



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Συμβολή των σεισμικών και ηλεκτρικών μεθόδων  
στον γεωτεχνικό χαρακτηρισμό των γεωλογικών  
σηματισμών έδρασης των επιταχυνσιογράφων του  
ΕΔΕ στο Νομό Ρεθύμνου»**



**ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

**ΒΑΦΕΙΔΗΣ Α.** (ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ - ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)  
**ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ Ε.** (ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)  
**ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ Ε.** (Επ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ )

ΧΑΝΙΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Συμβολή των σεισμικών και ηλεκτρονικών μεθόδων στον γεωτεχνικό χαρακτηρισμό των γεωλογικών σχηματισμών έδρασης με επιταχυνσιογράφους του Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων στον Νομό Ρεθύμνης » εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας καλείται να εξετάσει τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας στο τμήμα της περιοχής του Νομού Ρεθύμνου, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους της ηλεκτρικής τομογραφίας, σεισμικής τομογραφίας, πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων και τέλος της Refraction – Microtremor.

Η συνολική προσέγγιση και δομή της εργασίας αποτελεί την συνισταμένη πολλών εισροών που χωρίς την ουσιαστική συμβολή τους δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί στον βαθμό που αυτή ολοκληρώθηκε.

Για τους ανθρώπους που με βοήθησαν, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, κατά την εξέλιξη της εργασίας αυτής αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αυτές οι γραμμές δεν είναι αρκετές. Επομένως αισθάνομαι ιδιαίτερη ευθύνη και τιμή να ευχαριστήσω από καρδιάς:

- Τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κο Βαφείδη Αντώνη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση ενός τόσο εξειδικευμένου θέματος και για την ουσία της καθοδήγησης και της συνολικής συνδρομής του στην ολοκλήρωση της εργασίας
- Τον βοηθό Καθηγητή κο Κρητικάκη Γεώργιο για την αμέριστη υποστήριξη στο Εργαστηριακό μέρος και την καταλυτική του βοήθεια, την συνεχή παρακίνηση και την ενθάρρυνση με την οποία με ενέπνευσε να προσεγγίσω το θέμα της εργασίας.
- Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κ.κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου και Εμμανουήλ Στειακάκη, οι οποίοι με τις εξαιρετικές παρατηρήσεις τους, συνέβαλλαν στην ουσία του επιστημονικού αποτυπώματος της εργασίας μου.
- Τους παρακάτω συναδέλφους μου της Σχολής για την άοκνη καταλυτική τους βοήθεια και την συνθετική τους συνδρομή:
  - Μελανθία Λιαντράκη που μαζί προσεγγίσαμε το ίδιο θέμα εργασίας
  - Μιχάλη Παγιαλάκη για την γνώση και την συμβολή του στην επεξεργασία ECXEL.
  - Παναγιώτη Κανέλλο για την εξαιρετική βοήθεια στην επεξεργασία των εικόνων.
  - Θανάση Λαζαρόπουλο για την γνώση του και την σημαντική βοήθεια σχετικά με γεωλογικό κομμάτι της περιοχής.
  - Χάρη Παπαδόπουλο για την συμβολή στην επεξεργασία κειμένων και την συγγραφή.
  - Αντωνία Κουφάκη για την αμέριστη εμπύχωση, την ψυχολογική και συναισθηματική υποστήριξη, την συνεχή προσπάθεια και συμβολή στην τελειοποίηση της εργασίας.

*Τέλος αισθάνομαι ιερή υποχρέωση και τιμή να ευχαριστήσω τους γονείς μου Νίκο Γεωργιλά και Ρίτσα Καρούτσου για την ηθική στήριξη, την συνεχή έμπνευση στο σθένος να ολοκληρώσω τις σπουδές μου και την περηφάνια που μου προσθέτουν σ' όλη αυτήν την διαδρομή. Την Αλέκα που με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια στα Χανιά, όπως την Θοδώρα και τον Μιχάλη που συντρόφευαν με το χαμόγελο τους τις σκέψεις μου, τα ξαδέλφια μου για την αγάπη και την συνεχή τους υποστήριξη.*

*Η συμβολή όλων των ανωτέρω ήταν και είναι περισσότερο από ανεκτίμητη εφόσον αυτή η εργασία στην κορύφωση της οικονομικής και κοινωνικής κρίσης που μαστίζει την χώρα μας, αποτελεί ένα πρώτο ίχνος και ελάχιστη συμβολή στην κατεύθυνση αντιμετώπισης του προβλήματος με γνώση ζώσα και διαρκή.....*

## ABSTRACT

The present thesis concludes a geophysical research series conducted in Rethymno Prefecture within the framework of geotechnical – technical-geological field work for the selected investigation sites.

The goal of the thesis is the collection and evaluation of seismological data, in order to correlate with geophysical surveys data. The methods used are electrical tomography, seismic tomography, MASW, Refraction – Microtremor.

Initially, geophysics study's results using the electrical tomography method in terms of multi-channel analysis of surface waves and Refraction – Microtremor in Rethymno Prefecture are presented. Additionally, fundamental principles of seismic refraction method and seismic tomography method are equally described. In advance, the corresponding seismic και geoelectrical sections came of data processing and analysis by SeisImager and EarthImager software.

Finally, the evaluation of seismic και geoelectrical sections data processing is presented. The main conclusion of the thesis emerges by the analysis of combined sections. In those combined sections three discrete seismic layers are detected. The first one depicts Quaternary depositions (inlay, gravel and sparse cobbles), the second layer illustrates Neogene marls and the latter one comprises solid marls respectively.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνει τον κύκλο των γεωφυσικών ερευνών που πραγματοποιήθηκαν στο Νομό Ρεθύμνου στα πλαίσια των γεωτεχνικών – τεχνικογεωλογικών εργασιών υπαίθρου για όλες τις επιλεγμένες θέσεις έρευνας.

Στόχος της εργασίας είναι ο προσδιορισμός και η συλλογή σεισμολογικών δεδομένων με σκοπό την συσχέτιση τους με δεδομένα γεωφυσικών διασκοπήσεων. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι ηλεκτρική τομογραφία, σεισμική τομογραφία, MASW, Refraction – Microtremor.

Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής μελέτης στο τμήμα του Νομού Ρεθύμνου με την χρήση των μεθόδων της ηλεκτρικής τομογραφίας, πολυκάναλης ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων και Refraction – Microtremor. Επίσης περιγράφονται οι βασικές αρχές της μεθόδου της σεισμικής διάθλασης καθώς και η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας. Στην συνέχεια αφού πραγματοποιήθηκαν οι επεξεργασίες των δεδομένων με τα προγράμματα SeisImager και EarthImager προέκυψαν οι αντίστοιχες σεισμικές και γεωηλεκτρικές τομές.

Τέλος παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα επεξεργασίας των σεισμικών και γεωηλεκτρικών τομών. Το κυριότερο συμπέρασμα της εργασίας είναι ότι από την ερμηνεία των συνδυαστικών τομών απεικονίζονται τρία σεισμικά στρώματα, το πρώτο αντιστοιχεί σε Τεταρτογενείς αποθέσεις (ψηφίδες, χάλικες και αραιές κροκάλες), το δεύτερο σε μάργες του Νεογενούς και το τρίτο σε στιφρές μάργες.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή</b>	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Στόχοι	1
1.3 Φυσικό αντικείμενο	2
1.4 Ελαστικά φάσματα απόκρισης	3
1.4.1 Ορισμός των φασμάτων απόκρισης	3
1.4.2 Φυσική σημασία των φασμάτων απόκρισης	4
1.4.3 Ελαστικά φάσματα απόκρισης	5
1.4.4 Φασματικός συντελεστής επιβάρυνσης	9
1.5 Αντικείμενο, Στόχος και Πεδίο εφαρμογής	10
1.6 Σεισμικές διεργασίες	13
1.6.1 Διεύθυνση και στάθμη εφαρμογής	13
1.6.2 Καθορισμός διεργασιών σχεδιασμού	13
1.6.3 Φάσματα σχεδιασμού	14
1.6.4 Οριζόντιες συνιστώσες	14
1.6.5 Κατακόρυφη συνιστώσα	15
1.6.6 Κατάταξη εδαφών	15
1.6.7 Σεισμική επιτάχυνση εδάφους	17
1.6.8 Συντελεστής συμπεριφοράς $q$	17
1.6.9 Συντελεστής θεμελίωσης	18
1.7 Γεωλογία της περιοχής μελέτης	19
1.7.1 Η Γεωλογική δομή νήσου Κρήτης	19
1.7.2 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στην θέση του επιταχυνσιογράφου RTHE Ρεθύμνου	20
1.7.3 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στην θέση του επιταχυνσιογράφου RTH1 Ρεθύμνου	24
<b>Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο Γεωφυσικών Μεθόδων</b>	29
2.1 Ηλεκτρική τομογραφία	29

2.1.1 Βασικές αρχές της ηλεκτρικής τομογραφίας.....	29
2.1.2 Μέθοδος απόκτησης δεδομένων.....	30
2.1.3 Μεθοδολογία επεξεργασίας.....	32
2.2 Σεισμική διάθλαση.....	41
2.2.1 Βασικές αρχές της σεισμικής διάθλασης.....	41
2.2.2 Μέθοδος απόκτησης δεδομένων.....	43
2.2.3 Μέθοδος επεξεργασίας.....	44
2.3 Πολυκάναλη ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων (MASW).....	48
2.3.1 Βασικές αρχές.....	48
2.3.2 Μέθοδος απόκτησης δεδομένων.....	48
2.3.3 Μέθοδος επεξεργασίας.....	49
2.4 Μέθοδος μικροθούρου (Refraction- Microtremor/ Re- Mi).....	53
2.4.1 Βασικές αρχές.....	53
2.4.2 Μέθοδος απόκτησης δεδομένων.....	53
2.4.3 Μέθοδος επεξεργασίας.....	53
<b>Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα Γεωφυσικής και Γεωτρητικής Έρευνας.....</b>	<b>56</b>
3.1 Θέσεις μετρήσεων και γεωτρήσεων.....	56
3.2 Συλλογή γεωφυσικών δεδομένων.....	58
3.2.1 Θέση RTHE.....	58
3.2.2 Θέση RTH1.....	59
3.3 Γεωτρητικά δεδομένα.....	60
3.4 Αποτελέσματα επεξεργασίας γεωφυσικών δεδομένων.....	63
3.4.1 Αποτελέσματα ηλεκτρικής τομογραφίας.....	63
3.4.2 Αποτελέσματα σεισμικής διάθλασης.....	68
3.4.3 Αποτελέσματα MASW και Re- Mi.....	71
<b>Κεφάλαιο 4.....</b>	<b>74</b>
4.1 Συνδιαστική αναπαράσταση και ερμηνεία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων.....	74
4.2 Προσδιορισμός των δυναμικών μηχανικών ιδιοτήτων.....	84
4.3 Ταξινόμηση του εδάφους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8.....	87

<b>Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα - Προτάσεις</b> .....	90
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	92
<b>Παράρτημα Α</b> .....	95
<b>Παράρτημα Β</b> .....	104
<b>Παράρτημα Γ</b> .....	106
<b>Παράρτημα Δ</b> .....	116



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η γεωφυσική ως επιστήμη χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους χωρίς την απαραίτητη εκτέλεση γεωτρήσεων. Η εφαρμογή των γνωστών γεωφυσικών μεθόδων, η ανάπτυξη και η εξέλιξη νέων γεωφυσικών τεχνολογιών, οδήγησε στη δυνατότητα λήψης όλων των διαθέσιμων πληροφοριών που αφορούν το υπέδαφος, χωρίς την απαραίτητη διάτρηση αυτού λόγω του αυξημένου κόστους.

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις εκτελούνται στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε γεωτρήσεις, σε θέσεις μεταλλείων και εντός στοών όσο και εναέρια εξαρτώμενες πάντα της κλίμακας του προβλήματος που ζητείται να λυθεί. Για την επιτυχή εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων και την επίλυση του προβλήματος, απαιτείται η πλευρική και κατακόρυφη διαφοροποίηση των σχηματισμών ως προς τις φυσικές τους ιδιότητες.

Εντοπισμός μιας διαφοροποίησης στις φυσικές ιδιότητες κατά την διάρκεια των μετρήσεων, έχει ως αποτέλεσμα τον εντοπισμό διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών ή τεκτονικών ασυνεχειών. Οι επιφανειακές μέθοδοι γεωφυσικών διασκοπήσεων συνήθως οδηγούν στη γενικότερη γνώση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους.

Στη γεωτεχνική μηχανική εκτός από τις στατικές απαντώνται και δυναμικές φορτίσεις όπως μηχανικές ταλαντώσεις, σεισμικές φορτίσεις κ.α. Ιδιότητες που σχετίζονται με δυναμικές φορτίσεις είναι η διατμητική ταχύτητα εγκάρσιων κυμάτων ( $V_s$ ), το μέτρο διάτμησης ( $G$ ), ο παράγοντας απόσβεσης και ο λόγος Poisson ( $\nu$ ). Η παρούσα διπλωματική βαζίζεται στο ερευνητικό πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ το οποίο περιλαμβάνει την ενίσχυση της διεπιστημονικής και διδρυματικής έρευνας και καινοτομίας με δυνατότητα προσέγκυσης ερευνητικών υψηλού επιπέδου από το εξωτερικό μέσω της διενέργειας βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας. Στο πλαίσιο της δράσης, περιλαμβάνονται οι Γεωτεχνικές – Τεχνικογεωλογικές εργασίες υπαίθρου για τις θέσεις RTHE και RTH1 του Νομού Ρεθύμνου στις οποίες λήφθηκαν οι μετρήσεις μας. (ΘΑΛΗΣ, 2014)

## 1.2 ΣΤΟΧΟΙ

Στην συγκεκριμένη εργασία μελετώνται οι γεωφυσικές τεχνικές ως μέθοδοι διερεύνησης των γεωτεχνικών παραμέτρων του υπεδάφους. Οι γεωτεχνικές δοκιμές παρέχουν με ακρίβεια τις γεωτεχνικές παραμέτρους, με το βάθος όμως η διάτρηση γεωτρήσεων και η εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, ασαφής και χρονοβόρα διαδικασία. Οι γεωφυσικές μέθοδοι είναι αποτελεσματικές στη διερεύνηση του υπεδάφους, αλλά τα αποτελέσματα τους δεν μπορούν άμεσα να μεταφραστούν σε μεταβολή των γεωτεχνικών παραμέτρων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται γεωτεχνικά και τεχνικογεωλογικά στοιχεία, ενώ ταυτόχρονα αναλύονται τα αποτελέσματα γεωφυσικών διασκοπήσεων με σκοπό τη μελέτη του υπεδάφους σε δύο σταθμούς επιταχυνσιογράφων του Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων (Ε.Δ.Ε) στην Κρήτη και ειδικότερα στο Νομό Ρεθύμνου.

### 1.3 ΦΥΣΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Οι μέθοδοι που γενικά θεωρούνται ως οι πιο αξιόπιστες για την επίδραση του εδάφους, είναι: (i) Η προσέγγιση, που προτάθηκε αρχικά από τον Borchardt (1970), συγκρίνει το φασματικό περιεχόμενο των καταγραφών του σεισμού που λαμβάνονται στην περιοχή ενδιαφέροντος με μια αντίστοιχη που λαμβάνεται στον τόπο αναφοράς, χρησιμοποιώντας τη λεγόμενη μέθοδο φάσματος (SSR) και (ii) Η αριθμητική προσέγγιση παρέχει την πρόβλεψη σεισμικής κίνησης που βασίζεται σε ένα γεωφυσικό μοντέλο του τόπου.

Η οργανική προσέγγιση απαιτεί ένα μεγάλο αριθμό εκδηλώσεων εγγραφής στους δύο τόπους και αναφορά σταθμών με απόσταση μεταξύ των σταθμών αμελητέα σε σύγκριση με την επικεντρική. Η προσέγγιση αυτή δεν είναι κατάλληλη καθώς ο αριθμός των δεδομένων περιορίζεται, ειδικά για περιοχές με χαμηλή σεισμικότητα. Η αριθμητική προσέγγιση απαιτεί εκτεταμένες περιοχές έρευνας για να παρέχουν ένα λεπτομερές μοντέλο εδάφους ως συνάρτηση του βάθους, έτσι ώστε να περιοριστούν τα αριθμητικά αποτελέσματα μέσα σε περιοχές συχνότητας της μηχανικής σημασίας. Η διάρκεια και το κόστος των εν λόγω εκτεταμένων ερευνών εφαρμόζονται για την εντατική εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου. Ως εναλλακτική λύση για την αξιολόγηση τοποθεσίας είναι ο φυσικός χαρακτηρισμός ενός τόπου που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο για την επίδραση τοποθεσίας επειδή είναι ευκολότερο να επεκταθεί σε μια μεγάλη περιοχή και δεν χρειάζονται σεισμικές καταγραφές.

Η ευρωπαϊκή και η αμερικανική ρύθμιση σεισμικού κώδικα (Ευρωκώδικας 8, και Εθνικό Σεισμός Κίνδυνοι Μείωση του Προγράμματος, NEHRP) περιλαμβάνει την εκτίμηση των συνεπειών μέσα από μια απλή ταξινόμηση, με βάση το μέσος όρο της ταχύτητας των πρώτων 30 m,  $V_{s,30}$  και συνδέονται με φασματικά σχήματα. Ωστόσο, παρά τις  $V_{s,30}$  η ευρεία χρήση λειτουργεί ως υποκατάστατο για επιτόπιες συνθήκες και τις επιπτώσεις της μεθόδου, αποτελεί συχνά αντικείμενο επικρίσεων καθώς δεν φαίνεται πλήρως σχετικό με την κύρια φυσική ενίσχυση της μεθόδου (Castellaro et al 2008, Ασημάκη et al 2008). Πράγματι, το φάσμα απόκρισης είναι το πλάτος επιπέδου σε μία δεδομένη συχνότητα, καθώς η ταχύτητα  $V_{s,30}$  μόνη της δεν φέρει καμία πληροφορία συχνότητας. Ωστόσο, η απλότητα της ταχύτητας  $V_{s,30}$  φέρει σχετικά χαμηλό κόστος στην έρευνα.

Το φυσικό αντικείμενο της προτεινόμενης έρευνας περιλαμβάνει τις εξής φάσεις:

- Επιλογή περιοχών στις οποίες υπάρχουν εγκατεστημένοι σταθμοί του επιταχυνσιογράφων του ΕΔΕ και για τις οποίες διατίθεται μεγάλος αριθμός γεωτεχνικών δεδομένων.

Σε αυτή την φάση επιλέγονται θέσεις στις οποίες υπάρχουν εγκατεστημένοι σταθμοί επιταχυνσιογράφων του ΕΔΕ στην Κρήτη και για τις οποίες διατίθεται μεγάλος αριθμός γεωτεχνικών δεδομένων (Ρέθυμνο).

- Εκτέλεση συμπληρωματικών γεωτεχνικών και τεχνικογεωλογικών εργασιών. Χαρακτηρισμός των πυρήνων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

Σε αυτό το σημείο θα διανοιχτούν οι απαραίτητες γεωτεχνικές – δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, θα διεξαχθούν λεπτομερείς τεχνικογεωλογικές χαρτογραφήσεις, θα συγκεντρωθούν στοιχεία αναφορικά με την τεκτονική ή και τη νεοτεκτονική δραστηριότητα των ευρύτερων περιοχών.

- Εκτέλεση εκτεταμένου προγράμματος γεωφυσικής διασκόπησης.

Στη φάση αυτή περιλαμβάνονται ο σχεδιασμός, η συλλογή, η επεξεργασία και η συνδυασμένη ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων για κάθε περιοχή μελέτης. Η γεωφυσική διασκόπηση έγινε σε θέσεις που πληρούν τα εξής κριτήρια

- Συσχέτιση των φυσικομηχανικών παραμέτρων που προκύπτουν από τις εργαστηριακές αλλά και από τις επιτόπου δοκιμές γεωτεχνικής μηχανικής με τις παραμέτρους που υπολογίζονται μέσω της γεωφυσικής διασκόπησης.
- Ανάκτηση δεδομένων για την απόκριση των σχηματισμών που δομούν την περιοχή σε ενδεχόμενη δυναμική – σεισμική φόρτιση (πρόταση κανονικοποιημένων ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού).

Σε αυτήν την φάση εκτιμήθηκε θεωρητικά και πειραματικά η επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών σε θέσεις που είναι εγκατεστημένοι οι επιταχυνσιογράφοι του ΕΔΕ στην Κρήτη. Στις θέσεις αυτές προτάθηκαν τα αντιπροσωπευτικά μονοδιάστατα ή και δισδιάστατα εδαφικά προσομοιώματα και διερευνήθηκε η ενίσχυση της εδαφικής κίνησης στις θέσεις αυτές, με θέση αναφοράς το σκληρό πέτρωμα. (ΘΑΛΗΣ, 2014)

## **1.4 ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ**

### **1.4.1 Ορισμός των Φασμάτων Απόκρισης**

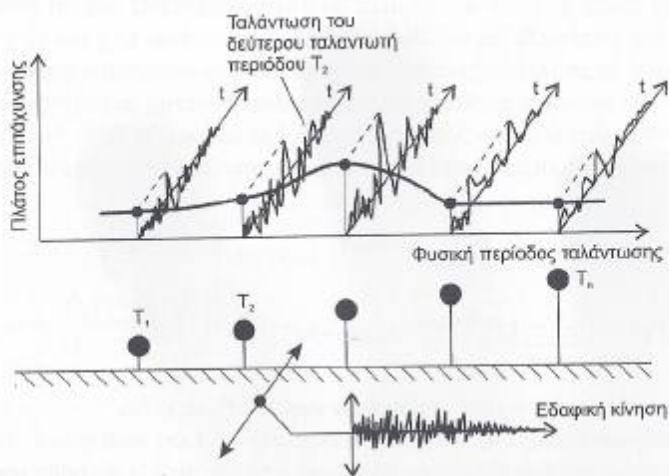
Το φάσμα απόκρισης ορίζεται ως η γραφική παράσταση των τιμών της μέγιστης απόκρισης(μετακίνηση, ταχύτητα, επιτάχυνση) ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή με απόσβεση ως συνάρτηση της φυσικής του συχνότητας (ή περιόδου) και του συντελεστή απόσβεσης, όταν διεγείρεται με μια συγκεκριμένη εδαφική σεισμική κίνηση. Τα χαρακτηριστικά της ισχυρής εδαφικής κίνησης συμμετέχουν έμμεσα στο φάσμα απόκρισης, διότι φιλτράρονται από την απόκριση του μονοβάθμιου ταλαντωτή.

Οι φασματικές τιμές επηρεάζονται από το πλάτος και το συχνοτικό περιεχόμενο της κίνησης εισαγωγής (διεγείρων κραδασμός), και σε μικρότερο βαθμό από την διάρκεια αυτής. Επιπλέον, η απόσβεση του μονοβάθμιου ταλαντωτή επιδρά στο πλάτος του φάσματος απόκρισης (Πανδή, 2005).

Τα φάσματα απόκρισης έχουν πολύ μεγάλη πρακτική εφαρμογή στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών, διότι περιγράφουν απλά και επαρκώς τη μέγιστη απόκριση μιας κατασκευής, όταν δεχθεί έναν σεισμικό κραδασμό διαμέσου του εδάφους. Το φάσμα απόκρισης δίνει τη μέγιστη απόκριση, (μετακίνηση, ταχύτητα, επιτάχυνση), ενός μονοβαθμιαίου ταλαντωτή με απόσβεση, σε μία συγκεκριμένη διέγερση στη βάση, ως συνάρτηση της ιδιοσυχνότητας (ή ιδιοπεριόδου) και του συντελεστή απόσβεσης του δεδομένου μονοβαθμιαίου ταλαντωτή. Η πρακτική σημασία είναι μεγάλη για δύο λόγους. Αρχικά, στην επιστήμη του μηχανικού όλοι οι έλεγχοι και υπολογισμοί γίνονται συνήθως για κάποιο “μέγιστο φοτίο”, που πρόκειται να φορτίσει την κατασκευή και προσδιορίζεται με κανονιστικό τρόπο. Επομένως και στην περίπτωση του σεισμού, εκείνο που κυρίως ενδιαφέρει τον μηχανικό είναι η εκτίμηση της αναμενόμενης μέγιστης ταλάντωσης (με μορφή μετακίνησης, ταχύτητας και επιτάχυνσης) που θα επιφέρει στην κατασκευή μια σεισμική εδαφική κίνηση στη στάση θεμελίωσης. Γνωρίζουμε

από την δυναμική των γραμμικών συστημάτων ότι η μέγιστη ταλάντωση ενός συστήματος εξαιτίας μιας περιοδικής κίνησης συμβαίνει για τη συχνότητα εκείνη που ταυτίζεται με την ιδιοσυχνότητα του συστήματος. Ένα φάσμα απόκρισης λοιπόν δίνει για μια δεδομένη εδαφική κίνηση την αντίστοιχη μέγιστη ταλάντωση μιας πλήρους σειράς μονοβάθμιων ταλαντωτών διαφορετικών ιδιοσυχνοτήτων. Καλύπτοντας όλο το πιθανό φάσμα συχνοτήτων, θα περιλαμβάνει οπωσδήποτε και την ιδιοσυχνότητα της κάθε κατασκευής, ανεξαρτήτως του εάν πρόκειται για σύστημα ενός ή πολλών βαθμών ελευθερίας. Επομένως εάν η κατασκευή σχεδιαστεί για την ταλάντωση που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο της, τότε για την συγκεκριμένη σεισμική εδαφική κίνηση θα σχεδιαστεί σωστά.

Κάποιο επιπλέον λόγοι που έκαναν τα φάσματα απόκρισης ιδιαίτερα δημοφιλή στους μηχανικούς, και μάλιστα από την πρώτη στιγμή που προτάθηκαν (Housner, 1959), είναι: α) η απλότητα των σχετικών υπολογισμών, β) η δυνατότητα ενσωμάτωσης στους υπολογισμούς πολύπλοκων φαινομένων, όπως είναι η επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών και γ) η ευκολία προσαρμογής τους στη φιλοσοφία των αντισεισμικών κανονισμών, η οποία είναι αντίθετη της περιπτώσιολογίας. Στο σχήμα παρουσιάζεται με σχηματικό τρόπο η αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται η κατασκευή ενός φάσματος απόκρισης μιας τυχαίας περιοδικής κίνησης, όπως είναι καθεμία συνιστώσα της εδαφικής κίνησης, που καταγράφεται σε μια θέση στη διάρκεια ενός σεισμού.



**Σχήμα 1.1:** Φάσμα απόκρισης – Η φασματική επιτάχυνση που αντιστοιχεί σε κάθε ιδιοπερίοδο είναι το μέγιστο πλάτος επιτάχυνσης της ταλάντωσης μονοβαθμιαίου ταλαντωτή της συγκεκριμένης ιδιοπεριόδου για συγκεκριμένη εδαφική κίνηση στη βάση του. Η γραμμή που ενώνει τις μέγιστες τιμές είναι το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης.

### 1.4.2 Φυσική σημασία των φασμάτων απόκρισης

Το φάσμα των απόλυτων μετακινήσεων  $S_d$  δίνει απ' ευθείας τη μέγιστη μετακίνηση και συνεπώς και τη μέγιστη ελαστική δύναμη για δεδομένη ιδιοσυχνότητα  $\omega$  και απόσβεση  $\xi$ .

$$F_{S_{\max}} = k S_d(\xi, \omega) \quad (1.1)$$

Επίσης ισχύει:

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} S_d(\xi, \omega) = |u_g(t)|_{\max} \quad (1.2)$$

δηλαδή σε μεγάλες περιόδους η φασματική μετακίνηση ισούται με τη μέγιστη εδαφική μετακίνηση,

όπου  $k$  η δυσκαμψία του συστήματος και  $S_d$  απόλυτη μετακίνηση. Το φάσμα απόλυτης επιτάχυνσης  $S_a$  (ή και ψευδοεπιτάχυνσης PSA) δίνει την μέγιστη δύναμη αδράνειας της κατασκευής, όπου για συνηθισμένες τιμές απόσβεσης ( $\xi \leq 5\%$ ) ισχύει:  $PSA = S_a$ , η μέγιστη δύναμη αδράνειας ορίζει ουσιαστικά και την ελαστική δύναμη που επιβάλλεται στο σύστημα:

$$S_a \approx PSA \approx \omega_n^2 PSV = \omega_n^2 S_d \quad (1.3)$$

$$F_{S\max} = k \cdot u_{\max} = k \cdot S_d = \omega^2 \cdot m \cdot S_d = m \cdot S_a \quad (1.4)$$

$$\text{για } T=0 \ (\omega \rightarrow \infty) \text{ ισχύει: } \lim_{\omega \rightarrow 0} PSA = |\ddot{u}_g(t)|_{\max} \quad (1.5)$$

δηλαδή όταν η ιδιοπερίοδος του συστήματος είναι σχεδόν μηδενική, η φασματική επιτάχυνση ισούται με την μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους. Ο λόγος  $PSA / \ddot{u}_{g,\max}$ , εκφράζει ανάλογα με την ιδιοπερίοδο της κατασκευής τον συντελεστή μεγέθυνσης ή μείωσης των επιταχύνσεων της κάθε κατασκευής, σε σχέση με τη μέγιστη τιμή της επιτάχυνσης του εδάφους που δονεί την κατασκευή αυτή. Προσδιορίζει τη μορφή του φάσματος και μπορεί να θεωρηθεί ότι ορίζει το περιεχόμενο σε συχνότητες της κάθε συνιστώσας της εδαφικής κίνησης. Η φασματική ταχύτητα  $S_v(\xi, \omega)$  ορίζει την συνολική ενέργεια (κινητική και δυναμική) που εισάγεται στην κατασκευή ανά μονάδα μάζας:  $E = \frac{1}{2} \cdot S_v^2$

(Πιτλάκης, 2010)

### 1.4.3 Ελαστικά φάσματα απόκρισης

Οι μορφές των ελαστικών φασμάτων απόκρισης υποδηλώνουν ότι οι μέγιστες φασματικές τιμές των επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετακινήσεων αναφέρονται σε διαφορετικές περιόδους (ή συχνότητες). Σε μεγάλες περιόδους (χαμηλές συχνότητες) η φασματική μετακίνηση έχει τη μεγαλύτερη τιμή της, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για της φασματικές επιταχύνσεις. Το εύρος των συχνοτήτων για το οποίο ισχύει το παραπάνω, εξαρτάται από τις γεωλογικές συνθήκες, το είδος του εδάφους και εν – μέρη από τα χαρακτηριστικά της σεισμικής πηγής. Είναι σαφές ότι τα φάσματα ελαστικής απόκρισης δεν περιγράφουν απευθείας την ισχυρή εδαφική κίνηση, αλλά περιγράφουν τη μέγιστη απόκριση διαφορετικών υποθετικών κατασκευών με βάση την ιδιοπερίοδο τους. Η περιγραφή λοιπόν αυτής καθ' εαυτής της ισχυρής εδαφικής κίνησης μέσω των φασμάτων απόκρισης είναι έμμεση.

Για τις οριζόντιες συνιστώσες της σεισμικής δράσης η ελαστική απόκριση, φάσμα  $S_e(T)$  ορίζεται από τις ακόλουθες εκφράσεις.

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad (1.6)$$

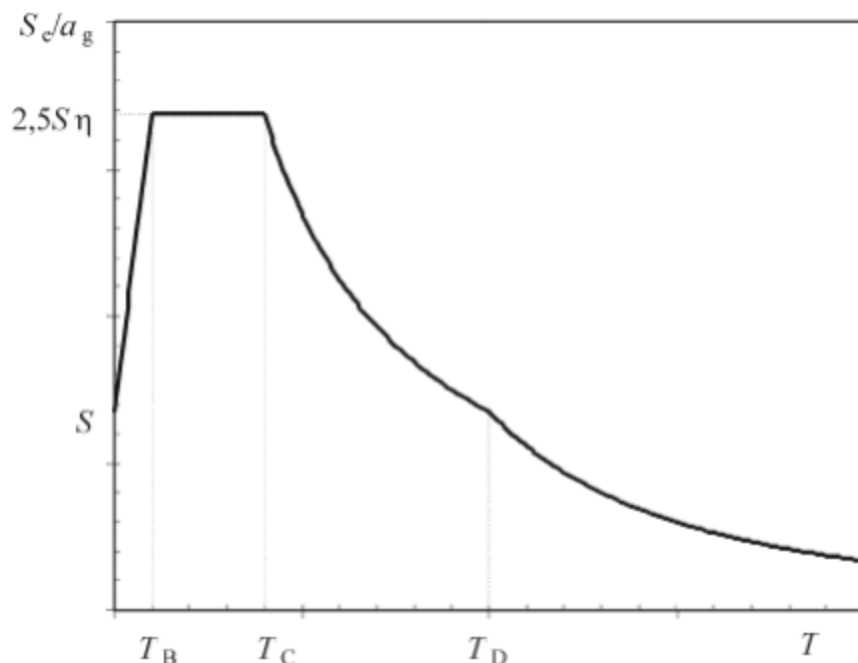
$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad (1.7)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad (1.8)$$

$$T_C \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad (1.9)$$

Στον Ευρωκώδικα 8 (EC8), οι επτά τύπους εδάφους (Α έως Ε και δύο ειδικούς τύπους S1 και S2) προβλέπονται, για να ληφθεί υπόψη η επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών στη σεισμική δράση. Οι τύποι ορίζονται είτε μέσω ποιοτικής περιγραφής του αντίστοιχου στρωματογραφικού προφίλ ή μέσω ποιοτικών παραμέτρων, δηλαδή  $V_{s,30}$  (μέση τιμή της ταχύτητας διάδοσης των S – κυμάτων, πάνω από 30 m από το προφίλ του εδάφους σε διάτμηση στελέχους του  $10^{-6}$  ή λιγότερο) εάν υπάρχει, αλλιώς μέσω της χρήσης των NSPT της γεώτρησης (Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης καταμέτρηση χτύπημα) ή στο cu (αστράγγιστης διατμητικής αντοχής του εδάφους). Για τους τύπους εδάφους S1 και S2 ειδικές μελέτες για τον καθορισμό της σεισμικής δράσης είναι υποχρεωτικές. Για τους άλλους τύπους εδάφους (Α έως Ε) δύο τύπων (τύπου 1 και τύπου 2) των ελαστικών φασμάτων απόκρισης είναι προβλεπόμενο (ανάλογα με το αν οι σεισμοί που συμβάλλουν περισσότερο στην σεισμική επικινδυνότητα που ορίζει για τη θέση, για το σκοπό κινδύνου έχουν μέγεθος επιφανειακού κύματος, και αν μεγαλύτερο ή όχι από 5,5 αντίστοιχα). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι Ευρωκώδικες επιτρέπουν ορισμένες ρήτρες και οι παραμέτροι τους πρέπει να καθορίζονται μέσω ενός Εθνικού Παραρτήματος ειδικά για κάθε κράτος χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ως εκ τούτου, για την Ελλάδα μόνο ένας τύπος φάσματος ισχύει (όπως ορίζονται στο αντίστοιχο Ελληνικό Εθνικό παράρτημα). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2, το τυπικό οριζόντιο ελαστικό σχήμα φάσματος απόκρισης αποτελείται από τέσσερις διαδοχικούς κλάδους των οποίων η σειρά ορίζεται από τις περιόδους,  $T_C$  και  $T_D$  ενός ενιαίου βαθμού του συστήματος ελευθερίας. Ο πρώτος κλάδος ξεκινά (σεισμική ζώνη εξαρτώμενη) στο έδαφος με τον σχεδιασμό της τιμής της επιτάχυνσης των  $a_g$  (στο  $T = 0$ ) και αυξάνεται με γραμμική αξία έως  $2,5 \cdot S \cdot \eta \cdot a_g$ , όπου  $S$  είναι μια παράμετρος του εδάφους της οποίας η αξία κατά μήκος με τις τιμές  $T_B$ ,  $T_C$  και  $T_D$  εξαρτάται από το είδος του εδάφους, και  $\eta$  είναι ο συντελεστής απόσβεσης με την τιμή αναφοράς  $\eta = 1$  για 5% ιξώδης απόσβεση. Ο δεύτερος κλάδος διατηρεί μια σταθερή τιμή μέχρι την περίοδο  $T_C$ . Το τρίτο σκέλος μειώνεται αντιστρόφως γραμμικά με την περίοδο μέχρι το ποσοστό της  $T_D$ . Τέλος, ο τελευταίος κλάδος συνεχίζει να μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της περιόδου έως  $T = 4$  δευτ. Η συνιστώμενη σε σχήματα του Ευρωκώδικα (EC8) του τύπου 1 ελαστικού φάσματος απόκρισης για τους τύπους εδάφους Α έως Ε μπορεί να φανεί στο Σχήμα 1.2. Το Ελληνικό Εθνικό παράρτημα υιοθετεί τις αξίες της  $T_B$  και της  $T_C$ , αλλά ορίζει μια τιμή  $T_D = 2,5$  sec για όλους τους τύπους εδάφους (αντί του EC8- συνιστώμενη τιμή του  $T_D = 2,0$  sec).

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί το κατακόρυφο ελαστικό φάσμα απόκρισης, καθώς και αντίστοιχα φάσματα σχεδιασμού για ελαστική ανάλυση των δομών που προβλέπονται στον Ευρωκώδικα (EC8).



**Σχήμα 1.2:** Ελαστικό φάσμα απόκρισης.

όπου:

$S_e(T)$ : Ελαστικό φάσμα απόκρισης

$T$ : Περίοδος δόνησης μονών βαθμών ελευθερίας

$a_g$ : Σχεδιασμός επιτάχυνσης του εδάφους με έδαφος τύπου Α

$T_B, T_C$ : Όρια της σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

$T_D$ : τιμή που καθορίζει της έναρξη την συνεχή αντίδραση μετατόπισης φάσματος

$S$ : Παράγοντας του εδάφους

$\eta$ : Συντελεστής διόρθωσης απόσβεσης με τιμή αναφοράς 1 για 5% ιξώδη απόσβεση

Οι τιμές  $T_B$ ,  $T_C$  και  $T_D$  και ο συντελεστής εδάφους  $S$  περιγράφουν στο σχήμα του ελαστικού φάσματος απόκρισης ότι εξαρτώνται από τον τύπο εδάφους.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα για να γίνει πιο κατανοητό το φάσμα απόκρισης έχοντας δύο διαφορετικά φάσματα τύπου 1 και τύπου 2.

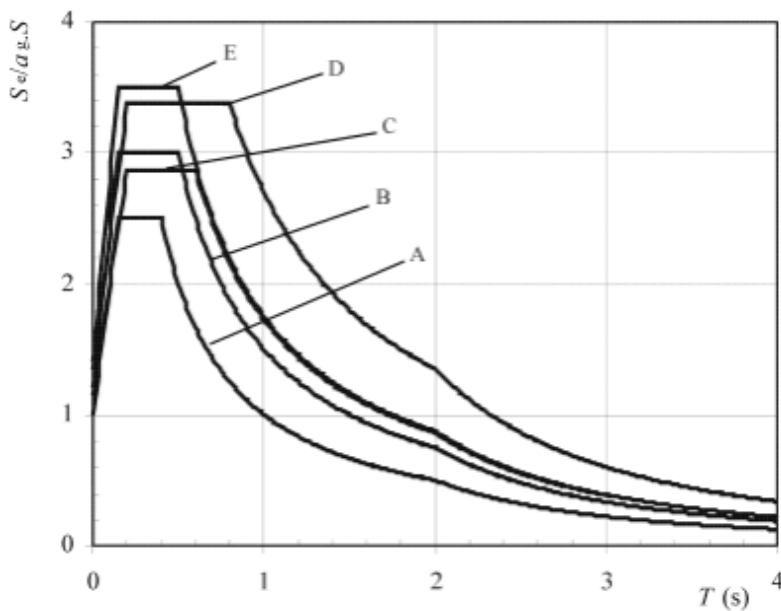
Οι τιμές που πρέπει να αποδοθεί στις  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ , και  $S$  για κάθε είδος εδάφους και το είδος του φάσματος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε μια χώρα μπορεί να βρεθεί και σε Εθνικό Παράρτημα. Αν η γεωλογία μεγάλου βάθους η συνισταμένη επιλογή είναι η χρήση δύο τύπων φασμάτων: τύπος 1, τύπος 2. Αν οι σεισμοί που συμβάλουν περισσότερο στην σεισμική επικινδυνότητα με σκοπό την πιθανή εκτίμηση κινδύνου, έχουν ένα μέγεθος κύματος και όχι μεγαλύτερο από 5,5 τότε το φάσμα τύπου 2 έχει εγκριθεί. Για τους παρακάτω συγκεκριμένους τύπους εδαφών Α, Β, C, D και Ε οι τιμές των παραμέτρων  $S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  δίνονται στον πίνακα 1.1 για τον τύπο 1 του φάσματος και στον πίνακα 1.2 για τον τύπο 2 του φάσματος. Τα σχήματα 1.2, 1.3 αναλύουν τον συνιστώμενο τύπο φασμάτων 1 και 2 για 5% απόσβεση και ομαλοποιημένη  $a_g$  αντίστοιχα. Διαφορετικά φάσματα μπορεί να ορίζονται στο Εθνικό Παράρτημα.

**Πίνακας 1.1:** Τιμές των παραμέτρων που περιγράφουν την ελαστικό φάσμα απόκρισης τύπος 1.

Ground type	$S$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

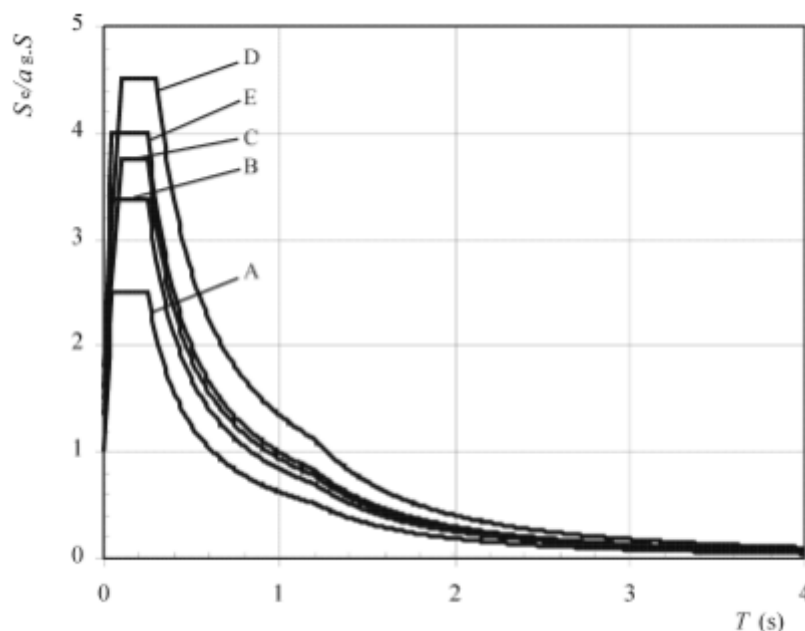
**Πίνακας 1.2:** Τιμές των παραμέτρων που περιγράφουν την ελαστικό φάσμα απόκρισης τύπος 2.

Ground type	$S$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2



**Σχήμα 1.3:** Ελαστικό φάσμα απόκρισης τύπου 1 για κατηγορίες εδαφών Α και Ε σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8. (Πιτιλάκης, 2010)





**Σχήμα 1.4:** Ελαστικό φάσμα απόκρισης τύπου 2 για κατηγορίες εδαφών Α και Ε σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8.(Πιτιλάκης, 2010)

Σημείωση: Για τους τύπος εδαφών  $S_1$  και  $S_2$  ειδικές μελέτες θα πρέπει να παρέχουν τις αντίστοιχες τιμές του  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ ,  $S$ .(Πιτιλάκης, 2010).

Τα ελαστικά φάσματα απόκρισης προϋποθέτουν ότι η κατασκευή χαρακτηρίζεται από γραμμική ελαστική σχέση δύναμης – μετακίνησης. Στην πραγματικότητα πολλές πραγματικές κατασκευές, με ισχυρές σεισμικές δονήσεις συμπεριφέρονται μη – γραμμικά. Για τον λόγο σκοπό αυτό τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί ανελαστικά φάσματα απόκρισης, τα οποία διαφέρουν από τα ελαστικά φάσματα, καθώς εισάγουν στην απόκριση την έννοια του δείκτη πλαστιμότητας ή συμπεριφοράς,  $\mu = u_{\max}/u_y$ , όπου  $u_{\max}$  είναι η μέγιστη ανεκτή μετακίνηση της κατασκευής, και  $u_y$  η μετακίνηση εκείνη, πέραν της οποίας η κατασκευή πάει να συμπεριφέρεται γραμμικά ελαστικά.

#### 1.4.4 Φασματικός συντελεστής επιβάρυνσης

Ως συντελεστής επιβάρυνσης (aggravation factor) ορίζεται ο λόγος των μέσων τιμών των δισδιάστατων προς τα αντίστοιχα μονοδιάστατα φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης (2D/1D) σε κάθε θέση της επιφάνειας μιάς ιζηματογενούς λεκάνης

Ο συντελεστής επιβάρυνσης αποτελεί μέτρο της πρόσθετης ενίσχυσης, πλέον του μονοδιάστατου συντονισμού, που προκαλούν φαινόμενα που σχετίζονται με την περίπλοκη γεωλογική δομή της ιζηματογενούς λεκάνης.

Βασικό του πλεονέκτημα είναι ότι στον υπολογισμό του υπεισέρχεται το ποσοτικό μέγεθος του φάσματος απόκρισης το οποίο αποτελεί βασικό και εύχρηστο εργαλείο κατά τον σχεδιασμό των αντισεισμικών κατασκευών, (Πανδή Καλλιόπη, 2005)

## **1.5 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ, ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**

Σημαντικό ρόλο στην αντοχή σεισμικών δονήσεων σε κτήρια, γέφυρες, τοίχοι αντιστηρίξεως κ.τ.λ. είναι η μελέτη και κατασκευή των έργων αυτών. Στόχος είναι να προστατεύονται οι άνθρωποι σε περιπτώσεις υψηλών εντάσεων σεισμικών δονήσεων, να αποφεύγονται οικονομικές απώλειες στην περίπτωση μέτριων εντάσεων και να διασφαλίζεται μια ελάχιστη στάθμη λειτουργίας των κατασκευών.

