



Π Ο Λ Υ Τ Ε Χ Ν Ε Ι Ο Κ Ρ Η Τ Η Σ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΘΕΣΕΙΣ
ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΩΝ ΣΤΟ
Ν.ΛΑΣΙΘΙΟΥ**

ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗ ΖΑΧΑΡΕΝΙΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης (Επιβλέπων)

Στειακάκης Εμμανουήλ, Επίκουρος Καθηγητής Πολυτεχνείου
Κρήτης

Σουπιός Παντελής, Καθηγητής του Τμήματος Φυσικών Πόρων και
Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης

Χανιά, Δεκέμβριος 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1.1 Σύντομη περιγραφή αντικειμένου	8
1.2 ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ.....	9
1.2.1 Εισαγωγή	9
1.2.2 Επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών	10
1.2.3 Αντισεισμικός κανονισμός: Ευρωκώδικας 8 (EC8).....	11
1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	13
1.3.1 Περιοχή Αγίου Νικολάου	13
1.3.2 Περιοχή Σητείας	14
1.3.3 Περιοχή Ζάκρου	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	17
2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	17
2.1.1 Βασικές αρχές ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης	17
2.1.2 Βασικές αρχές σεισμικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης	18
2.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	21
2.2.1 Μεθοδολογία απόκτησης δεδομένων	23
2.2.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας δεδομένων	24
2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ	28
2.3.1 Μεθοδολογία απόκτησης δεδομένων	28
2.3.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας δεδομένων	29
2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ RAYLEIGH	33
2.4.1 Πολυκάναλη ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων MASW και Re-Mi	34
2.4.2 Μεθοδολογία απόκτησης και επεξεργασίας δεδομένων	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	38
3.1 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	38
3.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΚΡΟΥ (ZKR)	40
3.2.1 Συλλογή γεωφυσικών δεδομένων.....	40
3.2.2 Αποτελέσματα επεξεργασίας.....	43
3.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΗΤΕΙΑΣ (SIT2).....	46

3.3.1 Συλλογή γεωφυσικών δεδομένων.....	46
3.3.2 Αποτελέσματα επεξεργασίας.....	48
3.4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ (AGN1).....	51
3.4.1 Συλλογή γεωφυσικών δεδομένων.....	51
3.4.2 Αποτελέσματα επεξεργασίας.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	57
4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	57
4.1.1 Περιοχή Σητείας (SIT2).....	57
4.1.2 Περιοχή Αγίου Νικολάου (AGN1).....	57
4.1.3. Περιοχή Ζάκρου (ZKR)	62
4.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ.....	64
4.2.1 Περιοχή Αγίου Νικολάου (AGN1).....	65
4.2.2 Περιοχή Σητείας (SIT2).....	67
4.2.3 Περιοχή Ζάκρου (ZKR)	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	73
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	78

Στην οικογένειά μου...

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Αντώνιο Βαφείδη Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την ανάθεση του θέματος και για την άψογη συνεργασία και πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Έπίσης ευχαριστώ τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Στειακάκη και τον Καθηγητή κ. Παντελή Σουπιό για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή καθώς και τον τελικό έλεγχο και τις σημαντικές παρατηρήσεις που έκαναν επί της εργασίας.

Τέλος πρέπει να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον διδάκτορα Γεώργιο Κρητικάκη του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων και τις υποδείξεις του κατά τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας καθώς και την κα. Καλλιόπη Πανδή και τον κ. Αθανάσιο Λαζαρόπουλο για την βοήθειά τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τον χαρακτηρισμό του υπεδάφους και την κατηγοριοποίησή του σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 στις θέσεις του Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων (Ε.Δ.Ε) στις περιοχές του Αγίου Νικολάου, της Σητείας και της Ζάκρου νομού Λασιθίου, όπου πραγματοποιήθηκε λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση και γεωφυσική διασκόπηση με σεισμικές (σεισμική διάθλαση και ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων) και ηλεκτρικές (ηλεκτρική τομογραφία) μεθόδους. Επίσης, συλλέχθηκαν δεδομένα από γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον Άγιο Νικόλαο και στην Σητεία.

Η παρούσα εργασία εστιάζεται στον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους και της απόκρισής του σε περιπτώσεις δυναμικής φόρτισης. Για το λόγο αυτό, αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο των ελαστικών φασμάτων απόκρισης του υπεδάφους και πως αυτό σχετίζεται με την κατηγοριοποίησή του, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Επίσης, αναλύεται και το θεωρητικό υπόβαθρο των γεωφυσικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή.

Συνδυάζοντας τα γεωλογικά και τα γεωτρητικά δεδομένα της κάθε περιοχής μελέτης, με τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης, πραγματοποιήθηκε ο χαρακτηρισμός του υπεδάφους. Ειδικότερα, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των ταχυτήτων των εγκάρσιων και των διαμήκων σεισμικών κυμάτων από τις σεισμικές γεωφυσικές μεθόδους, προσδιορίστηκαν γεωτεχνικές παράμετροι στις θέσεις διασκόπησης, όπως ο λόγος Poisson, το μέτρο ελαστικότητας και το μέγιστο μέτρο διάτμησης. Επίσης, προσδιορίστηκε η μέση ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων στα πρώτα τριάντα μέτρα, V_{s30} , και η τιμή N_{spt} από την επεξεργασία των δεδομένων της δοκιμής πρότυπης διείδυσης από τις γεωτρήσεις, με σκοπό την κατηγοριοποίηση του υπεδάφους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις δύο παραπάνω σχέσεις κατηγοριοποίησης του υπεδάφους, με σκοπό τον έλεγχο της αξιοπιστίας της V_{s30} . Οι γεωηλεκτρικές τομές που προέκυψαν από την ηλεκτρική τομογραφία χρησιμοποιήθηκαν για τον γεωλογικό χαρακτηρισμό της εκάστοτε περιοχής μελέτης.

Σύμφωνα με την επεξεργασία όλων των παραπάνω δεδομένων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα: Η περιοχή του Αγίου Νικολάου, σύμφωνα με την V_{s30} , ανήκει στην Β κατηγορία εδαφών του Ευρωκώδικα 8, η περιοχή της Σητείας στην κατηγορία C, ενώ η περιοχή της Ζάκρου στην κατηγορία Α. Σύμφωνα με τις τιμές N_{spt} της δοκιμής πρότυπης διείδυσης, που πραγματοποιήθηκε κατά την διεξαγωγή των γεωτρήσεων, προέκυψε ότι η περιοχή του Αγίου Νικολάου και η περιοχή της Σητείας ανήκουν στην C κατηγορία εδαφών του Ευρωκώδικα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη γεωτεχνική μηχανική απαντώνται ως επί το πλείστον δυναμικές φορτίσεις όπως μηχανικές ταλαντώσεις, σεισμικές φορτίσεις, κ.α. Οι ιδιότητες που σχετίζονται με δυναμικές φορτίσεις είναι, η διατμητική ταχύτητα εγκαρσίων κυμάτων (V_s), το μέτρο διάτμησης (G), ο παράγοντας απόσβεσης (D) και ο λόγος Poisson (ν). Χρησιμοποιούνται γεωτεχνικές και γεωφυσικές μέθοδοι για την διερεύνηση των γεωτεχνικών παραμέτρων του υπεδάφους. Ενώ οι γεωτεχνικές δοκιμές παρέχουν με ακρίβεια τις γεωτεχνικές παραμέτρους με το βάθος, η ανόρυξη γεωτρήσεων και η εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία. Οι γεωφυσικές μέθοδοι είναι αποτελεσματικές στη διερεύνηση του υπεδάφους, αλλά τα αποτελέσματά τους δεν μπορούν άμεσα να μεταφραστούν σε μεταβολή των γεωτεχνικών παραμέτρων. Με σκοπό τη πληρέστερη μελέτη του υπεδάφους, σε επιλεγμένους σταθμούς επιταχυνσιογράφων του Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων (Ε.Δ.Ε) στην Κρήτη, πραγματοποιήθηκαν συμπληρωματικές γεωτεχνικές και τεχνικογεωλογικές εργασίες και ταυτόχρονα γεωφυσικές διασκοπήσεις. Το σύνολο των δεδομένων επιτρέπει τη συσχέτιση των φυσικομηχανικών παραμέτρων (από εργαστηριακές/επί τόπου δοκιμές) με τις γεωφυσικές παραμέτρους. Επιπλέον, με τα δεδομένα αυτά διερευνώνται γεωτεχνικά προβλήματα καθώς και η απόκριση των σχηματισμών που δομούν την περιοχή σε ενδεχόμενη δυναμική – σεισμική φόρτιση (Ερευνητικό έργο ΘΑΛΗΣ, ΥΠΟΕΡΓΟ:379426, «Γεωτεχνικός χαρακτηρισμός επιλεγμένων θέσεων στην Κρήτη με την συνδυαστική χρήση γεωφυσικών και γεωτεχνικών μεθόδων», Πολυτεχνείο Κρήτης).

1.1.1 Σύντομη περιγραφή αντικειμένου

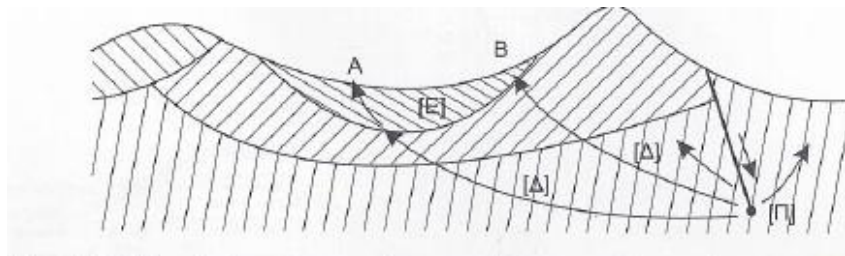
Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιούνται δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Θαλής (Εκθεση αποτελεσμάτων γεωτεχνικής έρευνας και οι σχετικοί τεχνικογεωλογικοί χάρτες, Παραδοτέο 2.1 στα πλαίσια του Ερευνητικού έργου ΘΑΛΗΣ, ΥΠΟΕΡΓΟ:379426, «Γεωτεχνικός χαρακτηρισμός επιλεγμένων θέσεων στην Κρήτη με την συνδυαστική χρήση γεωφυσικών και γεωτεχνικών μεθόδων», Πολυτεχνείο Κρήτης). Στόχος του εν λόγω έργου ήταν να συγκεντρωθούν γεωτεχνικά και σεισμολογικά δεδομένα και να συσχετιστούν με δεδομένα γεωφυσικών διασκοπήσεων σε επιλεγμένους σταθμούς του Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων στην Κρήτη, προκειμένου να γίνει βαθμονόμηση και συσχέτιση των επιμέρους μεθόδων. Στην παρούσα εργασία επεξεργάζονται τα γεωφυσικά δεδομένα του εν λόγω έργου. Προσδιορίζονται οι γεωτεχνικές παράμετροι (όπως ο λόγος Poisson, ν , το μέτρο ελαστικότητας, E , το μέτρο διάτμησης, G) και η μέση ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων, V_{s30} . Οι παράμετροι οδηγούν στον υπολογισμό αντιπροσωπευτικών φασμάτων απόκρισης που αντανακλούν τα χαρακτηριστικά του σεισμοτεκτονικού περιβάλλοντος του νομού Λασιθίου.

1.2 ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

1.2.1 Εισαγωγή

Η Γη δονείται συνεχώς από διάφορες τεχνητές και φυσικές πηγές. Οι δονήσεις που προκαλούνται καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και το πλάτος της εδαφικής κίνησης ποικίλλει αναλόγως το μέγεθος του σεισμού. Οι μηχανικοί ενδιαφέρονται κυρίως για ισχυρές εδαφικές κινήσεις οι οποίες προκαλούνται από σεισμούς μεγέθους μεγαλύτερου από $M=4.5$. Οι μικροδονήσεις όμως είναι εξίσου σημαντικές και χρήσιμες για την εκτίμηση των παραμέτρων της εδαφικής κίνησης.

Κατά την διάρκεια ενός σεισμού η σεισμική ενέργεια διαχέεται στον χώρο με την μορφή σεισμικών κυμάτων. Η εδαφική κίνηση (το πλάτος της και το συχνοτικό περιεχόμενό της) εξαρτάται από την επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών (E) την διαδρομή των σεισμικών κυμάτων (Δ), και την πηγή (Π) (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Η εδαφική κίνηση στην επιφάνεια του εδάφους επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της πηγής (Π), της διαδρομής (Δ) και τις τοπικές εδαφικές κινήσεις (E) (Πιτιλάκης, 2010).

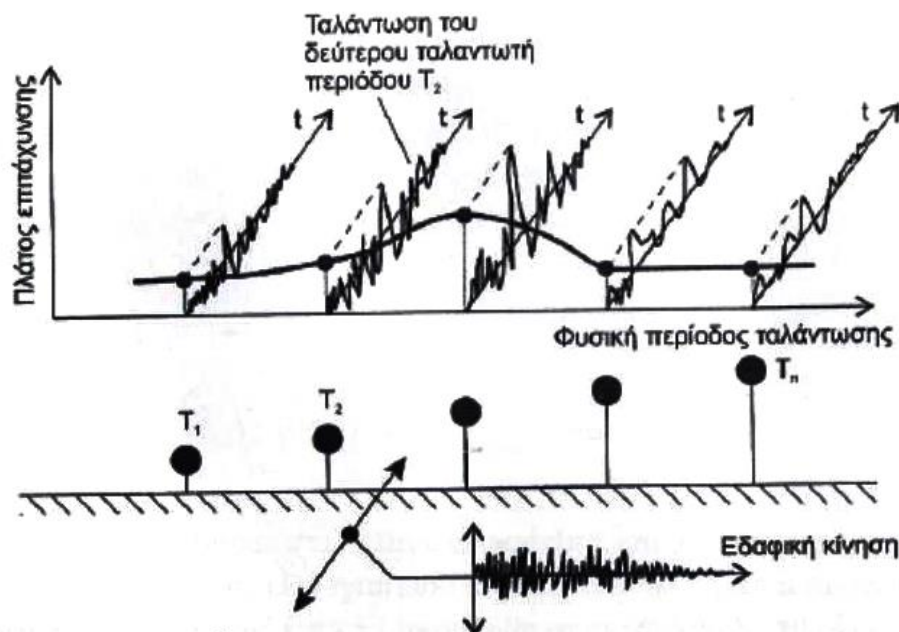
Επομένως, για διαφορετική θέση η οποία μπορεί να βρίσκεται και σε μικρή απόσταση, η εδαφική κίνηση μπορεί να διαφέρει σημαντικά λόγω της διαφορετικής διαδρομής της σεισμικής ενέργειας ή των διαφορετικών τοπικών εδαφικών συνθηκών.

Η σύνθετη κίνηση η οποία προκαλείται από ένα σεισμό αποτελείται από ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων που σε καθεμία από αυτές αντιστοιχεί ένα πλάτος κίνησης. Για την εκτίμηση της διαφοροποίησης του πλάτους της κίνησης σε διαφορετικές συχνότητες χρησιμοποιείται το συχνοτικό περιεχόμενο της σεισμικής κίνησης. Μία από τις κύριες τεχνικές εκτίμησης αυτού είναι τα ελαστικά φάσματα απόκρισης.

Ως φάσμα απόκρισης ορίζεται η γραφική παράσταση των μέγιστων τιμών της απόκρισης, (είτε αυτή είναι μετακίνηση, είτε ταχύτητα, είτε επιτάχυνση) ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή με απόσβεση, σε συνάρτηση της συχνότητας ή της περιόδου του και του συντελεστή απόσβεσης, ζ , όταν υπόκεινται σε συγκεκριμένη εδαφική σεισμική κίνηση (Πιτιλάκης, 2010).

Στην ουσία τα ελαστικά φάσματα απόκρισης χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της μέγιστης απόκρισης μιας κατασκευής για κάθε φυσική συχνότητα (ή περίοδο) σε συγκεκριμένη σεισμική διέγερση (Σχήμα 1.2).

Τα φάσματα απόκρισης επηρεάζονται από τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής, (τεκτονική δραστηριότητα, σεισμολογία και χαρακτηριστικά εδάφους). Εναλλακτικά, ένα απλοποιημένο φάσμα εξαρτάται μόνο από την σεισμική ζώνη της περιοχής και τα χαρακτηριστικά του εδάφους (Day, 2001).

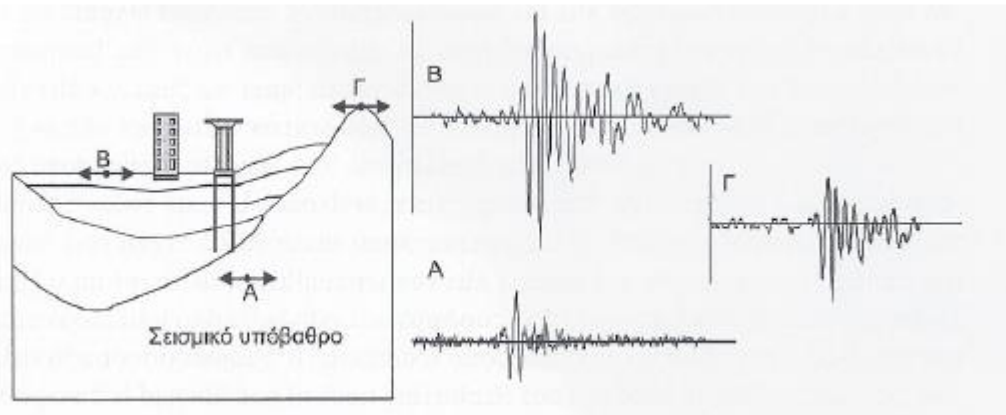


Σχήμα 1.2: Φάσμα απόκρισης. Η φασματική επιτάχυνση που αντιστοιχεί σε κάθε ιδιοπερίοδο είναι το μέγιστο πλάτος επιτάχυνσης της ταλάντωσης μονοβάθμιου ταλαντωτή της συγκεκριμένης ιδιοπεριόδου για συγκεκριμένη εδαφική κίνηση στη βάση του. Η γραμμή που ενώνει τις μέγιστες τιμές είναι το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης (Πιτιλάκης, 2010).

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των επιταχύνσεων και για τον έμμεσο υπολογισμό διαφόρων χαρακτηριστικών π.χ. συχνότητες των κατασκευών ή και του εδάφους είναι οι επιταχυνσιογράφοι. Υπάρχουν διάφορα είδη επιταχυνσιογράφων, η αρχή λειτουργίας τους όμως είναι κοινή: μάζα διεγείρεται από αρμονική δύναμη και καταγράφεται η επιτάχυνση της (Ψιμούλης, 2005).

1.2.2 Επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών

«Η επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών μπορεί να οριστεί ως η τροποποίηση των χαρακτηριστικών (πλάτος, συχνотικό περιεχόμενο και διάρκεια) του εισερχόμενου κυματικού πεδίου, λόγω των ιδιαίτερων εδαφικών χαρακτηριστικών και γεωμετρικών παραμέτρων της εδαφικής απόθεσης και της επιφανειακής τοπογραφίας» (Πιτιλάκης, 2010) (Σχήμα 1.3). Η τροποποίηση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε ενίσχυση ή σε μείωση των πλατών της εδαφικής κίνησης σε διαφορετικές συχνότητες. Η διαφοροποίηση αυτή εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους (ταχύτητες V_s , V_p , το μέτρο διάτμησης (G_0), η σχετική πυκνότητα (D_r), ο δείκτης πλαστικότητας (PI)), τα χαρακτηριστικά του προσπίπτοντος κυματικού πεδίου και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της περιοχής.



Σχήμα 1.3: Διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών του σεισμικού κραδασμού ανάλογα με τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, την επιφανειακή γεωλογία και την τοπογραφία (Πιτιλάκης, 2010).

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την εκτίμηση της επιρροής των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Δύο πειραματικές – εμπειρικές μέθοδοι είναι ο πρότυπος φασματικός λόγος (Standard Spectral Ratio, SSR) και ο φασματικός λόγος της οριζόντιας προς την κατακόρυφη συνιστώσα της εδαφικής κίνησης (HVSr). Ο πρότυπος φασματικός λόγος (Standard Spectral Ratio, SSR) ορίζεται ως ο λόγος του φάσματος πλάτους Fourier καταγραφής σε έδαφος προς το αντίστοιχο καταγραφής κοντινού βράχου από τον ίδιο σεισμό και το ίδιο στοιχείο της κίνησης. Περαιτέρω πληροφορίες παρέχονται στην αντίστοιχη βιβλιογραφία του κ.Πιτιλάκη (2010).

1.2.3 Αντισεισμικός κανονισμός: Ευρωκώδικας 8 (EC8)

Στον Ευρωκώδικα 8 το έδαφος κατηγοριοποιείται σε πέντε μεγάλες κατηγορίες και δύο ειδικές υποκατηγορίες που αντιστοιχούν σε πολύ χαλαρά ή ρευστοποιήσιμα εδάφη αντίστοιχα (Πίνακας 1.1). Η ταξινόμηση των εδαφών επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό τριών παραμέτρων (μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων V_{s30} , τιμές N_{spt} , και αστράγγιστη αντοχή). Η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων V_{s30} δίνεται από την σχέση (Ευρωκώδικας 8, Πιτιλάκης, 2010):

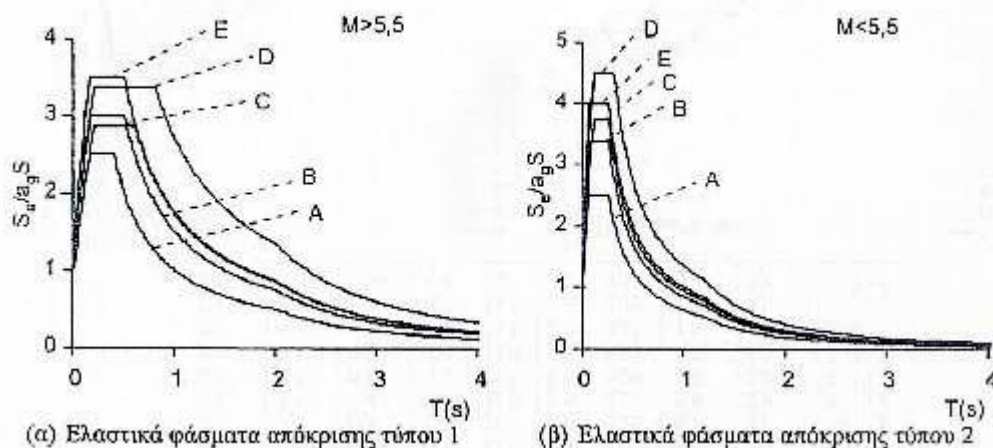
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} h_i/v_i} \quad (1.1)$$

όπου h_i και V_i είναι το πάχος και η ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων των N σχηματισμών των εδαφικών στρώσεων που συναντώνται στα πρώτα 30 μέτρα αντίστοιχα. Η τιμή V_{s30} μπορεί να υπολογισθεί απευθείας από επί τόπου δοκιμές είτε εμμέσως από δοκιμές SPT (Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης) μέσω σχετικών συσχετίσεων.

Πίνακας 1.1: Κατηγοριοποίηση εδαφών με βάση τον Ευρωκώδικα 8 (Μενάγιας, 2009).

Κατηγορία εδάφους	Στρωματογραφική σύσταση	Παράμετροι		
		$V_{s,10}$ (m/s)	N_{SP} (blows/30cm)	C_u (kPa)
A	Βραχέδης ή σχεδόν βραχέδης γεωλογικός σχηματισμός συμπεριλαμβανομένου το πολύ 5 m επιφανειακού εδαφικού υλικού.	>800	-	-
B	Μεγάλες αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλκιών ή συμπαγούς αργίλου με τουλάχιστον μερικών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων τους με το βάθος.	360-800	>50	>250
C	Αποθέσεις πυκνής ή μέσης πυκνότητας άμμου, χαλκιών ή συμπαγούς αργίλου με πάχος από μερικές δεκάδες μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα.	180-360	15-50	70-250
D	Αποθέσεις από μικρής έως μέτριας συνεκτικότητας εδάφη (με ή χωρίς ενστρώσεις μαλακών συνεκτικών σχηματισμών) ή από επικρατούντα μαλακά προς συνεκτικά εδάφη.	<180	<15	<70
E	Σχηματισμός εδαφικής σύστασης που αποτελείται από ένα επιφανειακό αλλουβιακό στρώμα με τιμές $V_{s,30}$ του τύπου C ή D με πάχος μεταξύ 5 και 20 m, υπερκείμενο από συμπαγές γεωλογικό ταχύτητας $V_{s,30}$ >800 m/s.	-	-	-
S_1	Αποθέσεις που αποτελούνται -ή περιέχουν ένα στρώμα τουλάχιστον 10 m πάχος- από μαλακή άργιλο/ύλο με υψηλό δεύκτη πλαστικότητα ($PI > 40$) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό	<100	-	10-20
S_2	Αποθέσεις από επιδεκτικά σε ρευστοποίηση εδάφη, από ευπαθείς αργίλους ή άλλο γεωλογικό που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A-E ή S_1	-	-	-

Η μορφή του φάσματος ελαστικής απόκρισης επιτάχυνσης εξαρτάται από την κατηγορία στην οποία ταξινομείται το έδαφος σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Παρατηρείται ότι για μαλακά εδάφη (κατηγορίες C, D) οι μεγαλύτερες τιμές του φάσματος μετατοπίζονται σε μεγαλύτερες περιόδους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι υψηλές συχνότητες φιλτράρονται από τις παραμορφώσεις του μαλακού εδάφους. Ένας επιπλέον διαχωρισμός μπορεί να γίνει όσον αφορά το μέγεθος του σεισμού. Στο σχήμα 1.4 παρατηρείται διαχωρισμός α) Τύπου 1 ($M_s > 5,5$) και β) Τύπου 2 ($M_s \leq 5,5$). Στον οριζόντιο άξονα τοποθετείται η περίοδος (T) της εδαφικής κίνησης και στον κατακόρυφο η κανονικοποιημένη επιτάχυνση.



Σχήμα 1.4: Προτεινόμενα φάσματα απόκρισης τύπου 1 και τύπου 2 για κατηγορίες εδαφών Α έως Ε σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 (Πιτιλάκης, 2010).

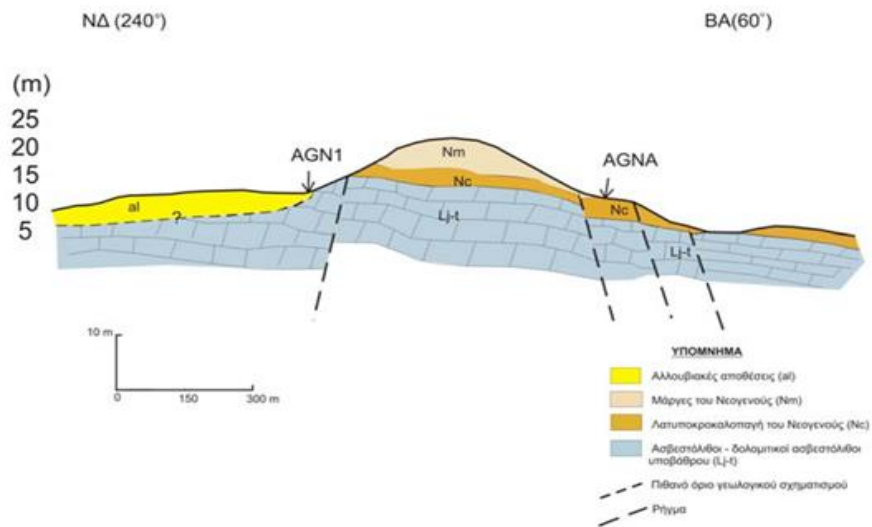
Περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές όσον αφορά το θέμα των ελαστικών φασμάτων απόκρισης, παρέχονται στην ελληνική βιβλιογραφία από τον Πενέλη Γ. κ.α, (1999), και στην ξένη βιβλιογραφία από τους Kramer S. (1996), Savvaidis A. et al (2013) και Athanasopoulos G. et al (2000).

1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην παρούσα διπλωματική μελετώνται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες στις θέσεις των επιταχυνσιογράφων σε περιοχές του νομού Λασιθίου και ειδικότερα στον Αγ. Νικόλαο, στην Σητεία και στην Ζάκρο. Παρακάτω αναλύεται η γεωλογία της περιοχής για κάθε θέση επιταχυνσιογράφου.

1.3.1 Περιοχή Αγίου Νικολάου

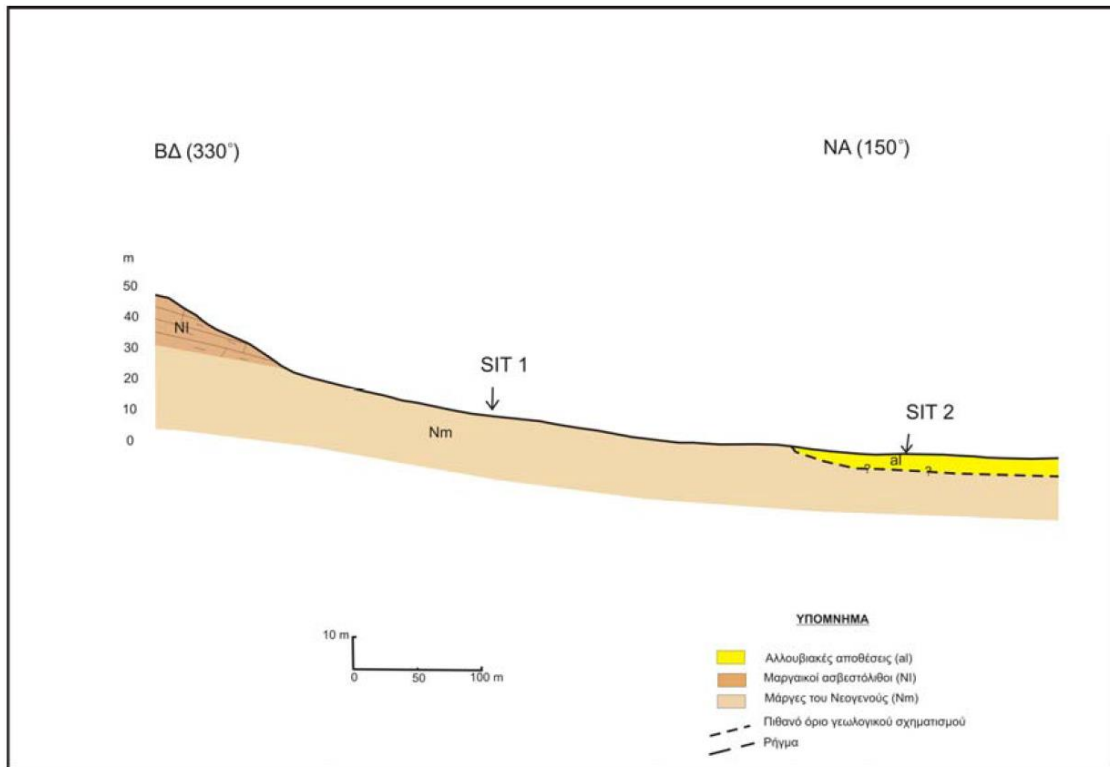
Στην πόλη του Αγίου Νικολάου είναι εγκατεστημένοι δύο επιταχυνσιογράφοι, ο AGN1 στο κτίριο του Δημαρχείου και ο AGNA στο κτίριο του ΟΤΕ. Σύμφωνα με τα δεδομένα της επιφανειακής τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης, όπως παρουσιάζεται στη σκαριφηματική τομή του σχήματος 1.5, το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από Ασβεστόλιθους - Δολομιτικούς ασβεστόλιθους – Δολομίτες. Υπέρκεινται αυτών Μάργες του Νεογενούς και αλλουβιακές αποθέσεις. (Λουπασάκης κ.ά., 2014).



Σχήμα 1.5: Σκαριφηματική τομή στις θέσεις των επιταχυνσιογράφων AGN1 και AGNA Αγίου Νικολάου (Λουπασάκης κ.ά.,2014).

1.3.2 Περιοχή Σητείας

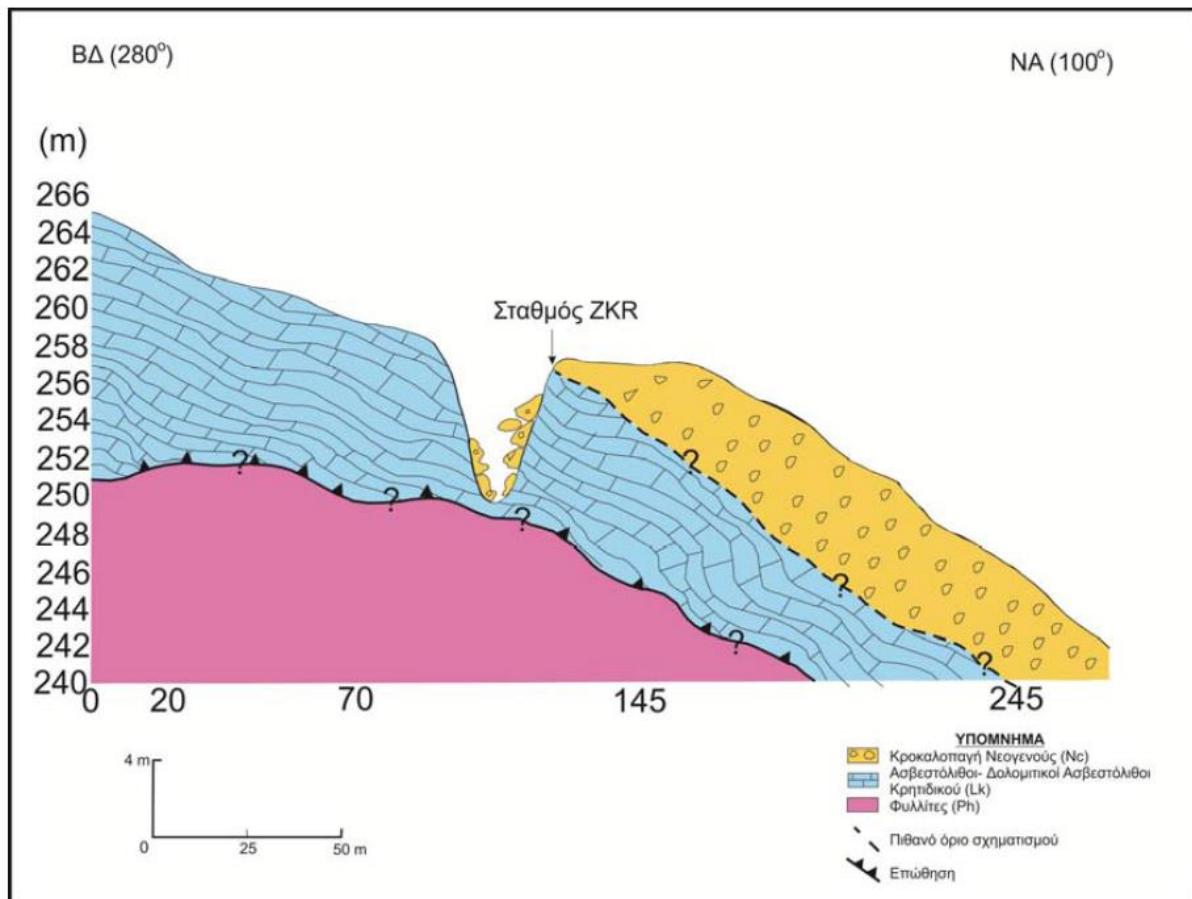
Στη Σητεία είναι εγκατεστημένοι δύο επιταχυνσιογράφοι, ο SIT1 στο κτίριο του ΟΤΕ, και ο SIT2 στο Δημαρχείο. Σύμφωνα με τα δεδομένα της επιφανειακής τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης (Σχήμα 1.6) ο σταθμός SIT1 εδράζεται επί των μάργων του Νεογενούς, ενώ ο SIT2 εδράζεται επί αλουβιακών αποθέσεων. Παρατηρούνται επίσης μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Λουπασάκης κ.ά.,2014).



Σχήμα 1.6: Σκαριφηματική τομή στις θέσεις των επιταχυνσιογράφων SIT1 και SIT2 Σητείας Λασιθίου (Λουπασάκης κ.ά.,2014).

1.3.3 Περιοχή Ζάκρου

Στο χωριό Ζάκρος είναι εγκατεστημένος ένας επιταχυνσιογράφος, ο ZKR. Το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από φυλλίτες (Σχήμα 1.7). Επί των φυλλιτών παρατηρούνται δολωμιτικοί ασβεστόλιθοι και κροκκαλοπαγή του Νεογενούς (Σχήμα 1.10). (Λουπασάκης κ.ά.,2014).



Σχήμα 1.7: Σκαριφηματική τομή στη θέση του επιταχυνσιογράφου ZKR Ζάκρου Λασιθίου (Λουπασάκης κ.ά.,2014).

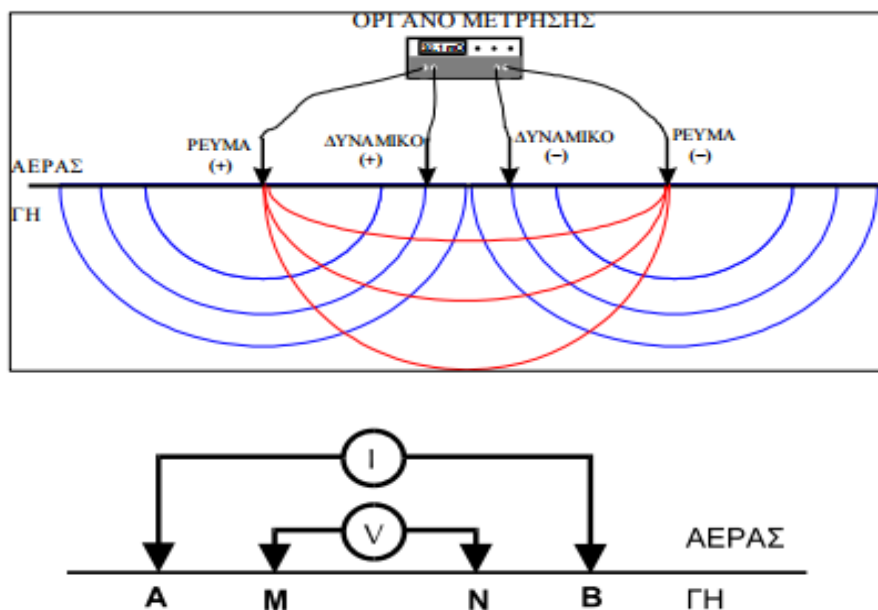
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

2.1.1 Βασικές αρχές ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι έχουν ως στόχο τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Η μετρούμενη ποσότητα είναι η ηλεκτρική τάση, από την οποία επιδιώκεται ο καθορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης.

Ηλεκτρική αντίσταση είναι ο βαθμός στον οποίο ένα υλικό περιορίζει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, και μετριέται σε Ohm. Ο τρόπος μέτρησης γίνεται διοχετεύοντας ρεύμα σε ένα αντικείμενο και μετρώντας την διαφορά δυναμικού με ένα βολτόμετρο. Η μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να γίνει με τέσσερα ηλεκτρόδια που καρφώνονται στο έδαφος. Με τον τρόπο αυτό και διατηρώντας την ίδια απόσταση ηλεκτροδίων μπορούν να γίνουν προφίλ ηλεκτρικής αντίστασης που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο βάθος. Αυξάνοντας την απόσταση των ηλεκτροδίων, αυξάνεται και το βάθος διεξόδου, αποκαλύπτοντας πληροφορίες σε μεγαλύτερο βάθος.



Σχήμα 2.1: Παράδειγμα διάταξης ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής αντίστασης.

Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ρ_a προκύπτει από τη σχέση

$$\rho_a = (V_{MN}/I_{AB}) \cdot K \quad (2.1)$$

Όπου K είναι ο λεγόμενος γεωμετρικός παράγοντας που εξαρτάται από τις αποστάσεις AB, AM, BM, BN .

Στις ηλεκτρικές μεθόδους ανήκουν :

- Η ηλεκτρική χαρτογράφηση
Με την μέθοδο αυτή μελετάται η πλευρική μεταβολή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους με την δημιουργία χαρτών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.
- Η ηλεκτρική βυθοσκόπηση
Με την συγκεκριμένη μέθοδο μελετάται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση συναρτήσει του βάθους. Ειδικότερα προκύπτει γράφημα της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους το οποίο δείχνει την εναλλαγή των στρωμάτων με το βάθος.
- Η ηλεκτρική τομογραφία
Η μέθοδος αυτή συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι υψηλής διακριτικής ικανότητας. Η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στη μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, εντοπίζοντας έτσι ασυνέχειες, όπως ρήγματα ή έγκοιλα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας η οποία και αναλύεται εκτενέστερα παρακάτω.

