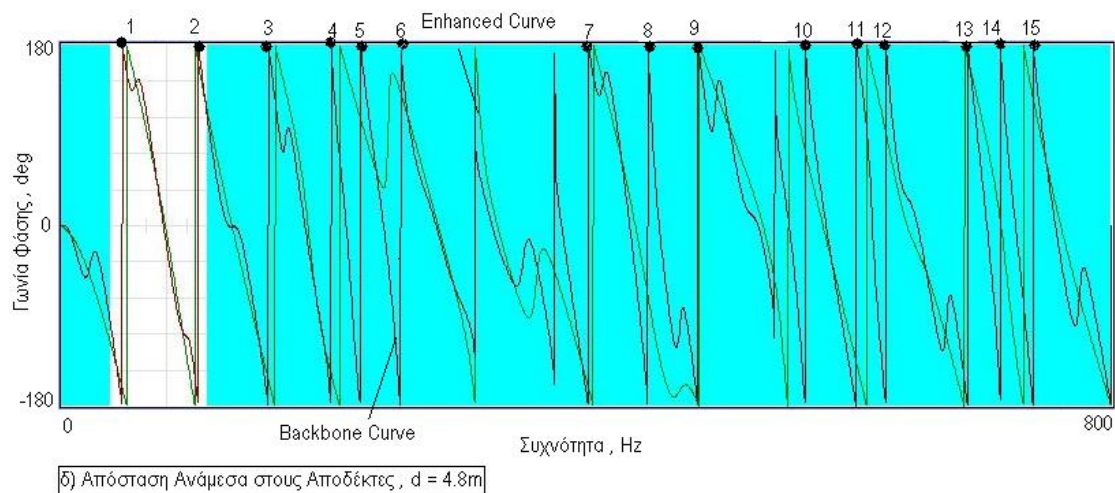
α) Απόσταση Ανάμεσα στους αποδέκτες, $d = 0.6\text{m}$



β) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 1.2\text{m}$

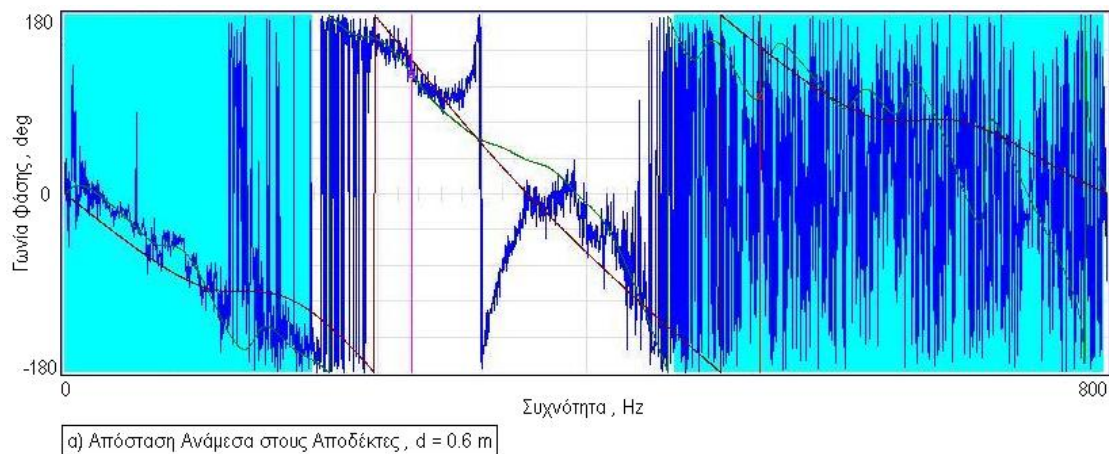


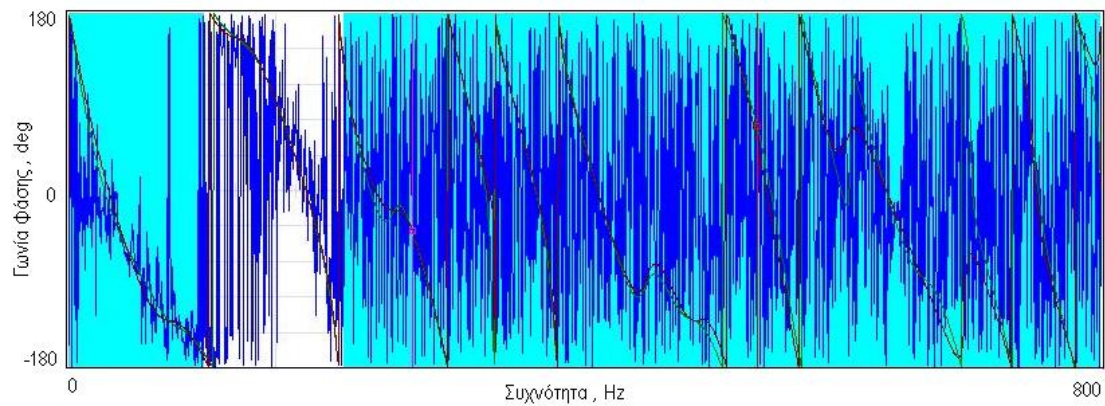
γ) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 2.4\text{ m}$



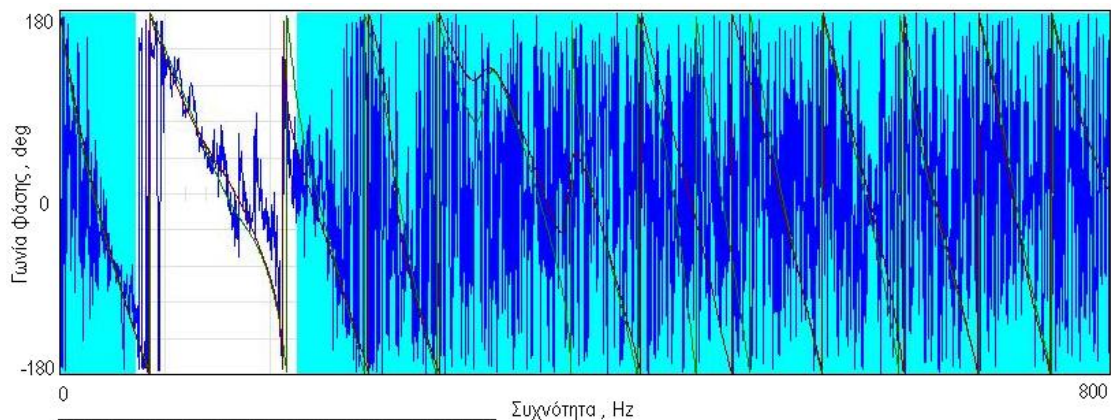
Σχήμα 18 : Η διαδικασία Διαδραστικής Απόρριψης : Οι περιοχές που εξάγονται από το φάσμα και ο αριθμός των πλήρων κύκλων που η γωνία φάσης αλλάζει από -180° σε 180°

Με βάση την τεχνική IRF, το αυθεντικό φάσμα της φάσης είναι ερμηνευμένο. Στο Σχήμα 19 παρουσιάζεται σε αντιστοιχία με το Σχ. 13 το αυθεντικό φάσμα φάσης για κάθε απόσταση αποδεκτών μαζί με την ανταποκρινόμενη περιοχή απόρριψης.

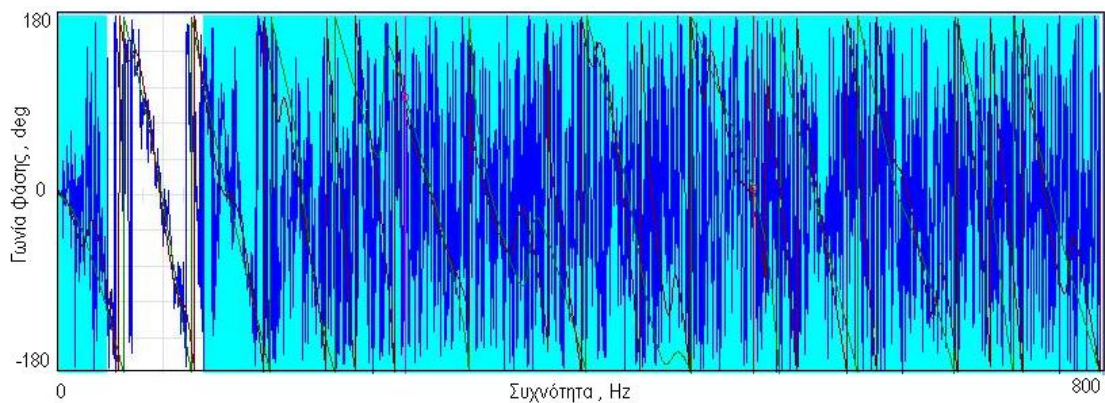




β) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 1.2 \text{ m}$



γ) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 2.4 \text{ m}$



δ) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 4.8 \text{ m}$

Σχήμα 19 : Ερμηνευμένο Αυθεντικό Φάσμα Φάσης σε Συνδυασμό με την Ανταποκρινόμενη Περιοχή Απόρριψης.

Μετά από τη διαδικασία της διαδραστικής απόρριψης, το ερμηνευμένο φάσμα φάσης είναι έτοιμο να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό των φασικών ταχυτήτων.

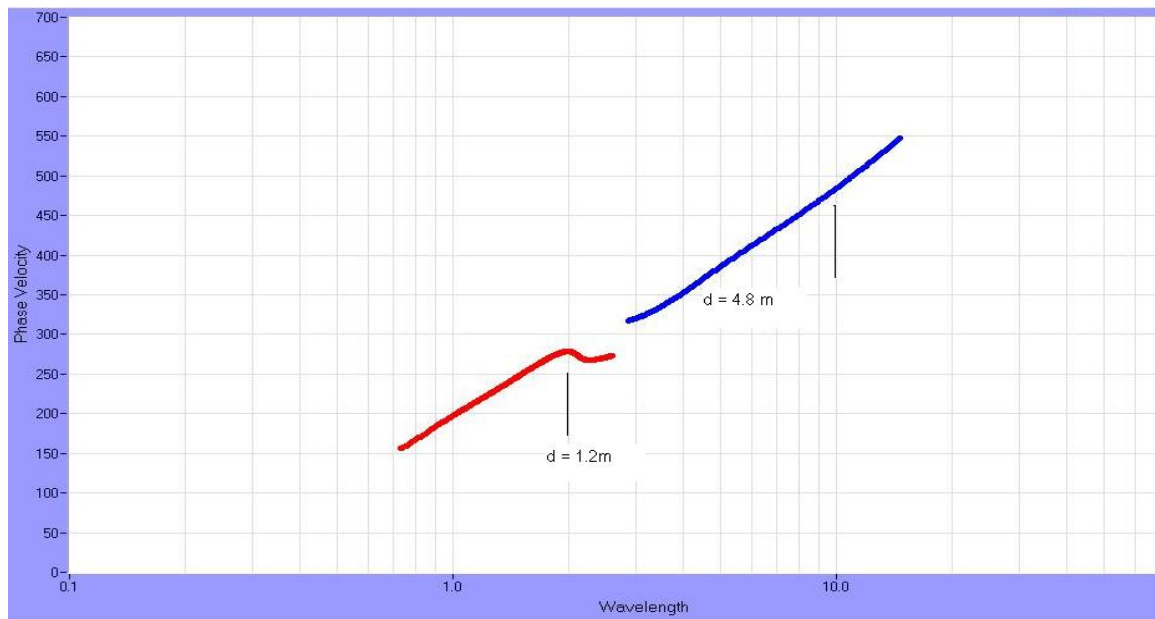
2.3 Προσδιορισμός της Καμπύλης Διασποράς Φασικής Ταχύτητας

Στο μενού Masking του WinSASW 2.0, αφού πρώτα οριστεί η καμπύλη διασποράς στην λίστα ελέγχου ως 'Enhanced', στη συνέχεια γίνεται υπολογισμός των φασικών ταχυτήτων σε συνάρτηση με το μήκος κύματος επιλέγοντας "Calc Disp", για κάθε ερμηνευμένο φάσμα φάσης.

Στο Σχήμα 20 παρουσιάζεται η υπολογισμένη σύνθετη πειραματική καμπύλη διασποράς φασικών ταχυτήτων από τα φάσματα φάσης του Σχ. 19, όπου είναι εμφανές ότι οι καμπύλες διασποράς, που αντιστοιχούν στις αποστάσεις αποδεκτών 0.6m και 2.4m, δεν ακολουθούν τη γενική κατεύθυνση της καμπύλης και πρέπει να εξαχθούν, (Σχήμα 21) .



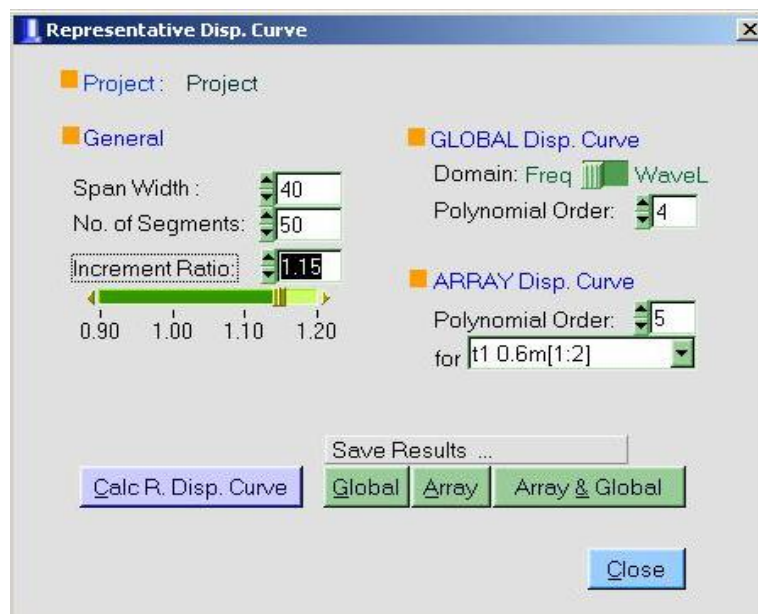
Σχήμα 20 : Σύνθετη Πειραματική Καμπύλη Διασποράς Φασικών Ταχυτήτων για τα Φάσματα Φάσης του Σχ. 3.1.7



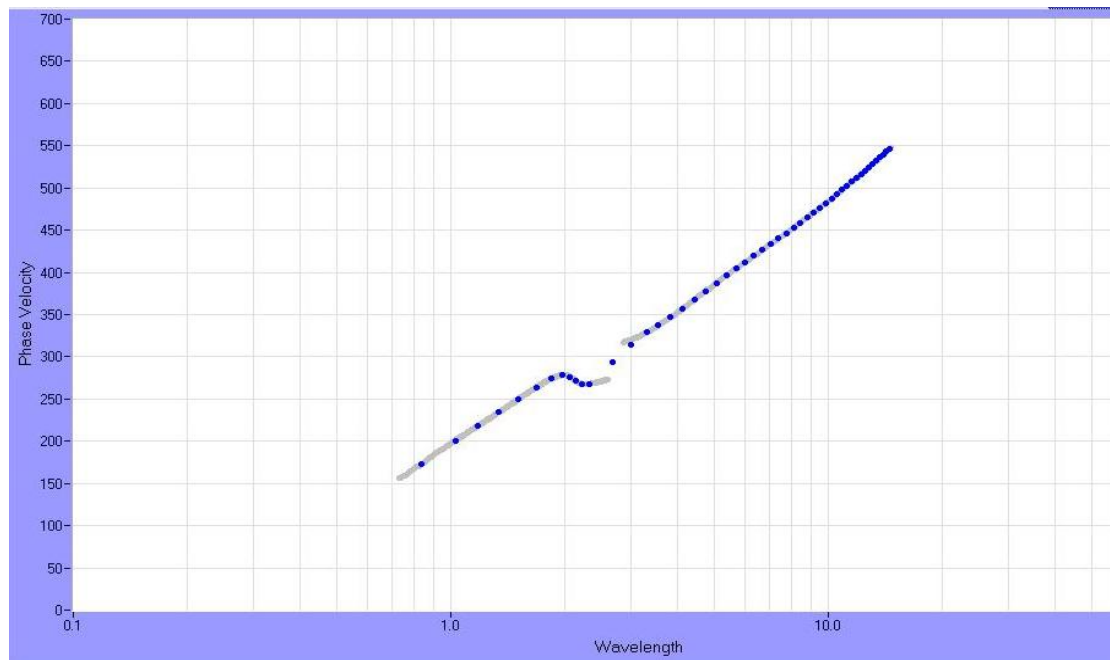
Σχήμα 21 : Σύνθετη Πειραματική Καμπύλη Διασποράς Φασικών Ταχυτήτων για τα (β), (δ) Φάσματα Φάσης του Σχ. 19

Είναι προτιμότερο στην αντίστροφη ανάλυση να χρησιμοποιούνται οι αντιπροσωπευτικές καμπύλες διασποράς, γιατί περιέχουν μικρότερο αριθμό σημείων.

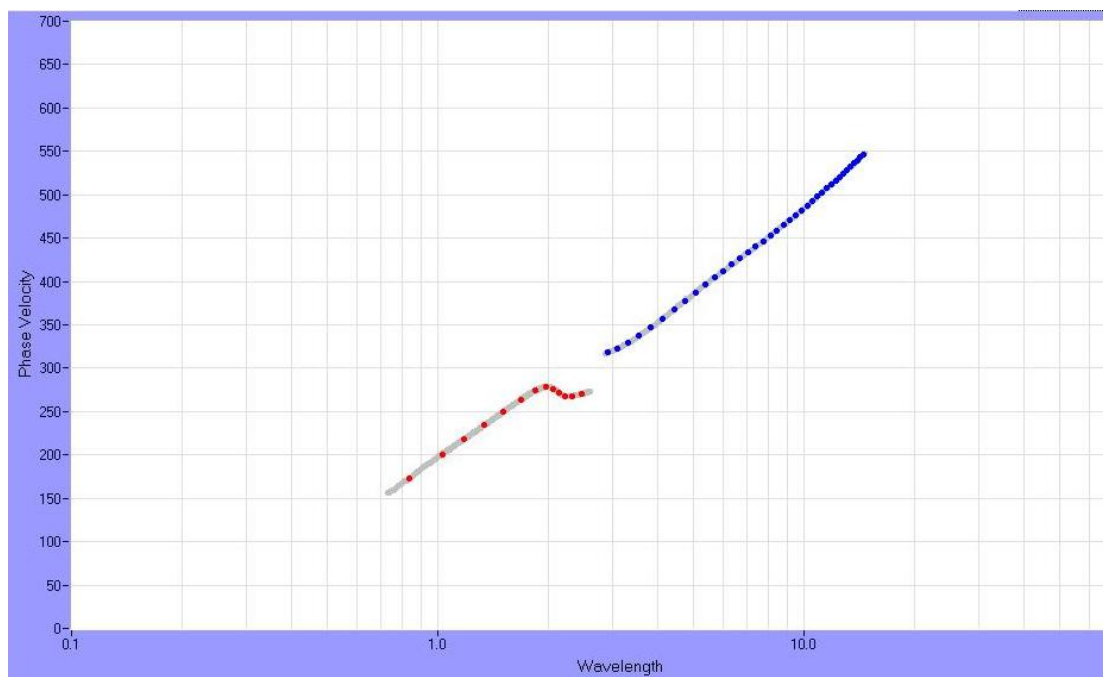
Στο Σχήμα 22 φαίνονται οι παράμετροι για τον προσδιορισμό των αντιπροσωπευτικών καμπυλών. Επίσης, οι αντιπροσωπευτικές καμπύλες διασποράς τύπου Global και Array παρουσιάζονται στα Σχήματα 23 και 24 αντίστοιχα.



Σχήμα 22 : Παράμετροι για τον Προσδιορισμό της Αντιπροσωπευτικής Καμπύλης Διασποράς



Σχήμα 23 : Αντιπροσωπευτική Καμπύλη Διασποράς τύπου Global για τη Σύνθετη Πειραματική Καμπύλη διασποράς που απεικονίζεται στο Σχ. 21



Σχήμα 24 : Αντιπροσωπευτική Καμπύλη Διασποράς τύπου Array για τη Σύνθετη Πειραματική Καμπύλη διασποράς που απεικονίζεται στο Σχ. 21

2.4 Αντίστροφη Ανάλυση

Η αντίστροφη ανάλυση χωρίζεται σε 3 στάδια :

- την υπόθεση των στρωμάτων του εδάφους και των δεδομένων διασποράς,
- τον προσδιορισμό των παραμέτρων του αρχικού μοντέλου (*starting model parameters – SMP*), και
- το στάδιο της αντίστροφης ανάλυσης .

2.4.1 Η Διαστρωμάτωση του Υπεδάφους και τα Δεδομένα Διασποράς για την Αντίστροφη Ανάλυση

Στο Σχήμα 25 παρουσιάζονται η αρχική υπόθεση για τη διαστρωμάτωση του εδάφους καθώς και ο τύπος ανάλυσης που χρησιμοποιείται.

Οι τιμές του λόγου του Poisson κυμαίνονται από 0 έως 0.5. Συχνά, στις μη καταστροφικές σεισμικές τεχνικές, όπου χρησιμοποιούνται μικρής τάξεως παραμορφώσεις, γίνονται υποθέσεις για το λόγο του Poisson εδάφους. Η επίδραση του συγκεκριμένου παράγοντα πάνω στη φασική ταχύτητα είναι πολύ μικρή και συνεπώς όχι ιδιαίτερα σημαντική.

Η συνολική πυκνότητα μάζας, σε ένα τυπικό προφίλ εδάφους, μεταβάλλεται λιγότερο από 25%, από 1760 kg / m³ έως 2160 kg / m³, το οποίο επιφέρει μικρές αλλαγές στη φασική ταχύτητα.

Τέλος ο παράγοντας της απόσβεσης του υλικού επηρεάζει κυρίως τα πλάτη των σεισμικών κυμάτων και όχι τις φασικές ταχύτητες.

Επομένως στο λόγο του Poisson, στη πυκνότητα της μάζας της κάθε στρώσης και στον παράγοντα απόσβεσης του υλικού των στρώσεων, δίνονται λογικές τιμές και οι παράμετροι που απομένουν, οι οποίοι είναι η εγκάρσια ταχύτητα κύματος και το πάχος των στρώσεων, προσδιορίζονται από την αντίστροφη ανάλυση.

Δύο τύποι αναλύσεων διατίθενται, η 2-D ανάλυση και η 3-D ανάλυση. Η 2-D ανάλυση θεωρεί ότι υπάρχουν μόνο επιφανειακά κύματα, και η χρήση της προτείνεται για εδάφη που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία μεταβολή των ταχυτήτων εγκάρσιου κύματος. Η 3-D ανάλυση δεν αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο τύπο κύματος, αλλά το συνδυασμό επιφανειακών κυμάτων και κυμάτων χώρου και είναι περισσότερο διαδεδομένη σε περιπτώσεις περίπλοκων εδαφολογικών συνθηκών. Συνεπώς, η 3- D ανάλυση θεωρείται η καλύτερη λύση για να αντιπροσωπεύσει τις πραγματικές SASW μετρήσεις.

Ο τύπος της αντιπροσωπευτικής καμπύλης διασποράς που εφαρμόζεται είναι ο Global, όπως επιλέχτηκε και στο Σχήμα 26.

Parameters for Forward Modeling Analysis

Analysis Type: 2D 3D **Enhanced 3D** F. of Displ. Bulb: 1.75 SubLayers: 16

Soil Profile No. of Layers: 9

	Thickness	P-Wave Vel.	S-Wave Vel.	Density	Poisson's R.	Damping F.
L1	0.0500	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L2	0.0500	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L3	1.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L4	1.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L5	2.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L6	2.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L7	4.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L8	4.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L9	120.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
Dflt	0.0500	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200

Apply All Apply All Apply All Apply All Apply All Apply All

Insert a Layer before Layer 10 Copy from INV 0 Clear All

Delete Layer.....

Σχήμα 25 : Υπόθεση για τη Διαστρωμάτωση του Εδάφους και ο Τύπος Ανάλυσης που Χρησιμοποιείται στην Αντιστροφή

Parameters for Forward Modeling Analysis

Dispersion Curves: Global Disp. ☒ Array Disp.

