



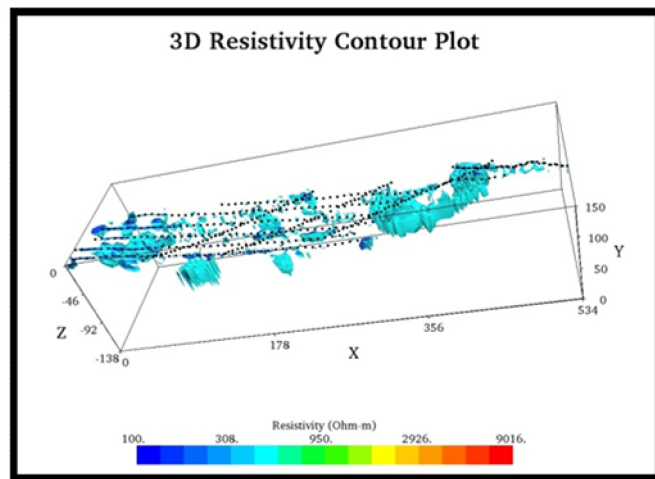
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΠΕΛΑΦΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ
ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ. ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΣΤΑ ΜΑΛΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ**



ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΧΑΤΖΗΠΕΤΡΟΥ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΣΤΕΙΑΚΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΧΑΝΙΑ

ΜΑΡΤΗΣ 2015

Αφιερώνεται

Στους γονείς μου, Παναγιώτη και Κωνσταντίνα

Στην αδελφή μου Άνθη

Στα αγαπημένα μου πρόσωπα

Στους φίλους

για την υπομονή και επίμονη τους,

για την στήριξη και αγάπη τους.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Αντώνιο Βαφείδη Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, τόσο για την ανάθεση του θέματος, όσο και για την άψογη συνεργασία και πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

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

Τέλος πρέπει να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον διδάκτορα Εμμανουήλ Βαρουχάκη για την βοήθειά του στον συσχετισμό των αποτελεσμάτων και τον διδάκτορα Γεώργιο Κρητικάκη του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, για την βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων καθώς και τις υποδείξεις του κατά τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται μια λεπτομερή γεωφυσική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή των Μαλιών Ηρακλείου σε θέση όπου είχε σχεδιαστεί η κατασκευή λιμνοδεξαμενής στα πλαίσια υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο στόχος της διπλωματικής αυτής είναι ο προσδιορισμός του πάχους των εδαφικών στρωμάτων της λιμνοδεξαμενής που θα κατασκευαστεί στην Θέση Μ, η ταξινόμηση σε κατηγορίες των γεωφυσικών και γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των ανθρακικών πετρωμάτων από τα δεδομένα των θέσεων των γεωτρήσεων και η τρισδιάστατη απεικόνιση των ποιο πάνω κατηγοριών.

Για το σκοπό αυτόν πραγματοποιήθηκαν έντεκα γραμμές σεισμικής διάθλασης και δέκα γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας. Μετά το πρώτο αυτό στάδιο της έρευνας αποφασίστηκε η ανόρυξη (σε συγκεκριμένες θέσεις που είχαν προταθεί) έξι (6) δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, στα δείγματα των οποίων πραγματοποιήθηκε και επί τόπου γεωτεχνικός χαρακτηρισμός (RQD, πυκνότητα ασυνεχειών, γεωτεχνικός χαρακτηρισμός κ.λ.π.).

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και ερμηνεία των σεισμικών και γεωηλεκτρικών δεδομένων στις 2 διαστάσεις (χρησιμοποιώντας τα λογισμικά πακέτα SeisImager, Res2Dinv και EarthImager2D), καθώς επίσης και επεξεργασία των γεωηλεκτρικών δεδομένων στις 3 διαστάσεις (3D) με τη χρήση του λογισμικού πακέτου EarthImager3D. Η τελική απεικόνιση του τρισδιάστατου γεωηλεκτρικού μοντέλου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου T3D.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των γεωηλεκτρικών μοντέλων που προέκυψαν από τα διάφορα λογισμικά πακέτα, ενώ έγινε αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων της γεωφυσικής διασκόπησης με τα αντίστοιχα στοιχεία των γεωτρήσεων και πραγματοποιήθηκε προσπάθεια συσχέτισης των γεωτρητικών και των γεωφυσικών δεδομένων. Ο απώτερος στόχος ήταν να προκύψουν στατιστικώς παραδεκτά αποτελέσματα για την κατανομή των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων (RQD και πυκνότητα ασυνεχειών) που προέρχονται από τις γεωτρήσεις σε όλη την έκταση της γεωφυσικής διασκόπησης.

Από τη σύγκριση των διςδιάστατων γεωηλεκτρικών μοντέλων που προέκυψαν από τα διάφορα λογισμικά πακέτα προέκυψε ότι τα αποτελέσματα πολλές φορές δεν συσχετίζονται. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται εν μέρει και στο γεγονός ότι τα συγκρινόμενα στοιχεία δεν αντιστοιχούν ακριβώς στα ίδια βάθη.

Κατά την προσπάθεια της τρισδιάστατης αντιστροφής των γεωηλεκτρικών δεδομένων αντιμετωπίστηκαν σημαντικά λειτουργικά προβλήματα που οφείλονται κυρίως στο γεγονός της ακανόνιστης κατανομής των γεωηλεκτρικών γραμμών μελέτης στο χώρο. Αυτό είχε και ως συνέπεια την υποβάθμιση των τελικών αποτελεσμάτων, κυρίως στις θέσεις όπου δεν υπήρχε ικανοποιητική κάλυψη από δεδομένα.

Από την προκαταρκτική συσχέτιση των γεωτρητικών και των γεωφυσικών δεδομένων προέκυψε ότι οι σεισμική ταχύτητα των P-κυμάτων δεν φαίνεται να σχετίζεται με τοπικές μεταβολές στην ποιότητα των ανθρακικών πετρωμάτων ενώ αντίθετα, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση φαίνεται να επηρεάζεται από την ύπαρξη μεγάλων τιμών της απόστασης των ασυνεχειών, όχι όμως και από τον δείκτη RQD.