Για την εκτίμηση της σεισμικής δράσης σύμφωνα με τον (EC8) πρέπει κανείς να χαρακτηρίσει τις συνθήκες, και να εκτιμηθεί κατάλληλα η ενίσχυση του εδάφους και της αντίστοιχης μέγιστης εδαφικής κίνησης για την περιοχή. Για το λόγο αυτό, το φάσμα σχεδιασμού πρέπει να καθοριστεί μέσω του εδάφους τύπου / εδάφους-κατηγορία (S), η μέγιστη επιτάχυνση εδάφους (PGA) της περιόδου επιστροφής αναφοράς (TNCR), η αντίστοιχη σεισμική ζώνη και οι παράμετροι των αντισεισμικών απαιτήσεων που επιλέγεται από τον σχεδιαστή. Το είδος του εδάφους ορίζεται μέσω γεωφυσικών / γεωτεχνικών παραμέτρων.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι σεισμικές διατάξεις μπορούν να προβλέπουν μέσες τιμές σχεδιασμού που καλύπτουν τις ανάγκες σε εθνικό επίπεδο, συχνά είναι υπό συζήτηση το αν συγκεκριμένες περιφερειακές σεισμικές δράσεις θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν περισσότερο ρεαλιστικά παραδείγματα που σχετίζονται με την σεισμική επικινδυνότητα και τη μείωση των κινδύνων που συνδέονται με αυτή. Για παράδειγμα, η μεταβολή σεισμοτεκτονικού περιβάλλοντος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το φασματικό περιεχόμενο της κίνησης του εδάφους με αποτέλεσμα με τη σειρά του το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού να διαφέρει από τις αντίστοιχες τιμές σεισμικών διατάξεων. Μια τέτοια απόκλιση μπορεί να προέρχεται κυρίως από τα δεδομένα που καταγράφονται στη στατιστική σειρά και χρησιμοποιούνται για να προταχθεί μία σεισμική δράση διατάξης του κώδικα. Από την άλλη πλευρά, αυτός ο χαρακτηρισμός εξαρτάται από τις γεωτεχνικές / γεωφυσικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για να οδηγήσουν σε αποτελέσματα που μερικές φορές δύσκολα συνδέεται με την ταξινόμηση του τύπου του εδάφους που παρουσιάζεται στον σεισμικό κανονισμό.

Για τους παραπάνω λόγους, καθίσταται υποχρεωτική για τη διερεύνηση και τον έλεγχο του αντισεισμικού σχεδιασμού, κώδικας φασματικών τιμών πάνω από την περιοχή που εκτίθενται σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον σεισμοτεκτονικά βασιζόμενο είτε σε πραγματική περιφερειακή σεισμική καταγραφή ή / και σε νέα βελτιωμένα αποτελέσματα των γεωφυσικών / γεωτεχνικών προσεγγίσεων για το χαρακτηρισμό.

Σε αυτή τη μελέτη, χρησιμοποιούνται καταγεγραμμένα δεδομένα εδαφικής κίνησης από εκδηλώσεις βάθους που εξελίσσονται στην Κρήτη και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή του Ρεθύμνου σύμφωνα με τη διαδικασία που ορίζεται στο EC8, το αντίστοιχο ελαστικό φάσμα απόκρισης υπολογίζεται για επιλεγμένες τοποθεσίες. Αυτές οι τιμές συγκρίνονται με αυτές που ισχύουν για το αντίστοιχο φάσμα σχεδιασμού EC8 για την σεισμική ζώνη που περιλαμβάνει το νησί της Κρήτης. Ως τελικό αποτέλεσμα αυτής της εργασίας σκοπεύουμε να προτείνουμε περιφερειακά κανονικοποιημένα ελαστικά φάσματα για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών και το σχεδιασμό της αστικής ανάπτυξης, να συγκριθούν με τον (EC8) και τις διατάξεις του και να εντοπίσουν διαφορές που θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη για τη βελτίωση των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού.

Σύμφωνα με τον κανονισμό ΕΑΚ 2000 που περιέχει τις βασικές απαιτήσεις, τα κριτήρια σχεδιασμού, τις σεισμικές δράσεις και τους κανόνες συνδυασμού τους με άλλες δράσεις καθώς

και διατάξεις σχετικά με το έδαφος και τις αντιστηρίξεις που εφαρμόζονται σε κτίρια και άλλες κατασκευές σε σεισμικές περιοχές.

Συμπληρωματικές διατάξεις απαιτούνται για ορισμένες ειδικές κατηγορίες έργων όπως δεξαμενές, γέφυρες και ενίσχυση υφισταμένων κατασκευών καθώς επίσης και σε έργα που προβλέπεται μερική ή πλήρης αντισεισμική μόνωση.

Πιο συγκεκριμένα ο ΕΑΚ 2000 περιέχει:

- a. τις ελάχιστες σεισμικές δράσεις σχεδιασμού και τους αντίστοιχους συνδυασμούς δράσεων
- b. τις απαιτήσεις συμπεριφοράς και τα κριτήρια ελέγχου ασφαλείας
- c. τις μεθόδους υπολογισμού της εντάσεως και παραμορφώσεων κατασκευών
- d. τις ειδικότερες κατασκευαστικές διατάξεις των φορέων και των υλικών

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η χρήση μιας κατασκευής θεωρούνται ότι αντιμετωπίζουν επαρκώς το σεισμικό κίνδυνο, δηλαδή εξασφαλίζουν περιορισμένες και επιδιορθώσιμες βλάβες στα στοιχεία του φέροντα οργανισμού υπό το σεισμό σχεδιασμού.

Η πιθανότητα καταρρεύσεως της κατασκευής πρέπει να είναι επαρκώς μικρός και να συνδυάζεται με την αντοχή της κατασκευής μετά την λήξη του σεισμού.

Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση του κινδύνου σε ότι αφορά την ανθρώπινη ζωή και η εξασφάλιση λειτουργίας ορισμένων ζωτικών υπηρεσιών μετά από ισχυρό σεισμό. (ΕΑΚ, 2000)

Ο χαρακτηρισμός των εδαφών στον (EC8) σχετίζεται άμεσα με το φάσμα σχεδιασμού που προτείνεται για την θεώρηση της σεισμικής δύναμης που αναμένεται στατικά να δράσει σε μια κατασκευή. Στην τελευταία του έκδοση, το έδαφος κατηγοριοποιείται σε πέντε μεγάλες κατηγορίες, και δύο ειδικές υποκατηγορίες που αντιστοιχούν σε πολύ χαλαρά ή ρευστοποιήσιμα εδάφη αντίστοιχα. Το πλεονέκτημα της ταξινόμησης είναι ότι οι τρεις παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό των εδαφών (ταχύτητα διατμητικών κυμάτων, τιμές  $N_{SPT}$  και αστράγγιστη αντοχή) μπορούν να μετρηθούν σχετικά εύκολα. Η δυστημσία του εδάφους καθορίζεται από τις τιμές  $V_s$  μόνο των 30 πρώτων επιφανειακών μέτρων. Η μέση ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_{s,30}$  υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad (1.10)$$

όπου  $h_i$  είναι το πάχος και η ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων των  $N$  σχηματισμών των εδαφικών στρώσεων που συναντώνται στα πρώτα 30 μέτρα. Η τιμή  $V_{s,30}$  μπορεί να υπολογισθεί απευθείας από επί τόπου δοκιμές είτε εμμέσως από τις δοκιμές SPT και CPT μέσω σχετικών συσχετίσεων. Η παραπάνω προσέγγιση μπορεί να είναι μια απλοποίηση, η οποία μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα, ειδικά σε περιπτώσεις βαθιών εδαφικών σχηματισμών ή απότομης αλλαγής δυσκαμψίας μεταξύ του εδαφικού στρώματος στα – 30 m και το βραχώδες υπόβαθρο.

**Πίνακας 1.3:** Κατηγοριοποίηση εδαφών με βάση τον Ευρωκώδικα 8.

Κατηγορία εδάφους	Στρωματογραφική σύσταση	Παράμετροι		
		$V_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (κρούσεις/ 15 m)	$C_u$ (Kpa)
A	Βραχώδης ή σχεδόν βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός συμπεριλαμβανομένου το πολύ 5 m επιφανειακού εδαφικού υλικού.	>800	-	-
B	Μεγάλες αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικιών 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, χαλικιών 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 γεωυλικό ταχύτητας $V_{s,30}>800$ m/s.			
$S_1$	Αποθέσεις που αποτελούνται -ή περιέχουν ένα στρώμα τουλάχιστον 10 m πάχος- από μαλακή άργιλο/ίλυ με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ( $PI>40$ ) και υψηλή	<100	-	10-20

	περιεκτικότητα σε νερό.			
S <sub>2</sub>	Αποθέσεις από επιδεκτικά σε ρευστοποίηση εδάφη, από ευπαθείς αργίλους ή άλλο γεωυλικό που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A-E ή S <sub>1</sub>			

Για περιοχές με εδαφικές συνθήκες που αντιστοιχούν στις δύο ειδικές υποκατηγορίες S<sub>1</sub> και S<sub>2</sub>, πρέπει να εξετάζεται η πιθανότητα εδαφικής αστοχίας υπό τη σεισμική δράση. Επιτρέπεται να γίνει περαιτέρω υποδιαίρεση αυτής της ταξινόμησης, ώστε να επιτευχθεί καλύτερη συμμόρφωση με ειδικές εδαφικές συνθήκες. Η σεισμική δράση που ορίζεται για οποιαδήποτε υποκατηγορία δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από αυτή που αντιστοιχεί στην κύρια κατηγορία, όπως αυτές ορίζονται στον Πίνακα 1.3, εκτός αν κάτι τέτοιο υποστηρίζεται από ειδικές μελέτες κατηγοριοποίησης του υπεδάφους και της περιοχής, οι οποίες προβλέπονται στο Εθνικό παράρτημα της κάθε χώρας.

## 1.6 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΙΣ

### 1.6.1 Διεύθυνση και Στάθμη Εφαρμογής

Οι σεισμικές διεγέρσεις ορίζονται στην ελεύθερη επιφάνεια τους εδάφους. Η σεισμική κίνηση ενός τυχαίου σημείου στο χώρο γίνεται με την βοήθεια δύο οριζόντων και καθέτων μεταξύ τους συνιστωσών. Η κίνηση διαφόρων σημείων του εδάφους μπορεί να θεωρηθεί ότι προκύπτει από την σύνθεση:

α) Μιας κίνησης στερεού σώματος με τρεις συνιστώσες κατά την οποία όλα τα σημεία εκτελούν την ίδια κίνηση.

β) Διαφορικών κινήσεων με τρεις συνιστώσες οι οποίες είναι συνάρτηση της απόστασης των θεωρούμενων σημείων.(ΕΑΚ 2000)

### 1.6.2 Καθορισμός Διεγέρσεων σχεδιασμού

Οι τεταγμένες του φάσματος απόκρισης δίνουν την μέγιστη επιτάχυνση του μονοβάθμιου ταλαντωτή κατά την διάρκεια σεισμικής δόνησης συναρτήσει της ιδιοπεριόδου T και του ποσοστού κρίσιμης ιξώδους απόσβεσης ζ.

Το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης  $\varphi_e$  είναι το αποτέλεσμα στατιστικής επεξεργασίας φασμάτων πολλών σεισμικών δονήσεων και ομαλοποίησης της τελικής φασματικής γραμμής και δεν αντιστοιχεί σε καμία πραγματική δόνηση. Το φάσμα αυτό χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση ελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής και εφόσον η απόκριση υπολογίζεται με τη δυναμική φασματική μέθοδο.(ΕΑΚ, 2000)

Η δυναμική φασματική μέθοδος περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- α) Ιδιομορφική ανάλυση: υπολογίζονται οι ιδιομορφές ταλάντωσης του συστήματος και οι αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι και ιδιοσυχνότητες.
- β) Ιδιομορφική απόκριση: με την χρήση φάσματος σχεδιασμού υπολογίζεται για κάθε συνιστώσα του σεισμού η ακραία απόκριση που αντιστοιχεί σε κάθε ιδιομορφή ταλάντωσης.
- γ) Ιδιομορφική επαλληλία: υπολογίζεται για κάθε συνιστώσα του σεισμού η πιθανή ακραία τιμή τυχόντος μεγέθους απόκρισης.
- δ) Χωρική επαλληλία: υπολογίζεται η πιθανή ακραία τιμή τυχόντος μεγέθους απόκρισης για ταυτόχρονη δράση 3 συνιστωσών του σεισμού. (EAK, 2000)

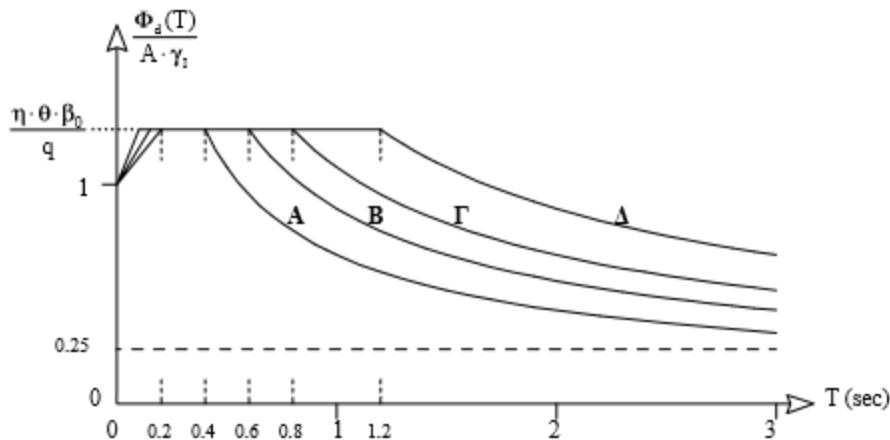
### 1.6.3 Φάσματα σχεδιασμού

Τα φάσματα σχεδιασμού περιλαμβάνουν 2 μέρη:

- α) Το σχήμα φάσματος
- β) Την ένταση των σεισμικών διεγέρσεων, η οποία εκτός από την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας, επηρεάζεται και από τις ελαστοπλαστικές και αποσβετικές ιδιότητες της κατασκευής. (EAK 2000)

### 1.6.4 Οριζόντιες συνιστώσες

Τα φάσματα σχεδιασμού των οριζόντων συνιστωσών του σεισμού καθορίζονται από τις εξής εξισώσεις:



Σχήμα 1.5: Φάσμα σχεδιασμού  $\frac{\Phi_d(T)}{A \cdot \gamma_1}$

Ο δείκτης q εκφράζει την ικανότητα ενός δομικού συστήματος να απορροφά και να διαχέει την σεισμική ενέργεια με πλαστική συμπεριφορά χωρίς να μειώνεται δραστικά η αντοχή του.

Παράγοντες που επηρεάζεται ο δείκτης συμπεριφοράς είναι η διαθέσιμη πλαστικότητα, η υπερστατικότητα, η υστερητική απόσβεση κ.α. Η τιμή του  $q$  ορίζεται για ολόκληρο το κτίριο.

Ο διορθωτικός συντελεστής  $\eta$  εκφράζει την αυξομείωση της επιρροής της ιξώδους απόσβεσης στην ελαστική περιοχή της συμπεριφοράς, όταν το ποσοστό της κρίσιμης απόσβεσης  $\zeta$  είναι διαφορετικό του 5%.

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

Τα κτίρια με μικτές χρήσεις έχουν συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma_1$  που εξαρτάται από τη δεσπόζουσα χρήση τους όπως αυτή θα ορίζεται από την ισχύοντα Κτιριοδομικό Κανονισμό ή άλλες ειδικές διατάξεις. (EAK 2000)

### **1.6.5 Κατακόρυφη Συνιστώσα**

Το φάσμα της κατακόρυφης συνιστώσας καθορίζεται από τις εξισώσεις:

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

β) Αντί του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  χρησιμοποιείται ο συντελεστής  $q_v=0,50$   $q_v > 1,00$

γ) η τιμή του συντελεστή θεμελίωσης  $\theta$  λαμβάνεται πάντα ίση με 1,00. (EAK 2000)

### **1.6.6 Κατάταξη εδαφών**

Από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας τα εδάφη κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες A, B, Γ, Δ, και Χ,

**Πίνακας 1.4:** Κατηγορίες εδάφους

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

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



Σχηματισμός πάχους μικρότερου των 5 m μπορεί να θεωρείται ότι ανήκει στην αμέσως προηγούμενη κατηγορία εδάφους με εξαίρεση την κατηγορία X, (ΕΑΚ 2000)

### 1.6.7 Σεισμική Επιτάχυνση Εδάφους

Για την εφαρμογή του παρόντος Κανονισμού (ΕΑΚ 2000) η Χώρα υποδιαιρείται σε τέσσερις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας I,II,III και IV όπου τα όρια καθορίζονται στον Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδος. Υπάρχει κατάλογος οικισμών του ελληνικού χώρου και η αντίστοιχη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας όπου σε κάθε Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας αντιστοιχεί μία τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους. Πιο συγκεκριμένα για τον Νομό Ρεθύμνου τον οποίο και μελετήσαμε η Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας είναι III και ο αύξων αριθμός 128, (ΕΑΚ 2000)

### 1.6.8 Συντελεστής Συμπεριφοράς q

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

Μέγιστες τιμές του q δίδονται στον πίνακα που ακολουθεί:

**Πίνακας 1.5:** Μέγιστες τιμές συντελεστή συμπεριφοράς q

ΥΛΙΚΟ	ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	q
1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα	3.50
	β. Σύστημα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι	3.00
	γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50 % της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους	2.00
2. ΧΑΛΥΒΑΣ	α. Πλαίσια	4.00
	β. Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα	4.00
	γ. Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα:	
	• διαγώνιοι σύνδεσμοι	3.00
	• σύνδεσμοι τύπου V ή L	1.50
	• σύνδεσμοι τύπου K (όπου επιτρέπεται)	1.00
3. ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	α. Με οριζόντια διαζώματα	1.50
	β. Με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα	2.00
	γ. Οπλισμένα (κατακόρυφα και οριζόντια)	2.50
4. ΞΥΛΟ	α. Πρόβολοι	1.00
	β. Δοκοί - Τόξα - Κολλητά πετάσματα	1.50
	γ. Πλαίσια με κοχλιώσεις	2.00
	Πετάσματα με ηλώσεις	3.00

Ανάλογα με το είδος του υλικού και τον τύπο του δομικού συστήματος. Οι τιμές αυτές ισχύουν υπό την βασική προϋπόθεση ότι για τον σεισμό σχεδιασμού έχουμε έναρξη διαρροής του συστήματος και με την περαιτέρω αύξηση της φόρτισης είναι δυνατός ο σχηματισμός αξιόπιστου μηχανισμού διαρροής με τη δημιουργία ικανού αριθμού πλαστικών αρθρώσεων (πλάστιμη συμπεριφορά).

Σε περίπτωση επιθυμητής συμπεριφοράς λαμβάνεται  $q=1$ , (ΕΑΚ 2000)

### 1.6.9 Συντελεστής Θεμελίωσης

Ο συντελεστής θεμελίωσης  $\theta$  εξαρτάται γενικά από το βάθος και την δυσκαμψία της θεμελίωσης.

Ανάλογα με τα εδάφη κατηγορίας (π.χ. Α ή Β) ο συντελεστής  $\theta$  λαμβάνει την τιμή 1,00. Σε άλλα εδάφη κατηγορίας (π.χ. Γ ή Δ) ο συντελεστής θεμελίωσης  $\theta$  επιτρέπεται να λαμβάνει τις τιμές που δίνονται στο παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 1.6:** Συντελεστές Θεμελίωσης  $\theta$

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

Όταν συντρέχει τουλάχιστον μία από τις προϋποθέσεις που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα και εφόσον η προκύπτουσα φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού δεν είναι μικρότερη από εκείνη που θα προέκυπτε για έδαφος κατηγορίας Β (Πίνακας 1.3: Κατηγορίες εδάφους), (ΕΑΚ, 2000).

## 1.7 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 1.7.1 Η Γεωλογική Δομή Νήσου Κρήτης

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

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

Η ενότητα Ταλέα Όρη - Πλακώδεις ασβεστόλιθοι περιλαμβάνει κυρίως τυπικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους με πυριτικές ενστρώσεις και κερατολιθικούς κονδύλους, αλλά επίσης και μαζώδεις ασβεστόλιθους, δολομίτες, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και φυλλιτικές - χαλαζιτικές παρεμβολές. Η σειρά αυτή έχει ηλικία μέχρι Ηώκαινο, είναι ημι - μεταμορφωμένη και ανήκει πιθανότατα στην Αδιατικοϊόνιο ζώνη. Αποτελεί το σχετικά αυτόχθονο υπόβαθρο της Κρήτης και αποκαλύπτεται σε πολλές περιοχές του νησιού υπο μορφή πολλαπλού τεκτονικού παραθύρου κάτω από τα αλληπάλληλα επωθημένα καλύμματα. Μεγάλες μάζες των ορεινών όγκων των Λευκών Ορέων και της Ίδης δομούνται από την σειρά των πλακωδών ασβεστολίθων (Μιχαλάκης Ι., 2007).

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

Επωθημένη πάνω στην ενότητα Ταλέα Όρη και στην σειρά Τρυπαλίου βρίσκεται μια φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά ηλικίας Περμίου-Τριαδικού, που αποτελείται από φυλλίτες, χαλαζίτες, μετα-κροκαλοπαγή, μετα - ψαμμίτες, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μετά - βασίτες, μετα-ανδεσίτες. Άλλοι θεωρούν την γεωτεκτονική της θέση ως απόβαθρο της Γαβρόβου - Τριπόλεως και άλλοι ανεξάρτητη μονάδα προερχόμενη με επώθηση από πιο εσωτερικά (Μιχαλάκης Ι., 2007).

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

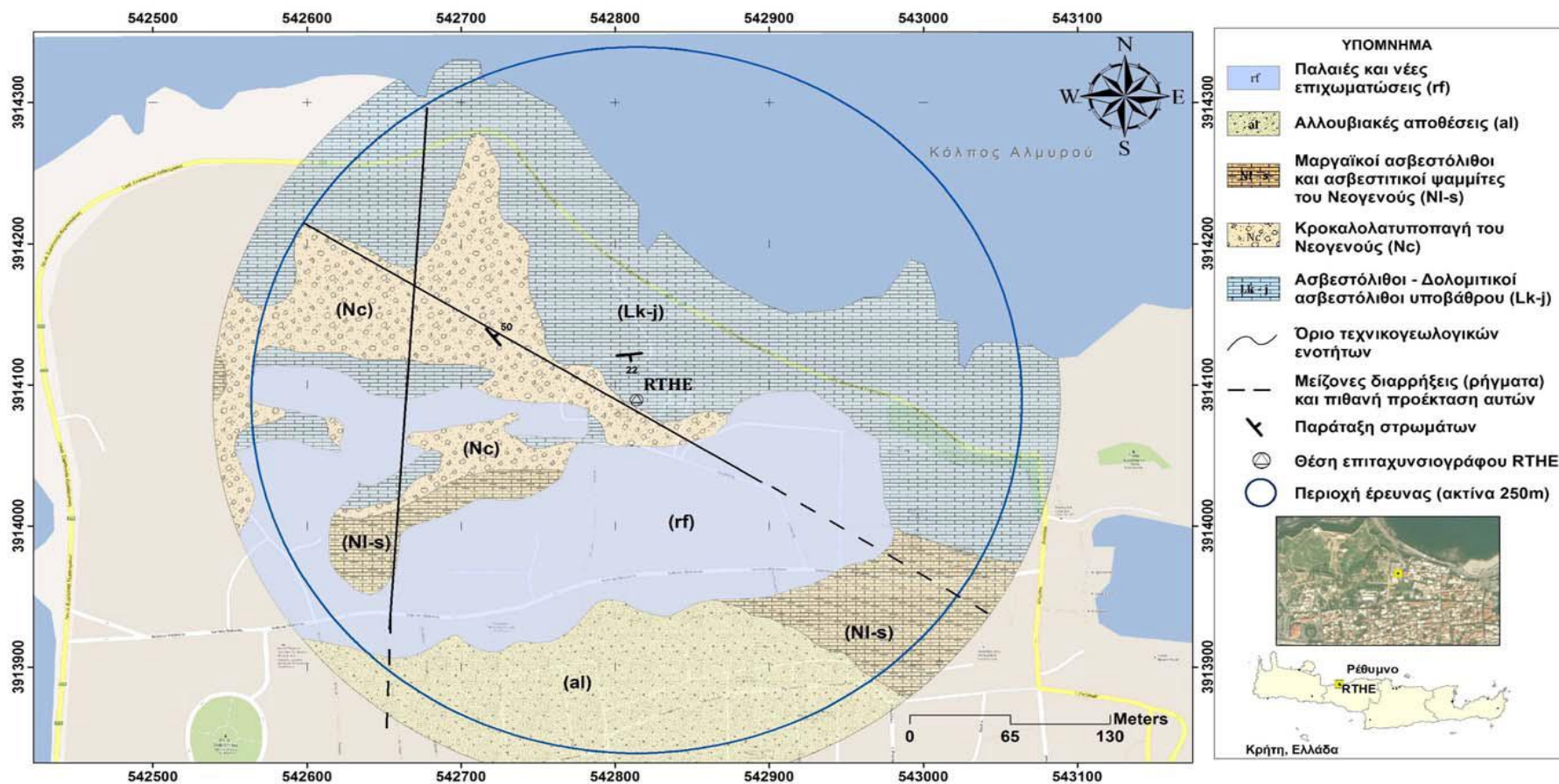
Εκτός από τα παραπάνω τεκτονικά καλύμματα των εξωτερικών Ελληνίδων στον χώρο της Κρήτης βρίσκονται σε ακόμη ανώτερη τεκτονική θέση και αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των εσωτερικών ζωνών. Τέτοια είναι η ενότητα Άρβης με οφιολιθικά πετρώματα καθώς και άλλες διάσπαρτες αφιολιθικές εμφανίσεις που θεωρούνται ότι έχουν επωθεί από τον χώρο της Υποπελαγονική, όπως επίσης και κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (γενέσιοι, σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες της ενότητας Αστερούσια) με προέλευση την Πελαγονική.

Τέλος, πάνω σε αυτούς τους αλπικούς σχηματισμούς επίκεινται σε στρωματογραφική ασυμφωνία ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς, τα οποία έχουν μεγάλο πάχος και εξάπλωση στις παραλιακές περιοχές της Κρήτης (Μιχαλάκης Ι., 2007).

### **1.7.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΟΥ RTHE ΡΕΘΥΜΝΟΥ**

Ο σταθμός RTHE είναι εγκατεστημένος εντός του κτιρίου του αρχαιολογικού μουσείου που βρίσκεται στο λόφο του Φρουρίου του Ρεθύμνου. Σύμφωνα με τα δεδομένα της επιφανειακής τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης, ο σταθμός RTHE εδράζεται επί τεφρού έως λευκότεφρου δολομιτικού ασβεστολίθου, ο οποίος γενικά εμφανίζει πολύ καλή γεωμηχανική συμπεριφορά. (Σχήματα 1.5 και 1.6) .Οι σχηματισμοί που εντοπίστηκαν κατά την επιφανειακή χαρτογράφηση στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού παρουσιάζονται (από τους νεότερους προς τους παλαιότερους) αναλυτικά ως εξής (ΘΑΛΗΣ, 2014):

**Παλαιές και νέες επιχωματώσεις (rf).** Εσωτερικά του Φρουρίου αποτελούνται κυρίως από αμμοιίλες έως ιλυώδεις άμμους, με μεγάλη συμμετοχή ασβεστολιθικών θραυσμάτων ποικίλου μεγέθους και θραυσμάτων κεράμων. Αποτελούν σχηματισμό αυξημένης συμπύκνωσης το πάχος του οποίου κυμαίνεται από 1 έως 9 m. Εξωτερικά του Φρουρίου δομούνται από μελανότεφρου χρώματος χαλαρά αργιλοϊλυώδη υλικά με άμμο, χάλικες και θραύσματα βραχωδών σχηματισμών, σε ανάμιξη με θραύσματα υλικών ανθρωπογενούς προέλευσης. Στους χώρους πέριξ του φρουρίου αποτελούν έδαφος καλλιεργείων, ενώ το πάχος τους δεν φαίνεται να ξεπερνά τα 2 - 3 m.



Σχήμα 1.6: Τεχνικογεωλογικός χάρτης στη θέση του επιταχυνσιογράφου RTHE Ρεθύμνου (ΘΑΛΗΣ, 2014).

**Αλλουβιακές αποθέσεις (al).** Πρόκειται για τεφροκάστανου χρώματος και ιλυοαμμώδους έως αργιλοαμμώδους σύστασης ποταμοχειμάρρεια εδαφικά υλικά, με αδρομερή στοιχεία (ψηφίδες, χάλικες και αραιές κροκάλες) ανθρακικής κυρίως προέλευσης. Τα υλικά αυτά εμφανίζουν κυμαινόμενα ποσοστά από θέση σε θέση και με ταχείες μεταβολές της λιθολογικής σύστασης, κατά την οριζόντια και κατακόρυφη ανάπτυξη, γεγονός που προσδίδει έντονη ετερογένεια και δικαιολογεί ανομοιόμορφη γεωμηχανική συμπεριφορά. Χαλαρός έως ημισυνεκτικός σχηματισμός, χαμηλής έως μέτριας πλαστικότητας και χαμηλής έως μέτριας υδροπερατότητας, που αναπτύσσει συνήθως φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα περιορισμένης δυναμικότητας. Το πάχος τους στην ευρύτερη περιοχή κυμαίνεται από 1 μέχρι 15 m.

**Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ασβεστιτικοί ψαμμίτες του Νεογενούς (Nl-s).** Πρόκειται για σχηματισμούς του Νεογενούς που μαζί με τους υποκείμενους κροκαλολατυποπαγείς ορίζοντες της επόμενης ενότητας επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του Φρουρίου του Ρεθύμνου. Πρόκειται για μεσοστρωματώδεις έως άστρωτους μαργαϊκούς κυανότεφρους έως ωχρούς ασβεστολίθους με φακοειδείς ενστρώσεις ασβεστιτικών ψαμμιτών. Εμφανίζονται κυρίως στα δυτικά και νότιο-δυτικά πρηνή του Φρουρίου και αποτελούν σκληρό βραχώδη σχηματισμό, με διάβρωση στους επιφανειακούς ορίζοντες (μικροκαρστικά) και ασθενή έως μέτριο κερματισμό. Η παραπάνω φυσική κατάσταση τους προσδίδει μέτρια έως σχετικά αυξημένη υδροπερατότητα και καλή γεωμηχανική συμπεριφορά. Το ορατό τους πάχος στο χώρο έρευνας δεν υπερβαίνει τα 5 - 6 m. Οι νεογενείς σχηματισμοί επηρεάζονται από ρήγματα που διαμορφώνουν απότομη μορφολογία, χωρίς να διακρίνονται όμως στο πεδίο καθαρές ρηξιγενείς επιφάνειες.

**Κροκαλολατυποπαγή του Νεογενούς (Nc).** Αποτελούνται από ορίζοντες τεφρόλευκου έως τεφρού χρώματος πολύμικτου κροκαλολατυποπαγούς που καλύπτουν τους ασβεστολίθους του υποβάθρου στο ανατολικό, κεντρικό και βόρειο τμήμα του Φρουρίου. Τα αδρομερή στοιχεία, που κυμαίνονται σε μέγεθος από μικρούς χάλικες ή λατύπες έως και μικρούς ογκολίθους, προέρχονται κυρίως από τους υποκείμενους μεσοζωϊκούς ασβεστολίθους, χωρίς να ελλείπουν και στοιχεία από νεώτερους (ασβεστομαργαϊκούς ή και ψαμμιτομαργαϊκούς σχηματισμούς). Η συνδετική ύλη είναι ασβεστοψαμμιτική έως ασβεστομαργαϊκή γεγονός που προσδίδει αυξημένη συνεκτικότητα στο σχηματισμό. Έτσι στο σύνολό τους χαρακτηρίζονται σαν σκληροί βραχώδεις σχηματισμοί, που μπορεί να διατηρούν τοπικά κατακόρυφα πρηνή κάποιων μέτρων χωρίς αστοχία, ενώ η γενική γεωμηχανική τους συμπεριφορά είναι καλή και η υδροπερατότητά τους χαμηλή. Το ορατό πάχος του σχηματισμού στο χώρο έρευνας κυμαίνεται από 1 έως 4 m.

**Ασβεστόλιθοι - Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι υποβάθρου (Lk-j).** Πρόκειται για τεφρούς έως λευκότεφρους δολομιτικούς συνήθως ασβεστολίθους κατά θέσεις μικροκρυσταλλικούς, συνήθως μέτρια έως τοπικά ισχυρά κερματισμένους από συστήματα ασυνεχειών και ασθενώς έως μέτρια αποσαθρωμένους. Σε θέσεις μειζόνων ασυνεχειών σημειώνεται η παρουσία ανακρυσταλλωμένου ασβεστιτικού υλικού σαν υλικό πλήρωσης. Σχηματισμός που αποτελεί το βραχώδες υπόβαθρο του Φρουρίου Ρεθύμνου και εμφανίζει πολύ καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, αλλά και αυξημένη δευτερογενή περατότητα, λόγω κερματισμού και αποκάρσωσης (εμφανής είναι η παρουσία μικροκαρστικών διαβρωσιγενών κοιλοτήτων). Οι ισχυρά κερματισμένοι ορίζοντες στα απότομα πρηνή του Φρουρίου, ιδιαίτερα εκεί που αυτά αποκτούν αυξημένο ύψος και υπάρχει ευνοϊκός προσανατολισμός των ασυνεχειών και της στρώσης, ευνοούν την εκδήλωση μικροκαταπτώσεων βράχων και σφηνοειδών αστοχιών μικρών σχετικά διαστάσεων. Το πάχος τους φθάνει τα 150 m, περίπου.

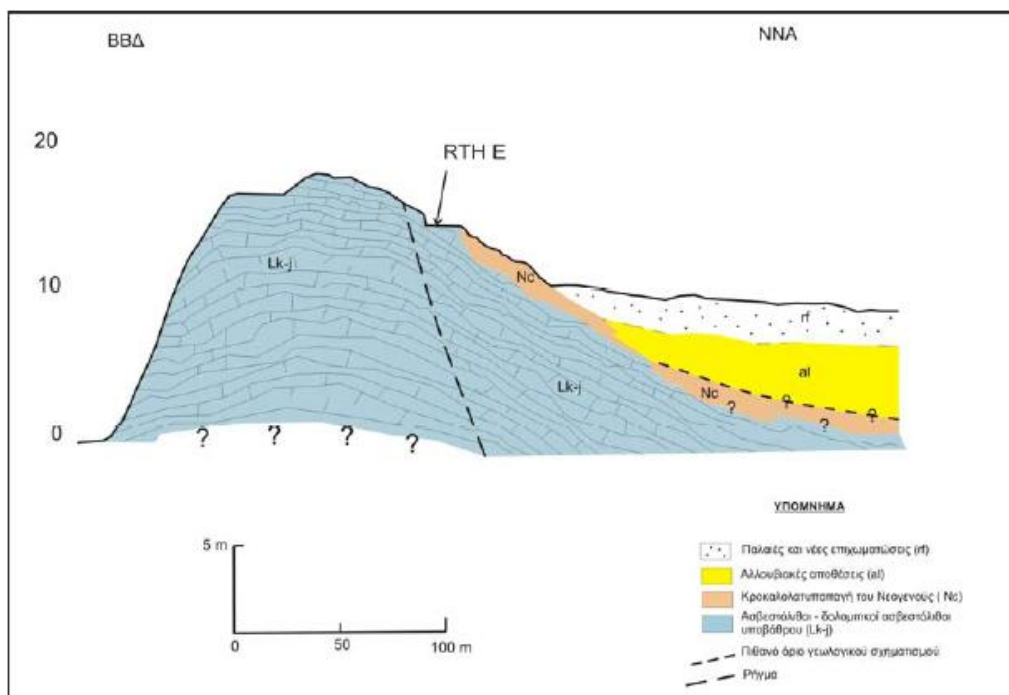


**Φωτογραφία 1:** Πρανές, επί του παραλιακού περιφερειακού δρόμου του Φρουρίου, στο οποίο διακρίνονται οι τεφροί ασβεστόλιθοι του υποβάθρου να καταλαμβάνουν το μισό κάτω τμήμα του πρανούς και οι ωχροί μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι του Νεογενούς στα ανώτερα τμήματά του (ΘΑΛΗΣ, 2014).



**Φωτογραφία 2:** Άποψη του κτιρίου του Μουσείου στην οποία διακρίνεται η θεμελίωσή του επί των ασβεστόλιθων του υποβάθρου.



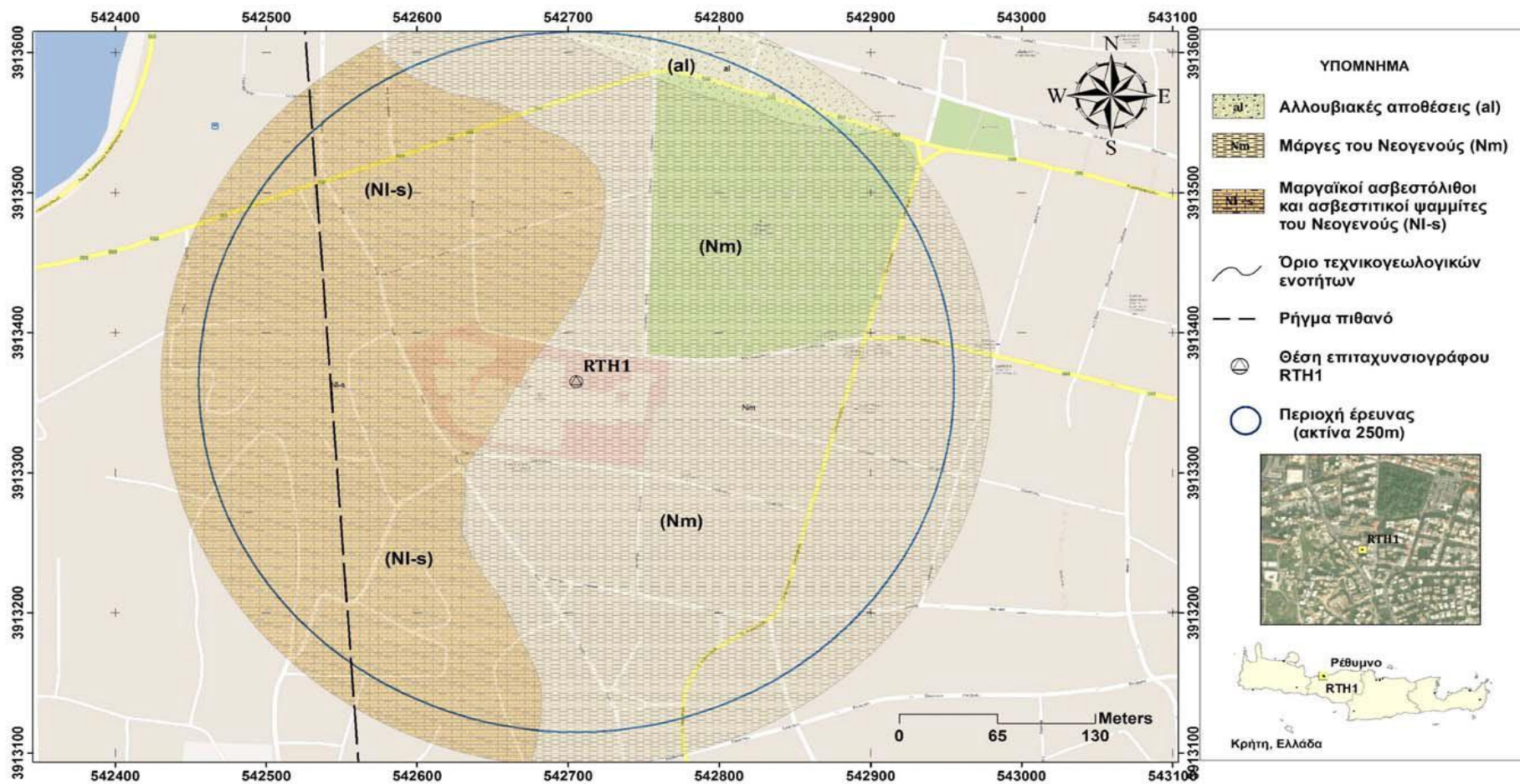


**Σχήμα 1.7:** Σκαριφηματική τομή στη θέση του επιταχυνσιογράφου RTH1 Ρεθύμνου

### 1.7.3 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΟΥ ΓΙΑ ΤΟ RTH1 ΡΕΘΥΜΝΟΥ

Ο σταθμός RTH1 είναι εγκατεστημένος στο κτίριο του Νοσοκομείου Ρεθύμνου. Σύμφωνα με τα δεδομένα της επιφανειακής τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης, το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από μεσοστρωματώδεις έως άστρωτους κυανότεφρους έως ωχρούς μαργαϊκούς ασβεστολίθους. Πάνω στους ανθρακικούς αυτούς σχηματισμούς εντοπίζονται μάργες του Νεογενούς οι οποίες καλύπτονται από αλλουβιακές αποθέσεις μικρού πάχους. (Σχήμα 1.7).





**Σχήμα 1.8:** Τεχνικογεωλογικός χάρτης στη θέση του επιταχυνσιογράφου RTH1 Ρεθύμνου.

Οι σχηματισμοί που εντοπίστηκαν κατά την επιφανειακή χαρτογράφηση στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού παρουσιάζονται (από τους νεότερους προς τους παλαιότερους) αναλυτικά ως εξής:

**Αλλουβιακές αποθέσεις (al).** Πρόκειται για τεφροκάστανου χρώματος και ιλυσωμώδους έως αργίλοαμμόδους σύστασης ποταμοχειμάρρεια εδαφικά υλικά, με αδρομερή στοιχεία (ψηφίδες, χάλικες και αραιές κροκάλες) ανθρακικής κυρίως προέλευσης. Τα υλικά αυτά εμφανίζουν κυμαινόμενα ποσοστά από θέση σε θέση και με ταχείες μεταβολές της λιθολογικής σύστασης, κατά την οριζόντια και κατακόρυφη ανάπτυξη, γεγονός που προσδίδει έντονη ετερογένεια και δικαιολογεί ανομοιόμορφη γεωμηχανική συμπεριφορά. Χαλαρός έως ημισυνεκτικός σχηματισμός, χαμηλής έως μέτριας πλαστικότητας και χαμηλής έως μέτριας υδροπερατότητας, που αναπτύσσει συνήθως φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα περιορισμένης δυναμικότητας. Το πάχος τους στην ευρύτερη περιοχή κυμαίνεται από 1 μέχρι 15 m.

**Μάργες του Νεογενούς (Nm).** Αποτελούνται από τεφρόλευκου έως τεφρού χρώματος στιφρές μάργες έως αργίλικές μάργες, με παρεμβολές διαστρώσεων άμμου ποικίλης διαγένεσης, καθώς και διάσπαρτους χάλικες και κροκάλες ασβεστολιθικής προέλευσης. Χαρακτηρίζονται στο σύνολό σαν συνεκτικοί σχηματισμοί, που εκσκάπτονται εύκολα, ενώ η γενική γεωμηχανική τους συμπεριφορά είναι καλή και η υδροπερατότητά τους χαμηλή. Διαβρώνονται εύκολα και επιφανειακά αναπτύσσουν μανδύα αποσάθρωσης μερικών μέτρων. Στις περιπτώσεις αυτές και κάτω από τη δράση αυξημένων βροχοπτώσεων ή και ανθρωπογενών παρεμβάσεων μπορεί να εμφανίσουν αστοχίες φυσικών ή και τεχνητών πρανών σε κατοικημένες περιοχές. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού φθάνει τις αρκετές δεκάδες μέτρα.

**Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ασβεστιτικοί ψαμμίτες του Νεογενούς (NI-s).** Πρόκειται για μεσοστρωματώδεις έως άστρωτους κυανότεφρους έως ωχρούς μαργαϊκούς ασβεστολίθους με φακοειδείς ενστρώσεις ασβεστιτικών ψαμμιτών. Εμφανίζονται στα δυτικά της στενής περιοχής μελέτης καταλαμβάνοντας τις κλιτύες λοφώδους εξέαρσης (Φωτογραφία). Αποτελούν σκληρό βραχώδη σχηματισμό, με διάβρωση στους επιφανειακούς ορίζοντες (μικροκαρστικά) και ασθενή έως μέτριο κερματισμό. Η παραπάνω φυσική κατάσταση τους προσδίδει μέτρια έως σχετικά αυξημένη υδροπερατότητα και καλή γεωμηχανική συμπεριφορά. Το ορατό τους πάχος στο χώρο έρευνας υπερβαίνει τα 30 m.



κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε τα φασματικά σχήματα στον (EC8) να βελτιώσουν τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού.

Σε αυτή την πτυχή γεωλογικές, γεωτεχνικές και γεωφυσικές έρευνες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται από κοινού για να παρέχουν ακρίβεια, ή ακόμη και με την αντίστοιχη αβεβαιότητα της, τον τύπο του εδάφους. Η παρούσα εργασία θα επικεντρωθεί στο σχήμα, παρά τις απόλυτες τιμές του (EC8), καθορισμένης μορφής φασμάτων, και τα συμπεράσματα που προέκυψαν στην παρούσα θέση θα πρέπει να εξεταστούν στο πλαίσιο αυτό. Πιο συγκεκριμένα ποσοτικές συγκρίσεις με τους (EC8) και τα ελαστικά φασματικά σχήματα προβλέπονται για τις περιοχές ενώ η εξέταση θα είναι δυνατή όταν εγγραφές από εκδηλώσεις ισχυρών σεισμών θα είναι διαθέσιμες. Επιπλέον, πριν από κάθε ισχυρό συμπέρασμα που διεξάγεται, περισσότερες θέσεις του Ελληνικού Δικτύου επιτάχυνσης πρέπει να διερευνηθούν και να γεω-χαρακτηριστούν προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός της συγκριτικής αξιολόγησης μεταξύ του σεισμικού κώδικα των σεισμικών δράσεων και τα παρατηρούμενα φάσματα επιτάχυνσης. Μετά από αυτή την περιφερειακή προσέγγιση οι προϋποθέσεις για την περιοχή της Κρήτης μπορεί να ισχύουν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Στο εν λόγω κεφάλαιο θα αναφερθούν οι βασικές αρχές, οι μέθοδοι απόκτησης δεδομένων, καθώς και η επεξεργασία των μεθόδων της Ηλεκτρικής Τομογραφίας, Σεισμικής Διάθλασης, Πολυκάναλης Ανάλυσης των Επιφανειακών Κυμάτων (MASW) και Μικροθορύβου (Reflection Microtremor - Re- Mi).