No. of Points: 50 Increment Ratio: 1.0354 (between points)

Rep. Disp. Curve Available ? ☒ None Exd Wind. File: Load

Global Dispersion Curve

Receiver Location: R1=2L, R2=4L R1= 1.00 R2= 2.00

X Domain: WaveL Freq. Min. WaveL: 0.84 Max. WaveL: 14.49

Array Dispersion Curve:

Read F. Modeling Param. Save F. Modeling Param. Update Close

Σχήμα 26 : Η Επιλογή της Αντιπροσωπευτικής Καμπύλης Διασποράς τύπου Global

2.4.2 Παράμετροι Αρχικού Μοντέλου – (Starting Model Parameters)

Η αντίστροφη ανάλυση στη συγκεκριμένη εργασία αντιστρέφει μόνο τις εγκάρσιες ταχύτητες, άρα το αρχικό μοντέλο είναι το αρχικό προφίλ της ταχύτητας εγκάρσιου κύματος. Στο Σχήμα 27 απεικονίζεται το πλαίσιο διαλόγου για τον έλεγχο της αντίστροφης ανάλυσης, όπου λαμβάνονται δέκα αρχικά μοντέλα για διαφορετικούς λόγους βάθους προς μήκος από 0.48 έως 0.59.

Στο Σχήμα 28 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της ανάλυσης του αρχικού μοντέλου. Το αριστερό διάγραμμα συγκρίνει την πειραματική καμπύλη διασποράς με τη θεωρητική. Το μικρότερο RMS Error, 44.98, υπολογίστηκε για τη δέκατη επανάληψη, όπου το προφίλ εγκάρσιου κύματος φαίνεται στο Σχ. 28. Συνεπώς το SMP10 θα χρησιμοποιηθεί στην αντίστροφη ανάλυση.

Parameters for Inversion Analysis

1. Starting Model Parameters Run

- Depth-to-WaveL Ratios:
10 Points. From 0.48 to 0.59

2. Inversion Analysis Run

- Selection of Starting Model Given Mo

- No. of Iterations = 5

- Model Parameters: Vs H Vs&H

Constrained Layers:
S-Wave Vel. (Vs):
Thickness (H):

- Uncertainty Factors* (uf) :

Data: Assumed Measured

Phase Vel. (Vph): 0.050

Model Parameters: Absolute Relative

Thickness (H): 0.200 0.010

S-Wave Vel. (Vs): 0.050 2.500

* uf x (Vph, Vs, or H) = Standard Deviation

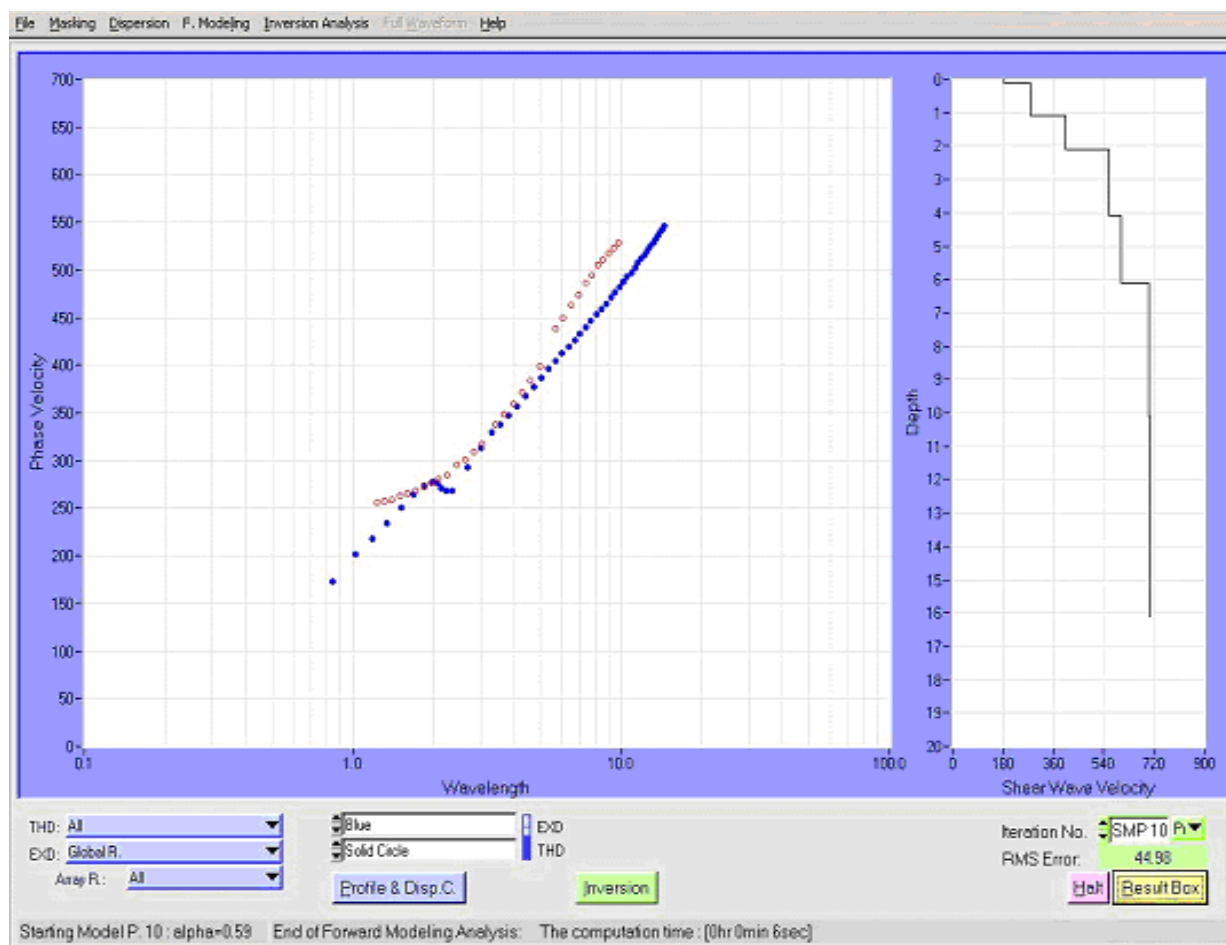
- Lower and Upper Bounds:

Thickness: 0.01 to 50.00

Vs: 10.00 to 100000.00

Save Results ... Close

Σχήμα 27 : Παράμετροι για τον Έλεγχο της Αντίστροφης Ανάλυσης για τους SMP



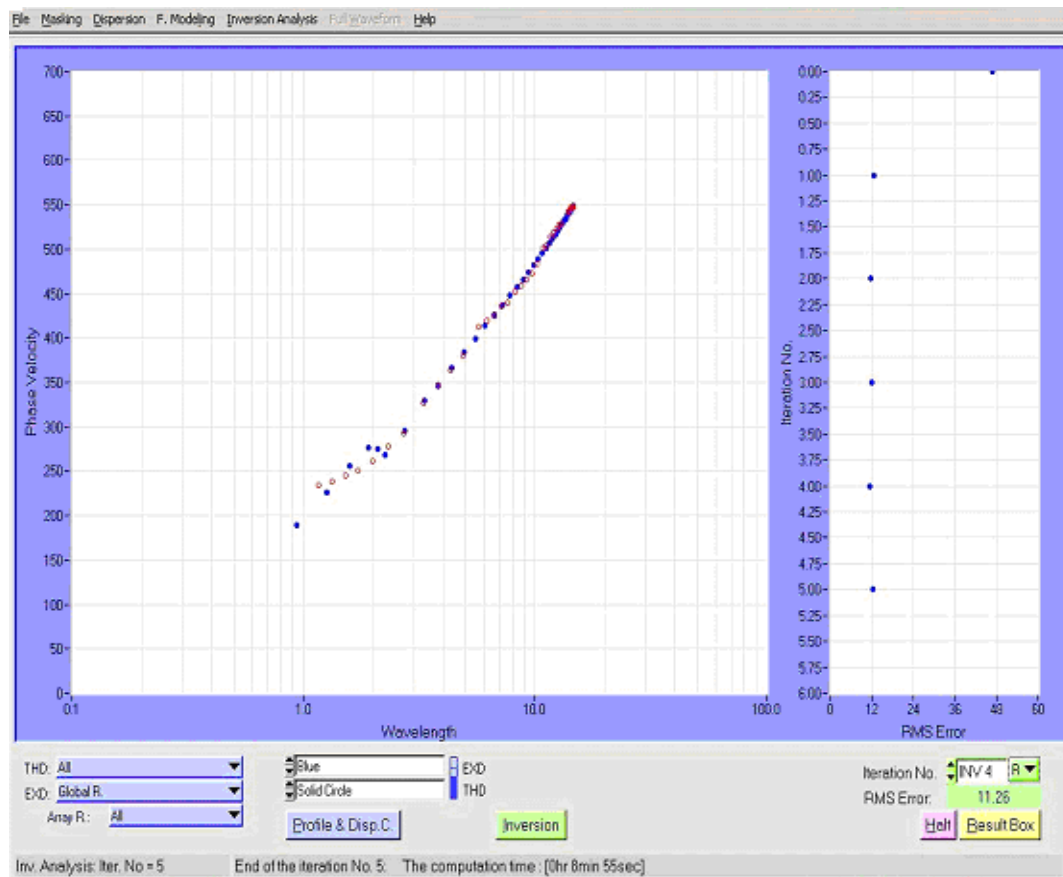
Σχήμα 28 : Αποτέλεσμα Ανάλυσης Αρχικών Μοντέλων. Επιλογή του SMP10

2.4.3 Αντίστροφη Ανάλυση

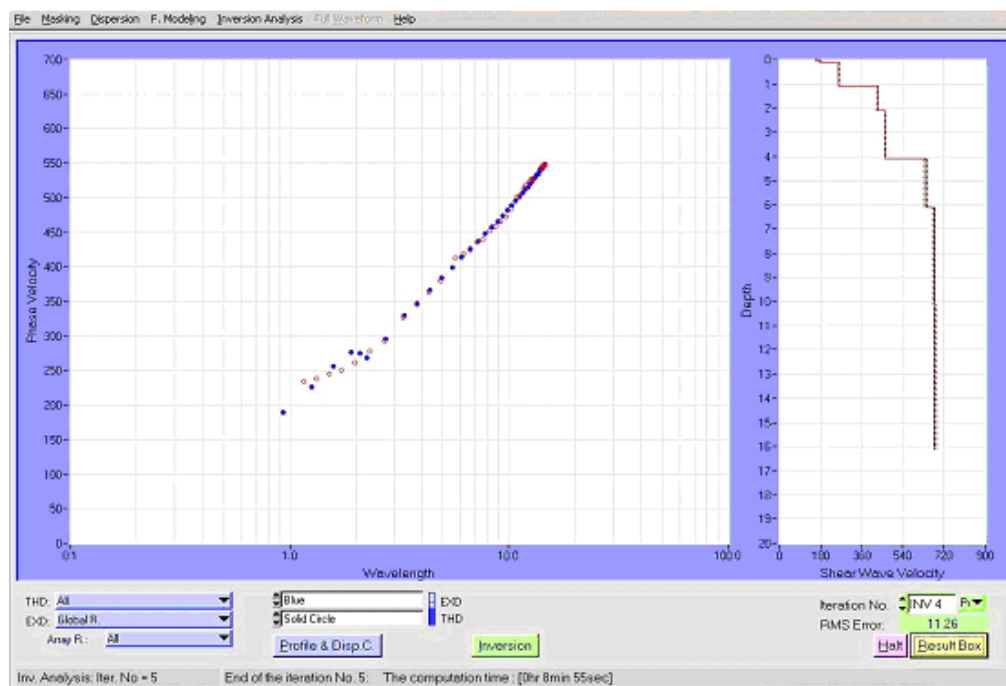
Για τη διεκπεραίωση της αντιστροφής πραγματοποιήθηκαν πέντε επαναλήψεις και η παράμετρος του μοντέλου που επιλέχτηκε να αντιστραφεί είναι η εγκάρσια ταχύτητα κύματος, όπως φαίνεται και στο πλαίσιο διαλόγου του Σχ. 27, το οποίο χρησιμοποιείται δεύτερη φορά για την έναρξη της αντιστροφής.

Αφού διεξαχθεί η αντιστροφή, συγκρίνεται η θεωρητική με την πειραματική καμπύλη διασποράς φασικής ταχύτητας κύματος για κάθε επανάληψη και τα αποτελέσματα ελέγχονται με τη βοήθεια των τιμών του RMS Error και του Resolution number.

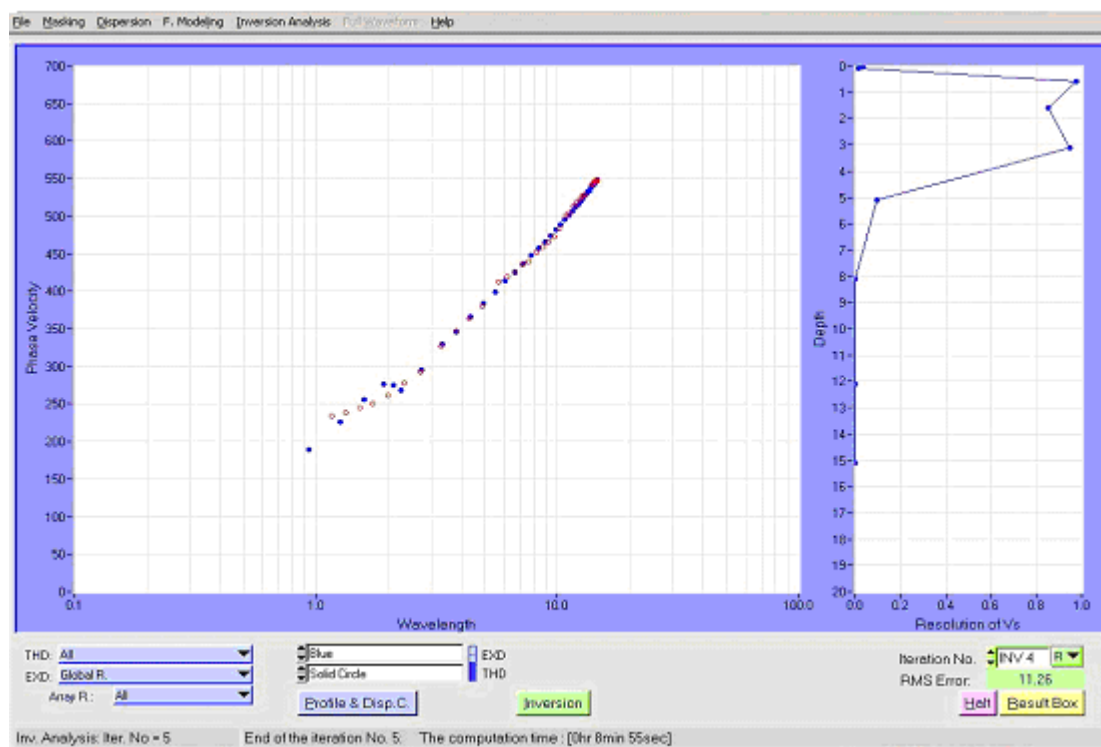
Στο Σχήμα 29 παρουσιάζεται η διακύμανση του RMS Error με τον αριθμό επανάληψης, σύμφωνα με το οποίο η τέταρτη επανάληψη έχει το μικρότερο RMS Error, 11.26, άρα είναι η βέλτιστη. Το προφίλ της ταχύτητας εγκάρσιου κύματος και του Resolution number που αντιστοιχούν στην τέταρτη επανάληψη απεικονίζονται στα Σχήματα 30 και 31 αντίστοιχα.



Σχήμα 29 : Αποτέλεσμα Αντίστροφης Ανάλυσης : Σύγκριση Πειραματικής και Θεωρητικής Καμπύλης Διασποράς , RMS Error



Σχήμα 30 : Αποτέλεσμα Αντίστροφης Ανάλυσης : Σύγκριση Πειραματικής και Θεωρητικής Καμπύλης Διασποράς , Προφίλ Ταχύτητας Εγκάρσιου Κύματος



Σχήμα 31 : Αποτέλεσμα Αντίστροφης Ανάλυσης : Σύγκριση Πειραματικής και Θεωρητικής Καμπύλης Διασποράς , Resolution Number

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

3.1 Αποτελέσματα Αντίστροφης Ανάλυσης

Στην ανάλυση σεισμικής επικινδυνότητας των εδαφών ενδιαφέρει κυρίως το βάθος και η ταχύτητα εγκάρσιου κύματος.

Η μέση ταχύτητα διάδοσης εγκάρσιου κύματος που αντιστοιχεί σε βράχο κυμαίνεται γύρω στα 650 – 700 m / sec, ενώ η αντίστοιχη ταχύτητα ρήγματος είναι μηδενική, αφού δεν είναι δυνατή η διάδοση εγκάρσιων κυμάτων σε ρευστά (υγρά, αέρια).

Σύμφωνα με τον Πίνακα 1 το τμήμα του εδάφους του Βιολογικού Καθαρισμού που εξετάστηκε δεν έχει καθόλου ρήγματα, ενώ βράχος γίνεται αντιληπτός σε βάθος 4m από την επιφάνεια, όπου η μέση ταχύτητα εγκάρσιου κύματος υπολογίστηκε 639.594m/sec και η οποία συνεχώς αυξάνεται με το βάθος.

Στρώση	Βάθος (m)	Πάχος (m)	C _p (m/sec)	C _s (m/sec)	C _{s(upper)} (m/sec)	C _{s(lower)} (m/sec)	Rho (kg/m ³)	Nu	Απόσβεση
1	0.000	0.050	331.094	165.559	170.480	160.639	1900.000	0.333	0.020
2	0.050	0.050	362.491	181.259	186.224	176.294	1900.000	0.333	0.020
3	0.100	1.000	519.866	259.953	260.759	259.146	1900.000	0.333	0.020
4	1.100	1.000	859.162	429.613	431.534	427.692	1900.000	0.333	0.020
5	2.100	2.000	924.289	462.179	463.346	461.013	1900.000	0.333	0.020
6	4.100	2.000	1279.092	639.594	644.344	634.845	1900.000	0.333	0.020
7	6.100	4.000	1353.985	677.043	682.041	672.046	1900.000	0.333	0.020
8	10.100	4.000	1360.559	680.331	685.331	675.331	1900.000	0.333	0.020
9	14.100	1410.000	1364.233	682.168	687.168	677.168	1900.000	0.333	0.020

Πίνακας 1 : Αποτελέσματα Αντίστροφης Ανάλυσης

Όπου, C_p = ταχύτητα διάδοσης διαμήκους κύματος στην συγκεκριμένη στρώση.

C_s = ταχύτητα διάδοσης εγκάρσιου κύματος στην συγκεκριμένη στρώση.

$C_s(\text{lower}), C_s(\text{Upper})$ = πάνω και κάτω όριο των τιμών, που υπολογιστικά προκύπτει από την αντίστροφη ανάλυση, για την ταχύτητα διάδοσης εγκάρσιου κύματος στην δεδομένη στρώση.

Nu = λόγος του Poisson

Rho = η πυκνότητα μάζας του υλικού της συγκεκριμένης στρώσης

3.2 Επαλήθευση Αντίστροφης Ανάλυσης

Στον έλεγχο της ακρίβειας των αποτελεσμάτων, λαμβάνονται υπόψη η τιμή του RMS Error, η οποία υπολογίστηκε 11.26 καθώς και οι τιμές του Resolution number. Οι τελευταίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Στρώση	Βάθος (m)	Resolution R
1	0.000	0.031478
2	0.050	0.014017
3	0.100	0.973978
4	1.100	0.852379
5	2.100	0.945555
6	4.100	0.097671
7	6.100	0.001003
8	10.100	0.000000
9	14.100	0.000000

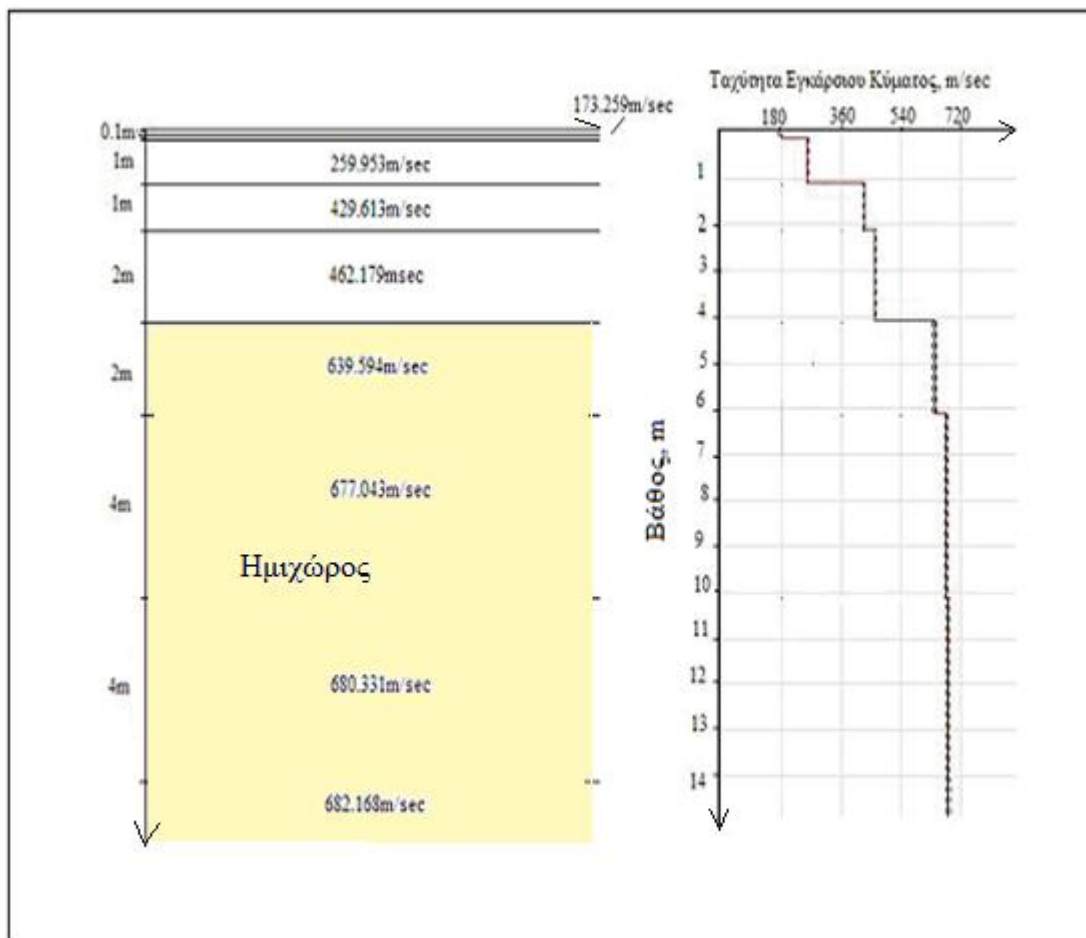
Πίνακας 2 : Διακύμανση τιμών Resolution με το βάθος

Η τιμή του Resolution no περιγράφει το κατά πόσο πλησιάζουν οι εργαστηριακές τιμές ενδιαφέροντος, οι οποίες στη δεδομένη περίπτωση είναι η ταχύτητα εγκαρσίου κύματος, τις υπολογιστικές τιμές που προκύπτουν από την αντίστροφη ανάλυση σε κάθε διαφορετική στρώση, με πεδίο τιμών από 0 μέχρι 1. Στόχος είναι οι υπολογιστικές τιμές να πλησιάζουν όσο γίνεται την τιμή 1. Αυτή η μεταβλητή στα πρώτα δύο στρώματα, δηλαδή σε βάθος 0.05m θα μπορούσε να είναι καλύτερη και θα βελτιωνόταν με τη μεταβολή του πάχους των αρχικών στρώσεων. Στις υπόλοιπες στρώσεις όμως ο Resolution no αυξάνεται πλησιάζοντας τη μονάδα και εφόσον το RMS που υπολογίστηκε

είναι πάρα πολύ μικρό, ίσο με 11.26 %, συμπεραίνεται ότι τα στρώματα που ορίστηκαν σε βάθος από 0.05m έως 4m γίνονται αποδεκτά.