Ο προσδιορισμός της κατανομής των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων που προέρχονται από τις γεωτρήσεις σε όλη την έκταση της γεωφυσικής διασκόπησης είναι δυνατόν να επιτευχθεί υπό την προϋπόθεση ότι έχει υλοποιηθεί μια αξιόπιστη ταξινόμηση και έχει γίνει εις βάθος στατιστική μελέτη. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα διπλωματική έχει πραγματοποιηθεί μια προσεγγιστική στατιστική ανάλυση μεταξύ των γεωφυσικών και γεωτεχνικών δεδομένων και όχι μια ενδελεχής μελέτη συσχέτισης των παραμέτρων αυτών.

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής προτείνεται ότι για να είναι εφικτή αλλά και αξιόπιστη η τρισδιάστατη αντιστροφή με το λογισμικό πακέτο EarthImager3D θα πρέπει τα γεωηλεκτρικά δεδομένα να δειγματοληπτούνται σε κανονικό κάναβο. Επιπρόσθετα, για τον προσδιορισμό της κατανομής των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων που προέρχονται από τις γεωτρήσεις σε όλη την έκταση της γεωφυσικής διασκόπησης θα πρέπει να υλοποιηθεί μια λεπτομερής στατιστική συσχέτιση των δεδομένων αυτών έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα και αξιοποιήσιμα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Αφιέρωση.....	i
Πρόλογος.....	ii
Περίληψη.....	iii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Υβριδικά Συστήματα Παραγωγής Ενέργειας	2
1.1.1 Ιστορικά Στοιχεία για Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	2
1.1.2 Υβριδικά Συστήματα Ενέργειας	2
1.1.3 Αιολική Ενέργεια	3
1.1.4 Ηλιακή Ενέργεια	3
1.1.5 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	4
1.2 Περιοχή Μελέτης	5
1.2.1 Γεωλογικά Στοιχεία της Περιοχής Μελέτης	7
1.3 Σχεδιασμός Λιμνοδεξαμενών και Γεωφυσικές Μεθόδους.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	11
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ	11
2.1 Βασικές Αρχές της Σεισμικής Τομογραφίας	11
2.2 Βασικές Αρχές της Ηλεκτρικής Τομογραφίας.....	15
2.3 Δισδιάστατη Ηλεκτρική Τομογραφίας	15
2.4 Τρισδιάστατη Ηλεκτρική Τομογραφίας	17
2.5 Συλλογή των Γεωφυσικών Δεδομένων.....	19
2.6 Γεωφυσικά Δεδομένα	20
2.6.1 Σεισμική Έρευνα.....	20
2.6.2 Ηλεκτρική Τομογραφία	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	25
3.1 Γεωτρητικά Δεδομένα.....	25
3.2 Επεξεργασία Σεισμικών Δεδομένων.....	27
3.2.1 Μεθόδοι Επεξεργασίας	27

3.2.2 Αποτελέσματα Επεξεργασίας	30
3.3 Επεξεργασία Μετρήσεων Ηλεκτρικής Τομογραφίας	36
3.3.1 Δισδιάστατη Επεξεργασία με το Λογισμικό Res2dinv	36
3.3.1.1 Μέθοδος Επεξεργασίας.....	36
3.3.1.2 Αποτελέσματα Επεξεργασίας	37
3.3.2 Δισδιάστατη Επεξεργασία με το Λογισμικό EarthImager2D	40
3.3.2.1 Μέθοδος Επεξεργασίας.....	40
3.3.2.2 Αποτελέσματα Επεξεργασίας	41
3.4 Σύγκριση Αποτελεσμάτων από τα Λογισμικά Res2dinv και EarthImager2D.....	44
3.5 EarthImager3D.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	63
4.1 Περιγραφή Μεθοδολογίας Συσχέτισης των Γεωτεχνικών Χαρακτηριστικών των Πετρωμάτων με τις Τιμές της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης	63
4.2 Τρισδιάστατη Απεικόνιση των Δεδομένων με Βάση την Ταξινόμηση με το Λογισμικό EarthImager3D.....	67
4.3 Τρισδιάστατη Απεικόνιση των Δεδομένων με Βάση την Ταξινόμηση με το Λογισμικό T3D	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	74
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75
ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	76
ΙΣΤΙΟΣΕΛΙΔΕΣ	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	78
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	109
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	114
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ	123

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας, για το σχεδιασμό λιμνοδεξαμενής και τον γεωτεχνικό χαρακτηρισμό του υπεδάφους στα Μάλια Ηρακλείου με βάση γεωτρητικά και γεωφυσικά στοιχεία.

Η εργασία αυτή αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Τα περιεχόμενα του κάθε κεφαλαίου, περιγράφονται συνοπτικά ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και στις γεωφυσικές μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό λιμνοδεξαμενών ή για τον γεωτεχνικό χαρακτηρισμό βραχδών σχηματισμών. Κατόπιν γίνεται περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης και στις στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες που αποτελούν την γεωλογική δομή της περιοχής των Μαλίων Ηρακλείου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας. Στην αρχή του κεφαλαίου πραγματοποιείται αναφορά στα είδη των σεισμικών κυμάτων και τις αρχές διάδοσης τους. Στη συνέχεια αναλύεται εκτενέστερα η μέθοδος σεισμική διάθλαση και η συνδρομή της στην εκτίμηση του πάχους και της σεισμικής ταχύτητας των γεωλογικών σχηματισμών. Επίσης, περιγράφεται η διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων αυτής.

Ακολούθως, αναλύονται οι διάφορες ηλεκτρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης, όπου περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Τέλος, γίνεται εκτενέστερη αναφορά στη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας και της διαδικασίας επεξεργασίας των μετρήσεων αυτής. Στο ίδιο κεφάλαιο, περιγράφεται ο τρόπος διεξαγωγής των γεωφυσικών μετρήσεων και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε.