2.1.2 Βασικές αρχές σεισμικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης

Κατά την διάδοση των σεισμικών κυμάτων τα υλικά σημεία από τα οποία αποτελούνται τα πετρώματα πραγματοποιούν ταλαντώσεις. Ελαστικά κύματα δημιουργούνται όταν το σώμα διαταράσσεται εξαιτίας σχετικά μικρής μεταβολής της μετατόπισης, της ταχύτητας ή της επιτάχυνσης υλικού σημείου σώματος. Η περιοχή στην οποία εμφανίζεται η διαταραχή αυτή ονομάζεται πηγή του σεισμικού κύματος. Τα ελαστικά κύματα διαδίδονται μέσα στο σώμα με ταχύτητες οι οποίες εξαρτώνται από τις μηχανικές ιδιότητες και την πυκνότητα του υλικού.

Η μελέτη των σεισμικών κυμάτων είναι ευκολότερη όταν η πηγή δημιουργεί παλμό μικρής διάρκειας. Καθώς το σεισμικό κύμα απομακρύνεται από την πηγή η ενέργειά του ελαττώνεται, δηλαδή το σεισμικό κύμα αποσβένει. Μεγαλύτερη απόσβεση του κύματος παρατηρείται στις υψηλότερες συχνότητες. Σεισμικά κύματα με σημαντική ενέργεια στις υψηλές συχνότητες και με μικρό μήκος κύματος, χρησιμοποιούνται στην διάκριση λεπτών γεωλογικών στρωμάτων.

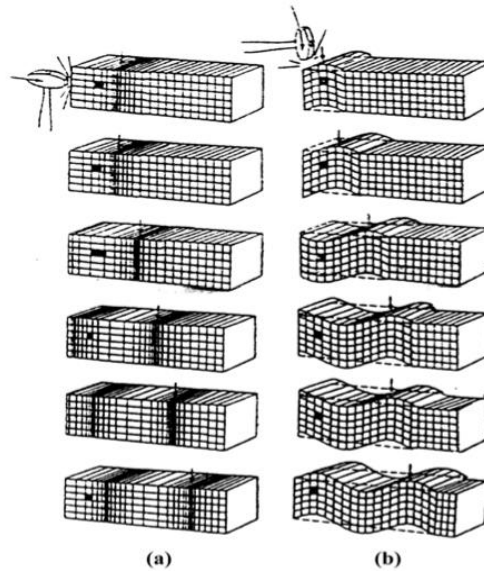
Η εδαφική κίνηση που δημιουργούν οι πηγές καταγράφεται στα γεώφωνα. Τα διαγράμματα της εδαφικής κίνησης συναρτήσει του χρόνου ονομάζονται σειсмоγράμματα.

Τα σεισμικά κύματα διακρίνονται σε διαφορετικά είδη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της διάδοσής τους. Υπάρχουν δυο κατηγορίες :

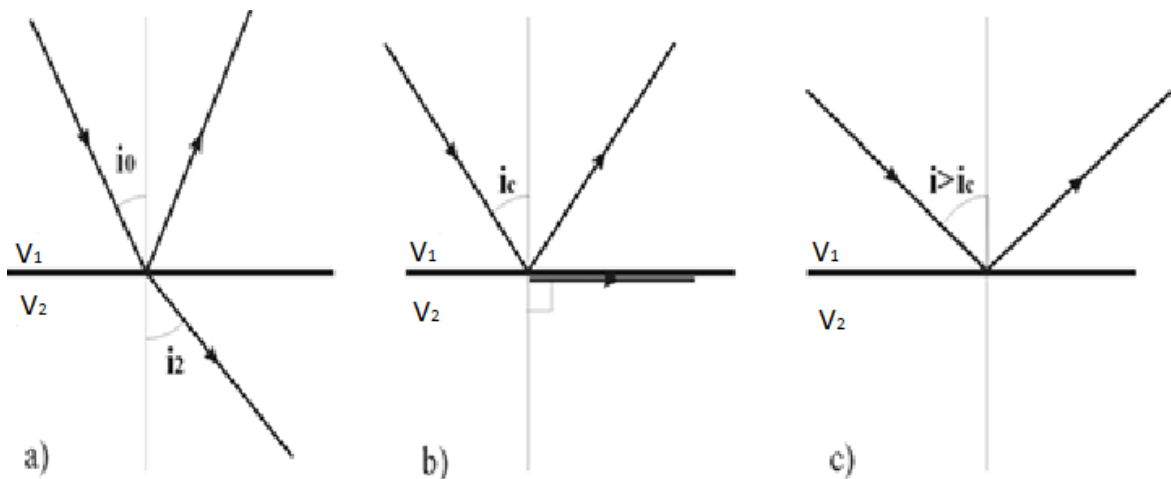
- τα κύματα χώρου
- και τα επιφανειακά κύματα

Στα κύματα χώρου η διάδοση γίνεται προς όλες τις κατευθύνσεις του στερεού σώματος π.χ. της Γης, ενώ στα επιφανειακά κύματα η διαταραχή διαδίδεται παράλληλα σε διαχωριστικές επιφάνειες όπως η επιφάνεια της Γης.

Κύματα χώρου είναι τα διαμήκη και τα εγκάρσια (Σχήμα 2.2). Η διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων στα διαμήκη κύματα συμπίπτει με την διεύθυνση διάδοσης του κύματος.



Σχήμα 2.2: Εδαφική κίνηση κατά τη διάδοση των κυμάτων χώρου. (a) P-κύματα, (b) S-κύματα (Sheriff and Geldart, 1995)

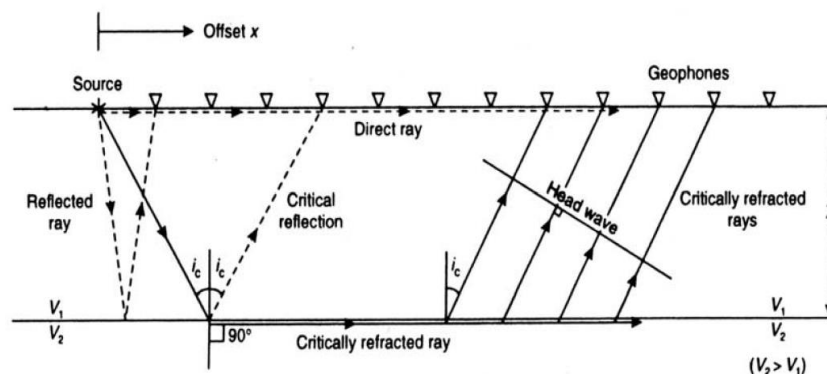


Σχήμα 2.3: Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά την πρόσπτωση υπό γωνία a) μικρότερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, b) ίση με την ορική δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα και c) με γωνία μεγαλύτερη της ορικής παρατηρείται ολική ανάκλαση (Χατζηπέτρου, 2015).

Η σεισμική ακτίνα προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία, όταν ισχύει $V_2 > V_1$ και η διαθλώμενη ακτίνα έχει διεύθυνση παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια (Σχήμα 2.3.b). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής (Βαφείδης, 1993):

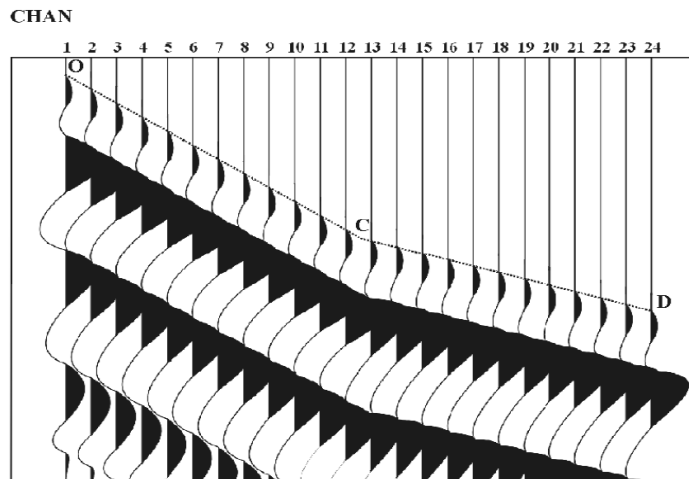
$$\sin(i_c) = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.3)$$

Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση (Σχήμα 2.3.c). Βέβαια, θα πρέπει να σημειωθεί ότι βασική προϋπόθεση δημιουργίας ορικά διαθλώμενων κυμάτων είναι οι ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων να αυξάνουν από τους ρηχότερους στους βαθύτερους σχηματισμούς. Έστω σεισμική ακτίνα η οποία προσπίπτει σε διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία. Τότε το διαθλώμενο κύμα διαδίδεται στο δεύτερο στρώμα παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, κάθε σημείο του διαθλώμενου μετώπου κύματος αποτελεί δευτερεύουσα πηγή σεισμικών κυμάτων. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σεισμικά κύματα τα οποία προέρχονται από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές και αναδύονται στο πρώτο στρώμα (Σχήμα 2.4). Η γωνία των αναδιδόμενων προς την επιφάνεια σεισμικών ακτίνων με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι ίση με την ορική γωνία. Αυτά τα αναδιδόμενα σεισμικά κύματα ονομάζονται μετωπικά κύματα.



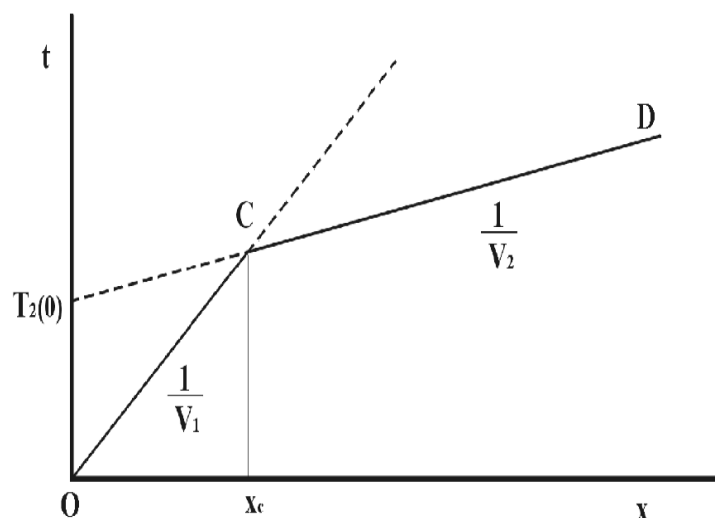
Σχήμα 2.4: Σχηματική παράσταση της δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων μεταξύ δύο γεωλογικών σχηματισμών διαφορετικής σεισμικής ταχύτητας (V_1 , V_2 αντίστοιχα) (Reynolds, 1997)

Στην περίπτωση δύο οριζόντιων στρωμάτων οι καταγραφές που θα προκύψουν από τη σεισμική διάθλαση θα έχουν τη μορφή του Σχήματος 2.5.



Σχήμα 2.5: Σχηματική παράσταση σεισμικών καταγραφών διάθλασης των οποίων οι πρώτες αφίξεις (διακεκομμένη γραμμή) αντιστοιχούν σε καταγραφές απευθείας (OC) και μετωπικών κυμάτων (CD) (Παπαθανασίου, 2007)

Παρατηρείται ότι ο χρόνος διαδρομής των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων είναι γραμμική συνάρτηση της απόστασης πηγής γεωφώνου. Τα απευθείας κύματα αντιστοιχούν στο ευθύγραμμο τμήμα OC ενώ τα μετωπικά στο CD (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Καμπύλες διαδρομής των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων (Παπαθανασίου, 2007)

Μελετώντας τους χρόνους διαδρομής των πρώτων αφίξεων (απευθείας και μετωπικά κύματα) προκύπτουν συμπεράσματα για την δομή του υπεδάφους.

2.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η ηλεκτρική τομογραφία (Electrical Resistivity Tomography–ERT) ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στην λεπτομερή απεικόνιση

του υπεδάφους. Στην ηλεκτρική τομογραφία η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στην μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, εντοπίζοντας έτσι ασυνέχειες στην ανάπτυξη των σχηματισμών όπως πχ. μεταπτώσεις. (Βαφείδης, 2001)

Για την υλοποίηση της δισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που διαφέρουν ανάλογα με την διάταξη των ηλεκτροδίων τους:

- **Διάταξη Wenner:**

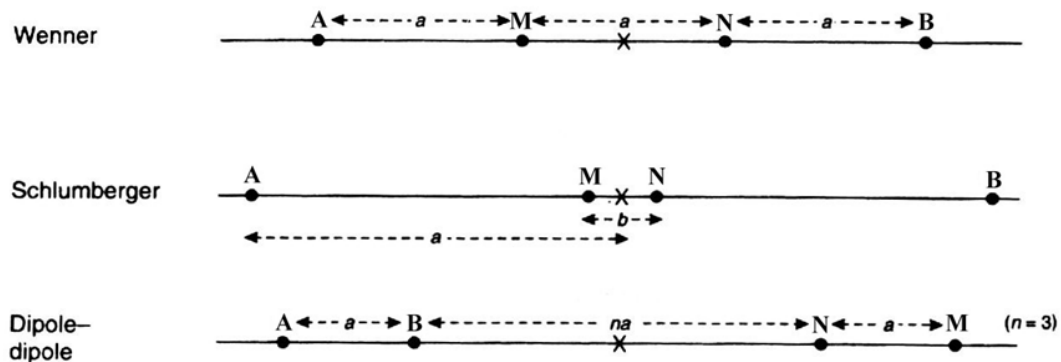
Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM = MN = NB = a$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7. Έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a θα υπολογίζεται από την σχέση (Βαφείδης, 2001):

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 2\pi a \frac{V_{MN}}{I} \quad (2.5)$$

- **Διάταξη Schlumberger:**

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N είναι ανάμεσα στα A και B και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης. Έτσι είναι $AB = 2L$ και $MN = 2b$ (Σχήμα 2.7), η απόσταση 2b μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση 2L μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται από την σχέση (Βαφείδης, 2001):

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{i} \quad (2.6)$$



Σχήμα 2.7: Διατάξεις ηλεκτροδίων (Reynolds, 1997)

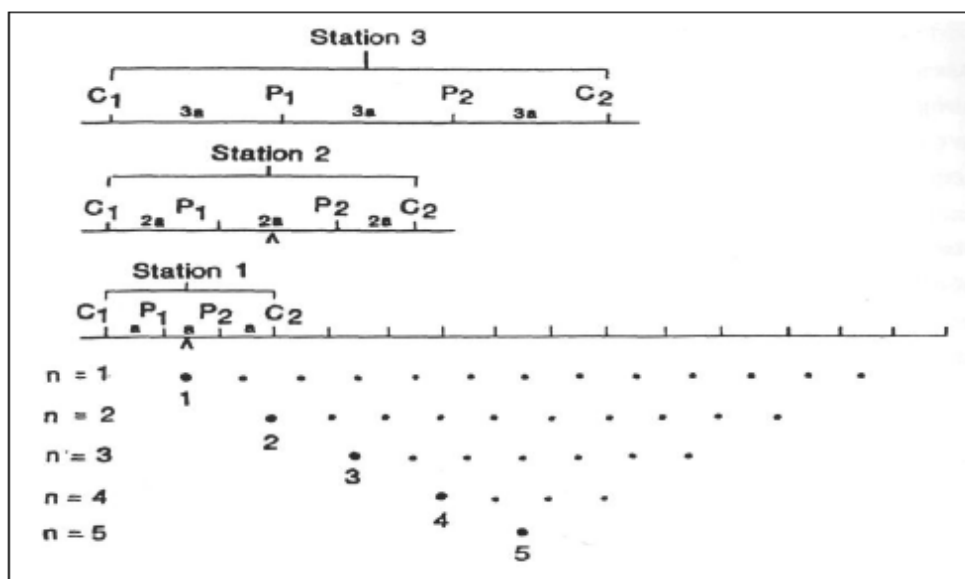
- **Διάταξη Διπόλου-Διπόλου**

Άλλη μια σημαντική διάταξη είναι αυτή του διπόλου–διπόλου, όπου η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Ομοίως a είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και ίση με na ($n \gg 1$), (Σχήμα 2.7). Η φαινόμενη ειδική αντίσταση από την σχέση (Βαφείδης, 2001):

$$\rho_a = \pi na(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{i} \quad (2.7)$$

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διάταξης αποτελεί η απόσταση $2na$, ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού, που μπορεί να αυξηθεί αρκετά χωρίς να χρειάζονται μεγάλα μήκη καλωδίων. Η διάταξη περιορίζεται μόνο από τη δυνατότητα των καταγραφικών οργάνων και από τον εδαφικό θόρυβο.

Στην ηλεκτρική τομογραφία οι μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης διατάσσονται με τη μορφή μιας ψευδοτομής (pseudosection). Στην ψευδοτομή οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις κατανέμονται σε μια τομή, σε σημεία ακριβώς κάτω από το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων και σε βάθος που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη διάταξη (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.8 : Δημιουργία ψευδοτομής (pseudosection) φαινόμενων ειδικωνηλεκτρικων αντιστάσεων (Σαμουήλ, 2015)

2.2.1 Μεθοδολογία απόκτησης δεδομένων

Κατά την εκτέλεση των γεωηλεκτρικών τομογραφιών ακολουθείται η εξής διαδικασία.

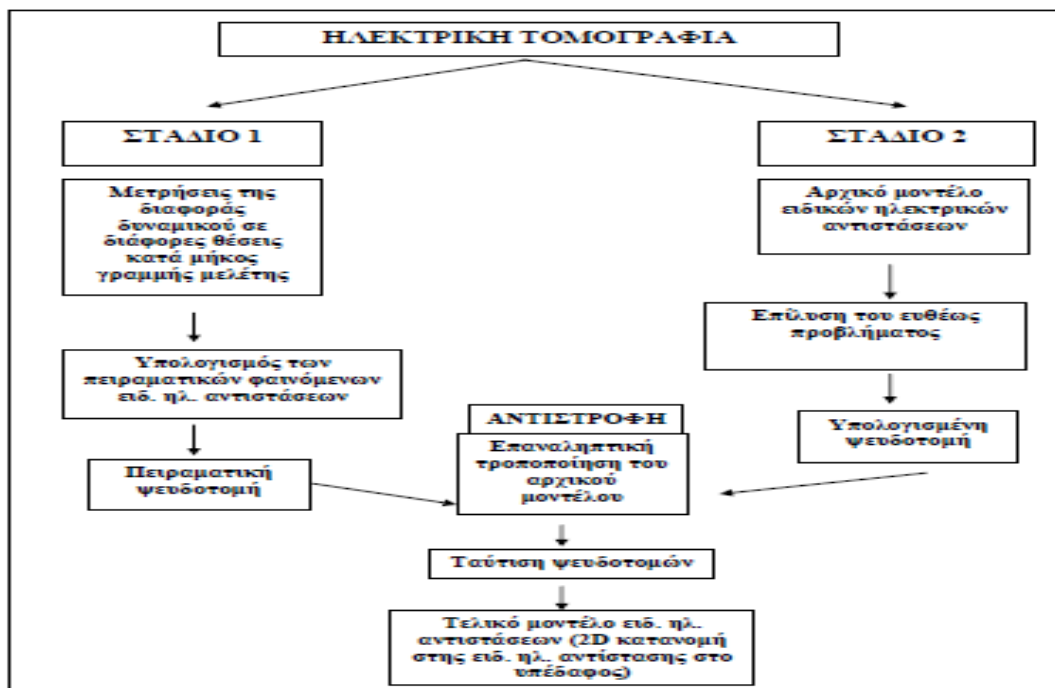
- Λαμβάνεται μέριμνα ώστε η ανάπτυξη των γραμμών ρεύματος να γίνεται σε ευθεία και όσο το δυνατόν παράλληλα στην παράταξη των τοπογραφικών φαινομένων.
- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια κατά μήκος της γραμμής μελέτης, όπου το κάθε ηλεκτρόδιο απέχει απόσταση a από το άλλο. Ταυτόχρονα τοποθετούνται αριθμημένες σημαίες δίπλα στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια.
- Συνδέεται το όργανο με τα καλώδια, και τοποθετείται δίπλα στη γραμμή μελέτης.
- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του επιλεγμένου κέντρου σε απόσταση $MN/2$ και $AB/2$ αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων A, B με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματοποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος (I) και δυναμικού (V). Στη συνέχεια τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος σε μεγαλύτερη απόσταση $AB/2$ και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.
- Οι διαδοχικές στάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος (AB) γίνονται σύμφωνα με τις προδιαγεγραμμένες αποστάσεις (m).
- Το κέντρο μετακινείται κατά απόσταση a και επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις όπως στο προηγούμενο βήμα.
- Καταγράφονται οι αποστάσεις των ημιαναπτυγμάτων $AB/2$ και οι μετρούμενες τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού.

2.2.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας δεδομένων

Τα δεδομένα που συλλέγονται με την τομογραφία αποτελούν την ψευδοτομή του υπεδάφους (Σχήμα 2.8). Στην ψευδοτομή (pseudosection) οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι σχεδιασμένες σε μια τομή σε σημεία ακριβώς κάτω από το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων και σε βάθος που εξαρτάται από την διάταξη των ηλεκτροδίων. Με την δημιουργία της ψευδοτομής προσδιορίζεται προσεγγιστικά η κατανομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στο υπέδαφος.

Το επόμενο βήμα είναι η αναστροφή των δεδομένων, δηλαδή ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ .

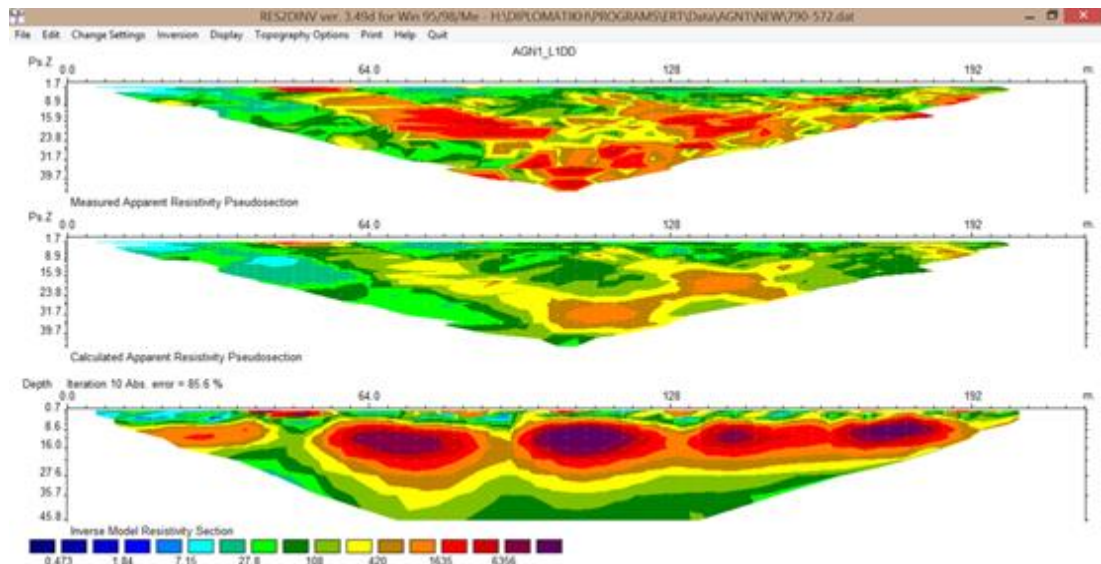
Το πρόγραμμα επεξεργασίας των γεωηλεκτρικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική είναι το RES2DINV. Το πρόγραμμα αυτό χωρίζει το υπέδαφος σε έναν αριθμό παραλληλογράμμων και θεωρεί σταθερή την πραγματική ειδική αντίσταση σε κάθε ορθογώνιο. Ξεκινώντας από αρχικό μοντέλο το οποίο προκύπτει θέτοντας κάποια τιμή για την πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζει τις τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό και τις συγκρίνει με τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης αντίστασης.



Σχήμα 2.9: Διάγραμμα ροής της επεξεργασίας των δεδομένων (αντιστροφή) στην ηλεκτρική τομογραφία (Σαμουήλ, 2015)

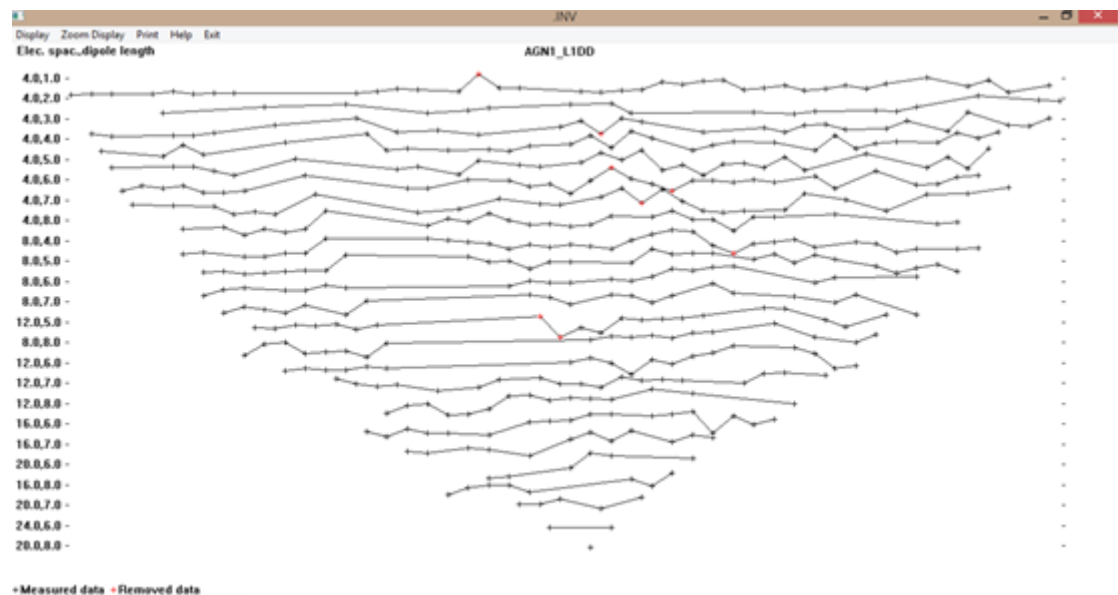
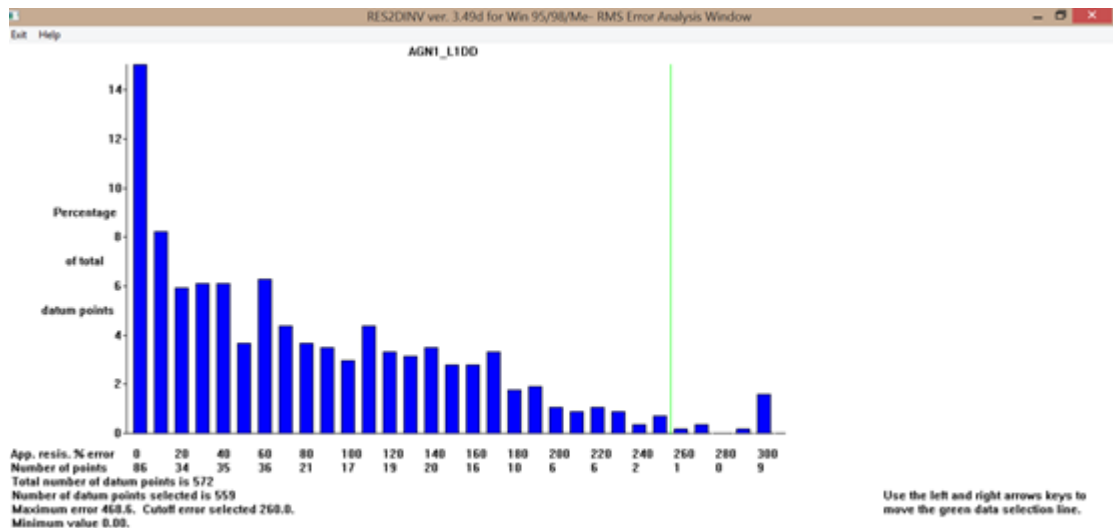
Κάνοντας διαδοχικές επαναλήψεις μειώνεται συνεχώς το σφάλμα. Τελικά επιλέγεται ένα μοντέλο με μικρό σφάλμα όταν οι επόμενες επαναλήψεις δεν μειώνουν σημαντικά το σφάλμα αυτό, δηλαδή όταν η επαναληπτική διαδικασία παρουσιάζει σύγκλιση (Σχήμα 2.9). Τα βήματα επεξεργασίας έχουν ως εξής:

- 1) Άνοιγμα προγράμματος
- 2) Επιλογή αρχείου για επεξεργασία
- 3) Αντιστροφή των δεδομένων (από τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στις αντίστοιχες τιμές της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης)
- 4) Προκύπτουν τρεις γεωηλεκτρικές τομές, όπου η τελευταία παρουσιάζει την κατανομή της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, δηλαδή την γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους (Σχήμα 2.10).



Σχήμα 2.10: Παράδειγμα αντιστροφής δεδομένων γραμμής ηλεκτρικής τομογραφίας. Η 1^η εικόνα αποτελεί την ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η 2^η αποτελεί ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η 3^η είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή.

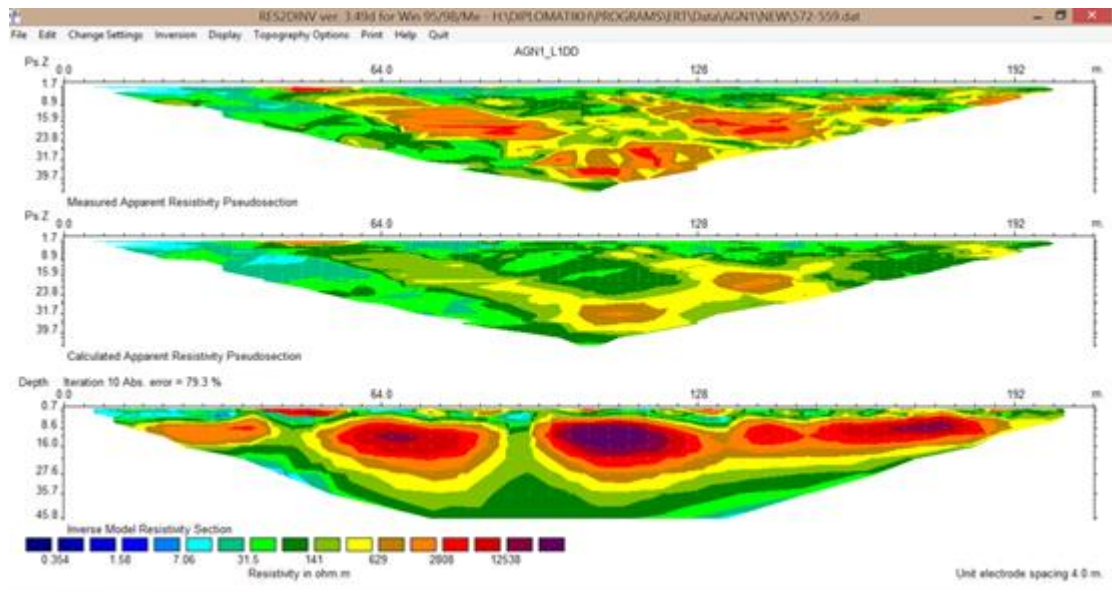
5) Αν το σφάλμα (RMS) που προκύπτει από την σύγκριση των δύο πρώτων μοντέλων (μοντέλα μετρούμενης και υπολογιζόμενης φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης) δεν είναι αποδεκτό, τότε μειώνεται αφαιρώντας κάποιες μετρήσεις που θεωρούνται ως μη αξιόπιστα δεδομένα (Σχήμα 2.11). Αποθηκεύονται τα νέα “φιλτραρισμένα” δεδομένα σε ένα νέο αρχείο, και επαναλαμβάνονται τα βήματα 2,3,4.



Σχήμα 2.11: Αφαίρεση μη αξιόπιστων δεδομένων

Στην περίπτωση του σχήματος 2.11 (πάνω) παρατηρείται το πλήθος δεδομένων με συγκεκριμένο ποσοστό σφάλματος. Το ιδανικό είναι τα περισσότερα δεδομένα να συγκεντρώνονται σε μικρά ποσοστά σφάλματος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρούνται 9 σημεία ή περίπου το 2% των συνολικών δεδομένων σε ποσοστό σφάλματος 300%. Επομένως, τα δεδομένα που συγκεντρώνονται σε υψηλά ποσοστά σφάλματος είναι εκείνα που αφαιρούνται.

Στην περίπτωση του σχήματος 2.11(κάτω) αφαιρούνται τα δεδομένα που αποκλίνουν από την μέση τιμή (η μέση τιμή προσδιορίζεται από τις ευθείες που δημιουργούν τα σημεία). Επομένως, τα σημεία που αποκλίνουν πολύ από την ευθεία θεωρούνται ως μη αξιόπιστα δεδομένα και αφαιρούνται.



Σχήμα 2.12: Παράδειγμα αντιστροφής δεδομένων γραμμής ηλεκτρικής τομογραφίας μετά την αφαίρεση μη αξιόπιστων δεδομένων.

- 6) Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου το σφάλμα να είναι ικανοποιητικό. Αποθηκεύονται τα νέα “φιλτραρισμένα” δεδομένα σε ένα νέο αρχείο, και επαναλαμβάνονται τα βήματα 2,3,4.
- 7) Αποθηκεύεται η εικόνα του τελικού μοντέλου.
- 8) Για την καλύτερη σύγκριση μεταξύ γραμμών ηλεκτρικής τομογραφίας, προτιμάται η χρήση ίδιας χρωματικής κλίμακας για όλες τις γραμμές μελέτης.
 - Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί μια ικανοποιητική χρωματική κλίμακα.
 - Αποθηκεύεται η εικόνα του τελικού μοντέλου

2.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

2.3.1 Μεθοδολογία απόκτησης δεδομένων

Αρχικά, εφόσον έχει οριοθετηθεί η γραμμή μελέτης, τα γεώφωνα τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Συνήθως χρησιμοποιούνται γεώφωνα ευαίσθητα στην κατακόρυφη ταλάντωση του εδάφους. Στη συνέχεια, σε προκαθορισμένο σημείο της γραμμής μελέτης, ενεργοποιείται η σεισμική πηγή που δημιουργεί διαμήκη κύματα (π.χ. έκρηξη, πίπτον βάρος, χτύπημα με βαριοπούλα σεμεταλλική πλάκα κ.α.) και καταγράφεται το πλάτος της εδαφικής κίνησης σε συνάρτηση με το χρόνο. Κρατώντας τα γεώφωνα σταθερά, μετακινείται η σεισμική πηγή σε άλλο σημείο της γραμμής μελέτης και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Για κάθε γραμμή μελέτης επιλέγονται τουλάχιστον τρεις διαφορετικές θέσεις της σεισμικής πηγής. Πραγματοποιείται κανονικό και αντίστροφο πείραμα, δηλαδή λαμβάνονται καταγραφές με τη θέση της

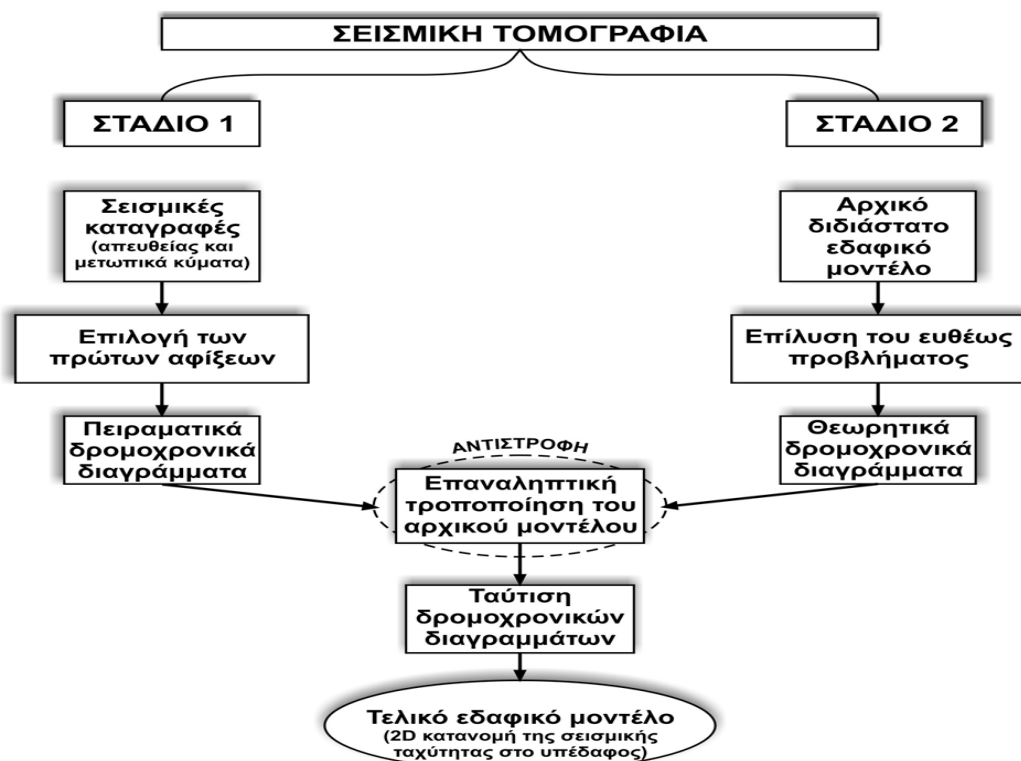
σεισμικής πηγής τοποθετημένη α) κοντά στο πρώτο γεώφωνο (κανονικό πείραμα) και β) κοντά στο τελευταίο γεώφωνο (αντίστροφο πείραμα). Επίσης λαμβάνονται καταγραφές με την πηγή τοποθετημένη ανάμεσα στο ανάπτυγμα των γεωφώνων.

2.3.2 Μεθοδολογία επεξεργασίας δεδομένων

Στη σεισμική διάθλαση προσδιορίζονται πειραματικά οι χρόνοι διαδρομής των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται οι καμπύλες των χρόνων διαδρομής των κυμάτων αυτών, για τον καθορισμό της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα επιφανειακά γεωλογικά στρώματα και του πάχους τους.

Μέθοδος σεισμικής τομογραφίας

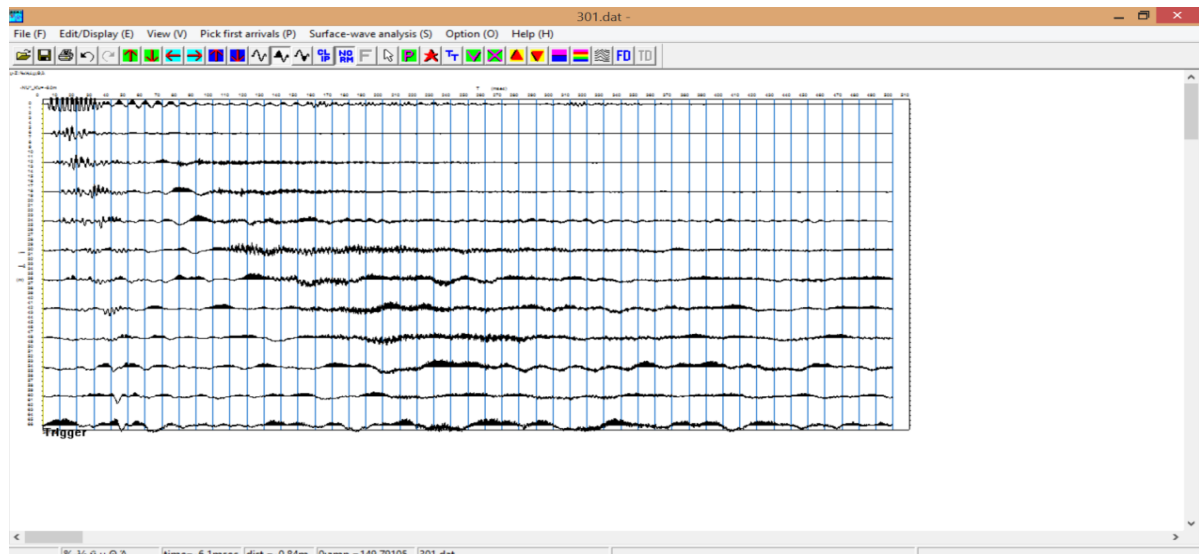
Η μέθοδος της Σεισμικής Τομογραφίας βασίζεται στην σύγκριση των πειραματικών χρόνων πρώτων αφίξεων (που προέκυψαν από τις καταγραφές) και των θεωρητικά υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων που προκύπτουν από αρχικό δισδιάστατο εδαφικό μοντέλο. Τροποποιώντας επαναληπτικά το αρχικό εδαφικό μοντέλο, πραγματοποιείται η «ταύτιση» (στα όρια κάποιου αποδεκτού σφάλματος) των συγκρινόμενων χρόνων πρώτων αφίξεων (Σχήμα 2.13). Το τελικό εδαφικό μοντέλο απεικονίζει την πραγματική κατανομή της σεισμικής ταχύτητας στο υπέδαφος, κάτω από την σεισμική γραμμή μελέτης. Έτσι, απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία της μεθόδου είναι η εισαγωγή από το χρήστη αρχικού μοντέλου βάθους και των αντίστοιχων σεισμικών ταχυτήτων.