Επίσης η τιμή του Resolution πο ελέγχει αν το στρώμα του ημιχώρου έχει εντοπιστεί σε κατάλληλο βάθος. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιείται το κριτήριο depth resolution analysis σύμφωνα με το οποίο στο συγκεκριμένο βάθος πρέπει η τιμή του r να είναι μεγαλύτερη από 0.01. Η έκτη στρώση, όπου το βάθος είναι 4m και $r = 0.097671$, υποδεικνύει τον ημιχώρο καθώς και την παρουσία βράχου, ο οποίος χαρακτηρίζεται από υψηλή ταχύτητα εγκάρσιου κύματος, συγκρινόμενη με τα υπερκείμενα στρώματα.

Στο Σχήμα 61, απεικονίζεται το προφίλ μέσα στο εξεταζόμενο υλικό σε αντιστοιχία με μία σειρά οριζόντιων στρώσεων, κατακόρυφα κατανεμημένων στο υπέδαφος, όπου η ταχύτητα εγκάρσιου κύματος και το πάχος των στρωμάτων προσδιορίστηκαν από την ανάλυση των μετρήσεων. Ο τέλειος συνδυασμός ανάμεσα στο αυθεντικό και το υπολογισμένο προφίλ υποδεικνύει ότι η διαδικασία της αντιστροφής έχει ανακτήσει σωστά το προφίλ της ταχύτητας εγκάρσιου κύματος από την καμπύλη διασποράς φασικής ταχύτητας.



Σχήμα 32 : Το Προσδιοριζόμενο Προφίλ Ταχύτητας Εγκάρσιου Κύματος και η Προσομοίωση του Υπεδάφους

3.3 Ανάλυση Σεισμικής Επικινδυνότητας

Η συμπεριφορά της κίνησης του εδάφους κατά τη διάρκεια ενός σεισμού κατανοείται σε σημαντικό βαθμό από τη γεωλογική δομή του εδάφους, στην περιοχή όπου διαδραματίζεται το φαινόμενο. Παλαιότερες, αλλά και πρόσφατες, παρατηρήσεις έχουν αποδείξει ότι οι βλάβες που προκαλούνται από ισχυρούς σεισμούς είναι πιο σημαντικές όταν η δομή είναι ιζηματογενής παρά όταν είναι βράχος.

Υπεύθυνο για την ταλάντωση του εδάφους σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από μαλακά ιζήματα είναι η παγίδευση σεισμικών κυμάτων στο εσωτερικό τους. Η παγίδευση των σεισμικών κυμάτων οδηγεί σε συντονισμούς οι μορφές και οι συχνότητες των οποίων συσχετίζονται με τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της κατασκευής.

Το φαινόμενο του συντονισμού λαμβάνει χώρα όταν η βασική συχνότητα της κατασκευής πλησιάζει τη βασική συχνότητα του εδάφους κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.

Ρόλος της ενότητας αυτής είναι ο υπολογισμός της βασικής περιόδου του εδάφους, στην επιφάνεια του οποίου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Υπολογισμός Βασικής Περιόδου Εδάφους

Η βασική περίοδος εδάφους υπολογίζεται με τη βοήθεια των Εξισώσεων (15) και (16):

$$T = \frac{4 h}{\beta} \quad (15)$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (16)$$

Όπου, h : το συνολικό πάχος των στρώσεων, πάνω από τον ημιχώρο, (m)
 β : η μέση ταχύτητα εγκάρσιου κύματος μέσα στο έδαφος, (m/ sec)
 d_i : πάχος στρώσης - i - , σε ένα σύνολο n στρώσεων (m)
 v_{si} : η ταχύτητα εγκάρσιου κύματος της στρώσης - i - , σε ένα σύνολο n στρώσεων.

Χρησιμοποιώντας, τις τιμές του Πίνακα 1 και αντικαθιστώντας στην Εξ. (16) και (15) προκύπτει :

$$\beta = \frac{14.1}{0.026} = 542.308 \text{ m/sec} \quad (17)$$

και

$$T = \frac{4 \cdot 14.1}{542.308} = 0.104 \text{ sec} \quad (18)$$

Άρα, $T = 0.104 \text{ sec}$

Συνεπώς, είναι απαραίτητο η τιμή της βασικής περιόδου της κατασκευής, στην προκειμένη περίπτωση του Βιολογικού Καθαρισμού, να μην πλησιάζει την παραπάνω τιμή, για την αποφυγή του φαινομένου του συντονισμού, το οποίο επιτυγχάνεται με έλεγχο των γεωμετρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών της κατασκευής και ενδεχόμενες αλλαγές τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΝΟΨΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 Σύνοψη

Μετά την εκτέλεση των πειραμάτων SASW στο πεδίο, ακολουθήθηκαν τρία βασικά βήματα για την παραγωγή του προφίλ ταχύτητας εγκάρσιου κύματος :

Ο προσδιορισμός του φάσματος γωνίας φάσης από τις μετρήσεις στο πεδίο, η ερμηνεία των δεδομένων του φάσματος γωνίας φάσης για την παραγωγή της αντιπροσωπευτικής καμπύλης διασποράς φασικής ταχύτητας, και η αντιστροφή της καμπύλης διασποράς φασικής ταχύτητας για την παραγωγή του προφίλ ταχύτητας εγκάρσιου κύματος.

Σε μερικά σημεία, κατά την ερμηνεία των δεδομένων και των βημάτων ανάλυσης της μεθόδου SASW, εντοπίζονται ορισμένα προβλήματα αβεβαιότητας, τα οποία ενδέχεται να επηρεάσουν το αντεστραμμένο προφίλ δυναμικών χαρακτηριστικών. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν βελτιωμένες τεχνικές για την ερμηνεία και ανάλυση των μετρήσεων SASW:

- Η τεχνική IRF για την ερμηνεία του φάσματος γωνίας φάσης.
- Η διαδικασία βελτίωσης του φάσματος γωνίας φάσης.
- Η διαδικασία παραγωγής αντιπροσωπευτικής καμπύλης διασποράς.
- Η χρησιμοποίηση, μέσω της αντίστροφης ανάλυσης, της τεχνικής μέγιστης πιθανοφάνειας.

4.2 Συμπεράσματα

Όπως έχει προαναφερθεί, το πρόγραμμα WinSASW 2.0 διαθέτει τεχνικές οι οποίες διευκολύνουν τα σημεία της ανάλυσης που χαρακτηρίζονται από ανακρίβειες, όπως η ερμηνεία και η εκτύλιξη περίπλοκων φασμάτων γωνίας φάσης, και εξοικονομούν χρόνο στην υπολογιστική διαδικασία της ανάλυσης. Επιπλέον, περιλαμβάνει παραμέτρους για τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων.

Με βάση τη μελέτη που προηγήθηκε έχουν εξαχθεί τα εξής συμπεράσματα:

- Η συσχέτιση της υπολογιστικής με τη πειραματική καμπύλη διασποράς φασικής ταχύτητας καθώς και του αυθεντικού με το υπολογισμένο προφίλ εγκάρσιας ταχύτητας (Σχήμα 30) υποδεικνύει ότι, η εφαρμογή της τεχνικής IRF είναι ικανή να ερμηνεύσει σωστά το φάσμα γωνίας φάσης και να το βελτιώσει, συμβάλλοντας έτσι στην ικανοποιητική παραγωγή της αντιπροσωπευτικής καμπύλης διασποράς.
- Η εφαρμογή αντιπροσωπευτικής καμπύλης τύπου Global, δεν παρέχει τα πλεονεκτήματα του τύπου Array. Στις δεδομένες εδαφικές συνθήκες, όμως, δεν υπάρχουν ανάμεσα στις στρώσεις έντονες αντιθέσεις των δυναμικών χαρακτηριστικών, σύμφωνα και με τις υπολογισμένες ταχύτητες εγκάρσιου κύματος, οπότε δε χρειαζόταν η χρονοβόρα υπολογιστική διαδικασία που περιλαμβάνει η τύπου Array αντιπροσωπευτική καμπύλη διασποράς. Συνεπώς, η αντίστροφη ανάλυση τύπου Global, οδήγησε σε ένα αντιπροσωπευτικό προφίλ εδάφους.
- Η επιλογή τύπου ανάλυσης 3 – D αποτελεί καλύτερη προσέγγιση στην εκτίμηση φασικών ταχυτήτων από τον τύπο ανάλυσης 2- D. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η 3 – D ανάλυση λαμβάνει υπόψη τα κύματα χώρου όπως και τα επιφανειακά κύματα. Συνεπώς, ο υπολογισμός της θεωρητικής καμπύλης διασποράς φασικών ταχυτήτων, μέσω του συγκεκριμένου τύπου ανάλυσης, αποδίδει ικανοποιητικά τις φασικές ταχύτητες που προσδιορίστηκαν από τις μετρήσεις στο πεδίο.
- Όσο οι υποθέσεις του αρχικού μοντέλου τείνουν να πλησιάζουν την ακριβή διαστρωμάτωση εδάφους, τόσο η τελική αντιστροφή οδηγεί σε πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα του προφίλ των δυναμικών χαρακτηριστικών του. Επομένως, η χρησιμοποίηση αρχικού μοντέλου παραμέτρων είναι απαραίτητη.

- Το RMS Error είναι ένα μέγεθος, το οποίο, καθώς είναι ανεξάρτητο του αριθμού των δεδομένων, αντικατοπτρίζει ικανοποιητικά τη μέση αστοχία της ανάλυσης.
- Τέλος, η τιμή του Resolution No είναι χρήσιμη, στη διερεύνηση του βάθους, όπου το εργαστηριακό προφίλ της εγκάρσιας ταχύτητας συμπίπτει με το υπολογιστικό προφίλ, και στον έλεγχο εντοπισμού βάθους του ημιχώρου. Τα δύο παραπάνω μεγέθη αποτελούν σημαντικά εργαλεία στον έλεγχο ορθότητας αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι, η προτεινόμενη διαδικασία αντίστροφης ανάλυσης, η οποία βασίζεται στην τεχνική της μέγιστης πιθανοφάνειας, θεωρείται αξιόπιστη, όσον αφορά την εκτίμηση του προφίλ των δυναμικών χαρακτηριστικών εδάφους από μία πειραματική καμπύλη διασποράς μέσω των μετρήσεων SASW, και καθώς η φύση της τεχνικής είναι μη επεμβατική και μη καταστροφική διαθέτει το πλεονέκτημα εξοικονόμησης χρόνου και κόστους, για αντίστοιχες μελέτες.

4.3 Προτάσεις για Επόμενες Μελέτες

Προτείνεται η βελτίωση της επίλυσης και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της αντιστροφής ενσωματώνοντας επιπρόσθετες πληροφορίες εκτός των φασικών ταχυτήτων, που βασίζονται στις κατακόρυφες κινήσεις σωματιδίων. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση φασικών ταχυτήτων που αντιστοιχούν σε οριζόντιες κινήσεις, των ταχυτήτων κύματος Love και των ομαδικών ταχυτήτων, θα συμβάλλει στη βελτιωμένη επίλυση του προφίλ των δυναμικών χαρακτηριστικών μειώνοντας τα γεγονότα σφάλματος της αντίστροφης ανάλυσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ SASW

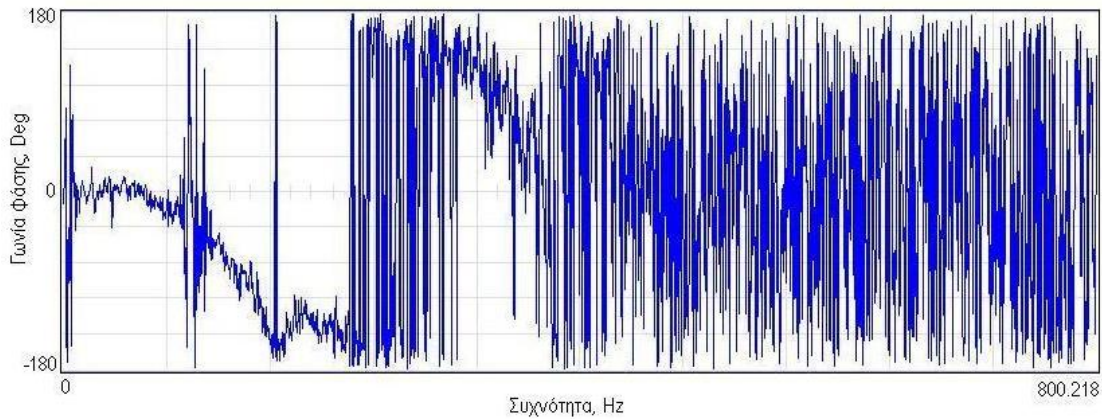
ΣΤΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

A.1 Εισαγωγή

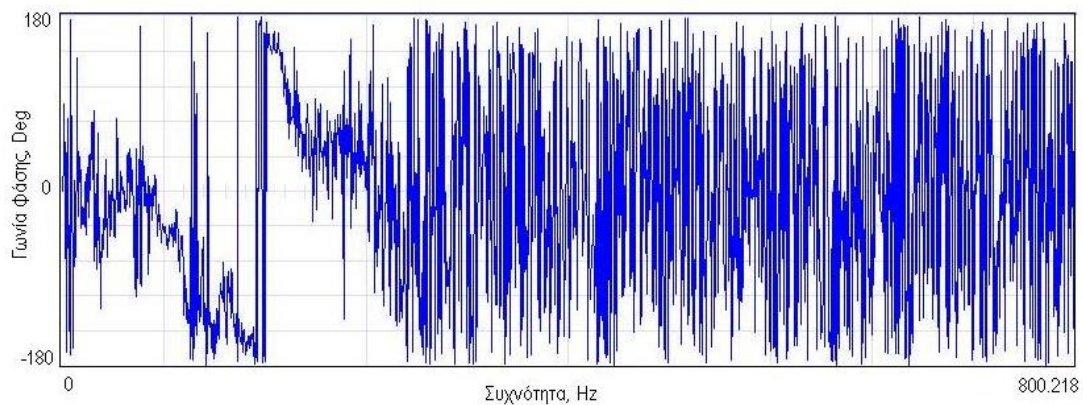
Στα πειράματα SASW στην τοποθεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης επιλέχτηκε ως πηγή η χρήση σφυριού και ως αποδέχτες η χρήση γεωφώνων κατακόρυφης συνιστώσας. Οι αποστάσεις, που χρησιμοποιήθηκαν ανάμεσα στους αποδέκτες, ήταν 0.3m, 0.6m και 1.2m.

Όμοια με το Κεφάλαιο 3, μετά το τέλος των πειραμάτων στο πεδίο, εφαρμόστηκε η διαδικασία ερμηνείας και ανάλυσης με στόχο τον προσδιορισμό της καμπύλης διασποράς των φασικών ταχυτήτων και την εκτίμηση του προφίλ της ταχύτητας εγκάρσιου κύματος στο υπέδαφος. Η επεξεργασία των μετρήσεων SASW παρουσιάζονται στην εν λόγω ενότητα.

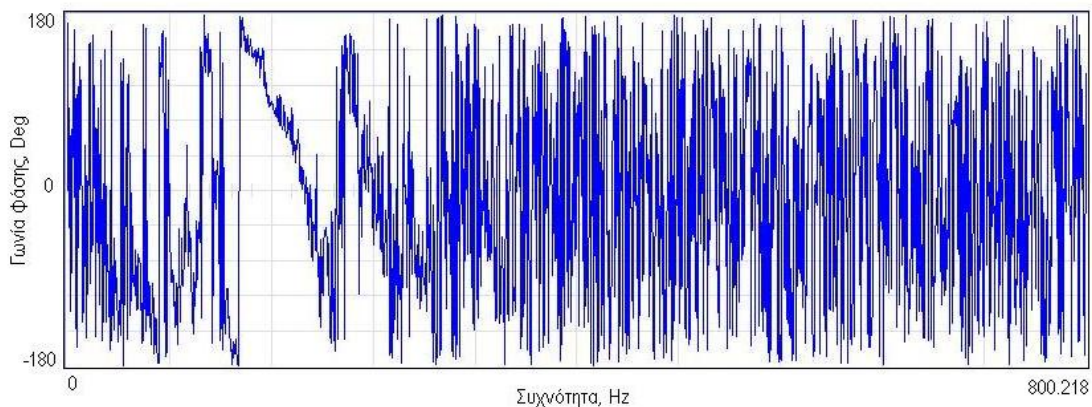
A.2 Διαδραστική Απόρριψη Περιοχής Φάσματος



α) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 0.3\text{ m}$



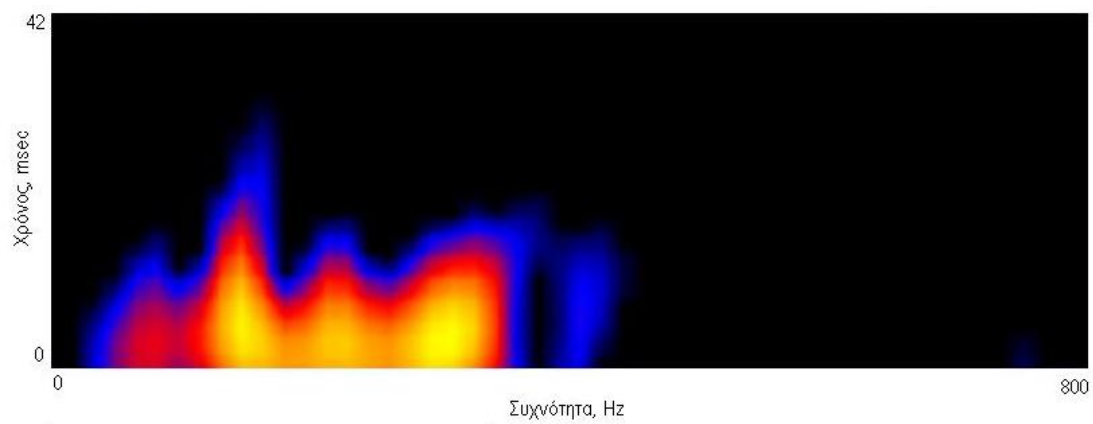
β) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 0.6\text{ m}$



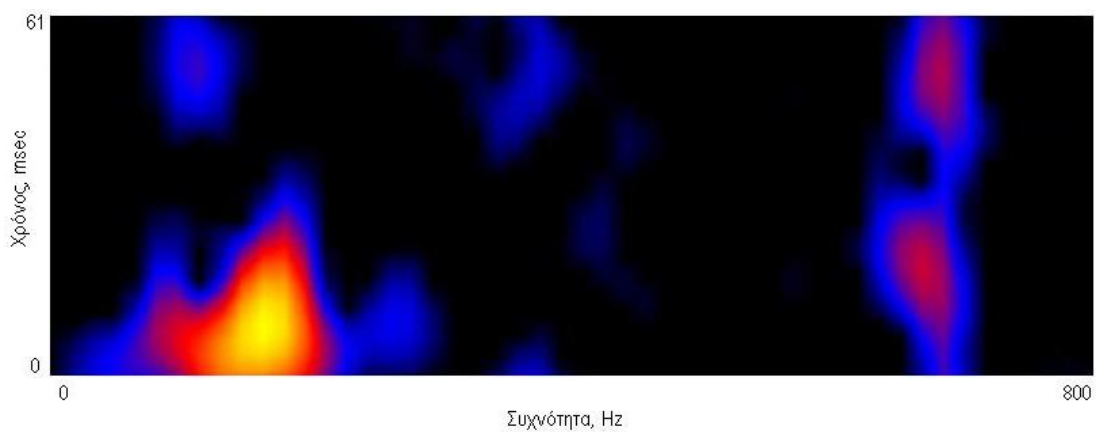
γ) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 1.2\text{ m}$

Σχήμα A.1 : Τα προσδιοριζόμενα στο Πολυτεχνείο Κρήτης Φάσματα Φάσης μέσω των μετρήσεων SASW χρησιμοποιώντας Τρεις Αποστάσεις Αποδεκτών

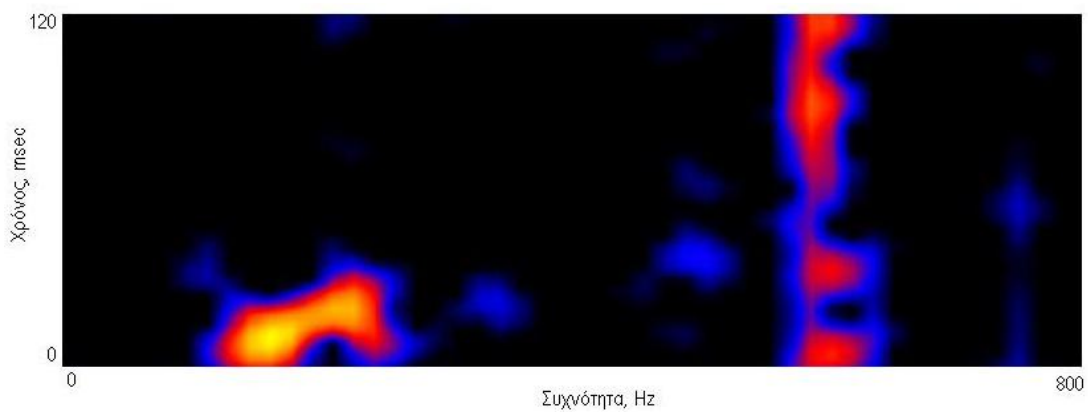
A.2.1 Η Τεχνική IRF - Προσδιορισμός των IRF Παραμέτρων



α) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 0.3$ m

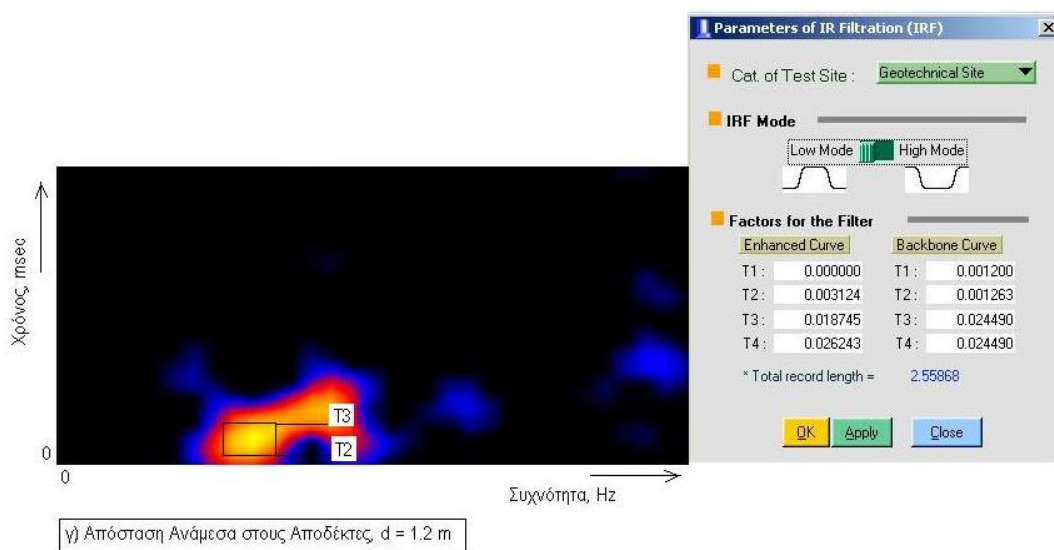
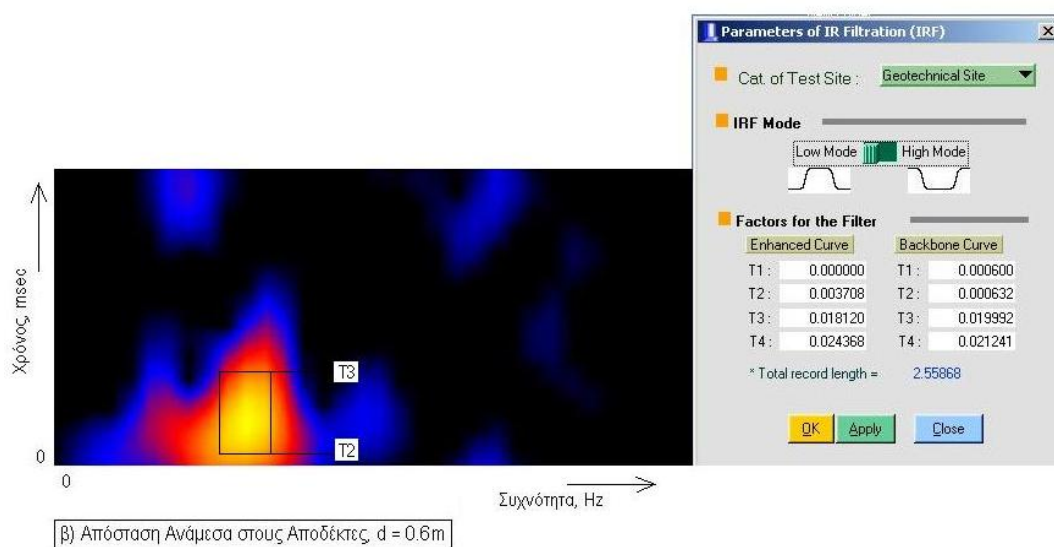
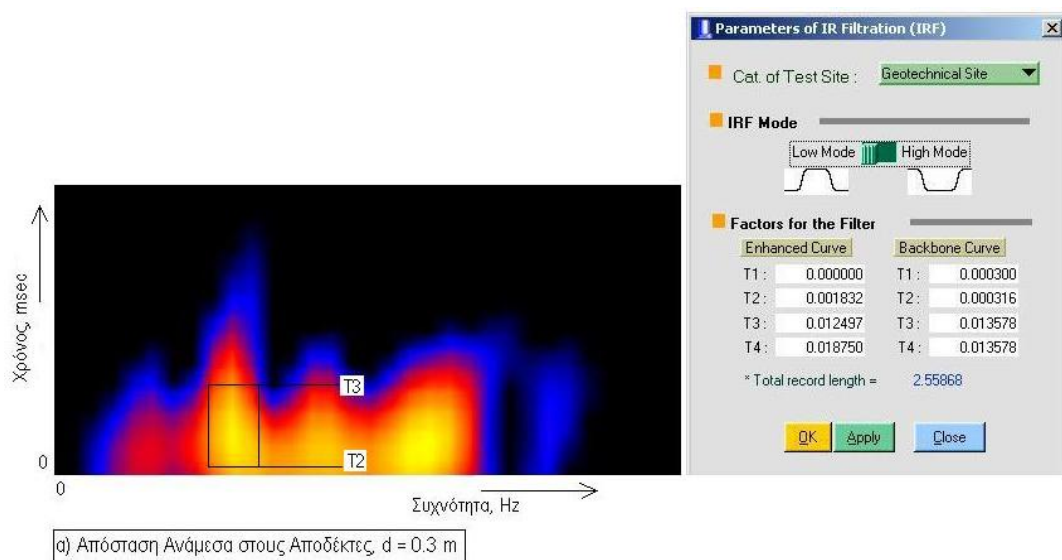


β) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 0.6$ m



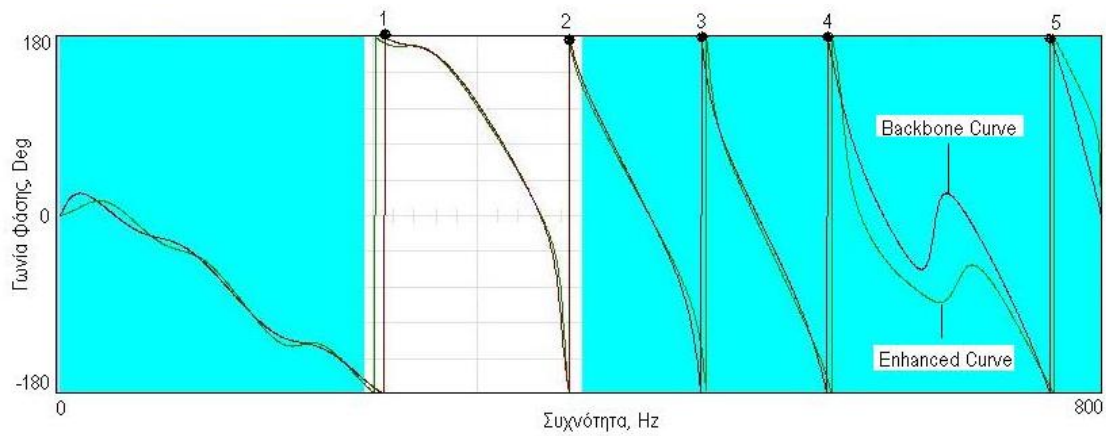
γ) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 1.2$ m

Σχήμα A.2 : Τα Gabor Spectrograms για τα Αντίστοιχα Φάσματα Φάσης του Σχ. A.1

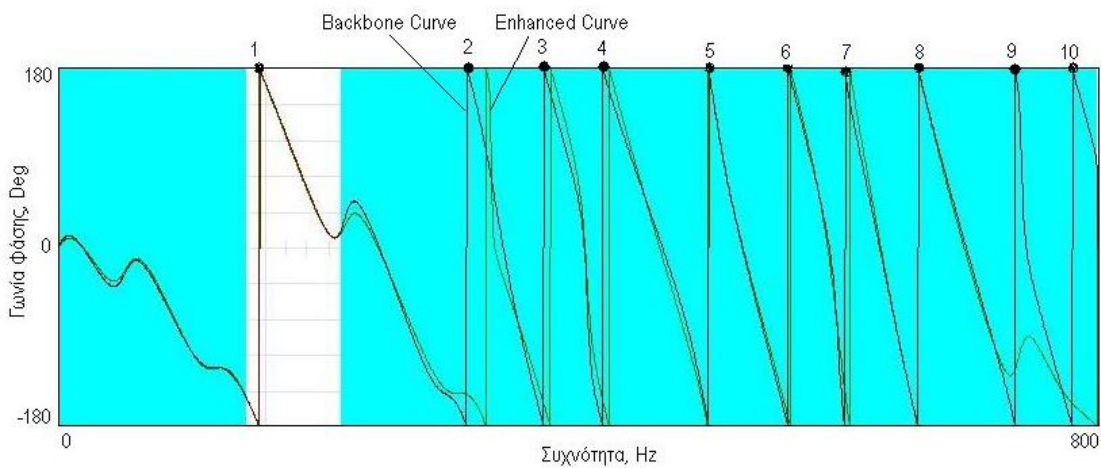


Σχήμα Α.3 : Προσδιορισμός των Παραμέτρων IRF

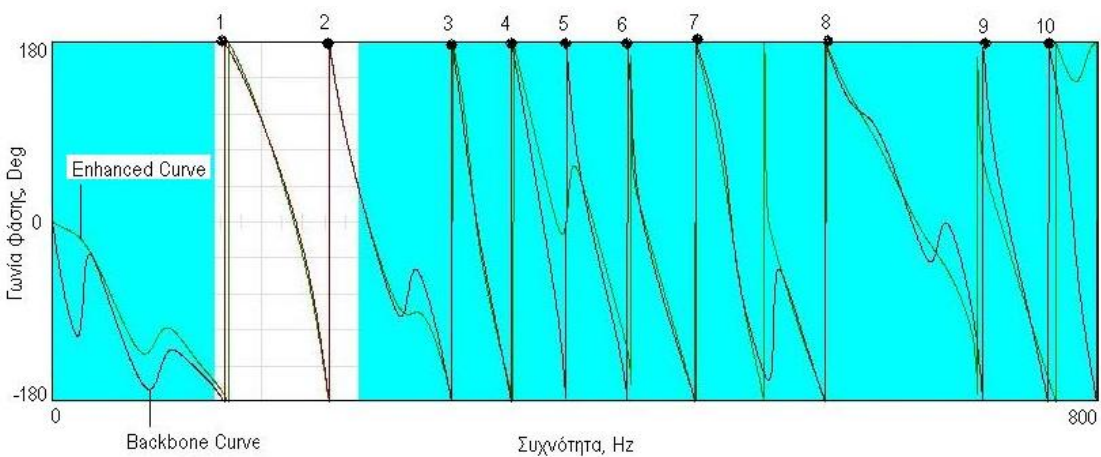
A.2.2 Επεξεργασία της Περιοχής Απόρριψης



α) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 0.3 \text{ m}$

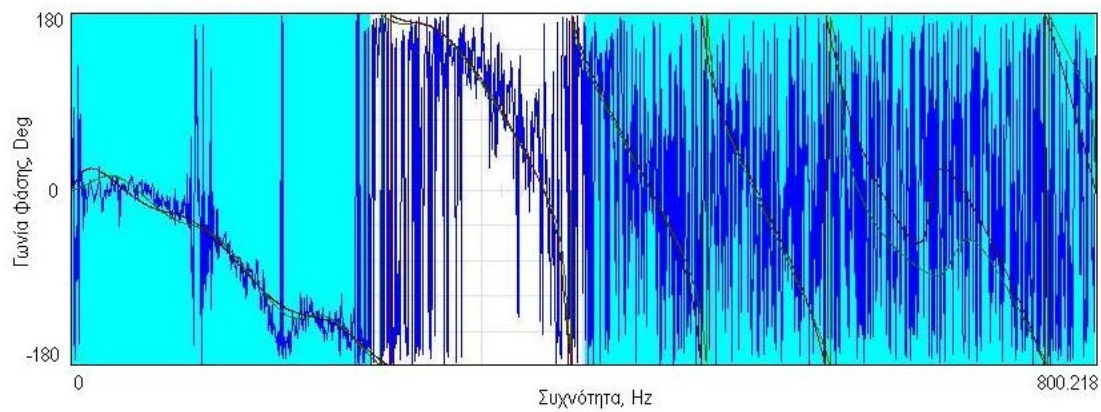


β) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 0.6 \text{ m}$

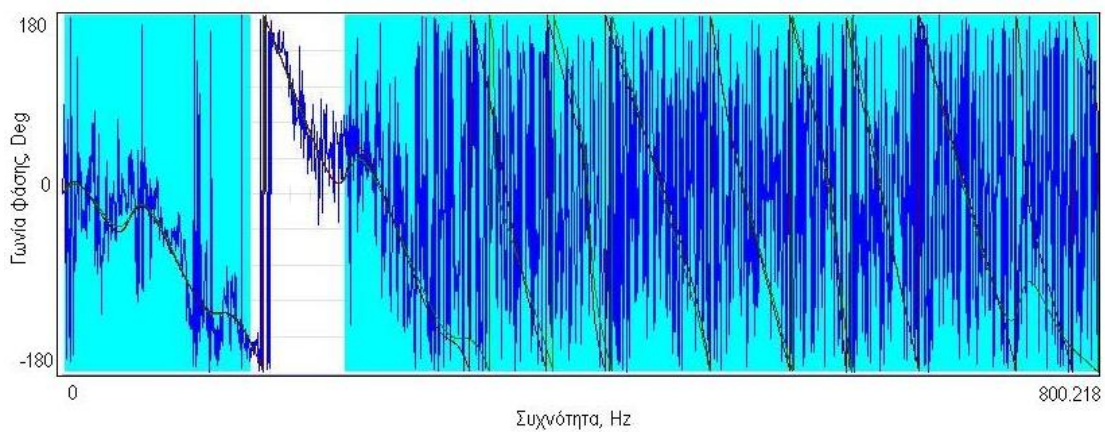


γ) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 1.2 \text{ m}$

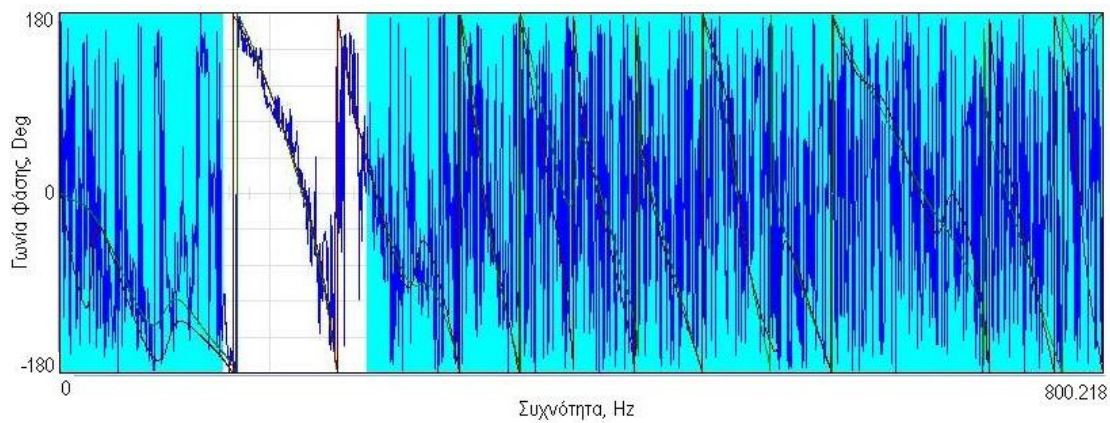
Σχήμα A.4 : Η διαδικασία Διαδραστικής Απόρριψης: Οι περιοχές που εξάγονται από το φάσμα και ο αριθμός των κύκλων που η γωνία φάσης αλλάζει από -180 σε 180



α) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 0.3\text{m}$



β) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 0.6\text{m}$

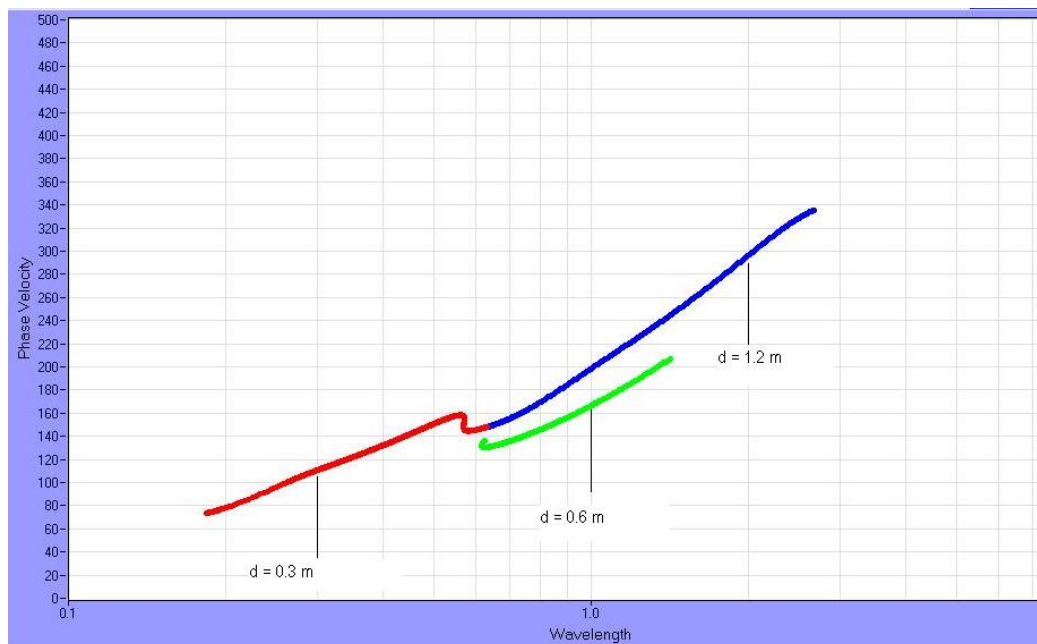


γ) Απόσταση Ανάμεσα στους Αποδέκτες, $d = 1.2\text{m}$

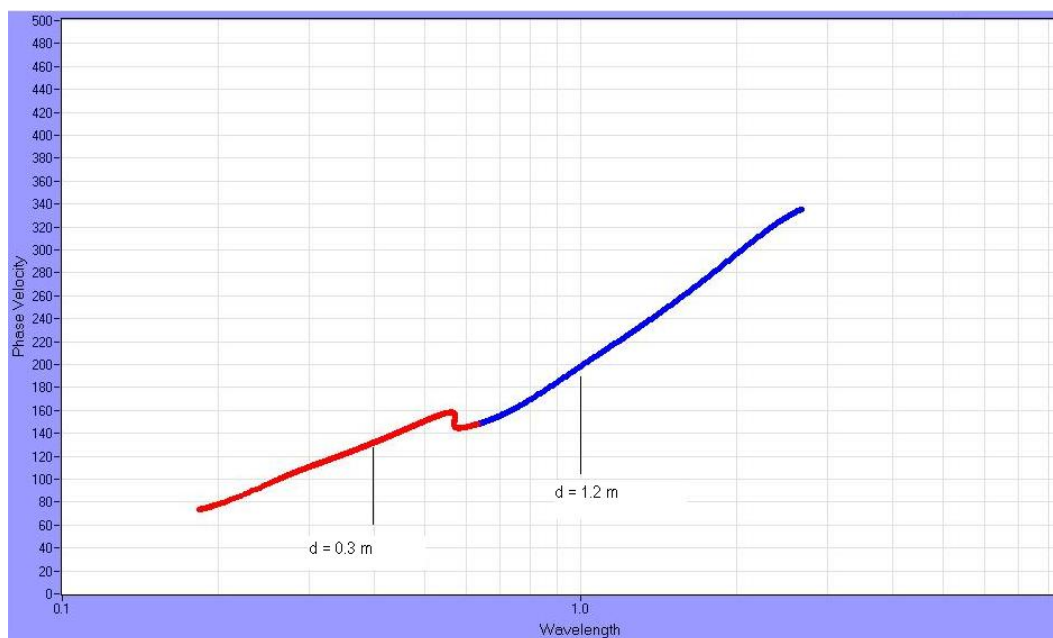
Σχήμα Α.5 : Ερμηνευμένο Αυθεντικό Φάσμα Φάσης σε Συνδυασμό με την Ανταποκρινόμενη Περιοχή Απόρριψης

A.3

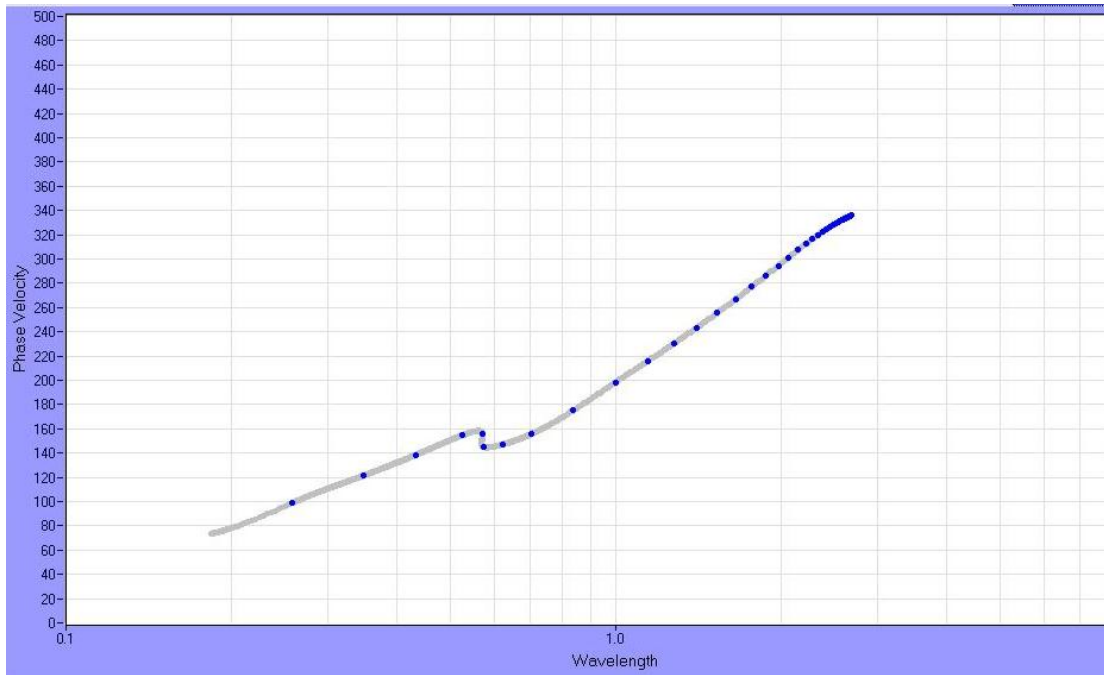
Προσδιορισμός της Καμπύλης Διασποράς της Φασικής Ταχύτητας



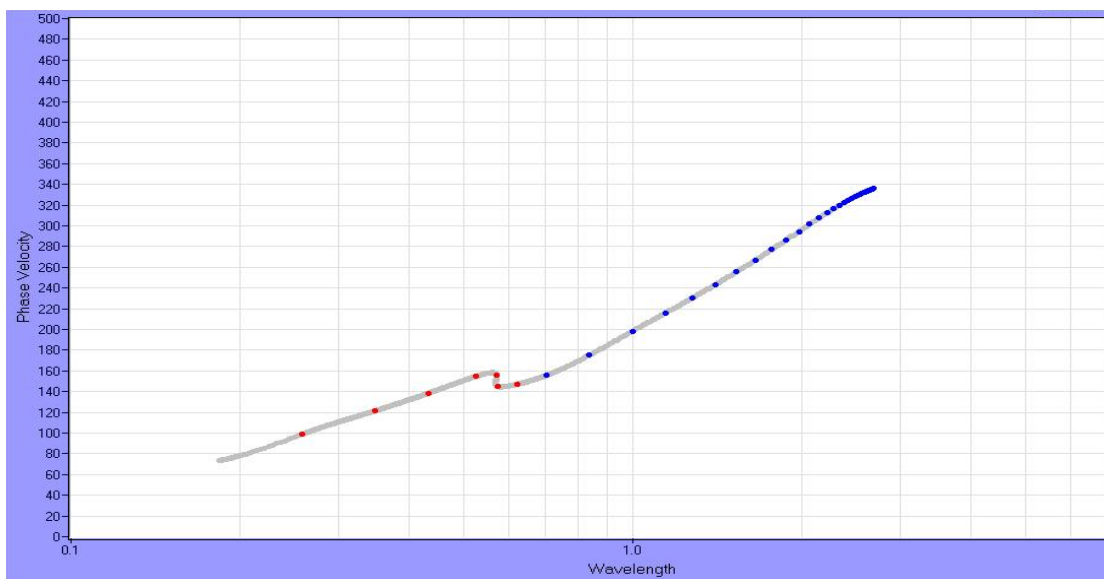
Σχήμα A.6 : Σύνθετη Πειραματική Καμπύλη Διασποράς Φασικών Ταχυτήτων για τα Φάσματα Φάσης του Σχ. A.5



Σχήμα A.7 : Σύνθετη Πειραματική Καμπύλη Διασποράς Φασικών Ταχυτήτων για τα (α), (γ) Φάσματα Φάσης του Σχ. A.5



Σχήμα A.8 : Αντιπροσωπευτική Καμπύλη Διασποράς Τύπου Global για τη Σύνθετη Πειραματική Καμπύλη διασποράς που απεικονίζεται στο Σχ. A.7



Σχήμα A.9 : Αντιπροσωπευτική Καμπύλη Διασποράς Τύπου Array για τη Σύνθετη Πειραματική Καμπύλη διασποράς που απεικονίζεται στο Σχ. A.7

A.4 Αντίστροφη Ανάλυση

A.4.1 Η Διαστρωμάτωση του Υπεδάφους και τα Δεδομένα Διασποράς για την Αντίστροφη Ανάλυση

Parameters for Forward Modeling Analysis

Analysis Type: 2D 3D **Enhanced 3D** F. of Displ. Bulb: 1.75 SubLayers: 16

Soil Profile No. of Layers: 9

	Thickness	P-Wave Vel.	S-Wave Vel.	Density	Poisson's R.	Damping F.
L1	0.5000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L2	0.5000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L3	1.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L4	1.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L5	2.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L6	2.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L7	3.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L8	3.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
L9	100.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200
Drift	0.0000	0.0000	150.0000	1900.0000	0.3333	0.0200

Apply All Apply All Apply All Apply All Apply All Apply All

Insert a Layer before Layer 10 Copy from Clear All

Delete Layer.....

Σχήμα A.10 : Υπόθεση για τη Διαστρωμάτωση του Εδάφους και ο Τύπος Ανάλυσης που Χρησιμοποιείται στην Αντίστροφη

Parameters for Forward Modeling Analysis

Dispersion Curves: Global Disp. ☒ Array Disp. ☐

No. of Points: 40 Increment Ratio: 1.0290 (between points)

Rep. Disp. Curve Available ?

None Exd Wind. File: Load

Global Dispersion Curve

Receiver Location: R1=2L, R2=4L

R1= 1.00 R2= 2.00

X Domain: WaveL Freq.