Το τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον χαρακτηρισμό των ανθρακικών πετρωμάτων όπως προέκυψε από τα γεωτρητικά στοιχεία καθώς και στα αποτελέσματα της επεξεργασίας των γεωφυσικών δεδομένων ενώ πραγματοποιείται και η σύγκριση των αποτελεσμάτων της δισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας που προέκυψαν από δύο διαφορετικά λογισμικά πακέτα (Res2DinvTM και EarthImager2DTM). Τέλος, παρατίθεται το γεωηλεκτρικό μοντέλο της μελέτης περιοχής στις τρεις διαστάσεις, όπως προέκυψε από την τρισδιάστατη αντιστροφή των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας με το λογισμικό EarthImager3DTM.

Στο τέταρτο κεφάλαιο οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων ταξινομούνται σε κατηγορίες και εξετάζεται η συσχέτιση των κατηγοριών αυτών με τον δείκτη RQD και την απόσταση των ασυνεχειών στις θέσεις των γεωτρήσεων. Ακολουθώντας, με βάση τη συσχέτιση των γεωφυσικών και των γεωτρητικών δεδομένων επιχειρείται η τρισδιάστατη απεικόνιση των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων (απόστασης ασυνεχειών) σε όλη την έκταση της γεωφυσικής διασκόπησης.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία και πραγματοποιούνται προτάσεις για την αντιμετώπιση προβλημάτων που απαντήθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

1.1 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο άνθρωπος από τα παλιά χρόνια προσπάθησε να εκμεταλλευτεί διάφορα στοιχεία της φύσης έτσι ώστε να τα χρησιμοποιήσει προς όφελος του κυρίως για τις ανάγκες του, όπου αυτές ήταν μεγάλες. Εκμεταλλεύτηκε την παρουσία του ανέμου και του ήλιου προτού ανακαλύψει τις αιτίες που τα δημιουργούν και προτού κατανοήσει την έννοια της ενέργειας όπως την ξέρουμε σήμερα (Καρταλίδης, 2011).

Δημιουργήθηκαν πολλές κατασκευές ή ακόμα και συστήματα κατασκευών για να εκτελούν εργασίες που ήταν σκληρές για τα ζώα και τον άνθρωπο. Τα πρώτα στοιχεία που εκμεταλλεύτηκε ο άνθρωπος ήταν ο άνεμος και ο ήλιος. Κατασκεύασε πανιά στα καράβια του για θαλάσσιες μεταφορές, για παραγωγή αλευριού στους ανεμόμυλους και εκμεταλλεύτηκε την θερμότητα του ήλιου για ξήρανση.

1.1.2 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ως Υβριδικό Σύστημα Ενέργειας ορίζεται οποιοδήποτε αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, στο οποίο ενσωματώνονται περισσότερες από μία πηγές ενέργειας που λειτουργούν μαζί με τον απαραίτητο υποστηρικτικό εξοπλισμό, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης της ενέργειας, με στόχο την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο ή στο σημείο εγκατάστασής του (Αντωνάκοπουλος, 2010).

Τα βασικά μέρη που συνιστούν ένα Υβριδικό Σύστημα Ενέργειας είναι:

- α) οι μονάδες παραγωγής της ενέργειας
- β) η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας
- γ) η μονάδα ελέγχου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε ένα υβριδικό σύστημα είναι η Ηλιακή, Αιολική και Υδροηλεκτρική Ενέργεια.

1.1.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που φέρει ο άνεμος και μπορεί γενικά να υποστεί εκμετάλλευση από τον άνθρωπο με την χρήση διαφόρων τεχνολογιών. Πρωταρχική πηγή της αιολικής ενέργειας είναι η θέρμανση της ατμόσφαιρας από τις ακτίνες του ήλιου, αφού θερμαίνοντας τις αέριες μάζες στην επιφάνεια της γης, αυτές μετακινούνται λόγω διαφοράς πίεσης που οφείλεται σε ανομοιόμορφη θέρμανση.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται με ειδικές μηχανές που ονομάζονται ανεμογεννήτριες και μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου κατευθείαν σε ηλεκτρισμό (Σχήμα 1.1).

Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια που υπάρχει στον άνεμο σε περιστροφική ενέργεια και μετά με την βοήθεια γεννήτριας σε συνεχές ή εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.



Σχήμα 1.1: Σύστημα ανεμογεννητριών που θα αποτελεί ένα από τα τμήματα του υβριδικού συστήματος ενέργειας του έργου. (<http://el.wikipedia.org>)

1.1.4 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

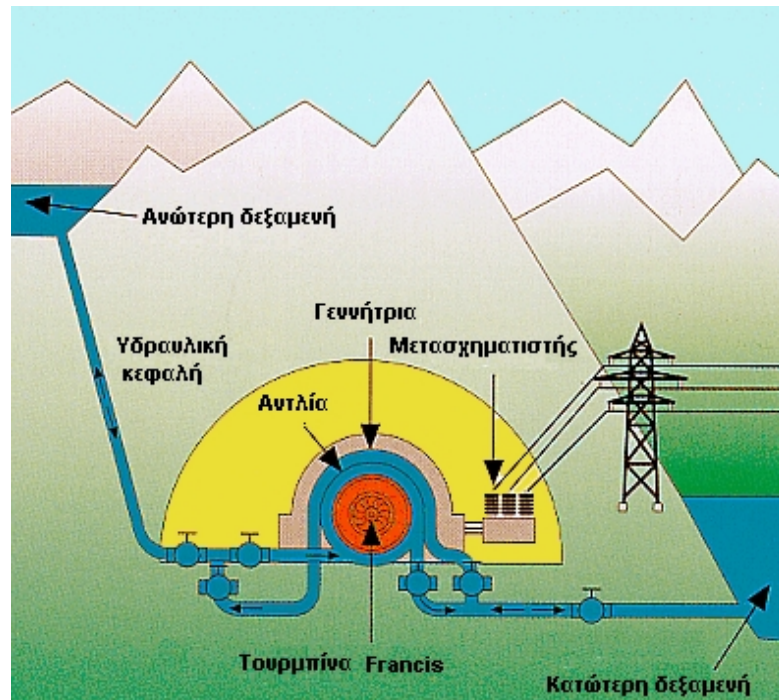
Ηλιακή ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παίρνουμε από τον Ήλιο μέσω της ακτινοβολίας του. Η ενέργεια αυτή είναι προϊόν των αντιδράσεων πυρηνικής σύντηξης που συμβαίνουν στο εσωτερικό του Ήλιου. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με την μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας απευθείας σε ηλεκτρικό ρεύμα με την χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα με την βοήθεια του φωτοβολταϊκού πάνελ.