### 2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

#### 2.1.1 Βασικές αρχές της Ηλεκτρικής Τομογραφίας

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι έχουν σαν στόχο τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Οι μεταβολές του ηλεκτρικού δυναμικού οφείλονται στις μεταβολές της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης των πετρωμάτων.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $\rho$ , αποτελεί ιδιότητα των υλικών και υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (2.1)$$

όπου  $L$  αγωγός μήκους, διατομής  $A$  και αντίστασης  $R$ .

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων SI, είναι το Ohm m. Οι χαρακτηριστικές τιμές των ειδικών αντιστάσεων, οι οποίες προέκυψαν από γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις αναφοράς, από μετρήσεις της ειδικής αντίστασης σε θέσεις όπου τα πετρώματα εμφανίζονται στην επιφάνεια και από προηγούμενες μελέτες (Κουφόπουλος, 2012, Βαφείδης και συνεργάτες, 1991, Βαφείδης και Αμολοχίτης 1992), συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1.

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Στην ηλεκτρική τομογραφία, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στην μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, εντοπίζοντας έτσι ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως ρήγματα ή έγκοιλα (Κουφόπουλος, 2012).

**Πίνακας 2.1:** Τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων (Βαφείδης και συνεργάτες, 1991, Βαφείδης και Αμολοχίτης 1992).

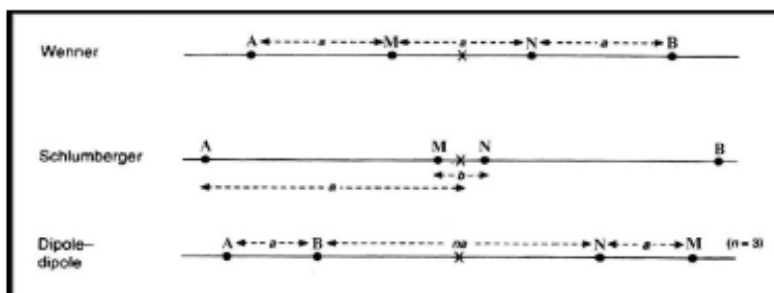
ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm.m)
<b>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ</b>	80-250
<b>ΝΕΟΓΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ</b>	
Άργιλοι	2-20
Μάργες	20-60
Άμμοι και χαλίκια κορεσμένα	50-500
Εβαπορίτες (Γύψοι)	200
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	150-500
Κροκαλοπαγή βάσεως	200-300
Ψαμμίτες	50-70
<b>ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ</b>	
Φλύσχης	70-80
Σχιστόλιθοι – Οφιόλιθοι	100-300
Ασβεστόλιθοι	>500

### 2.1.2 Μέθοδος Απόκτησης Δεδομένων

Μια σειρά από μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης πραγματοποιείται μετακινώντας τη διάταξη των ηλεκτροδίων σώματος ή δυναμικού από θέση σε θέση κατά μήκος μιας γραμμής μελέτης.

Μια κεντρική μονάδα υπολογιστή επιλέγει αυτόματα τα ενεργά ηλεκτρόδια (ρεύματος και δυναμικού) που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε μέτρηση, αναλόγως της διατάξης που έχει επιλεχθεί από τον χρήστη πριν από την έναρξη των μετρήσεων. Τα δεδομένα της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης από αυτές τις διασκοπήσεις διατάσσονται σε μια ψευδοτομή που απεικονίζεται η κατανομή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος.

Οι κυριότεροι παράγοντες κατά την επιλογή της διάταξης ηλεκτροδίων στην ηλεκτρική διασκόπηση είναι το μέγιστο βάθος διασκόπησης και η διακριτική ικανότητα τους. Οι διατάξεις στις οποίες χρησιμοποιούνται δίπολα (διπόλου – διπόλου, πόλου – διπόλου) έχουν μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης για συγκεκριμένο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Οι διατάξεις Wenner και Schlumberger έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα στο ίδιο βάθος σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις (Σχήμα 2.1)



**Σχήμα 2.1:** Διατάξεις Ηλεκτρικής Τομογραφίας (Βαφείδης και συνεργάτες, 1991, Βαφείδης και Αμολοχίτης 1992).

## ΔΙΑΤΑΞΗ GRADIENT

Διάταξης (gradient) για πολυκάναλη δισδιάστατη απεικόνιση ανθεκτικότητας. Δισδιάστατη απεικόνιση ανθεκτικότητας χρησιμοποιώντας πολλαπλή κλίση εδάφους, Wenner και διπόλου – διπόλου διατάξεις ηλεκτροδίων διεξήχθη σε δυο πεδία στην Σουηδία και ένα στην Νικαράγουα, με σκοπό την επιβεβαίωση της πρακτικής εφαρμογής των αποτελεσμάτων που αποκτήθηκαν με (αριθμητική μοντελοποίηση) αριθμητικό μοντέλο. Τα αποτελέσματα υποστηρίζουν προγενέστερες μελέτες αριθμητικών μοντέλων που κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η διάταξη κλίσης εδάφους, χρησιμοποιώντας πολλαπλούς συνδυασμούς ηλεκτροδίων ρεύματος, έχει τόσο καλή ανάλυση ή καλύτερη από τη συνήθως χρησιμοποιούμενη διάταξη Wenner.

Η διάταξη λειτούργησε (αντέδρασε) καλά όσον αφορά την ευαισθησία στο θόρυβο στα πεδία έρευνας, και τα αποτελέσματα που αποκτήθηκαν γενικά συμφωνούν με τα αποτελέσματα της διάταξης διπόλου – διπόλου, αν και η δεύτερη σε δύο από τα πεδία έδωσε ανθεκτικότητες που διέφεραν σημαντικά από τις άλλες διατάξεις στα βαθύτερα μέρη των αντίστοιχων μοντέλων.

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

$$m = \frac{\frac{x_M + x_N}{2} - \frac{x_A + x_B}{2}}{x_N - x_M} = \frac{x_{MN} - x_{AB}}{a} \quad (2.2)$$

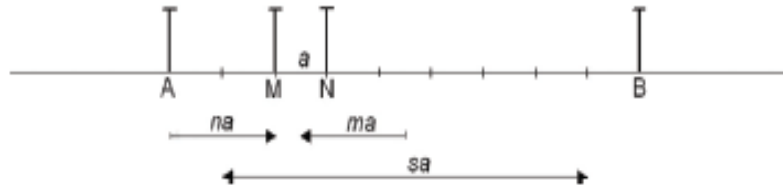
Όπου,

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

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



Μία αρνητική τιμή του  $m$  αντιστοιχεί σε δίπολο δυναμικού τοποθετημένο αριστερά του μέσου των ηλεκτροδίων ρεύματος, ενώ μία θετική τιμή του  $m$  αντιστοιχεί σε δίπολο δυναμικού με θέση δεξιά, σε σχέση με το μέσο των ηλεκτροδίων ρεύματος. Στο σχήμα 2.2 απεικονίζεται πώς τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια με διάταξη Gradient όπου τα M και N είναι ηλεκτρόδια δυναμικού και τα A και B είναι ηλεκτρόδια ρεύματος.



**Σχήμα 2.2:** Διάταξη ηλεκτροδίων με gradient electro array (Dahlin and Zhou, 2004)

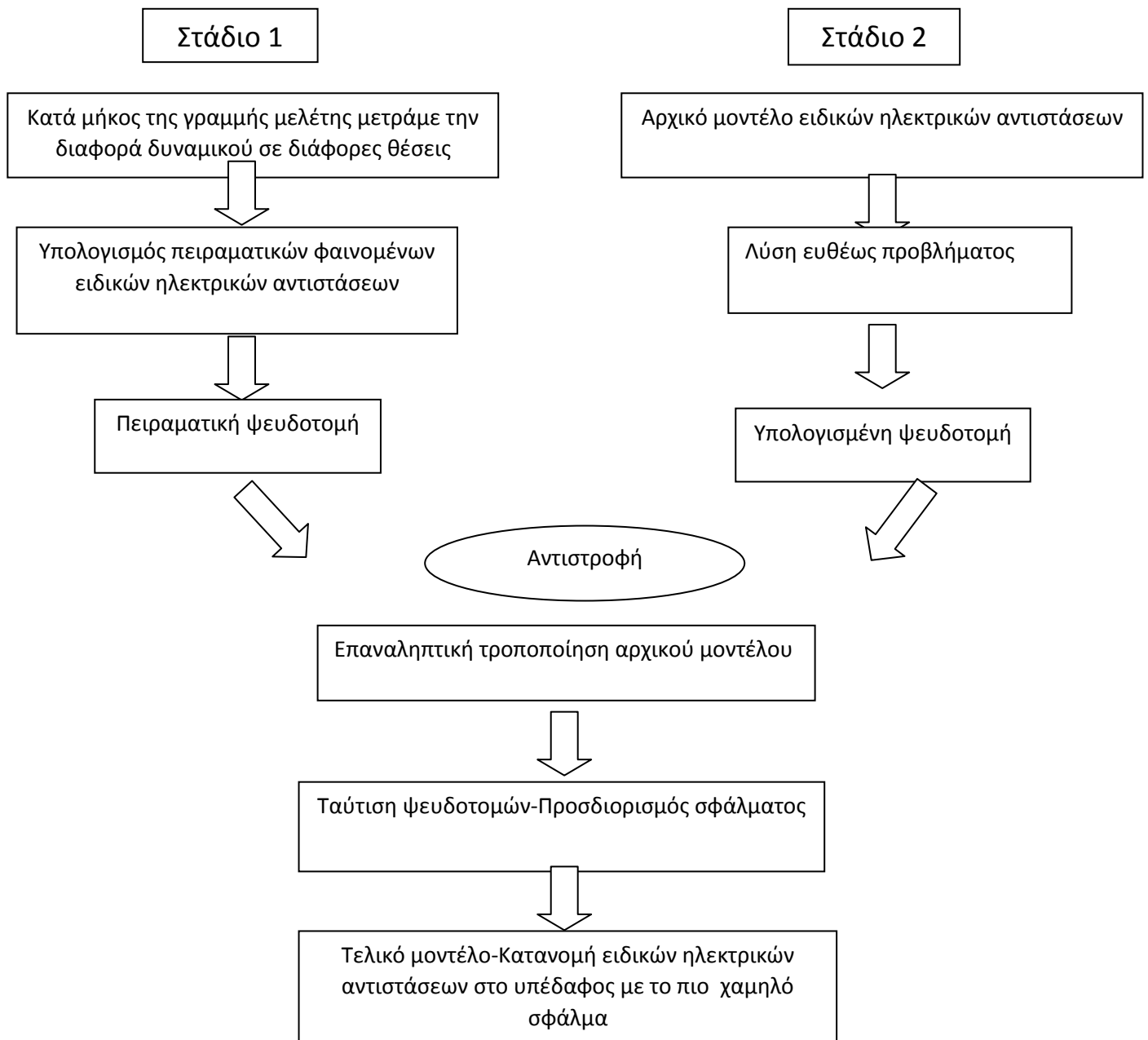
Γενικά παρατηρείται ότι η διάταξη gradient είναι μία διάταξη πόλου διπόλου όταν το δίπολο δυναμικού είναι κοντά σε ένα από τα ηλεκτρόδια ρεύματος (για μεγάλες τιμές του  $s$ ). Όταν το δίπολο δυναμικού είναι κοντά στο κέντρο μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος τότε προσεγγίζει την διάταξη Schlumberger.

### 2.1.3 Μεθοδολογία επεξεργασίας

Η μεθοδολογία επεξεργασίας περιγράφεται με την μέθοδο αντιστροφής σε δύο διαστάσεις, με την αντιστροφή γίνεται ο υπολογισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες αντιστάσεις. Στην περίπτωση της αντιστροφής των φαινομένων αντιστάσεων το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Ταυτόχρονα το πρόβλημα είναι υπερπροσδιορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων υπερβαίνει τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου. Στη συνέχεια παρατίθεται διάγραμμα ροής στο οποίο παρουσιάζεται η επεξεργασία δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας.



## ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

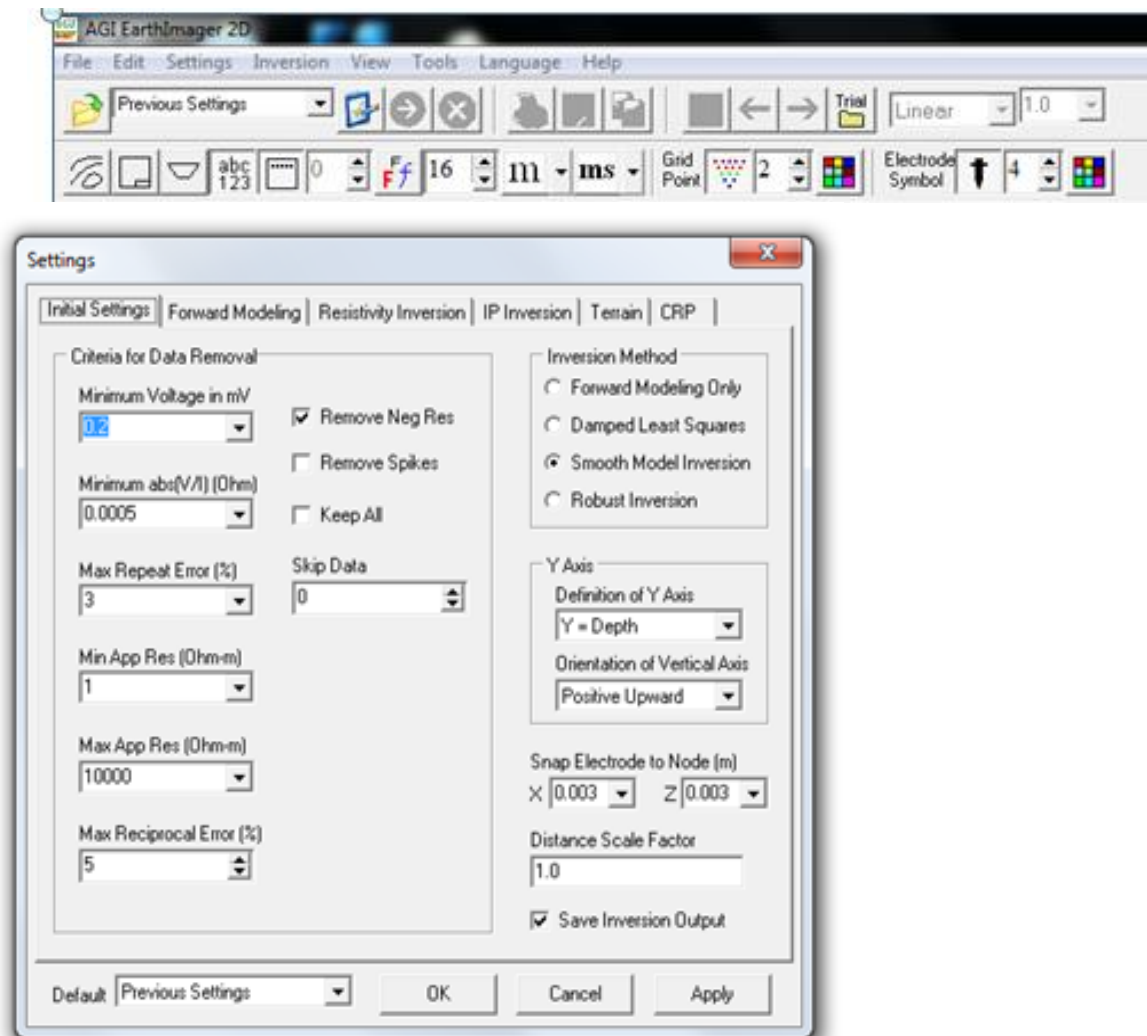


**Σχήμα 2.3:** Αναλυτικό διάγραμμα ροής επεξεργασίας των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Ακολουθώς, περιγράφονται αναλυτικά τα κυριότερα βήματα που ακολουθούνται για την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας. Με τη χρήση του λογισμικού του προγράμματος επεξεργασίας EarthImager 2D.

**Βήμα 1ο:** Καθορισμός των αρχικών παραμέτρων της επεξεργασίας στο πρόγραμμα. Στόχος του βήματος είναι να επιλέγουν οι κατάλληλες ρυθμίσεις για να τρέξει το πρόγραμμα. Αρχικά θα ελεγχθούν στην ίδια εικόνα τέσσερις παράμετροι (Initial Settings, Forward Modeling, Resistivity Inversion και CRP).

Στόχος: Να φιλτράρουμε τυχόν ακραίες μετρήσεις που δεν επιθυμούμε να συμμετέχουν στην διαδικασία της αντίστροφης.



**Σχήμα 2.4:** Αρχική ρύθμιση παραμέτρων (Initial settings) για το πρόγραμμα EarthImager2D.

### Κριτήρια για την απομάκρυνση των ακραίων μετρήσεων (Criteria for Data Removal)

- Minimum Voltage in mV
- Minimum abs (V/I) (Ohm)
- Max Repeat Error (%)
- Min App Res (Ohm-m)
- Max App Res (Ohm-m)
- Max Reciprocal Error (%)
- Remove Neg Res, Remove Spikes, Keep all

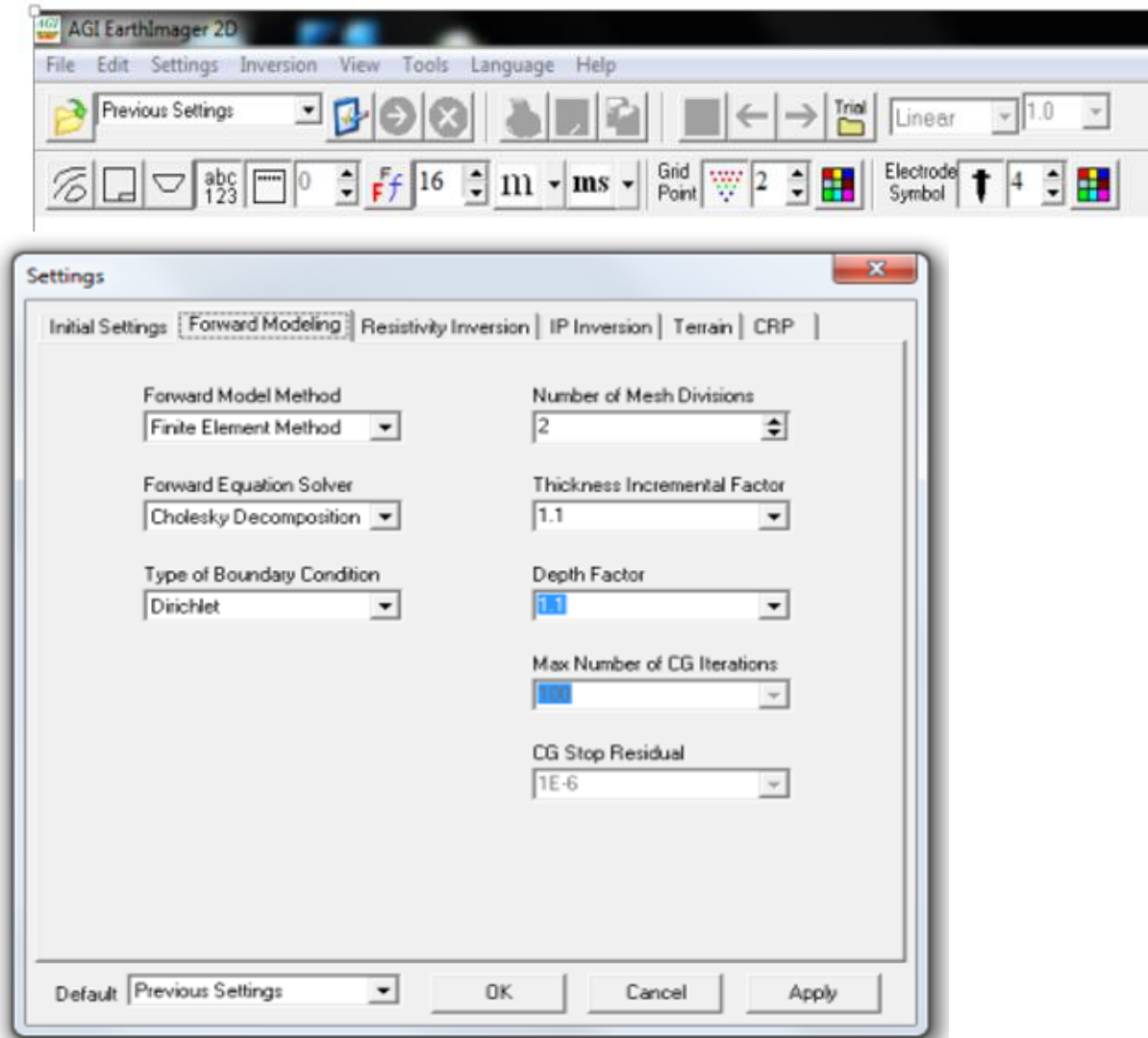
### Μέθοδος αντιστροφής (Inversion Method)

- Forward Modeling Only, Damped Least Squares, Smooth Model Inversion, Robust Inversion

### Άξονας Y (Y Axis)

- Definition of Y Axis, Orientation of Vertical Axis
- Snap Electrode to Node (m)
- Distance Scale Factor

Settings → Forward Modeling, έλεγχος των παραμέτρων για τις μετρήσεις μας.

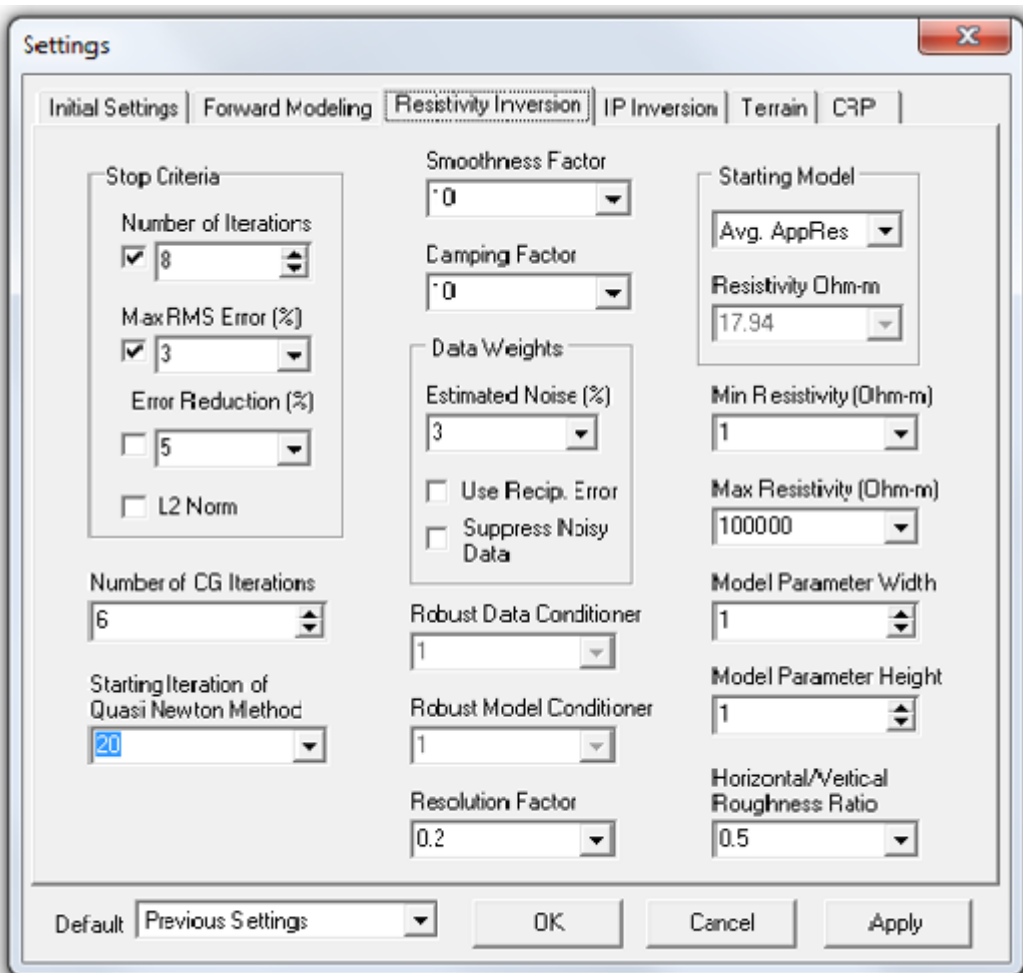


**Σχήμα 2.5:** Ρύθμιση παραμέτρων (Forward Modeling) για το πρόγραμμα.

Μέθοδος διακριτοποίησης, συνοριακών συνθηκών μοντέλου και επίλυσης του ευθέως προβλήματος (Forward Modeling)

- Forward Model Method, Forward Equation Solver, Type of Boundary Condition
- Παράμετροι διακριτοποίησης μοντέλου
- Number of Mesh Divisions, Thickness Incremental Factor, Depth Factor

Settings → Resistivity Inversion



**Σχήμα 2.6:** Ρύθμιση παραμέτρων (Resistivity Inversion) για το πρόγραμμα.

#### Stop Criteria

- Number of Iterations
- Max RMS Error (%)
- Error Reduction (%) (No selected)

- Smoothness Factor, Camping Factor

#### Βάρη δεδομένων (Data weights)

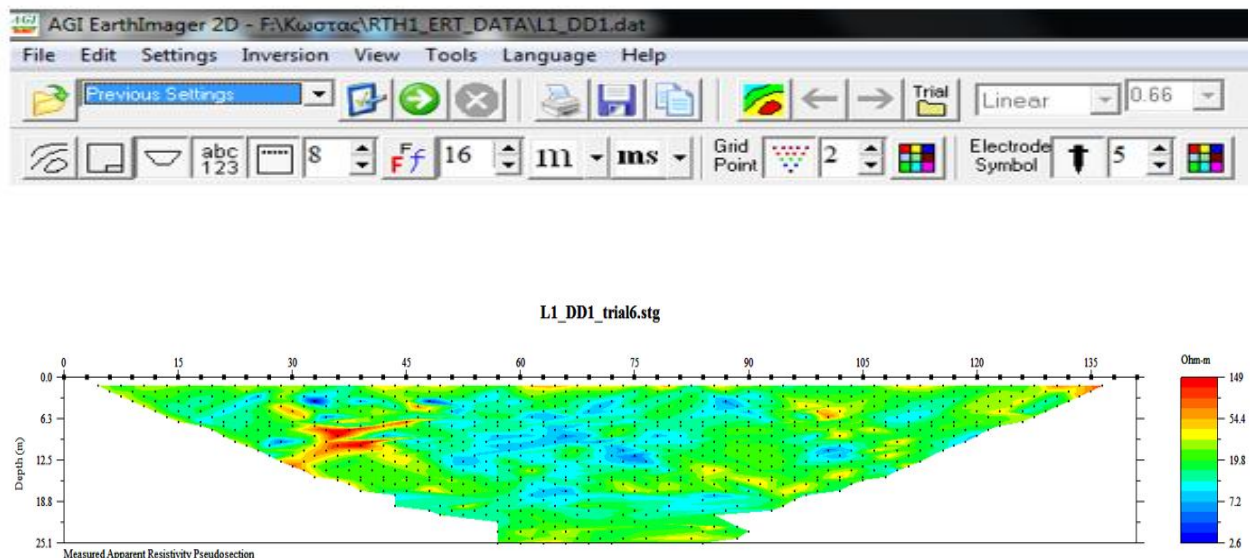
- Estimated Noise (%), Use Recip. Error, Suppress Noisy Data

Μοντέλο εκκίνησης (Starting Model)

- Avg, AppRes, Resistivity Ohm-m
- Min Resistivity (Ohm-m)
- Max Resistivity (Ohm-m)
- Model Parameter Width
- Model Parameter Height
- Horizontal/ Vertical Roughness Ratio

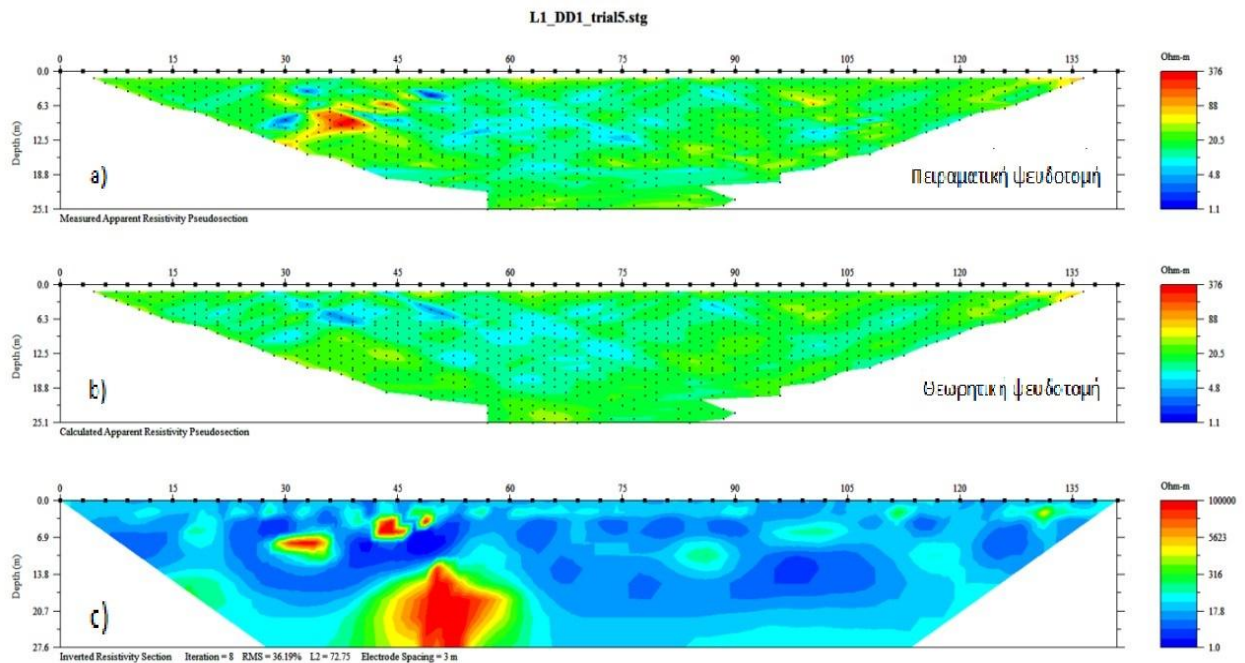
**Βήμα 2ο:** Ανάγνωση και απεικόνιση των δεδομένων του αρχικού μοντέλου χωρίς αντιστροφή. Στόχος του βήματος είναι να εισαχθούν τα δεδομένα ώστε να εμφανιστεί η πειραματική ψευδοτομή πριν γίνει η αντιστροφή.

File → Read Data → Open (άνοιγμα δεδομένων, πάτημα πράσινο βελάκι)



**Σχήμα 2.7:** Ψευδοτομή δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η οριζόντια απόσταση και μαύρα κουτάκια οι θέσεις των ηλεκτροδίων. Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται το βάθος (ή το υψόμετρο) ενώ η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις τομές των φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων.

**Βήμα 3ο:** Αντιστροφή και μείωση του σφάλματος σταδιακά. Στόχος του βήματος είναι να μειωθεί το σφάλμα κάτω από 10%. Εκτελούμε την διαδικασία της αντιστροφής (πράσινο βελάκι Σχήμα 2.8) και εμφανίζονται τρεις εικόνες ηλεκτρικής τομογραφίας.

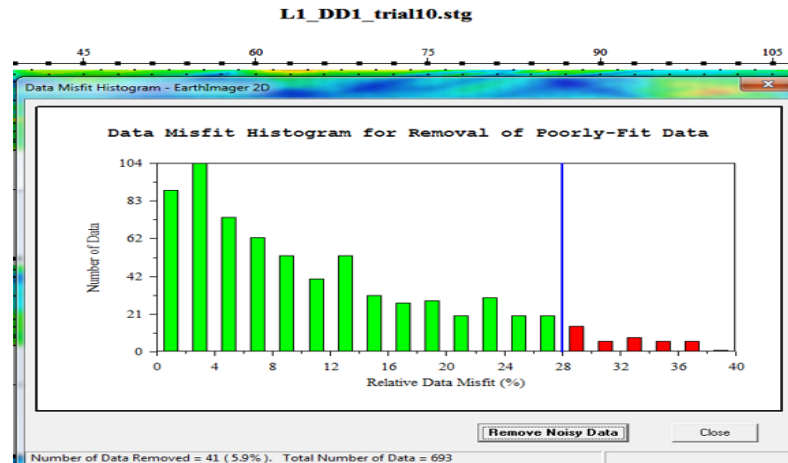


**Σχήμα 2.8:** Γεωηλεκτρικό μοντέλο μετά την αντιστροφή με αρχικό σφάλμα  $RMS=36,19\%$ .

- a) Πειραματική ψευδοτομή (φαινόμενες  $\rho_a$ )
- b) Θεωρητική ψευδοτομή (φαινόμενες  $\rho_a$ )
- c) Πραγματικές τιμές  $\rho$

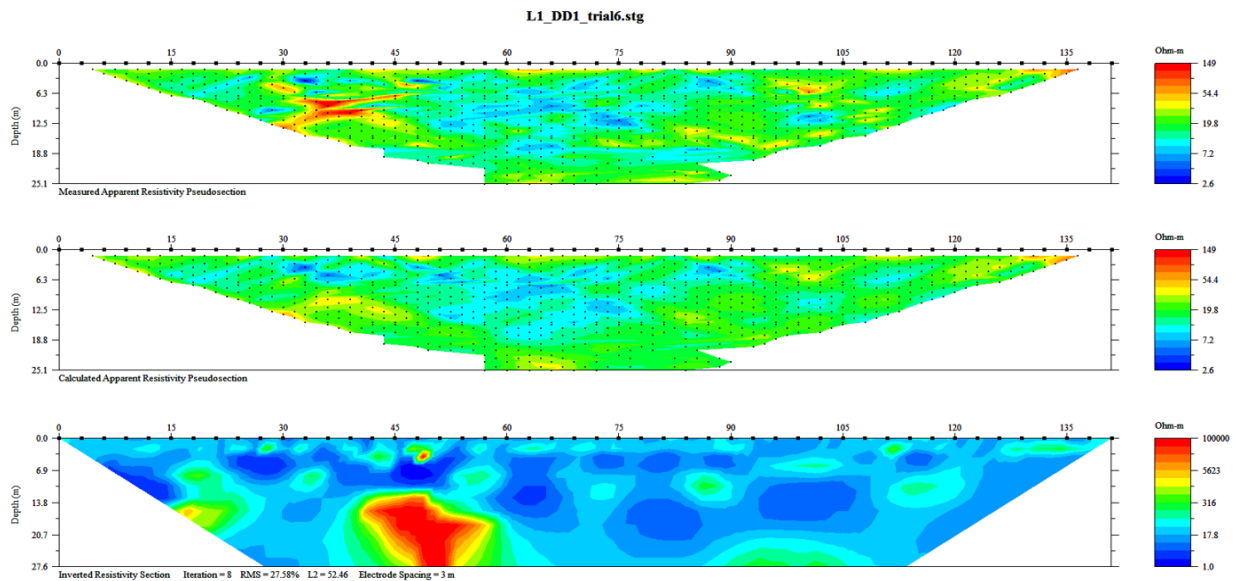
**Βήμα 4ο:** Απομάκρυνση μετρήσεων με μεγάλο σφάλμα. Σκοπός του βήματος είναι να μειωθεί το σφάλμα. Για να μειωθεί το σφάλμα εκτελούνται τα παρακάτω βήματα:

Επιλογή View → Converses → Data Histogram, στο ιστόγραμμα που εμφανίζεται στην εικόνα προσαρμόζοντας την γραμμή για να μειωθεί το σφάλμα (με τα βελάκια του πληκτρολογίου προς τα αριστερά με μια ή δύο μετακινήσεις), με αποτέλεσμα την απομάκρυνση μετρήσεων.



**Σχήμα 2.9:** Απομάκρυνση μετρήσεων με σκοπό να μειωθεί το σφάλμα. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η οριζόντια απόσταση και μαύρα κουτάκια οι θέσεις των ηλεκτροδίων. Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται το βάθος (ή το υψόμετρο) ενώ η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις τομές των φαινομένων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων.

Στην συνέχεια επιλέγεται Remove Noisy Data από το ιστόγραμμα και εκτελείτε το πράσινο. Η εικόνα που θα εμφανιστεί θα είναι η διαδικασία μετά την πρώτη αφαίρεση.

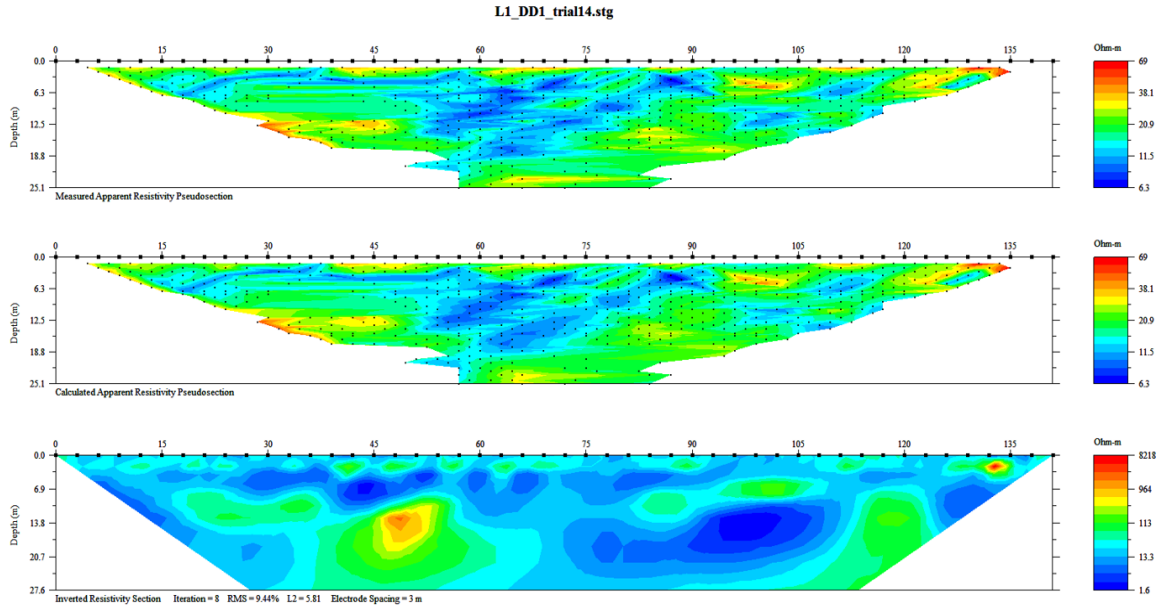


**Σχήμα 2.10:** Γεωηλεκτρικό μοντέλο μετά την πρώτη αφαίρεση. Το σφάλμα μειώθηκε στο 27,58.

Για να σώσουμε την εικόνα της πρώτης αφαίρεσης, αλλά και του τελικού μοντέλου επιλέγουμε File → Save Image. Στο αρχείο θα αποθηκευτούν μόνο τα δεδομένα που τρέξαμε για την συγκεκριμένη καταγραφή RTH1 (L1DD1)

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία και μετά από πολλές επαναλήψεις της παραπάνω διαδικασίας, για κάθε ένα από τα δεδομένα μας θα εμφανιστεί η εικόνα με το τελικό αποτέλεσμα.





**Σχήμα 2.11:** Τελικό γεωηλεκτρικό μοντέλο με σφάλμα  $RMS=9,44\%$

Για το παράδειγμα που περιγράφεται σε αυτή την ενότητα τα αρχικά δεδομένα αποτελούνται από 907 μετρήσεις ενώ το τελικό μοντέλο περιλάμβανε 668 μετά από 11 επαναληπτικές αφαιρέσεις μετρήσεων (αφαίρεση 239 μετρήσεων) με μεγάλο σφάλμα. Το αρχικό σφάλμα ήταν  $RMS=36,19\%$  ενώ το τελικό  $RMS=9,44\%$ .

## 2.2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗ

### 2.2.1 Βασικές αρχές της Σεισμικής Διάθλασης

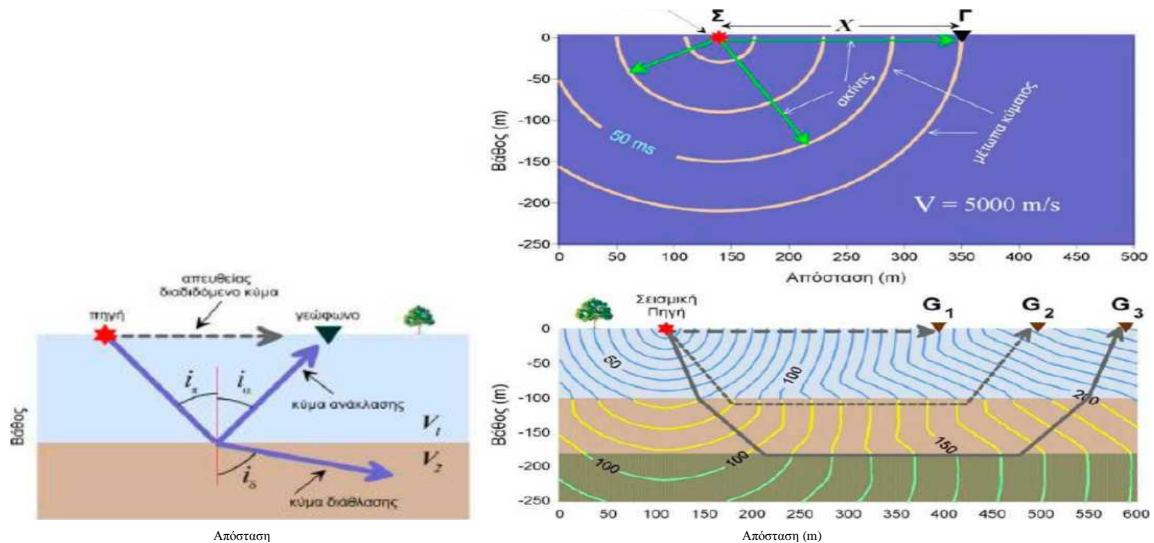
Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας. Η γωνία πρόσπτωσης  $i_0$ , η γωνία διάθλασης  $i_2$ , και οι ταχύτητες  $V_1$  και  $V_2$  στα δύο επιφανειακά στρώματα συνδέονται μέσω του νόμου του Snell:

$$p = \frac{\sin(i_0)}{V_1} = \frac{\sin(i_2)}{V_2} \quad (2.3)$$

όπου  $p$  είναι η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας. 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. Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής:

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

Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση (Σχήμα 2.12). Βέβαια, θα πρέπει να σημειωθεί ότι βασική προϋπόθεση δημιουργίας ορικά διαθλώμενων κυμάτων είναι οι ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων θα πρέπει να αυξάνουν από τους ρηχότερους στους βαθύτερους σχηματισμούς. (Βαφείδης, 1993).



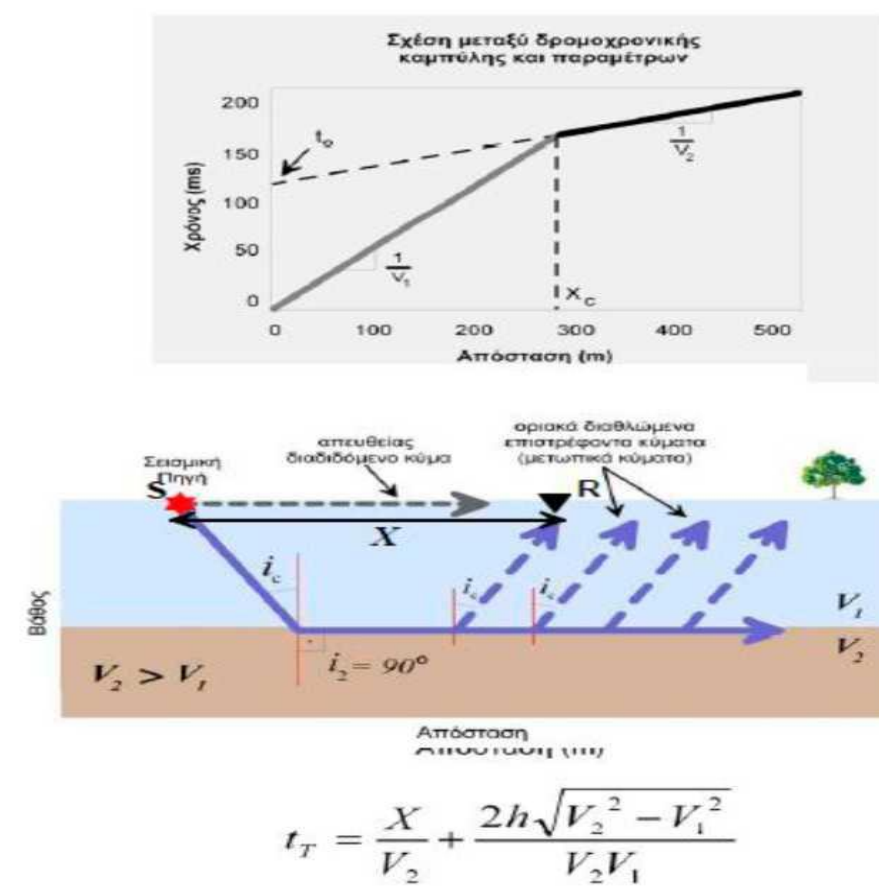
**Σχήμα 2.12:** Είδη κυμάτων και διάδοσή τους (Λούης, 2008).

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 2.13).

Η γωνία των αναδύμενων προς την επιφάνεια σεισμικών ακτινών με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι ίση με την ορική γωνία. Αυτά τα αναδύμενα σεισμικά κύματα ονομάζονται μετωπικά κύματα.

Τα σεισμικά κύματα που καταγράφονται πρώτα στις θέσεις των γεωφώνων (πρώτες αφίξεις) είναι τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα (Σχήμα 2.13).