Min. WaveL: 0.26 Max. WaveL: 2.68

Array Dispersion Curve

Read F. Modeling Param. Save F. Modeling Param. Update Close

Σχήμα A.11 : Η Αντιπροσωπευτική Καμπύλη Διασποράς που Χρησιμοποιείται στην Αντίστροφη Ανάλυση

A.4.2 Παράμετροι Αρχικού Μοντέλου

Parameters for Inversion Analysis

1. Starting Model Parameters Run

- Depth-to-WaveL Ratios:
10 Points. From 0.48 to 0.59

2. Inversion Analysis Run

- Selection of Starting Model Given Mo

- No. of Iterations = 5

- Model Parameters: Vs H Vs&H

Constrained Layers:
S-Wave Vel. (Vs):
Thickness (H):

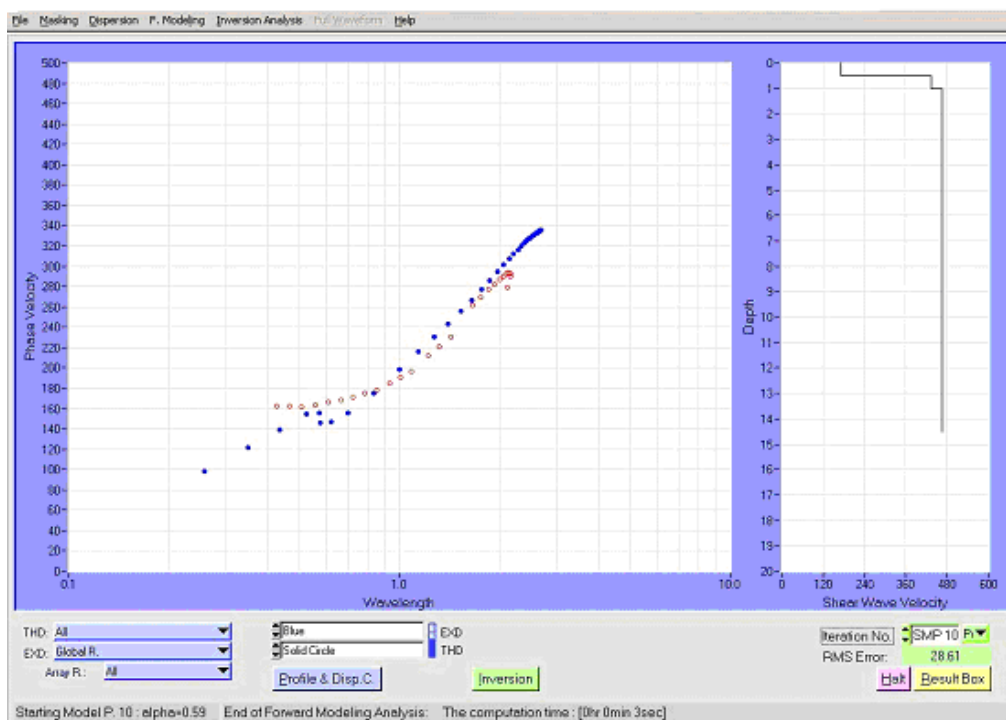
- Uncertainty Factors* (uf):
Data: Assumed Measured
Phase Vel. (Vph): 0.050
Model Parameters: Absolute Relative
Thickness (H): 0.200 0.010
S-Wave Vel. (Vs): 0.050 2.500

* uf x (Vph, Vs, or H) = Standard Deviation

- Lower and Upper Bounds:
Thickness: 0.01 to 50.00
Vs: 10.00 to 100000.00

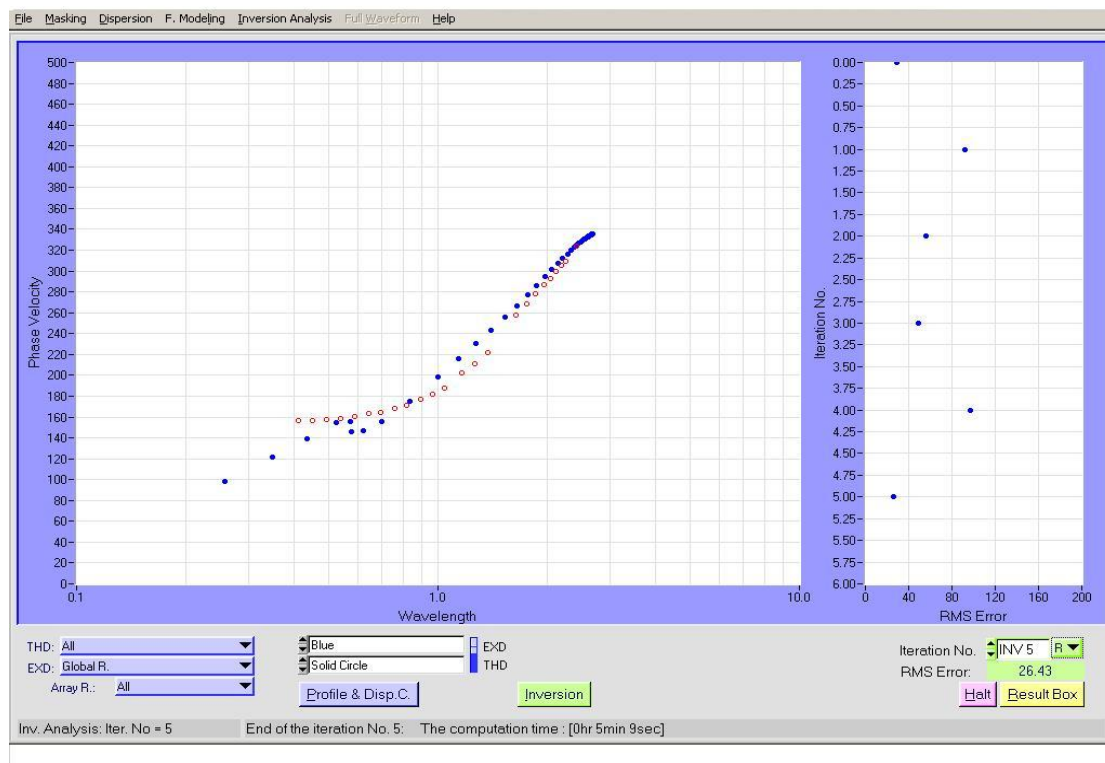
Save Results ... Close

Σχήμα A.12 : Παράμετροι για τον Έλεγχο της Αντίστροφης Ανάλυσης

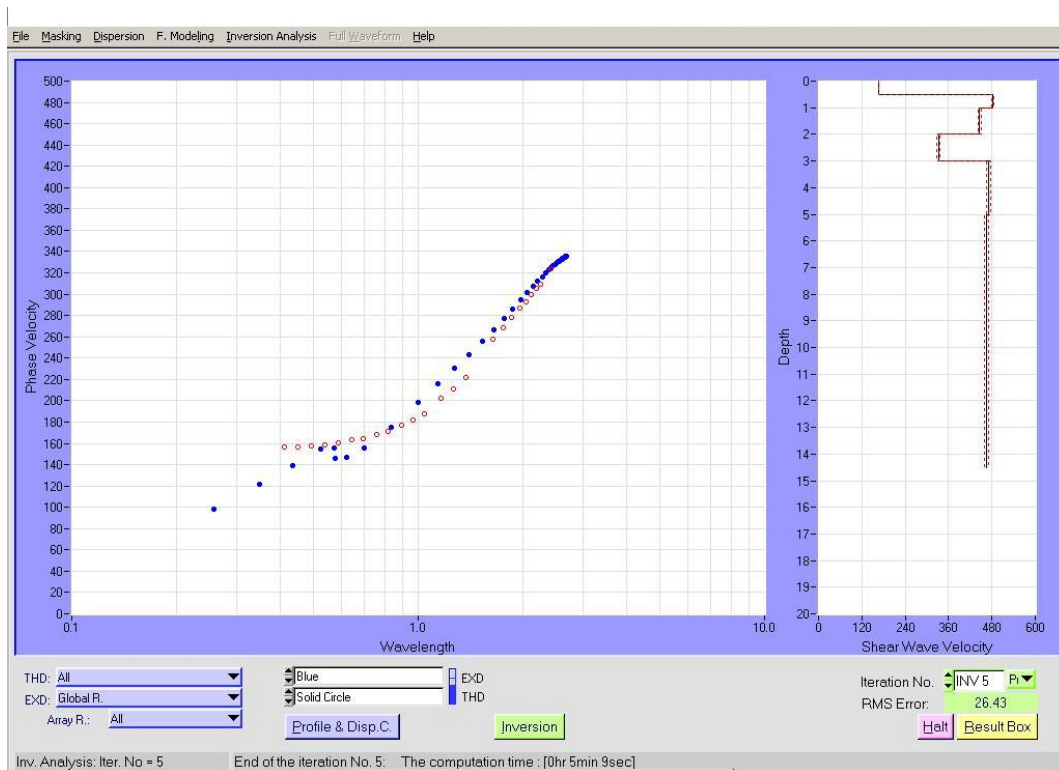


Σχήμα A.14 : Αποτελέσματα των Starting Model Parameters

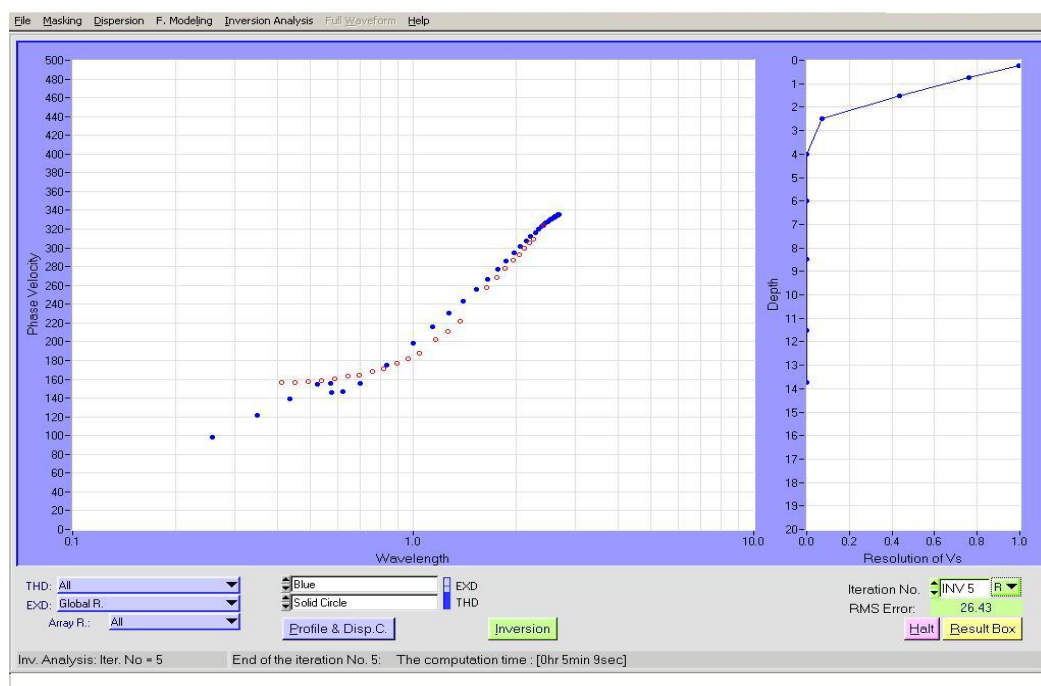
A.4.3 Αντίστροφη Ανάλυση



Σχήμα A.15 : Αποτέλεσμα Αντίστροφης Ανάλυσης : Σύγκριση Πειραματικής και Θεωρητικής Καμπύλης Διασποράς , RMS Error



Σχήμα A.16 : Αποτέλεσμα Αντίστροφης Ανάλυσης : Σύγκριση Πειραματικής και Θεωρητικής Καμπύλης Διασποράς , Προφίλ Ταχύτητας Εγκάρσιου Κύματος



Σχήμα A.17 : Αποτέλεσμα Αντίστροφης Ανάλυσης : Σύγκριση Πειραματικής και Θεωρητικής Καμπύλης Διασποράς , Resolution Number

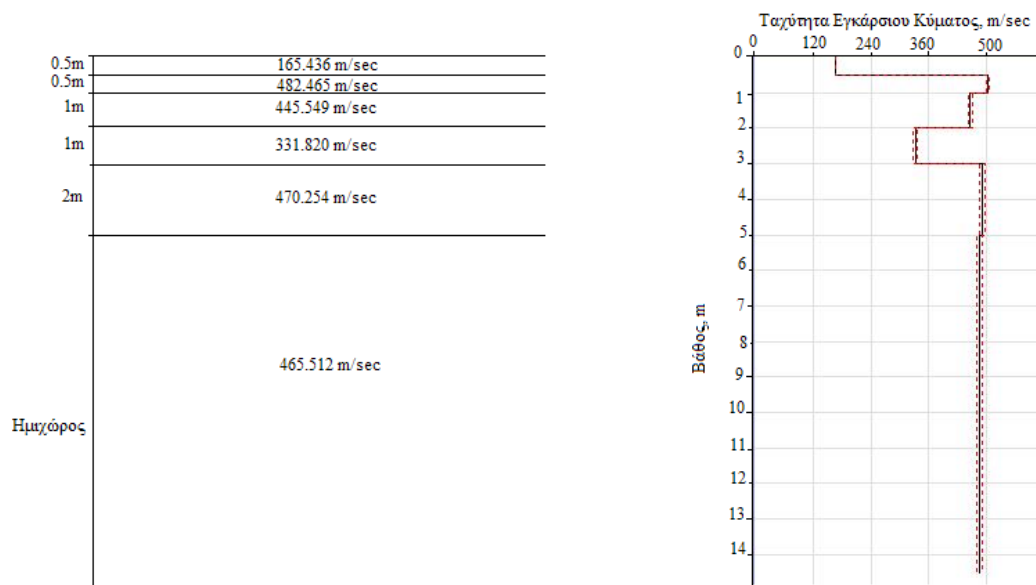
A.5 Αποτελέσματα

Στρώση	Βάθος (m)	Πάχος (m)	C _p (m/sec)	C _s (m/sec)	C _s (upper) (m/sec)	C _s (lower) (m/sec)	Rho (kg/m ³)	Nu	Απόσβεση
1	0.000	0.500	330.872	165.436	165.749	165.123	1900.000	0.333	0.020
2	0.500	0.500	964.929	482.465	484.915	480.016	1900.000	0.333	0.020
3	1.000	1.000	891.097	445.549	449.306	441.792	1900.000	0.333	0.020
4	2.000	1.000	663.639	331.820	336.637	327.003	1900.000	0.333	0.020
5	3.000	2.000	940.508	470.254	475.254	465.254	1900.000	0.333	0.020
6	5.000	2.000	931.023	465.512	470.512	460.512	1900.000	0.333	0.020
7	7.000	3.000	931.023	465.512	470.512	460.512	1900.000	0.333	0.020
8	10.000	3.000	931.023	465.512	470.512	460.512	1900.000	0.333	0.020
9	13.000	1300.00	931.023	465.512	470.512	460.512	1900.000	0.333	0.020

Πίνακας A.1: Αποτελέσματα αντίστροφης ανάλυσης

Στρώση	Resolution
1	0.996072
2	0.759994
3	0.435375
4	0.071821
5	0.000000
6	0.000000
7	0.000000
8	0.000000
9	0.000000

Πίνακας A.2 : Διακύμανση τιμών Resolution με το βάθος



Σχήμα A.18 : Το Προσδιοριζόμενο Προφίλ Ταχύτητας Εγκάρσιου Κύματος και η Προσομοίωση του Υπεδάφους

Σύμφωνα με τον πίνακα αποτελεσμάτων, δεν παρατηρείται μέσα στο εξεταζόμενο μέσο ρήγμα ή βράχος.

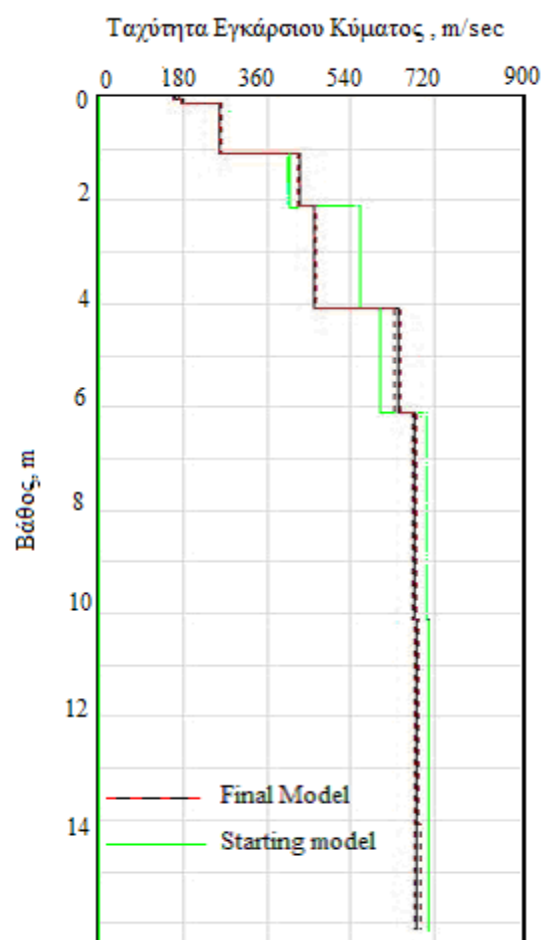
Οι τιμές του Resolution No υποδεικνύουν ότι, οι αρχικές υποθέσεις για το πάχος των στρώσεων μπορούν να γίνουν δεκτές.

Παρατηρώντας τον Πίνακα A.1 και το Σχ. A.18, σύμφωνα με τα οποία μετά τα 5m οι ταχύτητες C_s και C_p δε μεταβάλλονται με την αύξηση του βάθους, είναι φανερό ότι το τμήμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως ομογενής ημι-χώρος.

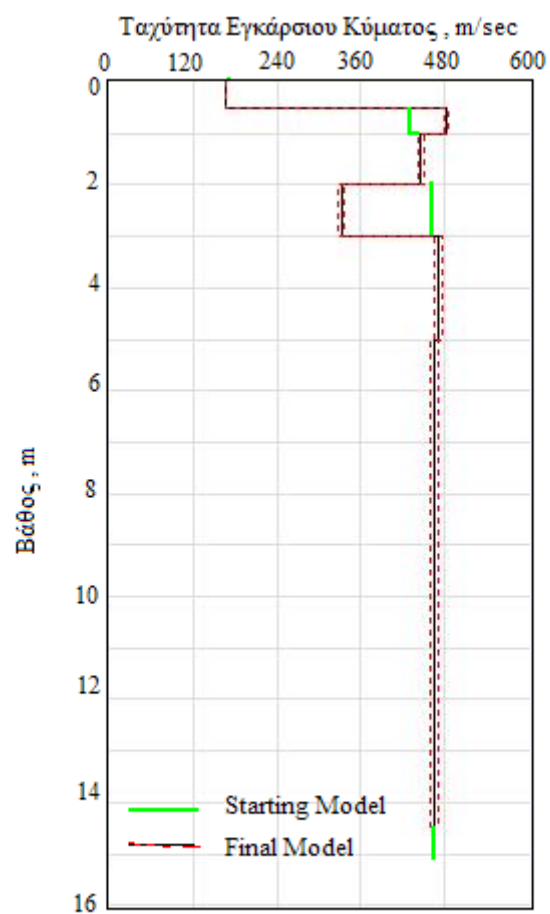
Η τιμή του RMS Error, που είναι 26 % θεωρείται σχετικά μικρή και εφόσον η ταχύτητες του εγκάρσιου κύματος δεν υποδηλώνουν την ύπαρξη βράχου ή ρήγματος στο υπέδαφος δε θα υπάρξει πρόβλημα στην ανάλυση σεισμικής επικινδυνότητας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄

Σύγκριση των Προφίλ Ταχύτητας Εγκάρσιου Κύματος Αρχικού και Τελικού Μοντέλου



Σχήμα Β.1 : Ανάλυση στον Βιολογικό Καθαρισμό Χανίων



Σχήμα Β.2 : Ανάλυση στο Πολυτεχνείο Κρήτης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ'

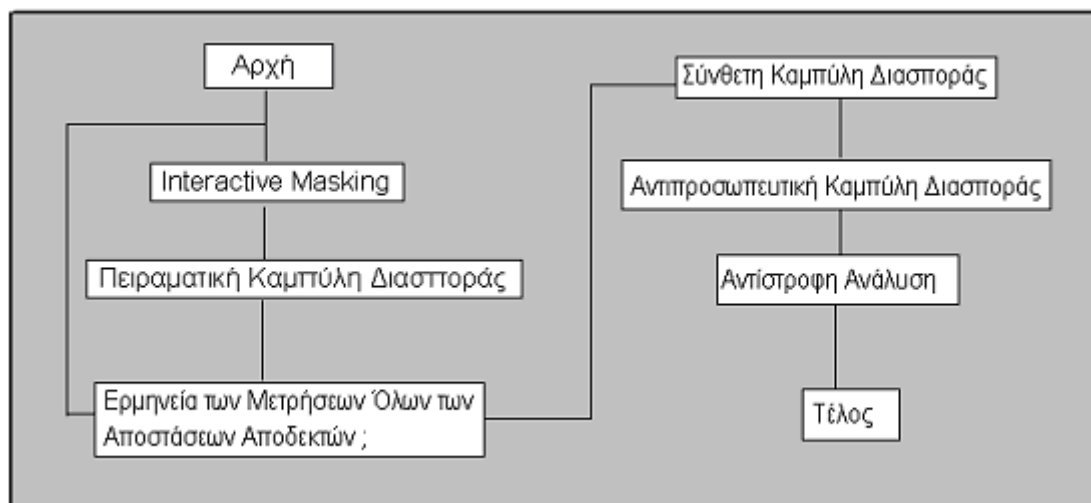
ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WinSASW 2.0

Γ.1 Εισαγωγή

Μετά την προετοιμασία του πειράματος και τη διεξαγωγή του στο πεδίο, έχουν ανακτηθεί τα φάσματα γωνίας φάσης, τα οποία υποδηλώνουν τη διαφορά φάσης των διερχόμενων κυμάτων σε σχέση με τη συχνότητα, ανάμεσα στους δύο αποδέκτες.

Ακολουθεί η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων, η οποία χωρίζεται σε τρία βασικά βήματα : τη διαδραστική απόρριψη, τον προσδιορισμό αντιπροσωπευτικής καμπύλης διασποράς και την αντίστροφη ανάλυση, τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα Γ.1.

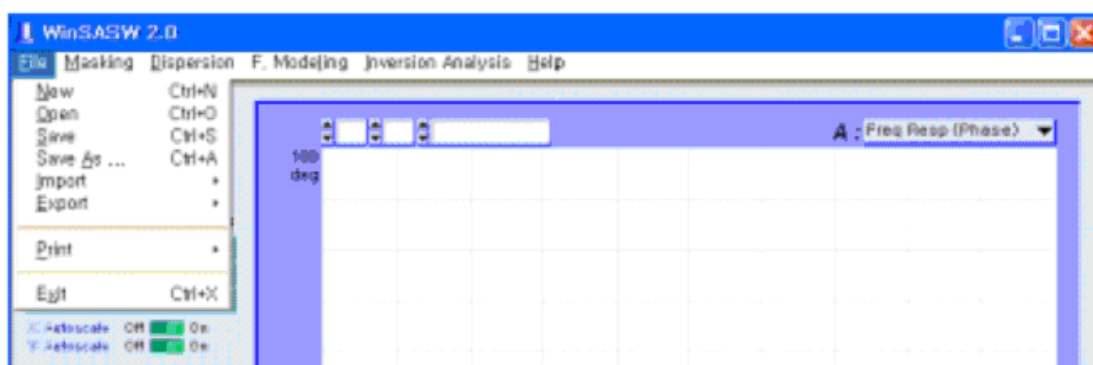
Οι παραπάνω διαδικασίες της επεξεργασίας και ανάλυσης πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος WinSASW 2.0 και στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται και εξηγείται ο τρόπος λειτουργίας του.