1.1.5 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού. Το νερό ρέει κατηφορικά σε ρυάκια, χείμαρρους και ποτάμια μέχρι να φτάσει στη θάλασσα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού και όσο ψηλότερα βρίσκεται, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που περιέχει.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική μέσω του υδροστροβίλου και στη συνέχεια σε ηλεκτρική μέσω της γεννήτριας (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Τμήμα υβριδικού συστήματος που αποτελείται από στροβίλους και είναι συνδεδεμένο με τις δυο δεξαμενές (http://users.sch.gr/imarinakis/hydraulic_energy.htm).

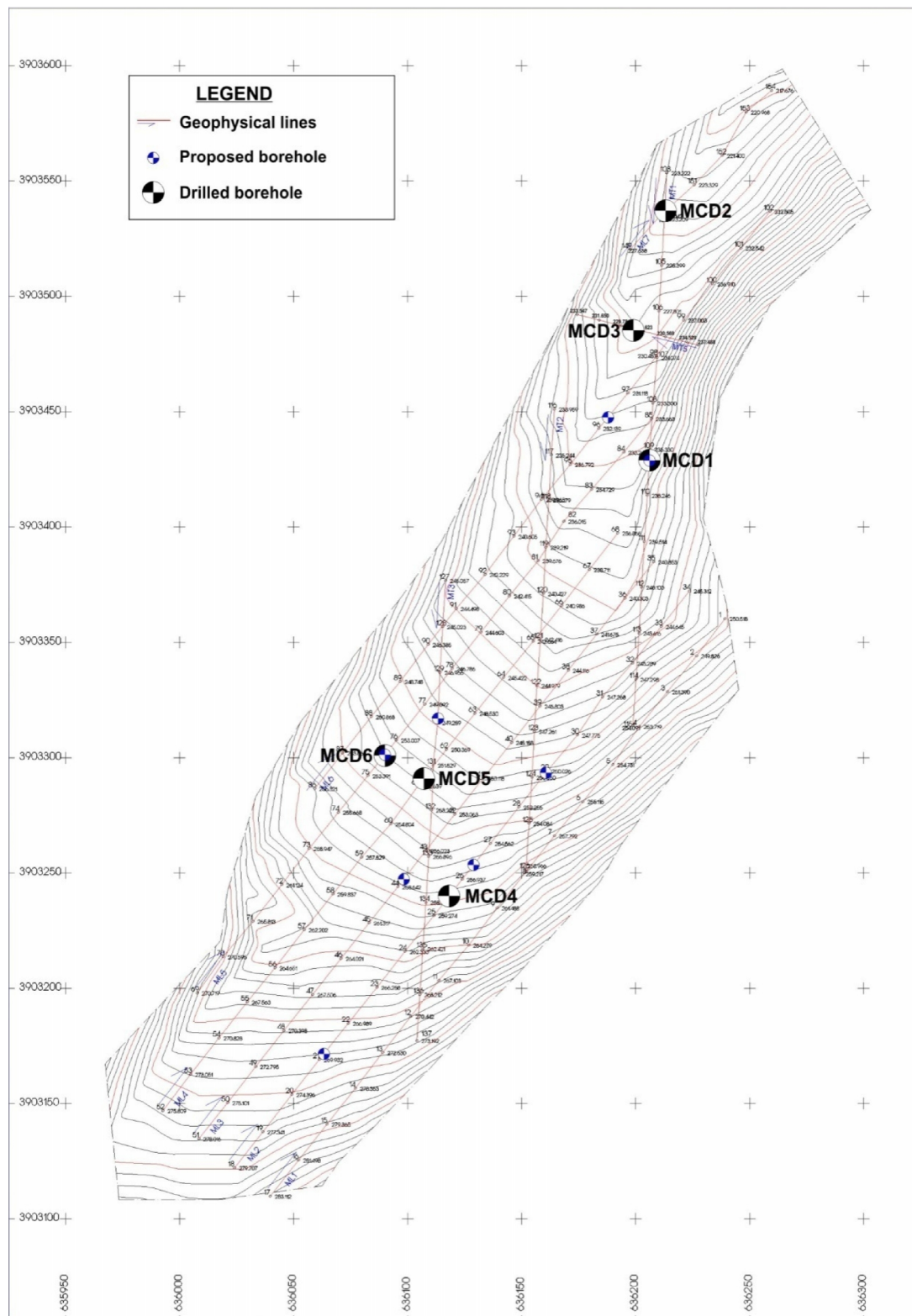
Το έργο όπου έχει σχεδιαστεί στα Μάλια Ηρακλείου έχει ως σκοπό την συλλογή υδάτινων πόρων και την εκμετάλλευσή τους για την παραγωγή ενέργειας σε ετήσια βάση. Το έργο περιλαμβάνει 2 λιμνοδεξαμενές που έχουν διαφορά ύψους περίπου 630m και ένα υβριδικό σύστημα με αιολικό πάρκο και υδροστροβίλους. Το όλο έργο θα δουλεύει σε ετήσια βάση αφού το χειμώνα από τις βροχοπτώσεις οι λιμνοδεξαμενές θα γεμίσουν και με την δυναμική ενέργεια του νερού που θα αφήνεται από την πάνω λιμνοδεξαμενή θα παράγεται ενέργεια από τον υδροστροβίλο. Έπειτα το νερό θα φτάνει στην κάτω δεξαμενή από την ενέργεια που θα παράγει το αιολικό πάρκο και με την βοήθεια αντλιών το νερό θα φτάνει στην πάνω λιμνοδεξαμενή.