Σχήμα 2.13: Σχηματικό διάγραμμα ροής της επεξεργασίας των σεισμικών καταγραφών με την μέθοδο της Σεισμικής Τομογραφίας

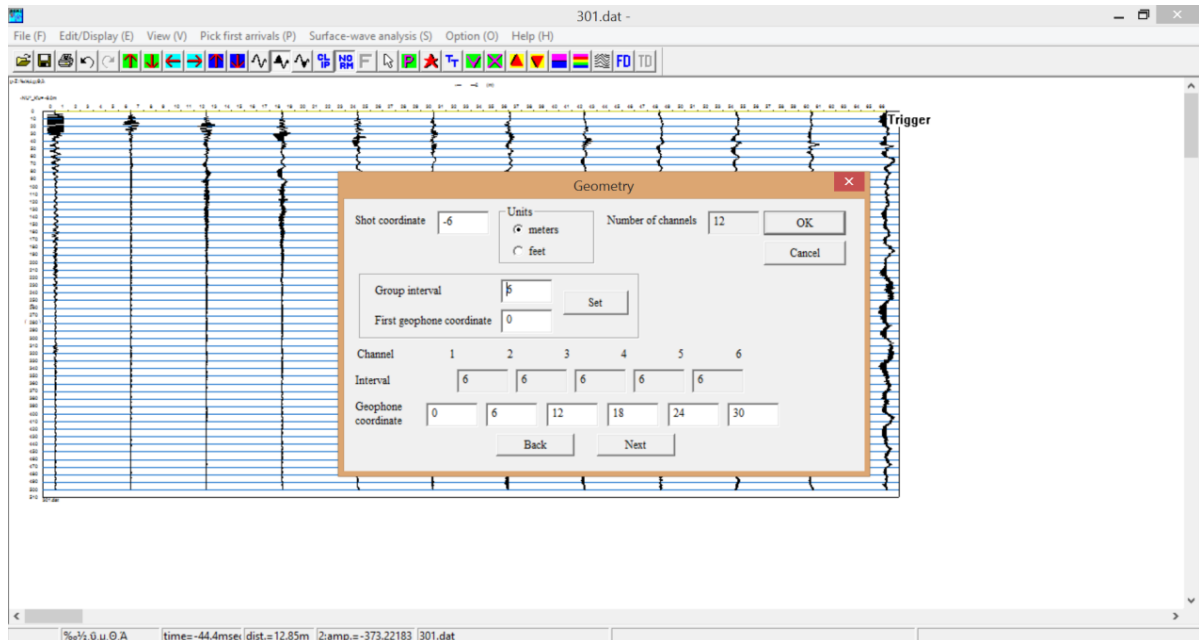
Για την επεξεργασία των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SeisImager και ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Εισαγωγή των καταγραφών της σεισμικής διάθλασης (Σχήμα 2.14).



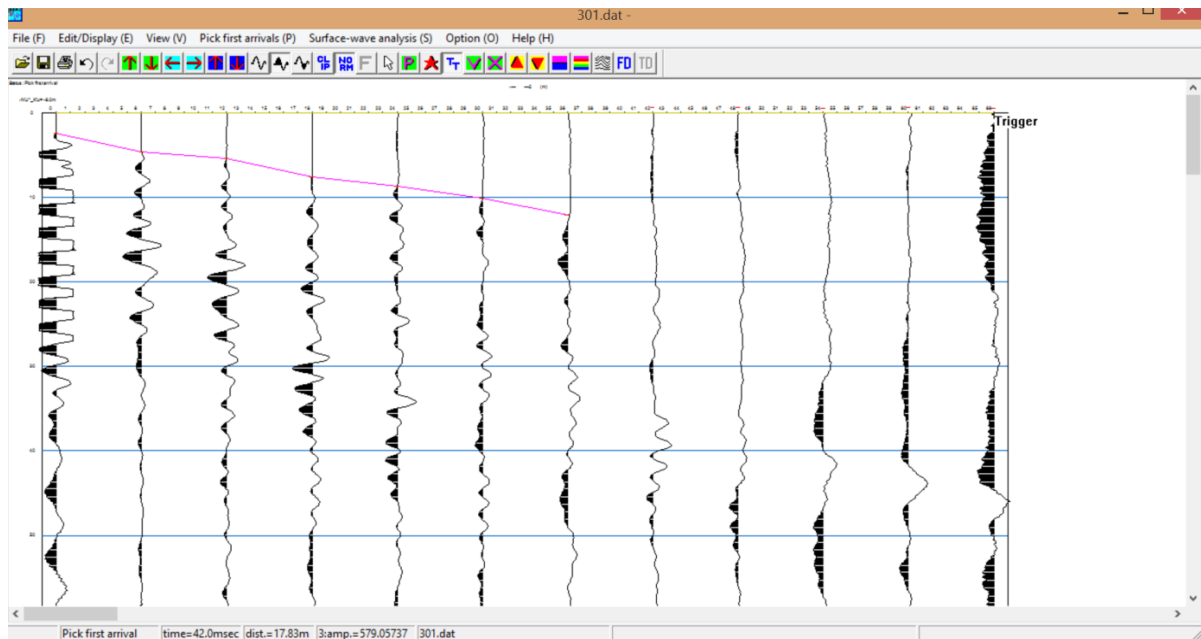
Σχήμα 2.14: Αρχική απεικόνιση των σεισμικών δεδομένων

- Διαμόρφωση της γεωμετρίας όπου διαμορφώνονται οι θέσεις της πηγής και των γεωφώνων για κάθε γραμμή μελέτης χωριστά (Σχήμα 2.15).



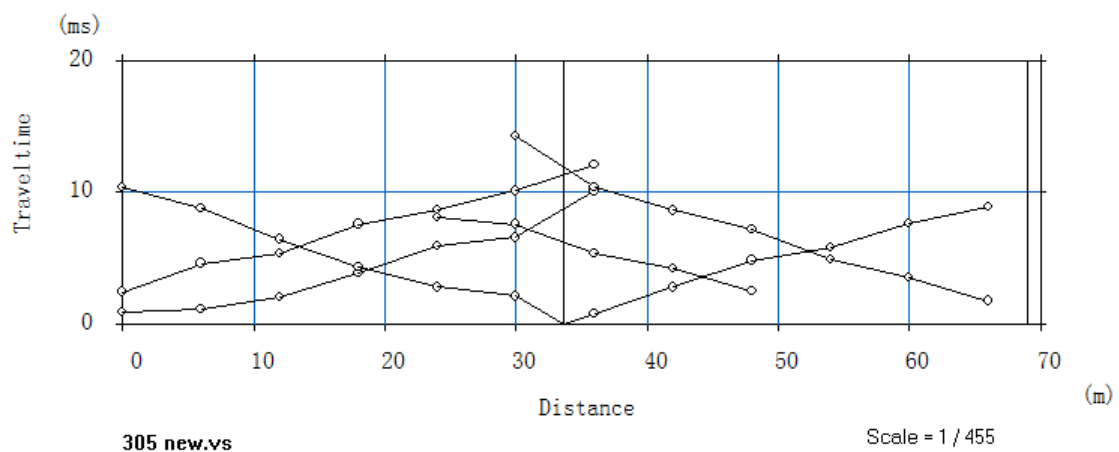
Σχήμα 2.15: Το παράθυρο του «Edit source/receiver locations, etc. »

- Επιλογή των πρώτων αφίξεων των σεισμικών κυμάτων (picking) με το πρόγραμμα Pickwin και αποθήκευση αυτών (Σχήμα 2.16).



Σχήμα 2.16: Αυτόματη ένωση των πρώτων αφίξεων

- Δημιουργία δρομοχρονικού διαγράμματος με το πρόγραμμα Plotrefa (Σχήμα 2.17).



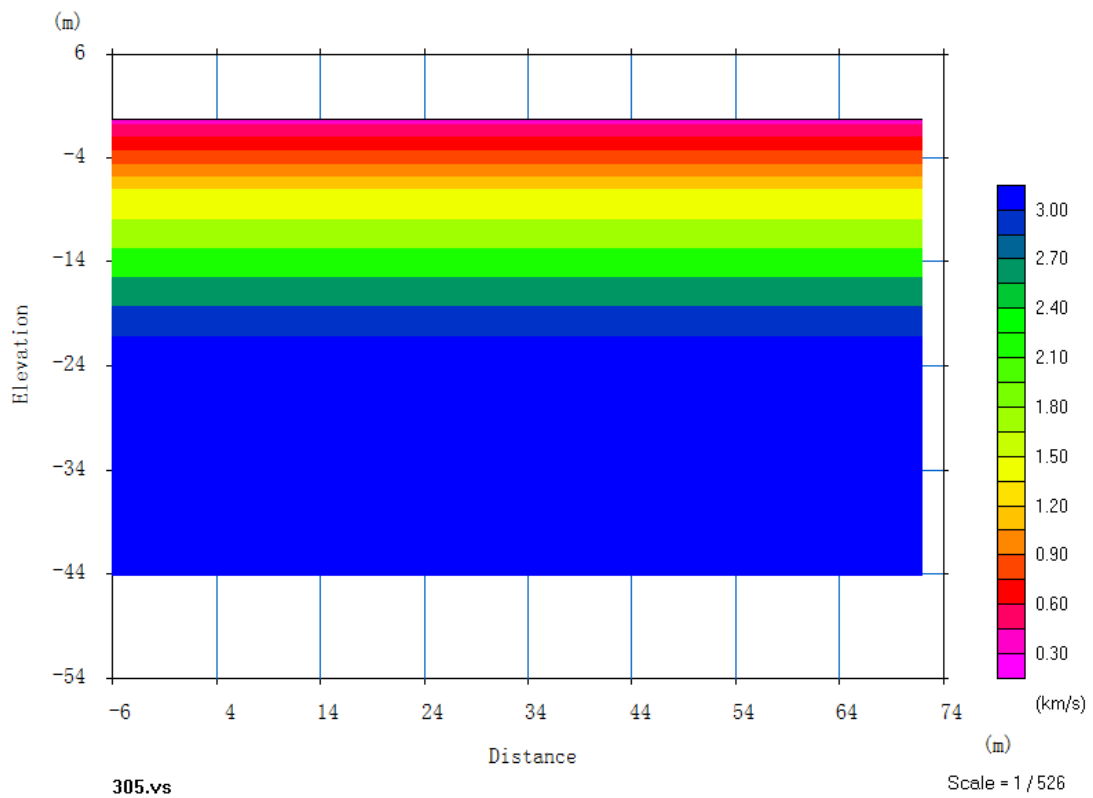
Σχήμα 2.17: Απεικόνιση του δρομοχρονικού διαγράμματος

Στο διάγραμμα αυτό εντοπίζονται οι πρώτες αφίξεις από τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα από κάθε επιφάνεια και αντιστοιχούν σε εδαφικά στρώματα. Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετείται ο χρόνος αφίξεων (traveltime) (ms) και στον οριζόντιο η οριζόντια απόσταση (distance) (m) σύμφωνα με τις θέσεις των γεωφώνων και της πηγής στο πεδίο.

- Δημιουργία αρχικού σεισμικού μοντέλου (Σχήμα 2.18)

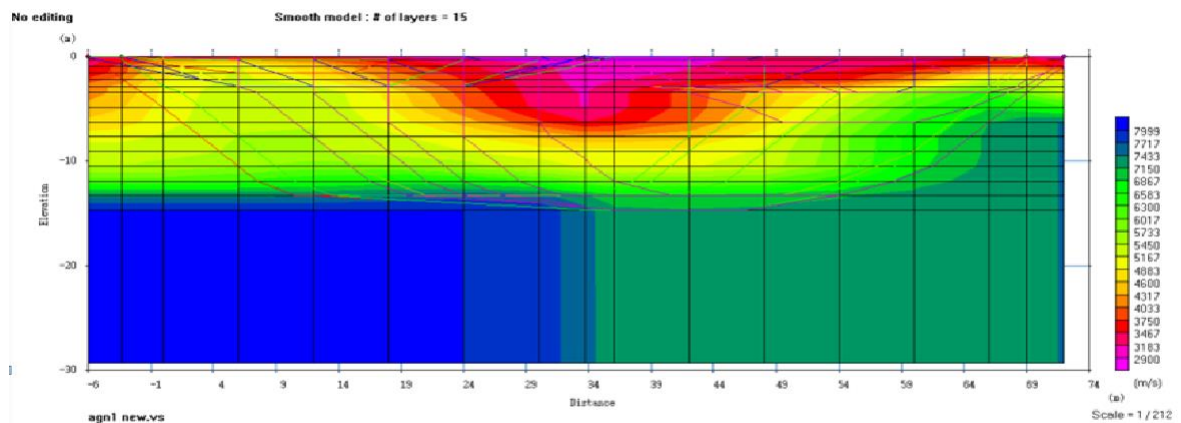
No editing

Smooth model : # of layers = 15



Σχήμα 2.18: Οριζόντια στρωματωμένο αρχικό εδαφικό μοντέλο.

- Προσδιορισμός της σεισμικής ταχύτητας και του μοντέλου βάθους (αντιστροφή) (Σχήμα 2.19)



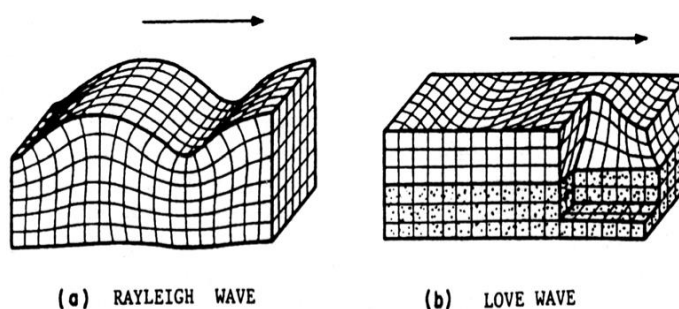
Σχήμα 2.19: Απεικόνιση του τελικού μοντέλου βάθους

2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ RAYLEIGH

Στην επιφάνεια της γης διαδίδονται επιφανειακά κύματα Rayleigh, Love και ψευδο-Rayleigh. Το κυριότερο χαρακτηριστικό των επιφανειακών κυμάτων είναι ότι το πλάτος τους ελαττώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης. Σε απόσταση λ από την διαχωριστική επιφάνεια, όπου λ το μήκος του επιφανειακού κύματος, το πλάτος του επιφανειακού κύματος πρακτικά μηδενίζεται.

Τα κύματα Rayleigh είναι σύνθετα κύματα αποτελούμενα από P και SV συνιστώσες με αναλογία πλατών 1:1.5. Δηλαδή, οι ταλαντώσεις των υλικών σημείων γίνονται στο κατακόρυφο επίπεδο το οποίο περιέχει την διεύθυνση διάδοσης των επιφανειακών κυμάτων. Η ταχύτητα τους εξαρτάται από τις ελαστικές σταθερές, τη πυκνότητα αλλά και από την συχνότητα (ή το μήκος κύματος), όταν τα κύματα Rayleigh διαδίδονται σε μη ομογενή μέσα.

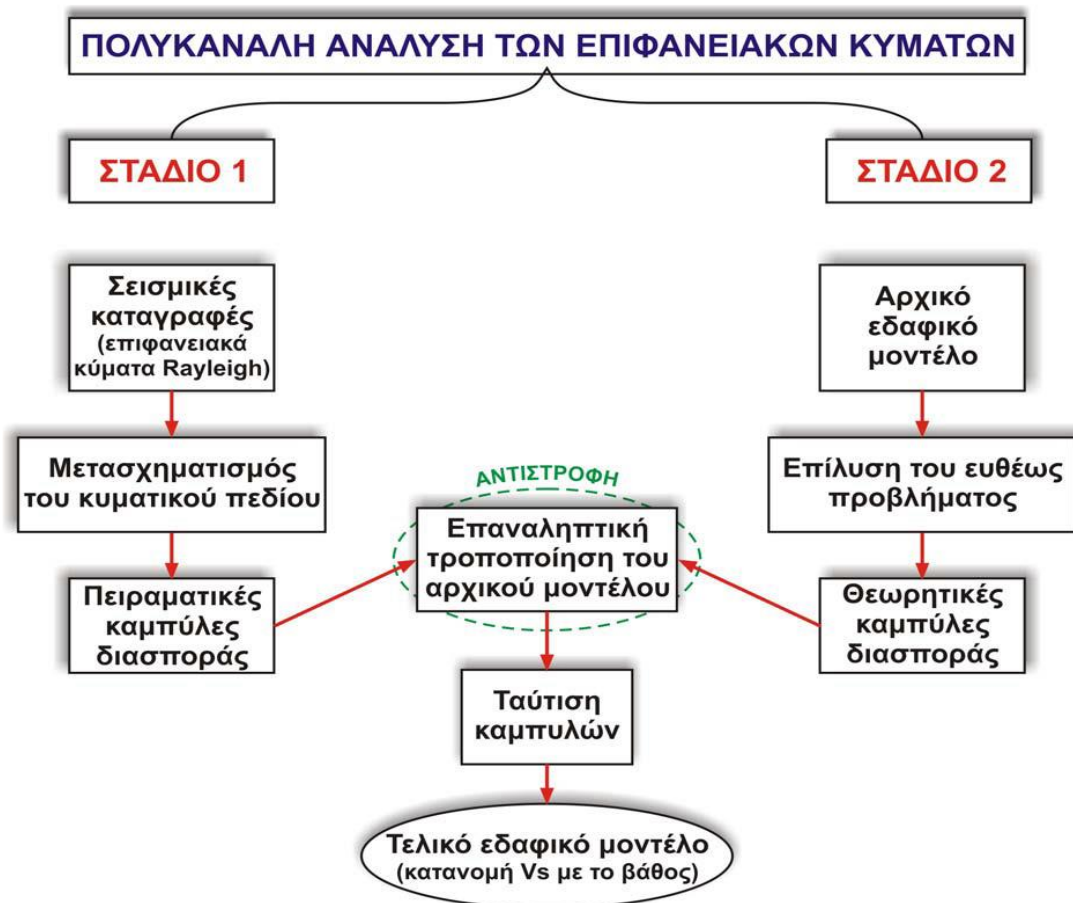
Τα κύματα Love και ψευδο-Rayleigh δημιουργούνται από τη συμβολή ολικά ανακλώμενων κυμάτων χώρου. Τα υλικά σημεία κατά την διάδοση των κυμάτων Love πραγματοποιούν ταλαντώσεις οριζόντιας διεύθυνσης, η οποία είναι κάθετη στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Σχήμα 2.20). (Βαφείδης 2011).



Σχήμα 2.20: Σχηματικός τρόπος διάδοσης των σεισμικών Love και Rayleigh κυμάτων (Ραπτάκης, 1995).

Με την πολυκάναλη ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων (Multichannel analysis of surface waves – MASW) αξιολογούνται οι ελαστικές παράμετροι του εδάφους. Είναι μια από τις πιο πρακτικές, μη καταστροφικές σεισμικές μεθόδους.

Η μεθοδολογία της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh είναι δυνατό να χωριστεί σε δύο διακριτά στάδια (Σχήμα 2.21). Κατά το πρώτο στάδιο, από τις σεισμικές καταγραφές κοινής πηγής, προκύπτουν οι πειραματικές καμπύλες διασποράς. Στο δεύτερο στάδιο προσδιορίζονται οι θεωρητικές καμπύλες διασποράς για οριζόντια στρωματομένο εδαφικό μοντέλο. Τροποποιώντας επαναληπτικά το εδαφικό μοντέλο επιτυγχάνεται η προσαρμογή της θεωρητικής καμπύλης διασποράς στην πειραματική (διαδικασία που ονομάζεται αντιστροφή). Έτσι, εφόσον πραγματοποιηθεί ταύτιση των καμπύλων, προσδιορίζεται το τελικό εδαφικό μοντέλο (κατανομή της ταχύτητας των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων (V_s) με το βάθος) (Αβγαγιάνος, 2011).



Σχήμα 2.21: Σχηματική παράσταση μεθοδολογίας πολυκάναλης ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (Κρητικάκης, 2010).

2.4.1 Πολυκάναλη ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων MASW και Re-Mi

Στην MASW τα κύματα δημιουργούνται μέσω μιας πηγής π.χ. βαρειοπούλα. Το μέγιστο βάθος έρευνας είναι μικρότερο από 30 m αλλά μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την περιοχή μελέτης και την πηγή των κυμάτων και εξαρτάται από το μεγαλύτερο μήκος κύματος των επιφανειακών κυμάτων. Μια πηγή όπως π.χ ρίψη αντικειμένου μεγάλου βάρους, μπορεί να δημιουργήσει μεγάλα μήκη κύματος, δεν είναι όμως οικονομική και εύκολη στην χρήση στο πεδίο.

Η τεχνική ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων από μικροθόρυβο χρησιμοποιεί επιφανειακά κύματα τα οποία προέρχονται από ανθρωπογενείς (π.χ αυτοκίνητα) ή περιβαλλοντικούς (π.χ μικροδονήσεις) παράγοντες. Τα κύματα αυτά είναι χαμηλής συχνότητας (1-30 Hz) και το βάθος έρευνας μπορεί να φτάσει βαθύτερα από τα 100 m. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί από 24 ή και περισσότερους δέκτες (κανάλια) με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία στην επεξεργασία των δεδομένων παρέχοντας μεγαλύτερη ανάλυση.

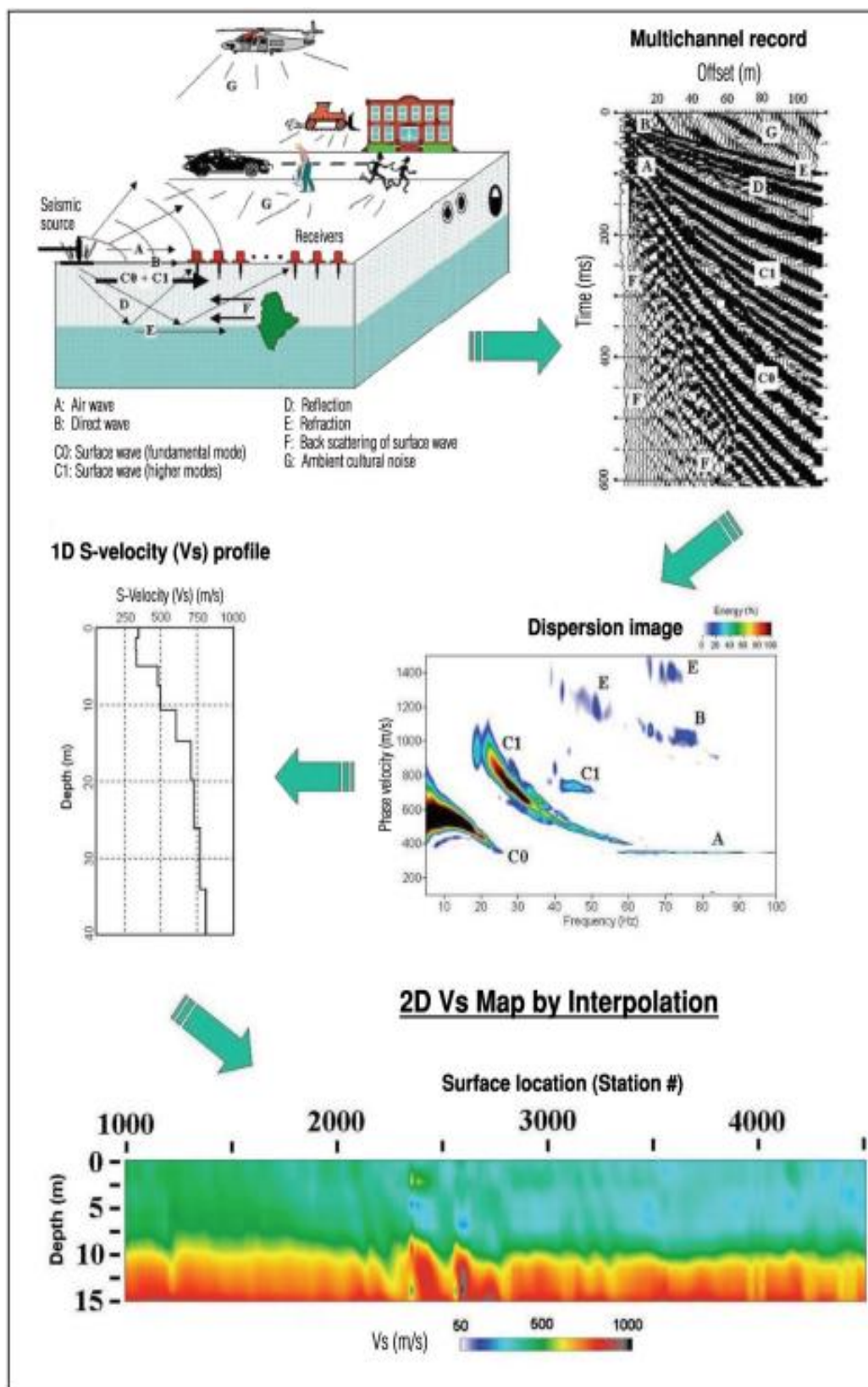
Η συνδυασμένη χρήση αυτών των δύο τεχνικών δίνει μεγαλύτερα βάθη έρευνας (σε σχέση με την MASW μόνο) και ακριβέστερα αποτελέσματα (Σχήμα 2.23).

2.4.2 Μεθοδολογία απόκτησης και επεξεργασίας δεδομένων

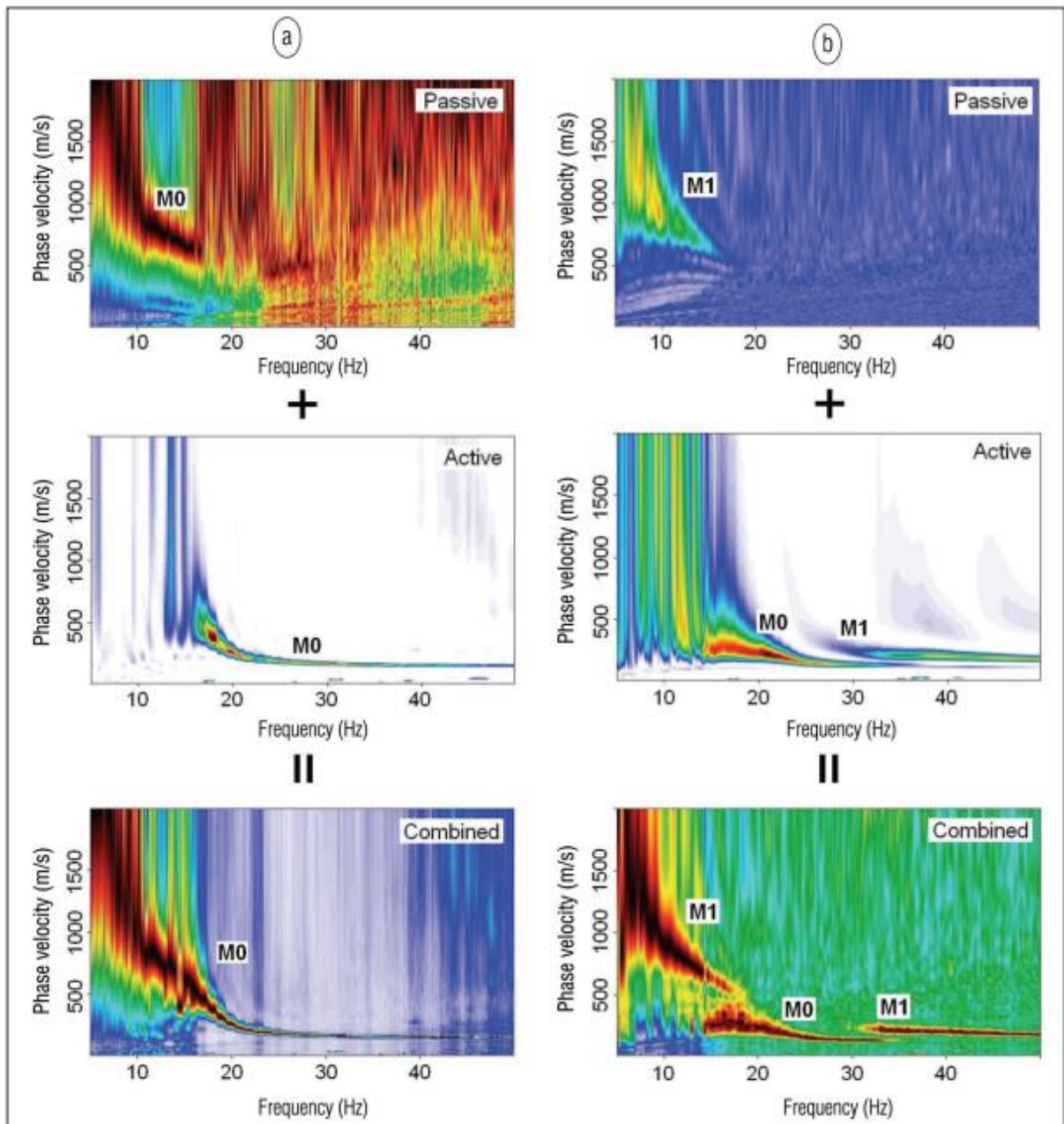
Η διάταξη πηγής γεωφώνων συνήθως είναι εκείνη η οποία εφαρμόζεται στην σεισμική διάθλαση. Εφόσον ο προσδιορισμός των πειραματικών καμπυλών σκέδασης βασίζεται στην ανάλυση των σειсмоγραμμάτων γίνεται φανερό ότι η όσο το δυνατόν πιο ευκρινής καταγραφή των επιφανειακών κυμάτων είναι πολύ σημαντική για την εφαρμογή της μεθόδου (Κρητικάκης, 2001).

Η βασική προϋπόθεση για την υλοποίηση της μεθόδου της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων είναι η χρήση πολλών σταθμών παρατήρησης (> 2) κατά μήκος γραμμής μελέτης. Για τον προσδιορισμό της κατακόρυφης κατανομής της ταχύτητας Vs με το βάθος, αρκεί τυπική διάταξη κοινής πηγής. Η εκτίμηση της παραμέτρου αυτής (Vs) στις 2 διαστάσεις προσεγγίζεται με την κύλιση (rollalong) της διάταξης πηγής γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης, με τις ισαποστάσεις των διαδοχικών θέσεων των πηγών που αντιστοιχούν συνήθως σε ακέραιο πολλαπλάσιο της ισαπόστασης των γεωφώνων. Σε μια τέτοια περίπτωση, για κάθε καταγραφή κοινής πηγής πραγματοποιείται ξεχωριστή επεξεργασία και η κατακόρυφη κατανομή της Vs που προκύπτει, αντιστοιχείται στο κέντρο της διάταξης των γεωφώνων (Luo et al., 2009a). Με την βοήθεια παρεμβολής κατασκευάζεται μια ψευδοτομή της ταχύτητας διάδοσης των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων (Σχήμα 2.22). Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται από την κατανομή της σεισμικής ενέργειας στα διαφορετικά μήκη κύματος των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh. Το μέγιστο βάθος διείσδυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh σε ομοιογενή ημιχώρο ισούται περίπου με το μήκος κύματος. Το ελάχιστο και μέγιστο καταγεγραμμένο μήκος κύματος σχετίζεται με την ισαπόσταση και το μήκος του αναπτύγματος των γεωφώνων, αντίστοιχα. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την συλλογή των σεισμικών δεδομένων κατά την υλοποίηση της μεθόδου της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων είναι (Κρητικάκης, 2010):

- Το ανάγλυφο
- Η σεισμική πηγή
- Οι δέκτες (γεώφωνα)
- Η γεωμετρία της διάταξης πηγής-γεωφώνων
- Οι παράμετροι καταγραφής



Σχήμα 2.22: Παράδειγμα απόκτησης και επεξεργασίας δεδομένων στην πολυκάναλη ανάλυση επιφανειακών κυμάτων (Park et al, 2007).



Σχήμα 2.23: Συνδυασμός τεχνικών Re-Mi και MASW με σκοπό την αύξηση του βάθους μελέτης (Park et.al,2007).

Στο σχήμα 2.23 παρατηρείται ο συνδυασμός των δυο τεχνικών. Ουσιαστικά συνδυάζονται η χαμηλόσυχη ταχύτητα από την τεχνική του μικροθορύβου και η υψηλόσυχη από την MASW. Με αυτό τον τρόπο προκύπτει μια πιο αξιόπιστη καμπύλη διασποράς, η οποία δίνει πληροφορίες για πιο μεγάλο βάθος μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Κατά την διαδικασία της μελέτης του υπεδάφους πραγματοποιήθηκαν γεωτρήσεις σε επιλεγμένες θέσεις. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν γεωτρήσεις στις περιοχές της Σητείας (SIT2) και του Αγίου Νικολάου (AGN1). Οι συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) των γεωτρήσεων είναι οι εξής:

Πίνακας 3.1: Συντεταγμένες θέσεων των γεωτρήσεων (Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Πολυτεχνείου Κρήτης).

ΘΕΣΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	X	Y
SIT2	691719	3897530
AGN1	656064	3898468

Οι γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν με συνεχή πυρηνοληψία και δοκιμές επί τόπου εντός των γεωτρήσεων. Αναλυτικότερα έγιναν:

- **Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (Standard Penetration Test, SPT):** Χρησιμοποιείται για ποιοτική ένδειξη των επιτόπου ιδιοτήτων των εδαφών. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής μετρούνται οι αριθμοί των κρούσεων που απαιτούνται για την ανά 15 cm διείσδυση του δειγματολήπτη στο έδαφος, μέχρι αυτός να εισχωρήσει συνολικά 45 cm. Το αποτέλεσμα της δοκιμής είναι ο αριθμός των κρούσεων που απαιτούνται για τη διείσδυση των 30 (15 + 15) τελευταίων cm και συμβολίζεται με N ή N_{SPT}. Οι κρούσεις για τη διείσδυση των πρώτων 15 cm δεν λαμβάνονται υπόψη, επειδή είναι πολύ πιθανό στον πυθμένα της γεώτρησης να υπάρχουν υλικά κατάπτωσης ή το έδαφος στη θέση της δοκιμής να έχει διαταραχθεί κατά την εκτέλεση της γεώτρησης. Με τον τρόπο αυτό απεικονίζεται η αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στη διείσδυση του συγκεκριμένου δειγματολήπτη (Καπατσώλου, 2008).
- **Δοκιμή μεταβλητού φορτίου (Maag):** Η απλούστερη μέθοδος προσδιορισμού του συντελεστή υδροπερατότητας, που χρησιμοποιείται στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών, δηλαδή υλικών με χαμηλή υδροπερατότητα. Σύμφωνα με τη δοκιμή αυτή, παροχετεύεται νερό στη γεώτρηση και μετρίεται ο χρόνος που χρειάζεται για να κατέβει η νέα στάθμη που δημιουργήθηκε σε μια πιο χαμηλή θέση [1] (Πηγή από διαδίκτυο)*.

Παρακάτω δίνονται τα βάθη όπου πραγματοποιήθηκαν οι παραπάνω δοκιμές για τις θέσεις μελέτης.

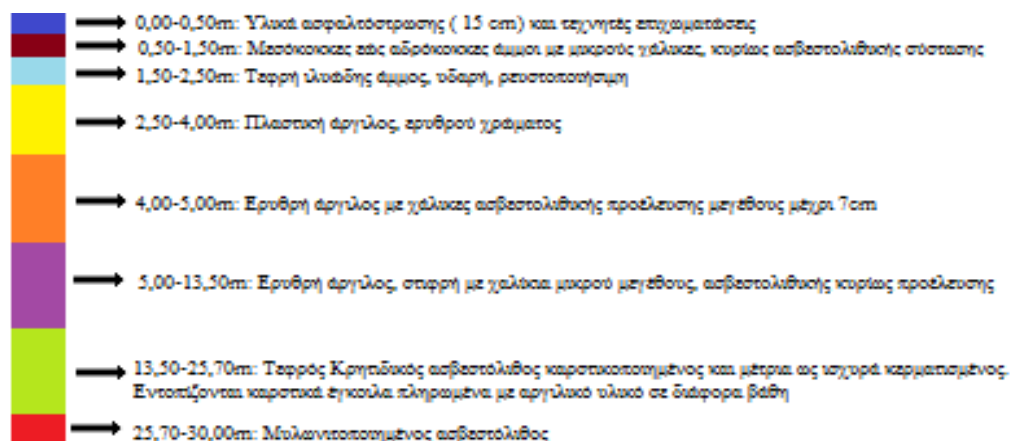
Πίνακας 3.2: Βάθη των γεωτρήσεων όπου πραγματοποιήθηκε η δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Πολυτεχνείου Κρήτης).

SIT2	1,90-2,20 m	4,00-4,50 m	6,50-7,00 m	8,50-9,00 m	13,50-14,05 m	17,50-18,00 m
AGN1	1,00-1,50 m	5,80-6,25 m	10,50-10,95 m			

Πίνακας 3.3: Βάθη των γεωτρήσεων όπου πραγματοποιήθηκε η δοκιμή Maag (Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Πολυτεχνείου Κρήτης).

SIT2	4.00-4.30	8.00-8.50	
AGN1	1.50-1.90 m	6.40-7.00 m	14.50-15.00 m

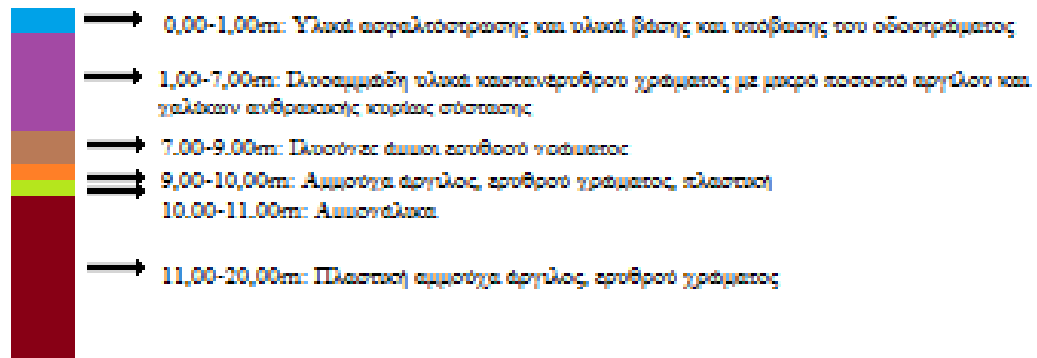
Στην γεώτρηση που πραγματοποιήθηκε για την θέση AGN1 (Σχήμα 3.1) παρατηρούνται τα εξής στρώματα:



Σχήμα 3.1: Αποτελέσματα γεώτρησης για την θέση AGN1 (Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Πολυτεχνείου Κρήτης).

- 0.5m υλικά ασφαλιόστρωσης (15 cm) και τεχνητές επιχωματώσεις
- 1m μεσόκοκκες έως αδρόκοκκες άμμοι με μικρούς χάλικες, κυρίως ασβεστολιθικής σύστασης
- 1m τεφρή ιλυώδης άμμος, υδαρή, ρευστοποιήσιμη
- 1.5m πλαστική άργιλος, ερυθρού χρώματος
- 0.8m ερυθρή άργιλος με χάλικες ασβεστολιθικής προέλευσης μεγέθους μέχρι 7cm
- 8.7m ερυθρή άργιλος, στιφρή με χαλίκια μικρού μεγέθους, ασβεστολιθικής κυρίως προέλευσης
- 11.7m τεφρός Κρητιδικός ασβεστόλιθος καρστικοποιημένος και μέτρια ως ισχυρά κερματισμένος. Εντοπίζονται καρστικά έγκοιλα πληρωμένα με αργιλικό υλικό σε διάφορα βάθη.
- 4.3m μυλωνιτοποιημένος ασβεστόλιθος

Στην γεώτρηση που πραγματοποιήθηκε για την θέση SIT2 (Σχήμα 3.2) παρατηρούνται τα εξής στρώματα:



Σχήμα 3.2: Αποτελέσματα γεώτρησης για την θέση SIT2 (Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Πολυτεχνείου Κρήτης).