Σχήμα Γ.1 : Ερμηνεία Δεδομένων και Διαδικασία Ανάλυσης των μετρήσεων SASW

Γ.2 Περιγραφή Βασικών Λειτουργιών

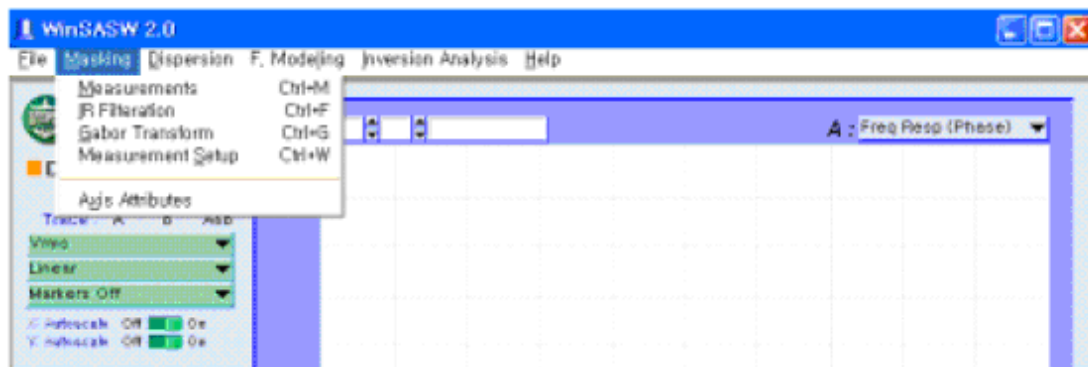
Οι κύριες λειτουργίες ερμηνείας και ανάλυσης δεδομένων βρίσκονται στο κεντρικό μενού. Στο Σχήμα Γ.2 απεικονίζεται το Μενού File, το οποίο αφορά τις λειτουργίες εισόδου και εξόδου. Τα μετρούμενα δεδομένα φορτώνονται στο WinSASW 2.0 με μορφή κειμένου ή μορφή ASCII. Τα αποδεκτά αρχεία δεδομένων είναι χρονοιστορίες, συναρτήσεις μεταφοράς και ετεροφασματικής ισχύος (*cross power spectra*). Τα συγκεκριμένα αρχεία δεδομένων μπορεί να είναι δεδομένα δύο καναλιών ή πολλαπλών καναλιών.



Σχήμα Γ.2 : Το Μενού File του WinSASW 2.0

Μέσω της επιλογής Masking, στο κεντρικό μενού, εκτελείται η διαδραστική απόρριψη, (Σχήμα Γ.3). Για την ορθή εφαρμογή της συγκεκριμένης λειτουργίας χρησιμοποιείται το φάσμα Gabor. Λεπτομέρειες πάνω στη συγκεκριμένη διαδικασία αναφέρονται στο

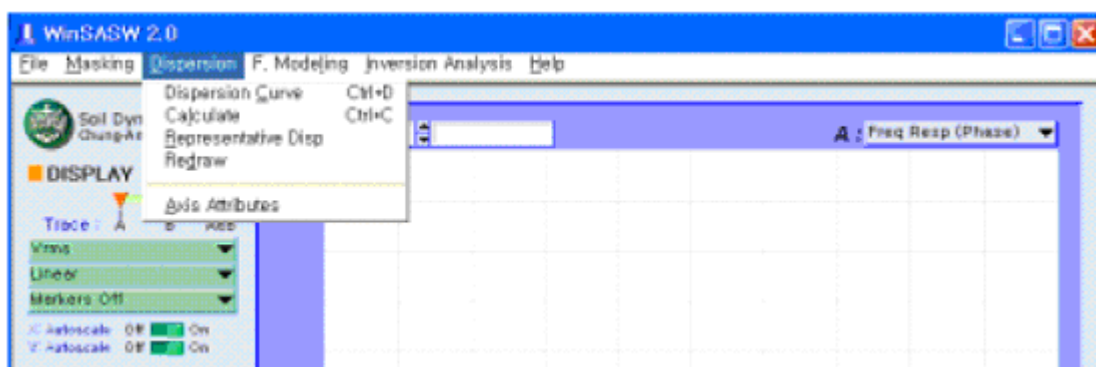
Κεφ. 2. .



Σχήμα Γ.3 : Το Μενού Masking του WinSASW 2.0

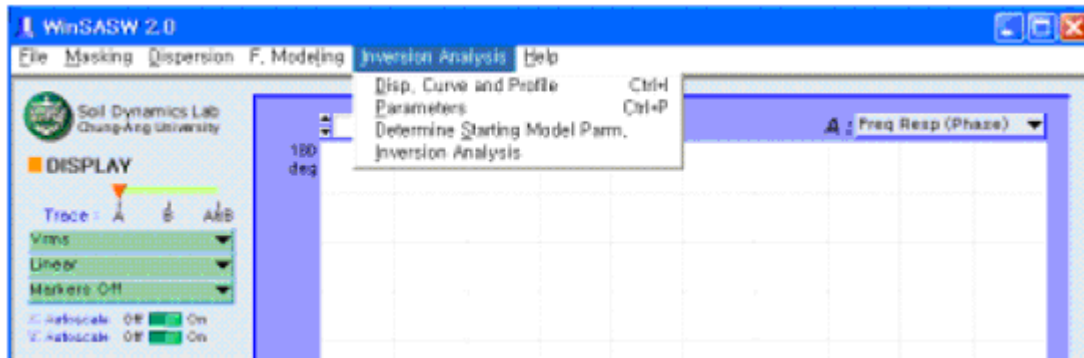
Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι πειραματικές καμπύλες διασποράς για όλες, ξεχωριστά, τις αποστάσεις αποδεκτών, και ακολουθεί ο σχηματισμός των αντιπροσωπευτικών καμπυλών διασποράς για την αντίστροφη ανάλυση. Η αντίστροφη ανάλυση που χρησιμοποιείται από το WinSASW 2.0 χρησιμοποιεί δύο κατασκευής τύπους αντιπροσωπευτικής καμπύλης διασποράς : την Global και την Array.

Ο σχηματισμός των αντιπροσωπευτικών καμπυλών πραγματοποιείται μέσω ενός μενού συναρτήσεων, το οποίο ενεργοποιείται επιλέγοντας το μενού Dispersion και παρουσιάζεται στο Σχήμα Γ.4.



Σχήμα Γ.4: Το Μενού Dispersion του WinSASW 2.0

Το προφίλ της εγκάρσιας ταχύτητας κύματος, από την αντιπροσωπευτική καμπύλη διασποράς, υπολογίζεται μέσω της επιλογής του μενού Inversion Analysis, το οποίο απεικονίζεται στο Σχήμα Γ.5. Η αντιστροφή πραγματοποιείται επιλέγοντας έναν από τους δύο αλγόριθμους, Global ή Array.

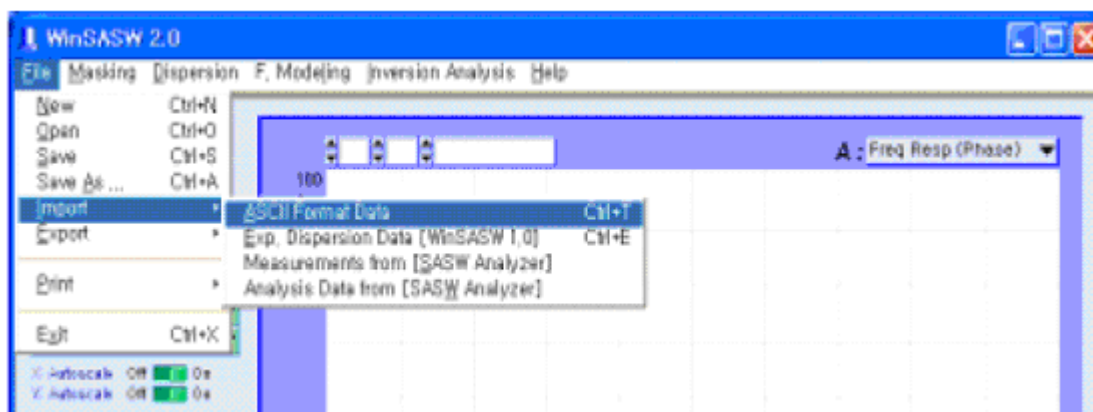


Σχήμα Γ.5 : Το Μενού Inversion Analysis του WinSASW 2.0

Γ.3 ASCII Format Data

Οι μετρήσεις SASW συνήθως παρουσιάζονται με τη βοήθεια αναλυτή δυναμικού σήματος. Οι περισσότεροι από τους αναλυτές δυναμικού σήματος έχουν ως χαρακτηριστικό γνώρισμα την αποθήκευση των επίκτητων δεδομένων στη δικιά τους ψηφιακή μορφή ή σε μορφή κειμένου (ή μορφή ASCII). Το WinSASW 2.0 απαιτεί τη διαμόρφωση των δεδομένων σε μορφή αρχείων κειμένου.

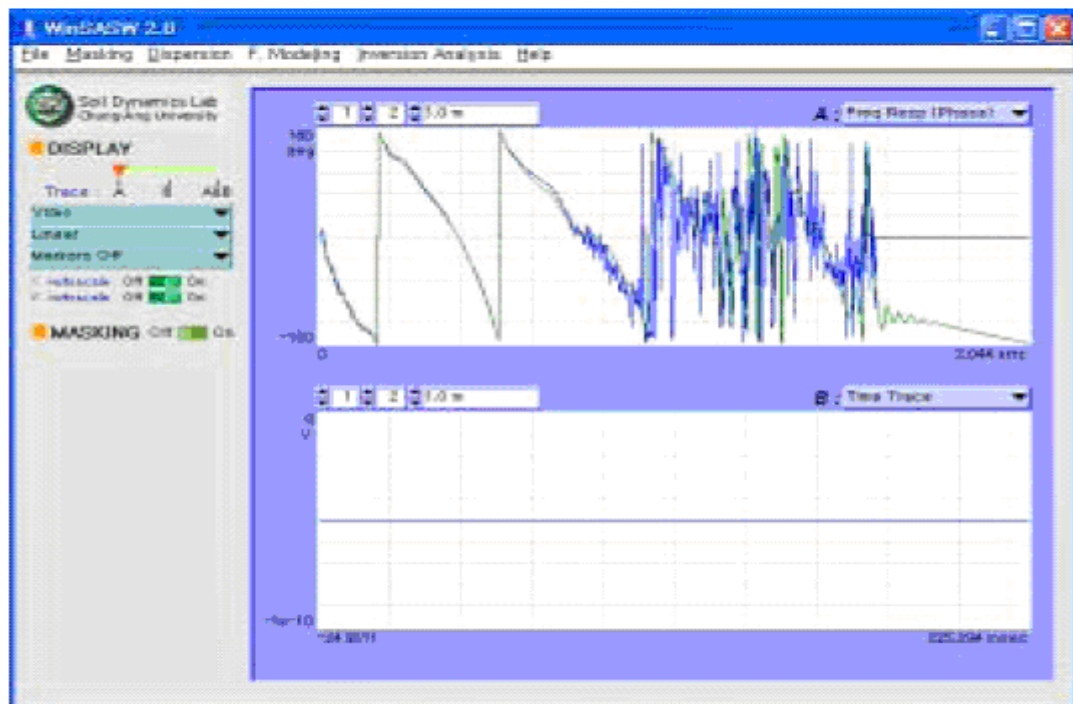
Στο Σχήμα Γ.6 παρουσιάζεται η επιλογή στο μενού File για την εισαγωγή δεδομένων σε μορφή ASCII στο WinSASW 2.0. Με την επιλογή του ASCII Format Data, ανοίγει το πλαίσιο διαλόγου, που απεικονίζεται στο Σχήμα Γ.7. Για την ορθή εισαγωγή των δεδομένων πρέπει να δίνονται ID μετρήσεων, ο τύπος δεδομένων, ο αριθμός των αποδεκτών, το όνομα δεδομένων του αρχείου, οι τοποθεσίες της πηγής και των αποδεκτών και τα κριτήρια του μήκους κύματος. Εκτελώντας την παραπάνω διαδικασία, το παράθυρο των μετρήσεων ανανεώνεται με τα καινούρια δεδομένα, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα Γ.8.



Σχήμα Γ.6 : Η Επιλογή ASCII Format Data του WinSASW 2.0



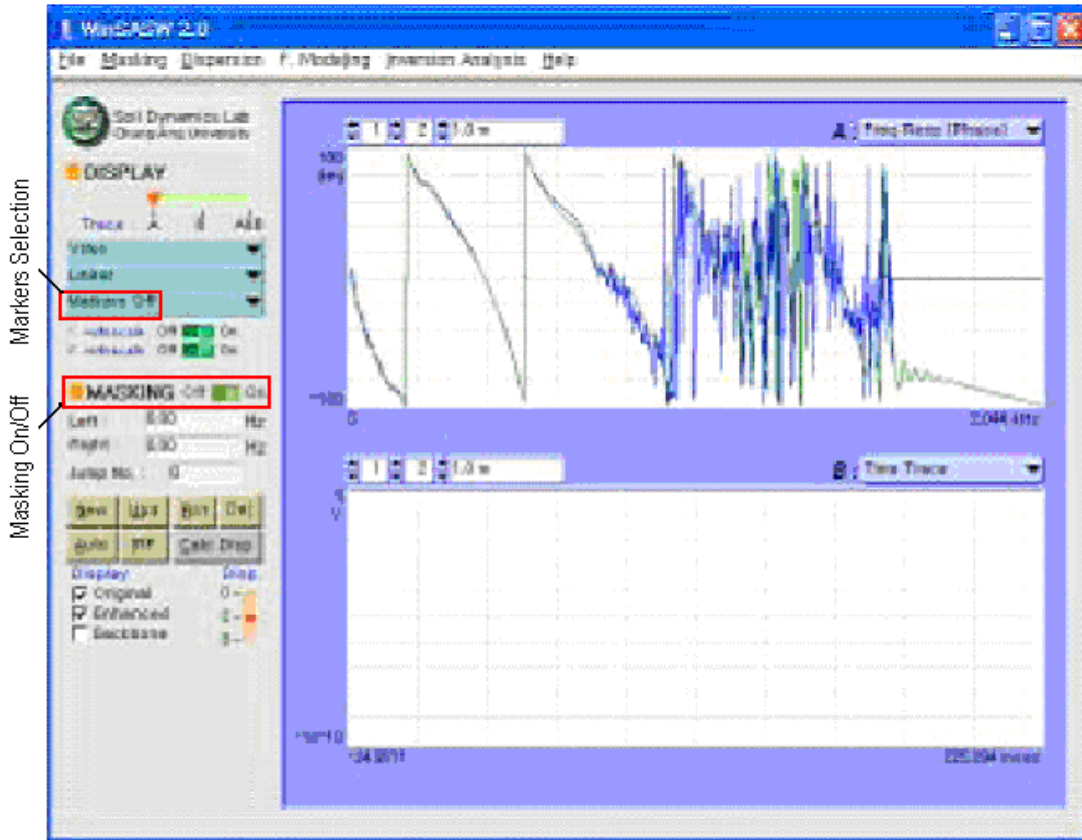
Σχήμα Γ.7 : Το Μενού ASCII Format Data του WinSASW 2.0



Σχήμα Γ.8 : Το Μενού ASCII Format Data του WinSASW 2.0

Γ.4 Διαδραστική Απόρριψη Περιοχής Φάσματος

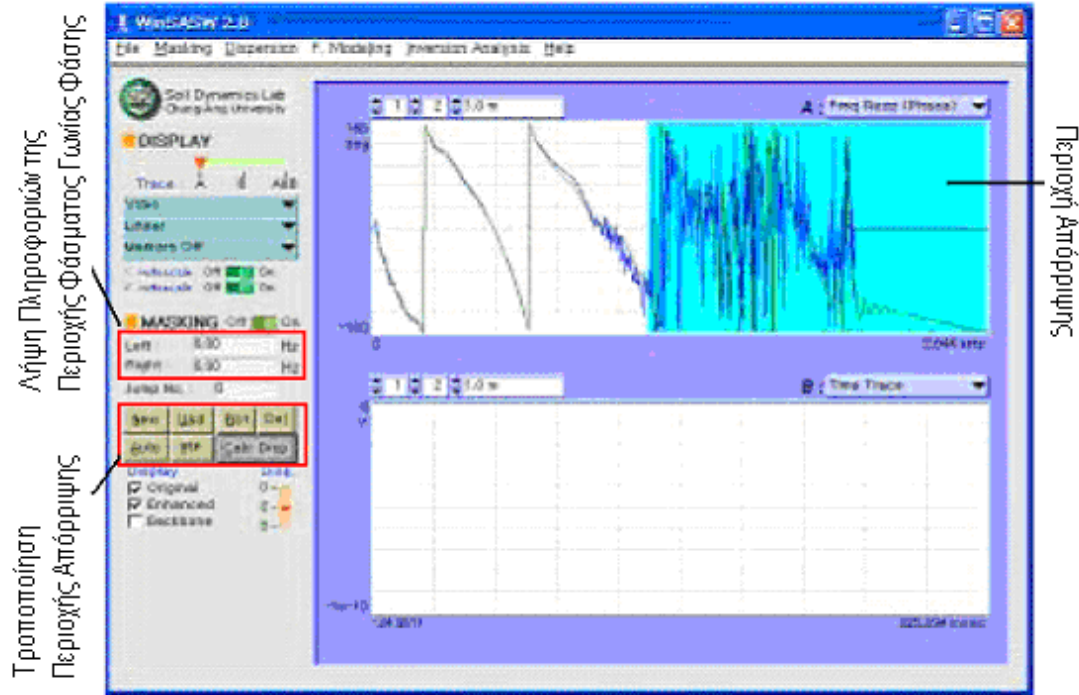
Η διαδικασία της διαδραστικής απόρριψης είναι το πιο σημαντικό βήμα ανάμεσα στις διαδικασίες ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων, καθώς απορρίπτει τα ανεπιθύμητα δεδομένα και προσδιορίζει τον κατάλληλο αριθμό κύκλων της πλεγμένης (*wrapped*) φάσης φάσματος, έτσι ώστε να αποκαλυφθεί το καθαρό (*unwrapped*) φάσμα φάσης και να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό της φασικής ταχύτητας. Το πρώτο βήμα της διαδικασίας είναι το άνοιγμα του Masking Mode πατώντας πάνω στην επιλογή On, δίπλα στην επιγραφή Masking (Σχήμα Γ.9). Άμεσα ενεργοποιούνται τα κουμπιά και τα πλαίσια επεξεργασίας. Η αφαίρεση των ανεπιθύμητων περιοχών του φάσματος φάσης, πραγματοποιείται πατώντας στην επιλογή Marker Selection, η οποία αρχικά δείχνει 'Markers off'. Το κουμπί επιλογής δεικτών είναι μια λίστα ελέγχου η οποία περιέχει τις εξής τρεις επιλογές: 'Dual Marker', 'Single Marker' και 'Markers off'. Με την επιλογή 'Dual Marker', παρουσιάζονται στην οθόνη του φάσματος δύο δείκτες-γραμμές διαφορετικού χρώματος. Ο δείκτης με το ιώδες χρώμα προσδιορίζει την αρχική συχνότητα της περιοχής απόρριψης, ενώ ο δείκτης με το κόκκινο χρώμα προσδιορίζει την τελική συχνότητα. Ο αριθμός των κύκλων, όπου η γωνία φάσης αλλάζει από -180° σε 180° , υπολογίζεται από μηδενική συχνότητα έως τον τελικό δείκτη. Όταν οι μετρήσεις είναι ανάμικτες με υψηλότερης συχνότητας κύματα, το φάσμα φάσης είναι περίπλοκο. Σε αυτήν την περίπτωση, ο υπολογισμός του σωστού αριθμού κύκλων βασίζεται στην ορθή κρίση του χρήστη. Όταν προσδιοριστεί η περιοχή απόρριψης, γίνεται η εγγραφή χρησιμοποιώντας το πλήκτρο 'New'.



Σχήμα Γ.9 : Άνοιγμα του Masking Mode για την Επεξεργασία του Φάσματος Γωνίας Φάσης.

Το Σχήμα Γ.10 είναι ένα παράδειγμα της περιοχής απόρριψης στο φάσμα.

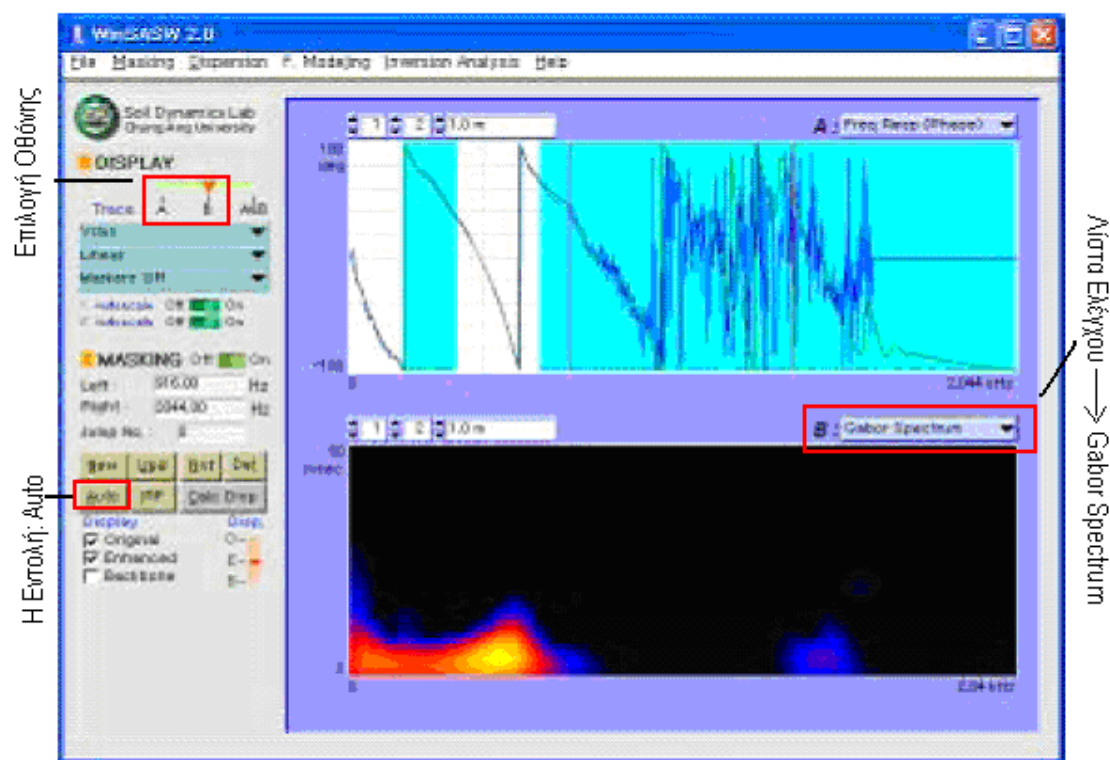
Τροποποίηση της ήδη υπάρχουσας περιοχής απόρριψης γίνεται με τα πλήκτρα Upd (Update) και Del (Delete). Η λήψη πληροφοριών της περιοχής, πραγματοποιείται με δεξί κλικ στο εσωτερικό της περιοχής. Οι πληροφορίες παρουσιάζονται στα πλαίσια διάταξης στα κέντρο – αριστερά του παραθύρου των μετρήσεων.



Σχήμα Γ.10 : Παράδειγμα της Διαδικασίας της Διαδραστικής Απόρριψης Περιοχής Φάσματος

Το πιο δύσκολο μέρος στην επεξεργασία και ανάλυση των μετρήσεων είναι ο σωστός προσδιορισμός του αριθμού των πλήρων κύκλων. Στην περίπτωση που οι εδαφικές συνθήκες είναι περίπλοκες, η κυρίαρχη συχνότητα άφιξης του κύματος είναι αναμεμιγμένη με άλλες υψηλότερης συχνότητας αφίξεις κυμάτων, οι οποίες εισάγουν παραπλανητικούς κύκλους στο φάσμα φάσης. Σε αυτή την περίπτωση, το φάσμα Gabor βοηθάει στην απαλλαγή των παραπλανητικών κύκλων και στην ορθή εκτίμηση του αριθμού τους. Η αξιοποίηση του φάσματος Gabor, πραγματοποιείται, αρχικά, πατώντας στο κουμπί 'Auto' στα κέντρο-αριστερά του παραθύρου των μετρήσεων. Με την επιλογή 'Auto' ανανεώνεται το φάσμα της φάσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα Γ.11. Το φάσμα Gabor απεικονίζεται επιλέγοντας Gabor Spectrum στη λίστα ελέγχου στην οθόνη B.