1.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται νοτιοανατολικά των Μαλίων, στο Ηράκλειο Κρήτης (Σχήμα 1.3) και αποτελείται από δύο διαφορετικές τοποθεσίες, όπου δυο λιμνοδεξαμενές προγραμματίζεται να κατασκευαστούν. Τόσο η δεξαμενή στη θέση Μ και όσο και η δεξαμενή Κ βρίσκονται νοτιοανατολικά των Μαλίων. Το μέσο υψόμετρο στη θέση Μ είναι περίπου +270 m, ενώ στη θέση Κ είναι περίπου +900 m. Η οριζόντια απόσταση τους είναι περίπου 2,8 km. Στο Σχήμα 1.4 απεικονίζεται ο τοπογραφικός χάρτης και τα όρια της λιμνοδεξαμενής στη θέση Μ, συμπεριλαμβανομένων των γραμμών μελέτης και των θέσεων των γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν. Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιείται μελέτη των γεωλογικών σχηματισμών μόνο για την λιμνοδεξαμενή που βρίσκεται στην θέση Μ.



Σχήμα 1.3: Δορυφορική εικόνα της περιοχής Μάλια, Ηράκλειο, Κρήτης όπου απεικονίζονται οι δυο λιμνοδεξαμενές (Site M – Site K).



Σχήμα 1.4: Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής μελέτης Μ. Απεικονίζονται επίσης οι θέσεις των γραμμών μελέτης, το περίγραμμα της λιμνοδεξαμενής καθώς και οι θέσεις των προτεινόμενων και των διατηρηθέντων γεωτρήσεων.

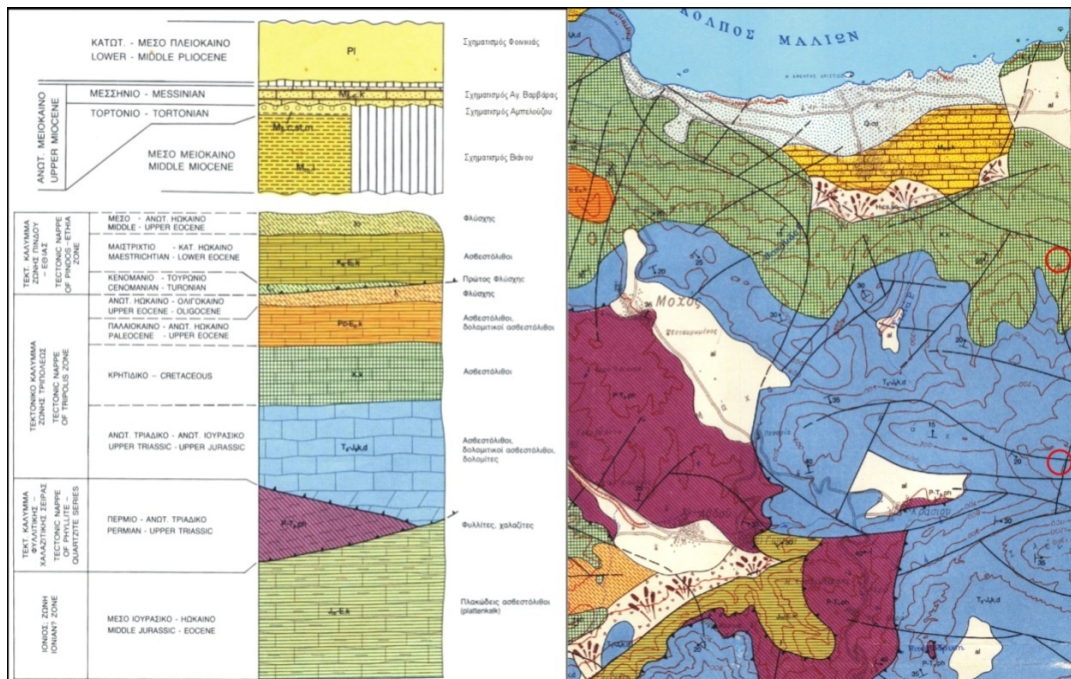
1.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η γεωφυσική έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δύο τοποθεσίες που υποδεικνύονται με κόκκινους κύκλους στο γεωλογικό χάρτη (Σχήμα 1.5). Η θέση Μ αποτελείται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα του Κρητιδικού που ανήκουν στη ζώνη Τρίπολης, ενώ η θέση Κ αποτελείται από ανθρακικά του Ανώτερου Τριαδικού της ζώνης Τρίπολης.

Η περιοχή του έργου βρίσκεται σε δολομιτικούς και ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, όπου καρστικά χαρακτηριστικά είναι παρόντα. Ειδικότερα, η χαμηλότερη δεξαμενή (θέση Μ) έχει προγραμματιστεί να κατασκευαστεί σε μια στενή κοιλάδα που διαμορφώνεται από Νοτιοδυτικά με κατεύθυνση Βορειοανατολικά με μήκος περίπου 500 m.

Το υψόμετρο της περιοχής κυμαίνεται από +220 m έως +280 m. Οι γεωμορφολογικές μορφές αναγνωρίζονται κατά μήκος των πλαγιών της κοιλάδας που πιστοποιούν την ύπαρξη ρηγμάτων κυρίως από Νοτιοδυτική προς Βορειοανατολική διεύθυνση, καθώς και στη Νοτιοανατολική προς Βορειοδυτική διεύθυνση. Τα ρήγματα αυτά, θεωρείται ότι έχουν υποβαθμίσει το υπόβαθρο κατά μήκος του άξονα της λεκάνης. Επιπλέον, οι τεκτονικές μεταβολές έχουν μειώσει τις μηχανικές ιδιότητες της βραχομάζας.