- 1m από υλικά ασφαλιτόστρωσης (15cm) και υλικά βάσης και υπόβασης του οδοστρώματος
- 6m από ιλυοαμμώδη υλικά καστανέρυθρου χρώματος με μικρό ποσοστό αργίλου και χαλίκων ανθρακικής κυρίως σύστασης
- 2m από ιλυούχες άμμοι ερυθρού χρώματος
- 1m αμμούχα αργίλος, ερυθρού χρώματος, πλαστική
- Περίπου 1m αμμοχάλικα (χαλαρός εώσημισυνεκτικός σχηματισμός αποτελούμενος από άμμους και χάλικες ποικίλης διαβάθμισης)
- 9m πλαστική αμμούχα αργίλος, ερυθρού χρώματος

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης μπορεί να πραγματοποιηθεί κατηγοριοποίηση του υπεδάφους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Για να υπολογιστεί η τιμή N_{spt} για κάθε περιοχή χρησιμοποιείται η εξής σχέση:

$$N_{spt} = (h_1 * N_{spt1} + h_2 * N_{spt2} + \dots + h_n * N_{sptn}) / (h_1 + h_2 + \dots + h_n) \quad (3.1)$$

Όπου $N_{spt1,n}$ ο αριθμός των κρούσεων για κάθε στρώμα και $h_{1,n}$ το πάχος κάθε στρώματος όπου πραγματοποιήθηκε η δοκιμή πρότυπης διείσδυσης.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης και η κατηγοριοποίηση του εδάφους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 παρατίθενται στο τέταρτο κεφάλαιο.

3.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΚΡΟΥ (ZKR)

3.2.1 Συλλογή γεωφυσικών δεδομένων

Στην συγκεκριμένη περιοχή, με συντεταγμένες $\varphi=35^\circ 06.877$, $\lambda=26^\circ 13.049$ στο σύστημα WGS84, πραγματοποιήθηκε ηλεκτρική και σεισμική διασκόπηση.

Στην γραμμή μελέτης της ηλεκτρικής διασκόπησης (ERT), με διεύθυνση νοτιοδυτικά–βορειοανατολικά, τοποθετήθηκαν 55 ηλεκτρόδια και μια μονάδα ηλεκτρικής τομογραφίας (STING R1). Η ισαπόσταση των ηλεκτροδίων ήταν 4m και το συνολικό μήκος της γραμμής μελέτης 216m. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με την διάταξη ηλεκτροδίων Wenner-Schlumberger. Παρακάτω δίνονται οι συντεταγμένες και τα υψόμετρα για τρεις θέσεις ηλεκτροδίων (πρώτο, εικοστό-έβδομο, πεντηκοστό-πέμπτο) κατά μήκος της γραμμής μελέτης:

Πίνακας 3.6: Συντεταγμένες και υψόμετρα για την γραμμή μελέτης της ηλεκτρικής διασκόπησης

ID	POINT X (m)	POINT Y (m)	POINT Z (m)
RZKR1	701652	3887718	284
RZKR27	701737	3887772	277.1
RZKR55	701832	3887827	249.3

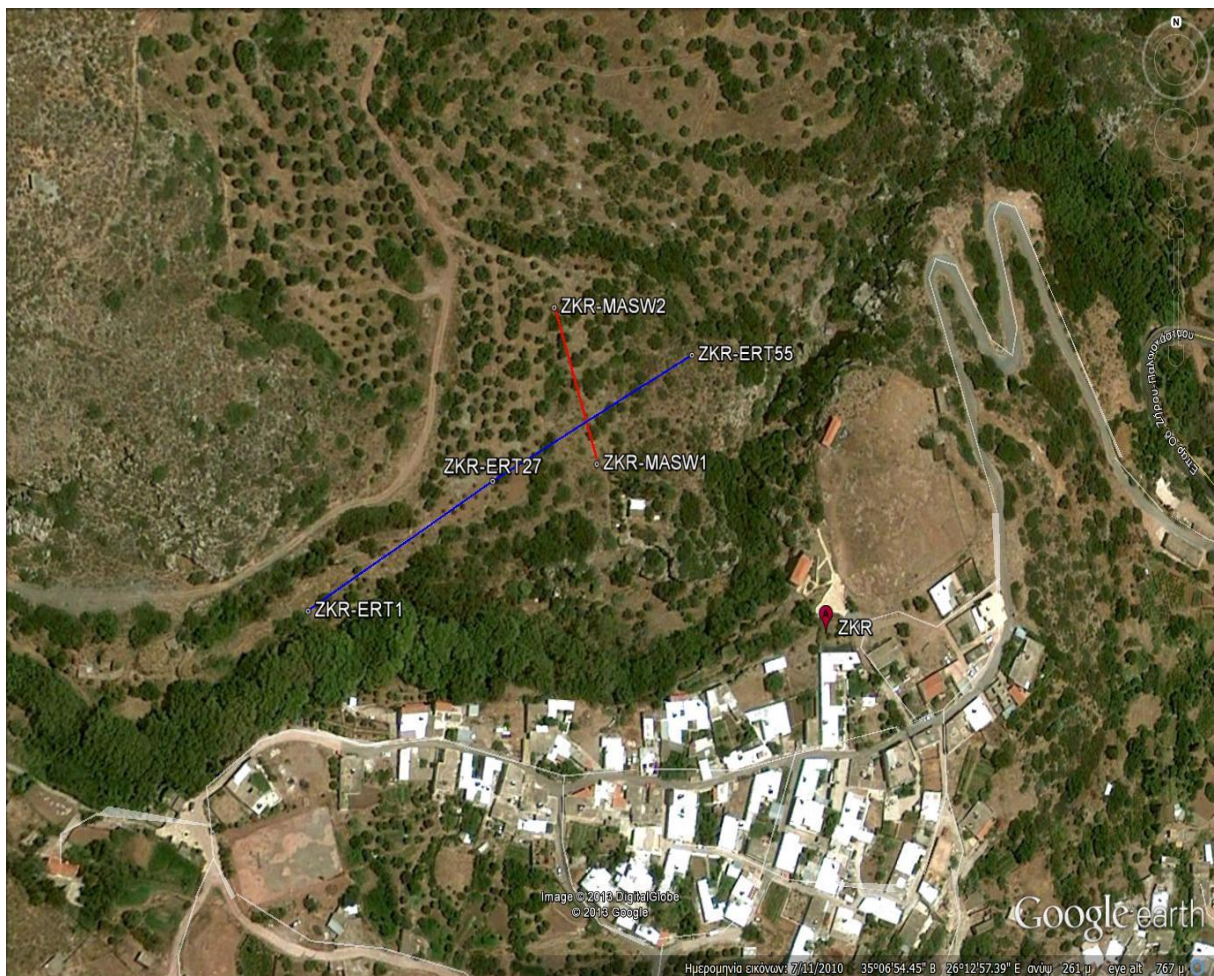
Στην σεισμική διασκόπηση η διεύθυνση της γραμμής μελέτης είναι Νότος - Βορράς. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με δύο μεθόδους: 1) την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης και MASW όπου χρησιμοποιήθηκαν σειсмоγράφος (GEODE) και 2 σειρές των 12 γεωφώνων (24 συνολικά) και 2) την μέθοδο του μικροθορύβου όπου χρησιμοποιήθηκαν σειсмоγράφος (GEODE) και σειρά 12 γεωφώνων.

Στην μέθοδο της σεισμικής διάθλασης και της MASW η ισαπόσταση των γεωφώνων ήταν 3 m και το μήκος της γραμμής μελέτης 69 m. Ο χρόνος καταγραφής ήταν 500 ms με ρυθμό δειγματοληψίας 1 ms (Σχήμα 3.4).

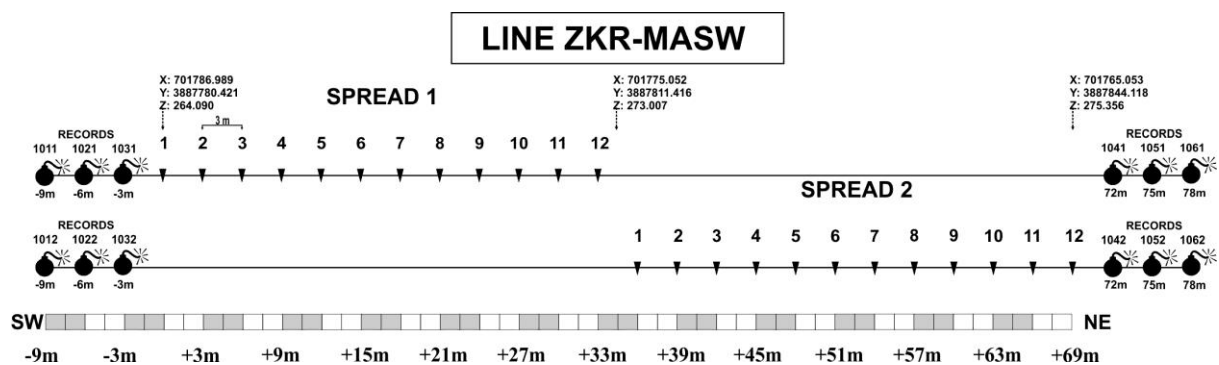
Πίνακας 3.7: Συντεταγμένες και υψόμετρα για την γραμμή μελέτης της σεισμικής διασκόπησης

ID	POINT X (m)	POINT Y (m)	POINT Z (m)
SZKR1	701786	3887780	264.1
SZKR2	701775	3887811	273
SZKR3	701765	3887844	275.4

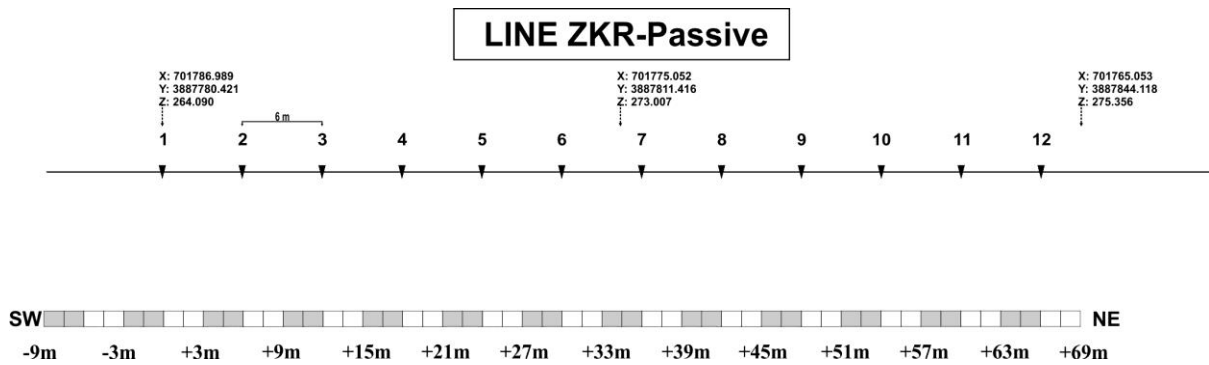
Για την καταγραφή του μικροθορύβου κατά μήκος της ίδιας γραμμής μελέτης, η ισαπόσταση των γεωφώνων ήταν 6 m και το μήκος της γραμμής μελέτης 66 m. Ο χρόνος καταγραφής ήταν 32768 ms με ρυθμό δειγματοληψίας 2 ms (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.3: Γραμμές μελέτης ηλεκτρικής (μπλέ) και σεισμικής (κόκκινο) διασκόπησης για την θέση ZKR



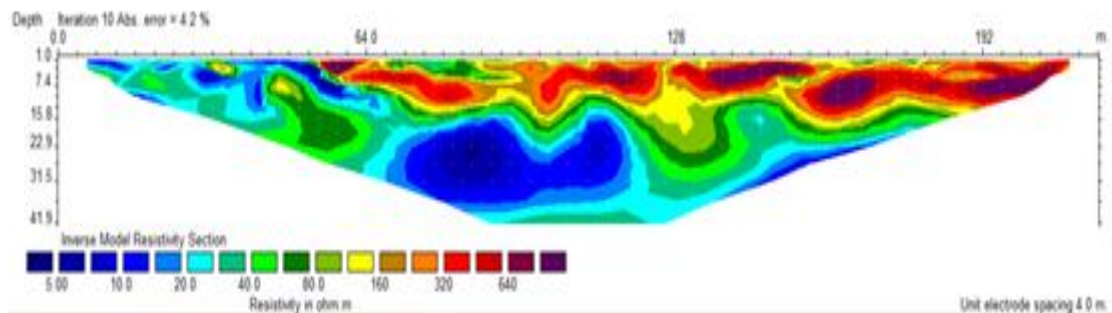
Σχήμα 3.4: Διάταξη πηγών και γεωφώνων κατά την σεισμική διασκόπηση με την μέθοδο σεισμικής διάθλασης και MASW για την θέση ZKR.



Σχήμα 3.5: Διάταξη γεωφώνων κατά την σεισμική διασκόπηση με την μέθοδο μικροθορύβου για την θέση ZKR.

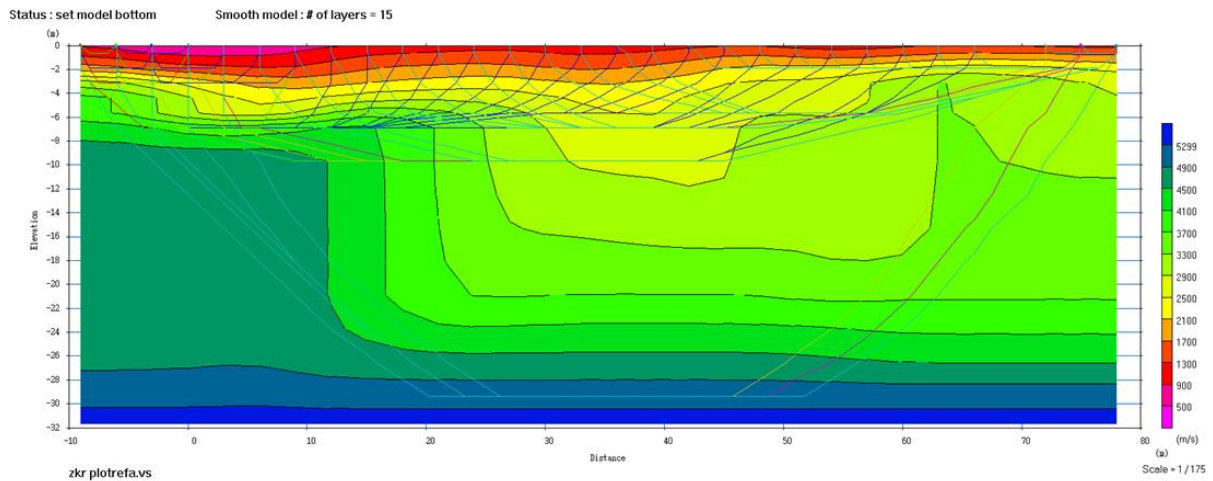
3.2.2 Αποτελέσματα επεξεργασίας

Η επεξεργασία των ηλεκτρικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Res2Dinv. Η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού SeisImager και των εργαλείων του, Pickwin, Plotrefa, WaveEq και Surface Wave Analysis Wizard. Τα δυο τελευταία χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων της MASW και Re-Mi ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων.



Σχήμα 3.6: Γεωηλεκτρική τομή για την θέση ZKR (γραμμή μελέτης ERT) με σφάλμα 4,2% και χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger

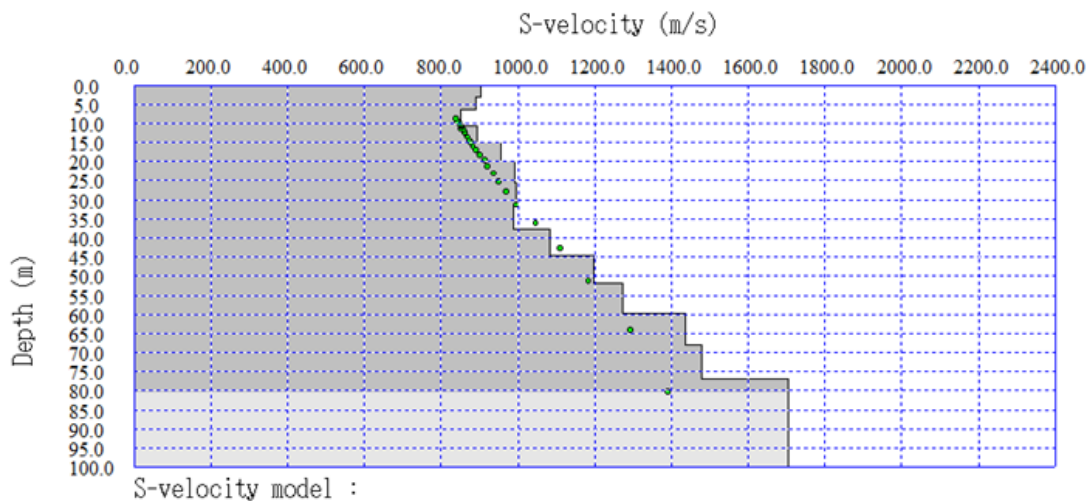
Στο σχήμα 3.6 παρατηρούνται δομές με υψηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση στα πιο ρηχά στρώματα. Από τα 56 m περίπου της γραμμής μελέτης μέχρι και το τέλος της (215m) και για βάθος περίπου μέχρι τα 23m η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι της τάξης των 80-1300 Ohmm. Από την αρχή της γραμμής μελέτης μέχρι τα 56m δεν παρατηρούνται αυτές οι τιμές αλλά πιο χαμηλές αντιστάσεις. Επίσης, είναι εμφανής δομή αρκετά χαμηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (από 5-30Ohmm) σε βάθος από 16- 42 m περίπου κάτω από το στρώμα των πιο υψηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων.



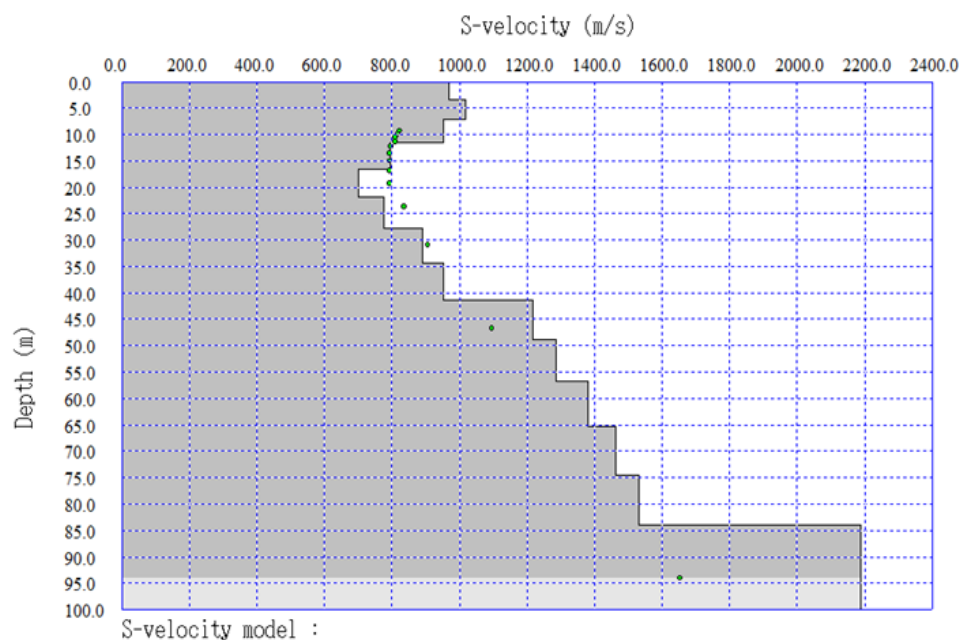
Σχήμα 3.7: Τελικό μοντέλο βάθους σεισμικής ταχύτητας για την περιοχή ZKR. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα είναι 1,9% μεταξύ πειραματικών και υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων.

Στο σχήμα 3.7 παρατηρείται ένα επιφανειακό στρώμα με ταχύτητα περίπου 500 m/s από τα -10 έως τα 10m της γραμμής μελέτης. Ακριβώς από κάτω είναι εμφανής η ύπαρξη στρώματος, με ταχύτητες που κυμαίνονται από 1300-2100 m/s, το οποίο μετά τα 10m της γραμμής μελέτης κάνει την εμφάνισή του στην επιφάνεια. Από κάτω στρώμα με ταχύτητες από 2900-4500m/s παρεμβάλλεται από τα -10 ως τα 10 m της γραμμής μελέτης με στρώμα υψηλότερης ταχύτητας (4900m/s) το οποίο στην συνέχεια (μετά τα 10 m της γραμμής μελέτης) υπόκειται του προηγούμενου.

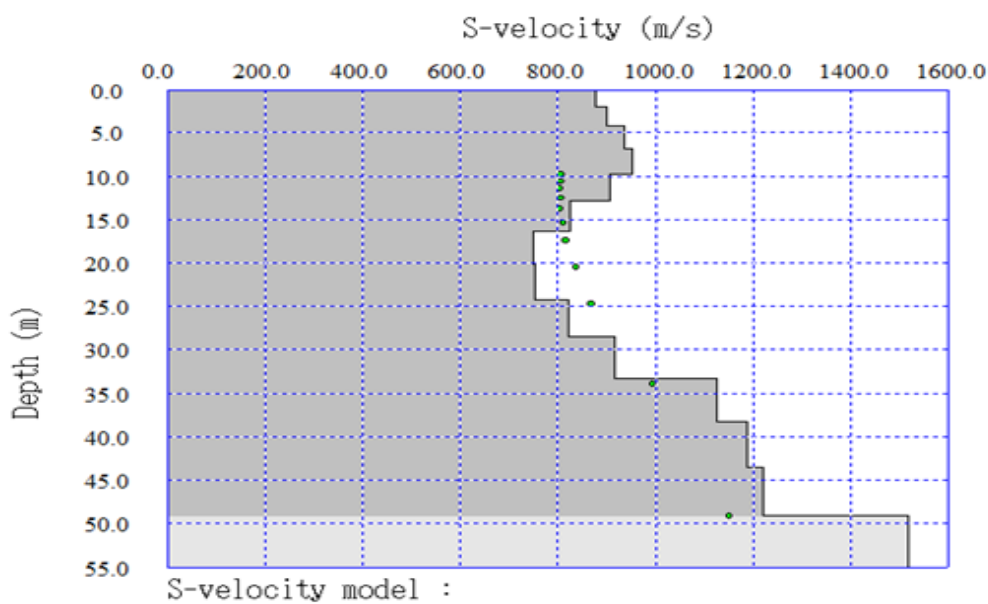
Στα σχήματα 3.8-3.11 παρουσιάζονται τα διαγράμματα ταχύτητας Vs με το βάθος.



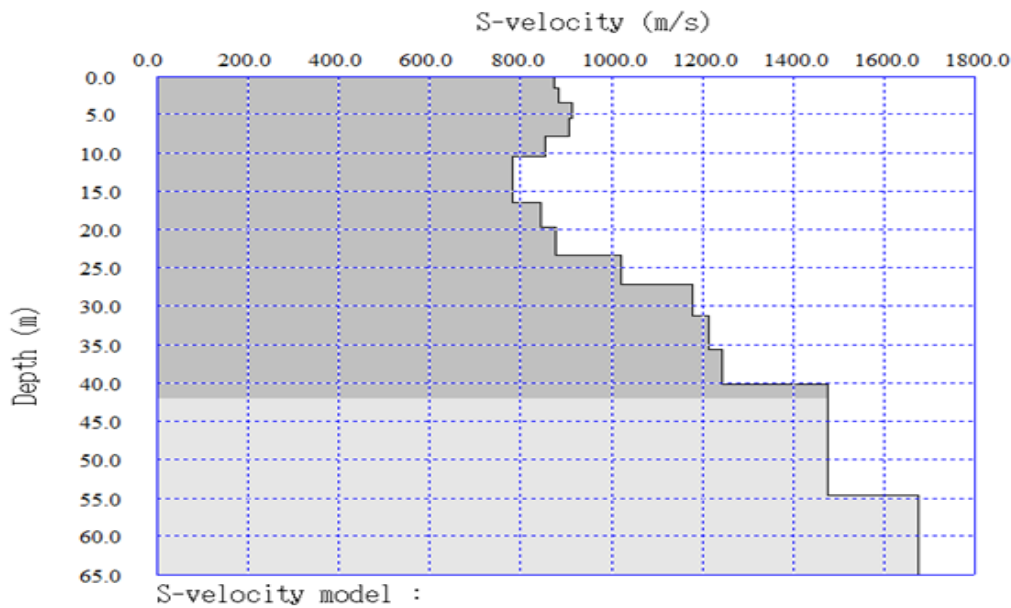
Σχήμα 3.8: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 0.208230% για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την Re-Mi.



Σχήμα 3.9: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος με RMSE 39,4m/s για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των ενοποιημένων δεδομένων από την MASW.



Σχήμα 3.10: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 1.076923% για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των δεδομένων του πρώτου αναπτύγματος γεωφώνων (θέση 1011) από την MASW.



Σχήμα 3.11.: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 0,286314% για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των δεδομένων του δεύτερου αναπτύγματος γεωφώνων (θέση 1052) από την MASW.

3.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΗΤΕΙΑΣ (SIT2)

3.3.1 Συλλογή γεωφυσικών δεδομένων

Στην συγκεκριμένη περιοχή, με συντεταγμένες $\varphi=35^{\circ} 12.367$, $\lambda=26^{\circ} 06.481$ (στο σύστημα WGS84) πραγματοποιήθηκε ηλεκτρική και σεισμική διασκόπηση.

Στην ηλεκτρική διασκόπηση χρησιμοποιήθηκαν δυο γραμμές μελέτης:

- Στην πρώτη γραμμή μελέτης (ERT 1) (Σχήμα 3.12), με διεύθυνση νοτιοανατολικά– βορειοδυτικά, τοποθετήθηκαν 41 ηλεκτρόδια (STING R1). Η ισαπόσταση των ηλεκτροδίων ήταν 5 m και το συνολικό μήκος της γραμμής μελέτης 215 m. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με τις διατάξεις Wenner-Schlumberger και διπόλου - διπόλου.

Πίνακας 3.8: Συντεταγμένες και υψόμετρα για την γραμμή μελέτης ERT 1 της ηλεκτρικής διασκόπησης.

ID	POINT X (m)	POINT Y (m)	POINT Z (m)
RSIT11	691752	3897497	2.6
RSIT12	691601	3897650	2.1

- Στην δεύτερη γραμμή μελέτης (ERT 2) (Σχήμα 3.12), με διεύθυνση νοτιοδυτικά – βορειοανατολικά, τοποθετήθηκαν 28 ηλεκτρόδια (STING R1). Η ισαπόσταση των ηλεκτροδίων ήταν 3 m και το συνολικό μήκος της γραμμής μελέτης 81 m. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο διπόλου – διπόλου. Παρακάτω δίνονται οι συντεταγμένες και τα υψόμετρα για την γραμμή:

Πίνακας 3.9: Συντεταγμένες και υψόμετρα για την γραμμή μελέτης ERT 2 της ηλεκτρικής διασκόπησης.

ID	POINT X (m)	POINT Y (m)	POINT Z (m)
RSIT21	691566	3897804	4.2
RSIT22	691529	3897733	5.5

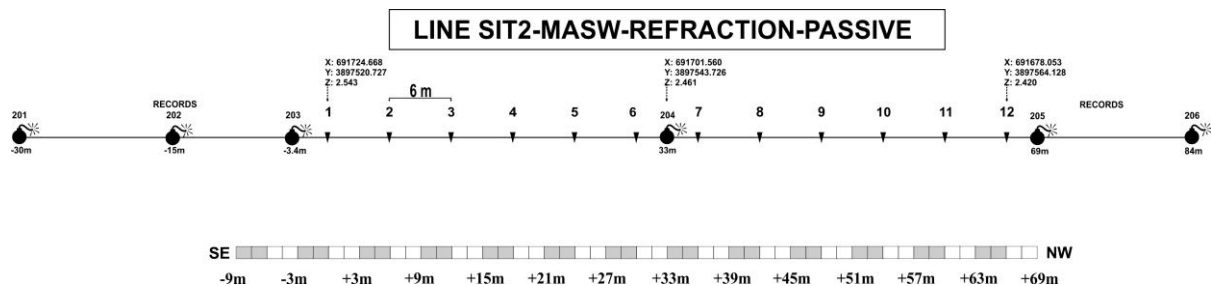
Στην σεισμική διασκόπηση χρησιμοποιήθηκε γραμμή μελέτης με διεύθυνση νοτιοανατολικά – βορειοδυτικά. Χρησιμοποιήθηκαν σειсмоγράφος (GEODE) και σειρά 12 γεωφώνων. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με δύο μεθόδους: 1) την σεισμική διάθλαση και MASW καθώς και 2) την μέθοδο του μικροθορύβου. Και στις δύο περιπτώσεις η ισαπόσταση των γεωφώνων ήταν 6 m και το μήκος της γραμμής μελέτης 66 m. Στην πρώτη περίπτωση ο χρόνος καταγραφής ήταν 500 ms με ρυθμό δειγματοληψίας 0,125 ms και στην δεύτερη ο χρόνος καταγραφής ήταν 32768 ms με ρυθμό 2 ms(Σχήμα 3.13). .

Πίνακας 3.10: Συντεταγμένες και υψόμετρα για την γραμμή μελέτης της σεισμικής διασκόπησης.

ID	POINT X (m)	POINT Y (m)	POINT Z (m)
SSIT21	691724	3897520	2.5
SSIT22	691701	3897543	2.5
SSIT23	691678	3897564	2.4



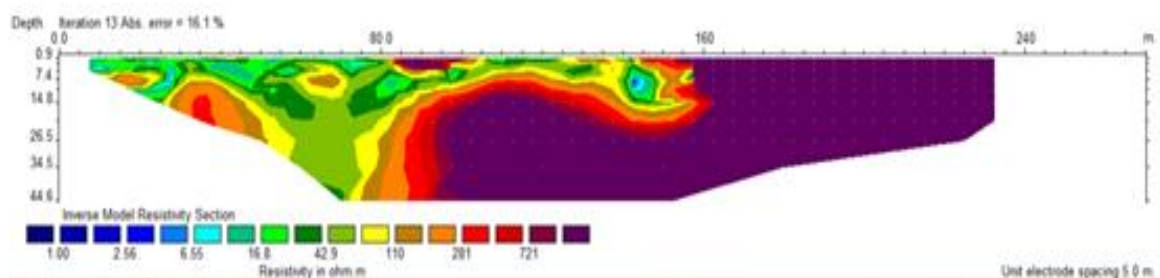
Σχήμα 3.12: Γραμμές μελέτης ηλεκτρικής (μπλέ) και σεισμικής (κόκκινο) διασκόπησης για την θέση SIT2.



Σχήμα 3.13: Διάταξη πηγών και γεωφώνων κατά τις μεθόδους σεισμικής διασκόπησης για την θέση SIT2.

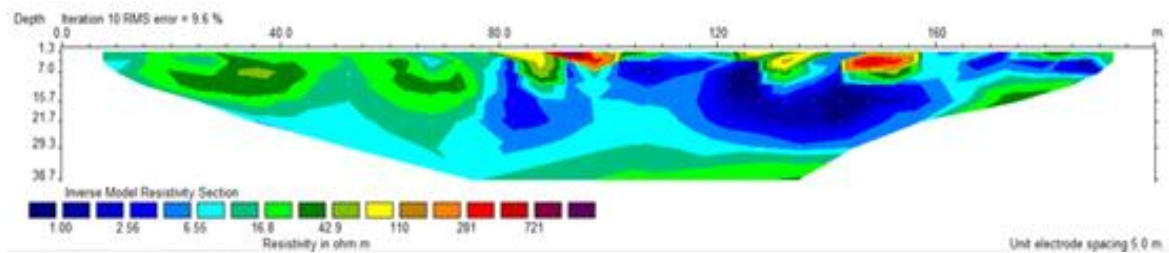
3.3.2 Αποτελέσματα επεξεργασίας

Η επεξεργασία των ηλεκτρικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Res2Dinv. Η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού SeisImager και των εργαλείων του, Pickwin, Plotrefa, WaveEq και SurfaceWaveAnalysisWizard. Τα δυο τελευταία χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων της MASW και Re-Mi ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων.



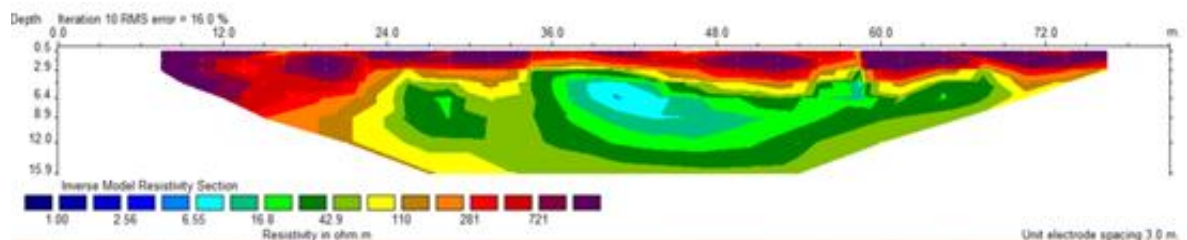
Σχήμα 3.14: Γεωηλεκτρική τομή για την θέση SIT2 (γραμμή μελέτης ERT1) με σφάλμα 16,1% και χρήση της διάταξης διπόλου – διπόλου.

Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι το τελικό μοντέλο του σχήματος 3.14, δεν είναι αντιπροσωπευτικό. Παρατηρούνται πολύ μεγαλύτερες αντιστάσεις σε μεγάλη έκταση της τομής (μώβ χρώμα). Επίσης, κατά την επεξεργασία χρειάστηκε να αφαιρεθεί μεγάλο ποσοστό μη αποδεκτών δεδομένων. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι η μελέτη έγινε μέσα στο δίκτυο της πόλης της Σητείας και οι μετρήσεις μπορεί να επηρεάστηκαν από τα περιβάλλοντα ηλεκτρικά πεδία.



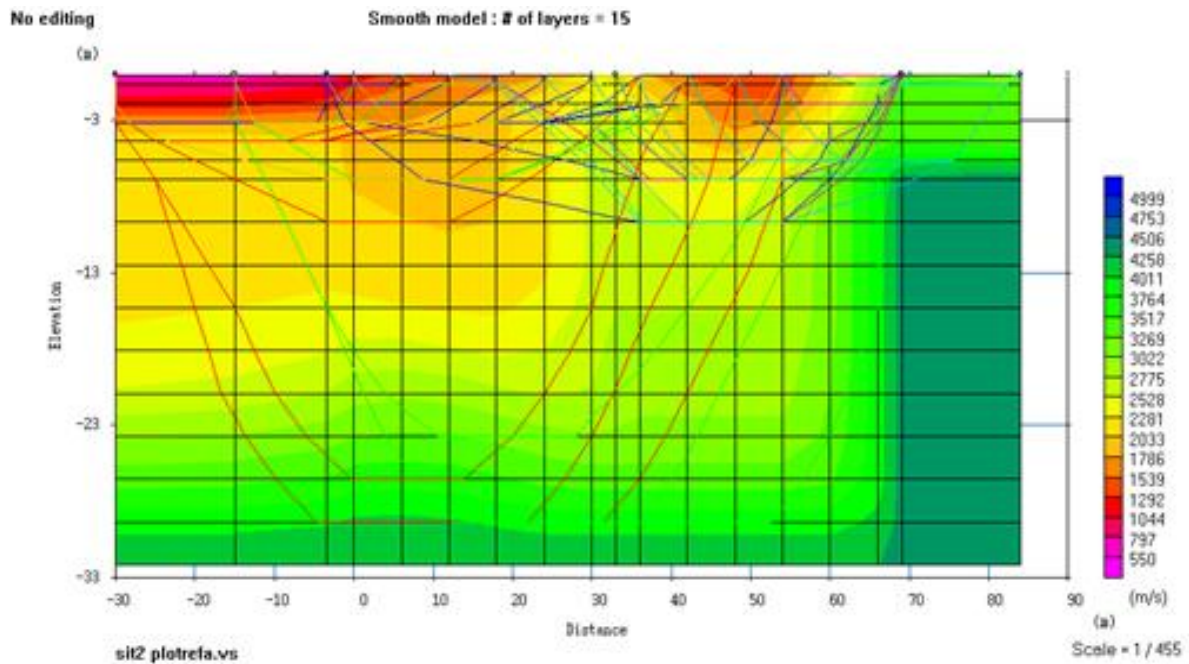
Σχήμα 3.15: Γεωηλεκτρική τομή για την θέση SIT2 (γραμμή μελέτης ERT1) με σφάλμα 9,6% και χρήση της διάταξης Wenner–Schlumberger.

Στο σχήμα 3.15 παρατηρούνται επιφανειακές δομές με υψηλές ηλεκτρικές αντιστάσεις (281-900 Ohmm) στα 90-100m και 145-150m της γραμμής μελέτης. Από κάτω παρατηρείται στρώμα χαμηλότερων ηλεκτρικών αντιστάσεων (1-16.8 Ohmm) το οποίο καλύπτει μεγάλη επιφάνεια της γεωηλεκτρικής τομής και εμφανίζεται επιφανειακά στα 110-120m και στα 160-175m της γραμμής μελέτης.



Σχήμα 3.16: Γεωηλεκτρική τομή για την θέση SIT2 (γραμμή μελέτης ERT2) με σφάλμα 16% και χρήση της διάταξης διπόλου – διπόλου.

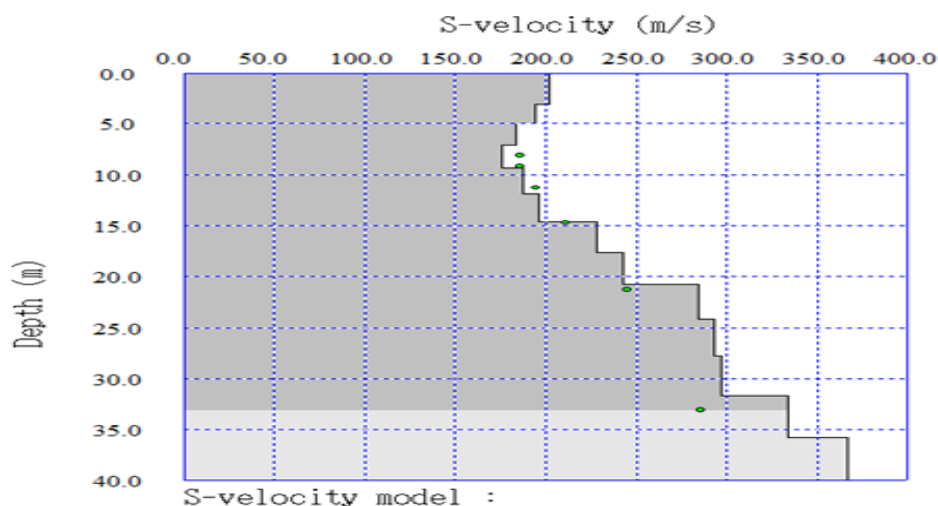
Στο σχήμα 3.16 εμφανίζεται στρώμα υψηλών αντιστάσεων (200-1000 Ohmm) στην επιφάνεια της περιοχής μελέτης. Υπόκεινται του στρώματος δομές χαμηλότερων ηλεκτρικών αντιστάσεων. Χαρακτηριστική είναι η δομή που εμφανίζεται σε βάθος περίπου 3-16m όπου η ηλεκτρική αντίσταση ελαττώνεται μέχρι και τα 6.5 Ohmm.