Μελετώντας τους χρόνους άφιξης των απευθείας και μετωπικών κυμάτων (πρώτων αφίξεων) είναι δυνατόν να προσδιοριστούν τα πάχη και η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στους σχηματισμούς του υπεδάφους (Βαφείδης, 1993).



Σχήμα 2.13: Χρόνος διαδρομής κύματος και δρομοχρονική καμπύλη (Λούης, 2008).

### 2.2.2 Μέθοδος Απόκτησης Δεδομένων

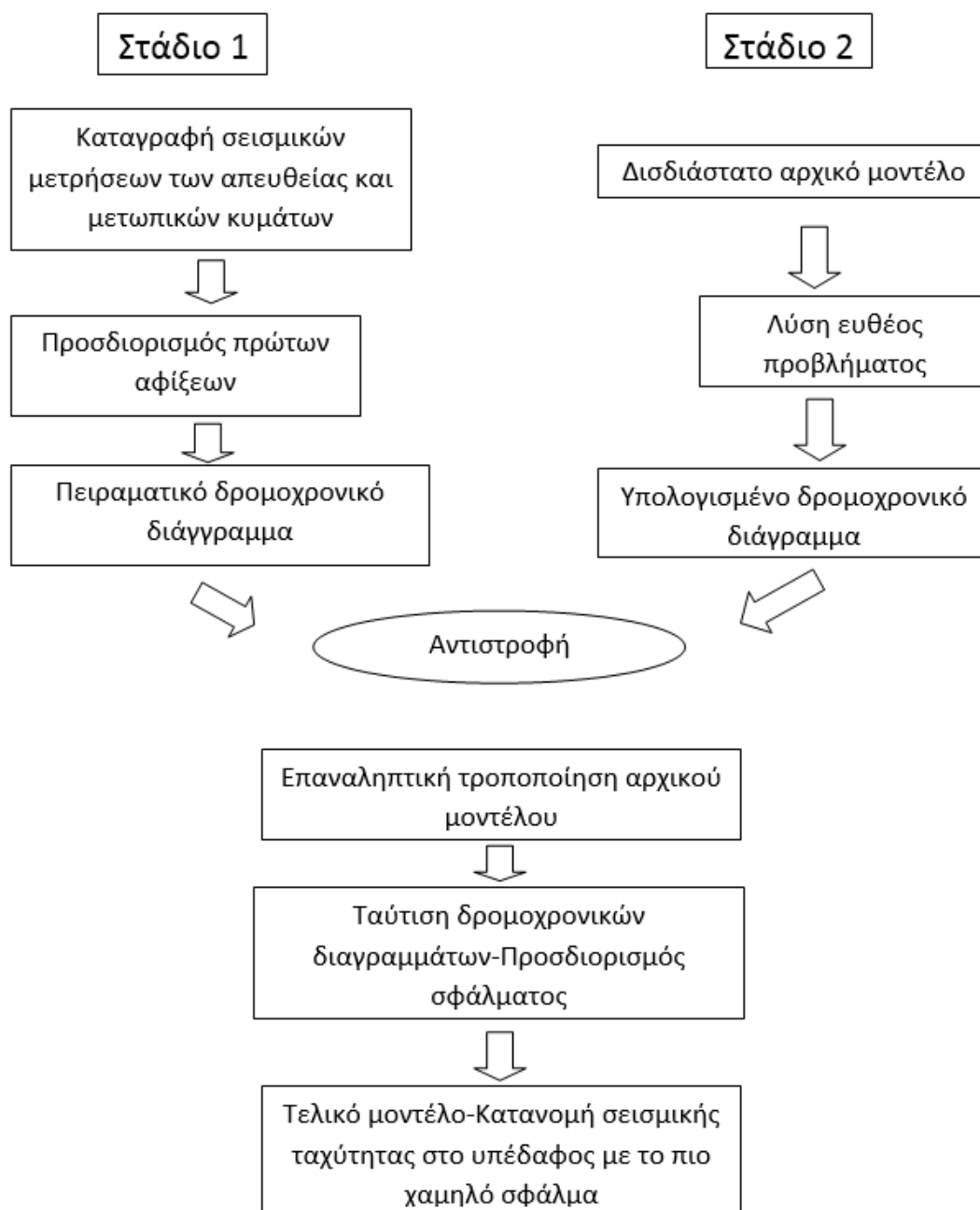
Για την συλλογή των δεδομένων με την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης, αρχικά οριοθετείται η γραμμή μελέτης, κατά μήκος της οποίας τοποθετούνται τα γεώφωνα σε ισαπέχουσες θέσεις. Τα συγκεκριμένα γεώφωνα είναι ευαίσθητα στην κατακόρυφη ταλάντωση του εδάφους. Στην συνέχεια σε προκαθορισμένο σημείο επί της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

Τα απαραίτητα όργανα για την πραγματοποίηση διασκοπήσεων με την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης είναι τα γεώφωνα, η σεισμική πηγή και το καταγραφικό. Τα γεώφωνα είναι τα όργανα από τα οποία γίνεται αισθητή η εδαφική κίνηση.

### **2.2.3 Μέθοδος Επεξεργασίας**

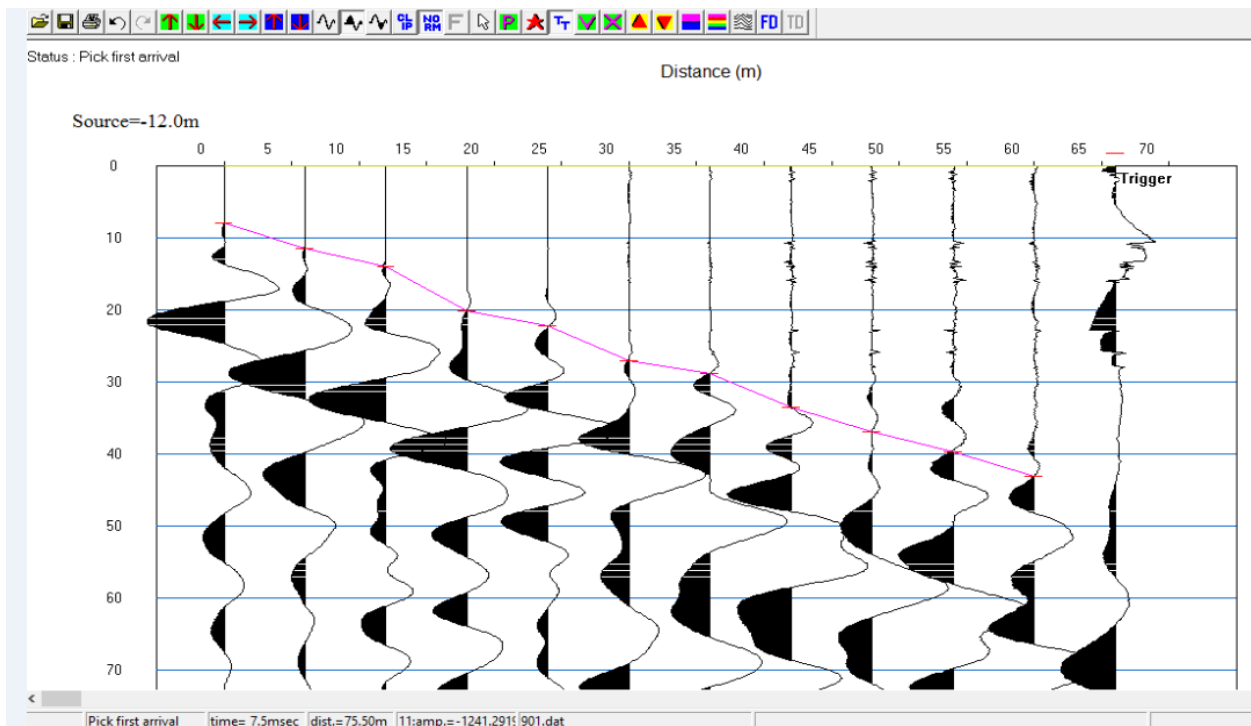
Για την επεξεργασία των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης στις περιοχές μελέτης του Νομού Ρεθύμνου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος επεξεργασίας της σεισμικής τομογραφίας. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται σε περιοχές στις οποίες υπάρχει έντονο ανάγλυφο, όταν υπάρχει πλευρική μεταβολή της σεισμικής ταχύτητας ή όταν υπάρχει βαθμιαία μεταβολή στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων με το βάθος. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια δισδιάστατη κατανομή της ταχύτητας στο υπέδαφος. Αρχικά για την επιλογή πρώτων αφίξεων των σεισμικών κυμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Pickwin, ενώ για την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων με την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Plotrefa. Στη συνέχεια παρατίθεται διάγραμμα ροής στο οποίο παρουσιάζεται η επεξεργασία δεδομένων της σεισμικής τομογραφίας.

# ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ



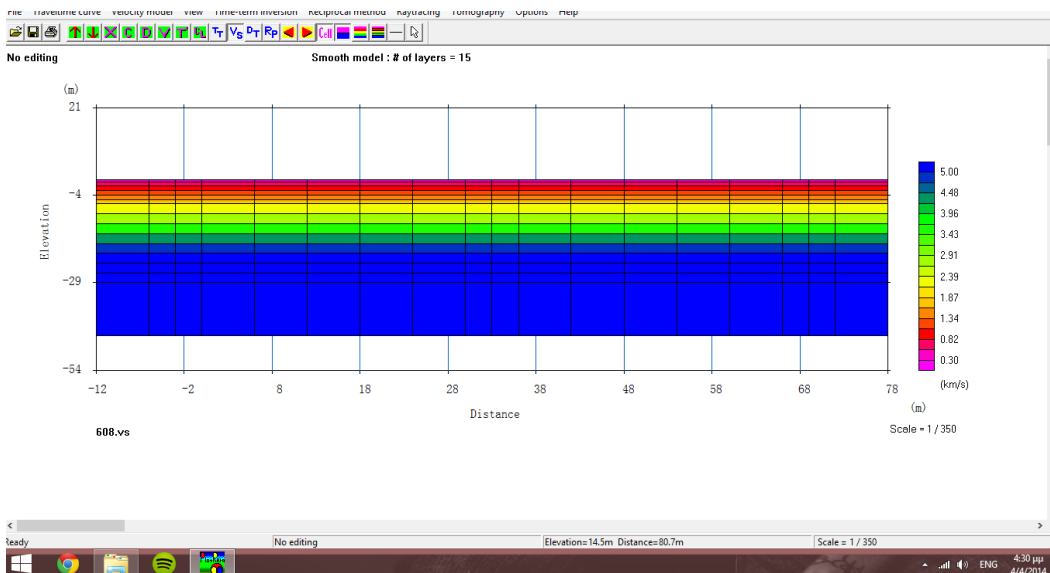
**Σχήμα 2.14:** Αναλυτικό διάγραμμα ροής για την περιγραφή της σεισμικής τομογραφίας.

Επιλογή πρώτων αφίξεων για την γραμμή μελέτης RTHE στο νομό Ρεθύμνου.



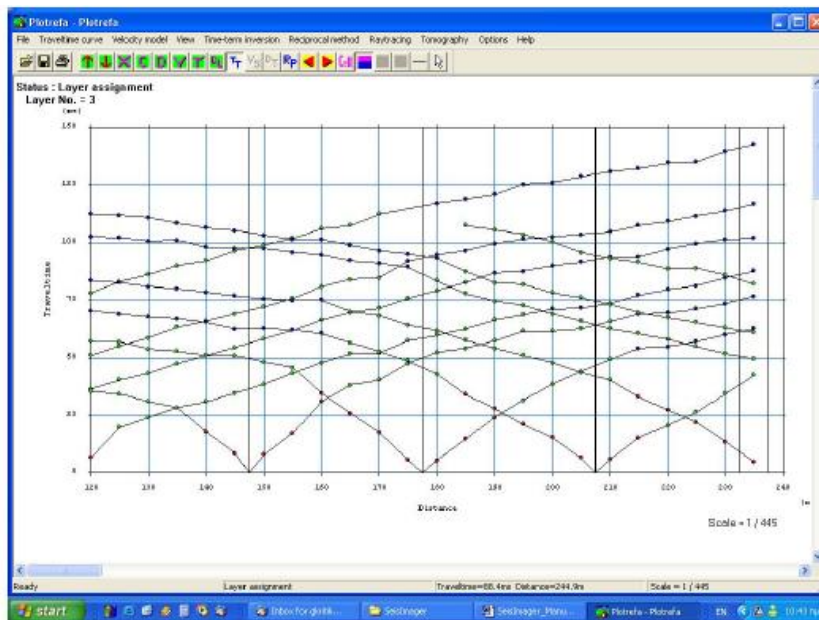
**Σχήμα 2.15:** Επιλογή πρώτων αφίξεων, όταν η θέση της πηγής βρίσκεται στα -12m της γραμμής μελέτης RTHE. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η απόσταση σε m και στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε ms, ενώ τα πλάτη ταλάντωσης των σωματιδίων του εδάφους εκφράζονται, για κάθε θέση γεωφώνου με σκιασμένες και μη περιοχές (σεισμικά ίχνη).

Χρήση αρχικού μοντέλου από προ – εργασία με την μέθοδο TTI.

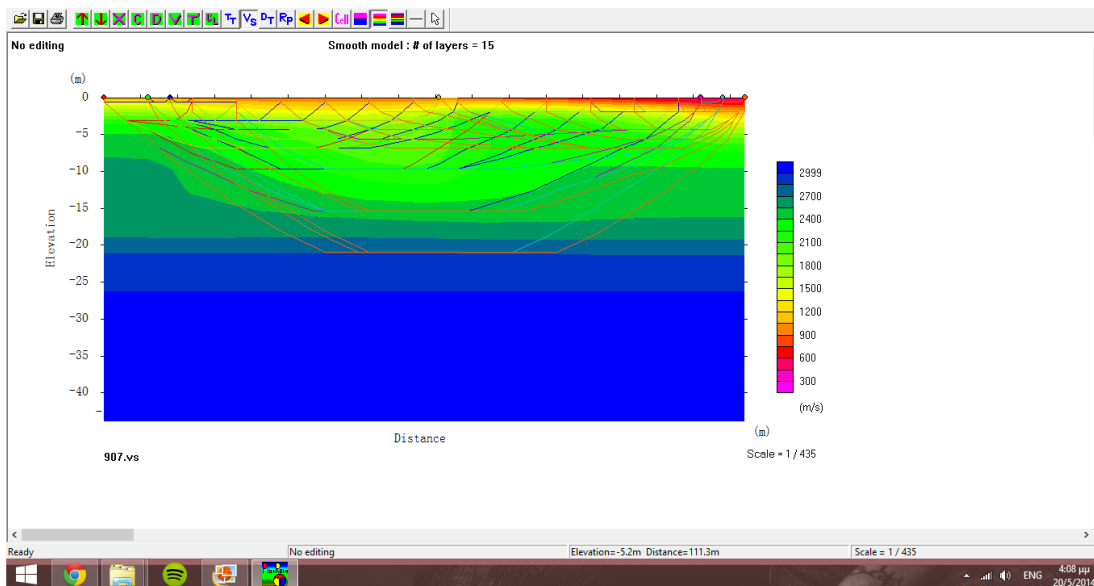


**Σχήμα 2.16:** Αρχικό εδαφικό μοντέλο.(μετρήσεις από γραμμή RTHE).

Υπολογισμός των σεισμικών ταχυτήτων και του μοντέλου βάθους με την μέθοδο Time – Term Inversion (TTI)



Αντιστροφή



Σχήμα 2.17: Τελικό σεισμικό μοντέλο στην περιοχή του Ρεθύμνου της γραμμής μελέτης RTHE.

## **2.3 Πολυκάναλη Ανάλυση των Επιφανειακών Κυμάτων (MASW)**

### **2.3.1 Βασικές Αρχές**

Η μέθοδος αποτελεί μια σεισμική έρευνα μεθόδων αξιολόγησης της ελαστικής κατάστασης (ακαμψία) του εδάφους για σκοπούς της γεωτεχνικής μηχανικής. Κατά την μέθοδο MASW καταγράφονται επιφανειακά σεισμικά κύματα τα οποία παράγονται με τη χρήση τεχνητών σεισμικών πηγών και στην συνέχεια συνάγει ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (Vs) κάτω από την περιοχή που παρακολουθείτε. Η ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων περιλαμβάνει τη λήψη καταγραφών πλούσιων σε επιφανειακά κύματα Rayleigh και την αντιστροφή των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς τους, για τον καθορισμό της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων κατανεμημένης με το βάθος. Μια από τις κυριότερες διαδικασίες για την ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων είναι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς από τις καταγραφές. Η αντιστροφή των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς αποτελεί τη δεύτερη σημαντικότερη φάση της επεξεργασίας. Από τη διαδικασία της αντιστροφής προσδιορίζονται οι παράμετροι του εδαφικού μοντέλου. Η μεθοδολογία της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh είναι δυνατό να χωριστεί σε δύο διακριτά στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο, από τις σεισμικές καταγραφές κοινής πηγής, οι οποίες θα πρέπει να περιλαμβάνουν σημαντική σεισμική ενέργεια κατανεμημένη στα επιφανειακά κύματα, προκύπτουν οι πειραματικές καμπύλες διασποράς. Στο δεύτερο στάδιο προσδιορίζονται οι θεωρητικές καμπύλες διασποράς για οριζόντια στρωματωμένο εδαφικό μοντέλο, χρησιμοποιώντας την τεχνική Thomson-Haskell (Haskell, 1953, Schwab and Knopoff, 1972). Τροποποιώντας επαναληπτικά το εδαφικό μοντέλο επιτυγχάνεται η προσαρμογή της θεωρητικής καμπύλης διασποράς στην πειραματική (διαδικασία που ονομάζεται αντιστροφή). Έτσι, εφόσον πραγματοποιηθεί ταύτιση των καμπύλων, προσδιορίζεται το τελικό εδαφικό μοντέλο (κατανομή της ταχύτητας των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων (Vs) με το βάθος. Η κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας Vs αντιστοιχείται στο κέντρο της διάταξης των γεωφώνων (Αβαγιανός, 2011).

### **2.3.2 Μέθοδος Απόκτησης Δεδομένων**

Για την απόκτηση των σεισμικών καταγραφών με την μέθοδο MASW χρησιμοποιείται η διάταξη κοινής πηγής, ενώ η σεισμική πηγή συνήθως τοποθετείται πριν από τον πρώτο ή μετά τον τελευταίο δέκτη (γεώφωνο) του αναπτύγματος των γεωφώνων.

Η βασική προϋπόθεση για την υλοποίηση της μεθόδου της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων είναι η χρήση πολλών σταθμών παρατήρησης ( $> 2$ ) κατά μήκος μιας γραμμής μελέτης. Για τον προσδιορισμό της κατακόρυφης κατανομής της ταχύτητας Vs με το βάθος, αρκεί μια τυπική διάταξη κοινής πηγής, με την πηγή να τοποθετείται πριν το πρώτο ή μετά το τελευταίο γεώφωνο, κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η εκτίμηση της παραμέτρου αυτής (Vs) στις 2 διαστάσεις προσεγγίζεται με την κύλιση (roll along) της διάταξης πηγής-γεωφώνων κατά μήκος της γραμμής μελέτης, με τις ισαποστάσεις των διαδοχικών θέσεων των πηγών που αντιστοιχούν συνήθως σε ακέραιο πολλαπλάσιο της ισαπόστασης των γεωφώνων. 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



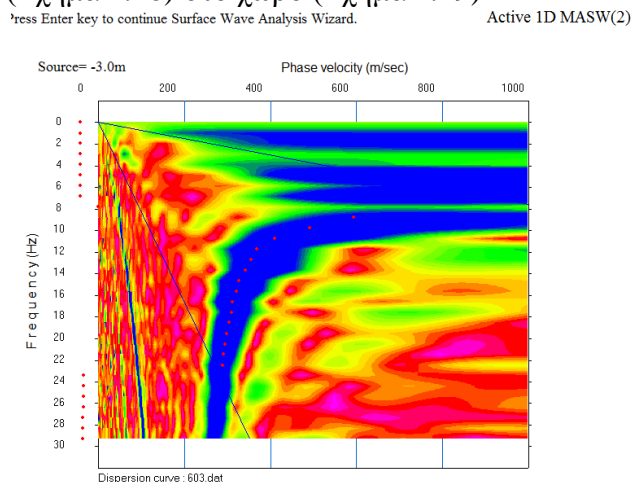
γεωφώνων (Luo et al., 2009a). Με την βοήθεια παρεμβολής κατασκευάζεται μια ψευδοτομή της ταχύτητας διάδοσης των εγκαρσίων σεισμικών κυμάτων (Κρητικάκης, 2010).

Η ευκρίνεια των πειραματικών καμπυλών διασποράς επηρεάζεται και από τις παραμέτρους καταγραφής. Μικρή διάρκεια καταγραφής (T) μπορεί να σημαίνει ανεπαρκή καταγραφή της πλήρους κυματομορφής των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh, με αποτέλεσμα την μειωμένη ευκρίνεια των καμπυλών διασποράς. Αντίθετα, πολύ μεγάλη διάρκεια καταγραφής, ενδεχομένως να έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του λόγου σήματος προς θόρυβο στους μεγάλους χρόνους, αλλοιώνοντας την ευκρίνεια των καμπυλών διασποράς. Το διάστημα δειγματοληψίας (dt) και το πλήθος των δειγμάτων στο χρόνο οριοθετούν τη θεμελιώδη συχνότητα (Brigham, 1974). Μεγάλα χρονικά διαστήματα δειγματοληψίας αντιστοιχούν σε μικρή τιμή της θεμελιώδους συχνότητας, αυξάνοντας την ευκρίνεια των καμπυλών διασποράς. Συνήθως, διάστημα δειγματοληψίας ίσο με 1 ms και διάρκεια καταγραφής 1000 ms ( $f_0 = 1$  Hz) κρίνονται ικανοποιητικά σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις.

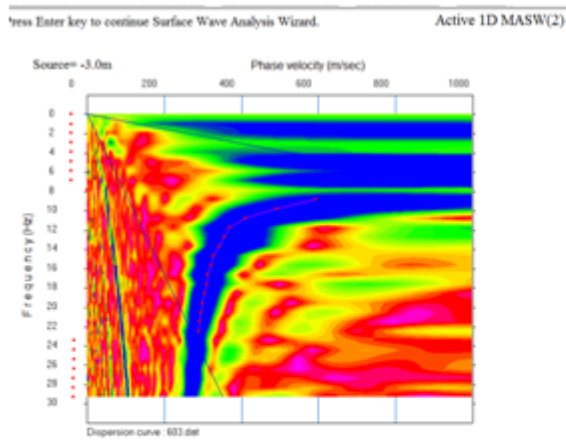
Η εφαρμογή της μεθόδου MASW για τον προσδιορισμό της κατανομής της ταχύτητας Vs στις δύο διαστάσεις πραγματοποιείται με τεχνικές απόκτησης των σεισμικών δεδομένων, αντίστοιχες με αυτές που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης (κύλιση - roll along - της διάταξης κοινής πηγής) (Park et al., 1999, Xia et al., 2000b, Luo et al., 2008a). Τοποθετώντας στο κέντρο της διάταξης των γεωφώνων (Luo et al., 2009a) την κατακόρυφη κατανομή της Vs για κάθε μια καταγραφή, κατασκευάζεται η ψευδοτομή της ταχύτητας διάδοσης των εγκαρσίων σεισμικών κυμάτων.

### 2.3.3 Μέθοδος Επεξεργασίας

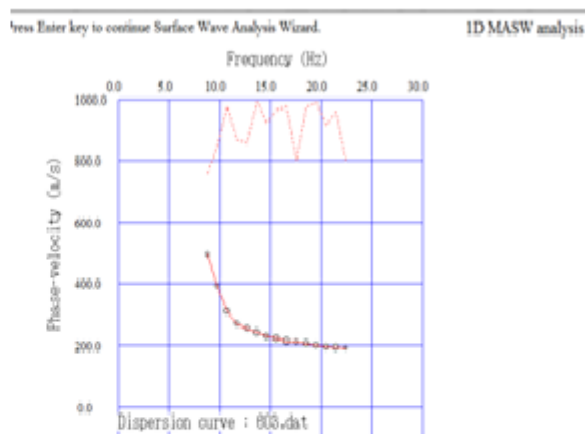
Για την επεξεργασία των δεδομένων της μεθόδου MASW χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SeisImager. Η επεξεργασία των κυμάτων Rayleigh πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο υπολογίζεται η πειραματική καμπύλη διασποράς μέσω μετασχηματισμού των αρχικών καταγραφών κοινής πηγής (Σχήμα 2.18) στο χώρο (Σχήμα 2.19)



**Σχήμα 2.18:** Καταγραφή κοινής πηγής 603 (RTH1). Η πηγή βρίσκεται στα -3m. Στον οριζόντιο άξονα φαίνεται η ταχύτητα φάσης σε (m/s) ενώ στον κατακόρυφο άξονα φαίνεται η συχνότητα σε (Hz).

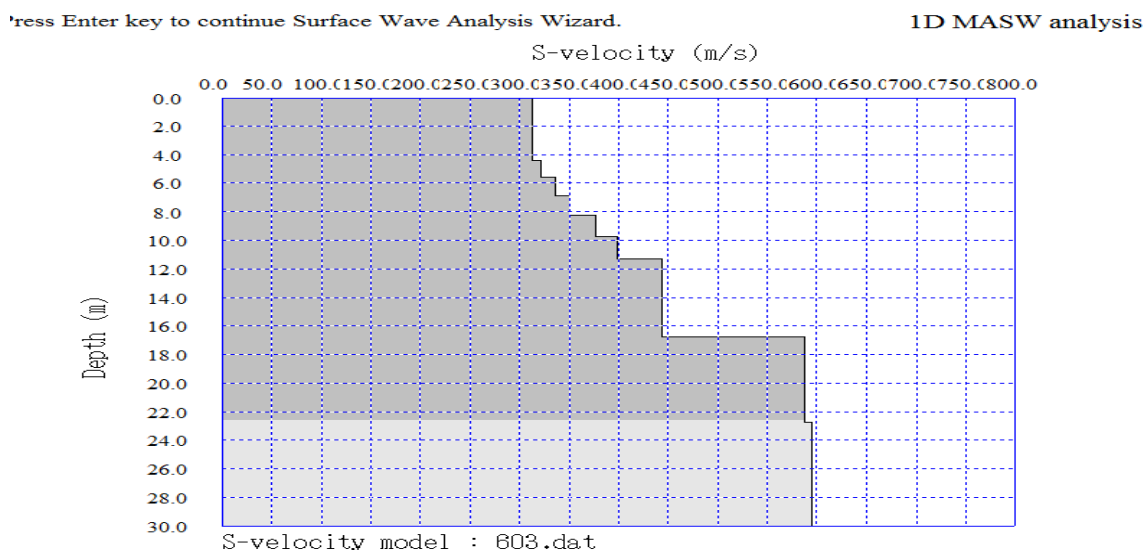


**Σχήμα 2.19:** Μετασχηματισμός του κυματικού πεδίου στο χώρο της καταγραφής 603 (RTH1). Στον κατακόρυφο άξονα φαίνεται η συχνότητα σε (Hz) ενώ στο οριζόντιο η ταχύτητα φάσης σε (m/sec). Η καμπύλη διασποράς εντοπίζεται στα τοπικά ενέργεια και μέγιστα.



**Σχήμα 2.20:** Επιλεγμένη καμπύλη διασποράς. Στον κατακόρυφο άξονα φαίνεται η συχνότητα σε (Hz) ενώ στο οριζόντιο η ταχύτητα φάσης σε (m/sec).

ενώ κατά το δεύτερο στάδιο επιλέγεται αρχικό εδαφικό μοντέλο (Σχήμα 2.21)

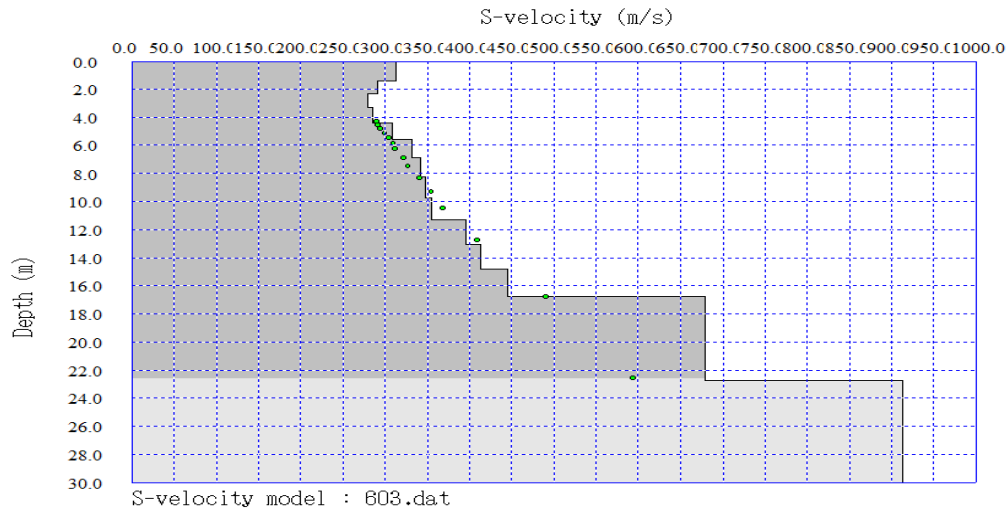


**Σχήμα 2.21:** Μέθοδος MASW. Αρχικό μοντέλο (κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος) για την καταγραφή 603 (RTH1).

με στόχο τον υπολογισμό της καμπύλης διασποράς. Τέλος μέσω επαναληπτικής διαδικασίας προσαρμογής της θεωρητικής καμπύλης διασποράς στην πειραματική, προκύπτει η ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 2.22).

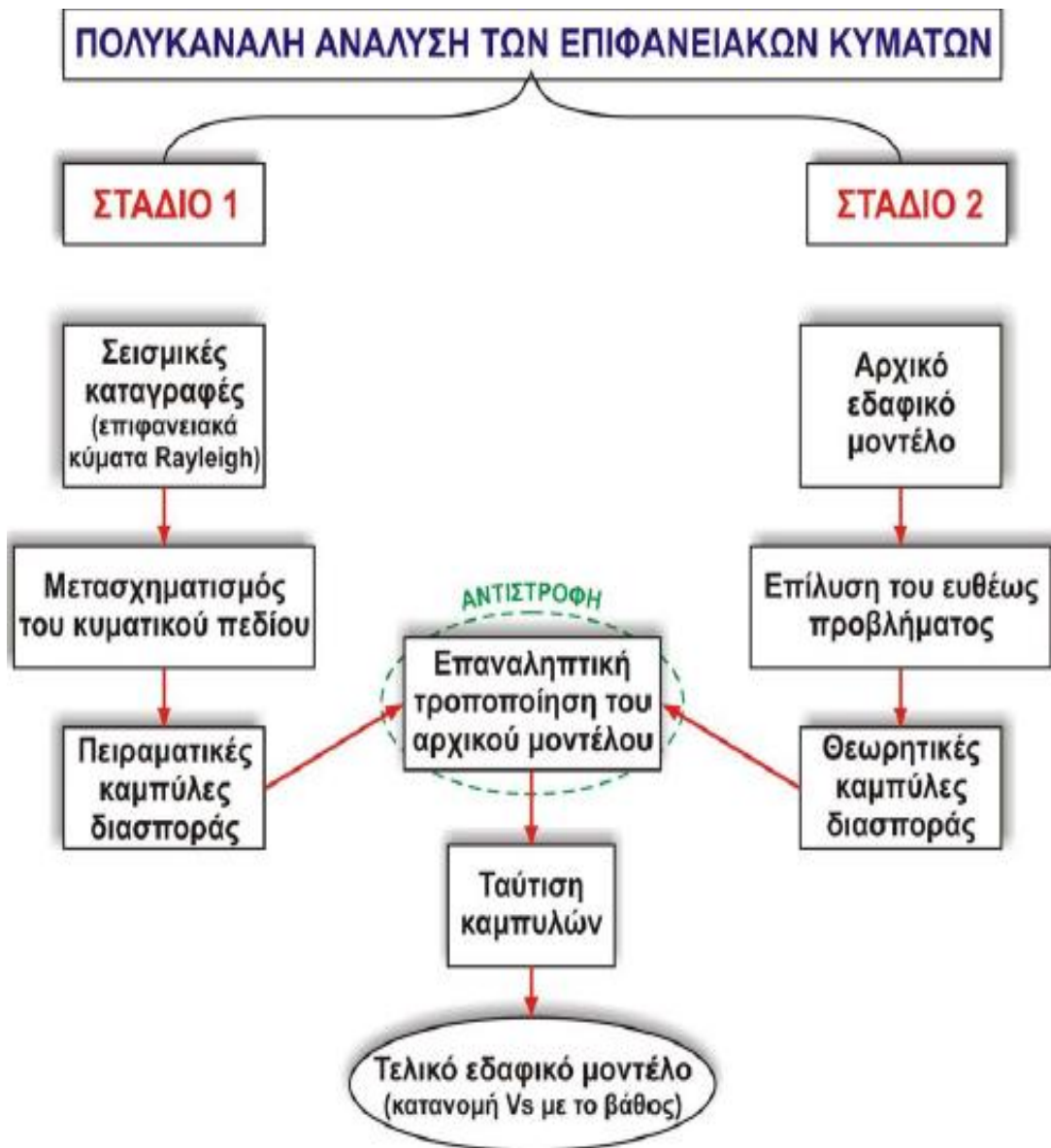
ress Enter key to continue Surface Wave Analysis Wizard.

1D MASW analysis



**Σχήμα 2.22:** Γραμμή RTH1 μέτρηση 603, τελικό μοντέλο (κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος).

Κατά κανόνα, οι μέθοδοι ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του υπεδάφους μπορούν να περιγραφούν από τρία βασικά στάδια: α) απόκτηση β) ανάλυση της διασποράς τους και γ) προσδιορισμός των παραμέτρων οριζόντια στρωματωμένου εδαφικού μοντέλου. Τα διάφορα στάδια της μεθόδου πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh (Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW) περιγράφονται συνοπτικά στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 2.23.



*Σχήμα 2.23: Διάγραμμα ροής για την περιγραφή μεθόδου της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh (MASW).*

## **2.4 Μέθοδος μικροθορύβου (Refraction-Microtremor/Re-Mi)**

### **2.4.1 Βασικές Αρχές**

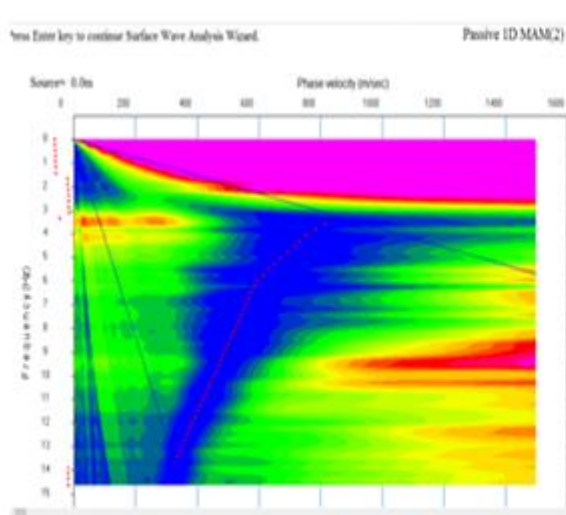
Η μέθοδος Μικροθορύβου (Refraction Microtremor/Re-Mi) βασίζεται σε ήδη υφιστάμενες αρχές της επεξεργασίας των επιφανειακών κυμάτων και ιδίως τα κύματα Rayleigh. Η τεχνική της μεθόδου αυτής βασίζεται σε δύο θεμελιώδεις ιδέες. Η πρώτη ιδέα είναι ότι ο εξοπλισμός καταγραφής ορίζεται με τρόπο σχεδόν ταυτόσημο με την διάθλαση Ρ-κυμάτων. Και η δεύτερη ιδέα είναι ότι ο μετασχηματισμός των καταγραφών μικροθορύβου στον χώρο συχνότητας-ταχύτητας φάσης αναδεικνύει τις καμπύλες διασποράς των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh από άλλες σεισμικές αφίξεις.

### **2.4.2 Μέθοδος Απόκτησης Δεδομένων**

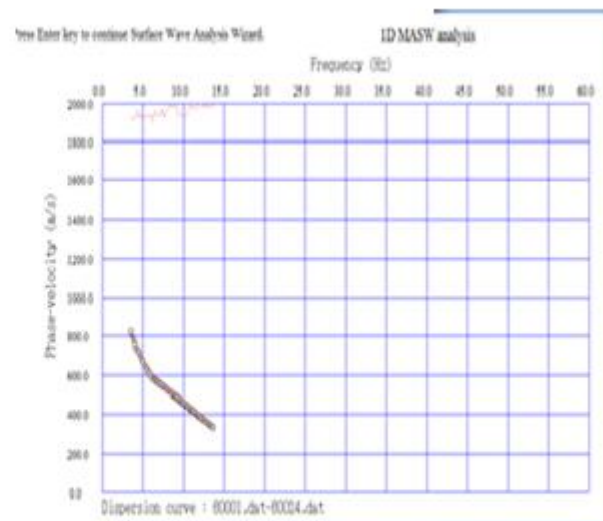
Η μέθοδος χρησιμοποιεί τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται τυπικά σε σεισμικές έρευνες διάθλασης. Αυτός ο εξοπλισμός αποτελείται από ένα σειсмоγράφο που καταγράφει τα δεδομένα και γεωφώννα όπου τοποθετούνται γραμμικά. Δύο βασικοί παράγοντες επιτρέπουν στον εξοπλισμό να καταγράψει τη διασπορά των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh (Κουφόπουλος, 2012) 1) η χρήση ενός μόνο αισθητήρα γεωφώννου σε κάθε κανάλι και όχι μία σειρά γεωφώννων και 2) η χρήση μιας γραμμικής σειράς από 12 ή περισσότερους αισθητήρες γεωφώννων. Τα γεωφώννα τοποθετούνται μεταξύ τους σε απόσταση από 8 έως 20 m κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η ιδιοσυχνότητα των γεωφώννων είναι συνήθως χαμηλή για βαθιές εφαρμογές. Τα γεωφώννα αυτά έχουν πολύ υψηλή ιδιοσυχνότητα για καταγραφές μικροθορύβου για μεγάλα βάθη. Επίσης, δεν χρησιμοποιείται πηγή καταγραφής μικροδονήσεων. Τα πλεονέκτημα της μεθόδου είναι τα εξής: 1) είναι πολύ γρήγορη και όχι ακριβή μέθοδος και 2) ο εξοπλισμός είναι ο ίδιος κάθε φορά και λειτουργεί αρκετά καλά σε ένα αστικό περιβάλλον όπου υπάρχουν θόρυβοι.

### **2.4.3 Μέθοδος Επεξεργασίας**

Για την επεξεργασία των δεδομένων μικροθορύβου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SeisImager. Η διαδικασία επεξεργασίας είναι πανομοιότυπη με αυτή που χρησιμοποιείται στη MASW (Ενότητα 2.3.3) με την μόνη διαφορά ότι στην συγκεκριμένη επεξεργασία χρησιμοποιούνται καταγραφές μικροθορύβου (Σχήμα 2.24, 2.25).



**Σχήμα 2.24:** Αρχική εισαγωγή μετρήσεων passive (όλα τα δεδομένα μαζί) για την περιοχή του Ρεθύμνου γραμμή RTH1.

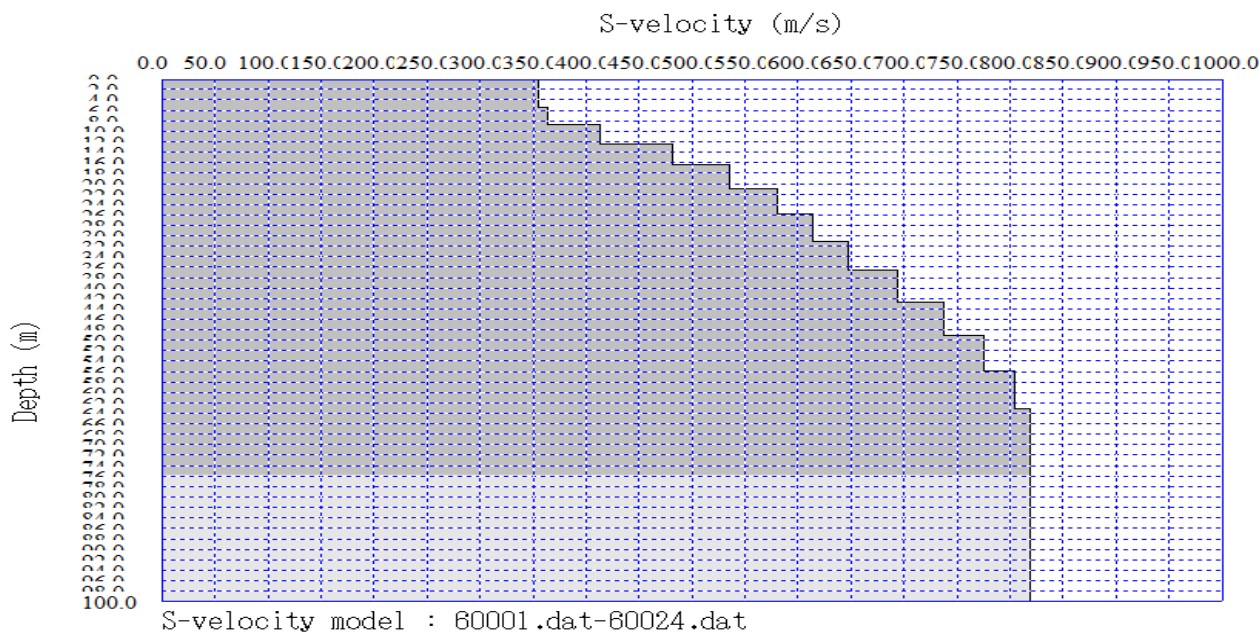


**Σχήμα 2.25:** Γραμμή RTH1, επιλεγμένη καμπύλη διασποράς.

Ακολουθώς πραγματοποιείται μετασχηματισμός των αρχικών καταγραφών στο χώρο. Τέλος, μέσω επαναληπτικής διαδικασίας προσαρμογής της θεωρητικής καμπύλης διασποράς στην πειραματική προκύπτει η ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 2.26, 2.27)

Press Enter key to continue Surface Wave Analysis Wizard.

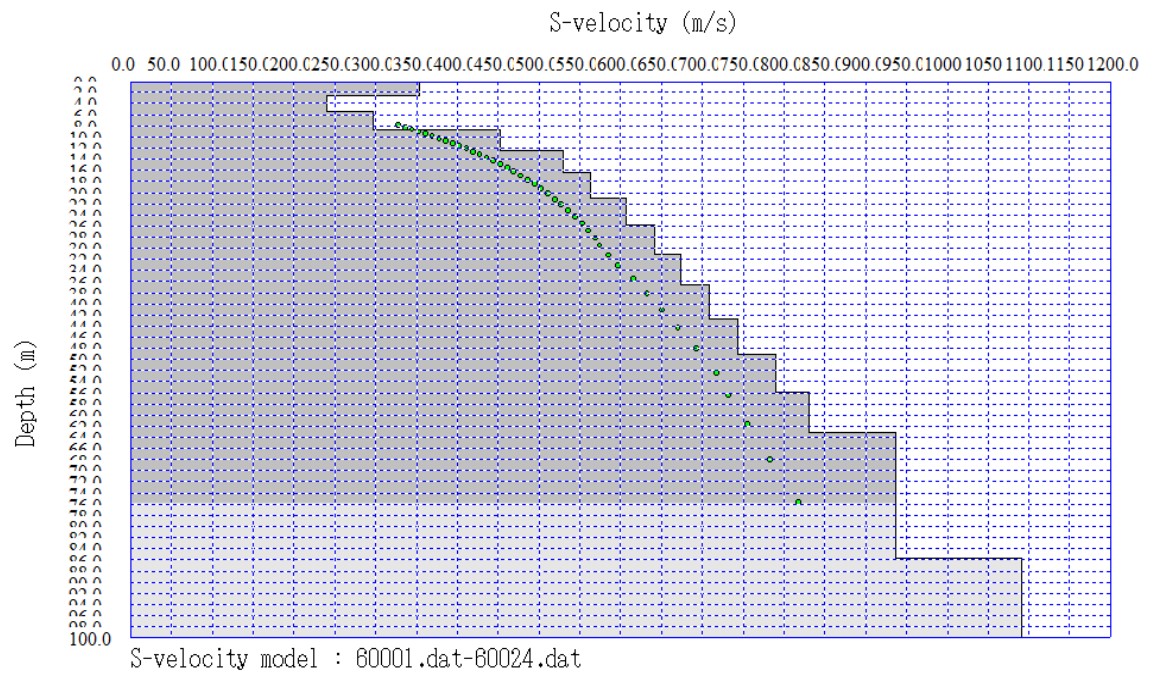
1D MASW analysis



**Σχήμα 2.26:** Γραμμή RTH1, αρχικό μοντέλο (κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος) για τη μέθοδο Re-Mi.

Press Enter key to continue Surface Wave Analysis Wizard.

1D MASW analysis



Σχήμα 2.27: Γραμμή RTHI, τελικό μοντέλο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 3.1 ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του αρχαιολογικού μουσείου το οποίο βρίσκεται στο λόφο του φρουρίου στο Ρέθυμνο (RTHE) και στην περιοχή του νοσοκομείου στο Ρέθυμνο (RTH1). Στον Πίνακα 3.1 δίνονται οι συντεταγμένες των γραμμών μελέτης της σεισμικής διάθλασης στην περιοχή του αρχαιολογικού μουσείου στο Ρέθυμνο (RTHE) ενώ στον Πίνακα 3.2 δίνονται οι συντεταγμένες στην περιοχή του νοσοκομείου στο Ρέθυμνο (RTH1) για την ηλεκτρική τομογραφία και τη σεισμική γραμμή μελέτης. Στον πίνακα 3.3 απεικονίζονται οι συντεταγμένες της γεώτρησης στο νομό Ρεθύμνου (RTH1) και συγκεκριμένα στην περιοχή του νοσοκομείου. Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι θέσεις των γραμμών μελέτης της σεισμικής διάθλασης στην περιοχή RTHE του Ρεθύμνου. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται οι θέσεις των δύο γραμμών μελέτης της ηλεκτρικής τομογραφίας, της σεισμικής γραμμής μελέτης καθώς και της γεώτρησης στην περιοχή RTH1 του Ρεθύμνου.