Το φάσμα Gabor χρησιμοποιείται για τη λήψη των σωστών παραμέτρων φίλτρου, τα οποία χρησιμοποιούνται στην τεχνική IRF. Η τεχνική IRF (Σχήμα Γ.12) χρησιμοποιείται για την βελτίωση της γωνίας φάσης του φάσματος και την απαλλαγή από τα συστατικά μέρη υψηλότερης συχνότητας που παρεμβαίνουν.



Σχήμα Γ.11 : Παράδειγμα Αυτόματης Επιλογής Περιοχής Απόρριψης του Φάσματος και του Αντίστοιχου Φάσματος Gabor

Parameters of IR Filtration (IRF)

Cat. of Test Site : **Geotechnical Site**

IRF Mode : **Low Mode** / **High Mode**

Factors for the Filter

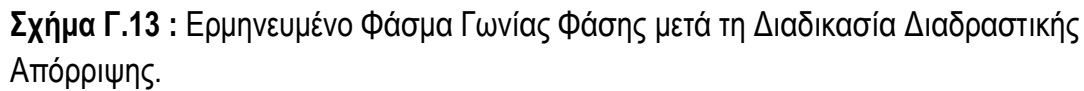
Enhanced Curve		Backbone Curve	
T1 :	0.000000	T1 :	0.001000
T2 :	0.001000	T2 :	0.001053
T3 :	0.010214	T3 :	0.010214
T4 :	0.020428	T4 :	0.010214

* Total record length = 0.250245

OK Apply Close

Σχήμα Γ.12 : Παράμετροι της τεχνικής IRF

Σχήμα Γ.13 : Ερμηνευμένο Φάσμα Γωνίας Φάσης μετά τη Διαδικασία Διαδραστικής Απόρριψης.



Γ.5 Προσδιορισμός της Καμπύλης Διασποράς της Φασικής Ταχύτητας

Οι φασικές ταχύτητες για συχνότητες ή μήκη κύματος υπολογίζονται με την επιλογή 'Calc Disp' στην κέντρο-αριστερή περιοχή, όπως υποδεικνύεται στο Σχ. Γ.13.

Στο Σχήμα Γ.14 παρουσιάζονται οι υπολογισμένες φασικές ταχύτητες από το φάσμα φάσης του Σχ. Γ.13, το οποίο έχει προσδιοριστεί για απόσταση ανάμεσα στους αποδέκτες ίση με 1m .

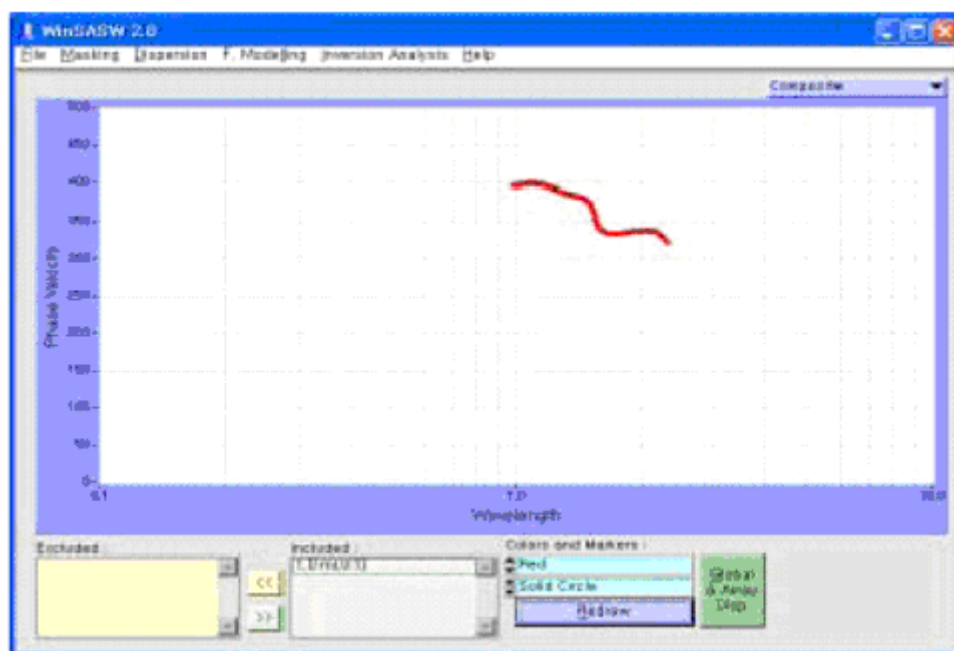
Η σχέση μεταξύ μήκους κύματος (ή συχνότητας) και φασικής ταχύτητας ονομάζεται καμπύλη διασποράς φασικής ταχύτητας (phase velocity dispersion curve). Όταν η καμπύλη διασποράς προσδιορίζεται πειραματικά στο πεδίο, τότε ονομάζεται πειραματική καμπύλη διασποράς (experimental dispersion curve). Επίσης, όταν μία σειρά μετρήσεων SASW εκτελούνται χρησιμοποιώντας διαφορετικές αποστάσεις ανάμεσα στους αποδέκτες, οι καμπύλες διασποράς για όλες τις διαφορετικές αποστάσεις συνδυάζονται σε μία καμπύλη διασποράς σχηματίζοντας μια ολοκληρωμένη καμπύλη διασποράς για τις δεδομένες εδαφολογικές συνθήκες. Η συνδυαστική πειραματική καμπύλη διασποράς ονομάζεται σύνθετη πειραματική καμπύλη διασποράς (composite experimental dispersion curve), όπως φαίνεται στο Σχήμα Γ.15.

Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα τροποποίησης της γραφικής παράστασης της πειραματικής καμπύλης διασποράς. Ο άξονα-x, αντιπροσωπεύει τις τιμές της συχνότητας ή του μήκους κύματος. Οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές των x- και y - αξόνων είναι δυνατό να αλλάξουν. Επίσης, είναι διαθέσιμη η επιλογή λογαριθμικής ή γραμμικής παρουσίασης της καμπύλης. Η αλλαγή των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της γραφικής παράστασης πραγματοποιείται πατώντας διπλό κλικ στο εσωτερικό του γραφήματος, όπου παρουσιάζεται το πλαίσιο διαλόγου του Σχήματος Γ.16.

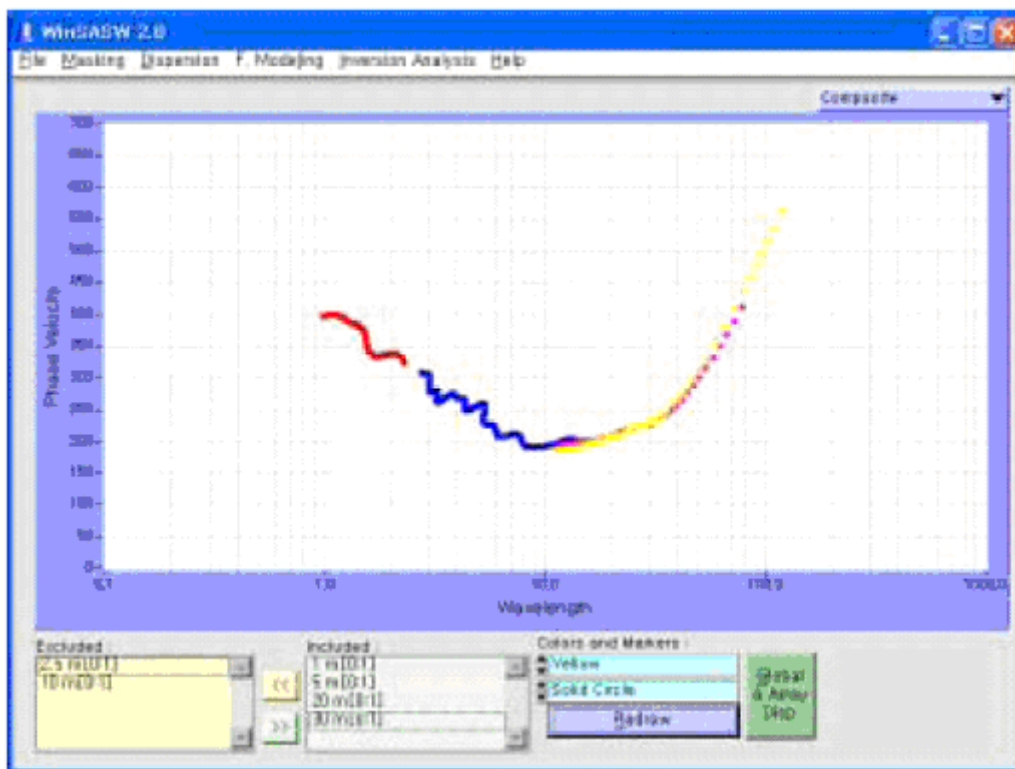
Συνήθως η σύνθετη πειραματική καμπύλη διασποράς περιέχει περισσότερα από 1.000 δεδομένα σημεία σε μία γραφική παράσταση. Ο υπολογισμός της καμπύλης διασποράς της ταχύτητας εγκάρσιου κύματος μέσω της αντίστροφης ανάλυσης, απαιτεί πολύ χρόνο για να ολοκληρωθεί, αν χρησιμοποιούνται όλα τα δεδομένα της σύνθετης καμπύλης. Συνεπώς, είναι προτιμότερο να σχηματιστεί η αντιπροσωπευτική καμπύλη (representative curve) της σύνθετης πειραματικής καμπύλης διασποράς, η οποία περιέχει μικρότερο αριθμό σημείων.

Μέσα στο WinSASW 2.0, είναι διαθέσιμοι δύο διαφορετικοί τύποι αντιπροσωπευτικών καμπύλων. Ο τύπος Global, σύμφωνα με τον οποίο η καμπύλη διασποράς αντιπροσωπεύει όλα τα δεδομένα διασποράς της σύνθετης καμπύλης, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη θέση των γεωφώνων, και ο τύπος

Array, σύμφωνα με τον οποίο η αντιπροσωπευτική καμπύλη διασποράς είναι ο συνδυασμός όλων των ανεξάρτητων αντιπροσωπευτικών καμπυλών διασποράς, οι οποίες αντιπροσωπεύουν, για κάθε διαφορετική απόσταση γεωφώνων, την ατομική πειραματική καμπύλη διασποράς. Πλεονέκτημα του τύπου Array είναι η διατήρηση των θέσεων της πηγής και των γεωφώνων. Η αντιπροσωπευτική καμπύλη διασποράς είναι δυνατό να τροποποιηθεί, παρεμβαίνοντας στον αριθμό των δεδομένων σημείων της καμπύλης, στο σχήμα της καμπύλης, στους άξονες κ.τ.λ. Οι παράμετροι για τον προσδιορισμό της αντιπροσωπευτικής καμπύλης διασποράς παρουσιάζονται και τροποποιούνται στο κουτί διαλόγου του Σχήματος Γ.17. Οι δύο τύποι αντιπροσωπευτικών καμπυλών παρουσιάζονται στα Σχήματα Γ.18 και Γ.19.

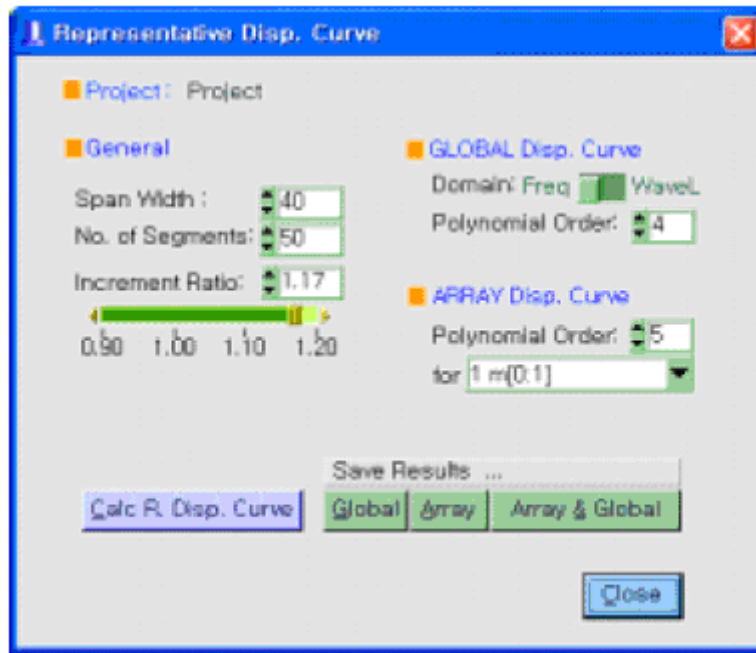


Σχήμα Γ.14 : Πειραματική Καμπύλη Διασποράς για Απόσταση Αποδεκτών 1m

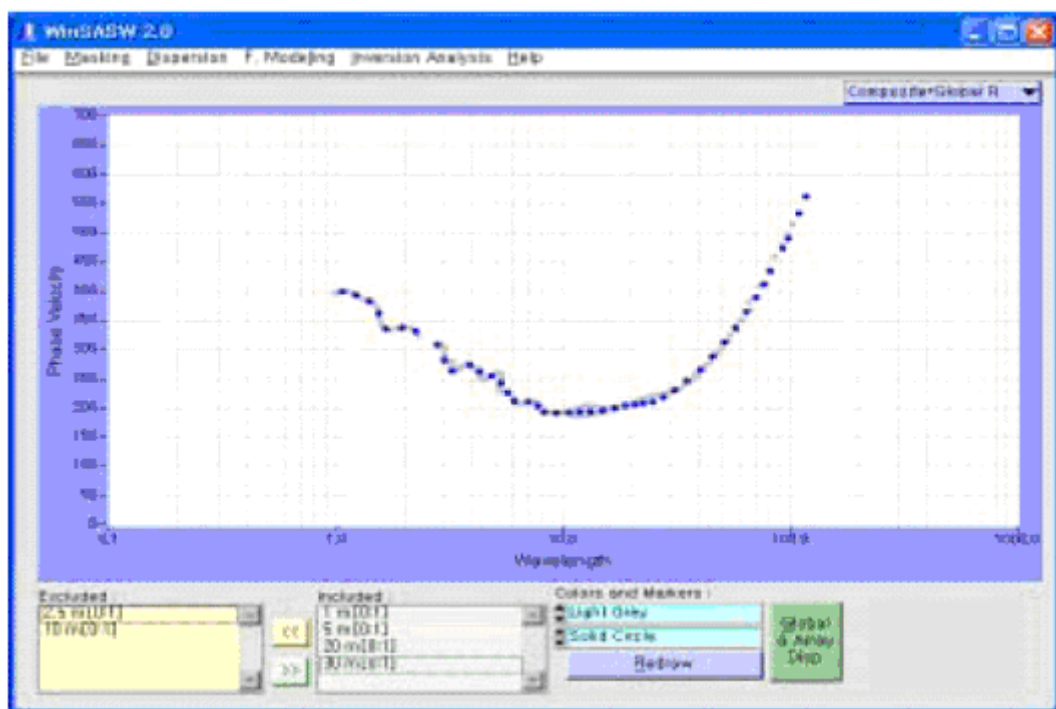


Σχήμα Γ.15 : Σύνθετη Πειραματική Καμπύλη Διασποράς για Αποστάσεις Αποδεκτών 1, 5, 20 και 30m

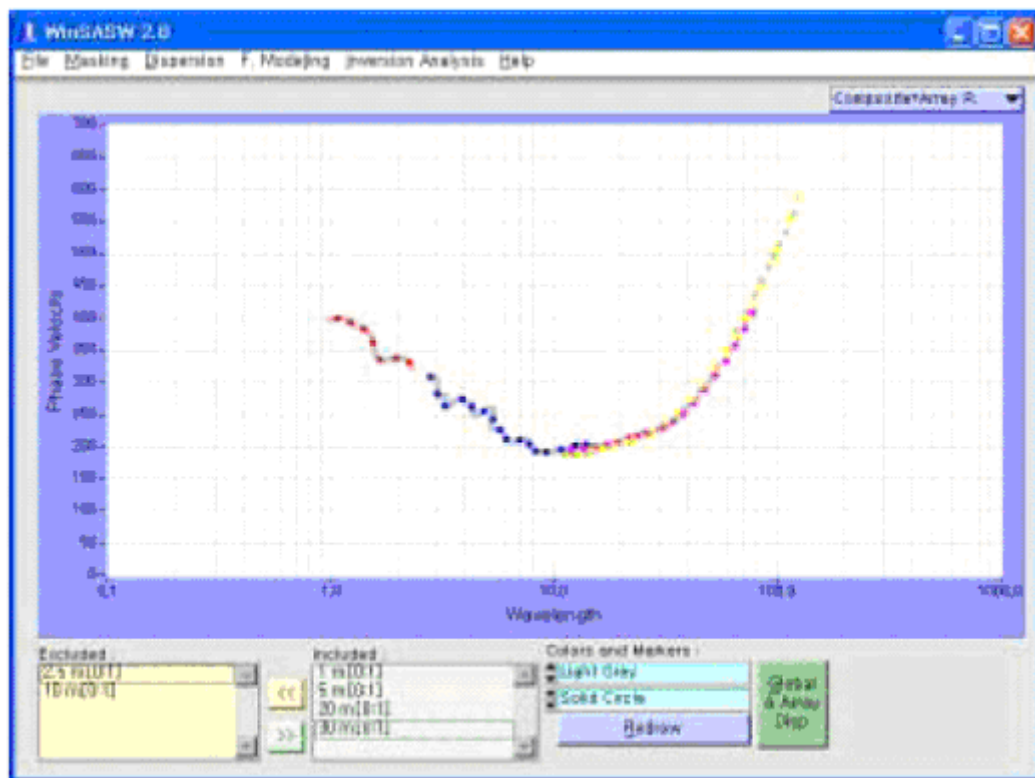
Σχήμα Γ.16 : Η Αλλαγή των Χαρακτηριστικών Γνωρισμάτων της Καμπύλης Διασποράς



Σχήμα Γ.17 : Παράμετροι για τον Προσδιορισμό της Αντιπροσωπευτικής Καμπύλης Διασποράς



Σχήμα Γ.18 : Σχηματισμός Αντιπροσωπευτικής Καμπύλης Διασποράς τύπου Global από το Σχ. Γ.15



Σχήμα Α.19 : Σχηματισμός Αντιπροσωπευτικής Καμπύλης Διασποράς τύπου Array από το Σχ. Γ.15

Γ.6 Αντίστροφη Ανάλυση

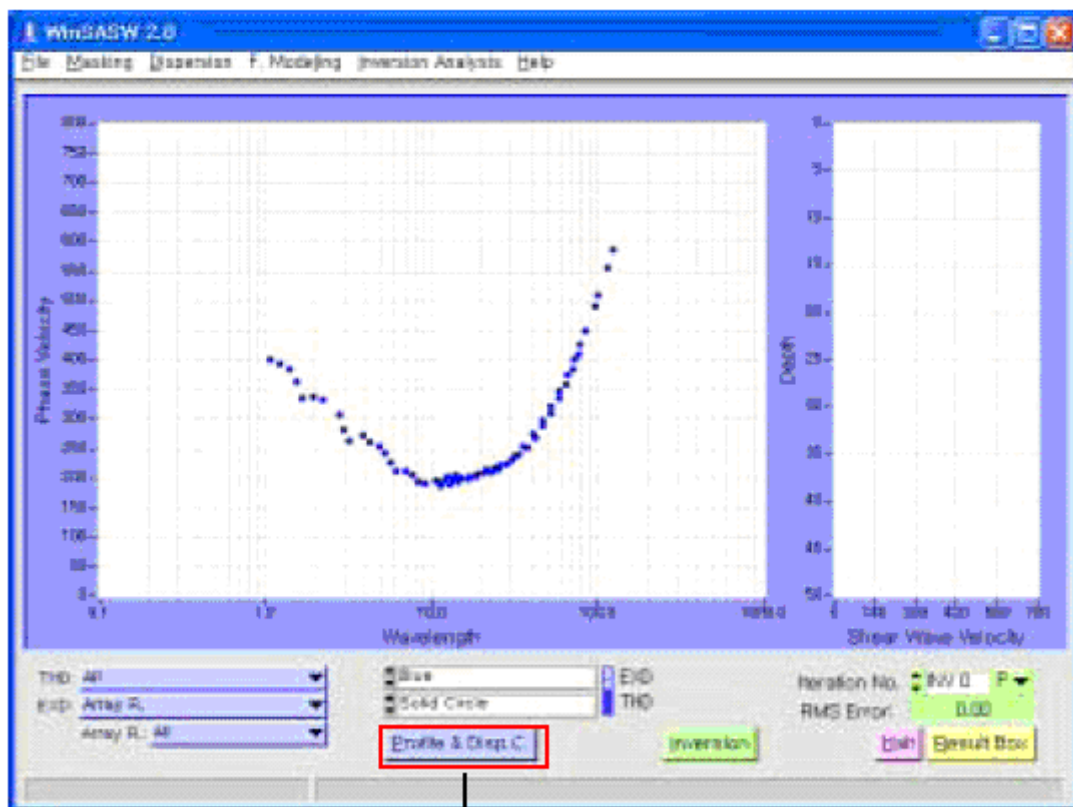
Η επιλογή, στο κεντρικό μενού Inversion Analysis, ‘Disp. Curve and Profile’ εμφανίζει το κυριότερο παράθυρο για την εφαρμογή της αντίστροφης ανάλυσης. Στο Σχήμα Γ.20 απεικονίζεται το παράθυρο που ελέγχει την αντίστροφη ανάλυση.

Η αντίστροφη ανάλυση αποτελείται από τρία σημαντικά βήματα: Την υπόθεση των στρωμάτων του υπεδάφους και των δεδομένων διασποράς, τον προσδιορισμό των αρχικών παραμέτρων του μοντέλου, και την αντίστροφη ανάλυση σύμφωνα με τη τεχνική της Μέγιστης Πιθανοφάνειας.

Γ.6.1 Η Διαστρωμάτωση του Υπεδάφους και τα Δεδομένα Διασποράς για την Αντίστροφη Ανάλυση

Η αντίστροφη ανάλυση του WinSASW 2.0 απαιτεί να δίνεται η διαστρωμάτωση του υπεδάφους. Ο αριθμός των στρωμάτων, το πάχος των στρωμάτων, η πυκνότητα μάζας, ο λόγος του Poisson και ο παράγοντας απόσβεσης είναι οι πληροφορίες που πρέπει να παρέχονται για την εκτέλεση της αντίστροφης ανάλυσης. Η αντίστροφη ανάλυση δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την πυκνότητα μάζας, τον λόγο Poisson και τον παράγοντα απόσβεσης, συνεπώς στις συγκεκριμένες παραμέτρους δίνονται λογικές τιμές.

Με την επιλογή ‘Profile & Disp. C.’ εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο καθορίζονται ο τύπος ανάλυσης, η διαστρωμάτωση του εδάφους και η αντιπροσωπευτική καμπύλη διασποράς, όπως φαίνεται στα Σχήματα Γ.21 και Γ.22. Επίσης στα Σχήματα Γ.23 και Γ.24 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα διαστρωμάτωσης και δεδομένων διασποράς.



Η εντολή : Profile & Disp. C

Σχήμα Γ.20 : Το Κύριο Παράθυρο για τη Διαδικασία της Αντίστροφης Ανάλυσης

	Thickness	P-Wave Vel.	S-Wave Vel.	Density	Poisson's R.	Damping F.
L1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
L2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
L3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
L4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
L5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
L6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
L7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
L8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
L9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
L10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Dfile	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Σχήμα Γ.21 : Παράμετροι για την Αντίστροφη Ανάλυση : Καθορισμός Τύπου Ανάλυσης και Προφίλ του Εδάφους

Parameters for Forward Modeling Analysis

Dispersion Curves: ☒ Global Disp. ☐ Array Disp.

No. of Points: 50
Increment Ratio: 1.0700 (between points)

Rep. Disp. Curve Available ?
None Exd Wind. File Load

Global Dispersion Curve

Receiver Location: R1=2L, R2=4L
R1= 1.00
R2= 2.00

X Domain: WaveL
Freq.