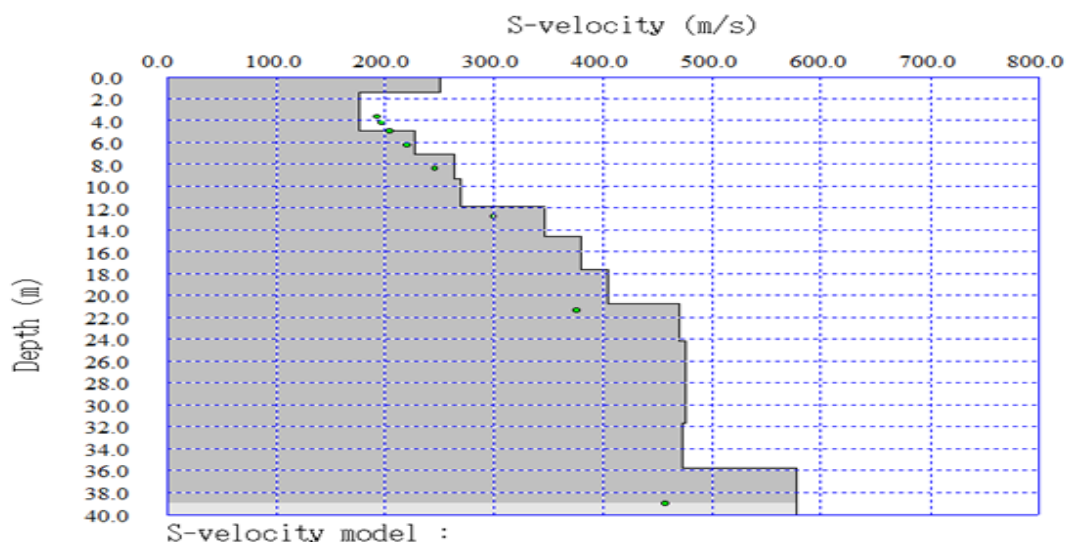
Σχήμα 3.17: Τελικό μοντέλο βάθους για την περιοχή SIT2.

Στο σχήμα 3.17 εμφανίζονται χαμηλές ταχύτητες (550-800m/s) στα -30m έως τα 0m της γραμμής μελέτης οι οποίες φτάνουν μέχρι τα 2m περίπου βάθος. Στα 38-55m περίπου της γραμμής μελέτης παρατηρούνται επίσης χαμηλές ταχύτητες (1000-1700m/s) με βάθος διείσδυσης τα 3m. Από τα 3m κυρίως μέχρι τα 30m περίπου παρατηρούνται ταχύτητες που κυμαίνονται από 2000-4000m/s. Δεξιά του μοντέλου βάθους (70-80m της γραμμής μελέτης) παρατηρείται δομή με ταχύτητα κυμάτων 4500m/s.

Στα σχήματα 3.18-3.19 παρουσιάζονται τα διαγράμματα ταχύτητας Vs με το βάθος.



Σχήμα 3.18: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος για την περιοχή SIT2 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την Re-Mi.



Σχήμα 3.19: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος για την περιοχή SIT2 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την MASW.

3.4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ (AGN1)

3.4.1 Συλλογή γεωφυσικών δεδομένων

Στην συγκεκριμένη περιοχή, με συντεταγμένες $\varphi=35^{\circ} 11.253$, $\lambda=25^{\circ} 42.942$ (στο σύστημα WGS84) πραγματοποιήθηκε ηλεκτρική και σεισμική διασκόπηση.

Στην ηλεκτρική διασκόπηση πραγματοποιήθηκαν δυο γραμμές μελέτης:

- Στην πρώτη γραμμή μελέτης (ERT 1) (Σχήμα 3.20), με διεύθυνση νοτιοδυτικά – βορειοανατολικά, τοποθετήθηκαν 53 ηλεκτρόδια (STING R1). Η ισαπόσταση των ηλεκτροδίων ήταν 4 m και το συνολικό μήκος της γραμμής μελέτης 208 m. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο διπόλου – διπόλου

Πίνακας 3.11: Συντεταγμένες και υψόμετρα για την γραμμή μελέτης ERT 1 της ηλεκτρικής διασκόπησης.

ID	POINT X (m)	POINT Y (m)	POINT Z (m)
RAGNA11	655967	3894905	3.6
RAGNA12	656046	3894949	1.9
RAGNA13	656143	3895014	2.2

- Η δεύτερη γραμμή μελέτης (ERT 2) (Σχήμα 3.20), με διεύθυνση νοτιοανατολικά – βορειοδυτικά, είχε τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά με την πρώτη γραμμή μελέτης.

Πίνακας 3.12: Συντεταγμένες και υψόμετρα για την γραμμή μελέτης ERT 2 της ηλεκτρικής διασκόπησης.

ID	POINT X (m)	POINT Y (m)	POINT Z (m)
RAGNA21	656060	3894871	0
RAGNA22	655962	3894963	5.9
RAGNA23	655908	3895011	11.4

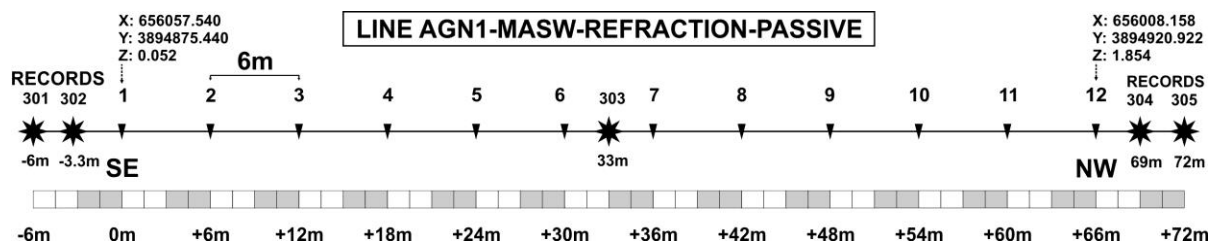
Στην σεισμική διασκόπηση πραγματοποιήθηκε μια γραμμή μελέτης με διεύθυνση νοτιοανατολικά – βορειοδυτικά. Χρησιμοποιήθηκαν σειсмоγράφος (GEODE) και σειρά 12 γεωφώνων. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με δύο μεθόδους: 1) την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης και 2) MASW και την μέθοδο του μικροθορύβου. Και στις δύο περιπτώσεις η ισαπόσταση των γεωφώνων ήταν 6 m και το μήκος της γραμμής μελέτης 66 m. Στην πρώτη περίπτωση ο χρόνος καταγραφής ήταν 500ms με ρυθμό δειγματοληψίας 0,125 ms και στην δεύτερη ο χρόνος καταγραφής ήταν 32,768 ms με ρυθμό 2 ms (Σχήμα 3.21). Παρακάτω δίνονται οι συντεταγμένες και τα υψόμετρα για την γραμμή:

Πίνακας 3.13: Συντεταγμένες και υψόμετρα για την γραμμή μελέτης της σεισμικής διασκόπησης.

ID	POINT X (m)	POINT Y (m)	POINT Z (m)
SAGNA11	656057	3894875	0
SAGNA12	656008	3894920	1.9



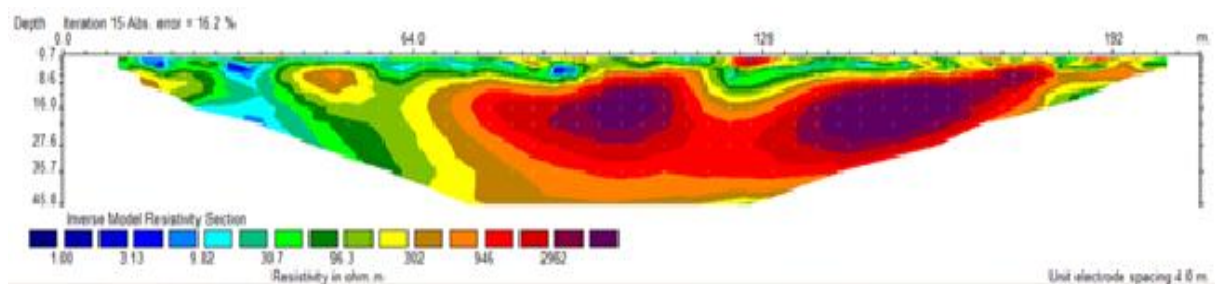
Σχήμα 3.20: Γραμμές μελέτης ηλεκτρικής (μπλέ) και σεισμικής (κόκκινο) διασκόπησης για την θέση AGN1.



Σχήμα 3.21: Διάταξη πηγών και γεωφώνων κατά τις μεθόδους σεισμικής διασκόπησης για την θέση AGN1.

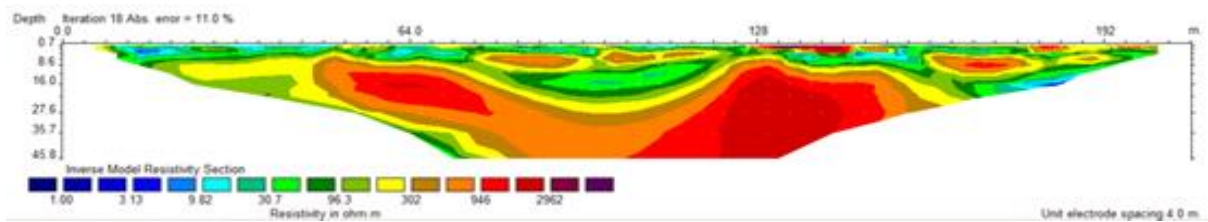
3.4.2 Αποτελέσματα επεξεργασίας

Η επεξεργασία των ηλεκτρικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Res2Dinv. Η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού SeisImager και των εργαλείων του Pickwin, Plotrefa, WaveEq και Surface Wave Analysis Wizard. Τα δυο τελευταία χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων της MASW και Re-Mi.



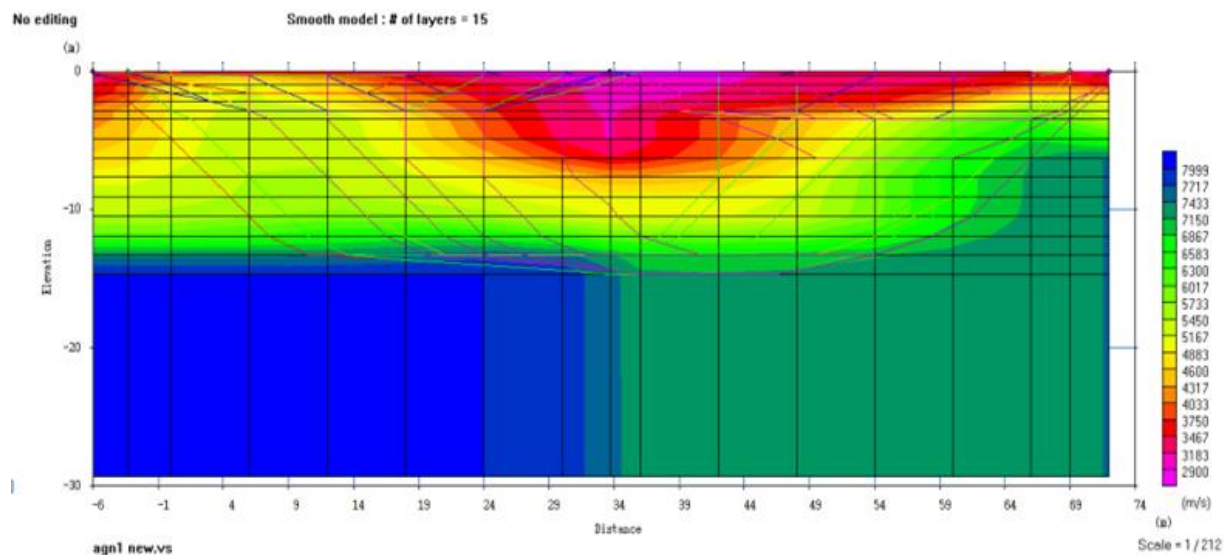
Σχήμα 3.22: Γεωηλεκτρική τομή για την θέση AGN1 (γραμμή μελέτης ERT1) με σφάλμα 16,2% και χρήση της μεθόδου διπόλου – διπόλου.

Στο σχήμα 3.22 παρατηρούνται δομές με υψηλές ηλεκτρικές αντιστάσεις (2000-4000 Ohmm) οι οποίες παρουσιάζονται από βάθος 5m και καταλήγουν σε βάθος 36m περίπου, καταλαμβάνοντας μεγάλο μέρος της γεωηλεκτρικής τομής. Χαμηλότερες ηλεκτρικές αντιστάσεις (3-30 Ohmm) παρατηρούνται από τα 21-44m της γραμμής μελέτης.



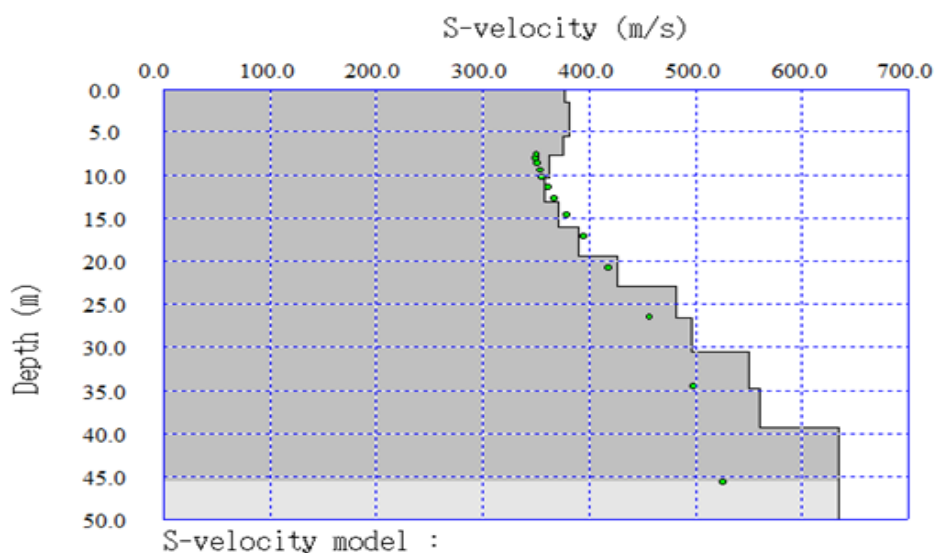
Σχήμα 3.23: Γεωηλεκτρική τομή για την θέση AGN1 (γραμμή μελέτης ERT2) με σφάλμα 11% και χρήση της μεθόδου διπόλου – διπόλου.

Στο σχήμα 3.23 παρατηρούνται δομές με αυξημένη ηλεκτρική αντίσταση (2000-3000 Ohmm) (κόκκινο χρώμα). Επιφανειακά, στα 128-144m της γραμμής μελέτης, εμφανίζονται αυξημένες ηλεκτρικές αντιστάσεις που πιθανόν να οφείλονται σε κάποια περιβάλλοντα ηλεκτρικά επιφανειακά πεδία ή σε κάποια ανωμαλία των ηλεκτροδίων.



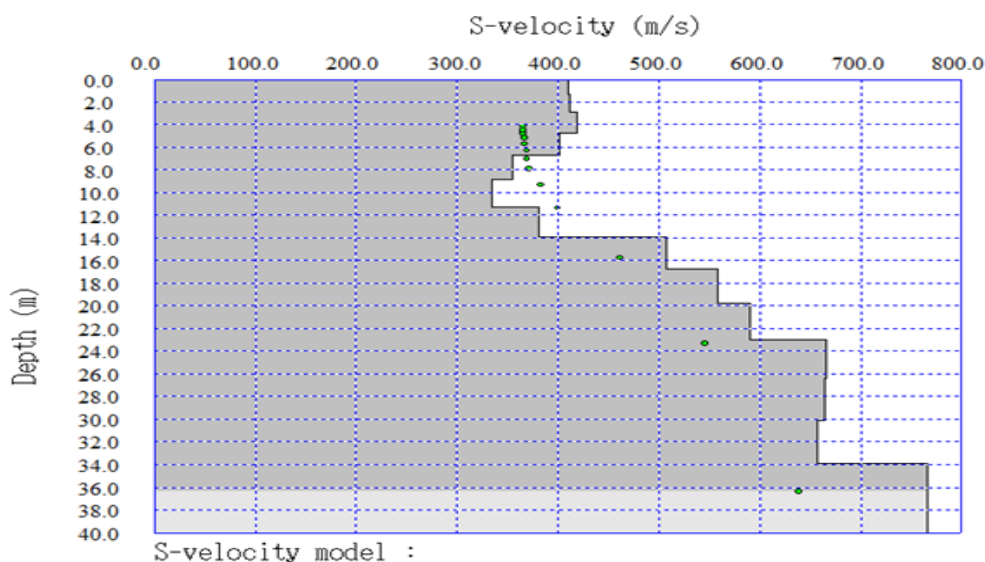
Σχήμα 3. 24: Τελικό μοντέλο βάθους για την περιοχή AGN1 με σφάλμα 1.53%.

Στο σχήμα 3.24 παρατηρείται επιφανειακό στρώμα με ταχύτητες σεισμικών κυμάτων από 3000-4000m/s με το βαθύτερο σημείο αυτού να καταλήγει στα 8m περίπου και να αντιστοιχεί στα 34m της γραμμής μελέτης. Υπόκειται αυτού στρώμα με παρατηρούμενες ταχύτητες σεισμικών κυμάτων από 4300-7000m/s.



Σχήμα 3.25: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος για την περιοχή AGN1 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την Re-Mi.

Στο σχήμα 3.25 παρατηρούνται ο αριθμός των στρωμάτων και οι αντίστοιχες ταχύτητες των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων σε αυτά μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την Re-Mi. Περαιτέρω πληροφορίες όσον αφορά στα στρώματα και τις ταχύτητές που παρατηρήθηκαν στο καθένα δίνονται στα παραρτήματα.



Σχήμα 3.26: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος για την περιοχή AGN1 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την MASW.

Στο σχήμα 3.26 παρατηρούνται ο αριθμός των στρωμάτων και οι αντίστοιχες ταχύτητες των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων σε αυτά μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την MASW. Περαιτέρω πληροφορίες όσον αφορά στα στρώματα και τις ταχύτητές που παρατηρήθηκαν στο καθένα δίνονται στα παραρτήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Στην παράγραφο αυτή πραγματοποιείται σύγκριση των γεωφυσικών αποτελεσμάτων προκειμένου να προκύψουν πιο αξιόπιστα και ολοκληρωμένα συμπεράσματα για τη δομή του υπεδάφους. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε συνδυαστική αναπαράσταση και ερμηνεία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων η οποία και ακολουθεί στα επόμενα εδάφια.

4.1.1 Περιοχή Σητείας (SIT2)

Στην περιοχή της Σητείας πραγματοποιήθηκε υπέρθεση της γεωηλεκτρικής τομής, του μοντέλου ταχυτήτων, της γεώτρησης και των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων από τις MASW και Re-Mi συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 4.1). Από το μοντέλο ταχυτήτων παρατηρούνται τρία στρώματα, τα δυο εκ των οποίων συμπίπτουν με τα αποτελέσματα της γεώτρησης μέχρι τα 20m.

Το πρώτο στρώμα, με τις χαμηλότερες ταχύτητες των P-κυμάτων (500 – 1700 m/s), αποδίδεται σε αλλουβιακές αποθέσεις και παρουσιάζει έντονες πλευρικές μεταβολές ως προς στο πάχος του με βαθύτερο σημείο τα 10m περίπου, ενώ επίσης δείχνει να αποσφηνώνεται στα 60m της σεισμικής γραμμής μελέτης. Το στρώμα αυτό εμφανίζει ενδιάμεσες έως υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Το δεύτερο στρώμα, έχει ενδιάμεσες τιμές σεισμικής ταχύτητας P-κυμάτων (1700 – 2700 m/s), δείχνει επίσης να αποσφηνώνεται στα 70 περίπου μέτρα της σεισμικής γραμμής μελέτης και αποδίδεται σε πλαστική αμμούχα άργιλο με εμφανίσεις ασβεστιτικών συγκριμάτων. Η άργιλος εμφανίζεται με χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (5 – 15 Ohmm) στην ηλεκτρική τομογραφία, ενώ τα πιο αδρόκοκκα υλικά (συγκρίματα) αυξάνουν ελαφρώς την αντίσταση του στρώματος αυτού (40 Ohmm). Η ταχύτητα των S-κυμάτων στο στρώμα αυτό κυμαίνεται από 200 έως 350 m/s περίπου.

Τέλος, το τρίτο στρώμα, σύμφωνα με τη γεωλογία της περιοχής μελέτης, αποδίδεται σε μάργες ή/και μαργαικούς ψαμμίτες του νεογενούς και εμφανίζει υψηλές ταχύτητες (> 2700m/s) αλλά πολύ χαμηλές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις (< 10 Ohmm) στην μεγαλύτερή του έκταση. Η ταχύτητα των S-κυμάτων στο στρώμα αυτό είναι μεγαλύτερη από 300 m/s περίπου.

4.1.2 Περιοχή Αγίου Νικολάου (AGN1)

Στην γραμμή μελέτης 1 του Αγίου Νικολάου πραγματοποιήθηκε υπέρθεση της γεωηλεκτρικής τομής και της γεώτρησης (Σχήμα 4.2). Η γεώτρηση που πραγματοποιήθηκε απέχει 39m νοτιοανατολικά της γραμμής μελέτης. Παρατηρούνται δομές με ηλεκτρικές αντιστάσεις γύρω στα 300-950 Ohmm οι οποίες αποδίδονται σε ασβεστομαργαικό υλικό με φακοειδείς ενστρώσεις ασβεστιτικού ψαμμίτη σύμφωνα με την γεωλογία της περιοχής.

Από τα 14-26m περίπου της γεώτρησης παρατηρείται τεφρός κρητιδικός ασβεστόλιθος. Στην γεωηλεκτρική τομή παρατηρείται δομή με ειδική ηλεκτρική αντίσταση

από 1500-3000 Ohmm που πιθανόν να οφείλεται στον συγκεκριμένο σχηματισμό. Εμφανίζεται από τα 74-180 m της γραμμής μελέτης σε βάθος από 4 έως 37 περίπου μέτρα

Από τα 26-30m περίπου της γεώτρησης παρατηρείται μωλωνιτοποιημένος ασβεστόλιθος. Στην γεωηλεκτρική τομή παρατηρείται δομή με ειδική ηλεκτρική αντίσταση από 4000-6000 Ohmm που πιθανόν να οφείλεται στον συγκεκριμένο σχηματισμό. Εμφανίζεται από τα 88-112 m της γραμμής μελέτης σε βάθος από 10 έως 26 περίπου μέτρα και επανεμφανίζεται στα 134-178m της γραμμής μελέτης σε βάθος από τα 7 έως τα 31 μέτρα περίπου.

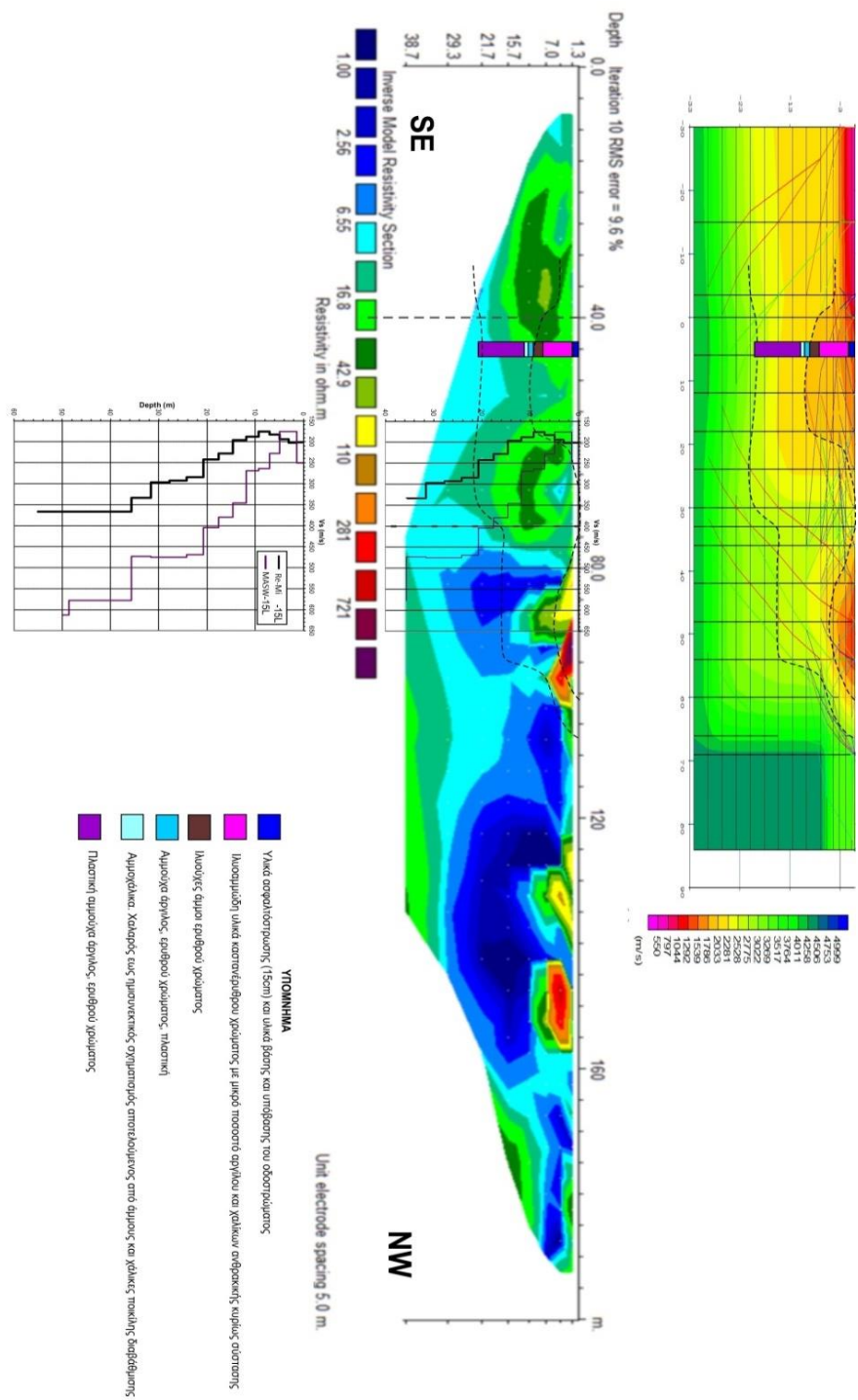
Στην γραμμή μελέτης 2 του Αγίου Νικολάου πραγματοποιήθηκε υπέρθεση της γεωηλεκτρικής τομής, της γεώτρησης και των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων από τις MASW και Re-Mi συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 4.3). Η γεώτρηση που πραγματοποιήθηκε απέχει 41m βορειοανατολικά από την γραμμή μελέτης.

Παρατηρούνται ασβεστολιθικές δομές με ηλεκτρικές αντιστάσεις γύρω στα 300-950 Ohmm. Αυτό αποδίδεται σε ασβεστομαργαϊκό υλικό με φακοειδείς ενστρώσεις ασβεστιτικού ψαμμίτη σύμφωνα με την γεωλογία της περιοχής. Από τα 128m της γραμμής μελέτης ως τα 144m παρατηρούνται αυξημένες αντιστάσεις που πιθανόν να οφείλονται σε αστικές παρεμβολές.

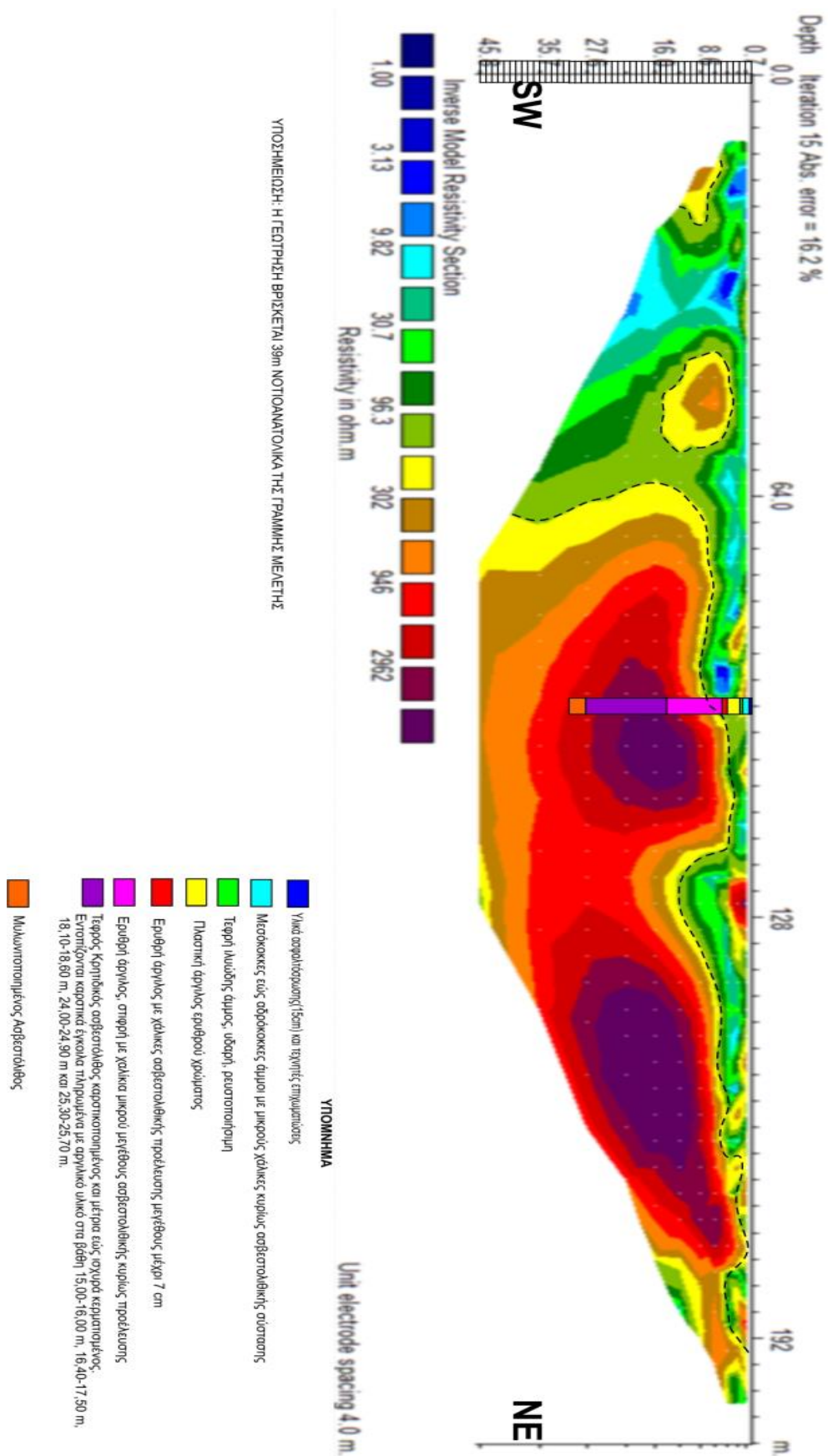
Στην γεώτρηση παρατηρείται τεφρός κρητιδικός ασβεστόλιθος στα 15-28m. Στην ηλεκτρική τομή παρουσιάζεται δομή με ειδική ηλεκτρική αντίσταση 1500-3000 Ohmm που πιθανόν να οφείλεται στον συγκεκριμένο σχηματισμό. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται σε μεγάλη έκταση στα 58-78m της γραμμής μελέτης σε βάθος από 12 έως 27 μέτρα περίπου και επανεμφανίζεται στα 102-150m της γραμμής μελέτης σε βάθος από τα 11 έως τα 46m.

Η ταχύτητα των S-κυμάτων, περίπου στα 40m της γραμμής μελέτης, παρατηρείται ότι κυμαίνεται στα πρώτα 7m βάθους από 380-430m/s. Από τα 7-13m, όπου πιθανώς εμφανίζεται ασβεστομαργαϊκό υλικό, χαμηλώνει και κυμαίνεται από 325-380m/s ενώ στην συνέχεια αυξάνεται πάλι με τιμές μεγαλύτερες των 400m/s.

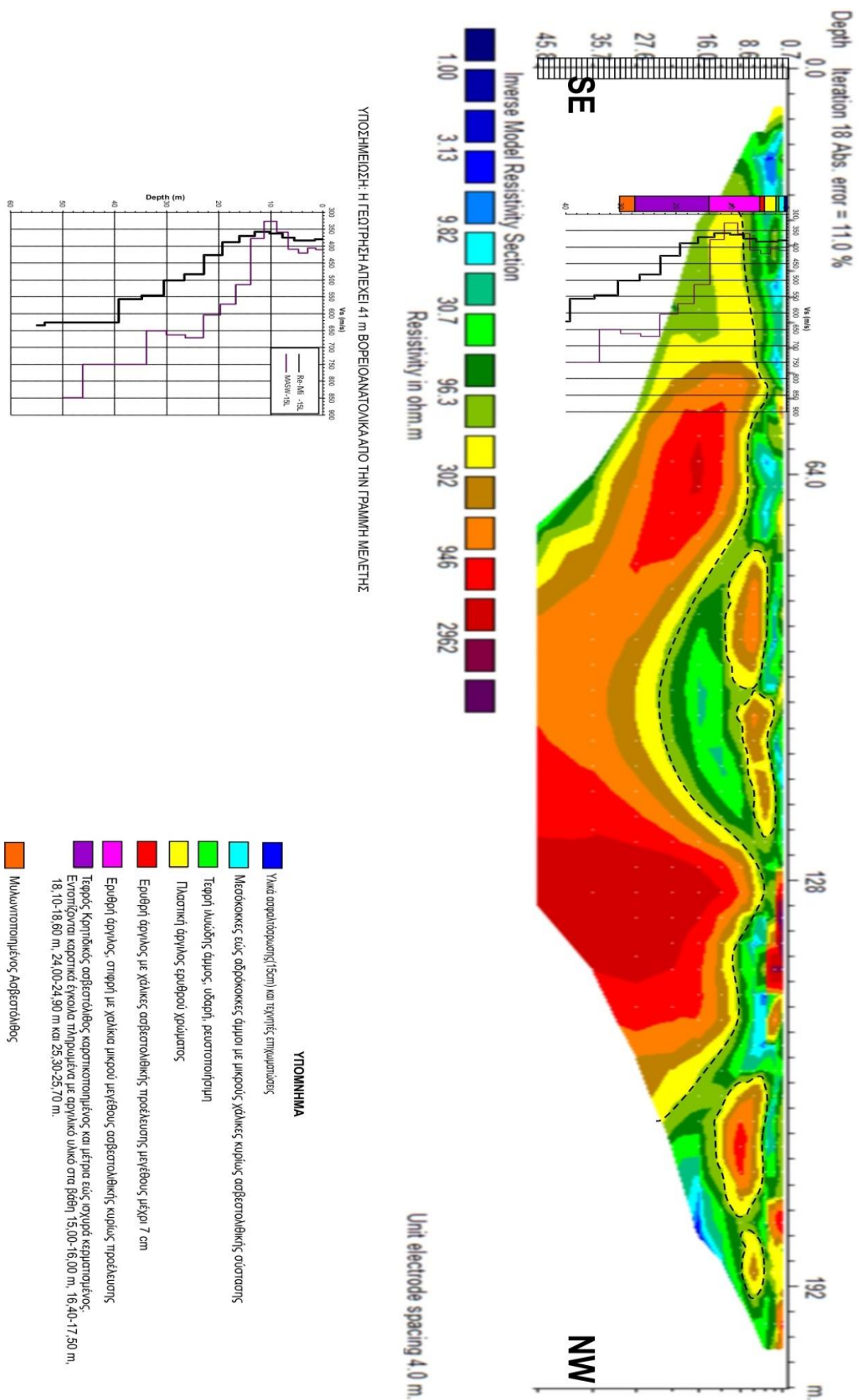
Γενικότερα και στις δύο γραμμές μελέτης για την περιοχή του Αγίου Νικολάου παρατηρείται ότι δεν προκύπτουν αμιγώς εδαφικοί σχηματισμοί. Και στις δύο γραμμές εμφανίζονται ασβεστολιθικές δομές.



Σχήμα 4.1: Συνδυασμένη τομή για την περιοχή Σητείας.



Σχήμα 4.2: Συνδυασμένη τομή της γραμμής μελέτης 1 για την περιοχή Αγίου Νικολάου.



Σχήμα 4.3: Συνδυασμένη τομή της γραμμής μελέτης 2 για την περιοχή Αγίου Νικολάου.

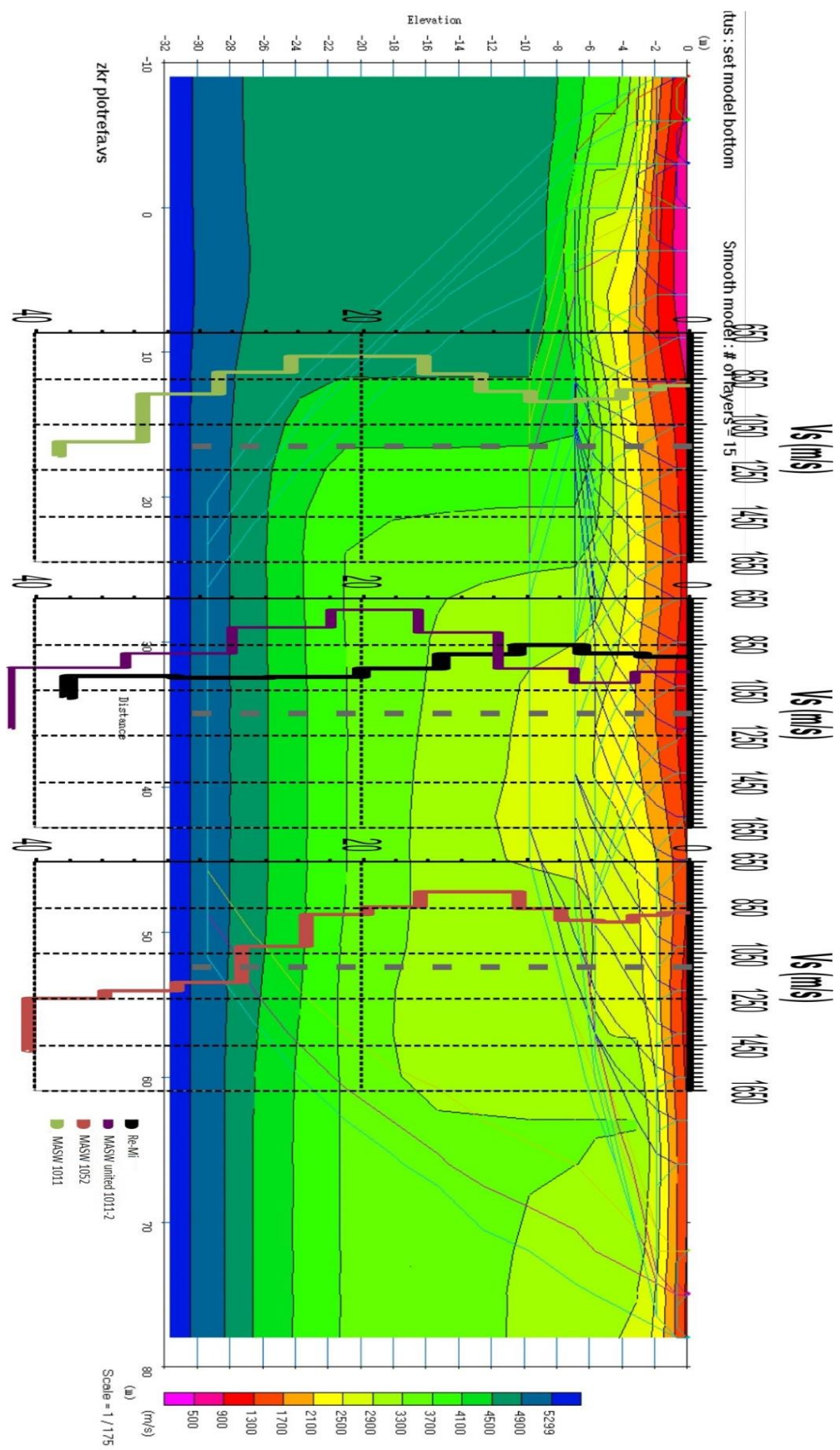
4.1.3. Περιοχή Ζάκρου (ZKR)

Στην περιοχή της Ζάκρου πραγματοποιήθηκε υπέρθεση του μοντέλου ταχυτήτων και των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων από τις MASW και Re-Mi συναρτήσεως του βάθους (Σχήμα 4.4). Από το μοντέλο ταχυτήτων παρατηρούνται τρία στρώματα.

Το πρώτο στρώμα, με τις χαμηλότερες ταχύτητες των P-κυμάτων (900 – 1700 m/s), φθάνει σε βάθος περίπου 2 μέτρων και αποδίδεται σε κροκαλοπαγή του Νεογενούς σύμφωνα με την γεωλογία της περιοχής. Η ταχύτητα των S-κυμάτων στα 15m της γραμμής μελέτης κυμαίνεται από 875-895m/s περίπου, στα 35m κυμαίνεται από 895 έως 955m/s και στα 55m κυμαίνεται από 870 έως 895m/s. Παρατηρείται ότι και στις τρεις θέσεις της γραμμής μελέτης οι ταχύτητες των S-κυμάτων είναι παραπλήσιες και κυμαίνονται από 870-955m/s.