**Πίνακας 3.1:** Συντεταγμένες των γραμμών μελέτης της σεισμικής διάθλασης στην περιοχή RTHE του Ρεθύμνου (Seismic Line 1).

γραμμή μελέτης	θέση	X (ΕΓΣΑ '87)	Y (ΕΓΣΑ '87)	Z
σεισμική γραμμή	αρχή	542686,750	3914020,850	16,000
	τέλος	542753,200	3914026,500	14,000





**Σχήμα 3.1:** Θέσης της γραμμής μελέτης της σεισμικής διάθλασης (πράσινη γραμμή) στην περιοχή RTHE του νομού Ρεθύμνου. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η θέση του επιταχυνσιογράφου.

**Πίνακας 3.2:** Συντεταγμένες στην περιοχή RTH1 του Ρεθύμνου των δύο γραμμών ηλεκτρικής τομογραφίας (ERT1, ERT2), τη σεισμική τομογραφία (Seismic Line 1) και 2D MASW.

γραμμή μελέτης	θέση	X (ΕΓΣΑ '87)	Y (ΕΓΣΑ '87)	Z
ηλεκτρική τομογραφία (ERT 1)	αρχή	542893,530	3913443,160	20,990
	τέλος	542759,600	3913391,700	27,360
ηλεκτρική τομογραφία (ERT 2)	αρχή	542764,650	3913532,140	25,700
	τέλος	542764,150	3913393,880	28,630
σεισμική γραμμή	αρχή	542862,080	3913427,750	24,940
	τέλος	542801,550	3913400,240	27,520

**Πίνακας 3.3:** Συντεταγμένες γεώτρησεις στην περιοχή RTH1 του Ρεθύμνου.

Ρεθύμνο (RTH1)	X	Y
Συντεταγμένες γεώτρησης	542763	3913394



**Σχήμα 3.2:** Θέσεις των γραμμών μελέτης της ηλεκτρικής τομογραφίας (μωβ και κόκκινη γραμμή), της σεισμικής γραμμής μελέτης (πράσινη γραμμή), καθώς και της γεώτρησης στην περιοχή RTH1 του Ρεθύμνου.

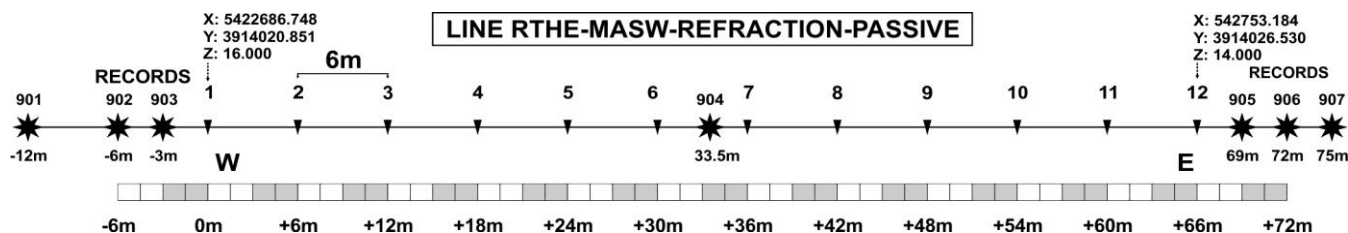
## 3.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 3.2.1 Θέση RTHE

Για τις περιοχές μελέτης του νομού Ρεθύμνου τόσο στην περιοχή του αρχαιολογικού μουσείου το οποίο βρίσκεται στο λόφο του φρουρίου (RTHE) όσο και στην περιοχή του νοσοκομείου (RTH1) συλλέχθηκαν δεδομένα ηλεκτρικής τομογραφίας, σεισμικής διάθλασης, πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh (MASW), καθώς επίσης και δεδομένα με τη μέθοδο Refraction-Microtremor (Re-Mi). Για τα γεωφυσικά δεδομένα με την μέθοδο της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων και της σεισμικής διάθλασης στην περιοχή του αρχαιολογικού μουσείου το οποίο βρίσκεται στο λόφο του φρουρίου (RTHE) (Σχήμα 3.3) πραγματοποιήθηκε γραμμή μελέτης με διεύθυνση από τη δύση στην ανατολή, χρησιμοποιώντας 12 γεώφωνα κατακόρυφης ιδιοσυχνότητας 4,5 Hz. Ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 0,125ms, με διάρκεια καταγραφής 1000ms, η ισαπόσταση γεωφώνων ήταν 6m καθώς και το συνολικό μήκος αναπτύγματος γεωφώνων ήταν 66m. Τέλος, ως σεισμική πηγή χρησιμοποιήθηκε βαριοπούλα 8kg καθώς και ο σειсмоγράφος ήταν 12κάναλος GEODE της Geometrics. Για την απόκτηση των γεωφυσικών δεδομένων με την μέθοδο Refraction-Microtremor στην ίδια περιοχή (RTHE) χρησιμοποιήθηκε το ίδιο ανάπτυγμα γεωφώνων και ο



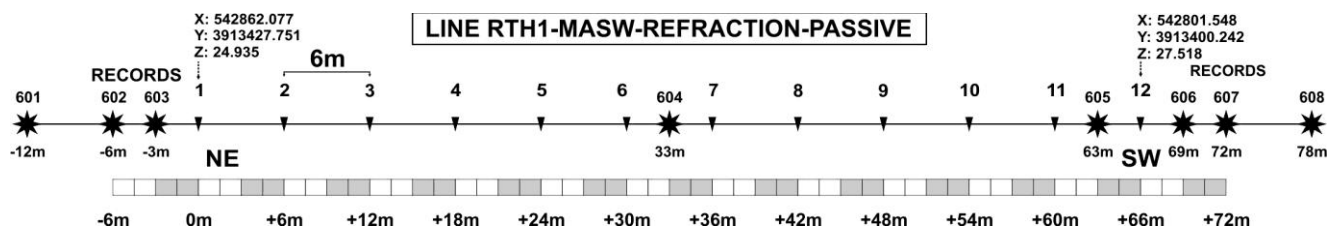
ίδιος εξοπλισμός (εκτός από τη σεισμική πηγή) με τη μόνη διαφορά ότι ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 2ms, η διάρκεια καταγραφής 32.768 ms, ενώ αποκτήθηκαν επίσης 24 καταγραφές (FFID: 90001 - 90024) μικροθορύβου.



Σχήμα 3.3: Γεωμετρία της σεισμικής γραμμής μελέτης στην περιοχή RTHE του Ρεθύμνου.

### 3.2.2 Θέση RTH1

Για τα γεωφυσικά δεδομένα με την μέθοδο πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων και τις σεισμικής διάθλασης στην περιοχή (RTH1) του Ρεθύμνου (σχήμα 3.4) πραγματοποιήθηκε γραμμή μελέτης με διεύθυνση από βορειοανατολικά προς νοτιοδυτικά, χρησιμοποιώντας 12 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας με ιδιοσυχνότητα 4,5Hz. Ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 0.125ms με διάρκεια καταγραφής 1000ms, η ισαπόσταση γεωφώνων ήταν 6m και το συνολικό μήκος αναπτύγματος γεωφώνων ήταν 66m. Επίσης, ως σεισμική πηγή χρησιμοποιήθηκε βαριοπούλα 8kg καθώς και ο σειсмоγράφος ήταν 12κάναλος GEODE της Geometrics. Για τα γεωφυσικά δεδομένα με την μέθοδο Refraction-Microtremor στην περιοχή (RTH1) πραγματοποιήθηκε γραμμή μελέτης με διεύθυνση από βορειοανατολικά προς νοτιοδυτικά, χρησιμοποιώντας 12 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας με ιδιοσυχνότητα 4,5Hz. Ο ρυθμός δειγματοληψίας ήταν 2ms με διάρκεια καταγραφής 32.768 ms, ο αριθμός εγγραφών ήταν 24 (FFID: 60001 - 60024), η ισαπόσταση γεωφώνων ήταν 6m και το συνολικό μήκος αναπτύγματος γεωφώνων ήταν 66m. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκε το ίδιο ανάπτυγμα γεωφώνων όπως στη μέθοδο Refraction-Microtremor καταγράφηκε μικροθόρυβος χωρίς την δημιουργία τεχνητής δόνησης. Στην ηλεκτρική τομογραφία είχαμε δύο γραμμές τις ERT1 και ERT2, οι διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη γραμμή (ERT1) ήταν η διάταξη Dipole-Dipole (Διπόλου-Διπόλου), η διάταξη Wenner-Schlumberger και η διάταξη Wenner-Schlumberger ανεστραμμένη, ενώ οι διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν στην δεύτερη γραμμή (ERT2) ήταν η διάταξη Dipole-Dipole (Διπόλου-Διπόλου) και η διάταξη Wenner-Schlumberger. Η πρώτη γραμμή μελέτης ERT1 με διεύθυνση βορειοανατολικά προς νοτιοδυτικά, ενώ η δεύτερη γραμμή μελέτης ERT2 με διεύθυνση βόρεια προς νότια. Το όργανο μέτρησης ήταν το Syscal Pro της IRIS με χρήση 48 ηλεκτροδίων σε ισαποστάσεις των 3m και μήκος γραμμής 141 m.



Σχήμα 3.4: Γεωμετρία της σεισμικής γραμμής μελέτης στην περιοχή RTH1 του Ρεθύμνου.

### 3.3 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται δεδομένα της γεώτρησης που διατρήθηκε στην περιοχή του νοσοκομείου (RTH1) στο νομό Ρεθύμνου. Η γεώτρηση έγινε με συνεχή πυρηνοληψία ενώ πραγματοποιήθηκαν επί τόπου δοκιμές εντός της γεώτρησης. Οι συντεταγμένες της γεώτρησης φαίνονται στον Πίνακα 3.6. Η δειγματοληψία έγινε με διαιρούμενη καροταρία διπλού τοιχώματος T6S-101 στα ημίσκληρα και σκληρά πετρώματα. Στα μαλακά πετρώματα επιδιώχθηκε η λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων με δειγματολήπτη τύπου Shelby. Η διαδικασία αυτή προϋποθέτει χαμηλές κρούσεις κατά την δοκιμή SPT στη συγκεκριμένη γεωλογική στρώση, με μαλακούς γενικά εδαφικούς σχηματισμούς. Αυτός είναι και ο λόγος που η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε επιλεκτικά και όχι στο σύνολο των αργιλικών σχηματισμών, όπως και στην συγκεκριμένη περιοχή γεώτρησης RTH1 όπου στο βάθος από 19,00 – 30,00m εμφανίζεται σκληρή μάργα γκρίζου χρώματος. Στο σχήμα 3.5 αναγράφονται τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT. Στη γεώτρηση της περιοχής του νοσοκομείου (RTH1) του Ρεθύμνου (σχήμα 3.5) παρατηρούνται τρεις σχηματισμοί. Ο πρώτος επιφανειακός σχηματισμός απαντάται σε βάθος από 0 έως 4m, και αποτελείται από Τεταρτογενείς αποθέσεις. Πρόκειται για ποταμοχειμάρρεια εδαφικά υλικά αργιλοαμμώδους σύστασης με ανδρομερή στοιχεία όπως (ψηφίδες, χάλκες και αραιές κροκάλες) ανθρακικής κυρίως προέλευσης. Ο δεύτερος σχηματισμός απαντάται σε μεγαλύτερο από 4m έως και τα 14m της γεώτρησης και αποτελείται από μάργες του Νεογενούς, ανοιχτότεφρες έως μελανότεφρες, μαλακές. Και τέλος ο τρίτος σχηματισμός σε βάθος μεγαλύτερο από 14,40 m έχει στιφρές μάργες. Πρόκειται για συνεκτικούς γενικά σχηματισμούς με καλή γεωμηχανική συμπεριφορά και πολύ χαμηλή υδροπερατότητα.


Στη συνέχεια ακολουθούν Πίνακες 3.4 και 3.5 που απεικονίζουν τα δεδομένα Πρότυπης Δοκιμής Διείσδυσης (Standard Penetration Test), όπως επίσης και οι δοκιμές περατότητας (Maag) για την περιοχή RTH1 του νομού Ρεθύμνου.

**Πίνακας 3.4:** Βάθος δοκιμών Πρότυπης Διείσδυσης γεώτρησης για την περιοχή RTH1 του Ρεθύμνου.

RTH1	2,00- 2,45.	4,30- 4,75.	6,00- 6,45.	9,60- 10,05	13,20- 13,62	18,40- 18,85
NSPT	9/15,7/15. 9/15	20/15,26/15. 2/15	8/15,11/15. 11/15	8/15,11/15. 26/15	12/12,25/12. 50/12	15/15,20/15. 25/15

**Πίνακας 3.5:** Βάθος δοκιμών περρατότητας (Maag) για την γεώτρηση στην περιοχή RTH1 του νομού Ρεθύμνου.

RTH1	4,00 – 4,50 μ
------	---------------

 <b>ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ</b> <b>ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ</b> ΕΓΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ-ΥΑΦΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9, 157 80 ΣΩΓΓΡΑ-ΟΥ, ΑΘΗΝΑ		<b>ΕΡΓΟ: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ</b> <b>ΑΝΑΘΕΤΟΥΣΑ ΑΡΧΗ:</b>	
<b>ΜΗΤΡΩΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ / BOREHOLE LOG</b> Χ.Θ. / CH.:		<b>ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE</b> <b>RTH1</b>	
ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΟ / DRILLING RIG: ΕΡΓΟΔΗΓΟΣ / FOREMAN: ΧΕΙΡΙΣΤΗΣ / DRILLER:		ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ / DATES ΕΝΑΡΞΗ / START    ΛΗΞΗ / END / /                    / /	
		ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ COORDINATES X:                    Y:                    Z:	
		ΥΨΟΜΕΤΡΟ ALTITUDE 30	
		ΚΛΙΣΗ INCLINATION Κατακόρυφη / Vertical	
ΒΑΘΟΣ DEPTH m	ΕΙΣΟΣ-ΜΑΚ ΚΟΡΤΙΝΙΟΥ CORE BARREL - BIT ΣΟΛΗΝΟΣΗ CASING ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ / ΚΛΙΣΜΟΜΕΤΡΟ PRESSOMETER / INCLINOMETER ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΟΓ. ΥΔΑΤΩΝ GROUND WATER LEVEL ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ LOG	ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΑ CORE RECOVERY % 0 50 100	ΡΟΔ % 0 50 100
	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ DESCRIPTION	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΣΑΡΩΣΗΣ WEATHERING 1 2 3 4	ΔΙΑΚΛΑΣΕΙΣ / m DISCONTINUITIES / m
		ΕΠΙΤΟΠΙΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ IN SITU TESTS ΠΡΟΤ. ΔΟΚ. ΔΙΕΞΕΛΞΗΣ S.P.T. ΔΟΚΙΜΗ ΜΑΑΓ MAAG TEST ΔΟΚΙΜΗ ΛΥΓΕΩΝ LUGEON TEST ΑΝΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ SAMPLE NUMBER ΒΑΘΟΣ / ΕΒΔΟΣ ΔΕΙΓΜ. SAMPLE DEPTH / TYPE	
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

Φ: Φραγμός / Core  
 Δ: Διαταραγμένο δείγμα / Disturbed sample  
 Α: Αδιατάρακτο δείγμα / Undisturbed sample

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

ΟΙ ΓΕΩΛΟΓΟΙ

**Σχήμα 3.5:** Τομή γεώτρησης στο νομό Ρεθύμνου (περιοχή RTH1) που απεικονίζει πυρηνοληψία, βαθμό αποσάθρωσης, δοκιμή SPT, δοκιμή Maag.

### **3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

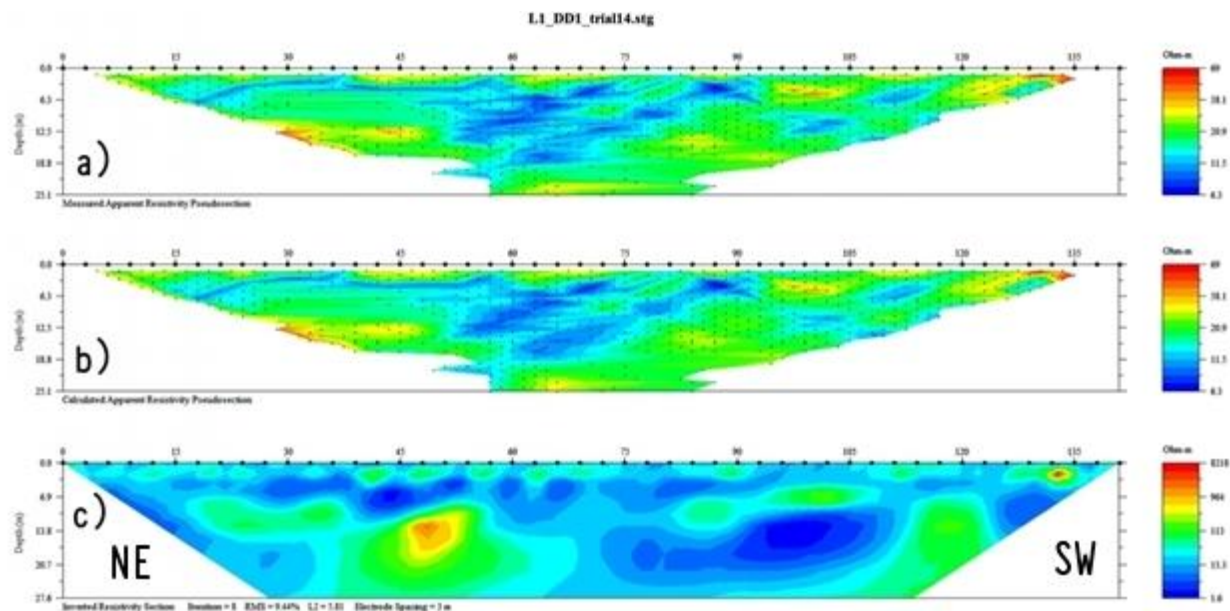
#### **3.4.1 Αποτελέσματα ηλεκτρικής τομογραφίας**

Η μέθοδος της αντιστροφής με περιορισμούς εξομάλυνσης αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο για την ερμηνεία γεωηλεκτρικών δεδομένων και για την ανακατασκευή ακόμα και πολύπλοκων δομών του υπεδάφους σε δύο και τρεις διαστάσεις. Το πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή του Ρεθύμνου για πέντε διατάξεις (L1DD1, L1INVSC, L1WS, L2DD, L2WS), στις οποίες θα γίνει η ίδια ακριβώς διαδικασία που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2.1.3, με την διαφορά ότι θα εμφανιστούν μόνο οι εικόνες από τα τελικά τους μοντέλα, οι αρχικές και τελικές μετρήσεις μετά την μείωση που έγινε, όπως επίσης το αρχικό και τελικό σφάλμα.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της ηλεκτρικής τομογραφίας, όπου απεικονίζεται η μετρούμενη ψευδοτομή και η υπολογισμένη ψευδοτομή, η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος. Τέλος παρουσιάζεται η γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την κάθε γραμμή μελέτης. Παρουσιάζεται επίσης το μέσο εκατοστιαίο σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και της υπολογισμένης ψευδοτομής.

Η συλλογή δεδομένων με τη μέθοδο ηλεκτρικής τομογραφίας, Γραμμή L1, στην περιοχή του νοσοκομείου (RTH1) στο νομό Ρεθύμνου πραγματοποιήθηκε με τρεις διατάξεις: τη διάταξη α) Dipole - Dipole (Διπόλου – Διπόλου) (σχήματα 3.6 και 3.7), b) Wenner - Schlumberger (σχήματα 3.8 και 3.9) και c) Wenner - Schlumberger ανεστραμμένη (σχήματα 3.10).

Στην περιοχή του Ρεθύμνου για την γραμμή L1DD1 ξεκινήσαμε με 907 μετρήσεις και καταλήξαμε σε 668 κάνοντας μείωση 11 φορές (αφαίρεση 239). Το σφάλμα μας αρχικά ήταν  $RMS=36,19\%$  και έφτασε στο  $RMS=9,44\%$ .

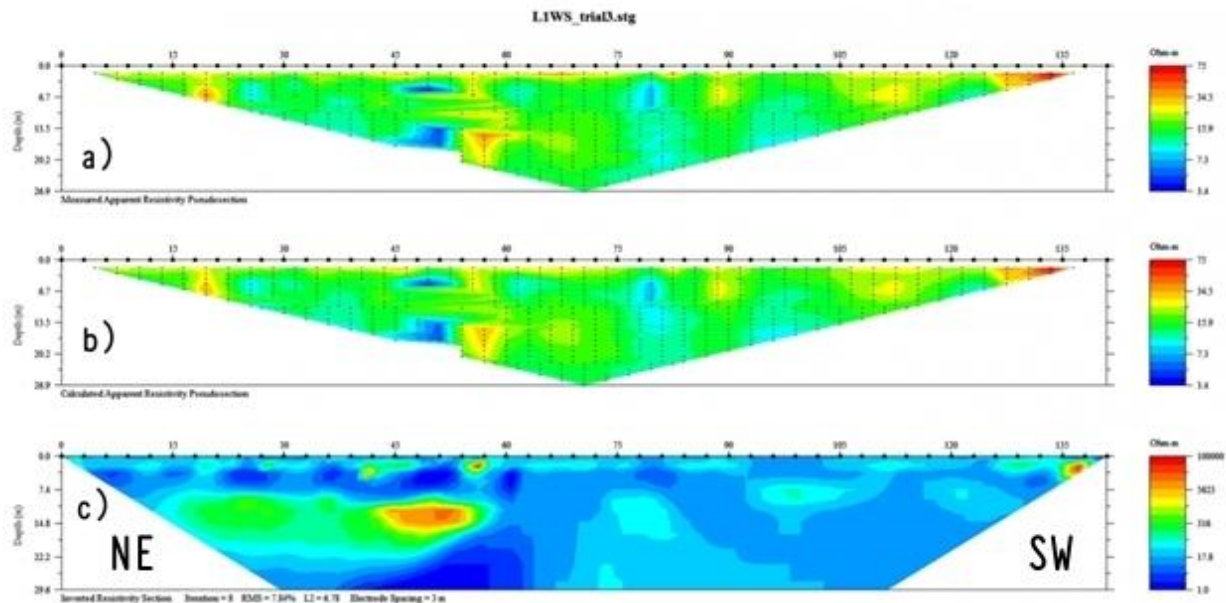


**Σχήμα 3.6:** α) Μετρούμενη, β) υπολογισμένη ψευδοτομή και γ) γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την περιοχή (RTH1) του νομού Ρεθύμνου, με τη χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Διπόλου - Διπόλου. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 9,44%. Ο κάθετος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους σε m, ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης σε m και η χρωματική κλίμακα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε  $\Omega\text{hm}$ .

Στα σχήματα παρατηρείται ότι τα στρώματα για κάθε γραμμή μελέτης στην ηλεκτρική τομογραφία είναι τρία.



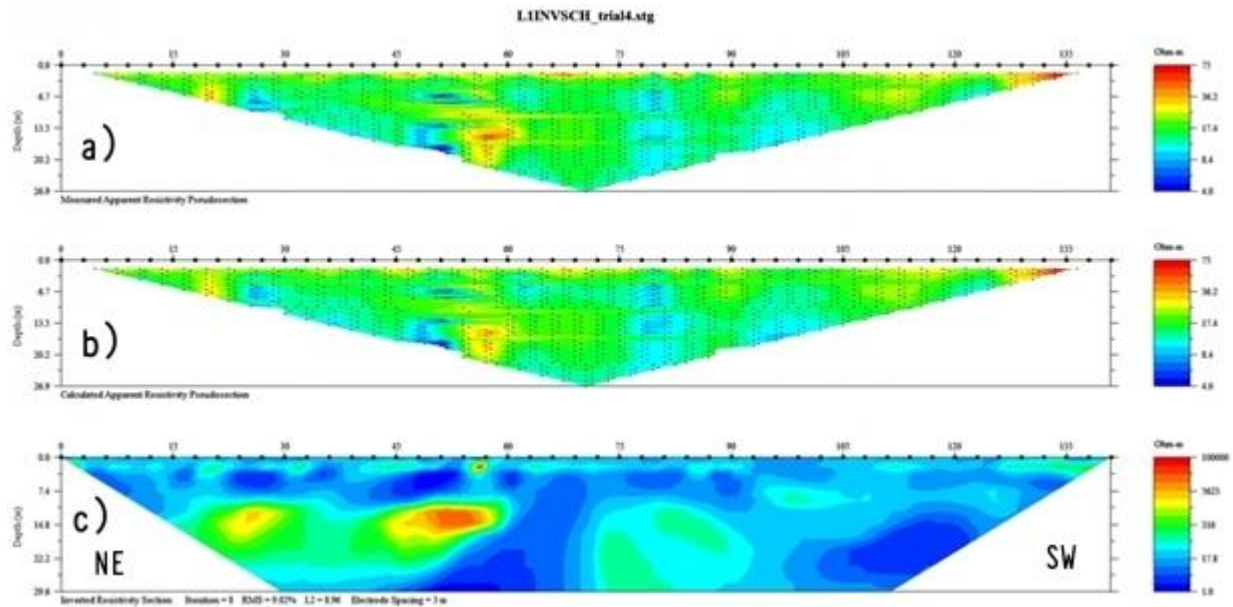
Στην περιοχή του Ρεθύμνου για την γραμμή L1WS ξεκινήσαμε με 549 μετρήσεις και καταλήξαμε σε 503 κάνοντας μείωση 3φορές(αφαίρεση 46). Το σφάλμα μας αρχικά ήταν  $RMS=19,07\%$  και έφτασε στο  $RMS=7,84\%$ .



**Σχήμα 3.7:** α) Μετρούμενη, β) υπολογισμένη ψευδοτομή και γ) γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την περιοχή (RTH1) του νομού Ρεθύμνου, με τη χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Wenner- Schlumberger. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 7,84%. Ο κάθετος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους σε m, ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης σε m και η χρωματική κλίμακα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε  $\Omega m$ .

Στα σχήματα παρατηρείται ότι τα στρώματα για κάθε γραμμή μελέτης στην ηλεκτρική τομογραφία είναι τρία.

Στην περιοχή του Ρεθύμνου για την γραμμή L1INVSC14 ξεκινήσαμε με 949 μετρήσεις και καταλήξαμε σε 884 κάνοντας μείωση 4 φορές (αφαίρεση 65). Το σφάλμα μας αρχικά ήταν  $RMS=18,62\%$  και έφτασε στο  $RMS=9,02\%$ .

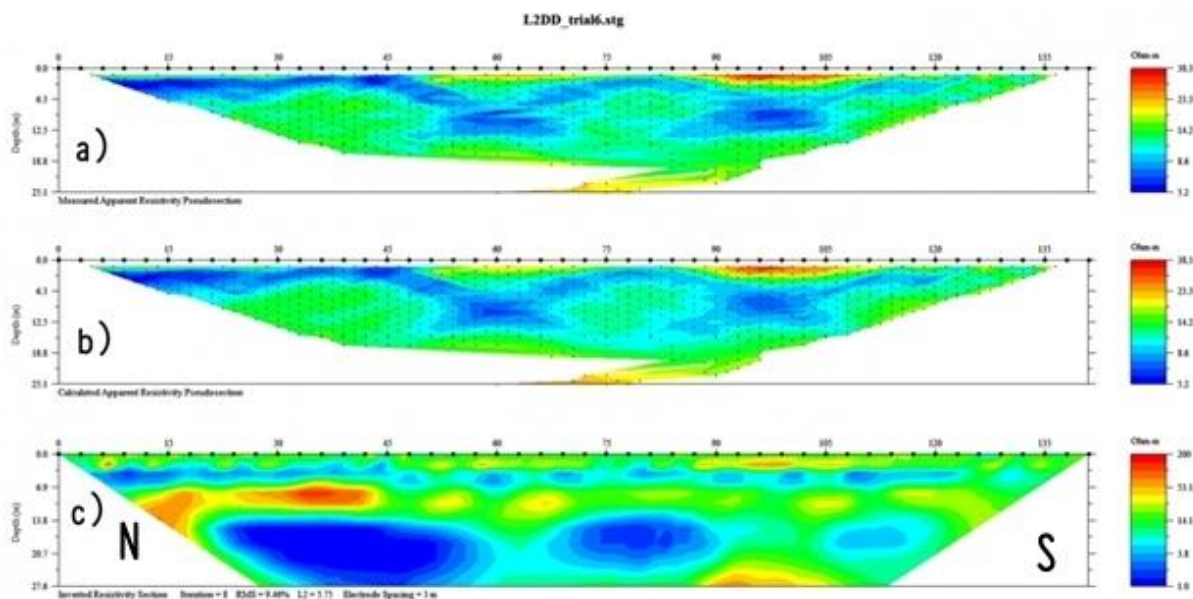


**Σχήμα 3.8:** α) Μετρούμενη, β) υπολογισμένη ψευδοτομή και γ) γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την περιοχή (RTH1) του νομού Ρεθύμνου, με τη χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Gradient. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 9,02%. Ο κάθετος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους σε m, ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης σε m και η χρωματική κλίμακα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε  $\Omega m$ .

Στα σχήματα παρατηρείται ότι τα στρώματα για κάθε γραμμή μελέτης στην ηλεκτρική τομογραφία είναι τρία.

Η συλλογή δεδομένων με τη μέθοδο ηλεκτρικής τομογραφίας, Γραμμή L2, στην περιοχή του νοσοκομείου (RTH1) στο νομό Ρεθύμνου πραγματοποιήθηκε με δύο διατάξεις: η διάταξη α) Dipole - Dipole (Διπόλου – Διπόλου) (σχήματα 3.6 και 3.7), b) Wenner - Schlumberger (σχήματα 3.8 και 3.9).

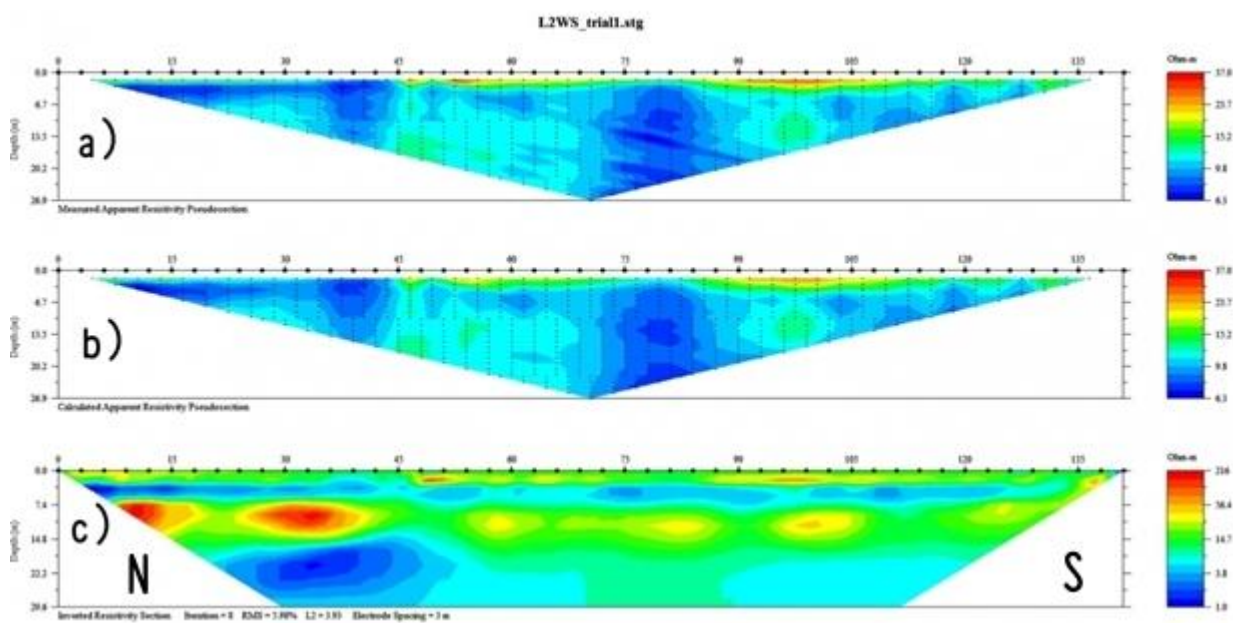
Στην περιοχή του Ρεθύμνου για την γραμμή L2DD ξεκινήσαμε με 907 μετρήσεις και καταλήξαμε σε 782 κάνοντας μείωση 6φορές(αφαίρεση 125). Το σφάλμα μας αρχικά ήταν  $RMS=19,22\%$  και έφτασε στο  $RMS=9,46\%$ .



**Σχήμα 3.9:** α) Μετρούμενη, β) υπολογισμένη ψευδοτομή και γ) γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την περιοχή (RTH1) του νομού Ρεθύμνου, με τη χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Διπόλου - Διπόλου. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 9,46%. Ο κάθετος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους σε m, ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης σε m και η χρωματική κλίμακα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε  $\Omega m$ .

Στα σχήματα παρατηρείται ότι τα στρώματα για κάθε γραμμή μελέτης στην ηλεκτρική τομογραφία είναι τρία.

Στην περιοχή του Ρεθύμνου για την γραμμή L2WS ξεκινήσαμε με 549 μετρήσεις και παραμείναμε στις ίδιες διότι το σφάλμα μας ήταν είδη πολύ ικανοποιητικό και δεν αφαιρέθηκε τίποτα, έγινε κατευθείαν αντιστροφή. Το σφάλμα μας ήταν και παρέμεινε  $RMS=5,98$ .



**Σχήμα 3.10:** α) Μετρούμενη, β) υπολογισμένη ψευδοτομή και γ) γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την περιοχή (RTH1) του νομού Ρεθύμνου, με τη χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Wenner- Schlumberger. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 5,98%. Ο κάθετος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους σε m, ο οριζόντιος το μήκος της γραμμής μελέτης σε m και η χρωματική κλίμακα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε  $\Omega m$ .

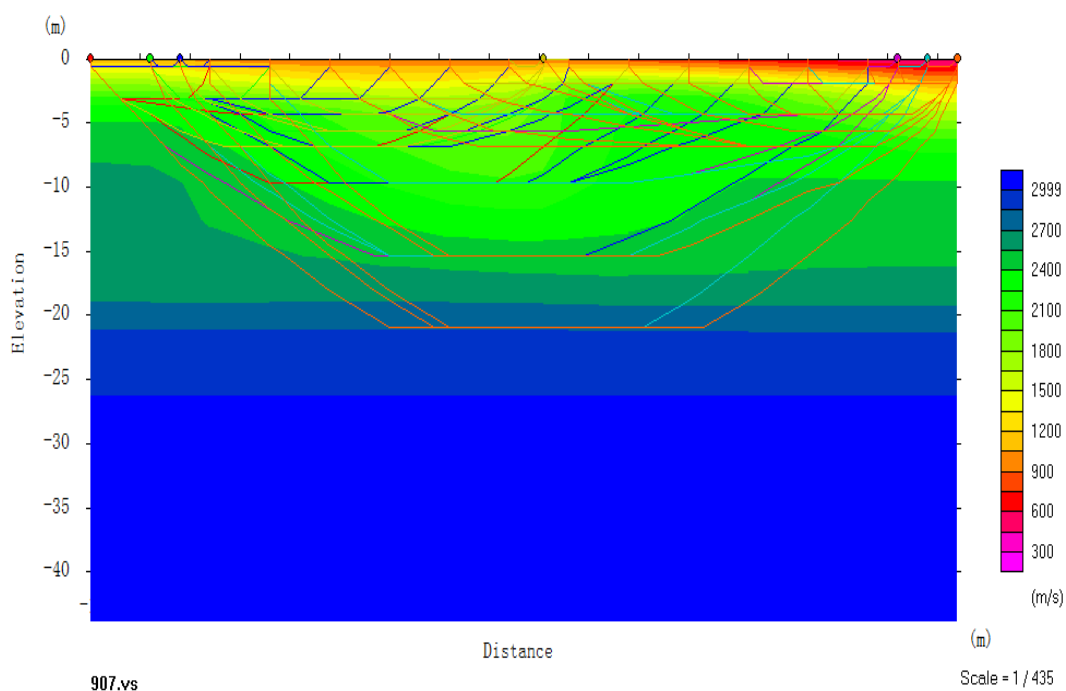
Στα σχήματα παρατηρείται ότι τα στρώματα για κάθε γραμμή μελέτης στην ηλεκτρική τομογραφία είναι τρία.

### 3.4.2 Αποτελέσματα σεισμικής διάθλασης

Ακολουθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της σεισμικής διάθλασης όπου απεικονίζεται το τελικό μοντέλο βάθους που φαίνονται οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Στα σχήματα 3.11 και 3.12 απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου 20m για την περιοχή αρχαιολογικού μουσείου το οποίο βρίσκεται στο λόφο του φρουρίου στο Ρέθυμνο (RTHE) (σχήμα 3.11) και 30m για την περιοχή του νοσοκομείου στο Ρέθυμνο (RTH1) (σχήμα 3.12). Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Στο σχήμα 3.11 η σεισμική γραμμή μελέτης RTHE έχει διεύθυνση από Δ προς Α. Αποτελείται από ένα ανάπτυγμα 12 γεωφώνων μήκους 66m. Το 1<sup>ο</sup> και το 12<sup>ο</sup> γεωφώνο τοποθετήθηκαν στα 0m και στα 66m από την αρχή της γραμμής μελέτης αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τα 5m υπάρχει ένα στρώμα που παρουσιάζει μικρές ταχύτητες διάδοσης (έως 1000 m/s περίπου). Κάτω από αυτό το στρώμα υπάρχει ένα δεύτερο με μεγαλύτερες ταχύτητες (φτάνουν τα 2400 m/s) που εκτείνεται σε μέσο βάθος 20m. Το τρίτο στρώμα παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες (πάνω από 2400 m/s).

No editing

Smooth model : # of layers = 15

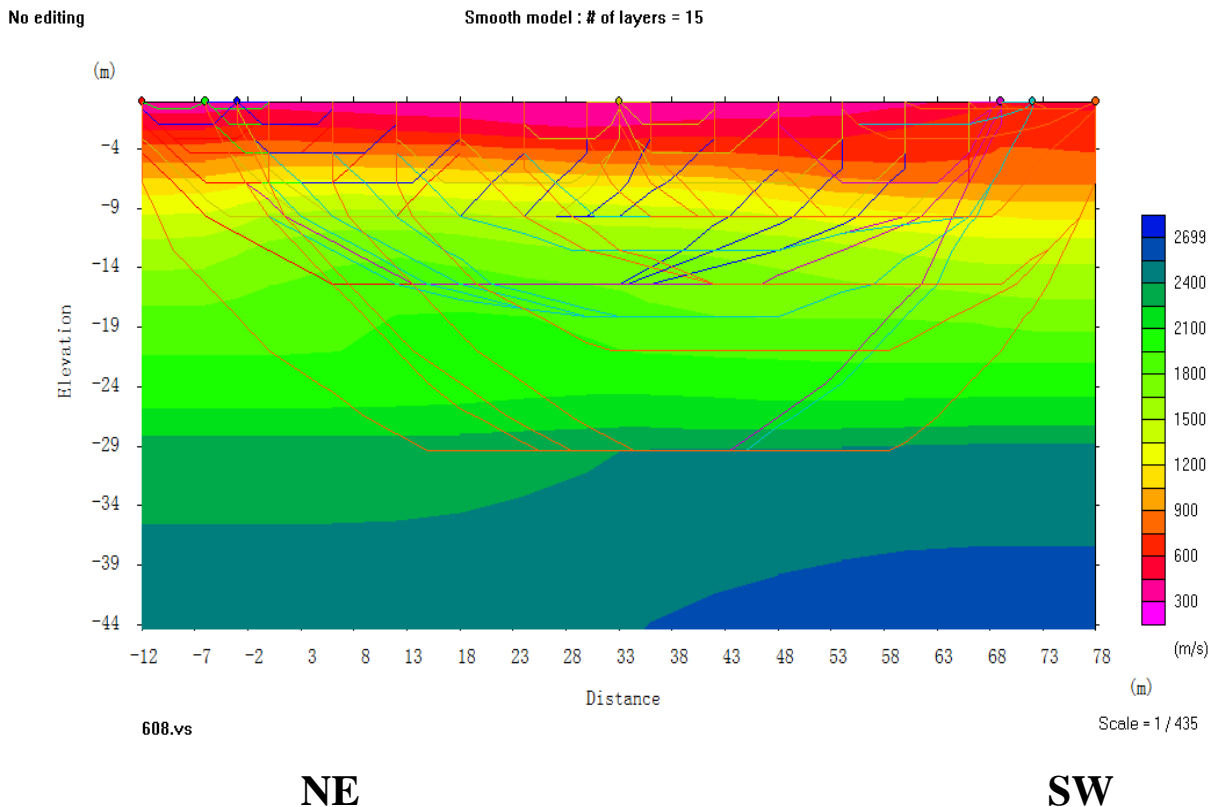


W

E

**Σχήμα 3.11:** Σεισμική τομή για την περιοχή (RTHE) που προέκυψε από την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος τις αποστάσεις κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά δείχνει τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (P-κυμάτων)(σε m/s).

Στο σχήμα 3.12 η σεισμική γραμμή μελέτης RTH1 έχει διεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ. Αποτελείται από ένα ανάπτυγμα 12 γεωφώνων μήκους 66m. Το 1<sup>ο</sup> και το 12<sup>ο</sup> γεωφώνο τοποθετήθηκαν στα 0m και στα 66m από την αρχή της γραμμής μελέτης αντίστοιχα, παρατηρείται ότι από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τα 10m υπάρχει ένα στρώμα που παρουσιάζει μικρές ταχύτητες διάδοσης (έως 1500 m/s περίπου). Κάτω από αυτό το στρώμα υπάρχει ένα δεύτερο με μεγαλύτερες ταχύτητες (φτάνουν τα 2400 m/s) που εκτείνεται σε μέσο βάθος 28m. Το τρίτο στρώμα, που εκτείνεται σε βάθος μεγαλύτερο από αυτό της διασκόπησης, παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες (πάνω από 2400 m/s).

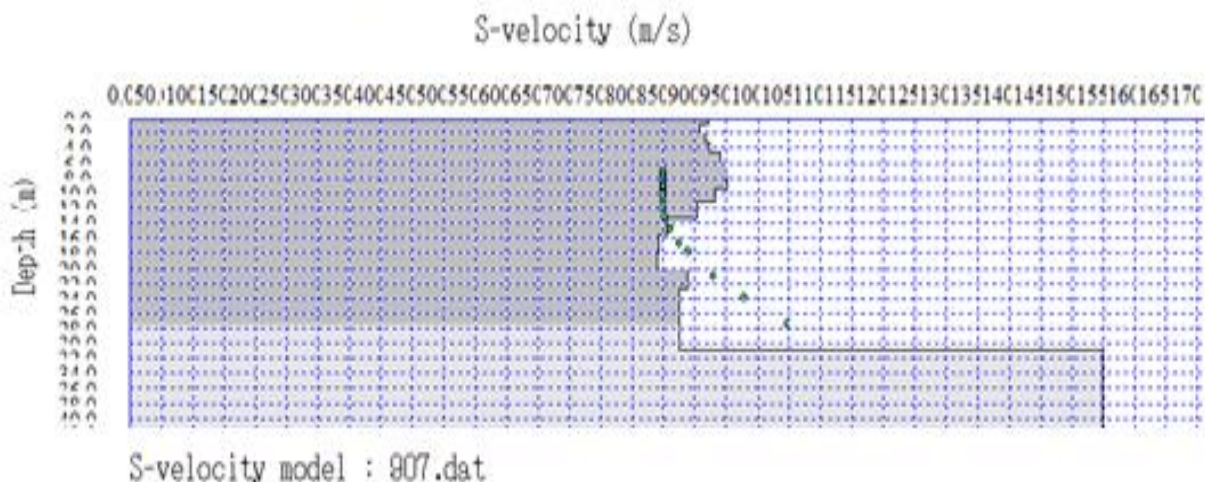


**Σχήμα 3.12:** Σεισμική τομή για την περιοχή (RTH1) που προέκυψε από την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνει του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος τις αποστάσεις κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά δείχνει τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (P-κυμάτων)(σε m/s).