Εκτός από την λεκάνη απορροής οι σχηματισμοί των παρακείμενων παρειών έχουν εξασθενήσει εξαιτίας της τεκτονικής δράσης. Το αποσαθρωμένο αυτό υλικό μέσω του μηχανισμού της διάβρωσης έχει πληρώσει την περιοχή της λεκάνης που σχηματίζεται μια ευρύτερη ημιεπίπεδη επιφάνεια. Οι μικρές τοιχοποιίες (ξερολιθιές) που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια βοήθησαν ώστε τα ιζήματα αυτά να μην απομακρυνθούν μέσω της δράσης του νερού. Το πάχος των ιζημάτων αυτών, σύμφωνα με τα γεωτρητικά στοιχεία, δεν υπερβαίνει τα 3 - 4 m.



Σχήμα 1.5: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Μάλια, Ηρακλείου, Κρήτης (Vafidis et al., 2012).

1.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι λιμνοδεξαμενές είναι μικροί ταμιευτήρες επιφανειακών υδάτων, που χωρίζονται σε 2 κατηγορίες: (Καπλανίδης κ.ά, 2003).

- **Επιτοτάμιες Λιμνοδεξαμενές:** οι οποίες δημιουργούνται με την κατασκευή αναχώματος στην κοίτη κάποιου υδρορεύματος, οπότε το ανάχωμα λειτουργεί σαν κλασικό φράγμα
- **Εξωποτάμιες Λιμνοδεξαμενές:** οι οποίες είναι φυσικές λεκάνες κατάκλυσης που προσφέρονται για αποθήκευση νερού χωρίς απαραίτητα να εξετάζεται αν το έδαφος είναι διαπερατό ή όχι. Επίσης οι εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές μπορούν να δημιουργηθούν με διαμόρφωση από εκσκαφές οπού φράσσονται με ανάχωμα, το οποίο κατασκευάζεται σε επιλεγμένη περιοχή με κατάλληλα μορφολογικά χαρακτηριστικά συνήθως αμφιθεατρικής μορφής.

Πρόκειται για σύνθετα έργα αποτελούμενα από τρία τεχνικά έργα:

- Τον χώρο του ταμιευτήρα που διαμορφώνεται τεχνητά, όπως προαναφέρθηκε.
- Το φράγμα εκτροπής στο χείμαρρο του οποίου θα αξιοποιηθούν οι απορροές.
- Τον αγωγό μεταφοράς του νερού από το φράγμα εκτροπής έως τον ταμιευτήρα.

Η φυσική κοιλότητα που επιλέγεται για την κατασκευή της λιμνοδεξαμενής φράσσεται στα τμήματα όπου το φυσικό ανάγλυφο είναι χαμηλότερα από τη στέψη της δεξαμενής, με αναχώματα που κατασκευάζονται από τα υλικά των εκσκαφών διαμόρφωσης της λεκάνης κατάκλισης.

Ο τρόπος κατασκευής του αναχώματος είναι παρόμοιος με αυτόν των χωμάτων ή λιθόρριπτων φραγμάτων και ακολουθούνται οι ίδιες προδιαγραφές συμπύκνωσης, στράγγισης και σεισμικής απόκρισης και ελέγχεται με επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής. Οι τυχόν εκσκαφές γίνονται για την οριζοντίωση του πυθμένα, αλλά και για τη διαμόρφωση επίπεδων επιφανειών στα πρανή της δεξαμενής ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα της και να είναι στη συνέχεια εύκολη, εφόσον χρειάζεται, η κάλυψή τους με αδιαπέρατη μεμβράνη από πλαστικό (γεωμεμβράνη).

Η γεωμεμβράνη χρησιμοποιείται για την κάλυψη τόσο του πυθμένα όσο και των πρανών. Κατά κανόνα τοποθετείται πάνω σε ένα στρώμα γαιωδών προϊόντων της εκσκαφής, κατάλληλης κοκκομετρικής σύνθεσης και στη συνέχεια επικαλύπτεται με ένα στρώμα από τα 3 ίδια υλικά ή αφήνεται ακάλυπτη, αφού αγκυρωθεί με βάρη για την προστασία από τον άνεμο και τον κυματισμό. Έτσι πλέον, η στεγανότητα δεν αποτελεί κυρίαρχο κριτήριο επιλογής μιας θέσης, λόγω ευρείας χρήσης των μεμβρανών.

Το υλικό κατασκευής της μπορεί να είναι πολυμερισμένο πλαστικό όπως το ειδικά επεξεργασμένο PVC (χλωριούχο πολυβινύλιο), ή το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) απλού τύπου ή ενισχυμένου με γεώπλεγμα (διπλή μεμβράνη- COEX).

Λόγω της απλότητας της κατασκευής της η εξωποτάμια λιμνοδεξαμενή είναι οικονομικά συμφέρουσα για εφαρμογή σε μικρής έκτασης αρδευτικά δίκτυα. Από γεωτεχνικής πλευράς η λύση της λιμνοδεξαμενής προσφέρεται για εφαρμογές σε ποικίλες γεωλογικές συνθήκες, ενώ περιβαλλοντικά είναι αποδεκτή λόγω της περιορισμένης ανάγκης εκχέρσωσης περιοχών δανειοθαλάμων και της ασήμαντης επίδρασης στα οικοσυστήματα που υπάρχουν κατά μήκος των ποταμών καθώς και στις κατάντη περιοχές που τυχόν τροφοδοτούνται από τις απορροές του χειμάρρου.

Στις περιοχές που κατασκευάστηκαν λιμνοδεξαμενές άρχισαν να αντιμετωπίζονται με αποτελεσματικό τρόπο οι επικρατούσες συνθήκες απερίμωσης και έκτοτε επικρατεί ένα καθεστώς αναπτυξιακής πνοής. Παράλληλα αναπτύχθηκαν αξιόλογα οικοσυστήματα χλωρίδας και πανίδας στο νέο περιβάλλον, που δημιούργησε η παρουσία του νερού. Έτσι αναβαθμίστηκε και η οικολογική αξία των περιοχών.