Min. WaveL: 1.00
Max. WaveL: 100.00

Array Dispersion Curve

Read F. Modeling Param. Save F. Modeling Param. Update Close

Σχήμα Γ.22 : Παράμετροι για την Αντίστροφη Ανάλυση : Ο Τύπος της Καμπύλης Διασποράς και τα Δεδομένα Διασποράς που Εφαρμόζονται

Parameters for Forward Modeling Analysis

Analysis Type: 2D 3D Enhanced 3D ☒ F. of Dept. Subl: 1.75
SubLayers: 16

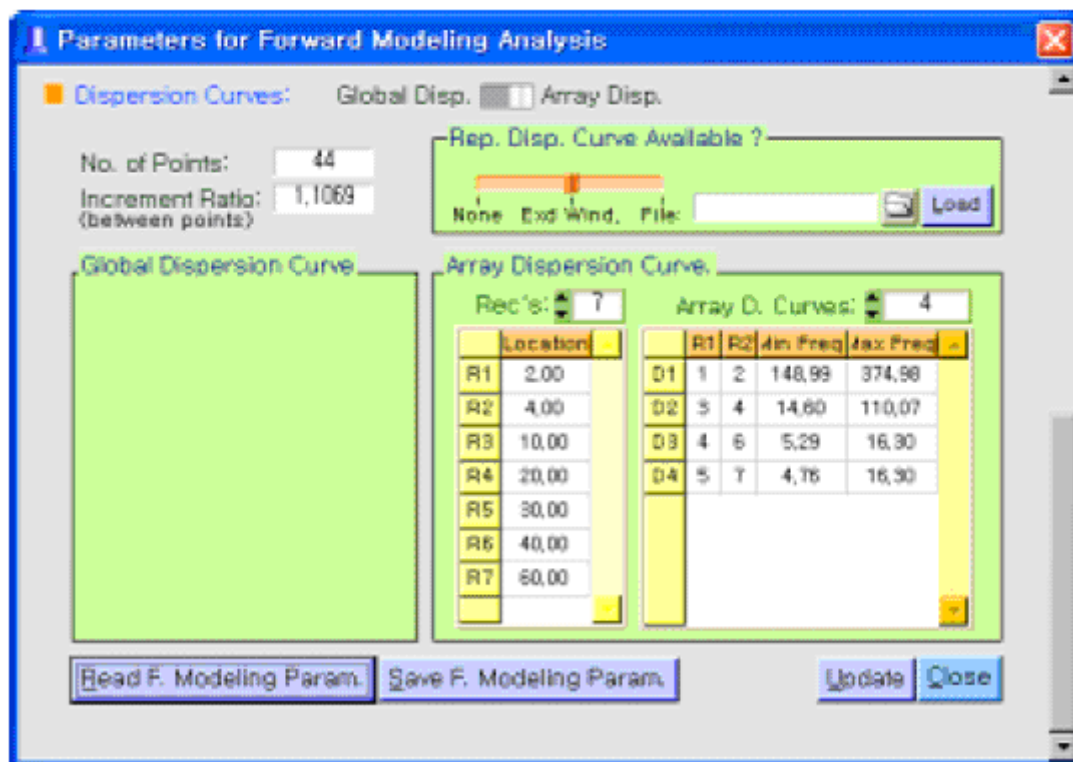
Soil Profile No. of Layers: 14

	Thickness	P-Wave Vel.	S-Wave Vel.	Density	Poisson's R.	Damping F.
L1	0.5000	0.0000	150.0000	1.9720	0.3333	0.0200
L2	0.5000	0.0000	150.0000	1.9720	0.3333	0.0200
L3	1.0000	0.0000	150.0000	1.9720	0.3333	0.0200
L4	1.0000	0.0000	150.0000	1.9720	0.3333	0.0200
L5	1.0000	0.0000	150.0000	1.9720	0.3333	0.0200
L6	2.0000	0.0000	150.0000	1.9720	0.3333	0.0200
L7	2.0000	0.0000	150.0000	1.9720	0.3333	0.0200
L8	2.0000	0.0000	150.0000	1.9720	0.3333	0.0200
L9	5.0000	0.0000	150.0000	1.9720	0.3333	0.0200
L10	5.0000	0.0000	150.0000	1.9720	0.3333	0.0200
Dirt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Apply All Apply All Apply All Apply All Apply All Apply All

Insert a Layer after Layer 10
Delete Layer..... Copy from INV 0 Clear All

Σχήμα Γ.23 : Παράδειγμα Τύπου Ανάλυσης και Διαστρωμάτωσης Εδάφους για την Αντίστροφη Ανάλυση



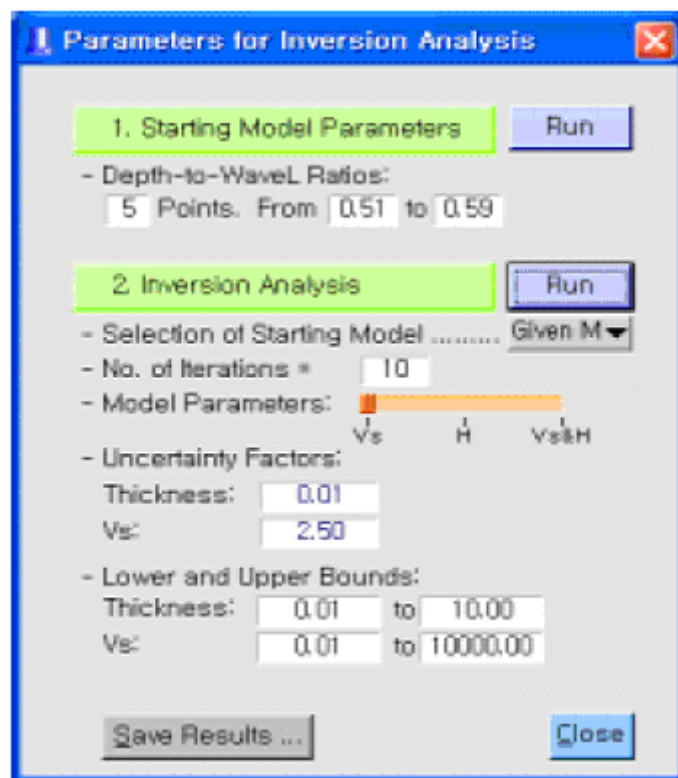
Σχήμα Γ.24 : Παράδειγμα της Καμπύλης Διασποράς που εφαρμόζεται στην Αντίστροφη Ανάλυση

Γ.6.2 Προσδιορισμός του Αρχικού Μοντέλου για την Αντίστροφη Ανάλυση

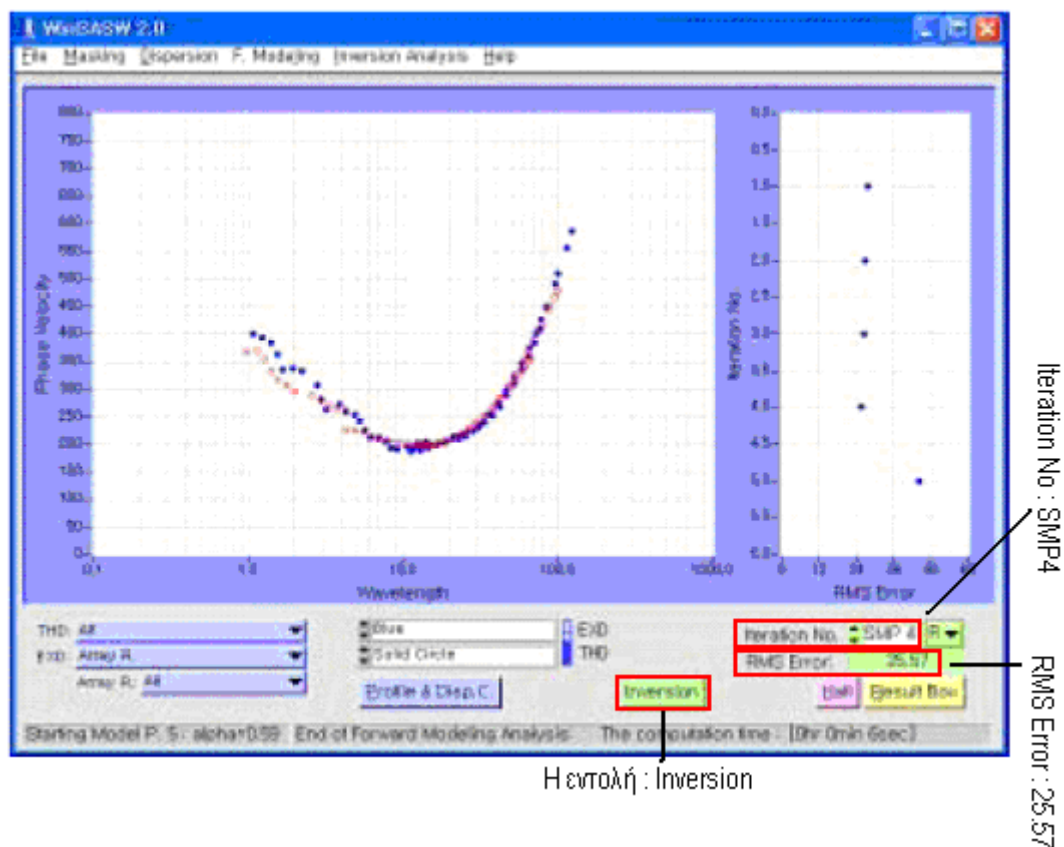
Η αντίστροφη ανάλυση στο WinSASW 2.0 χρειάζεται ένα αρχικό μοντέλο, το οποίο αποτελεί τις αρχικές τιμές των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία αντιστροφής. Αν η αντίστροφη ανάλυση αντιστρέφει μόνο τις εγκάρσιες ταχύτητες, τότε το αρχικό μοντέλο είναι το αρχικό προφίλ ταχύτητας εγκάρσιου κύματος. Στο Σχήμα Γ.25 απεικονίζεται το πλαίσιο διαλόγου, για τον έλεγχο της αντίστροφης ανάλυσης, το οποίο ενεργοποιείται επιλέγοντας την εντολή 'Inversion'. Το αρχικό μοντέλο του προφίλ ταχύτητας εγκάρσιου κύματος λαμβάνεται με την επιλογή Run, δίπλα στην επιγραφή '1. Starting Model Parameters'. Στην περίπτωση του Σχ. Γ.25 λαμβάνονται πέντε αρχικά μοντέλα παραμέτρων για διαφορετικούς λόγους βάθους προς μήκος κύματος, από 0.51 έως 0.59.

Στο Σχήμα Γ.26 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα του αρχικού μοντέλου. Το αριστερό διάγραμμα συγκρίνει την πειραματική καμπύλη διασποράς με τη θεωρητική. Η θεωρητική καμπύλη διασποράς έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του αρχικού μοντέλου που έχουν εκτιμηθεί. Το δεξί διάγραμμα παρουσιάζει τη διακύμανση του RMS – error σε σχέση με τον αριθμό επανάληψης.

Η τιμή του RMS – Error δείχνει πόσο μακριά είναι η θεωρητική καμπύλη διασποράς από τα μετρούμενα δεδομένα διασποράς. Συνεπώς, όσο μικρότερο είναι το RMS – error, τόσο καλύτεροι είναι οι παράμετροι του αρχικού μοντέλου. Στην περίπτωση του Σχ. Γ.26, το τέταρτο αρχικό μοντέλο (SMP4) έχει το μικρότερο RMS error, 25.57. Οι συγκεκριμένοι παράμετροι αρχικού μοντέλου θα χρησιμοποιηθούν στην αντίστροφη ανάλυση.



Σχήμα Γ.25 : Πλαίσιο Διαλόγου για τον Έλεγχο της Αντίστροφης Ανάλυσης



Σχήμα Γ.26 : Εξέταση των Παραμέτρων του Αρχικού Μοντέλου : Σύγκριση της Πειραματικής και της Θεωρητικής Καμπύλης Διασποράς και η Διακύμανση του RMS Error με τον Αριθμό Επανάληψης

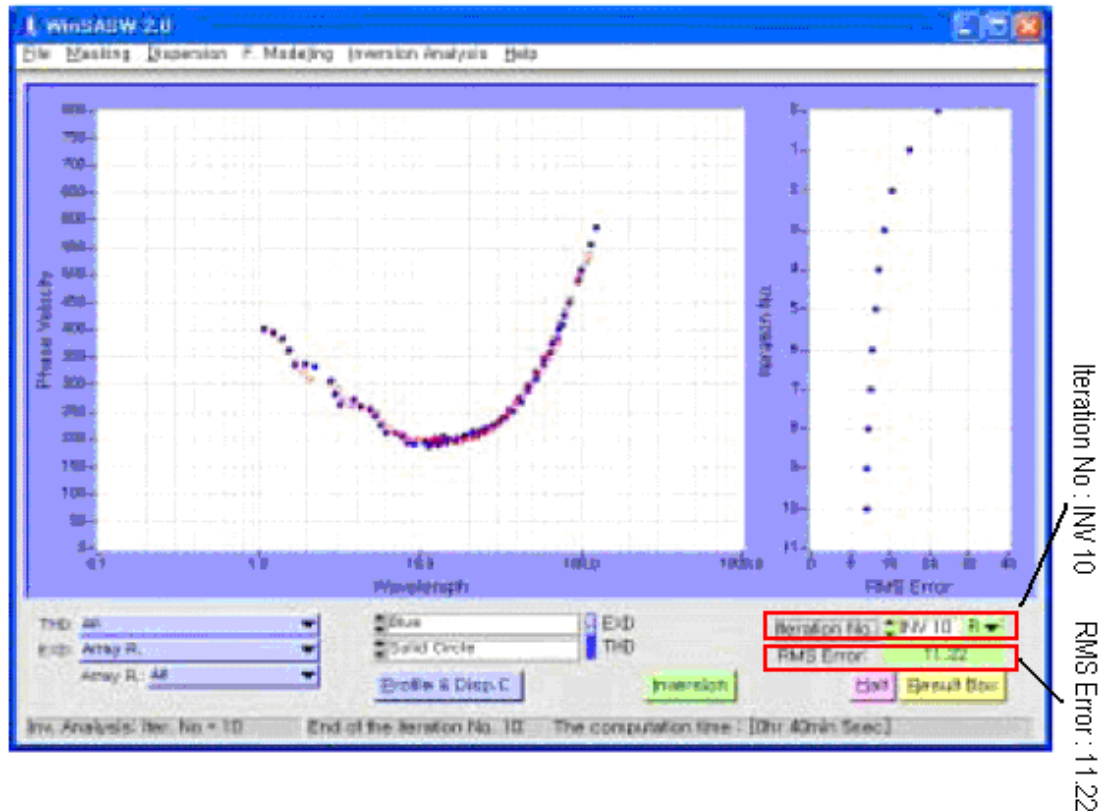
Γ.6.3 Η Αντίστροφη Ανάλυση

Η έναρξη της διαδικασίας της αντιστροφής πραγματοποιείται μέσω του πλαισίου διαλόγου του Σχ. Γ.25, επιλέγοντας 'Run', δίπλα στην επιγραφή '2. Inversion Analysis'.

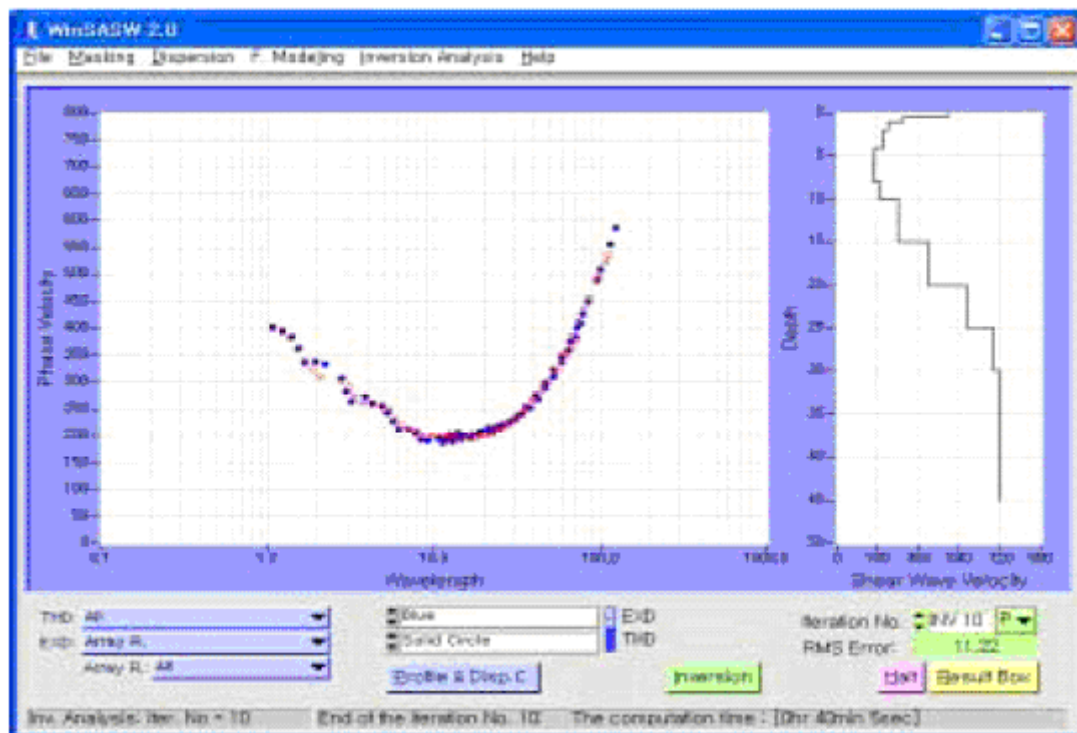
Στο Σχήμα Γ.27 παρουσιάζεται η διακύμανση του RMS error μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας αντιστροφής. Η 10^η επανάληψη δείχνει το μικρότερο RMS error, το οποίο υποδεικνύει ότι είναι η βέλτιστη. Το προφίλ της ταχύτητας εγκάρσιου κύματος που αντιστοιχεί στην 10^η επανάληψη παρουσιάζεται στο Σχήμα Γ.28.

Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα στην αντίστροφη ανάλυση είναι πόσο βαθιά μπορεί να επιλυθεί η ταχύτητα εγκάρσιου κύματος. Η τιμή του resolution number, υποδεικνύει πόσο καλά έχουν επιλυθεί οι παράμετροι του μοντέλου στην κλίμακα από 0 έως 1, Σχήμα Γ.29.

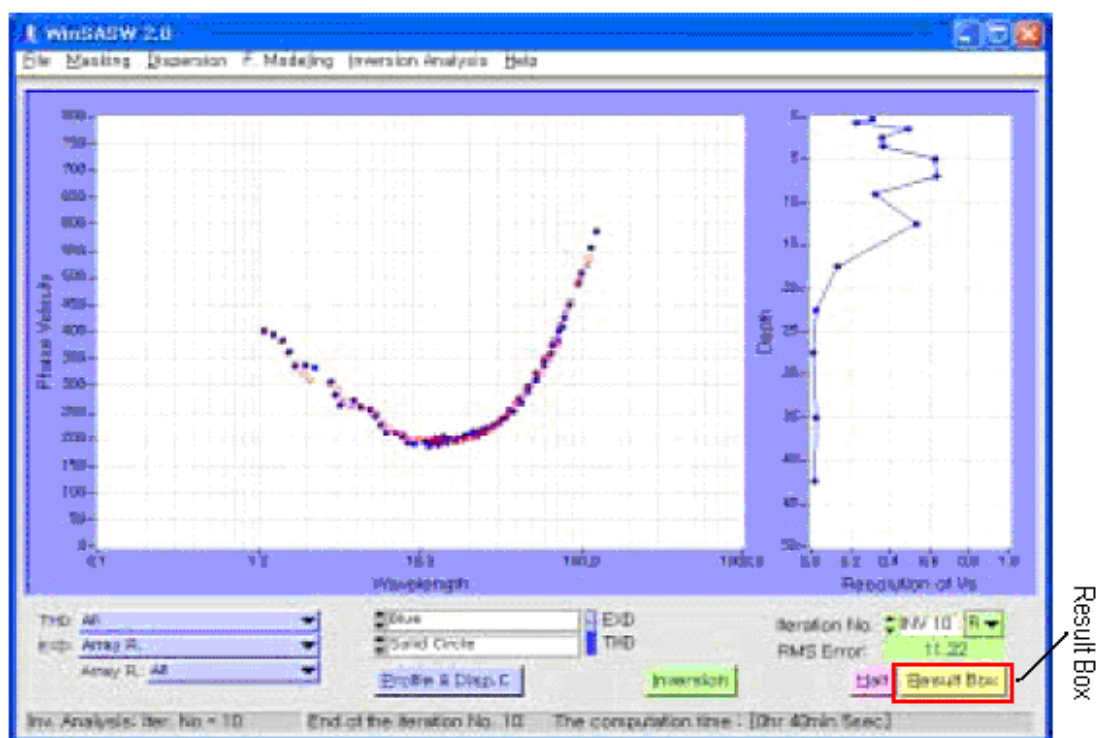
Επιλέγοντας την επιλογή Result Box στην κάτω δεξιά γωνία του παραθύρου της αντίστροφης ανάλυσης δίνονται τα αποτελέσματα σε μορφή κειμένου, Σχήμα Γ.30.



Σχήμα Γ.27 : Αποτέλεσμα της Αντίστροφης Ανάλυσης : Σύγκριση Πειραματικής και Θεωρητικής Καμπύλης Διασποράς, RMS_ Error



Σχήμα Γ.28 : Αποτέλεσμα της Αντίστροφης Ανάλυσης : Προφίλ Ταχύτητας Εγκάρσιου Κύματος



Σχήμα Γ.29 : Αποτέλεσμα της Αντίστροφης Ανάλυσης : Resolution της Ταχύτητας Εγκάρσιου Κύματος

Tables of Analysis Results

Layer Properties

Layer No.	Depth	Thick.	Cp	Cs	Rho	
1	0.000	0.500	856.365	428.214	1.972	0
2	0.500	0.500	610.776	305.411	1.972	0
3	1.000	1.000	451.621	225.827	1.972	0
4	2.000	1.000	390.172	195.100	1.972	0
5	3.000	1.000	331.720	165.872	1.972	0
6	4.000	2.000	366.910	183.469	1.972	0
7	6.000	2.000	386.762	193.395	1.972	0
8	8.000	2.000	411.966	205.998	1.972	0
9	10.000	5.000	544.645	272.343	1.972	0
10	15.000	5.000	651.363	325.706	1.972	0
11	20.000	5.000	1053.390	526.734	1.972	0
12	25.000	5.000	1316.975	658.537	1.972	0
13	30.000	10.000	1328.702	664.401	1.972	0
14	40.000	4000.000	1318.485	659.292	1.972	0

Save ... Close

Σχήμα Γ.30 : Αποτέλεσμα της Αντίστροφης Ανάλυσης σε Μορφή Κειμένου

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. **Άκης Τσελέντης**, "Σύγχρονη Σεισμολογία, Τόμος Α'. " Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1997.
2. **Κρητικάκης Σ. Γιώργος και Βαφείδης Αντώνιος**, "Εκτίμηση της ταχύτητας των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων και των δυναμικών μηχανικών παραμέτρων από καταγραφές επιφανειακών κυμάτων Rayleigh." Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2001.

Διεθνής Βιβλιογραφία

1. **Joh, S.-H**, "Advances in the data interpretation technique for Spectral – Analysis - of – Surface Waves (SASW) measurements." University of Texas at Austin, 1996.
2. **Gucunski, N. and R. Peek** , "Vertical vibrations of circular flexible foundations on layered media." Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1993.
3. **Gucunski, N. And R. D. Woods**, "Inversion of Rayleigh waves dispersion curve for SASW test." Proceedings of the 5th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1991.
4. **Gucunski, N. And R. D. Woods**, "Use of Rayleigh modes in interpretation of SASW test." Proceedings of Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 1991.

5. **Gucunski, N. And R. D. Woods**, "Numerical simulation of the SASW test." Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1992.
6. **Nazarian, S. And M. R. Desai**, "Automated surface wave method: field testing." Journal of Geotechnical Engineering, 1992.
7. **Rix, Glenn J. And E. A. Leipski**, "Accuracy and Resolution of surface wave inversion." Recent Advances in Instrumentation, Data Acquisition and Testing in Soil Dynamics, 1991.
8. **Tokimatsu, K., S. Tamura and H. Kojima** "Effects of multiple modes on Rayleigh wave dispersion characteristics." Journal of Geotechnical Engineering, 1992.
9. **Tarantola, A.** Inverse problem Theory: Methods for Data Fitting and Model Parameter Estimation. 600 pp., New York: Elsevier, 1987.