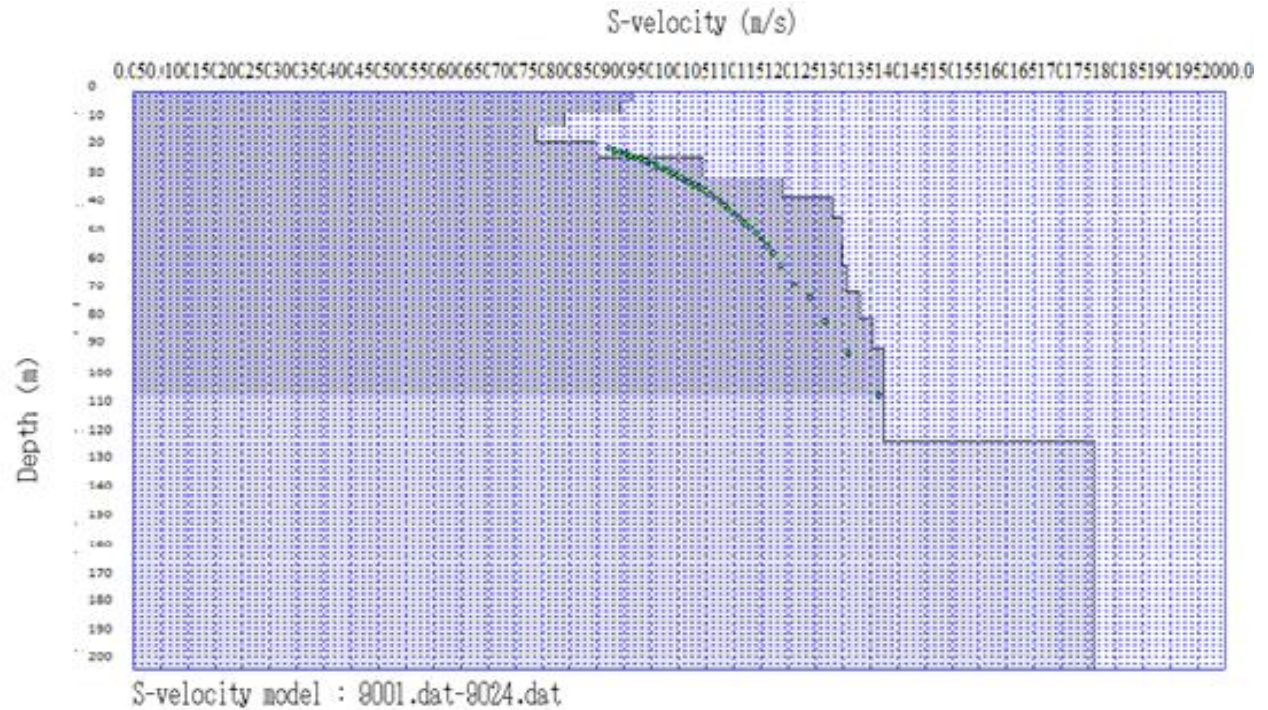


### 3.4.3 Αποτελέσματα MASW και Re-Mi

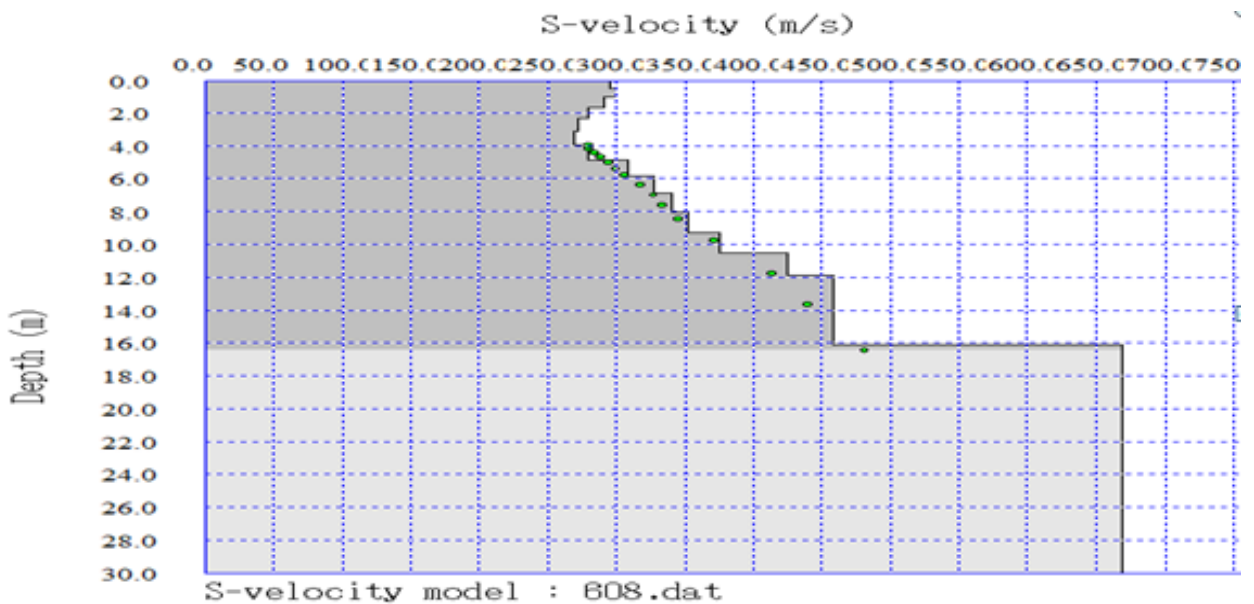
Ακολουθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της MASW. Στα σχήματα 3.13, 3.14, 3.15 και 3.16 απεικονίζονται τα τελικά μοντέλα με οριζόντιο άξονα την ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων (m/s) και κατακόρυφο άξονα το βάθος (m) από την επιφάνεια του εδάφους. Στο σχήμα 3.13 και 3.14 παρουσιάζονται, για την περιοχή του Ρεθύμνου (RTHE). Στο σχήμα 3.13 στην αρχή παρατηρείται μια αύξηση της ταχύτητας (950m/s) μέχρι τα 6m, από τα 6m έως και τα 8m παρουσιάζεται αύξηση της ταχύτητας (955m/s) από τα 8m έως τα 14m μειώνεται η ταχύτητα στα 800m/s, από τα 18m έως και τα 20m αυξάνεται η ταχύτητα στα 890m/s και από τα 18m είναι σταθερή έως και τα 28m. Στο σχήμα 3.14 παρουσιάζεται στην αρχή μια αύξηση της ταχύτητας στη συνέχεια μείωση της ταχύτητας και μετά πάλι αύξηση της ταχύτητας (850m/s) μέχρι τα 20m, από τα 20m μέχρι τα 30m παρουσιάζεται αύξηση της ταχύτητας και μετά πάλι αύξησή της έως τα 1050m/s στα 45m. Στη συνέχεια η ταχύτητα παραμένει σταθερή μέχρι τα 200m. Στο σχήμα 3.15 και 3.16 παρουσιάζονται για την περιοχή του Ρεθύμνου (RTH1). Στο σχήμα 3.15 παρουσιάζεται στην αρχή ταχύτητα 300m/s μέχρι το 1m, από τα 1m έως και τα 4m παρουσιάζεται μείωση της ταχύτητας (260m/s) και από τα 4m έως τα 16m αυξάνεται η ταχύτητα στα 460m/s όπου παραμένει σταθερή έως και τα 16,5m. Από τα 16,5m έως και τα 30m αυξάνεται η ταχύτητα στα 670m/s όπου παραμένει και σταθερή. Στο σχήμα 3.16 παρουσιάζεται αύξηση και μετά μείωση της ταχύτητας και στη συνέχεια αύξηση της ταχύτητας στα 300m/s στα 8m και από εκεί και κάτω παραμένει σταθερή στα 820m/s περίπου. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι μέχρι το έντονο γκρί του σχήματος παρουσιάζονται αξιόπιστα αποτελέσματα με μέγιστο βάθος στο σημείο εναλλαγής της απόχρωσης του γκρί. Κάτω από το σημείο εναλλαγής της απόχρωσης τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο αξιόπιστα



**Σχήμα 3.13:** Κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος για την περιοχή (RTHE) που προέκυψε με την μέθοδο MASW. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει την ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων (σε m/s).

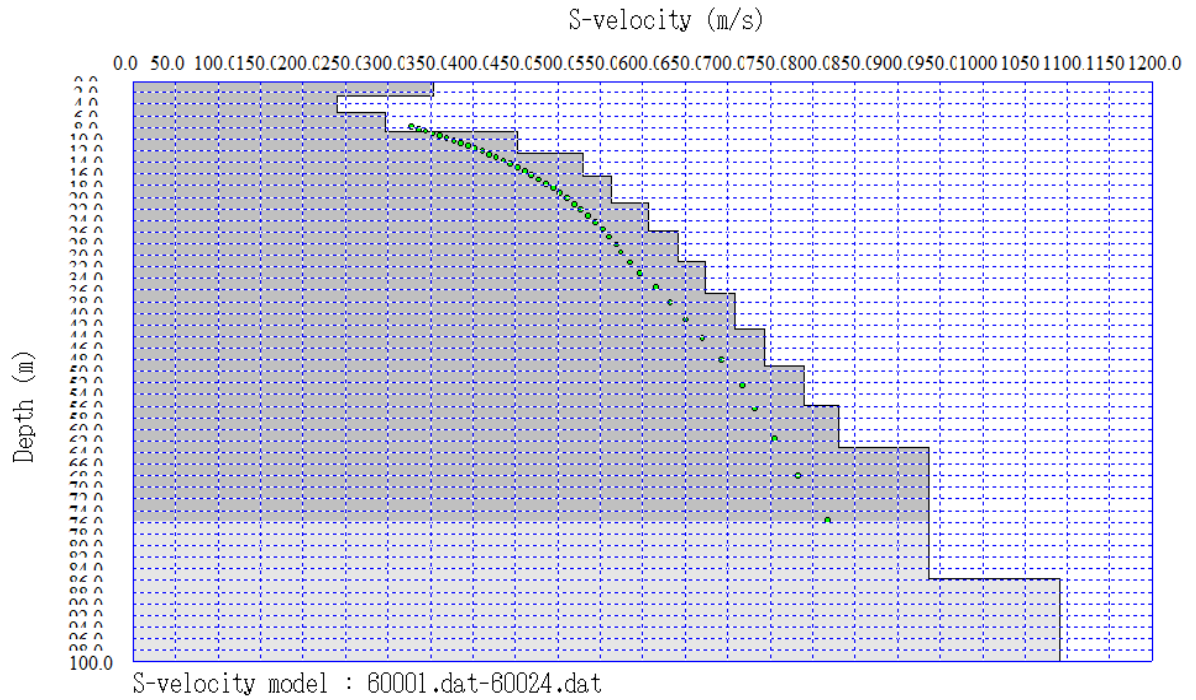


**Σχήμα 3.14:** Κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος για την περιοχή (RTHE) που προέκυψε με την μέθοδο Refraction Microtremor. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει την ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων (σε m/s).



**Σχήμα 3.15:** Κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος για την περιοχή (RTH1) που προέκυψε με την μέθοδο MASW. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει την ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων (σε m/s).





**Σχήμα 3.16:** Κατανομή της ταχύτητας των S-κυμάτων με το βάθος για την περιοχή (RTH1) που προέκυψε με την μέθοδο Refraction Microtremor. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει την ταχύτητα διάδοσης των S-κυμάτων (σε m/s).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην παράγραφο αυτή πραγματοποιείται συνδυαστική αναπαράσταση και ερμηνεία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων. Οι παρακάτω εικόνες απεικονίζουν την υπέρθεση της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, καθώς επίσης και των προφίλ της ταχύτητας των S – κυμάτων. Οι μετρήσεις των S – κυμάτων αντιστοιχούν στο κέντρο της διάταξης των γεωφώνων, δηλαδή της σεισμικής γραμμής μελέτης (λευκή διακεκομμένη γραμμή). Ειδικότερα στο Σχήμα 4.1 απεικονίζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας με τη χρήση της διάταξης Διπόλου - Διπόλου, της σεισμικής διάθλασης αλλά και τα αποτελέσματα των μεθόδων Πολυκάναλης Ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων (MASW) και Διάθλαση Μικροθορύβου (Refraction – Microtremor/Re – Mi) για την κατανομή των ταχυτήτων των S – κυμάτων στην περιοχή μελέτης RTH1 (Νοσοκομείο) για την γραμμή Line 1. Αντίστοιχα, στα Σχήματα 4.2 και 4.3 παρουσιάζονται τα ίδια συγκεντρωτικά αποτελέσματα με την μόνη διαφορά ότι για την ηλεκτρική τομογραφία χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Inverse – Schlumberger και Wenner – Schlumberger αντίστοιχα.

Η γραμμή μελέτης RTH1 – L1 σύμφωνα με τα ευρήματα της γεώτρησης χωρίζεται σε τρία στρώματα. Το πρώτο στρώμα, από την επιφάνεια και μέχρι τα πρώτα 4m, αποτελείται από Τεταρτογενείς αποθέσεις. Πρόκειται για ποταμοχειμάρρεια εδαφικά υλικά αργιλοαμμώδους σύστασης με αδρομερή στοιχεία (ψηφίδες, χάλικες και αραιές κροκάλες) ανθρακικής κυρίως προέλευσης.

Στο δεύτερο στρώμα, από τα 4 -14 m παρατηρούνται μάργες του Νεογενούς οι οποίες αποτελούνται από τεφρόλεφκο έως τεφρού χρώματος στιφρές μάργες, με παρεμβολές διαστρώσεων άμμου ποικίλης διαγένεσης, καθώς και διάσπαρτους χάλικες και κροκάλες ασβεστολιθικής προέλευσης.

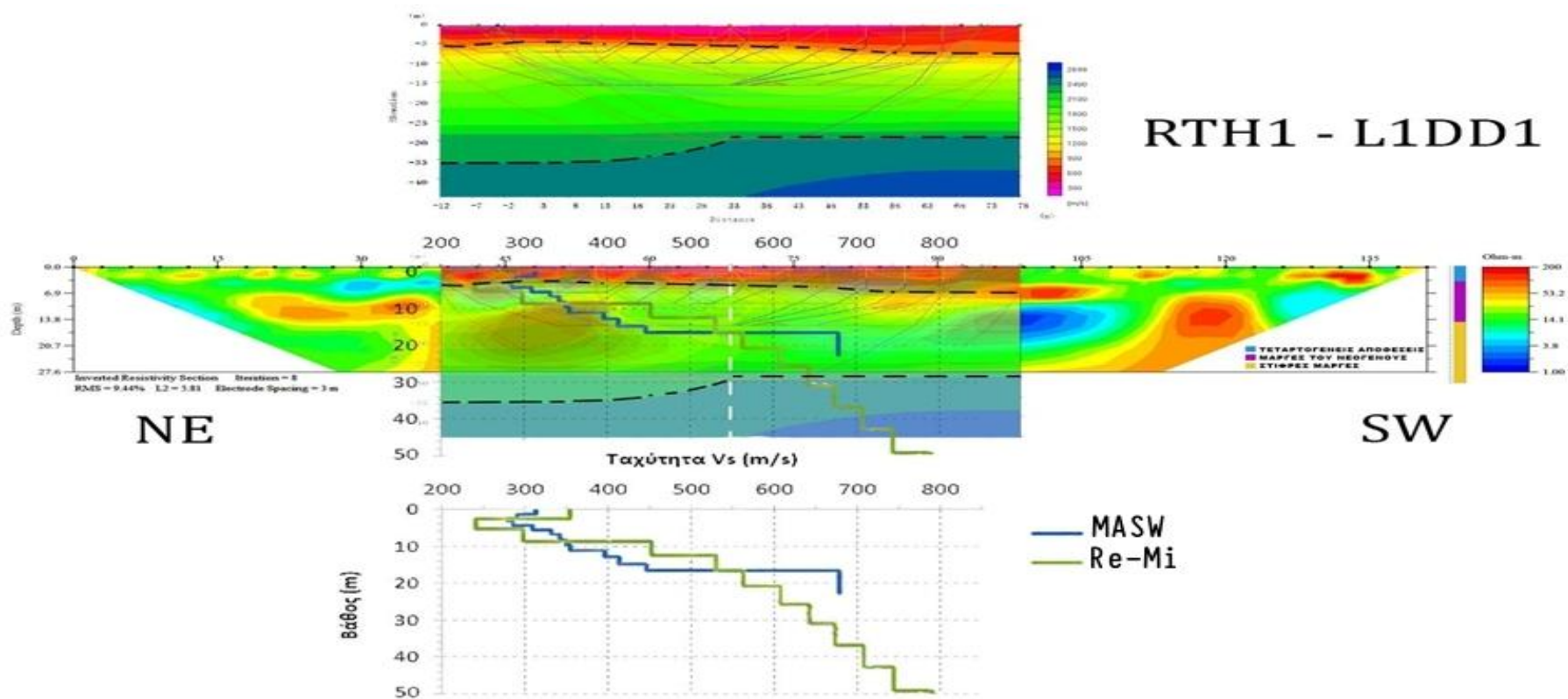
Το στρώμα αυτό εμφανίζεται στις τομές της ηλεκτρικής τομογραφίας και των τριών διατάξεων ηλεκτροδίων Σχήμα (4.1, 4.2, 4.3) με σχετικά υψηλές τιμές αντιστάσεων της τάξεως των 15 – 100 Ohm. Διαφοροποιήσεις στις τιμές των αντιστάσεων πιθανόν οφείλονται σε διαφοροποιήσεις στην σύσταση των αποθέσεων. Το ίδιο στρώμα, εμφανίζεται με σχετικά χαμηλές ταχύτητες στην σεισμική τομογραφία της τάξεως των 1200 – 1900 m/s, ενώ παρουσιάζει αυξημένες σε σχέση με τον υποκείμενο τους σχηματισμό τιμές της ταχύτητας των S – κυμάτων της τάξεως των 300 – 350 m/s.

Το στρώμα αυτό παρουσιάζει σχετικά χαμηλές αντιστάσεις της τάξεως των 3 – 40 Ohm, στο επιφανειακό του τμήμα σε βάθος 6,9 – 27 m της και έχει έντονη πλευρική ανομοιογένεια βαθύτερα σύμφωνα με την κατανομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις ηλεκτρικές τομογραφίες. Στις τρεις γεωηλεκτρικές τομές παρουσιάζονται πολλές ομοιότητες και στα τρία στρώματα, με εμφανή διαφορά να υπάρχει στο Σχήμα 4.1 σε σχέση με τα Σχήματα 4.2, 4.3 και σε βάθος περίπου 7 m όπου παρατηρείται ανομοιογένεια με υψηλή τιμή αντίστασης η οποία εκτίνεται σε μεγάλο βάθος και πιθανόν οφείλεται σε συσσώρευση αδρόκοκκων υλικών. Σε κάθε περίπτωση οι θέσεις με υψηλές τιμές αντίστασης αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη συγκέντρωση αδρόκοκκων υλικών (χαλίκες, κροκάλες και άμμους).

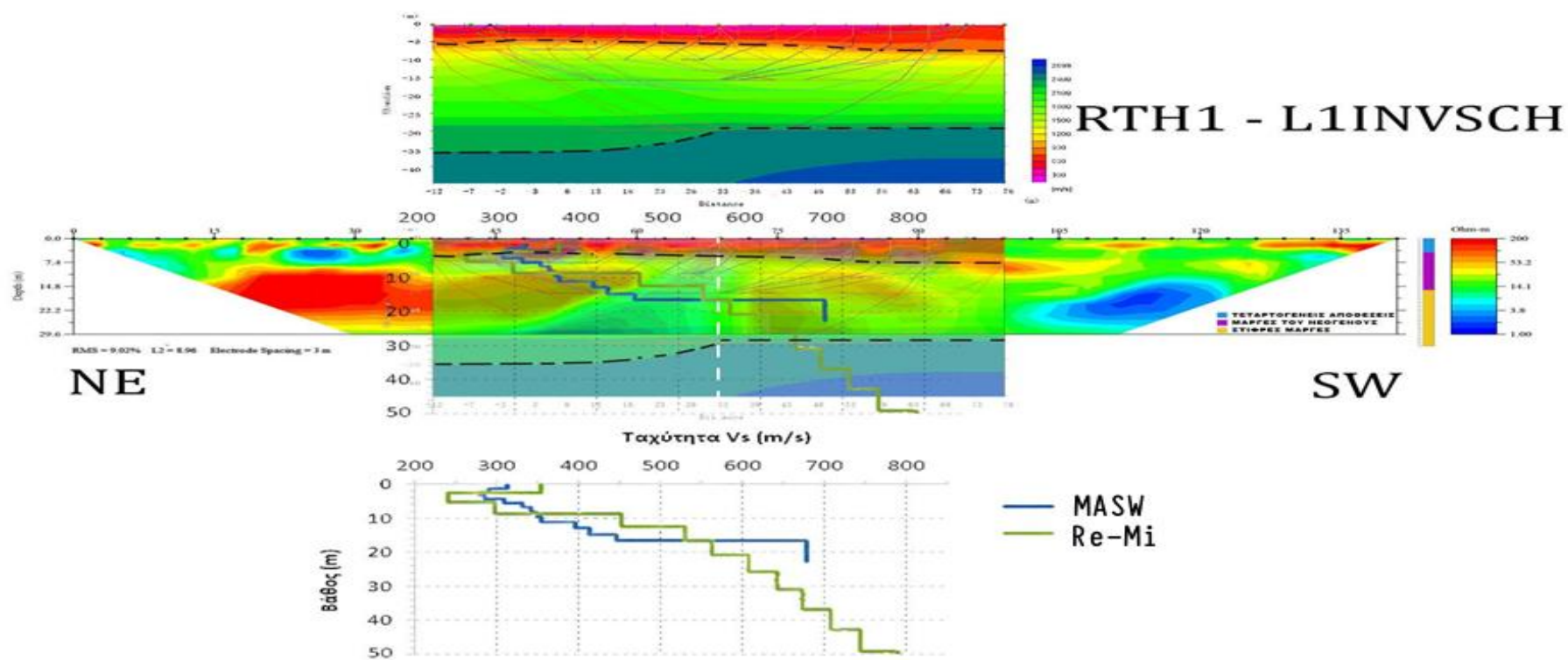
Το στρώμα αυτό παρουσιάζεται σχεδόν οριζόντιο στην σεισμική τομογραφία με μια μικρή κλίση στο βάθος των 30 m και κάτω όπως φαίνεται και στο σχήμα στο σημείο που η ταχύτητα αυξάνεται στα 2400 m/s, ενώ στο προφίλ των ταχυτήτων των S – κυμάτων της τάξεως των 300 – 500 m/s οι τιμές αυξάνονται σταδιακά από 4 έως και 18m.

Το τρίτο και τελευταίο στρώμα αντιστοιχεί στον ίδιο σχηματισμό (μάργες) με την διαφοροποίηση ότι πρόκειται για στιφρές μάργες. Σύμφωνα με τη γεώτρηση οι στιφρές μάργες απαντώνται σε βάθος των 14m και κάτω. Η διαφοροποίηση αυτή των μαργών εντοπίζεται κατά κύριο λόγο από το προφίλ της ταχύτητας των S – κυμάτων, όπου παρατηρείται απότομη αύξηση της ταχύτητας μεγαλύτερη των 500 m/s σε βάθος από 4 έως και 20 m, όπως επίσης στην ανομοιογένεια στις ηλεκτρικές αντιστάσεις, αλλά και στην απότομη αύξηση της ταχύτητας στην σεισμική τομογραφία των P – κυμάτων.

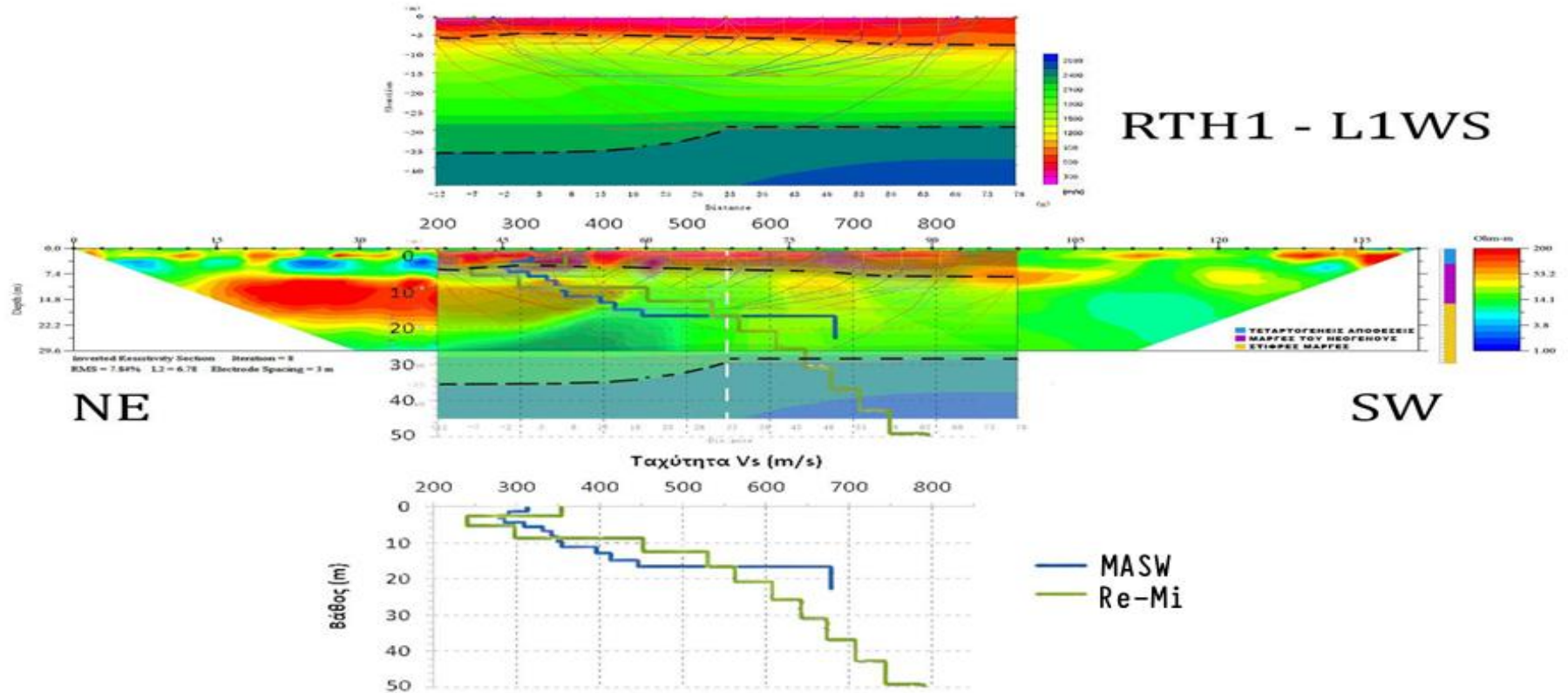
Τέλος, στην τομή της σεισμικής τομογραφίας παρατηρείται σε βάθος μεγαλύτερο των 30 m ένας σχηματισμός με υψηλή ταχύτητα από 2400 – 2700 m/s. Η αύξηση αυτή της ταχύτητας πιθανότατα οφείλεται σε μάργες ακόμη πιο στιφρές από τις υπερκείμενες.



**Σχήμα 4.1:** Αντιπαραβολή και υπέρθεση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας (διάταξη διπόλου – διπόλου), σεισμικής διάθλασης και πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων της γραμμής μελέτης RTH1-L1DD1(Line 1).



**Σχήμα 4.2:** Αντιπαραβολή και υπέρθεση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας (διάταξη Inverse – Schlumberger), σεισμικής διάθλασης και πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων της γραμμής μελέτης RTH1-L1 (Line 1).



**Σχήμα 4.3:** Αντιπαραβολή και υπέρθεση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας (διάταξη Wenner – Schlumberger), σεισμικής διάθλασης και πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων της γραμμής μελέτης RTH1-L1 (Line 1).

Η γραμμή μελέτης RTH1 – L2 η οποία περιλαμβάνει μόνο μετρήσεις με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας χωρίζεται σε τέσσερα στρώματα. Το πρώτο στρώμα, από την επιφάνεια και μέχρι τα πρώτα 4m, αποτελείται από Τεταρτογενείς αποθέσεις. Πρόκειται για ποταμοχειμάρρεια εδαφικά υλικά αργιλοαμμώδους σύστασης με αδρομερή στοιχεία (ψηφίδες, χάλικες και αραιές κροκάλες) ανθρακικής κυρίως προέλευσης.

Στο δεύτερο και τρίτο στρώμα, από τα 4 m μέχρι και τα 11 m περίπου παρατηρούνται μάργες του νεογενούς οι οποίες αποτελούνται από τεφρόλεφκο έως τεφρού χρώματος στιφρές μάργες, με παρεμβολές διαστρώσεων άμμου ποικίλης διαγένεσης, καθώς και διάσπαρτους χάλικες και κροκάλες ασβεστολιθικής προέλευσης.

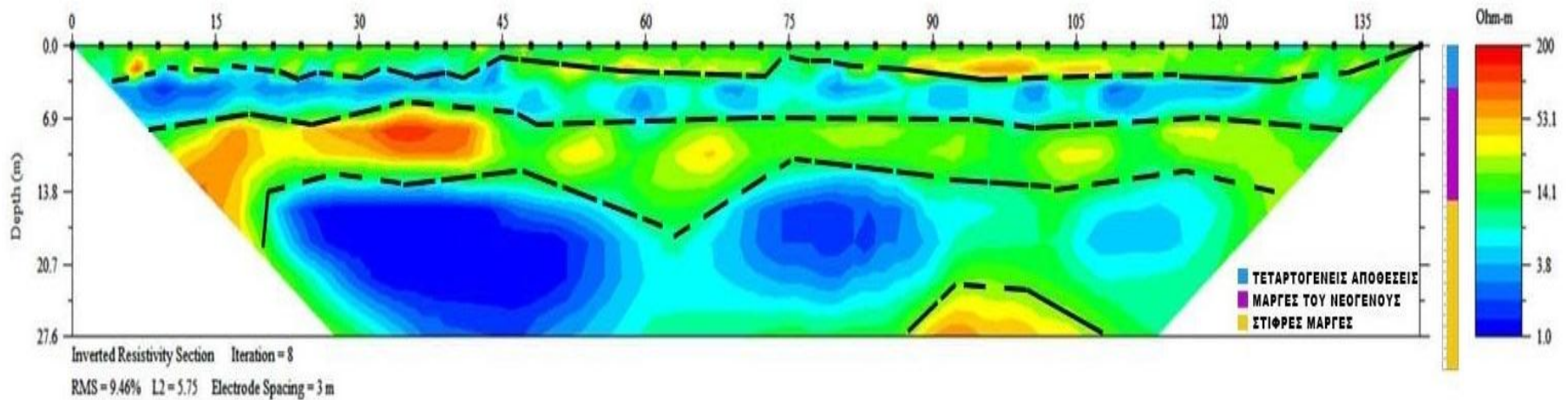
Τα στρώματα αυτά εμφανίζουν στις τομές της ηλεκτρικής τομογραφίας και των τριών διατάξεων ηλεκτροδίων Σχήμα (4.4, 4.5) με σχετικά χαμηλές τιμές αντιστάσεων της τάξεως των 2 – 4 Ohm. Διαφοροποιήσεις στις τιμές των αντιστάσεων πιθανόν οφείλονται σε διαφοροποιήσεις στην σύσταση των αποθέσεων. Τα στρώματα αυτό παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές αντιστάσεις της τάξεως των 3,8 – 50 Ohm, στο επιφανειακό του τμήμα σε βάθος 3 – 14 m και έχει έντονη πλευρική ανομοιογένεια βαθύτερα σύμφωνα με την κατανομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις ηλεκτρικές τομογραφίες. Στις δύο γεωηλεκτρικές τομές παρουσιάζονται πολλές ομοιότητες σε όλα τα στρώματα αλλά και διαφορές, με εμφανή διαφορά να υπάρχει στο Σχήμα 4.4 σε σχέση με το Σχήματα 4.5 και σε βάθος περίπου 25 m όπου παρατηρείται ανομοιογένεια με υψηλή τιμή αντίστασης η οποία εκτίνεται σε μεγάλο βάθος και πιθανόν οφείλεται σε συσσώρευση αδρόκοκκων υλικών.

Τα δύο στρώματα διαφέρουν και στις διατάξεις τους, καθώς η μία πραγματοποιήθηκε με την διάταξη διπόλου – διπόλου ενώ η άλλη με την διάταξη Wenner – schlumberger. Σε κάθε περίπτωση οι θέσεις με υψηλές τιμές αντίστασης αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη συγκέντρωση αδρόκοκκων υλικών (χάλικες, κροκάλες και άμμους). Τα στρώματα αυτά και στις δύο διατάξεις παρουσιάζονται σχεδόν οριζόντια στις ηλεκτρικές τομογραφίες με μια μικρή κλίση ανομοιογένειας στο Σχήμα 4.5 στα 95 m κατά μήκος της επιφάνειας του.

Το τέταρτο στρώμα αντιστοιχεί στον ίδιο σχηματισμό (μάργες) με την διαφοροποίηση ότι πρόκειται για στιφρές μάργες. Σύμφωνα με την γεώτρηση οι στιφρές μάργες απαντώνται σε βάθος 14 m και κάτω. Το συγκεκριμένο στρώμα εμφανίζει ανομοιογένεια και στα δύο Σχήματα (4.4, 4.5) τόσο σε βάθος 60 m και 75 m κατά μήκος, όσο και σε βάθος 60 και 84 m κατά μήκος της ηλεκτρικής τομογραφίας αντίστοιχα, όπου παρατηρούνται χαμηλές αντιστάσεις Τεταρτογενών αποθέσεων.



# RTH1 - L2DD



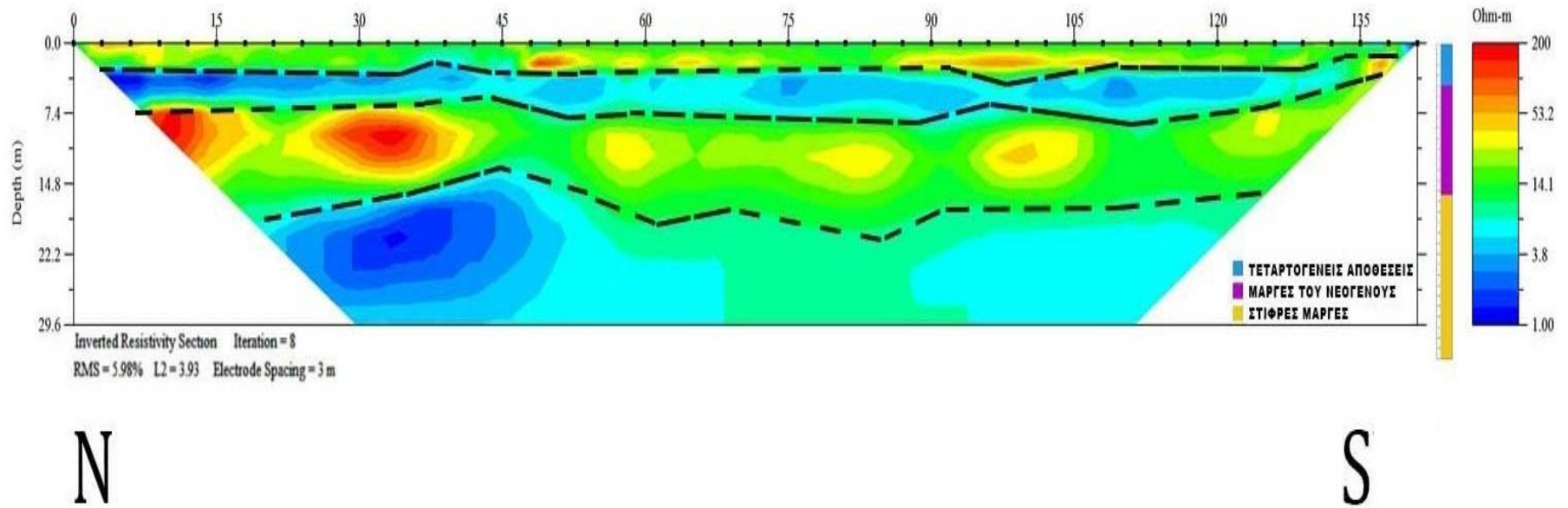
N

S

**Σχήμα 4.4:** Γεωηλεκτρική τομή της ηλεκτρικής τομογραφίας (διάταξη διπόλου – διπόλου) για την δεύτερη γραμμή μελέτης RTH1- L2 (Line 2), με κατεύθυνση από βόρεια προς νότια.



# RTH1 - L2WS



**Σχήμα 4.5:** Γεωηλεκτρική τομή της ηλεκτρικής τομογραφίας (διάταξη Wenner – Schlumberger) για την δεύτερη γραμμή μελέτης RTH1 – L2 (Line 2) ,με κατεύθυνση από βόρεια προς νότια.

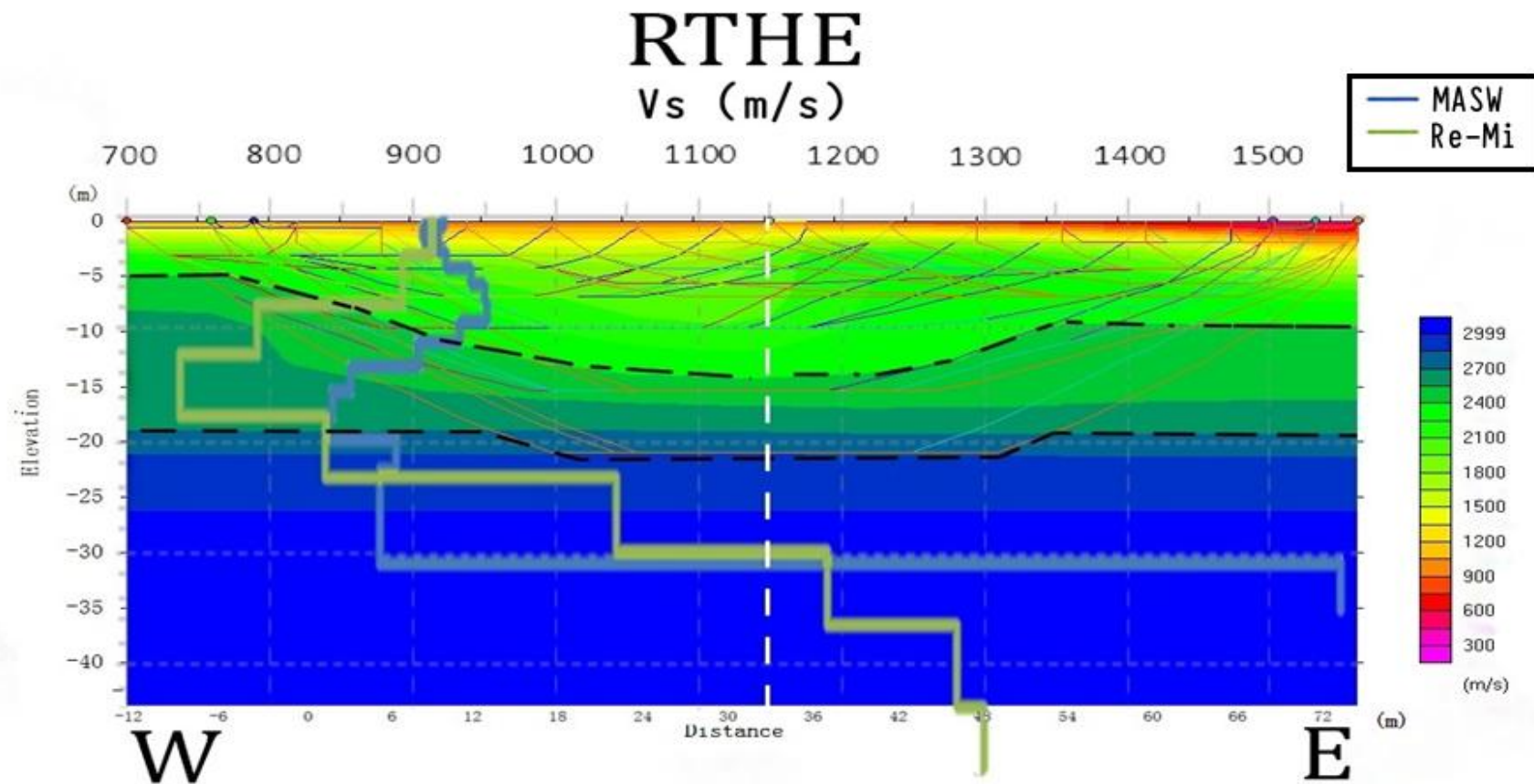
Στην περιοχή μελέτης RTHE (Φορτέτζα) του Ρεθύμνου πραγματοποιήθηκαν μόνο μετρήσεις σεισμικής τομογραφίας και ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων η οποία και χωρίζεται σε τρία σεισμικά στρώματα (Σχήμα 4.6). Στο σχήμα αυτό παρουσιάζεται η σεισμική τομή της ταχύτητας των P – κυμάτων που προέκυψε από την σεισμική τομογραφία, που επάνω της έχουν υπερτεθεί τα προφίλ ταχύτητας των S – κυμάτων από τις μεθόδους Πολυκάναλης Ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων (MASW) και Διάθλαση Μικροθρορύβου (Refraction – Microtremor/Re – Mi). Τα προφίλ αυτά αντιστοιχούν στο κέντρο της διάταξης των γεωφώνων δηλαδή στα 33 m της σεισμικής τομής (λευκή διακεκομμένη γραμμή).

Τα τρία σεισμικά στρώματα αντιστοιχούν σε κροκαλολατυποπαγείς του Νεογενούς και σε ασβεστόλιθους – δολομιτικούς ασβεστόλιθους του υποβάθρου. Πρόκειται για τεφρούς έως λευκότεφρους δολομιτικούς συνήθως ασβεστόλιθους κατά θέσεις μικροκρυσταλλικούς, συνήθως μέτρια έως τοπικά ισχυρά κερματισμένους από συστήματα ασυνεχειών και ασθενώς έως μέτρια αποσαθρωμένους. Η πτώση της ταχύτητας των S – κυμάτων στο δεύτερο σεισμικό στρώμα πιθανόν οφείλεται στην ύπαρξη καρστικών δομών ή στις διεπιφάνειες μεταξύ των κροκαλοπαγών του Νεογενούς και των δολομιτικών ασβεστόλιθων. Ωστόσο παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις, τόσο στις τιμές της ταχύτητας των P όσο και των S – κυμάτων. Ειδικότερα στο πρώτο στρώμα από την επιφάνεια και μέχρι τα 5 m περίπου αποτελείται από κροκαλολατυποπαγείς του Νεογενούς.

Το στρώμα αυτό εκτίνεται από τα 0 μέχρι και 5 m, εμφανίζει σχετικά χαμηλές ταχύτητες στην σεισμική τομογραφία της τάξεως των 700 – 2100 m/s, ενώ παρουσιάζει αυξημένες σε σχέση με τον υποκείμενο του σχηματισμό τιμές της ταχύτητας των S – κυμάτων της τάξεως των 900 – 920 m/s. Παρατηρείται επίσης και μια καμπυλότητα του στρώματος προς τα κάτω η οποία αρχίζει από τα 5 m και εκτίνεται έως και τα 13 m περίπου, λόγω αύξησης της ταχύτητας των S – κυμάτων. Σε κάθε περίπτωση, οι θέσεις με υψηλές τιμές αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη συγκέντρωση πολλών υλικών, στην συγκεκριμένη περίπτωση αδρόκοκκων όπως κροκάλες και άμμους.

Στο δεύτερο στρώμα, το οποίο εκτίνεται από τα 5 - 20 m παρατηρούνται ασβεστόλιθοι – δολομιτικοί ασβεστόλιθοι του υποβάθρου. Το στρώμα αυτό εμφανίζει αύξηση της ταχύτητας των P – κυμάτων της τάξεως των 2400 – 2700 m/s και ταυτόχρονη μείωση των S – κυμάτων της τάξεως των 700 – 800 m/s η οποία οφείλεται πιθανόν στην ύπαρξη καρστικών δομών. Υπάρχει και πάλι μια έντονη καμπυλότητα η οποία εμφανίζεται στα 20 m και εκτείνεται μέχρι τα 23 m περίπου, λόγω μείωσης της ταχύτητας των S – κυμάτων.

Τέλος το τρίτο και τελευταίο στρώμα εκτίνεται από τα 20 – 45 m, αντιστοιχεί στον ίδιο σχηματισμό (ασβεστόλιθοι – δολομιτικοί ασβεστόλιθοι υποβάθρου) εμφανίζει πολύ υψηλές ταχύτητες στην σεισμική τομογραφία της τάξεως των 2800 – 3000 m/s, ενώ παρουσιάζει αυξημένες τιμές της ταχύτητας των S – κυμάτων της τάξεως των 890 – 1040 m/s.



**Σχήμα 4.6:** Σεισμική τομή της σεισμικής τομογραφίας και προφίλ ταχύτητας των  $S$  – κυμάτων από την ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων (MASW– Re-Mi) για την γραμμή μελέτης RTHE, με κατεύθυνση από δύση προς ανατολή.

## 4.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Για δεδομένες θέσεις κατά μήκος των γραμμών μελέτης στην περιοχή του αρχαιολογικού μουσείου το οποίο βρίσκεται στο λόφο του φρουρίου στο Ρέθυμνο (RTHE) και στην θέση του νοσοκομείου στο Ρέθυμνο (RTH1), έχει υπολογιστεί ο λόγος του Poisson ( $\nu$ ), το μέτρο ελαστικότητας του Young ( $E$ ) και το μέγιστο μέτρο διάτμησης ( $G$ ) σε σχέση με το βάθος σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις.