Οι "τεχνητές λίμνες" που δημιουργήθηκαν μπορούν να αποτελέσουν πόλο έλξης για αναψυχή του ανθρώπινου δυναμικού που διαβιώνει στην ευρύτερη ζώνη, αλλά και για τις επενδύσεις αγροτουριστικών μονάδων κλπ.

Έτσι, στις περιοχές αυτές, παρατηρείται σήμερα μια αξιοσημείωτη αναζωογόνηση του κοινωνικού ιστού και αρχίζουν αναπτυξιακές προσπάθειες με νέες δυναμικές. Ήδη διαφαίνεται ότι τα έργα αυτά επιδρούν θετικά σε μια νέα "τουριστική κατάσταση" που τείνει να διαμορφωθεί όσον αφορά στη φυσιολατρία (Καπλανίδης κ.ά, 2003).

Το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης χρησιμοποίησε τη Σεισμική και Ηλεκτρική Τομογραφία για τον σχεδιασμό λιμνοδεξαμενής στο οροπέδιο Ομαλού Χανίων το 2010 (Σκούρας, 2010), καθώς και στο σχεδιασμό λιμνοδεξαμενής στην Κουντούρα Χανίων (Γιαμαλάς, 2005).

Ειδικότερα, στο οροπέδιο Ομαλού Χανίων έγινε εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας για τη χαρτογράφηση του ανθρακικού υπόβαθρου και τον εντοπισμό καρστικών δομών.

Στην Κουντούρα Χανίων, έγινε εφαρμογή των μεθόδων σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας, για την χαρτογράφηση των επιφανειακών μαργαϊκών σχηματισμών και τυχόν ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης.

Γεωφυσικές μελέτες έχουν εφαρμοστεί επίσης για τον γεωτεχνικό χαρακτηρισμό βραχωδών σχηματισμών. Ειδικότερα, στην Δυτική Νορβηγία χρησιμοποιήθηκε υπόγεια και εναέρια ηλεκτρομαγνητική χαρτογράφηση για την εύρεση αδύναμων ζωνών και καθιζόμενων εδαφικών στρωμάτων στο κρυσταλλικό υπόβαθρο με παρουσία υπόγειου νερού. Η περιοχή μελέτης είχε φυλλίτες, άργιλο και μεταμορφωμένα πετρώματα (Pfaffhuber and Bazin, 2011).

Στο Wadi Mujib της Ιορδανίας χρησιμοποιήθηκε η σεισμική τομογραφία σε συνδυασμό με την ποιότητα των πετρωμάτων και την ρηγμάτωση τους για την μελέτη της γεωμηχανικής συμπεριφοράς της βραχομάζας. Η περιοχή μελέτης αποτελείται από ασβεστόλιθους, πηλίτες, μάργες και σχιστόλιθους (El-Naqa, 1996).

Στην Μαλαισία χρησιμοποιήθηκε η σεισμική τομογραφία (P-κυμάτων) με συνδυασμό γεωτρήσεων για την μελέτη των φυσικών παραμέτρων και χαρακτηριστικών των πετρωμάτων του υπεδάφους που αποτελούνταν από ψαμμίτες, άργιλους (Bery and Saad, 2012).

Τέλος, στην περιοχή του Μοχού Ηρακλείου χρησιμοποιήθηκε η σεισμική τομογραφία (P-κυμάτων) για τον ποσοτικό (σε ποσοστό) προσδιορισμό της ασβεστολιθικής βραχομάζας που απαντάται έως τα 2 m βάθος, στο πλαίσιο σχεδιασμού και κατασκευής του αποχετευτικού δικτύου της περιοχής (Παπαθανασίου, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

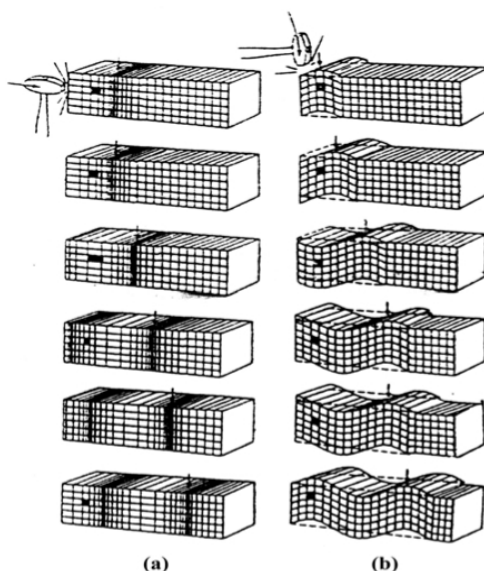
2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Τα σεισμικά κύματα διακρίνονται σε διαφορετικά είδη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά διάδοσής τους. Διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες στην πρώτη ανήκουν τα κύματα χώρου και στην δεύτερη τα επιφανειακά κύματα.

Τα κύματα χώρου διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις στο εσωτερικό των γεωλογικών σχηματισμών και διακρίνονται σε δύο τύπους κυμάτων, τα διαμήκη και τα εγκάρσια κύματα, ανάλογα με το είδος της διαταραχής που προκαλούν στην ύλη.

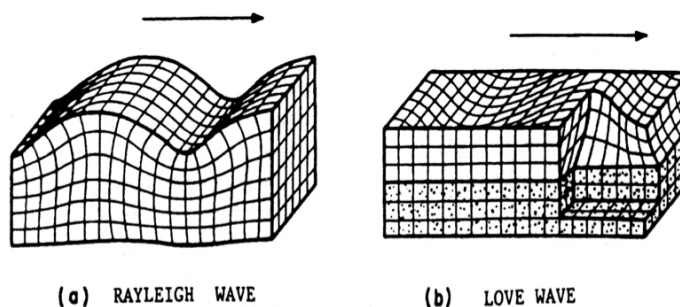
Τα διαμήκη κύματα (P) είναι τα ταχύτερα κύματα, καταγράφονται πρώτα στα σειсмоγράμματα, διαδίδονται ακτινικά προκαλώντας πυκνώματα και αραιώματα της ύλης κατά μήκος της διεύθυνσης διάδοσης (Σχήμα 2.1a).