Στο δεύτερο στρώμα, από τα 2m έως τα 9m βάθος για τα πρώτα 21m της γραμμής μελέτης και έπειτα φθάνοντας ως τα 26m περίπου βάθος, παρατηρούνται ταχύτητες των P-κυμάτων από 2100-4500m/s. Το στρώμα αυτό πιθανόν να αποδίδεται σε ασβεστόλιθους του Κρητιδικού σύμφωνα με την γεωλογία της περιοχής. Η ταχύτητα των S-κυμάτων στα 15m της γραμμής μελέτης κυμαίνεται από 730-990m/s περίπου, στα 35m κυμαίνεται από 710 έως 990m/s και στα 55m κυμαίνεται από 990 έως 1010m/s. Παρατηρείται ότι στις δύο πρώτες θέσεις της γραμμής μελέτης οι ταχύτητες των S-κυμάτων είναι παραπλήσιες ενώ στην τρίτη θέση παρατηρείται μια μικρή αύξηση των τιμών της ταχύτητας.

Τέλος, το τρίτο στρώμα, σύμφωνα με τη γεωλογία της περιοχής μελέτης, πιθανόν να αποδίδεται σε φυλλίτες και εμφανίζει υψηλές ταχύτητες των P-κυμάτων (>4500m/s). Η ταχύτητα των S-κυμάτων στα 15m της γραμμής μελέτης κυμαίνεται από 810-990m/s περίπου, στα 35m κυμαίνεται από 770 έως 990m/s και στα 55m κυμαίνεται από 990 έως 1210m/s. Παρατηρείται και σε αυτό το στρώμα ότι στις δύο πρώτες θέσεις της γραμμής μελέτης οι ταχύτητες των S-κυμάτων είναι παραπλήσιες, ενώ στην τρίτη θέση παρατηρείται μια μικρή αύξηση των τιμών της ταχύτητας.



Σχήμα 4.4: Συνδυασμένη τομή για την περιοχή της Ζάκρου.

4.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Σε κάθε περιοχή μελέτης έγινε προσδιορισμός συγκεκριμένων δυναμικών ελαστικών ιδιοτήτων. Πιο συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν ο λόγος Poisson (ν), το μέτρο ελαστικότητας (E) και το μέτρο διάτμησης (G).

Ο λόγος Poisson προσδιορίστηκε σύμφωνα με την εξής σχέση (Sheriff and Geldart, 1995):

$$\nu = \frac{0,5 * \left[\frac{V_p}{V_s} \right]^2 - 1}{\left[\frac{V_p}{V_s} \right]^2 - 1} \quad (4.1)$$

Το μέτρο ελαστικότητας υπολογίστηκε από την σχέση:

$$E = \frac{2000 * \rho * V_s^2 * (1 + \nu)}{1000000000} \quad (\text{GPa}) \quad (4.2)$$

Το μέτρο διάτμησης προσδιορίστηκε από την σχέση:

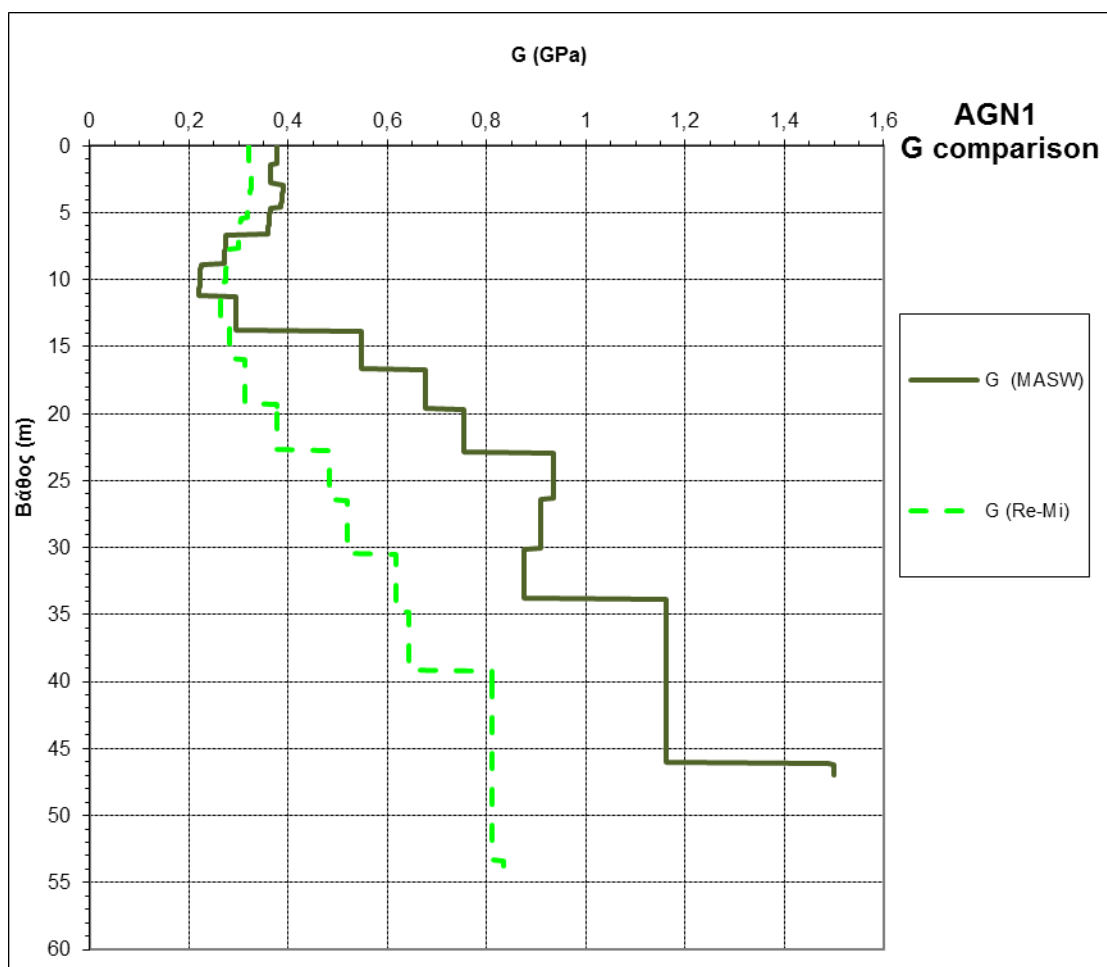
$$G = \frac{1000 * \rho * V_s^2}{1000000000} \quad (\text{GPa}) \quad (4.3)$$

Όπου V_s η ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων (χρησιμοποιήθηκε η V_s από την MASW για τον υπολογισμό των αντίστοιχων δυναμικών ελαστικών ιδιοτήτων και ομοίως η V_s από την Re-Mi) και V_p η ταχύτητα των διαμήκων κυμάτων. Για τον υπολογισμό της πυκνότητας, ρ , στις περιοχές του Αγίου Νικολάου και της Σητείας χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των αντίστοιχων γεωτρήσεων όπου προσδιορίστηκε το μοναδιαίο βάρος σε συγκεκριμένα βάθη από το εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η πυκνότητα για την περιοχή της Ζάκρου υπολογίστηκε αναλογικά σε σχέση με την ταχύτητα των S-κυμάτων από το λογισμικό PlotRefa.

Πίνακας 4.1: Αποτελέσματα μοναδιαίου βάρους ανά γεώτρηση σε συγκεκριμένα βάθη (Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Πολυτεχνείου Κρήτης).

Γεώτρηση	Βάθος (m)	γ (kN/m ³)
AGN1	2	22,28
	11	20,69
SITIA	4	19,14
	13	21,57

4.2.1 Περιοχή Αγίου Νικολάου (AGN1)



Διάγραμμα 4.1: Σύγκριση μέτρου διάτμησης, G , από την MASW και Re-Mi ανάλυση επιφανειακών κυμάτων με το βάθος για την περιοχή AGN1.

Στο διάγραμμα 4.1 παρατηρούνται οι τιμές των μέτρων διάτμησης G από τις αναλύσεις MASW και Re-Mi. Από την επιφάνεια μέχρι τα 14m βάθος οι τιμές συγκλίνουν ικανοποιητικά ενώ από τα 14m και βαθύτερα παρατηρείται η απόκλισή τους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπολογίστηκαν οι τιμές των ν και E καθώς και τα σχετικά διαγράμματα λόγω του οι τιμές της ταχύτητας διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων, V_p , ήταν υπερβολικά μεγάλες, και ως εκ τούτου δεν ελήφθησαν υπόψη.

Προσδιορίστηκε η ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων στα 30m από την σχέση 1.2 και προέκυψε $V_{s30} = 403\text{m/s}$ από την τεχνική του μικροθορύβου και $V_{s30} = 469\text{m/s}$ από την MASW σύμφωνα με την οποία το έδαφος στην περιοχή μελέτης του Αγίου Νικολάου ανήκει στην κατηγορία B (βλ. Πίνακα 1.1). Επίσης, από τις δοκιμές SPT που πραγματοποιήθηκαν στην γεώτρηση, σε παραπλήσια θέση, προέκυψε ότι $N_{spt}=25.4$ σύμφωνα με την σχέση 3.1, επομένως το έδαφος στην περιοχή μελέτης ανήκει στην κατηγορία C (βλ. Πίνακα 1.1). Η παρέκκλιση που προκύπτει από τα αποτελέσματα των σεισμικών διασκοπήσεων και της N_{spt} πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι στην περιοχή δεν υπάρχουν αμιγώς εδαφικοί σχηματισμοί αλλά εμφανίζονται και ασβεστολιθικές δομές.

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση της ταχύτητας των εγκάρσιων κυμάτων (από τις Re-Mi και MASW) με τον αριθμό κρούσεων κατά την δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (Πίνακας 4.2). Οι υπολογισμένες τιμές της ταχύτητας από την σεισμική διασκόπηση παρατίθενται στο Παράρτημα Α. Σύμφωνα με την αντίστοιχη βιβλιογραφία χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση (Marto et.al, 2013):

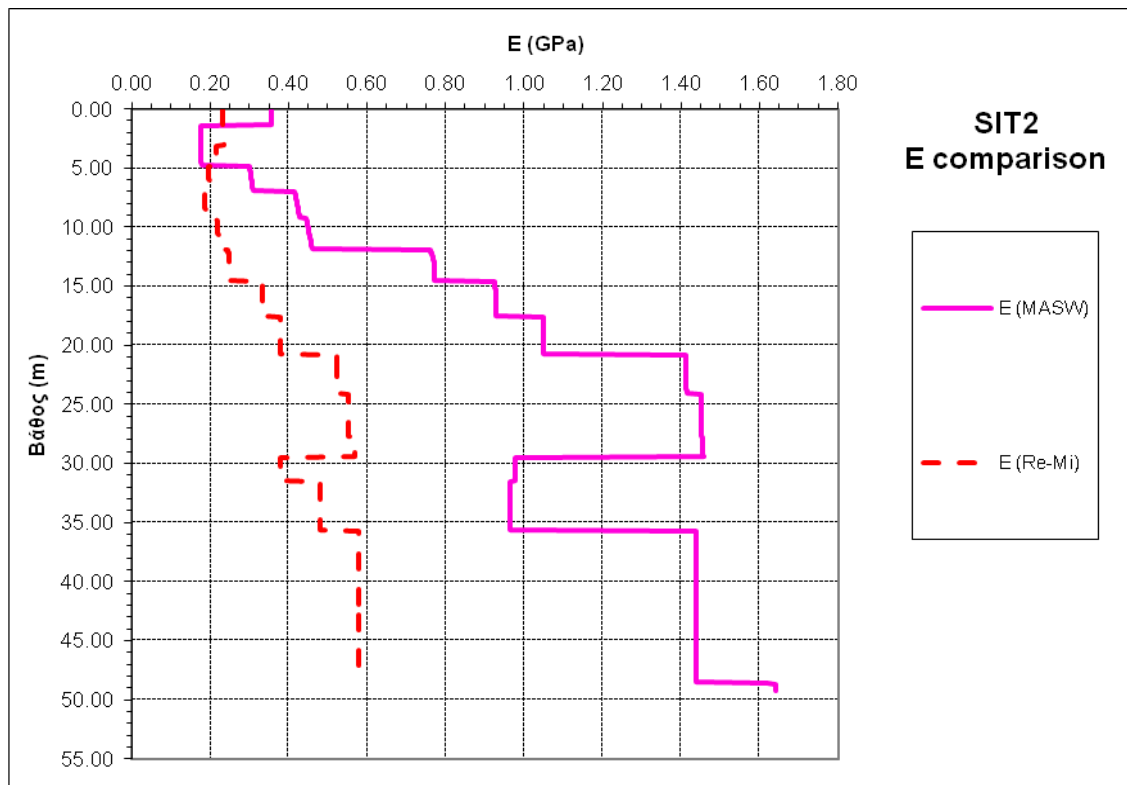
$$V_s = 107.6 * N^{0.36} \quad (4.4)$$

Παρατηρείται ότι οι θεωρητικές τιμές της ταχύτητας των εγκάρσιων κυμάτων διαφέρουν αρκετά από τις υπολογισμένες τιμές για μια κρούση κατά την δοκιμή πρότυπης διείσδυσης. Στις άλλες δυο περιπτώσεις οι τιμές, θεωρητικές και υπολογισμένες, συγκλίνουν ικανοποιητικά.

Πίνακας 4.2: Θεωρητική ταχύτητα εγκάρσιων κυμάτων που προκύπτει σε σχέση με τον αριθμό κρούσεων (Marto et.al,2013).

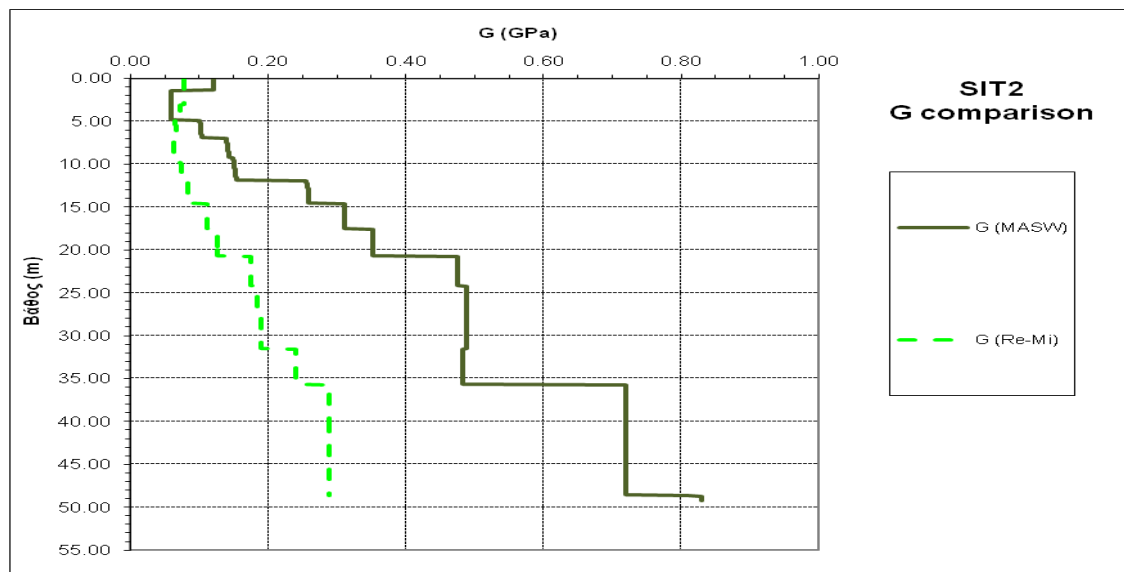
Nspt	Athanasopoulos 1995 Vs (m/s)	Vs (m/s)Re-Mi Σεισμικής Διασκόπησης	Vs (m/s) MASW Σεισμικής Διασκόπησης
1	107,6	379	412
37	394,8	374	397
19	310,6	358	349

4.2.2 Περιοχή Σητείας (SIT2)



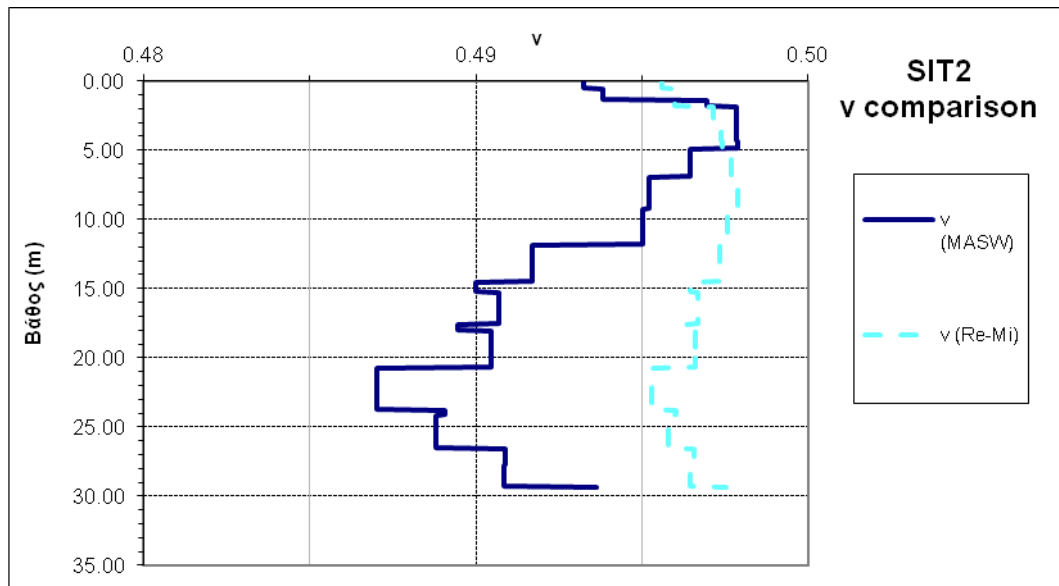
Διάγραμμα 4.3: Σύγκριση μέτρου ελαστικότητας, E (GPa), από την MASW και Re-Mi ανάλυση επιφανειακών κυμάτων με το βάθος για την περιοχή SIT2.

Στο διάγραμμα 4.3 παρατηρούνται οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις MASW και Re-Mi. Παρατηρείται απόκλιση των τιμών από τα 7m και βαθύτερα.



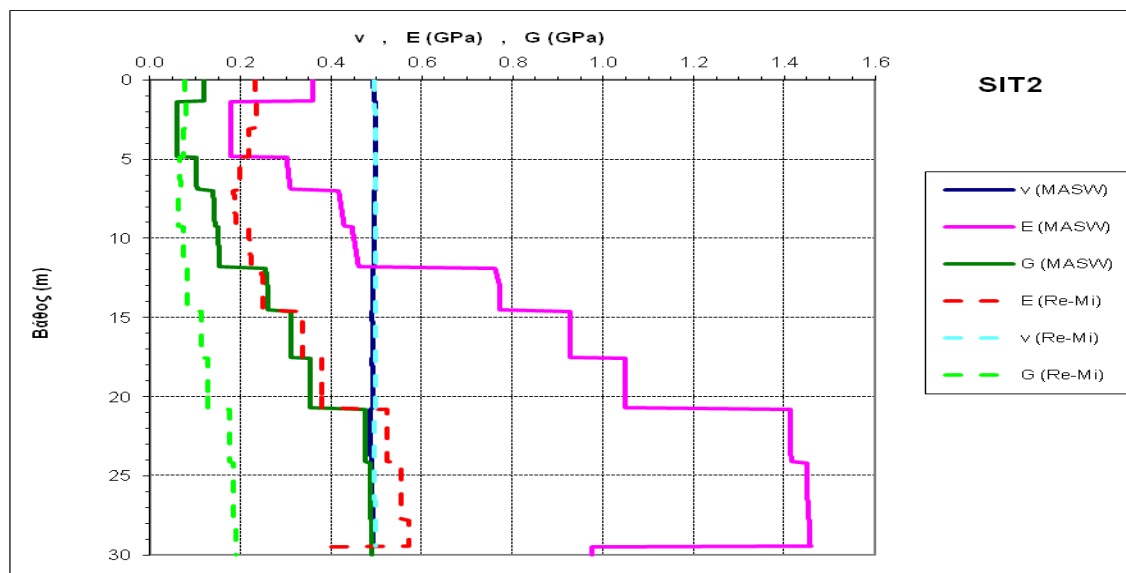
Διάγραμμα 4.4: Σύγκριση μέτρου διάτμησης, G (GPa), από την MASW και Re-Mi ανάλυση επιφανειακών κυμάτων με το βάθος για την περιοχή SIT2.

Στο διάγραμμα 4.4 προκύπτουν οι τιμές του μέτρου διάτμησης, G , από τις αναλύσεις MASW και Re-Mi. Από τα 12m και βαθύτερα παρατηρείται απόκλιση στις τιμές.



Διάγραμμα 4.5: Σύγκριση λόγου Poisson, ν , από την MASW και Re-Mi ανάλυση επιφανειακών κυμάτων με το βάθος για την περιοχή SIT2.

Στο διάγραμμα 4.5 προκύπτουν οι τιμές του λόγου Poisson, ν , από τις αναλύσεις MASW και Re-Mi. Παρατηρείται ελάχιστη απόκλιση στις τιμές σε όλα τα βάθη.



Διάγραμμα 4.6: Συνδυαστική αναπαράσταση λόγου Poisson, ν , μέτρου ελαστικότητας, E (GPa), και μέτρου διάτμησης, G (GPa), από την MASW και Re-Mi ανάλυση επιφανειακών κυμάτων με το βάθος για την περιοχή SIT2.

Στο διάγραμμα 4.6 παρατηρείται η συνδυαστική αναπαράσταση των ελαστικών ιδιοτήτων μέχρι το βάθος των 30m.

Προσδιορίστηκε η ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων στα 30m από την σχέση 1.2 και προέκυψε $V_{s30} = 223\text{m/s}$ από την τεχνική μικροθορύβου και $V_{s30} = 312\text{m/s}$ από την MASW σύμφωνα με την οποία το έδαφος στην περιοχή μελέτης της Σητείας ανήκει στην κατηγορία C. Πρόκειται λοιπόν για αποθέσεις πυκνήζης μέσης πυκνότητας άμμου, χαλικιών ή συμπαγούς αργίλου, με πάχος από μερικές δεκάδες μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Επίσης, από τις δοκιμές SPT που πραγματοποιήθηκαν στην γεώτρηση, σε παραπλήσια θέση, προέκυψε ότι $N_{spt} = 35$ σύμφωνα με την σχέση 3.1, επομένως το έδαφος στην περιοχή μελέτης ανήκει στην κατηγορία C (βλ. Πίνακα 1.1). Σε αυτή την περίπτωση συμπίπτουν τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης του εδάφους από τις δυο τεχνικές.

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση της ταχύτητας των εγκάρσιων κυμάτων (από τις Re-Mi και MASW) με τον αριθμό κρούσεων κατά την δοκιμή πρότυπης διείδυσης (Πίνακας 4.3). Οι υπολογισμένες τιμές της ταχύτητας από την σεισμική διασκόπηση παρατίθενται στο Παράρτημα Α. Σύμφωνα με την αντίστοιχη βιβλιογραφία χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση (Marto et.al, 2013):

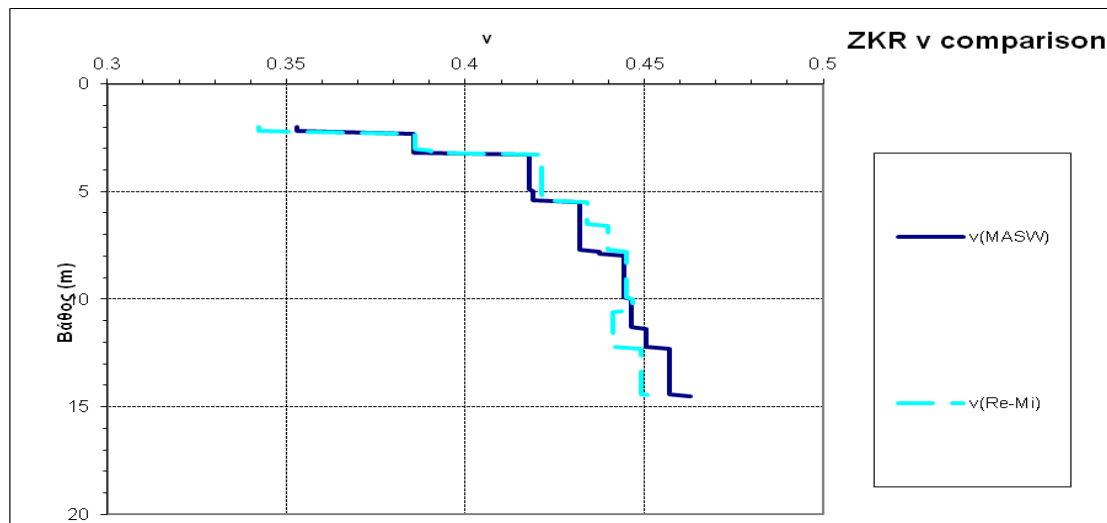
$$V_s = 105.7 * N^{0.327} \quad (4.5)$$

Παρατηρείται ότι οι θεωρητικές τιμές της ταχύτητας των εγκάρσιων κυμάτων διαφέρουν αρκετά από τις υπολογισμένες τιμές για 30 και 70 κρούσεις κατά την δοκιμή πρότυπης διείδυσης. Στην περίπτωση των 40 κρούσεων παρατηρείται μεγάλη απόκλιση στις τιμές της ταχύτητας από την μέθοδο του μικροθορύβου. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι τιμές της ταχύτητας, θεωρητικές και υπολογισμένες, συγκλίνουν ικανοποιητικά.

Πίνακας 4.3: Θεωρητική ταχύτητα εγκάρσιων κυμάτων που προκύπτει σε σχέση με τον αριθμό κρούσεων (Marto et.al).

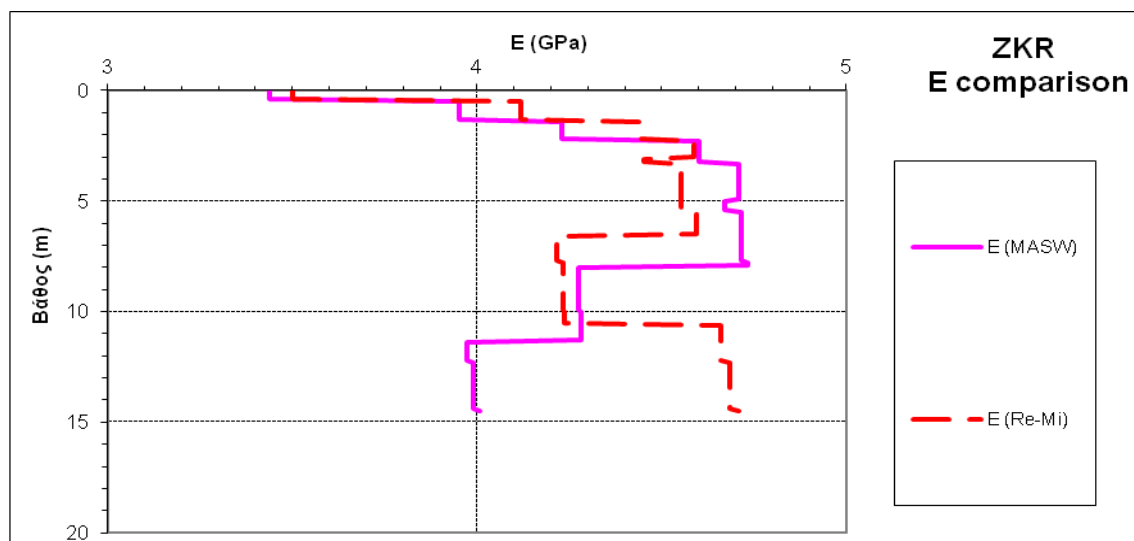
Nspt	Tsiambaos 2011 Vs (m/s)	Vs (m/s) Re-Mi Σεισμικής Διασκόπησης	Vs (m/s) MASW Σεισμικής Διασκόπησης
5	178,9	202	176
7	199,7	194	176
9	216,8	183	228
30	321,4	176	264
70	424,1	197	346
40	353,1	243	404

4.2.3 Περιοχή Ζάκρου (ZKR)



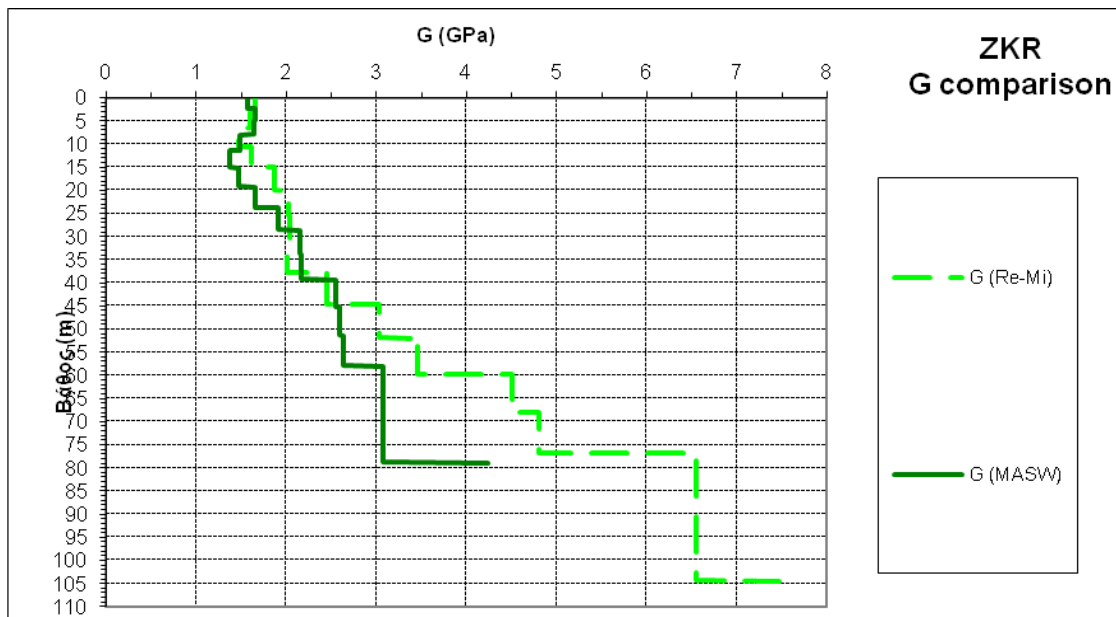
Διάγραμμα 4.7: Σύγκριση λόγου Poisson, ν , από την MASW και Re-Mi ανάλυση επιφανειακών κυμάτων με το βάθος για την περιοχή ZKR.

Στο διάγραμμα 4.7 προκύπτουν οι τιμές του λόγου Poisson, ν , από τις αναλύσεις MASW και Re-Mi. Παρατηρείται σχεδόν ταύτιση στις τιμές σε όλα τα βάθη.



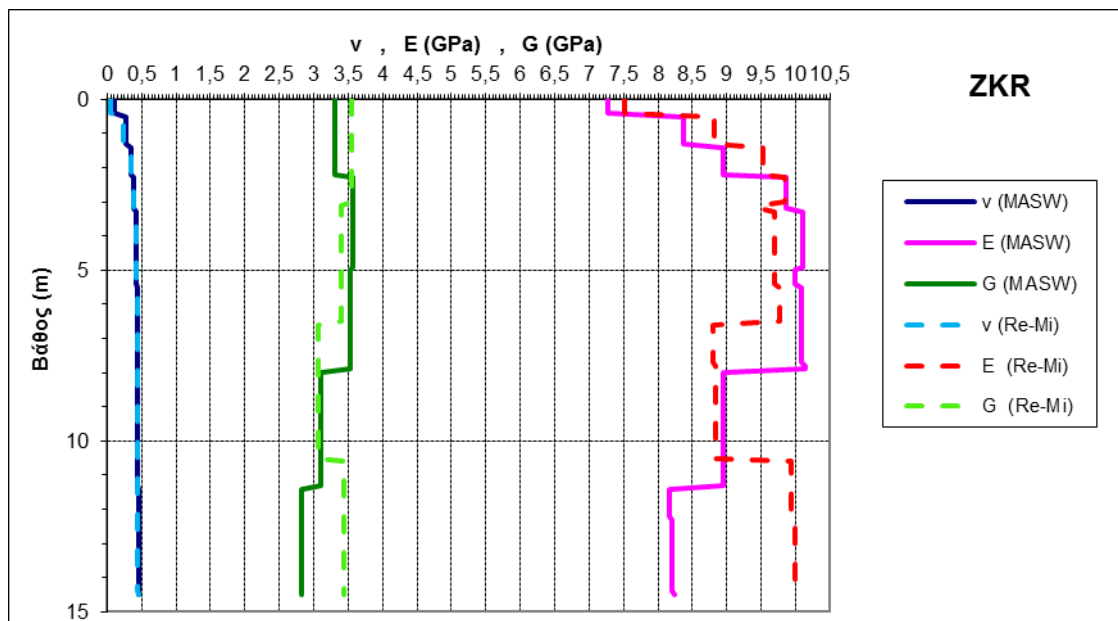
Διάγραμμα 4.8: Σύγκριση μέτρου ελαστικότητας, E (GPa), από την MASW και Re-Mi ανάλυση επιφανειακών κυμάτων με το βάθος για την περιοχή ZKR.

Στο διάγραμμα 4.8 παρατηρούνται οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις MASW και Re-Mi. Παρατηρείται σχεδόν ταύτιση των τιμών μέχρι το βάθος των 11m.



Διάγραμμα 4.9: Σύγκριση μέτρου διάτμησης, G (GPa), από την MASW και Re-Mi ανάλυση επιφανειακών κυμάτων με το βάθος για την περιοχή ZKR.

Στο διάγραμμα 4.9 προκύπτουν οι τιμές του μέτρου διάτμησης, G , από τις αναλύσεις MASW και Re-Mi. Από τα 60m και βαθύτερα παρατηρείται απόκλιση στις τιμές.



Διάγραμμα 4.10: Συνδυαστική αναπαράσταση λόγου Poisson, ν , μέτρου ελαστικότητας, E (GPa), και μέτρου διάτμησης, G (GPa), από την MASW και Re-Mi ανάλυση επιφανειακών κυμάτων με το βάθος για την περιοχή ZKR.

Στο διάγραμμα 4.10 παρατηρείται η συνδυαστική αναπαράσταση των ελαστικών ιδιοτήτων μέχρι το βάθος των 15m.

Προσδιορίστηκε η ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων στα 30m από την σχέση 1.2 και προέκυψε $V_{s30} = 929\text{m/s}$ από την τεχνική μικροθρόμβου για τις ενοποιημένες μετρήσεις και

$V_{S30} = 837\text{m/s}$ από την MASW για τις ενοποιημένες μετρήσεις ομοίως, σύμφωνα με την οποία το έδαφος στην περιοχή μελέτης της Ζάκρου ανήκει στην κατηγορία Α. Από την επεξεργασία των δεδομένων που αφορούν στο πρώτο ανάπτυγμα γεωφώνων προέκυψε $V_{S30} = 843\text{m/s}$ από την MASW και στο δεύτερο ανάπτυγμα προέκυψε $V_{S30} = 1092\text{m/s}$ από την MASW. Όλα τα αποτελέσματα συμφωνούν με το αρχικό αποτέλεσμα των ενοποιημένων δεδομένων όσο ν' αφορά την κατηγοριοποίηση του εδάφους στην κατηγορία Α. Πρόκειται λοιπόν για βραχώδη ή σχεδόν βραχώδη γεωλογικό σχηματισμό συμπεριλαμβανομένου το πολύ 5m επιφανειακού εδαφικού υλικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συνοψίζοντας, στην παρούσα διπλωματική εργασία επεξεργάστηκαν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος Θαλής με στόχο τον χαρακτηρισμό του υπεδάφους και την κατηγοριοποίησή του σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 σε επιλεγμένες θέσεις του Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων (Ε.Δ.Ε) στο νομό Λασιθίου.

Πραγματοποιήθηκε λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση και γεωφυσική διασκόπηση με σεισμικές (σεισμική διάθλαση και ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων) και ηλεκτρικές (ηλεκτρική τομογραφία) μεθόδους, στις περιοχές του Αγίου Νικολάου, της Σητείας και της Ζάκρου. Επίσης, συλλέχθηκαν δεδομένα από γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον Άγιο Νικόλαο και στην Σητεία.

Από την παραπάνω επεξεργασία προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα για την κάθε περιοχή:

- Στην περιοχή της Σητείας εμφανίζονται αλλουβιακές αποθέσεις, αμμούχα άργιλος με εμφανίσεις ασβεστιτικών συγκριμάτων και μάργες ή/και μαργαϊκοί ψαμμίτες του Νεογενούς. Παρατηρείται πλευρική ανομοιογένεια από τα σεισμική διασκόπηση αλλά και από την ηλεκτρική τομογραφία της περιοχής. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της V_{s30} το υπέδαφος της περιοχής μελέτης ανήκει στην κατηγορία B σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Το ίδιο προκύπτει και από τα αποτελέσματα της δοκιμής πρότυπης διεύθυνσης στην γεώτρηση που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή. Από τον προσδιορισμό των δυναμικών ελαστικών ιδιοτήτων στην θέση μελέτης προέκυψε ότι το μέτρο ελαστικότητας κυμαίνεται από 0,15-1,65 GPa, το μέγιστο μέτρο διάτμησης από 0,05-0,83 GPa και ο λόγος Poisson ισούται με 0,49 σε όλα τα βάθη περίπου.
- Στην περιοχή του Αγίου Νικολάου πραγματοποιήθηκαν δυο γραμμές μελέτης. Και στις δυο γραμμές μελέτης εμφανίζονται ασβεστομαργαϊκό υλικό με φακοειδείς ενστρώσεις ασβεστιτικού ψαμμίτη, τεφρός κρητιδικός ασβεστόλιθος και μυλωνιτοποιημένος ασβεστόλιθος. Γενικότερα και στις δύο γραμμές μελέτης για την περιοχή του Αγίου Νικολάου παρατηρείται ότι δεν προκύπτουν αμιγώς εδαφικοί σχηματισμοί καθώς εμφανίζονται και ασβεστολιθικές δομές. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της V_{s30} το υπέδαφος της περιοχής μελέτης ανήκει στην κατηγορία C σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Από τα αποτελέσματα της δοκιμής πρότυπης διεύθυνσης στην γεώτρηση που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή προκύπτει ότι το υπέδαφος ανήκει στην κατηγορία C σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Η παρέκκλιση που προκύπτει από τα αποτελέσματα των σεισμικών διασκοπήσεων και της N_{spt} πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι στην περιοχή δεν υπάρχουν αμιγώς εδαφικοί σχηματισμοί αλλά εμφανίζονται και ασβεστολιθικές δομές. Όσον αφορά τον προσδιορισμό των δυναμικών ελαστικών ιδιοτήτων στην θέση μελέτης αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπολογίστηκαν οι τιμές

του λόγου Poisson και του μέτρου ελαστικότητας καθώς οι τιμές της ταχύτητας διάδοσης των διαμήκων σεισμικών κυμάτων, V_p , ήταν υπερβολικά μεγάλες, και ως εκ τούτου δεν ελήφθησαν υπόψη. Προσδιορίστηκε όμως το μέγιστο μέτρο διάτμησης το οποίο κυμαίνεται από 0,2-1,5 GPa.

- Στην περιοχή της Ζάκρου εμφανίζονται κροκαλοπαγή του Νεογενούς, ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού και φυλλίτες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της V_{s30} το υπέδαφος της περιοχής μελέτης ανήκει στην κατηγορία Α σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. Το ίδιο προκύπτει και από τα αποτελέσματα της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης στην γεώτρηση που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή. Από τον προσδιορισμό των δυναμικών ελαστικών ιδιοτήτων στην θέση μελέτης προέκυψε ότι το μέτρο ελαστικότητας κυμαίνεται από περίπου 3,4-4,7 GPa, το μέγιστο μέτρο διάτμησης από 1,5-7,5GPa και ο λόγος Poisson από 0,34-0,46.