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

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

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

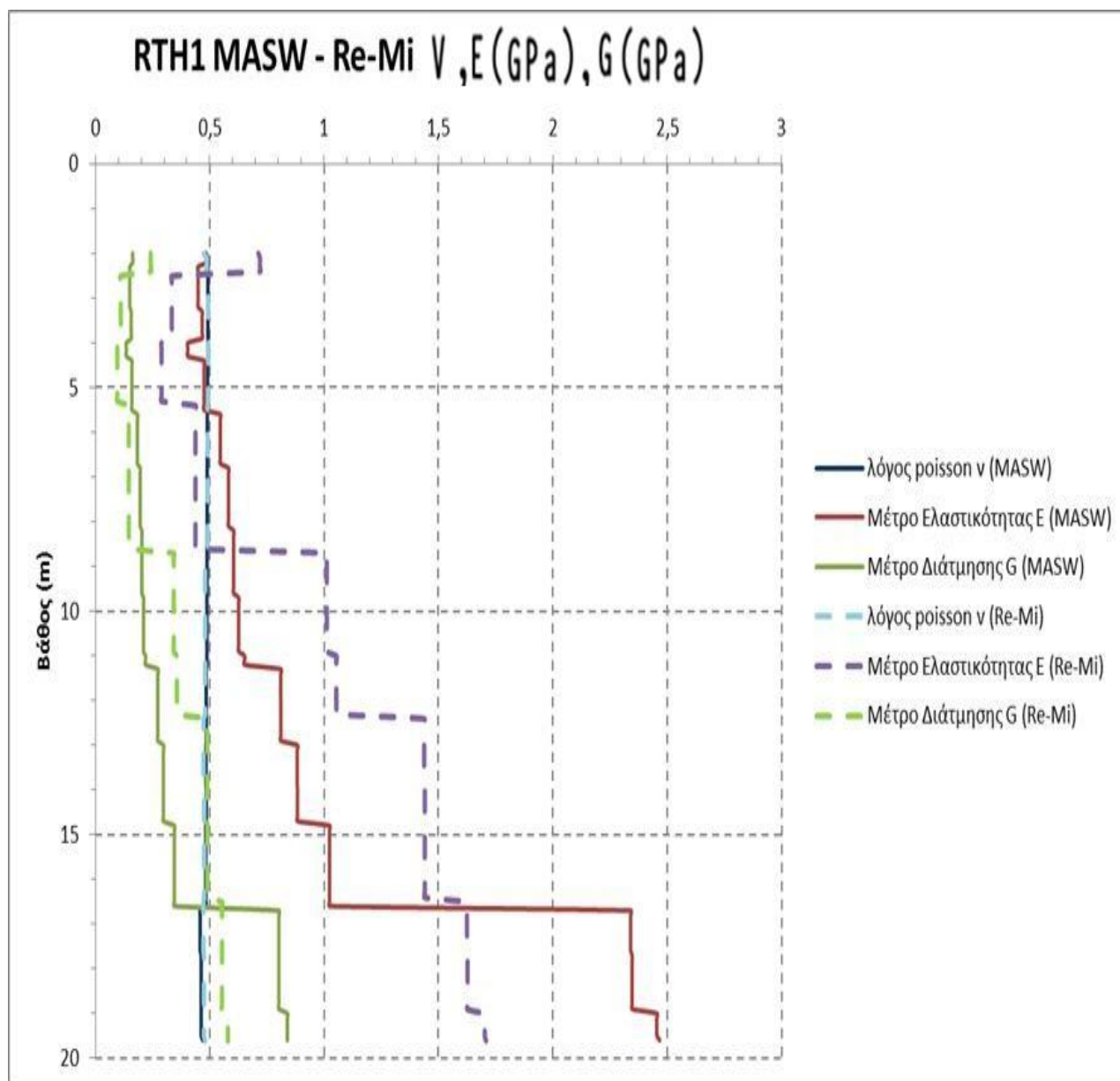
$$E = 2 \cdot \rho \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu) \quad (4.2)$$

Όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα. Το μέτρο διάτμησης υπολογίζεται από την εξίσωση (Παπακωνσταντίνου, 2004):

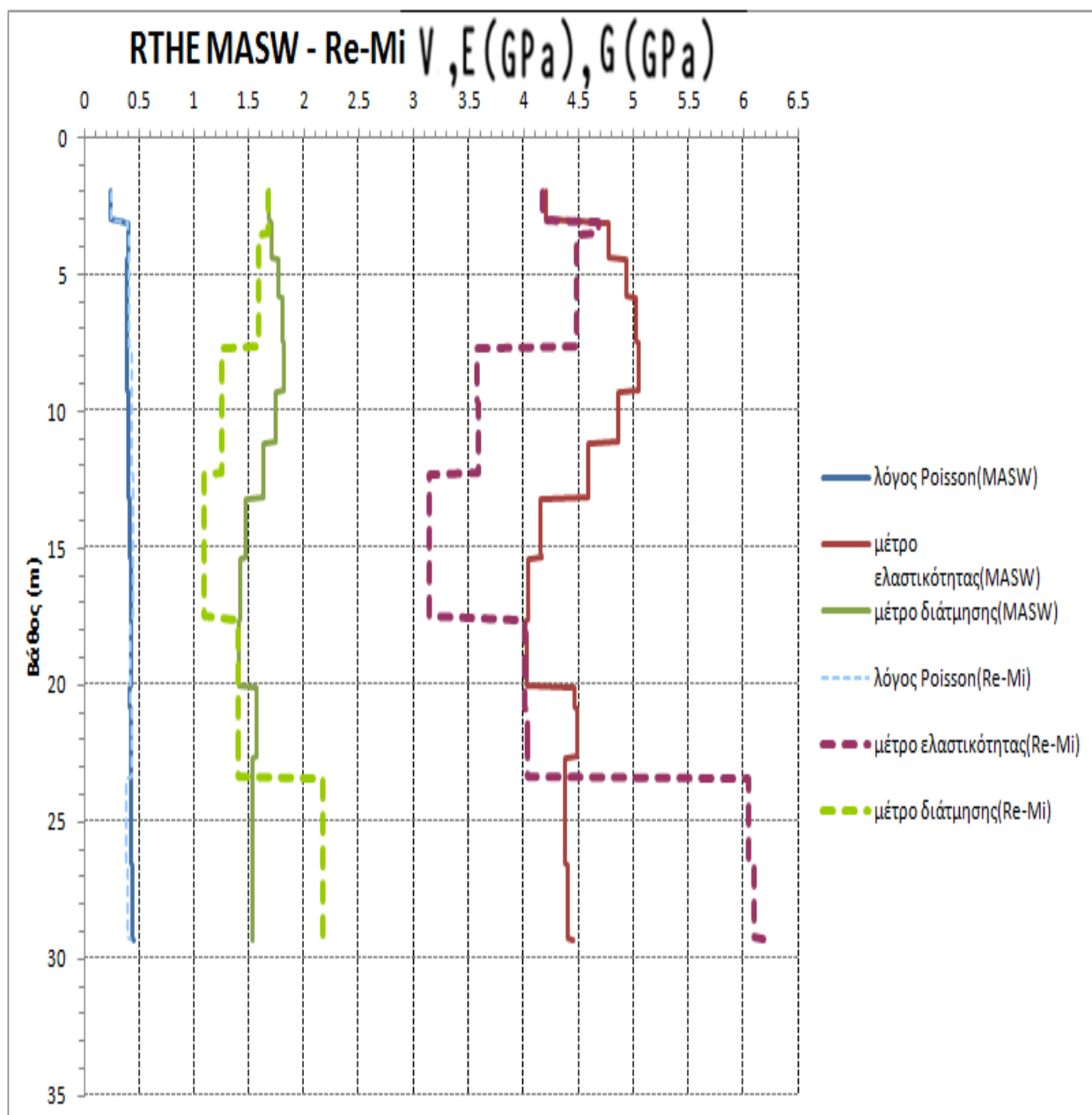
$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} \quad (4.3)$$

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

Ακολουθούν διαγράμματα (Σχήματα 4.7 και 4.8) όπου απεικονίζουν το λόγο Poisson ( $\nu$ ), το μέτρο ελαστικότητας ( $E$ ) και το μέτρο διάτμησης ( $G$ ) σε σχέση με το βάθος για την μέθοδο πολυκάναλης ανάλυσης (MASW) και την μέθοδο μικροθορύβου (Refraction-Microtremor). Στο σχήμα 4.7 και για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέθοδο MASW παρατηρείται ότι το βάθος κυμαίνεται από 2 m έως 19,8 m με παρόμοιες τιμές για την καμπύλη του λόγου Poisson και του μέγιστου μέτρου διάτμησης, ενώ η καμπύλη που απεικονίζει το μέτρο ελαστικότητας έχει μεγαλύτερες τιμές από τις υπόλοιπες καμπύλες με μέγιστη έως και 2,4 GPa. Στο ίδιο Σχήμα και για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέθοδο Re-Mi παρατηρείται ότι το βάθος κυμαίνεται από 2m έως και 19,8 m όπου οι μικρότερες τιμές απεικονίζονται στην καμπύλη του λόγου Poisson, οι μεσαίες έως χαμηλές τιμές στην καμπύλη του μέγιστου μέτρου διάτμησης και τέλος μεγαλύτερες τιμές στην καμπύλη του μέτρου ελαστικότητας με μέγιστη τιμή έως και 1,7 GPa. Στο σχήμα 4.8 και για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέθοδο MASW παρατηρείται ότι το βάθος κυμαίνεται από 2 m έως και 28,9 m όπου οι μικρότερες τιμές απεικονίζονται στην καμπύλη του λόγου Poisson, οι μεσαίες τιμές στην καμπύλη του μέγιστου μέτρου διάτμησης και τέλος μεγαλύτερες τιμές στην καμπύλη του μέτρου ελαστικότητας. Στο ίδιο σχήμα και για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέθοδο Re-Mi παρατηρείται ότι το βάθος κυμαίνεται από 2 m έως και 28,9 m όπου και πάλι οι μικρότερες τιμές απεικονίζονται στην καμπύλη του λόγου Poisson, οι μεσαίες τιμές στην καμπύλη του μέγιστου μέτρου διάτμησης και τέλος μεγαλύτερες τιμές στην καμπύλη του μέτρου ελαστικότητας με μέγιστη τιμή έως 6,2 GPa.



**Σχήμα 4.7:** Απεικόνιση του λόγου του Poisson ( $\nu$ ), του μέτρου ελαστικότητας ( $E$ ) και του μέγιστου μέτρου διάτμησης ( $G$ ) ως προς το βάθος για την περιοχή του Ρεθύμνου (RTH1) που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της σεισμικής διάθλασης ( $V_p$ ), της μεθόδου MASW ( $V_s$ ) και της μεθόδου Refraction-Microtremor.



**Σχήμα 4.8:** Απεικόνιση του λόγου του Poisson ( $\nu$ ), του μέτρου ελαστικότητας ( $E$ ) και του μέγιστου μέτρου διάτμησης ( $G$ ) ως προς το βάθος για την περιοχή του Ρεθύμνου (RTHE) που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της σεισμικής διάθλασης ( $V_p$ ), της μεθόδου MASW ( $V_s$ ) και της μεθόδου Refraction-Microtremor.

### 4.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8

Ο Ευρωκώδικας 8 (EC8) είναι ένας διεθνής ενοποιημένος κώδικας συμπεριφοράς για τον σχεδιασμό κτηρίων όπως επιτάσσουν οι προδιαγραφές της ευρωπαϊκής ένωσης. Σύμφωνα με τον (EC8) τα εδάφη χωρίζονται σε επτά κατηγορίες ανάλογα με την στρωματογραφική τους σύσταση και τις γεωτεχνικές παραμέτρους  $V_{s,30}$ , NSPT και  $c_u$  (Πίνακας 4.1). Οι παράμετροι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκτίμηση της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών σε περίπτωση σεισμού.

Η ταχύτητα  $V_{s,30}$  υπολογίζεται από την σχέση:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad (4.4)$$

όπου  $h_i$  είναι το πάχος του εκάστοτε στρώματος (σε μέτρα),  $V_i$  η ταχύτητα των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων κάθε σχηματισμού/στρώματος (μέγιστη διατμητική παραμόρφωση των γεωυλικών  $\leq 10^{-5}$ ), σε ένα σύνολο  $N$  στρωμάτων που εμφανίζονται στα πρώτα 30 m από την επιφάνεια του εδάφους. (Παπαγιάννη, 2007).

Το ενδιαφέρον έγκειται μέχρι τα 30 m για να χαρακτηρισθούν οι σχηματισμοί σύμφωνα με τον (EC8), έχουν υπολογιστεί οι τιμές της ταχύτητας  $V_{s,30}$  από την σχέση 4.4 τόσο για την σεισμική γραμμή μελέτης RTH1 {MASW ( $V_{s,30}=462,24$  m/s), Re-Mi ( $V_{s,30}=475,4$  m/s)} όσο και για την γραμμή RTHE {MASW ( $V_{s,30}=888,95$  m/s), Re-Mi ( $V_{s,30}=912$  m/s)}, η ταχύτητα  $V_{s,30}$  αυξάνεται με το βάθος.

Με βάση την  $V_{s,30}$ , για τη σεισμική γραμμή μελέτης RTH1 όπου υπολογίσθηκε ίση με 462,2 m/s και 475,41 m/s από την μέθοδο MASW και Re-Mi αντίστοιχα, το έδαφος βάσει μόνο του κριτηρίου της ταχύτητας  $V_s$  εντάσσεται στο κατώτερο όριο της κατηγορίας B. Η παράμετρος NSPT σύμφωνα με την γεωτεχνική μελέτη, αλλά και την γεώτρηση, όπως έχει υπολογιστεί από επί τόπου μετρήσεις, κυμαίνεται από 16 (ελάχιστο) έως 75 (μέγιστο) κρούσεις/30 cm, και εμφανίζουν μια μέση τιμή της τάξης των 37,16. Τέλος, σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 και με βάση την ταχύτητα  $V_{s,30}$ , αλλά και τις δοκιμές της γεώτρησης NSPT στην θέση RTH1, καταλήγουμε ότι το έδαφος ανήκει στην κατηγορία B.

Στην συνέχεια με βάση την  $V_{s,30}$ , για τη σεισμική γραμμή μελέτης RTHE όπου υπολογίσθηκε ίση με 888,95 m/s και 912 m/s από την μέθοδο MASW και Re-Mi αντίστοιχα, το έδαφος βάσει μόνο του κριτηρίου της ταχύτητας  $V_s$  εντάσσεται στο κατώτερο όριο της κατηγορίας A.

**Πίνακας 4.1:** Κατηγορίες εδαφών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 (Παπαγιάννη, 2007).

Κατηγορία εδάφους	Στρωματογραφική σύσταση	Παράμετροι		
		$V_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (κρούσεις/ 15 m)	$C_u$ (Kpa)
A	Βραχώδης ή σχεδόν βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός συμπεριλαμβανομένου το πολύ 5 m επιφανειακού εδαφικού υλικού.	>800	-	-
B	Μεγάλες αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικιών 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, χαλικιών 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			



	γεωυλικό ταχύτητας $V_{s,30} > 800$ m/s.			
$S_1$	Αποθέσεις που αποτελούνται -ή περιέχουν ένα στρώμα τουλάχιστον 10 m πάχους- από μαλακή άργιλο/ιλύ με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ( $PI > 40$ ) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό.	$< 100$	-	10-20
$S_2$	Αποθέσεις από επιδεκτικά σε ρευστοποίηση εδάφη, από ευπαθείς αργίλους ή άλλο γεωυλικό που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A-E ή $S_1$			

Σύμφωνα με τον μέσο αριθμό των κρούσεων και τον (EC8) το έδαφος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις για την σεισμική γραμμή μελέτης RTH1 ανήκει τελικά στην κατηγορία B. Ενώ αντίθετα για την σεισμική γραμμή μελέτης RTHE κα βάσει μόνο του κριτηρίου της ταχύτητας  $V_s$  το έδαφος εντάσσεται στο κατώτερο όριο της κατηγορίας A.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η εφαρμοσμένη γεωφυσική έρχεται σήμερα να συμπληρώσει όλα τα ερωτήματα που έχουν να κάνουν με το υπέδαφος, έχοντας ως στόχο τη χαρτογράφηση και το προσδιορισμό της γεωμετρίας εγκοίλων, κατολισθήσεων, χαρακτηρισμό περιοχών σε σχέση με τις τιμές των δυναμικών ελαστικών παραμέτρων, εντοπισμό περιοχών καρστικοποίησης σε επιφανειακά αλλά και υπόγεια τεχνικά έργα, χαρακτηρισμό θέσεων θεμελίωσης, μικροζωνικές μελέτες κλπ., δίνοντας στους μηχανικούς, μια γρήγορη και ακριβή εικόνα του υπεδάφους με ταυτόχρονα χαμηλό κόστος.

Η συγκεκριμένη γεωφυσική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Νομό Ρεθύμνου, έχει σαν στόχο σε αυτή την διπλωματική εργασία την συλλογή σεισμικών δεδομένων και την επεξεργασία τους με τις μεθόδους της σεισμικής διάθλασης, ηλεκτρικής τομογραφίας αλλά και της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh. Εν συνεχεία μέσω τον υπολογισμό των ταχυτήτων που προέκυψαν, υπολογίστηκε η  $V_{s,30}$  και προσεγγίστηκε η NSPT κυρίως μέσω της γεώτρησης στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, όπως επίσης έγινε και εκτίμηση της κατηγορίας του υπεδάφους με βάση τον (EC8). Επίσης υπολογίστηκαν ο λόγος Poisson ( $\nu$ ), το μέτρο ελαστικότητας ( $E$ ), όπως και το μέγιστο μέτρο διάτμησης ( $G$ ). Τέλος πραγματοποιήθηκε συνδυαστική αναπαράσταση και ερμηνεία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων, με εικόνες που απεικονίζουν την υπέρθεση της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, καθώς επίσης και των προφίλ της ταχύτητας των  $S$  – κυμάτων.

Από την συνδυασμένη επεξεργασία των καταγραφών της σεισμικής τομογραφίας, ηλεκτρικής τομογραφίας, αλλά και της γεώτρησης για την θέση μελέτης RTH1 (Νοσοκομείο) του Νομού Ρεθύμνου, εντοπίζονται τρία σεισμικά στρώματα γεωυλικών.

Για την πρώτη γραμμή μελέτης Line 1:

- 1<sup>ο</sup> Στρώμα ( $V_s = 200 - 250$  m/s, ειδική ηλεκτρική αντίσταση:  $\rho = 2 - 15$  Ohm)  
Ταχύτητες σεισμικών κυμάτων: 300 – 600 m/s, Μέσο πάχος 0 – 4 m  
Αποτελείται από τεταρτογενείς αποθέσεις. Πρόκειται για ποταμοχειμάρρεια εδαφικά υλικά αργιλοαμμώδους σύστασης με αδρομερή στοιχεία (ψηφίδες, χάλικες και αραιές κροκάλες) ανθρακικής κυρίως προέλευσης.
- 2<sup>ο</sup> Στρώμα ( $V_s = 300 - 350$  m/s, ειδική ηλεκτρική αντίσταση:  $\rho = 40 - 70$  Ohm)  
Ταχύτητες σεισμικών κυμάτων: 1200 – 1900 m/s, Μέσο πάχος 4 - 14 m  
Αποτελείται από μάργες του νεογενούς οι οποίες αποτελούνται από τεφρόλεφκο έως τεφρού χρώματος στιφρές μάργες, με παρεμβολές διαστρώσεων άμμου ποικίλης διαγένεσης, καθώς και διάσπαρτους χάλικες και κροκάλες ασβεστολιθικής προέλευσης.
- 3<sup>ο</sup> Στρώμα ( $V_s = 500 - 550$  m/s, ειδική ηλεκτρική αντίσταση:  $\rho = 80 - 100$  Ohm)  
Ταχύτητες σεισμικών κυμάτων: 2400 – 2700 m/s Μέσο πάχος 14 – 30 m  
Αποτελείται από στιφρές μάργες.

Για την δεύτερη γραμμή μελέτης Line 2:

- Στην συγκεκριμένη γραμμή μελέτης υπάρχει μόνο η ηλεκτρική τομογραφία. Οι συγκεκριμένες δύο εικόνες (Σχήμα 4.4, Σχήμα 4.5) χωρίζονται σε τέσσερα στρώματα εκ των οποίων το δεύτερο με το τρίτο στρώμα είναι ενιαίο, με το υπέδαφος να αποτελείται από τα ίδια γεωυλικά με βάση την γεώτρηση.

Για την θέση RTHE (Αρχαιολογικό μουσείο) : Η συγκεκριμένη περιοχή διαφέρει με την προηγούμενη, διότι σε αυτήν δεν υπάρχει γεώτρηση και η κατανομή του υπεδάφους των γεωυλικών είναι διαφορετική.

- 1<sup>ο</sup> Στρώμα

Ταχύτητα σεισμικών κυμάτων :  $V_p = 700 - 1200$  m/s.  $V_s = 900 - 920$  m/s. Μέσο πάχος 0 – 5 m. Αποτελείται από κροκαλολατυποπαγές του Νεογενούς.

- 2<sup>ο</sup> Στρώμα

Ταχύτητες σεισμικών κυμάτων :  $V_p = 2400 - 2700$  m/s.  $V_s = 700 - 800$  m/s. Μέσο πάχος 5 – 20 m.

Αποτελείται από ασβεστόλιθους – δολομιτικούς ασβεστόλιθους του υποβάθρου. Πρόκειται για τεφρούς έως λευκότεφρους δολομιτικούς συνήθως ασβεστόλιθους κατά θέσεις μικροκρυσταλλικούς, συνήθως μέτρια έως τοπικά ισχυρά κερματισμένους από συστήματα ασυνεχειών και ασθενώς έως μέτρια αποσαθρωμένους.

- 3<sup>ο</sup> Στρώμα

Ταχύτητες σεισμικών κυμάτων :  $V_p = 2800 - 3000$  m/s.  $V_s = 890 - 1040$  m/s. Μέσο πάχος 20 – 45 m.

Αποτελείται από ασβεστόλιθους – δολομιτικούς ασβεστόλιθους του υποβάθρου.

Το έδαφος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις για τη θέση RTH1 σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 χαρακτηρίζεται ως αποθέσεις πυκνής ή μέσης πυκνότητας άμμου, χαλικιών ή συμπαγούς αργίλου, με πάχος από μερικές δεκάδες μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Ενώ αντίθετα το έδαφος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις για τη θέση RTHE σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 χαρακτηρίζεται ως μεγάλες αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλικιών ή συμπαγούς αργίλου με τουλάχιστον μερικών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων τους με το βάθος, ταυτόχρονα όμως και με βάση την αλλαγή των ταχυτήτων και στα τρία στρώματα τόσο των P όσο και των S - κυμάτων παρατηρούνται ασβεστόλιθοι - δολομιτικοί ασβεστόλιθοι του υποβάθρου.

Τα αποτελέσματα είναι επιβεβαιωμένα από την γεώτρηση για την μια από τις δύο περιοχές, γι' αυτό και δεν κρίνεται σκόπιμο η ανάπτυξη άλλων γεωφυσικών μεθόδων στην περιοχή μελέτης.

Προτείνεται να πραγματοποιηθεί περαιτέρω έρευνα με την μέθοδο σεισμικής διάθλασης, Πολυκάναλης Ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων (MASW) και Διάθλαση Μικροθορύβου (Refraction – Microtremor/Re – Mi) με μεγαλύτερη έκταση τόσο κατά μήκος των γραμμών (ERT1, ERT2) στην περιοχή του RTH1 (Νοσοκομείου), όσο και κατά το βάθος για τις δύο περιοχές (RTH1, RTHE) το οποίο να υπερβαίνει τα 30m με σκοπό να επιβεβαιωθούν τα εν λόγω αποτελέσματα. Επίσης στην περιοχή RTHE (Αρχαιολογικού μουσείου), να πραγματοποιηθεί

δειγματοληψία επιφανειακών δειγμάτων κυρίως βραχώδης ή σχεδόν βραχώδη γεωλογικών σχηματισμών μέχρι 5 m επιφανειακού εδαφικού υλικού, έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί το αποτέλεσμα του γεωλογικού σχηματισμού του υπεδάφους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα (EC8) το οποίο και εντάσσει το έδαφος στο κατώτερο όριο της κατηγορίας Α.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ➤ Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αβαγιανός Δ. Αλέξανδρος (2011), “Συμβολή Των Σεισμικών Μεθόδων Στον Γεωτεχνικό Χαρακτηρισμό Των Γεωλογικών Σχηματισμών Για Την Κατασκευή Της Β’ Φάσης κτιρίων ΜΗ.ΠΕΡ. Του Πολυτεχνείου Κρήτης” Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- ΘΑΛΗΣ, (2014), “Ενίσχυση της διεπιστημονικής ή και διδρυματικής έρευνας και καινοτομίας με δυνατότητα προσέλκυσης ερευνητικών υψηλού επιπέδου από το εξωτερικό μέσω της διενέργειας βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας αριστείας”, Έκθεση αποτελεσμάτων γεωτεχνικής έρευνας και οι σχετικοί τεχνικογεωλογικοί χάρτες, Χανιά.
- Καλλιόπη Πανδή, (2005), “Προσδιορισμός του συντελεστή επιβάρυνσης δισδιάστατης προς μονοδιάστατη σεισμική απόκριση στην Μυγδόνια λεκάνη”, Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
- Κυριαζής Δ. Πιτιλάκης, (2010), “Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική”, Εκδόσης Ζήτη, Έτος έκδοσης, 2010.
- Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος, (2001), “ΕΑΚ (2000) Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000”, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα.
- Μουντάκης, Δ.Μ., (1985), “Γεωλογία της Ελλάδας”, Θεσσαλονίκη.
- Μιχαλάκης Ι., (2007), Συμβολή της Ηλεκτρικής Τομογραφίας στην Παρακολούθηση της Υφαλμύρισης Πριν, Κατά την Διάρκεια και Μετά τη Δοκιμή Άντλησης στον Οικισμό Φαράγγι Αποκορώνου, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Δεκέμβρης, Χανιά.
- Κουφόπουλος Γιάννης, (2012), “Συμβολή των Γεωφυσικών Μεθόδων στην Επίλυση Γεωτεχνικών Προβλημάτων. Παραδείγματα από την ανατολική Κρήτη. ”, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Λούης Φ. Ιωάννης, 2008, Σύγχρονες Εκπαιδευτικές Σημειώσεις Γεωφυσικής, Τομέας Γεωφυσικής - Γεωθερμίας, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

- Βαφείδης, Α., 1993, Εφαρμοσμένη Γεωφυσική - 1: Σεισμικές Μέθοδοι, Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Κρητικάκης Γ., Βαφείδης Α., Gourry J., (2003), Ανάλυση των Επιφανειακών Κυμάτων Rayleigh και Εφαρμογή σε Χώρο Απόθεσης Απορριμμάτων στη Β.Ιταλία και στην Βιομηχανική Περιοχή Porto Petroli, Genova.
- Παπακωνσταντίνου, Κ., (2004), Μελέτη των Μηχανικών Παραμέτρων του Εδάφους με τη Χρήση Σεισμικών Μεθόδων και Εργαστηριακών Μετρήσεων, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής.
- Κρητικάκης Γεώργιος, (2010), “Επιφανειακά Κύματα: Εφαρμογές σε Περιβαλλοντικά Και Γεωτεχνικά Προβλήματα ”, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά

➤ *Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία*

- Torleif Dahlin (Engineering Geology, Lund University, Box 118, S – 221 00 Lund, Sweden) and Zhou (Dept. of Physics, The University of Adelaide, SA 5005, Australia. “Multiple – gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging, Received November 2003, revision accepted September 2005
- Eurocode 8, (2003), Design of structures for earthquake resistance, Ref.No: prEN 1998-1:200X.
- Sheriff, R. E., Geldart, L. P., (1995), Exploration Seismology, 2nd Edition, Cambridge University Press, ISBN 0-521-46282-7.
- Haskell N., A., 1953, The dispersion of surface waves in multi – layered media. Bulletin of Seismological Society of America, 43, 17 – 34.
- Schwab F., & Knopoff., 1972, Fast surface wave and free mode computations. In Bolt B.A. Edition, Methods in computational physics, Academic Press, 87 – 180.
- Brigham, E., O., 1974, The Fast Fourier Transform, Prentice – Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 448.
- Xia, J., Miller, R. D, Park, C. B., 1999, Estimation of near – surface shear – wave velocity by inversion of Rayleigh waves, Geophysics 64, No 3, p. 691 – 700.

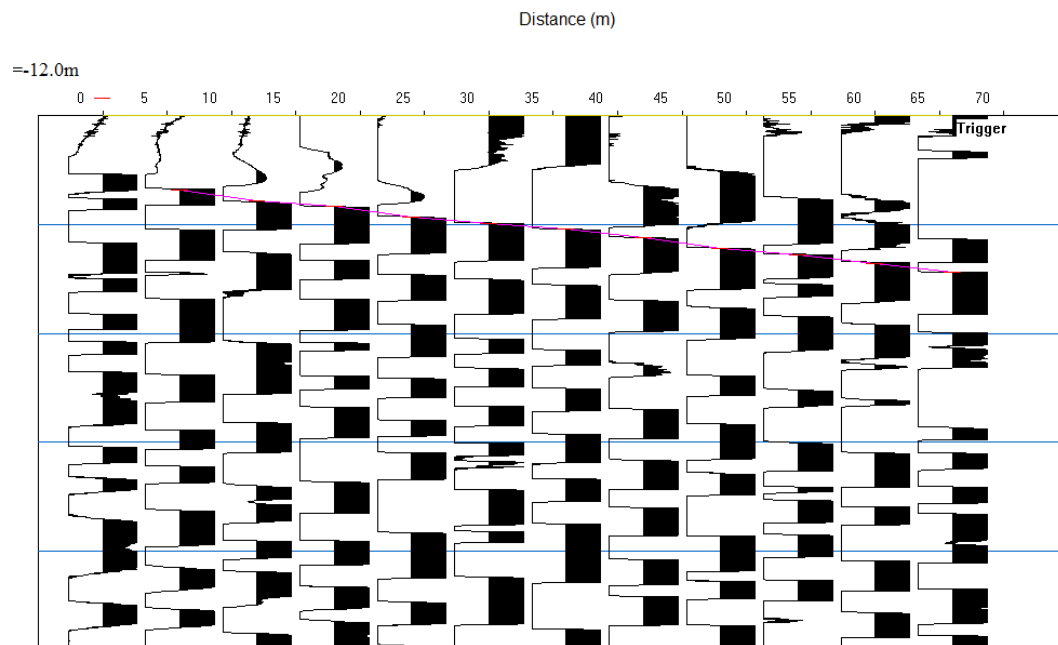
- Miller, R. D., Park, C. B., Ivanov, J. M., Xia, J., Laflen, R. D., Gratton, C., 2000b, MASW to Investigate Anomalous Near – Surface Materials at the Indian Refinery in Lawrenceville, Illinois, Open file report No. 2000 – 4. ELM Consulting LLC, Oathle, Kansas.
- Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J., (1999), Multi – channel analysis of surface waves, Geophysics 64, p. 800 – 808.
- SeisImager2D Manual, 2003, Εγχειρίδιο χρήσης Λογισμικού, Manual, Version 3.0, OYO Corporation.
- Luo, Y., Xia J., Liu, J., Xu, Y., and Liu, Q., 2008a, Generation of a pseudo – 2D shear – wave velocity section by inversion of a series of 1D dispersion curves, Journal of Applied Geophysics, Vol. 64, p. 115 – 124.
- 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 Earthquakes Engineering, Vol. 29, p. 71 – 79.
- Housner, G. (1959). Behavior of structures during earthquakes. Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 85 (EM14):109 – 129.

➤ *Από Δικτυακό τόπο*

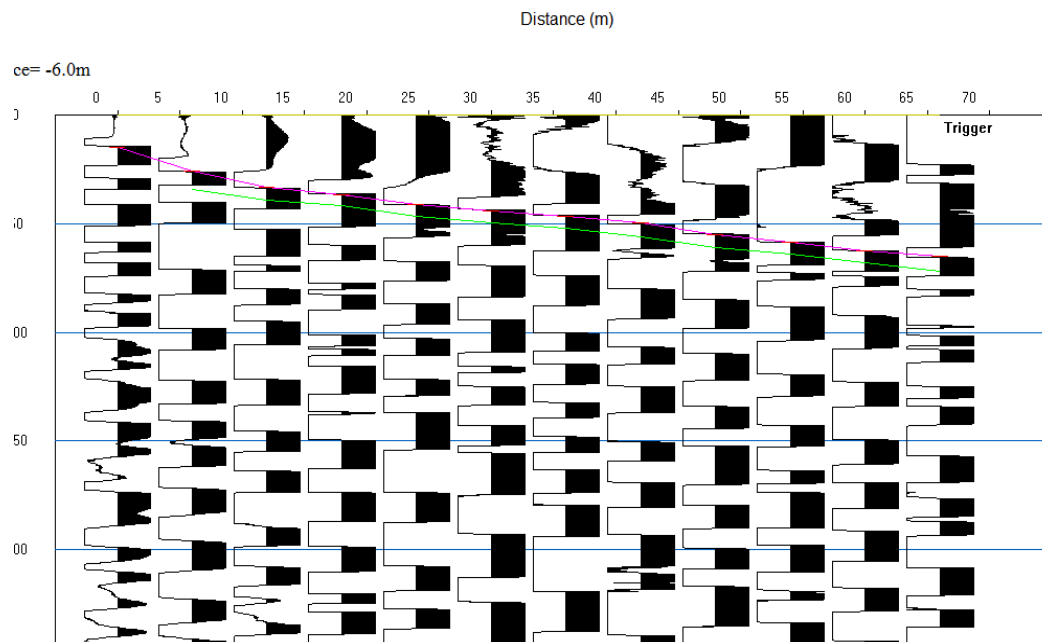
1. Εταιρία Γεωλογικών & Γεωφυσικών Ερευνών, <http://www.geoservice.gr>
2. A glossary - dictionary - collection of terms - terminology related to the field of geology, <http://www.webref.org/geology/geology.htm>
3. Google Earth, <http://earth.google.com>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α  
ΠΡΩΤΕΣ ΑΦΙΞΕΙΣ (PICKING)