Κατά την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορεί να προταθεί το εξής για πιθανή μελλοντική διερεύνηση του συγκεκριμένου γνωστικού αντικείμενου:

- Προτείνεται η χρήση της μεθόδου Nakamura (Horizontal to Vertical Noise Ratio HVNR) η οποία στηρίζεται στην τεχνική του μικροθορύβου και κατά την οποία υπολογίζεται η φασματική αναλογία της οριζόντιας προς την κατακόρυφη συνιστώσα των σεισμικών κυμάτων. Η αναλογία της οριζόντιας προς την κατακόρυφη συνιστώσα των σεισμικών κυμάτων αποκαλύπτει τελικώς την θεμελιώδη συχνότητα συντονισμού της επιλεγμένης θέσης μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αβαγιανός Αλέξανδρος, 2011, Διπλωματική εργασία, 'Συμβολή των σεισμικών μεθόδων στον γεωτεχνικό χαρακτηρισμό των γεωλογικών σχηματισμών για την κατασκευή της Β' φάσης κτιρίων ΜΗ.ΠΕΡ. του Πολυτεχνείου Κρήτης', Χανιά
2. Βαφειδής Αντώνιος, 2001, Σημειώσεις του μαθήματος Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
3. Βαφειδής Αντώνιος, Οκτώμβριος 1993, 'Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι, Σεισμικές μέθοδοι', Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
4. Βαφειδής Αντώνιος, 2011, 'Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι, Σεισμικές μέθοδοι', Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
5. Διαμαντάκης Δ., Ιούνιος 2014, Τελική έκθεση αποτελεσμάτων 'Γεωτεχνικός χαρακτηρισμός επιλεγμένων θέσεων στην Κρήτη με την συνδυαστική χρήση γεωφυσικών και γεωτεχνικών μεθόδων', Χανιά
6. Ευρωκώδικας 8, 2003, Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Βρυξέλλες.
7. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ) 2000, Απρίλιος 2001, Εκτυπωτική Αττικής Α.Ε, Αθήνα
8. Καπατσώλου Α., Ιούνιος 2008, Διατριβή ειδίκευσης 'Εκτίμηση της επικινδυνότητας για ρευστοποίηση των εδαφών στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Πατρών', Πάτρα
9. Κρητικάκης Γεώργιος, 2010, Διδακτορική διατριβή 'Επιφανειακά κύματα: Εφαρμογές σε περιβαλλοντικά και γεωτεχνικά προβλήματα', Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Τομέας Ανίχνευσης και Εντοπισμού Ορυκτών, Χανιά
10. Κρητικάκης Γιώργος, 2001, Μεταπτυχιακή διατριβή 'Προσδιορισμός της ταχύτητας των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων από καταγραφές επιφανειακών κυμάτων Rayleigh', Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Τομέας Ανίχνευσης και Εντοπισμού Ορυκτών, Χανιά
11. Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Βαφειδής Α., Ρόζος Δ., Ροντογιάννη Θ., Τσαγγαράτος Π., Καϊταντζιάν Α., Αγγελίτσα Β., Τζαμπογλου Π., Απρίλιος 2014, 'Τεχνική Έκθεση, Έκθεση αποτελεσμάτων γεωτεχνικής έρευνας και οι σχετικοί τεχνικογεωλογικοί χάρτες, Παραδοτέο 2.1 στα πλαίσια του Ερευνητικού έργου ΘΑΛΗΣ, Υπόέργο: 379426 «ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ»', Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
12. Μενάγιας Γεράσιμος, 2009, 'Σεισμική διασκόπηση στο οικόπεδο του παλαιού εργοστασίου της ΑΒΕΑ ΧΑΝΙΑ', Διπλωματική εργασία Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
13. Παπαθανασίου Χριστίνα, 2007, Διπλωματική εργασία 'Γεωφυσική έρευνα με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας στο Μόχο Ηρακλείου', Χανιά
14. Πενέλης Γ., Καππος Α., Ιανουάριος 1990, 'Αντισεισμικές κατασκευές από σκυρόδεμα', Εκδόσεις Ζητη, Θεσσαλονίκη
15. Πιτιλάκης Κ., 2010, "Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική", Εκδόσεις Ζητη, Θεσσαλονίκη
16. Ραπτάκης Δ., 1995, Διδακτορική Διατριβή "Συμβολή στον προσδιορισμό της γεωμετρίας και των δυναμικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών και στη σεισμική απόκρισή τους", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.

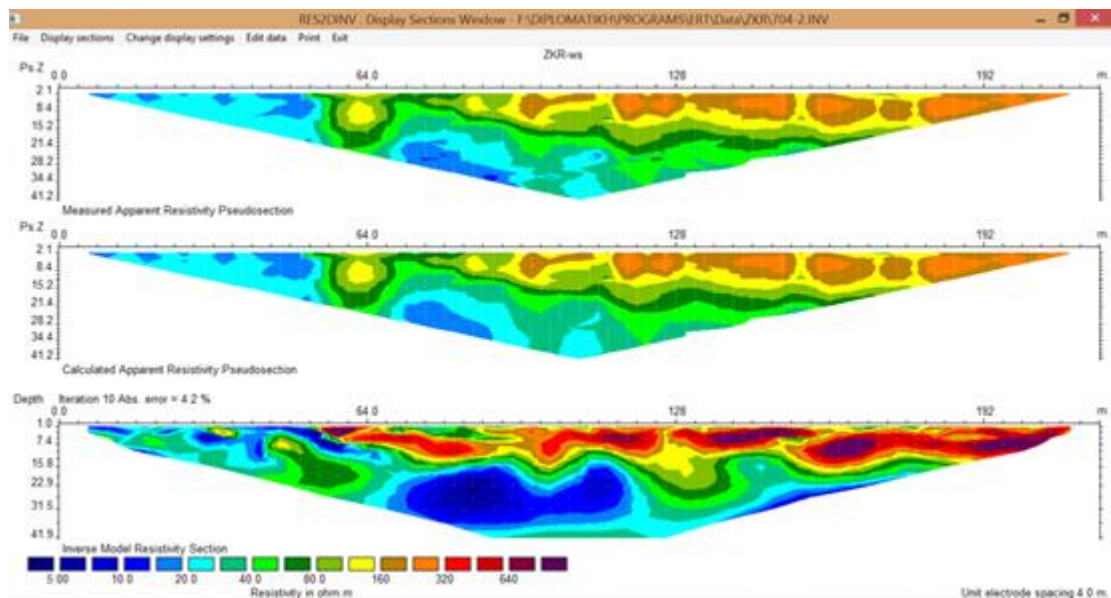
17. Σαμουήλ Σαμουήλ, 2015, Διπλωματική εργασία ‘Συμβολή των γεωηλεκτρικών μεθόδων και δεδομένων από πηγάδια στην μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρωσης στα Φαλάσαρνα Χανίων’, Χανιά
18. Χατζηπέτρου Δημήτρης, 2015, Διπλωματική εργασία ‘ Γεωτεχνικός χαρακτηρισμός του υπεδάφους με βάση γεωτρητικά και γεωφυσικά στοιχεία. Μελέτη για το σχεδιασμό υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας στα Μάλια Ηρακλείου’, Χανιά
19. Ψιμούλης Παναγιώτης, 2005, ‘Συμβολή στη διερεύνηση της δυνατότητας καταγραφής ταλαντώσεων με τα γεωδαιτικά όργανα GPS – RTS’, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πάτρα
20. Aminaton Marto, Tan Choy Soon, Fauziah Kasim, Meldi Suhatri, 2013, ‘ A Correlation of Shear Wave Velocity and Standard Penetration Resistance’, Malaysia
21. Athanasopoulos G., Pelekis P., May 2000, ‘Work Package 2, Deliverable D2, Hazard evaluation for the site, Ground shaking estimate, Research Project: Seismocare, Site effects on the seismic ground response of the city of Chania, Greece’, Patras
22. Day Robert W., 2001, ‘Geotechnical Earthquake Engineering Handbook’, Publisher: McGraw-Hill Professional Publishing
23. Jumrik Taipodia and Arindam Dey 2012, ‘A Review of Active and Passive MASW Techniques’ National Workshop Engineering Geophysics for Civil Engineering and Geo-Hazards (EGCEG), CBRI, Roorkee
24. Kramer L. Steven, 1996, ‘Geotechnical earthquake engineering’, Publisher: Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J
25. Luo, Y., Xia J., Liu, J., Xu, Y., and Liu, Q., 2009a, ‘Research on the middle-of-receiver-spread assumption of the MASW method, Soil Dynamics and Earthquake Engineering’, Vol.29, p. 71 – 79
26. Park B. Choon, Miller D. Richard, Jianghai Xia and Julian Ivanov, January 2007, ‘Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods’, Kansas Geological Survey, Lawrence, USA
27. Reynolds M. John, 1997, ‘An Introduction to Applied and Environmental Geophysics’, Publisher: John Wiley & Sons Ltd, Chichester
28. Savvaidis A., Margaris B., Theodoulidis N., Lekidis V., Karakostas Ch., Mangriotis M-D., Kalogeras I., Vafidis A., Steiakakis M., Agioutantis Z., Rozos D., Loupasakis C., Rondoyanni Th., Tsangaratos P., Dikmen U., Papadopoulos N., Sarris A., Soupios P., Kokkinou E., Papadopoulos I., Kouli M., Vallianatos F., 2013, ‘Geo-Characterization according to recent advances of Eurocode (EC8)’, Proceedings of the SPIE, Volume 8795
29. Sheriff E. G. and Geldart L. P., 1995, ‘Exploration Seismology’, Cambridge University Press, Cambridge
30. Tsiambaos G. and N Sabatakakis (2011) ‘Empirical Estimation of Shear Wave Velocity from In Situ Tests on Soil Formations in Greece’, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 70, 291–297.

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

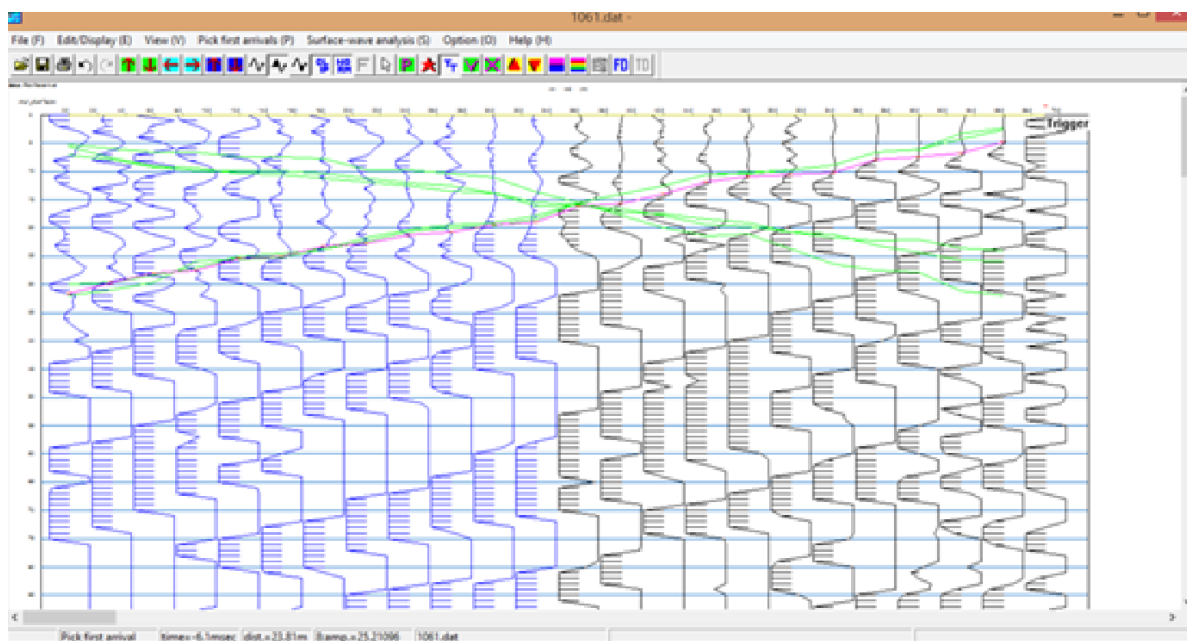
- [1] <http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/tex1/2E.pdf>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΖΑΚΡΟΥ

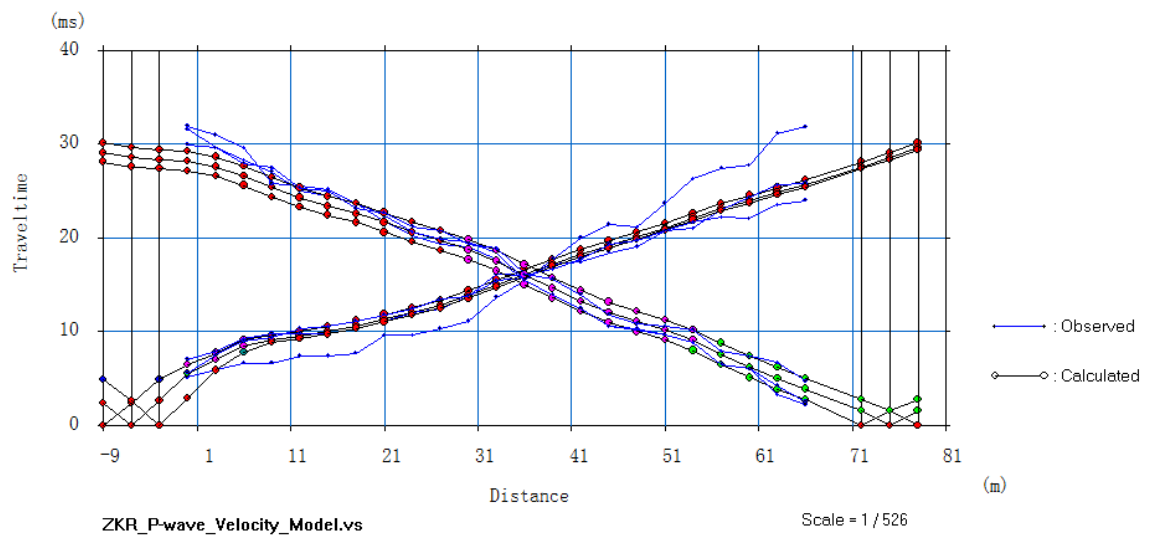


Παράρτημα 1: Τελικό μοντέλο ηλεκτρικής διασκόπησης για την θέση ZKR (γραμμή μελέτης ERT) με σφάλμα 4,2% και χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger

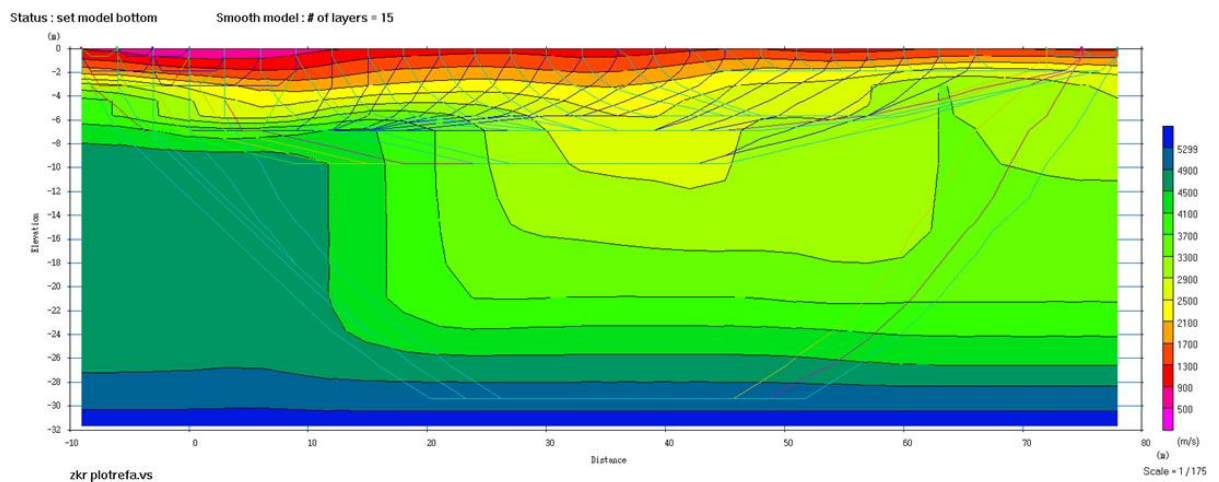


Παράρτημα 2: Τελικό αρχείο πρώτων αφίξεων για την περιοχή ZKR

Status : No editing



Παράρτημα 3: Δρομοχρονικό διάγραμμα πειραματικών και υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων για την περιοχή ZKR

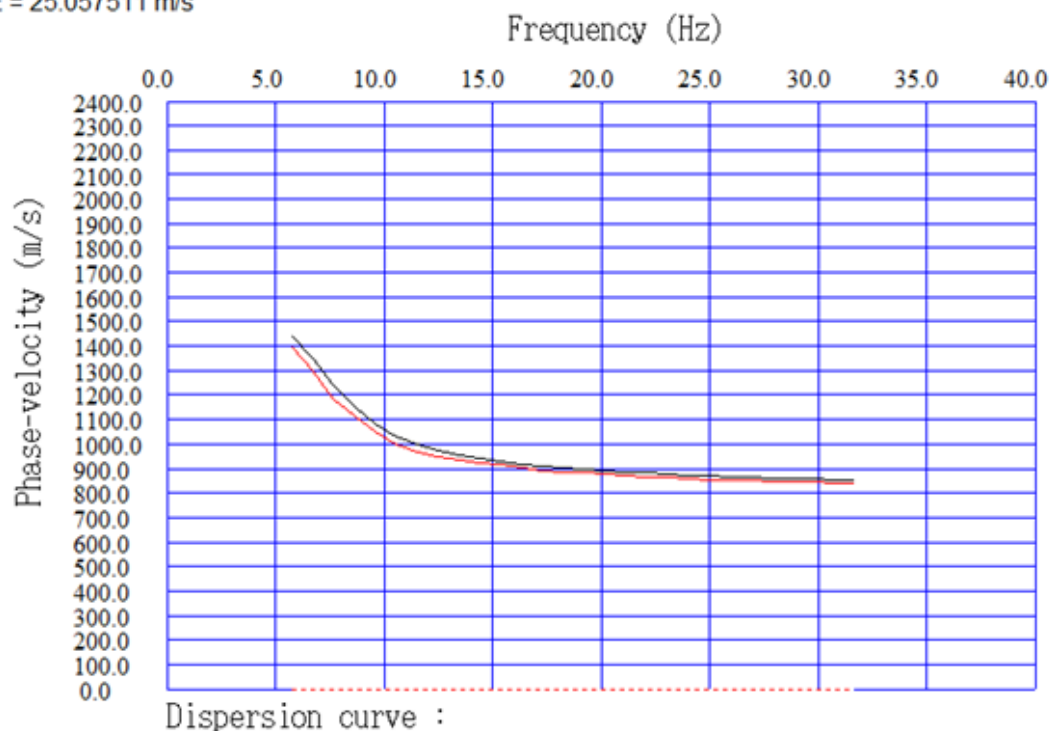


Παράρτημα 4: Απεικόνιση του τελικού μοντέλου βάθους με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 1,895089% μεταξύ πειραματικών και υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων για την περιοχή ZKR

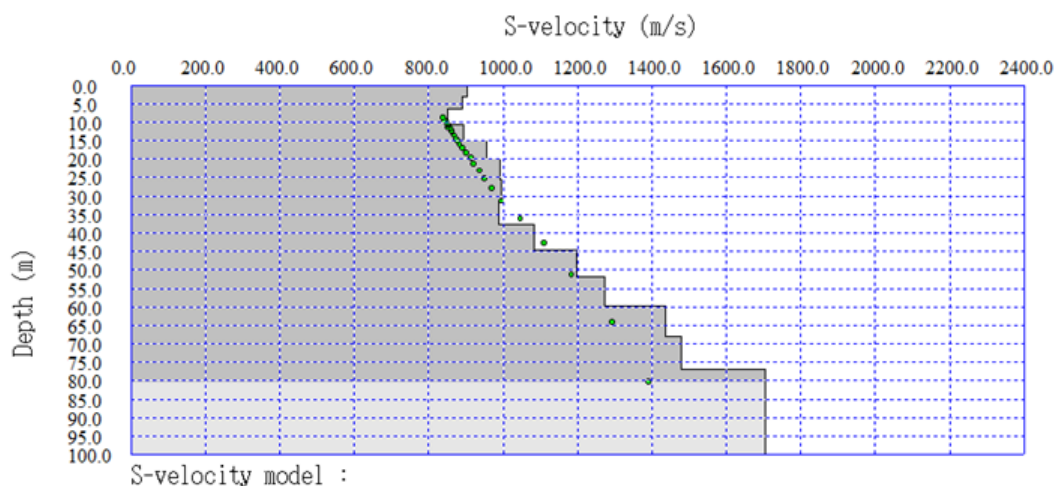
Depth(m)	S-velocity(m/s)
0	903,613567
3,071431	889,623284
6,615389	852,918148
10,631869	893,50903
15,120884	954,855621
20,082433	992,658317
25,516484	996,291876
31,423077	988,526702
37,802197	1084,561348
44,653844	1196,879983
51,978033	1271,940708
59,774756	1437,655807
68,043955	1480,145097
76,785713	1704,455972
104,42863	1808,61783

Παράρτημα 5: Τιμές του βάθους και της ταχύτητας εγκάρσιων κυμάτων για την περιοχή της Ζάκρου για την επεξεργασία των δεδομένων με την Re-Mi.

RMSE = 25.057511 m/s



Παράρτημα 6.: Απεικόνιση της θεωρητικής (κόκκινη) και της υπολογισμένης (μαύρη) καμπύλης διασποράς για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των δεδομένων με την Re-Mi.

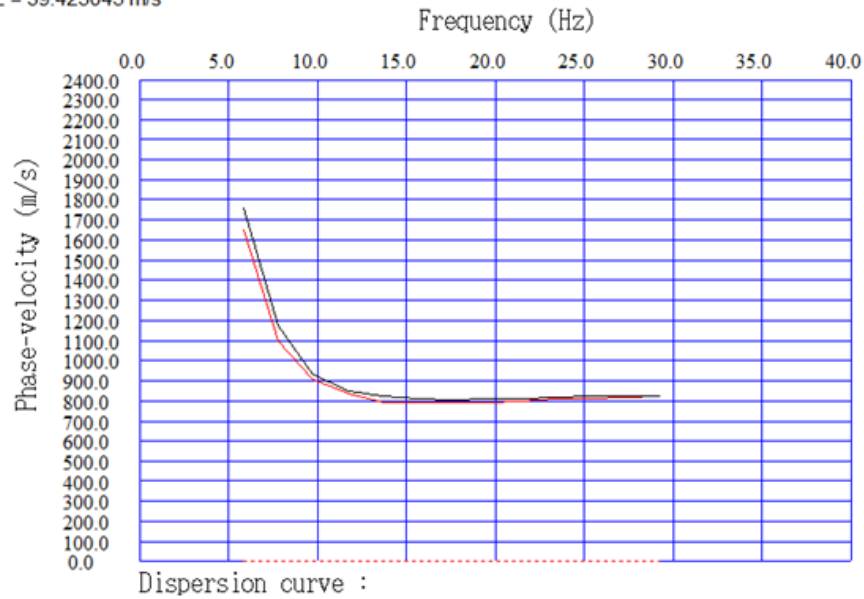


Παράρτημα 7: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 0.208230% για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των δεδομένων με την Re-Mi.

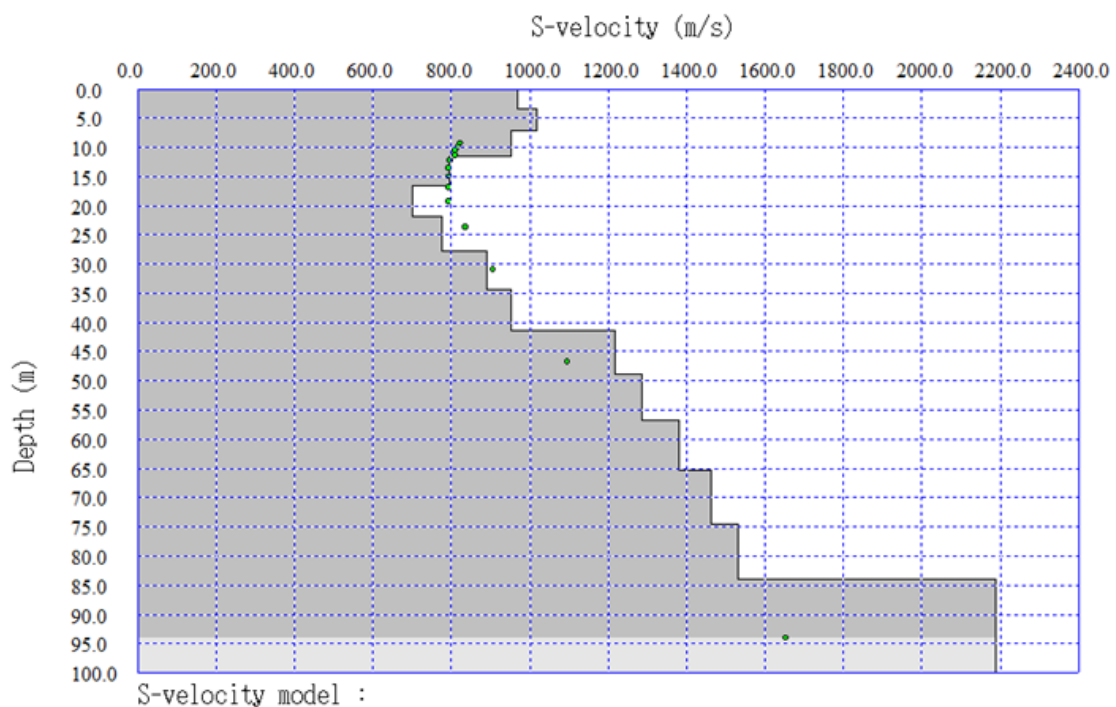
Depth(m)	S-velocity(m/s)
0	968,522251
3,357144	1017,911196
7,230769	953,727245
11,620883	797,086716
16,527472	699,626684
21,950549	774,541497
27,890109	890,416384
34,346167	951,231658
41,318681	1217,0825
48,807703	1287,916064
56,813188	1381,980419
65,335169	1463,766456
74,373662	1531,23498
83,928593	2188,050032
114,1429	2372,876406

Παράρτημα 8: Τιμές του βάθους και της ταχύτητας εγκάρσιων κυμάτων για την περιοχή της Ζάκρουγια την επεξεργασία των ενοποιημένων δεδομένων με την MASW.

RMSE = 39.423045 m/s



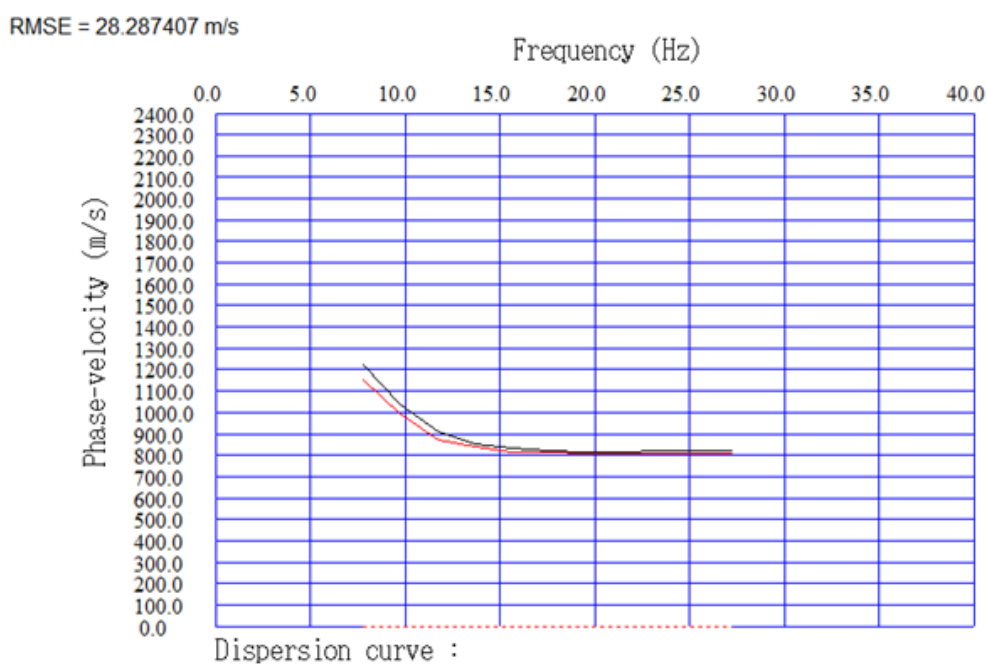
Παράρτημα 9: Απεικόνιση της θεωρητικής (κόκκινη) και της υπολογισμένης (μαύρη) καμπύλης διασποράς για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των ενοποιημένων δεδομένων με την MASW



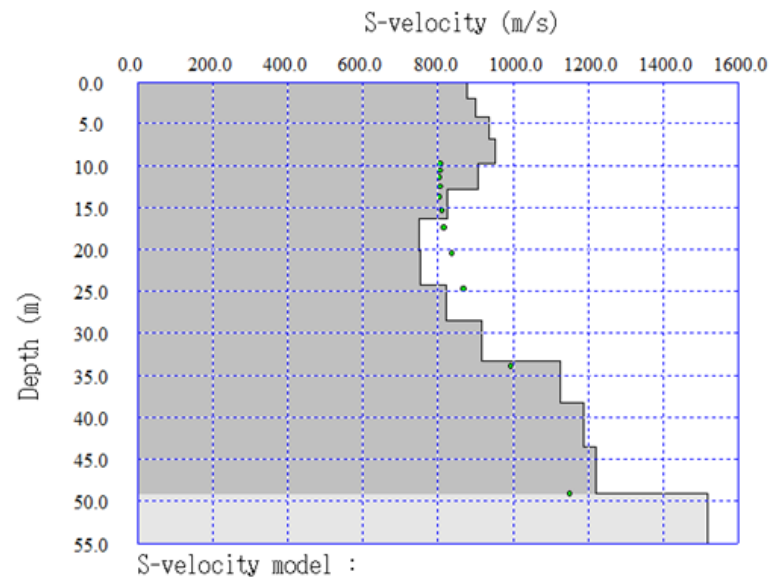
Παράρτημα 10: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος με RMSE 39,4 m/s για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των ενοποιημένων δεδομένων με την MASW.

Depth (m)	S-velocity(m/s)
0	879
2	899
4	937
7	951
10	907
13	827
16	751
20	753
24	821
29	916
33	1.126
38	1.188
44	1.222
49	1.520
67	1.520

Παράρτημα 11: Τιμές του βάθους και της ταχύτητας εγκάρσιων κυμάτων για την περιοχή της Ζάκρου για την επεξεργασία των δεδομένων του πρώτου αναπτύγματος γεωφώνων (θέση 1011) με την MASW.



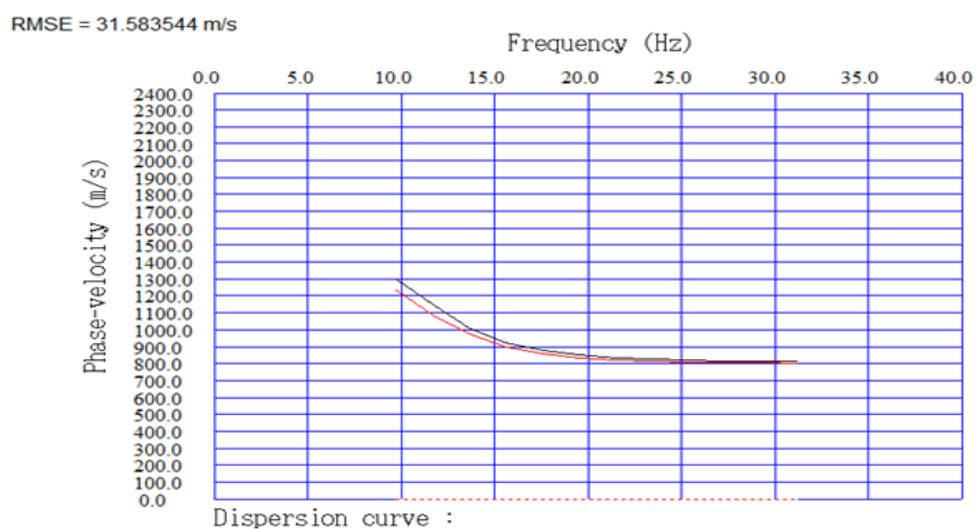
Παράρτημα 12: Απεικόνιση της θεωρητικής (κόκκινη) και της υπολογισμένης (μαύρη) καμπύλης διασποράς για την περιοχή ΖΚΡ μετά την επεξεργασία των δεδομένων του πρώτου αναπτύγματος γεωφώνων (θέση 1011) από την MASW.



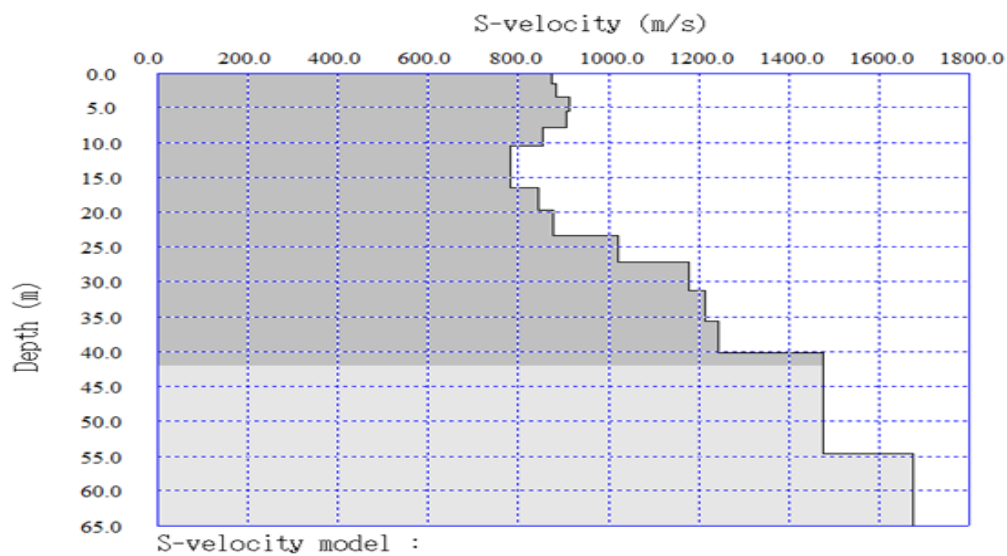
Παράρτημα 13: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 1.076923% για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των δεδομένων του πρώτου αναπτύγματος γεωφώνων (θέση 1011) από την MASW.

Depth (m)	S-velocity(m/s)
0	873
2	885
3	914
6	906
8	856
11	782
13	782
16	846
20	878
23	1.021
27	1.178
31	1.214
36	1.245
40	1.478
55	1.674

Παράρτημα 14: Τιμές του βάθους και της ταχύτητας εγκάρσιων κυμάτων για την περιοχή της Ζάκρου για την επεξεργασία των δεδομένων του δεύτερου αναπτύγματος γεωφώνων (θέση 1052) με την MASW.

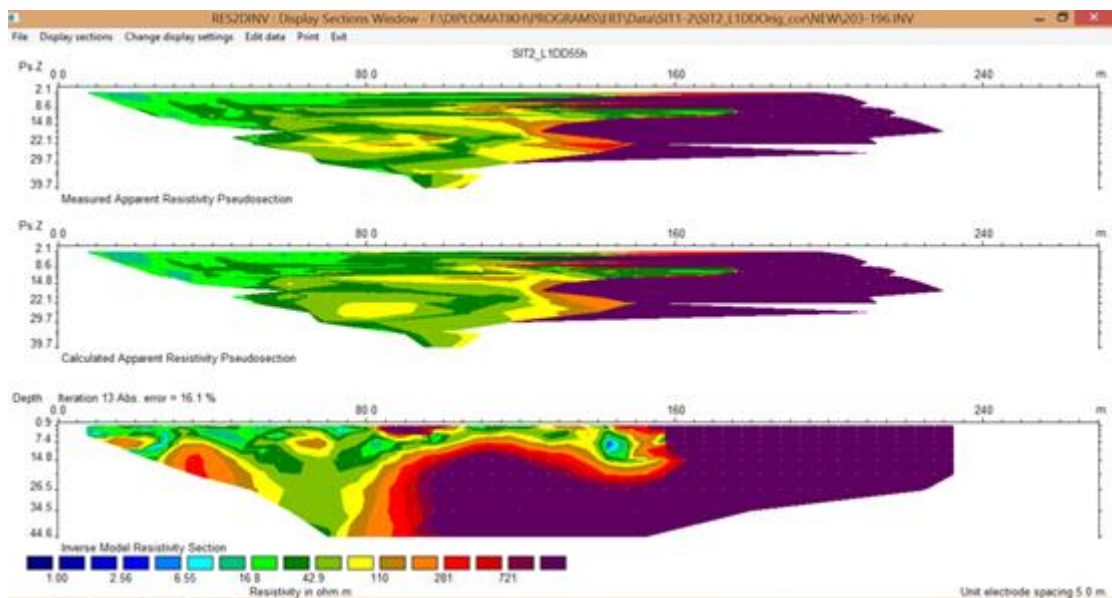


Παράρτημα 15: Απεικόνιση της θεωρητικής (κόκκινη) και της υπολογισμένης (μαύρη) καμπύλης διασποράς για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των δεδομένων του δεύτερου αναπτύγματος γεωφώνων (θέση 1052) από την MASW.

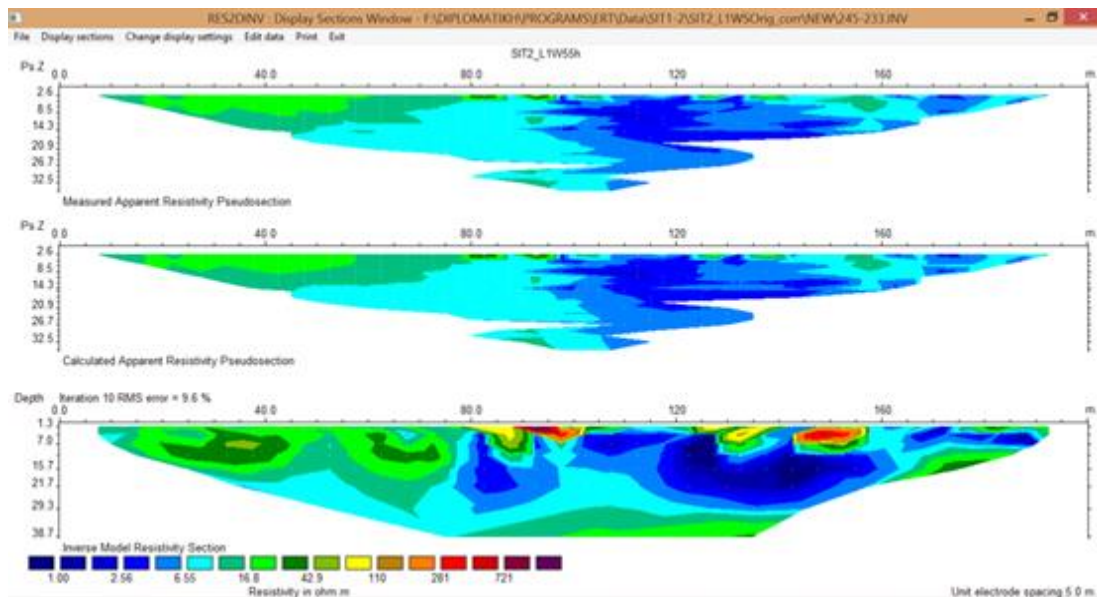


Παράρτημα 16: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 0,286314% για την περιοχή ZKR μετά την επεξεργασία των δεδομένων του δεύτερου αναπτύγματος γεωφώνων (θέση 1052) από την MASW.