## RTH1: Line 1, Record 601

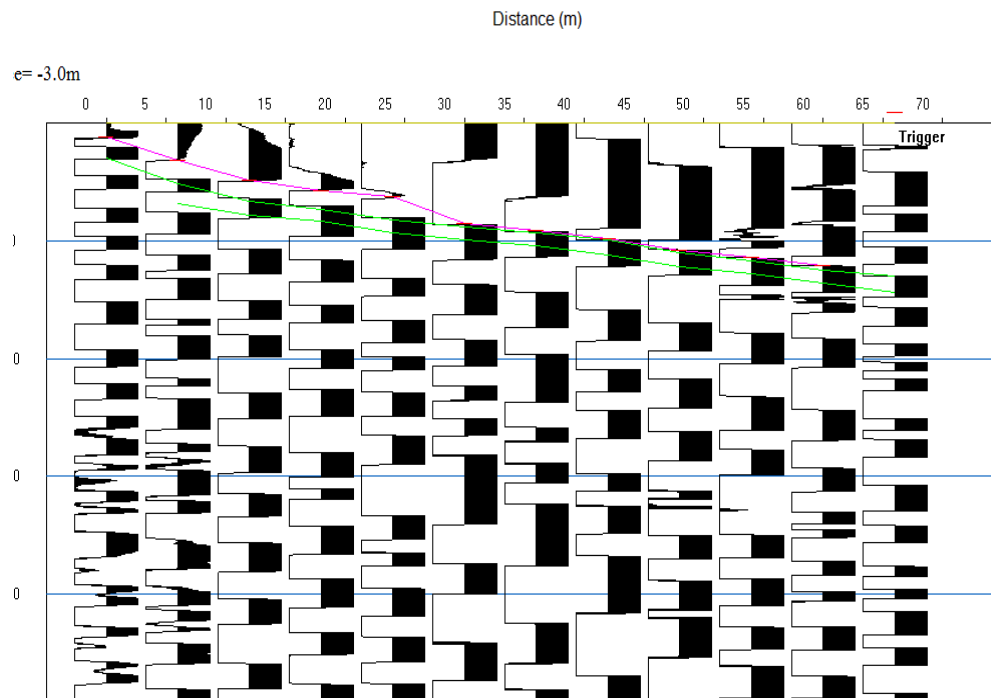


## RTH1: Line 1, Record 602

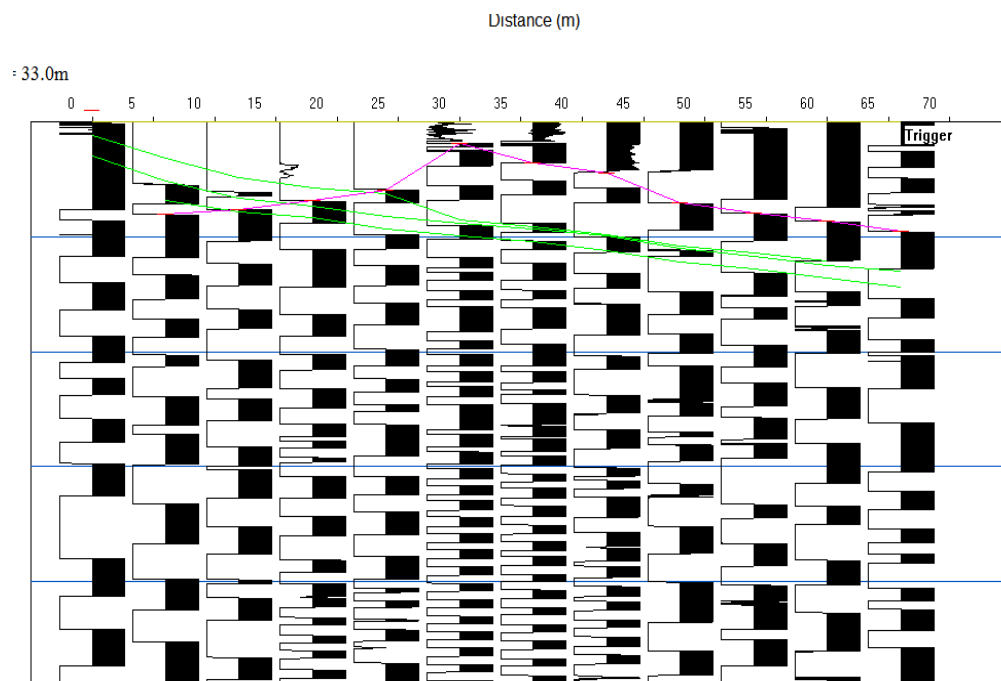




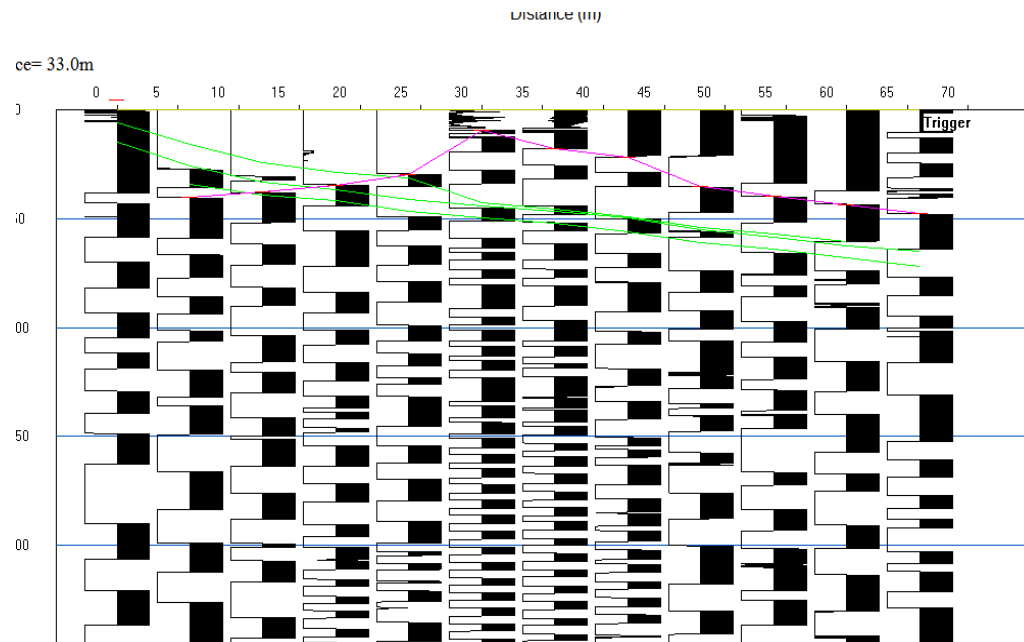
## RTH1: Line 1, Record 603



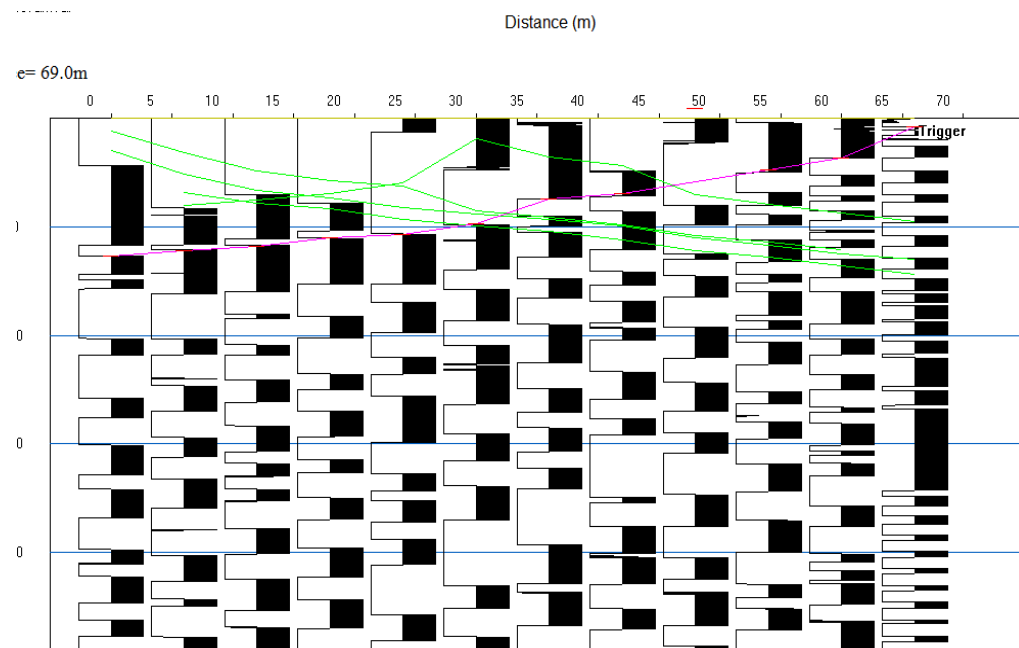
## RTH1: Line 1, Record 604



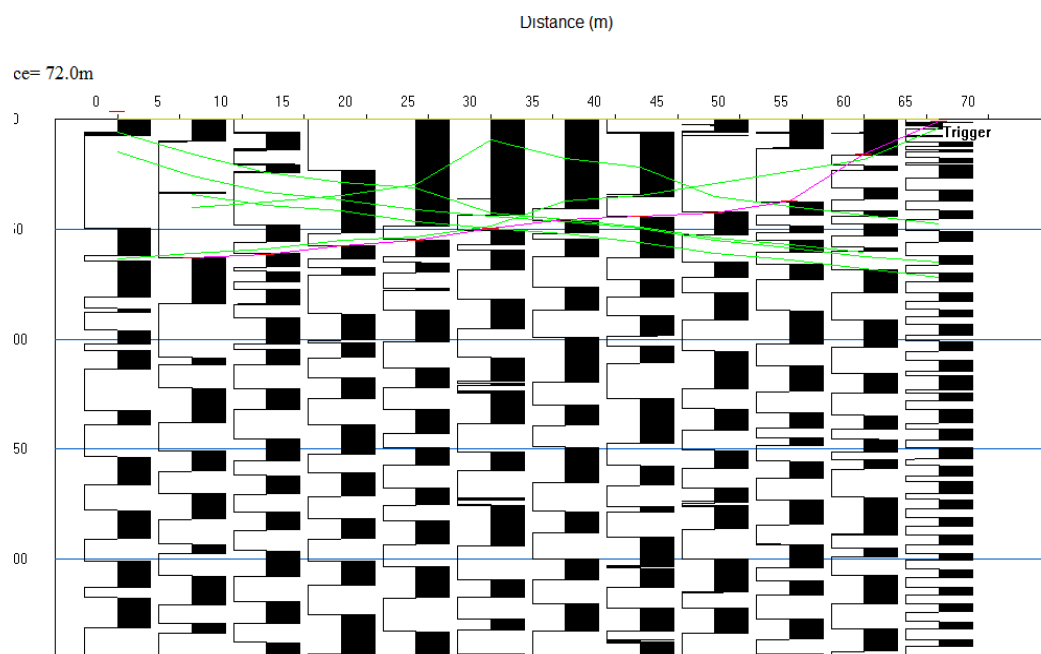
## RTH1: Line 1, Record 605



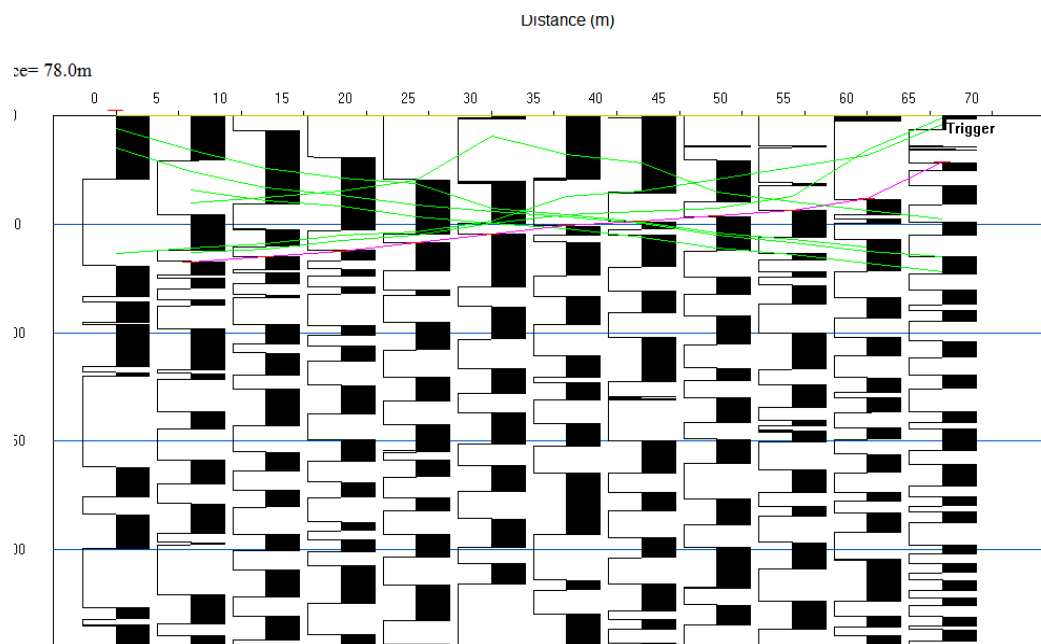
## RTH1: Line 1, Record 606



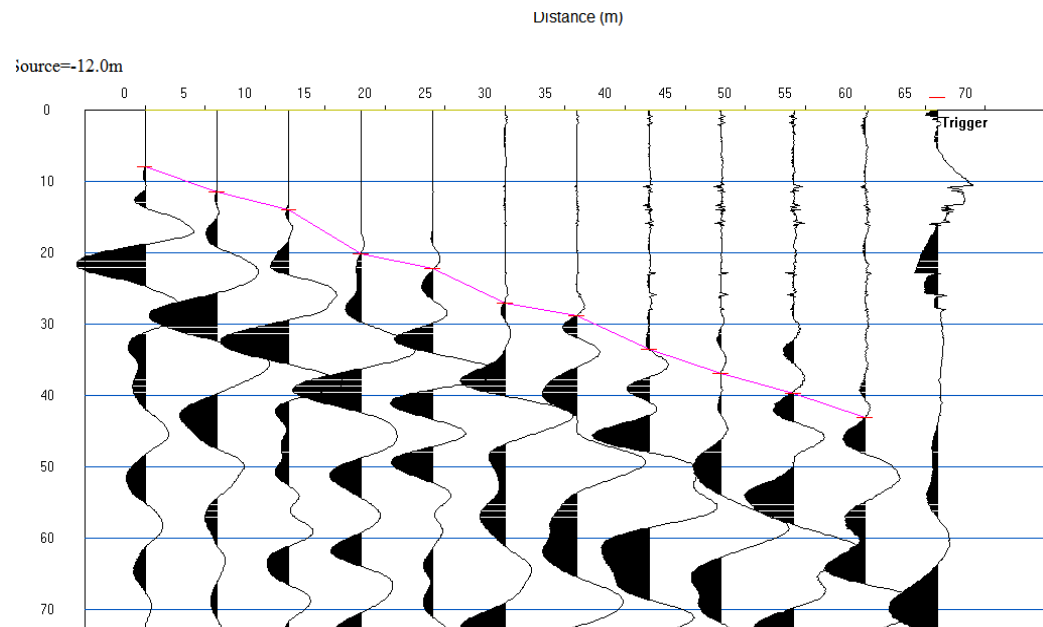
## RTH1: Line 1, Record 607



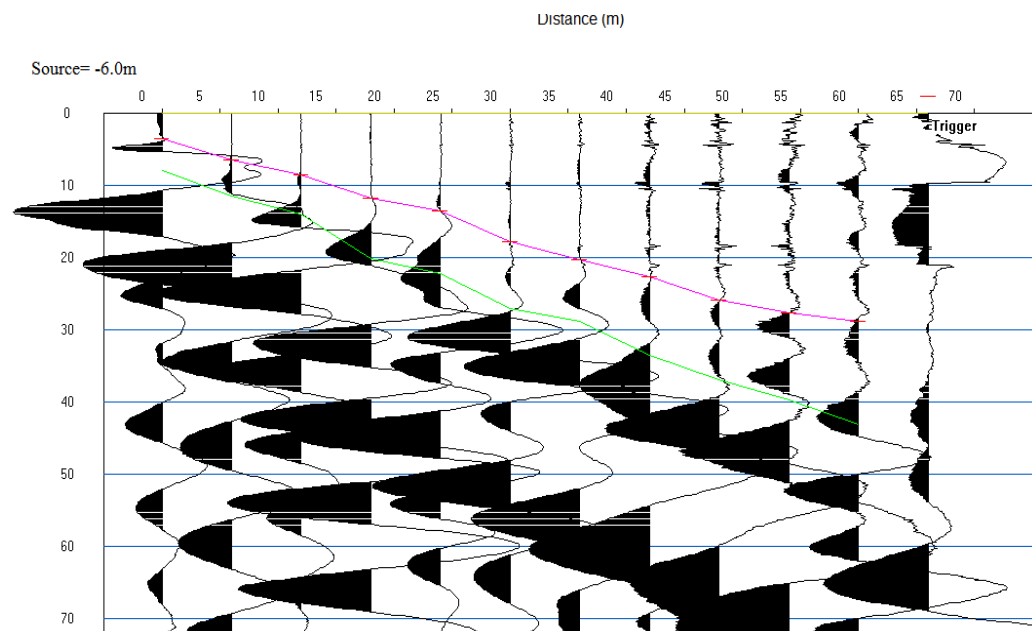
## RTH1: Line 1, Record 608



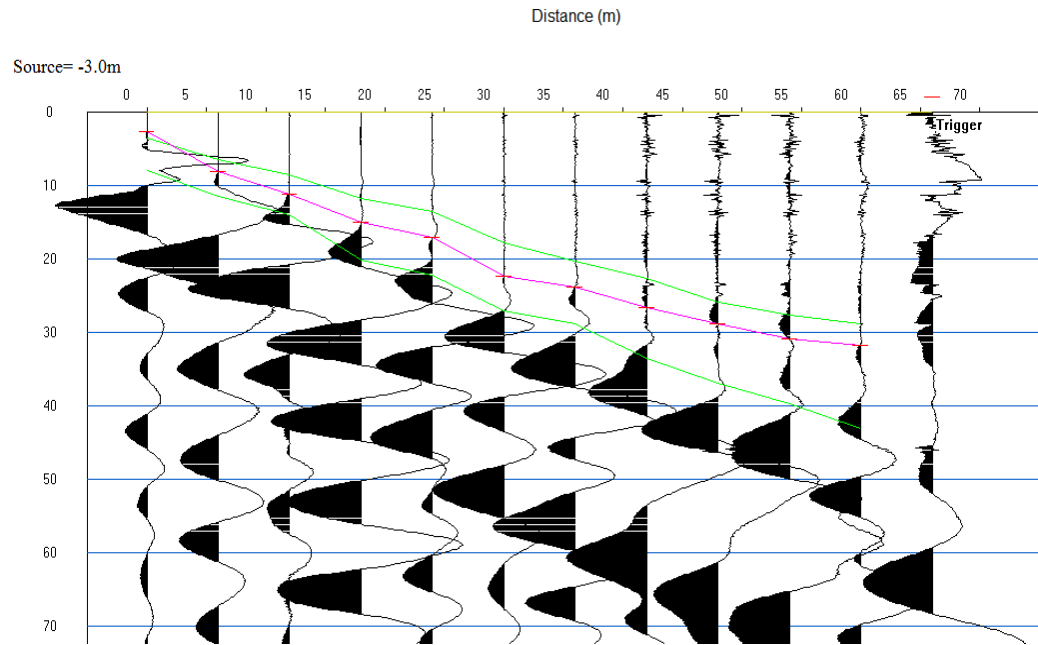
## RTHE: Line 1, Record 901



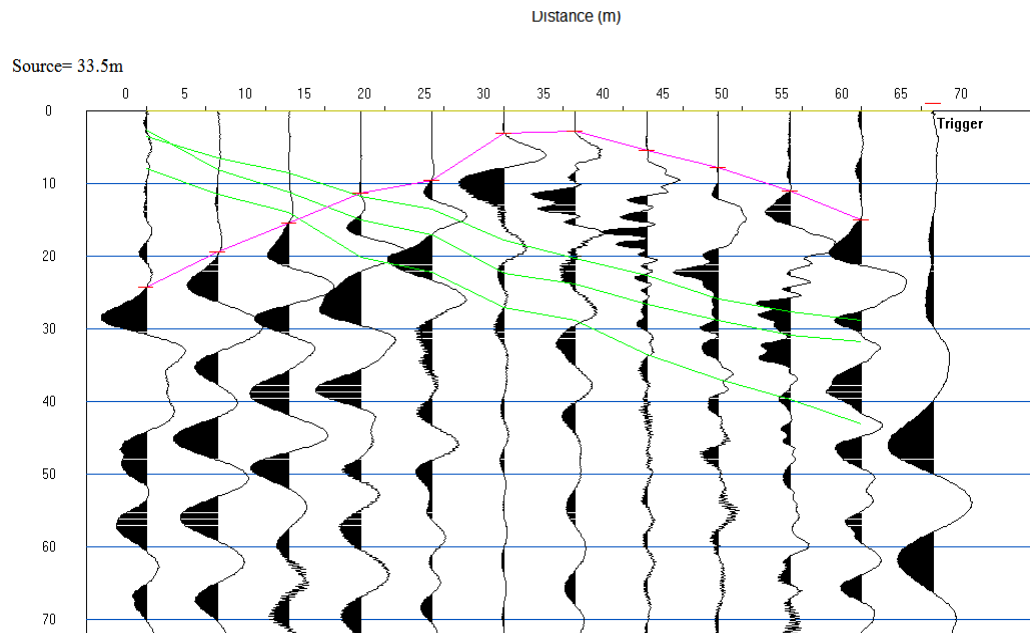
## RTHE: Line 1, Record 902



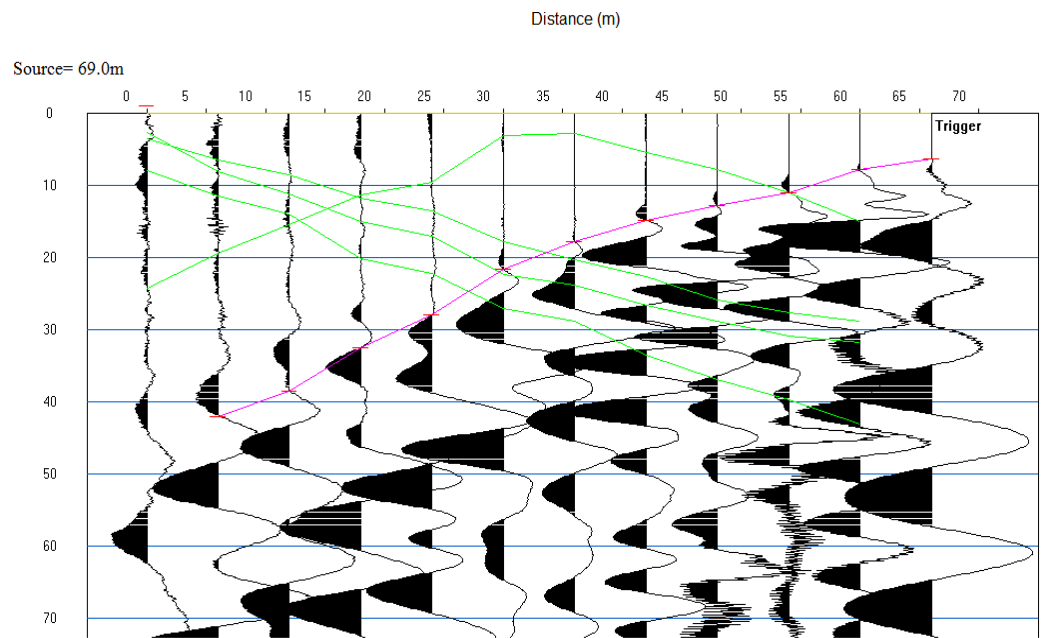
## RTHE: Line 1, Record 903



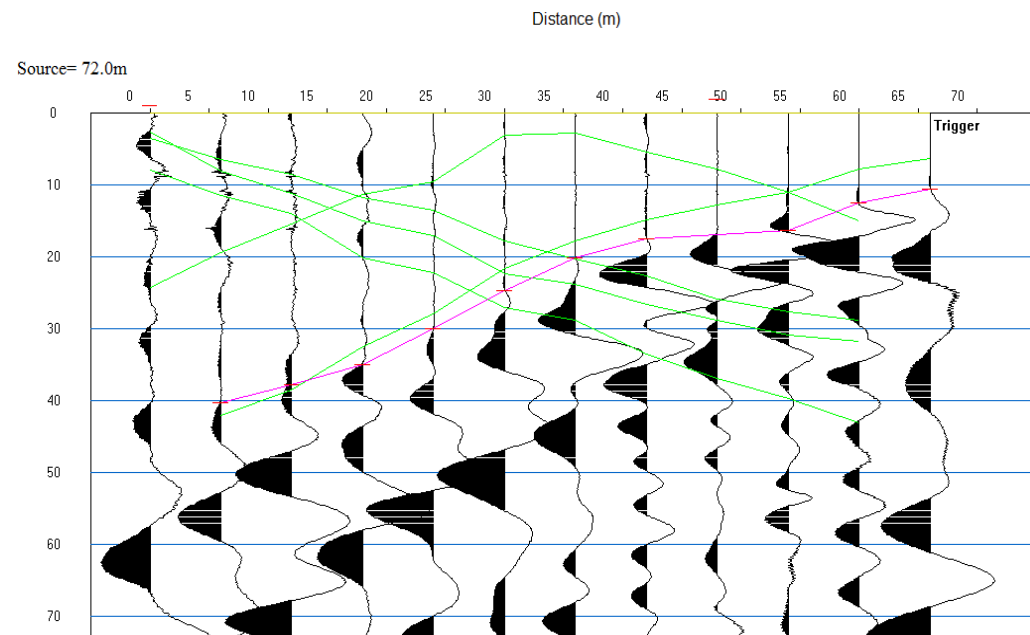
## RTHE: Line 1, Record 904



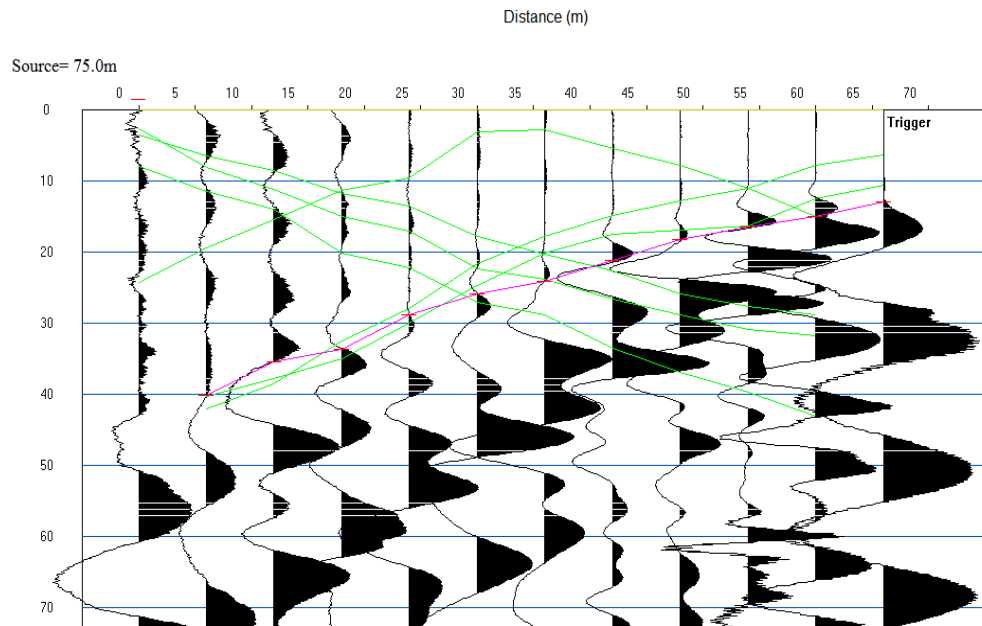
## RTHE: Line 1, Record 905



## RTHE: Line 1, Record 906



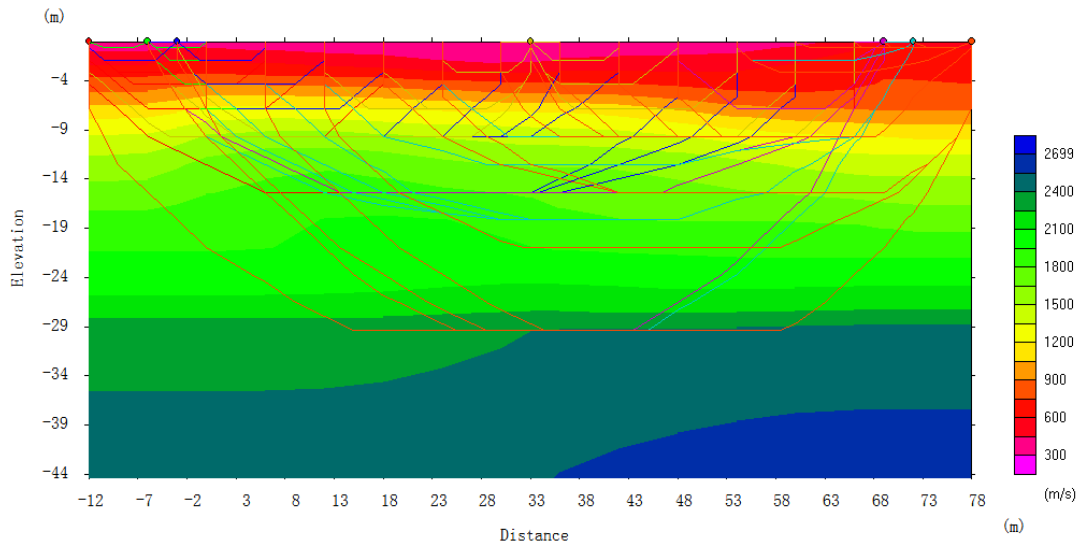
# RTHE: Line 1, Record 907



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β  
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

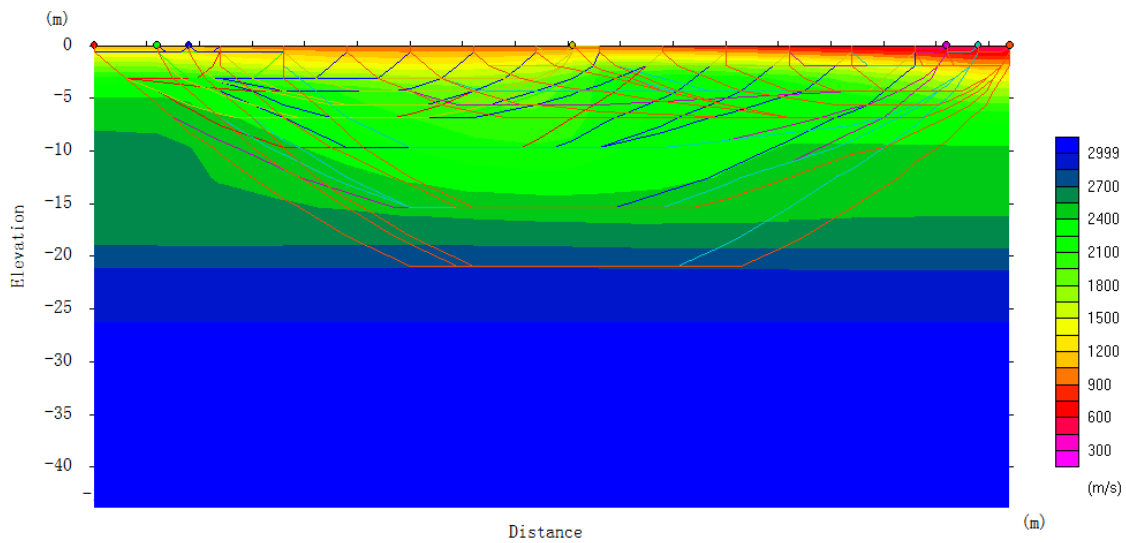


## RTH1: Line 1



**Σχήμα Β 1:** Μοντέλο βάθους της σεισμικής γραμμής μελέτης RTH1: Line 1 (σεισμική τομογραφία). Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται το βάθος ενώ στον οριζόντιο η απόσταση πάνω στη γραμμή μελέτης. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί σε σεισμικές ταχύτητες των  $P$  – κυμάτων.

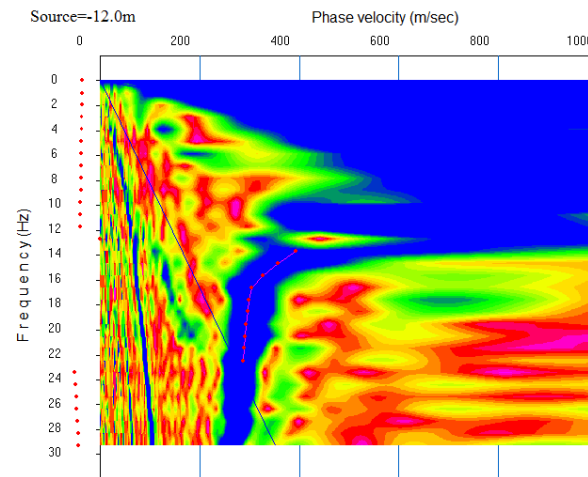
## RTHE: Line 1



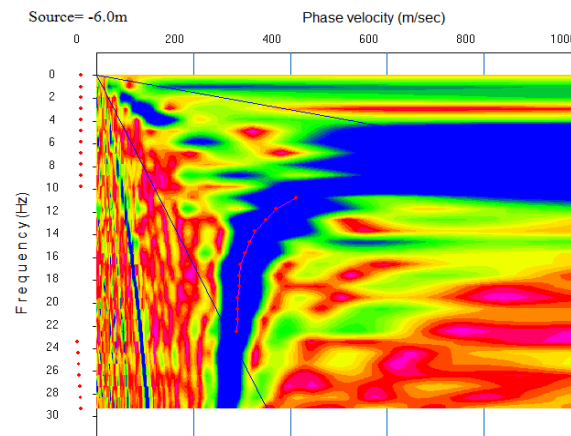
**Σχήμα Β 2:** Μοντέλο βάθους της σεισμικής γραμμής μελέτης RTHE: Line 1 (σεισμική τομογραφία). Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται το βάθος ενώ στον οριζόντιο η απόσταση πάνω στη γραμμή μελέτης. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί σε σεισμικές ταχύτητες των  $P$  – κυμάτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ  
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ  
ΚΥΜΑΤΩΝ

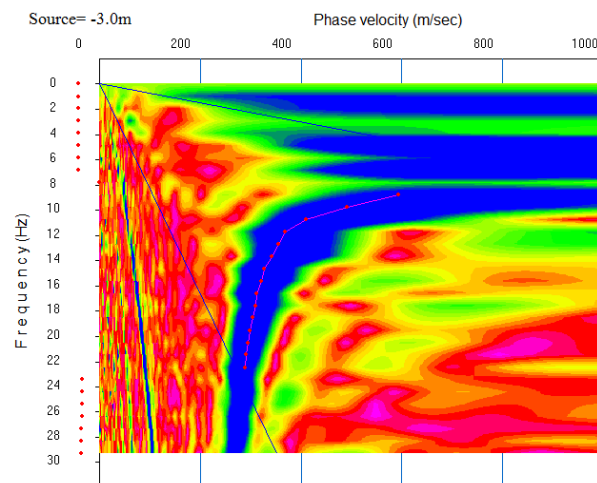
Στα παρακάτω σχήματα (Γ.1 – Γ.8) παρατίθενται οι καμπύλες διασποράς των επιφανειακών κυμάτων. MASW και Re-Mi RTH1



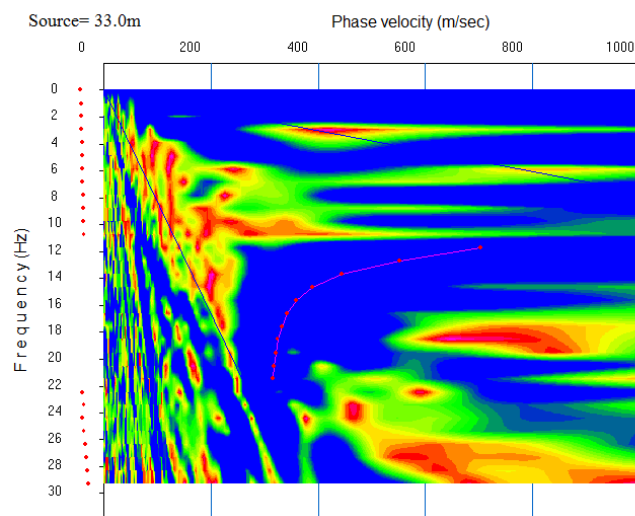
**Σχήμα Γ 1 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 601.



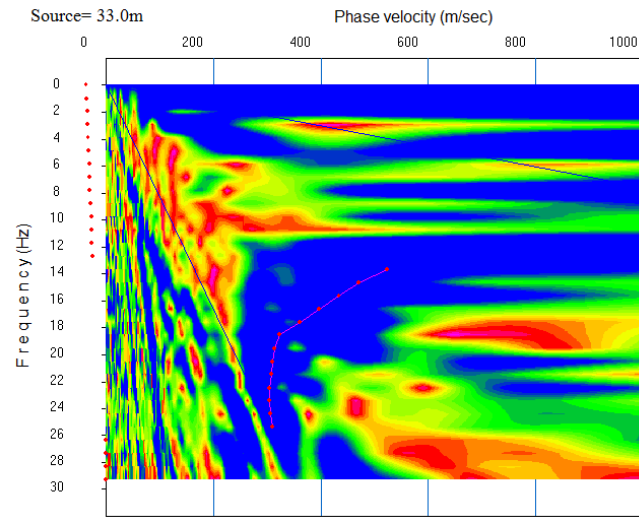
**Σχήμα Γ 2 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 602.



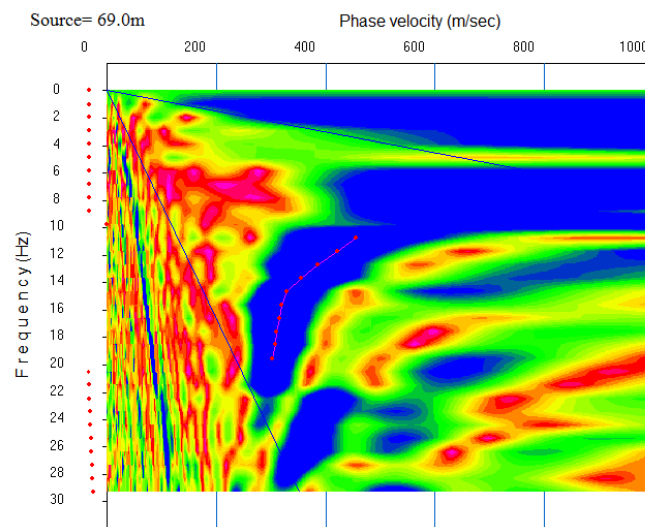
**Σχήμα Γ 3 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 603.



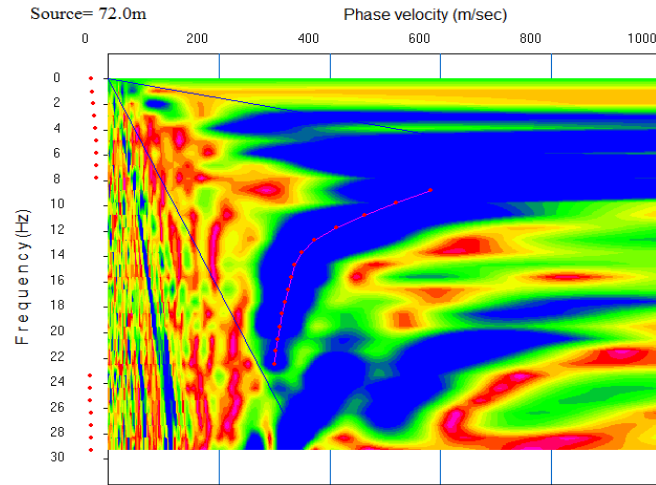
**Σχήμα Γ 4 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 604.



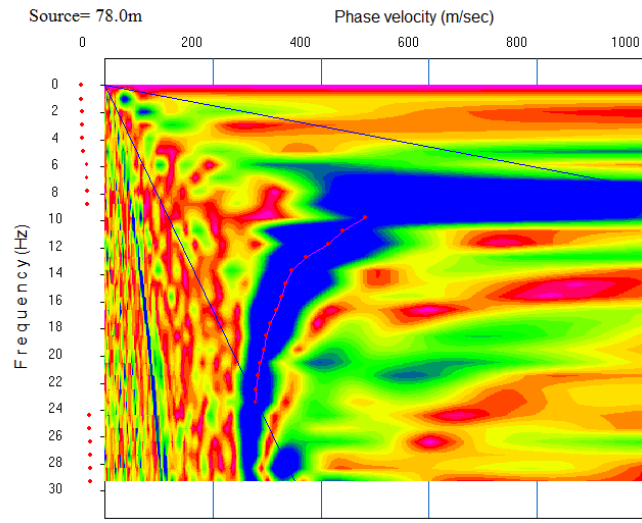
**Σχήμα Γ 5 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 605.



**Σχήμα Γ 6 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 606.

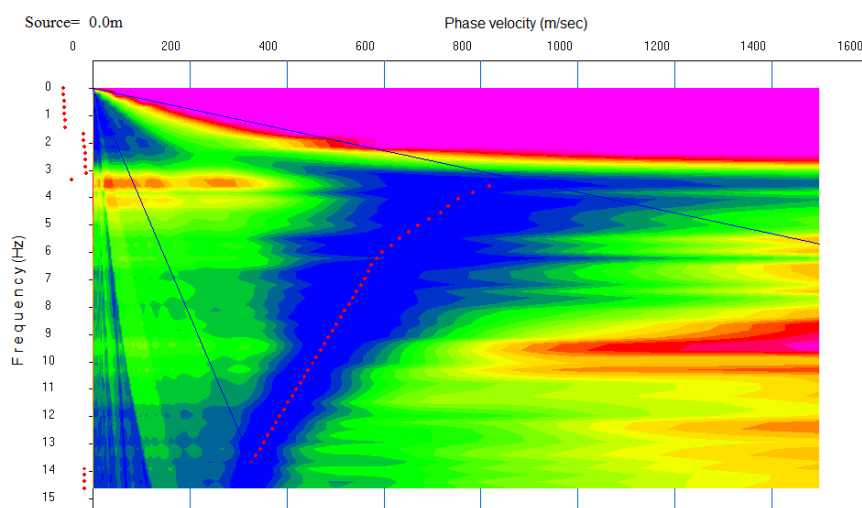


**Σχήμα Γ 7 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 607.



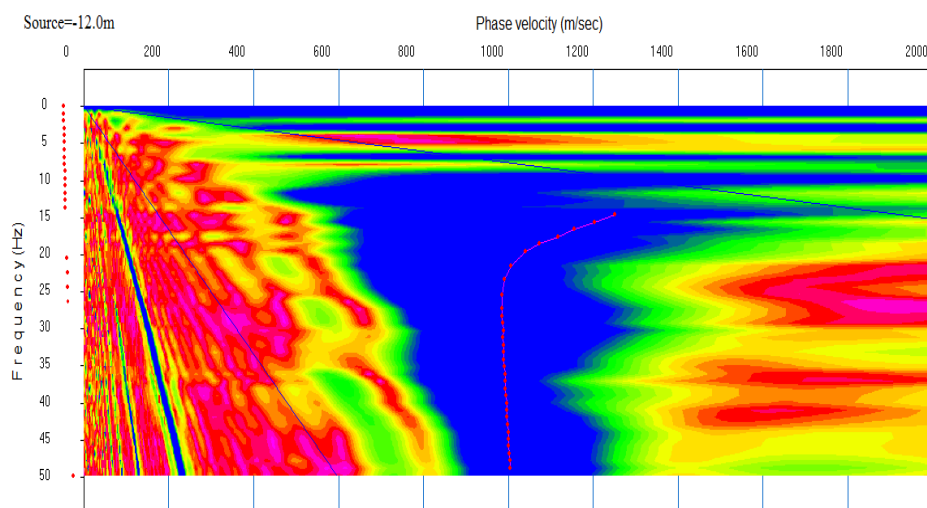
**Σχήμα Γ 7 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 608.

## Re-Mi RTH1

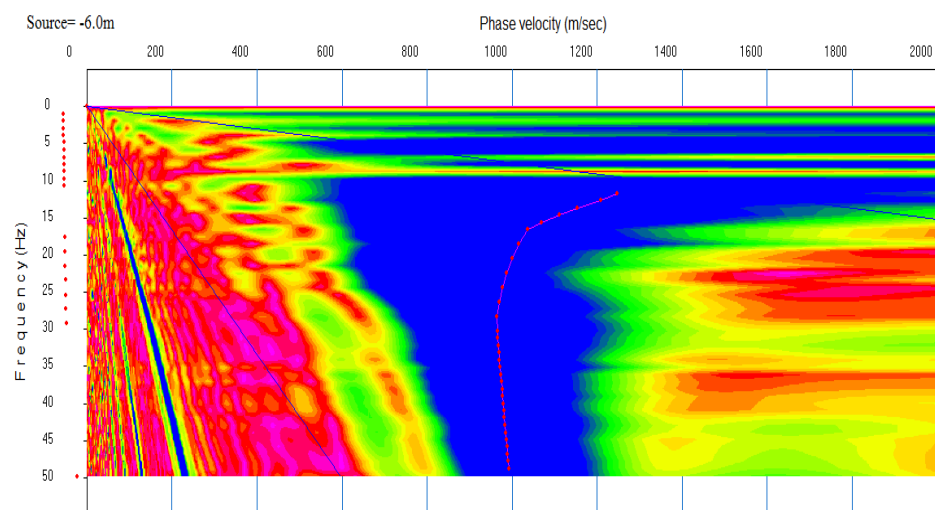


**Σχήμα Γ 8 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων (Re-Mi) όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 6001 - 60024.

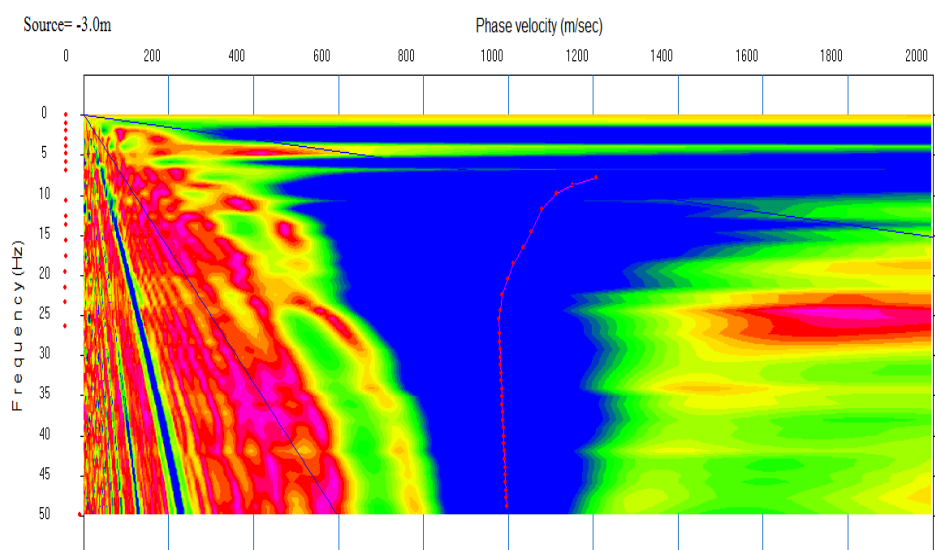
Στα παρακάτω σχήματα (Γ.9 – Γ.) παρατίθενται οι καμπύλες διασποράς των επιφανειακών κυμάτων. MASW και Re-Mi RTHE.



**Σχήμα Γ 9 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 901.

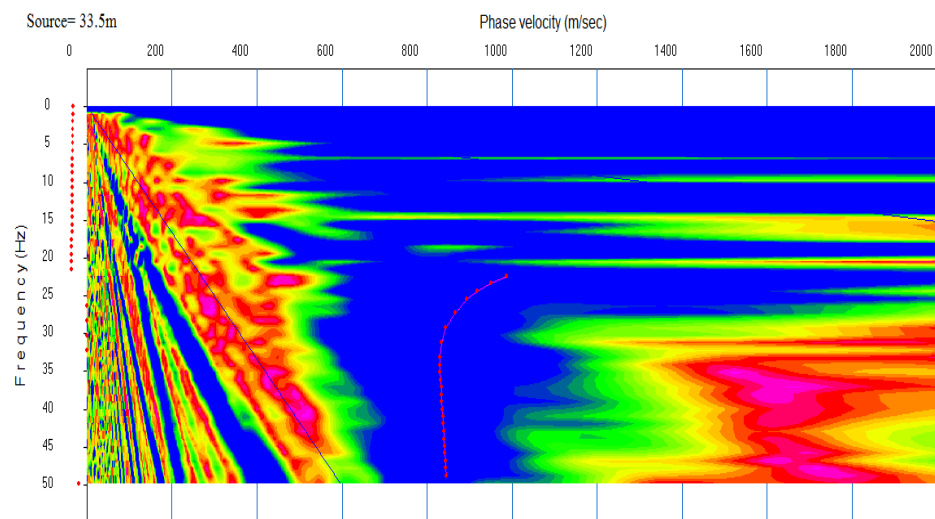


**Σχήμα Γ 10 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 902.

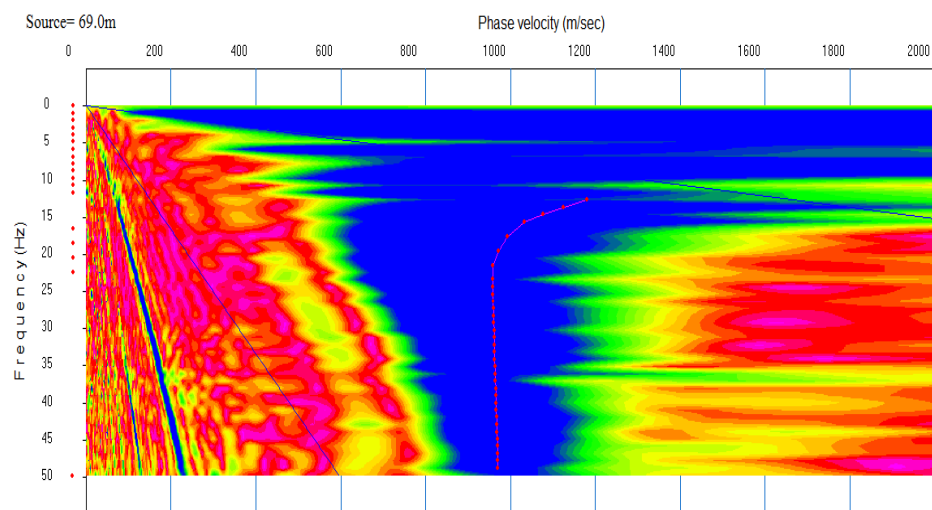


**Σχήμα Γ 11 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 903.

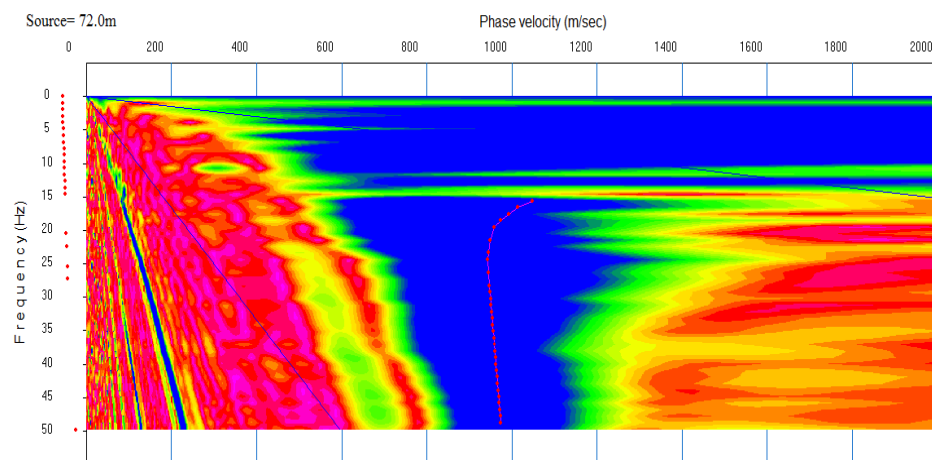




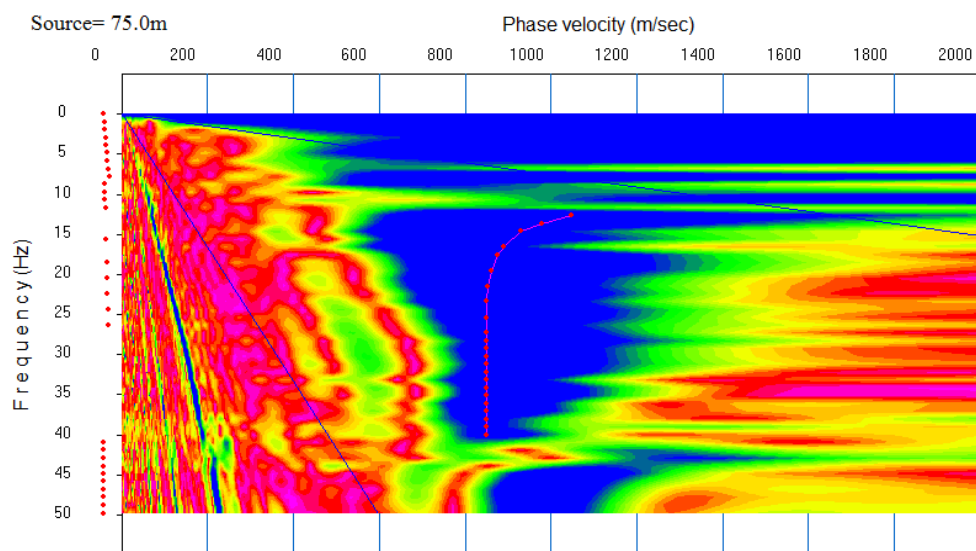
**Σχήμα Γ 12 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 904.



**Σχήμα Γ 13 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 905.

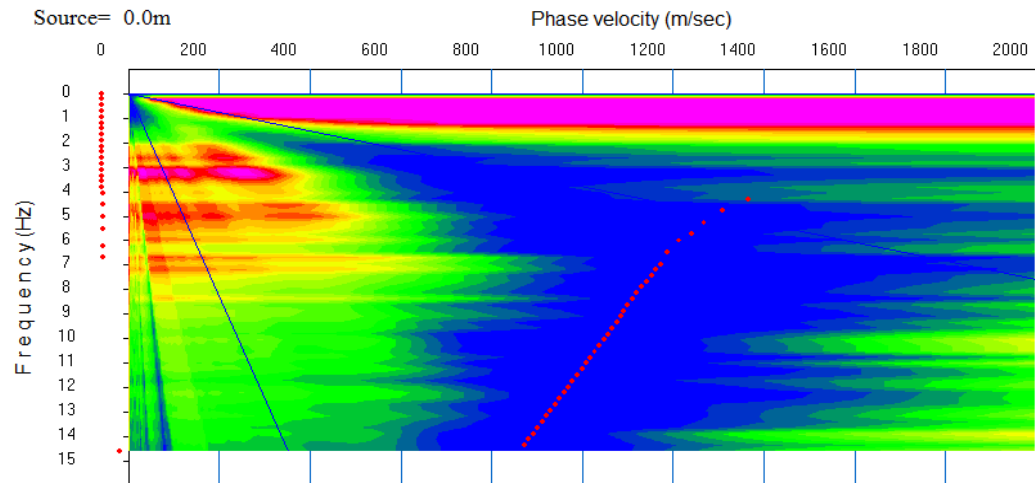


**Σχήμα Γ 14 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 906.



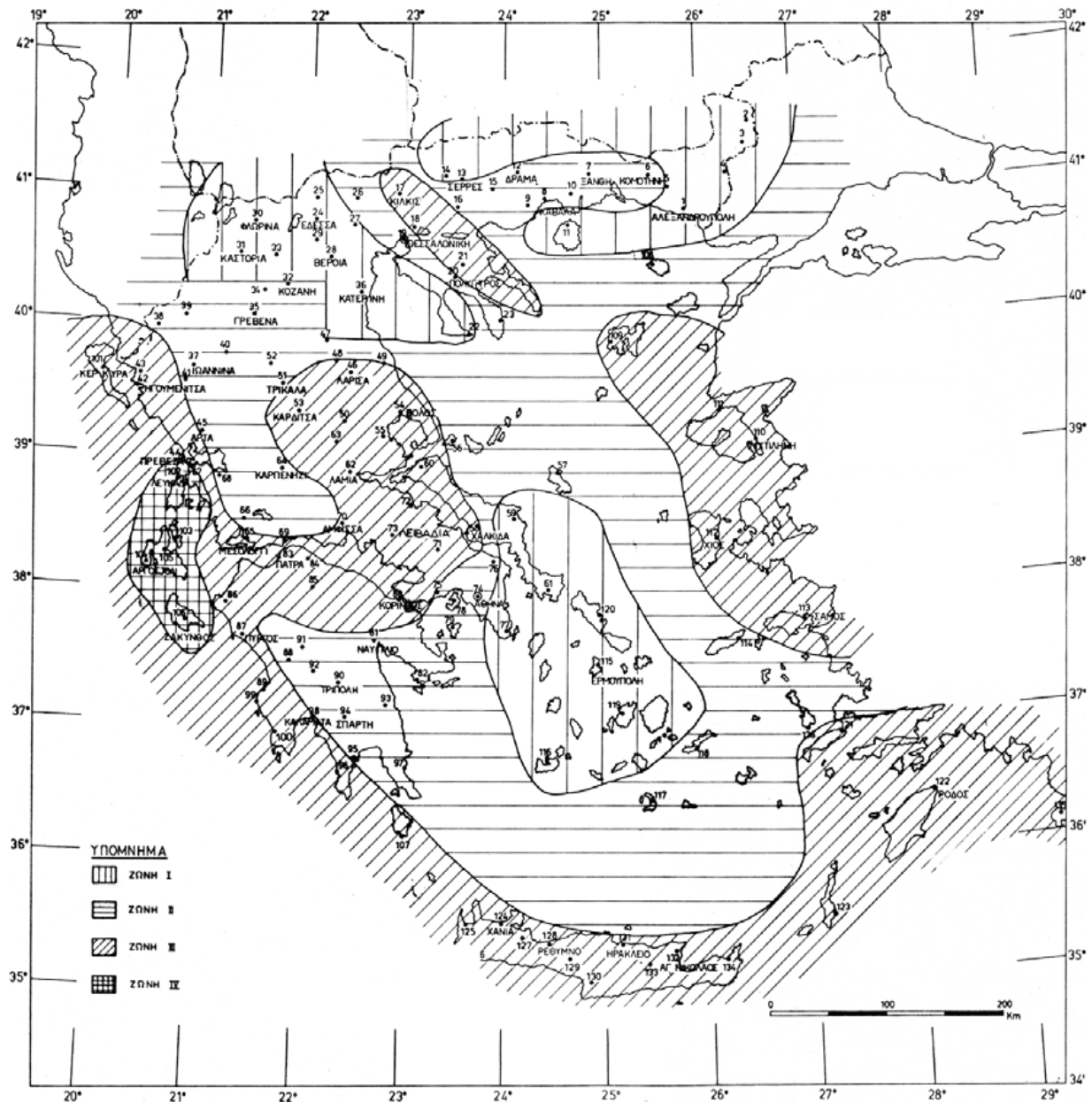
**Σχήμα Γ 15 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 907.

## Re-Mi RTHE



**Σχήμα Γ 16 :** Καμπύλες διασποράς επιφανειακών κυμάτων(*Re-Mi*) όπως προέκυψαν από την σεισμική καταγραφή 9001 - 9024.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ  
ΕΑΚ 2000



**Σχήμα Δ 1 :** Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδος.

**Πίνακας Δ 1 :** Σεισμική επιτάχυνση του εδάφους ( $A=a \cdot g$  (όπου  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας).

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	I	II	III	IV
$\alpha$	0,12	0,16	0,24	0,36

**Πίνακας Δ 2 :** Κατηγορίες εδάφους.

Κατηγορία	Περιγραφή
A	<p>Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με την προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάρθρωση.</p> <p>Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυσιαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ.</p> <p>Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.</p>
B	<p>Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη.</p> <p>Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.</p> <p>Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.</p>
Γ	<p>Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.</p> <p>Ιλυσιαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.</p>
Δ	<p>Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας (<math>I_p &gt; 50</math> ) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.</p>

X	<p>Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοιλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων)</p> <p>Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα.</p> <p>Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων.</p> <p>Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής.</p> <p>Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη.</p> <p>Εδάφη κατηγορίας Γ με μεγάλη κλίση.</p>
---	---



*“Εὐτυχισμένος ποὺ ἔκανε τὸ ταξίδι τοῦ Ὀδυσσέα.”*

(Γ.Σεφέρης, «Πάνω σ’ ἓναν ξένο στίχο»)