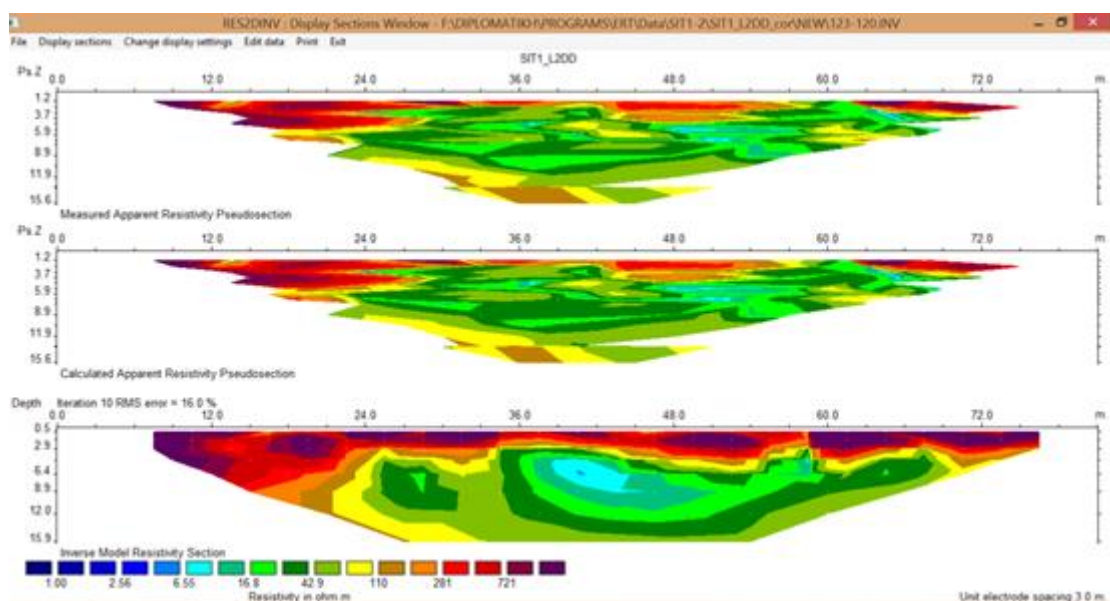
ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΗΤΕΙΑΣ



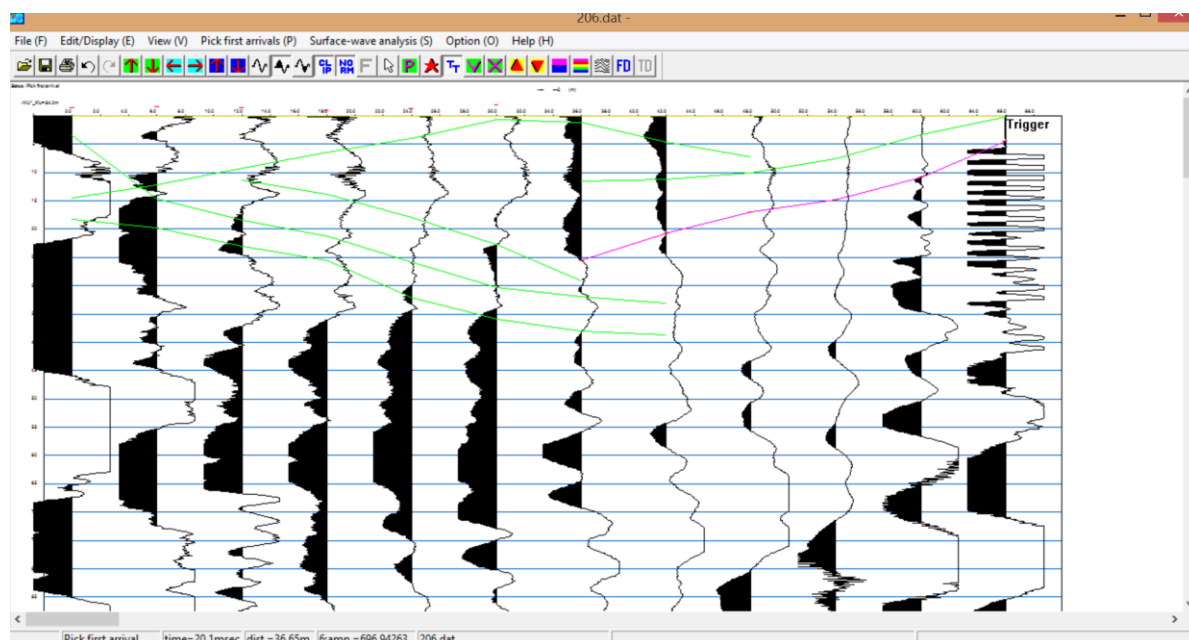
Παράρτημα 17: Τελικό μοντέλο ηλεκτρικής διασκόπησης για την θέση SIT2 (γραμμή μελέτης ERT1) με σφάλμα 16,1% και χρήση της διάταξης διπόλου – διπόλου



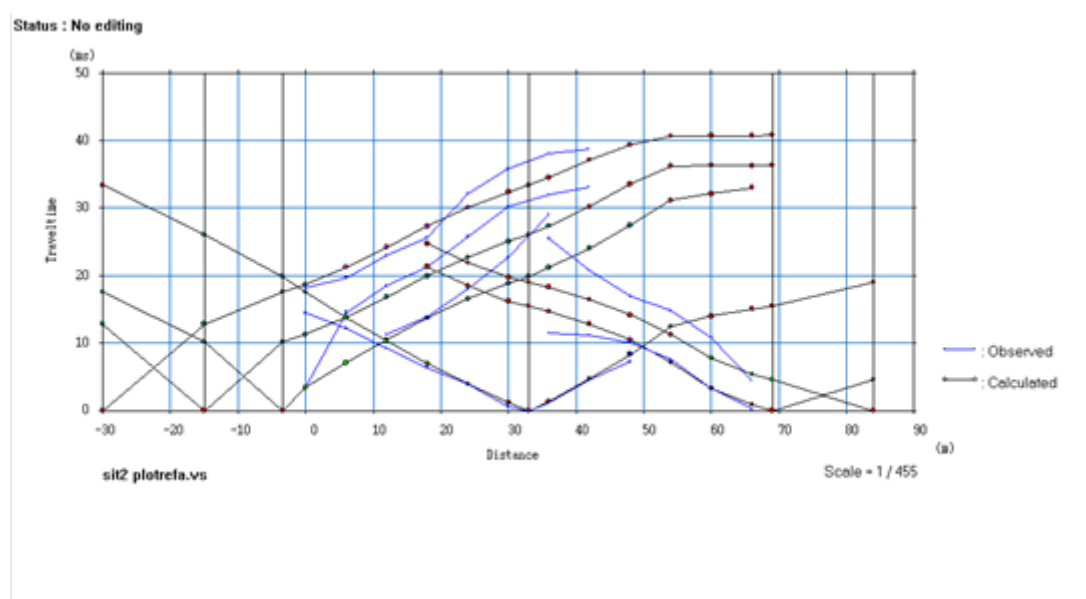
Παράρτημα 18: Τελικό μοντέλο ηλεκτρικής διασκόπησης για την θέση SIT2 (γραμμή μελέτης ERT1) με σφάλμα 9,6% και χρήση της διάταξης Wenner–Schlumberger



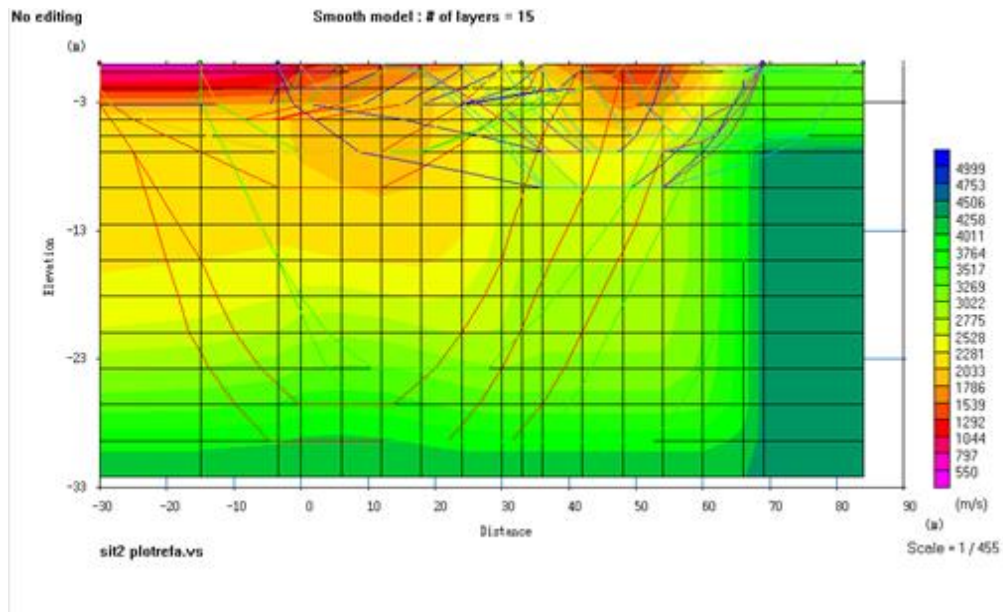
Παράρτημα 19: Τελικό μοντέλο ηλεκτρικής διασκόπησης για την θέση SIT2 (γραμμή μελέτης ERT2) με σφάλμα 16% και χρήση της μεθόδου διπόλου – διπόλου



Παράρτημα 20: Τελικό αρχείο πρώτων αφίξεων για την περιοχή SIT2



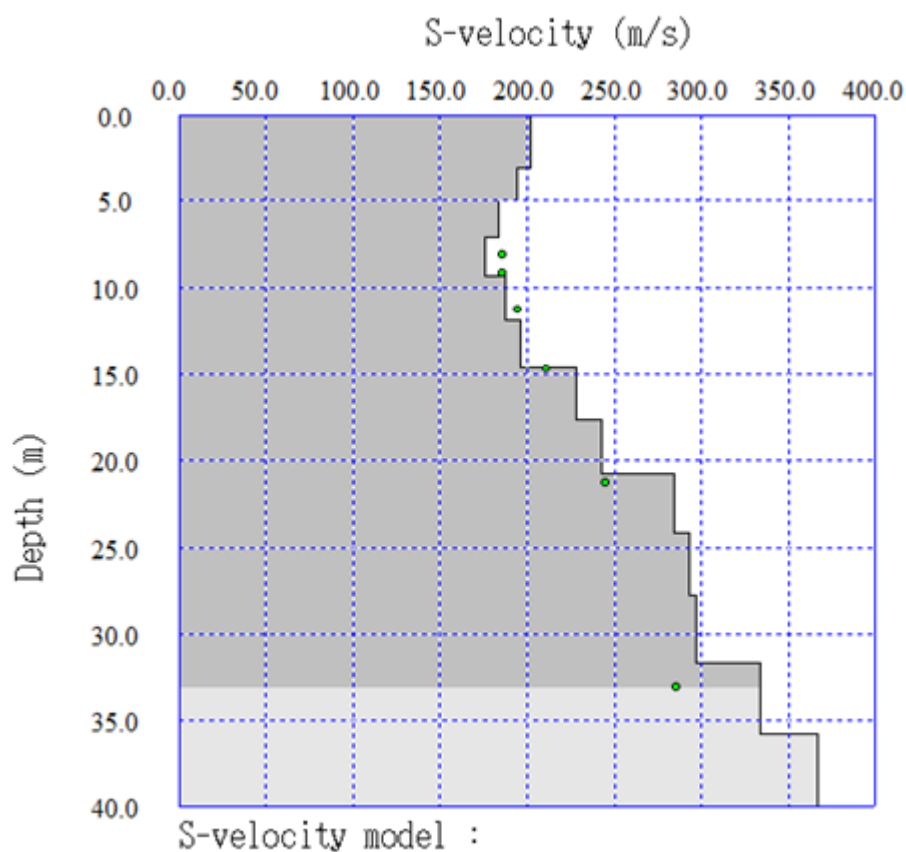
Παράρτημα 21: Δρομοχρονικό διάγραμμα πειραματικών και υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων με μέσο τετραγωνικό σφάλμα 3.014659 % για την περιοχή SIT2



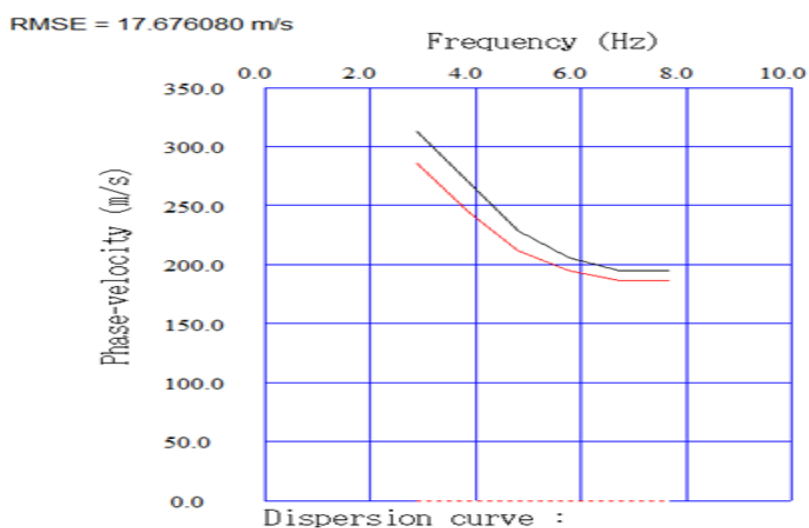
Παράρτημα 22: Απεικόνιση του τελικού μοντέλου βάθους για την περιοχή SIT2

Depth(m)	S-velocity(m/s)
0	201,572999
1,429	202,076003
3,077	194,374993
4,945	183,301002
7,033	175,695002
9,341	187,672004
11,868	196,535006
14,615	227,790996
17,581999	242,612004
20,769	284,774005
24,176	292,796999
27,802	297,105014
31,647999	333,593011
35,714	366,084009
48,571002	366,084009

Παράρτημα 23: Τιμές του βάθους και της ταχύτητας εγκάρσιων κυμάτων για την περιοχή της Σητείας για την επεξεργασία των δεδομένων με την Re-Mi.



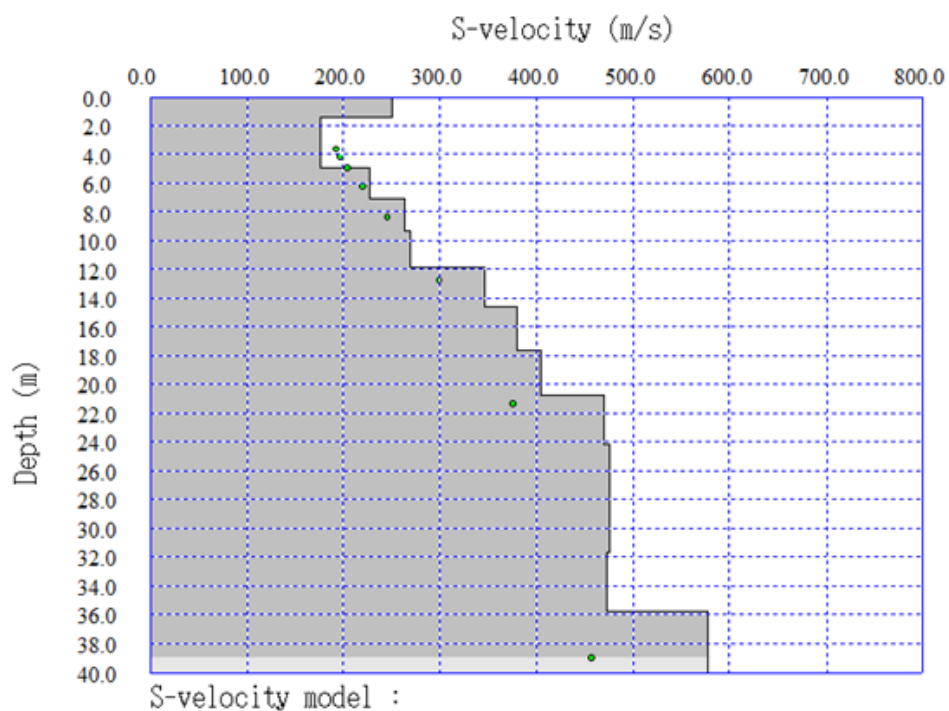
Παράρτημα 24: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος για την περιοχή SIT2 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την Re-Mi.



Παράρτημα 25: Απεικόνιση της θεωρητικής (κόκκινη) και της υπολογισμένης (μαύρη) καμπύλης διασποράς για την περιοχή SIT2 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την Re-Mi.

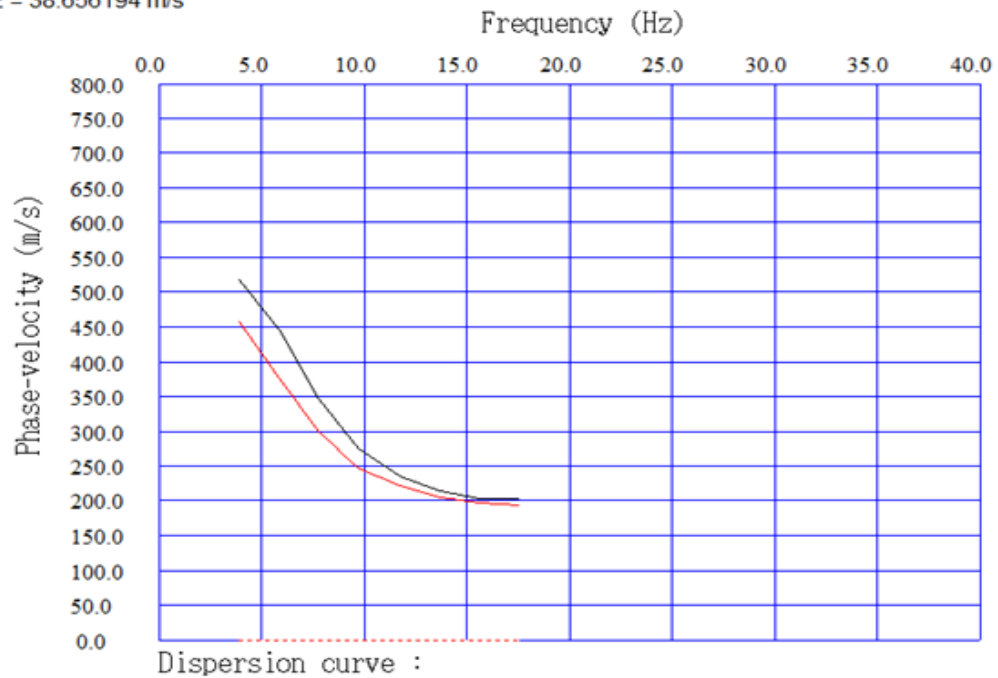
Depth(m)	S-velocity(m/s)
0,00	250,17
1,43	175,94
3,08	175,56
4,95	227,85
7,03	264,11
9,34	269,17
11,87	346,33
14,62	379,70
17,58	403,95
20,77	469,37
24,18	475,33
27,80	475,66
31,65	473,14
35,71	577,62
48,57	613,09

Παράρτημα 26: Τιμές του βάθους και της ταχύτητας εγκάρσιων κυμάτων για την περιοχή της Σητείας για την επεξεργασία των δεδομένων με την MASW.



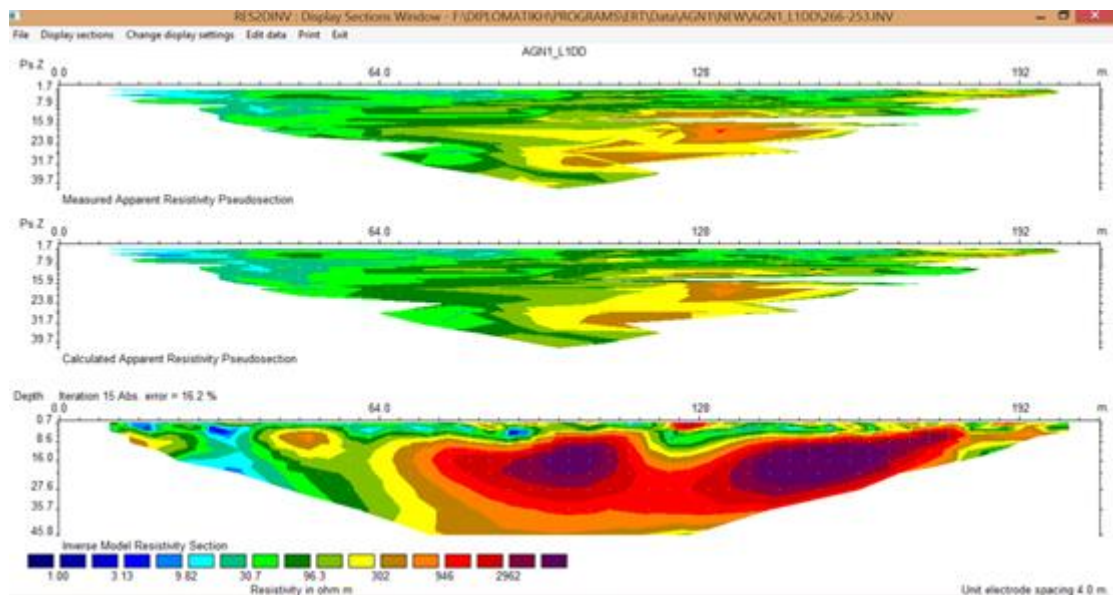
Παράρτημα 27: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος για την περιοχή SIT2 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την MASW

RMSE = 38.656194 m/s

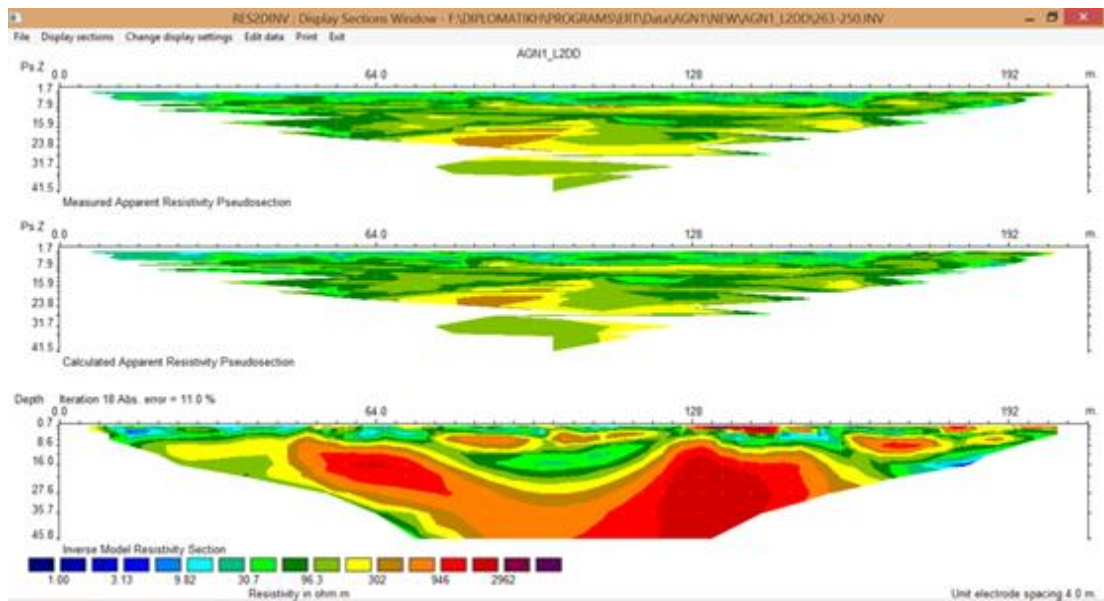


Παράρτημα 28: Απεικόνιση της θεωρητικής (κόκκινη) και της υπολογισμένης (μαύρη) καμπύλης διασποράς για την περιοχή SIT2 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την MASW

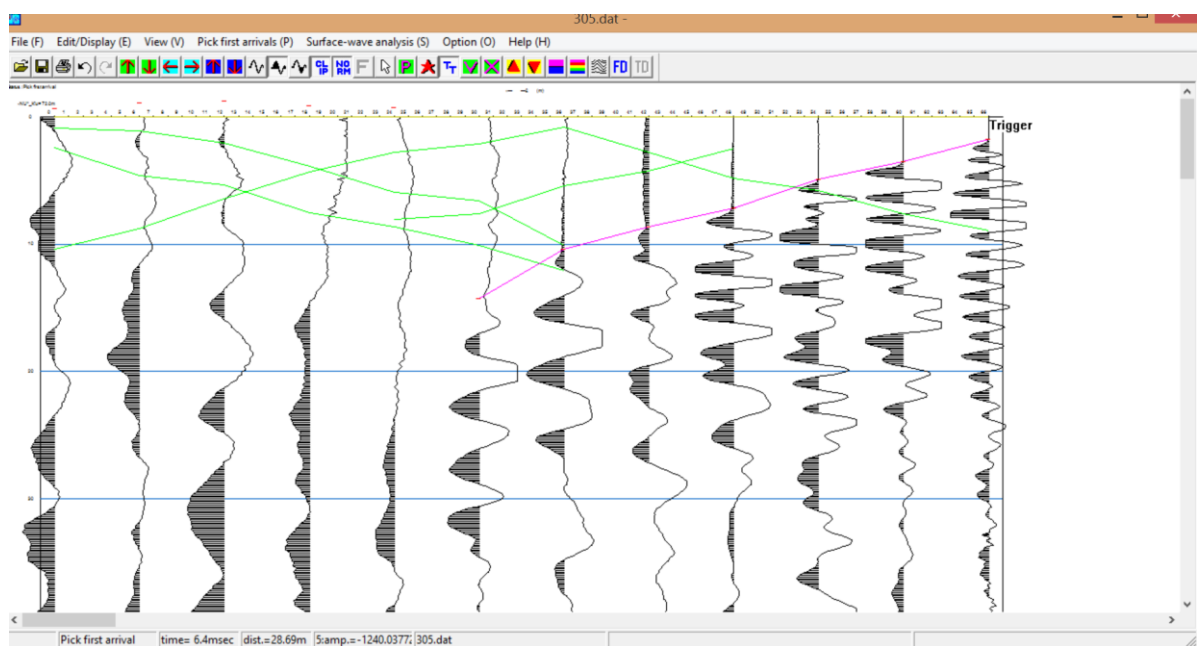
ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ



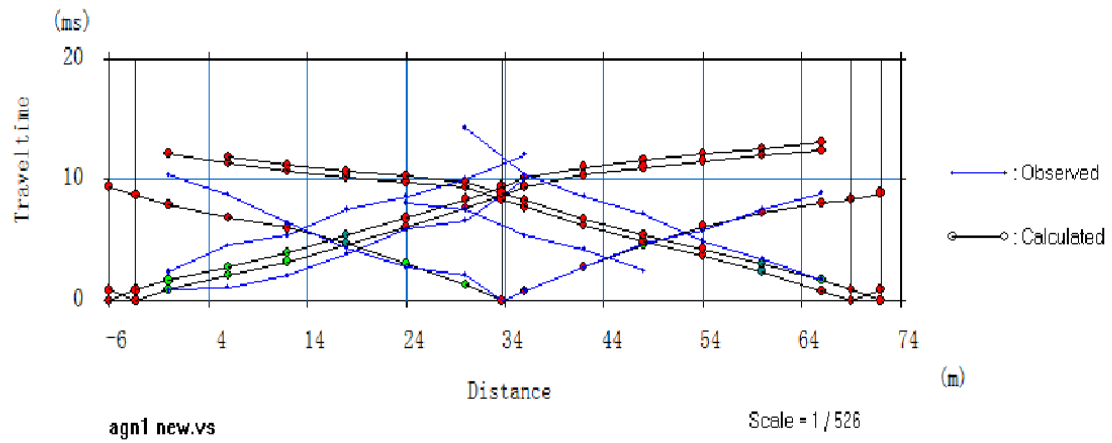
Παράρτημα 29: Τελικό μοντέλο ηλεκτρικής διασκόπησης για την θέση AGN1 (γραμμή μελέτης ERT1) με σφάλμα 16,2% και χρήση της μεθόδου διπόλου – διπόλου



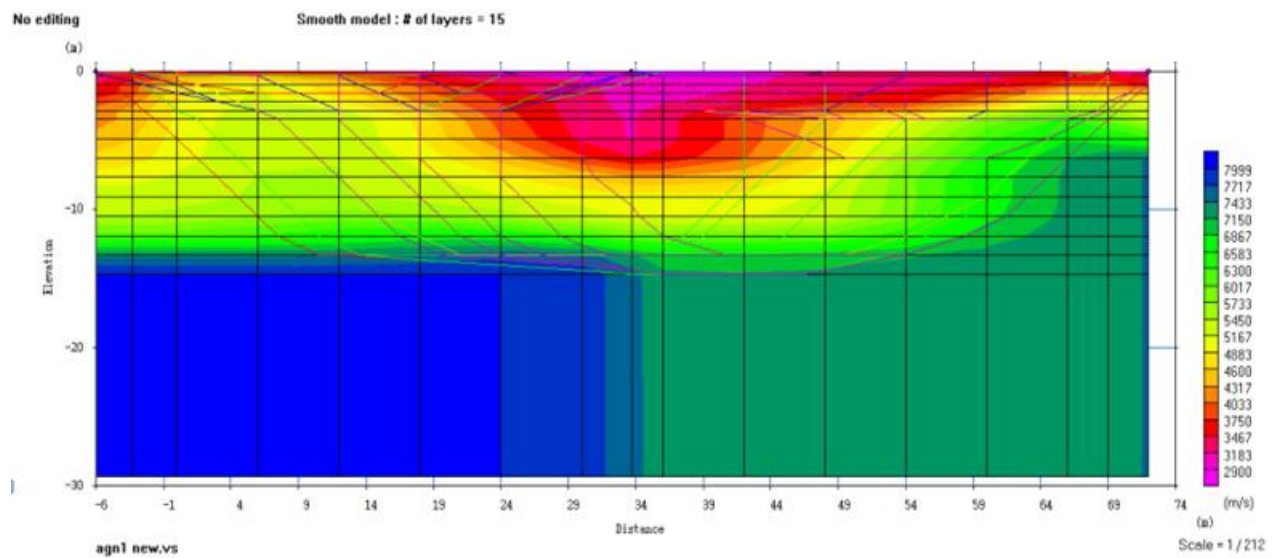
Παράρτημα 30: Τελικό μοντέλο ηλεκτρικής διασκόπησης για την θέση AGN1 (γραμμή μελέτης ERT2) με σφάλμα 11% και χρήση της μεθόδου διπόλου - διπόλου



Παράρτημα 31: Τελικό αρχείο πρώτων αφίξεων για την περιοχή AGN1



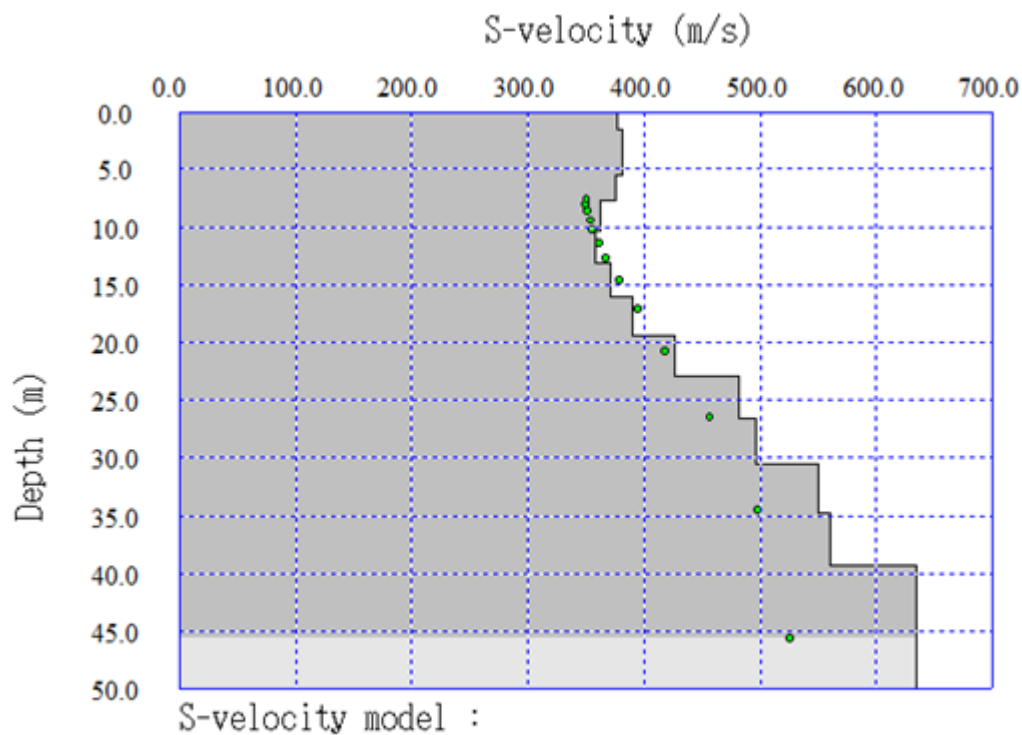
Παράρτημα 32: Δρομοχρονικό διάγραμμα πειραματικών και υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων για την περιοχή AGN1 με σφάλμα 1.5 %.



Παράρτημα 33: Απεικόνιση του τελικού μοντέλου βάθους για την περιοχή AGN1 με σφάλμα 1.53%.

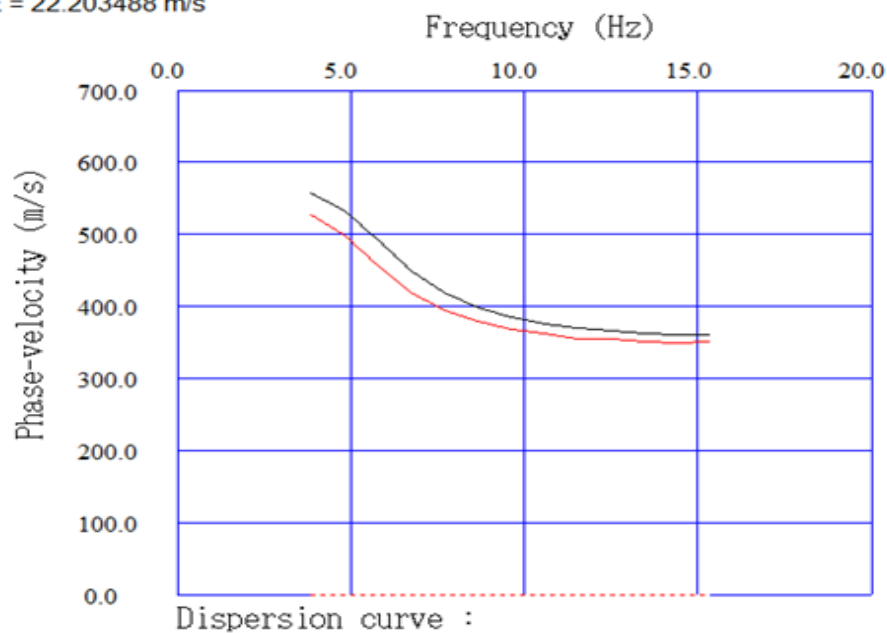
Depth (m)	Vs (m/s)
0,0	379
1,6	383,5
3,4	383,0
5,4	374,8
7,7	362,0
10,3	357,9
13,1	369,4
16,1	388,4
19,3	426,5
22,8	483,6
26,6	501,5
30,6	546,0
34,8	557,2
39,3	626,2
53,4	634,5

Παράρτημα 34: Τιμές του βάθους και της ταχύτητας εγκάρσιων κυμάτων για την περιοχή του Αγίου Νικολάου για την επεξεργασία των δεδομένων με την Re-Mi.



Παράρτημα 35: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος για την περιοχή AGN1 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την Re-Mi.

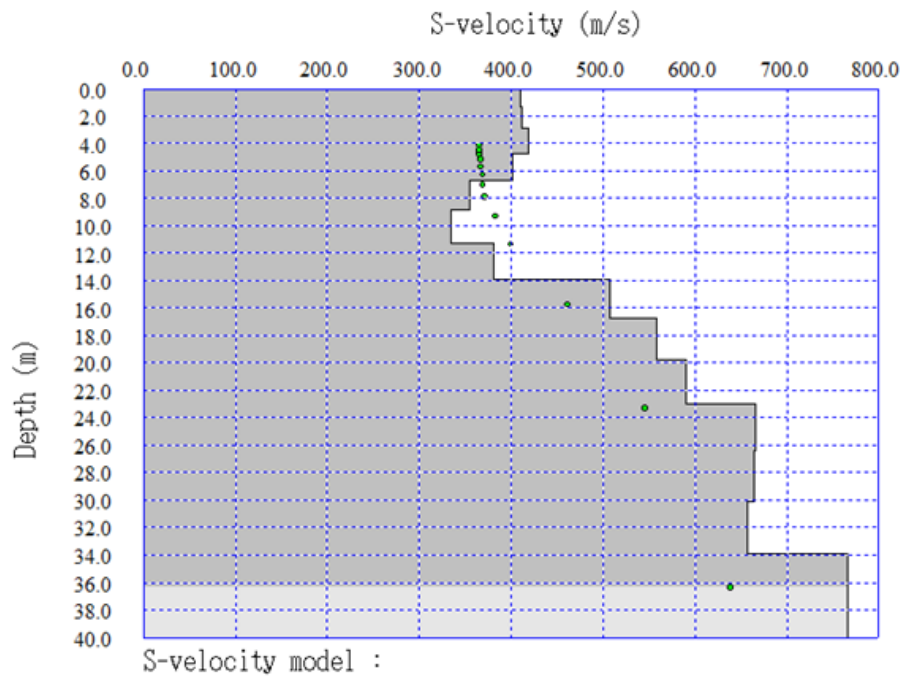
RMSE = 22.203488 m/s



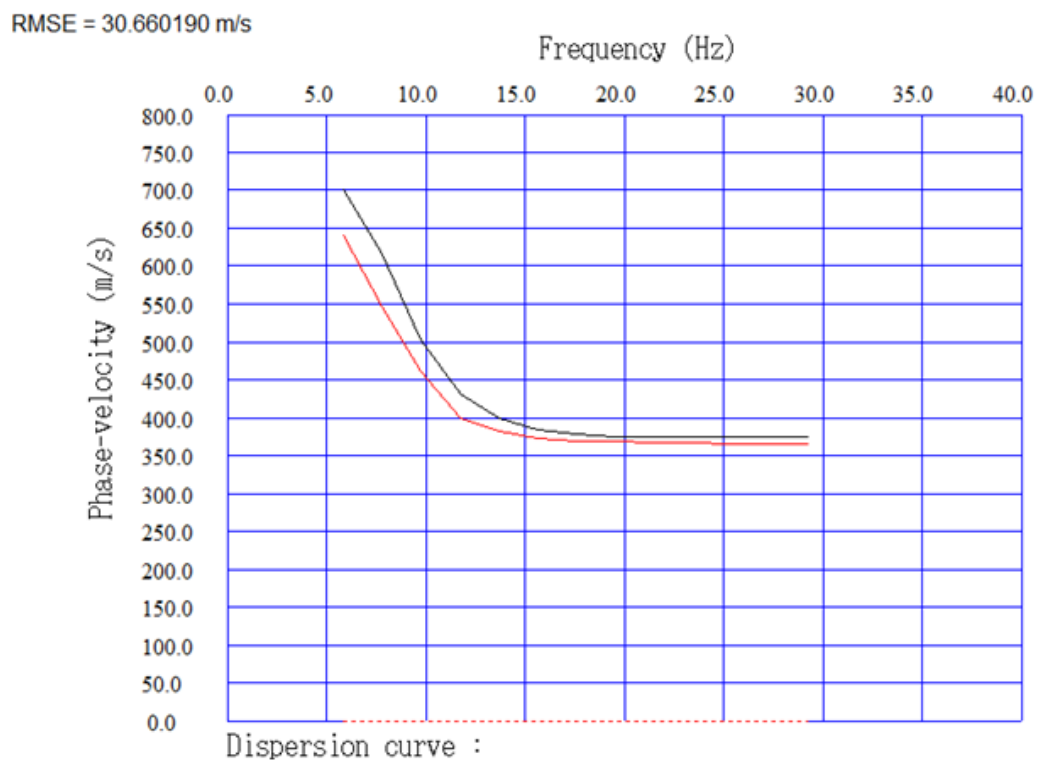
Παράρτημα 36: Απεικόνιση της θεωρητικής (κόκκινη) και της υπολογισμένης (μαύρη) καμπύλης διασποράς για την περιοχή AGN1 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την Re-Mi.

Depth (m)	Vs (m/s)
0,00	408,865
1,36	412
2,92	413,061
4,70	397
6,68	362,254
8,87	349
11,27	383,656
13,88	492,839
16,70	536,292
19,73	570,524
22,97	656,033
26,41	661,951
30,07	662,317
33,93	780,526
46,14	820,048

Παράρτημα 37: Τιμές του βάθους και της ταχύτητας εγκάρσιων κυμάτων για την περιοχή του Αγίου Νικολάου για την επεξεργασία των δεδομένων με την MASW.



Παράρτημα 38: Διάγραμμα ταχύτητας Vs με το βάθος για την περιοχή AGN1 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την MASW



Παράρτημα 39: Απεικόνιση της θεωρητικής (κόκκινη) και της υπολογισμένης (μαύρη) καμπύλης διασποράς για την περιοχή AGN1 μετά την επεξεργασία των δεδομένων από την MASW