Τα εγκάρσια κύματα (S), εμφανίζονται στο σεισμογράμμο μετά τα P και χαρακτηρίζονται από την ταλάντωση, εγκάρσια στη διεύθυνση διάδοσής τους, προκαλώντας διατμητική κίνηση στη δομή του υλικού (Σχήμα 3.1b). Η ταχύτητες των κυμάτων αυτών κυμαίνονται από μερικές δεκάδες m/s για τα χαλαρά και μικρής ακαμψίας εδάφη, ενώ η ταχύτητά τους αυξάνει σε χιλιάδες m/s για το αποσαθρωμένο ή υγιές βραχώδες υπόβαθρο. Στο νερό το μέτρο διάτμησης είναι μηδενικό, με αποτέλεσμα τα κύματα αυτά να μην διαδίδονται (Ραπτάκης, 1995).



Σχήμα 2.1: Εδαφική κίνηση κατά τη διάδοση των κυμάτων χώρου. (a) P-κύματα, (b) S-κύματα (Sheriff and Geldart, 1995).

Τα επιφανειακά κύματα μελετήθηκαν για πρώτη φορά από τον Rayleigh, ως κυματικό φαινόμενο (κύματα Rayleigh) στην ελεύθερη επιφάνεια ομογενούς ελαστικού ημιχώρου. Στη συνέχεια ο Love μελέτησε τα SH επιφάνειας (κύματα Love) σε ομογενές στρώμα υπερκείμενο σε ομογενή ημιχώρο, ενώ ο Stoneley μελέτησε τα ομώνυμα κύματα Stoneley επιφάνειας που διαδίδονται μεταξύ υδάτινου και εδαφικού στρώματος ή στη διαχωριστική επιφάνεια δυο εδαφικών ημιχώρων, όταν όμως ισχύει $\beta_1 \approx \beta_2$ και οι λόγοι ρ_1/ρ_2 και μ_1/μ_2 να κυμαίνονται περίπου στη μονάδα (Sheriff and Geldart, 1995).



Σχήμα 2.2: Σχηματικός τρόπος διάδοσης των σεισμικών (a) Rayleigh και (b) Love επιφανειακών κυμάτων (Ραπτάκης, 1995).

Όπως και στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έτσι και κατά τη διάδοση των ελαστικών κυμάτων ισχύουν δυο βασικές αρχές. Αυτές είναι, η αρχή του Huygens και η αρχή του Fermat. Αυτές θεωρούνται βασικές αρχές, γιατί απ' αυτές προκύπτουν εύκολα άλλες αρχές άμεσα εφαρμόσιμες (νόμος διάθλασης, ανάκλασης, περίθλασης).

- **Αρχή του Huygens**

Η αρχή του Huygens ορίζει ότι (Παπαζάχος, 1986) : «Κάθε σημείο ενός μετώπου κύματος μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί πηγή ενός νέου (δευτερογενούς) κύματος».

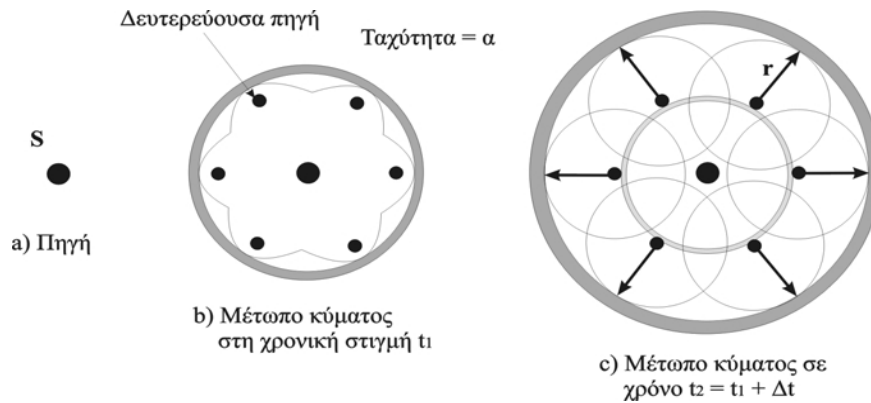
Με βάση την αρχή αυτή ορίζονται οι μελλοντικές θέσεις του μετώπου κύματος, όταν είναι γνωστή η θέση του σ' ορισμένη χρονική στιγμή (Σχήμα 2.3).

- **Αρχή του Fermat**

Σύμφωνα με την αρχή αυτή (Παπαζάχος, 1986): «Το κύμα το οποίο φτάνει σε ορισμένο σημείο από ορισμένη πηγή ακολουθεί το συντομότερο δρόμο από όλους τους δρόμους που είναι δυνατόν να ακολουθήσει, δηλαδή, ακολουθεί αυτόν που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο».

Αν για ένα ελαστικό μέσο δοθεί η κατανομή της ταχύτητας διάδοσης των ελαστικών κυμάτων, με βάση την αρχή του Fermat, χαράσσονται οι σεισμικές ακτίνες των κυμάτων.

Συνέπεια της αρχής αυτής αποτελεί το γεγονός ότι οι σεισμικές ακτίνες των κυμάτων τα οποία διαδίδονται μέσα σε ομογενές μέσο είναι ευθείες γραμμές. Αποδεικνύεται επίσης ότι οι νόμοι της ανάκλασης (Βαφείδης, 1993) και διάθλασης των ελαστικών κυμάτων μπορούν να προκύψουν από την εφαρμογή της αρχής αυτής.



Σχήμα 2.3: Σχηματική παράσταση της αρχής του Huygens για ισότροπο μέσο (Παπαζάχος, 1986).

Η μέθοδος της σεισμικής διάθλασης στηρίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό των χρόνων διαδρομής των απευθείας κυμάτων και των μετωπικών κυμάτων και στη χρησιμοποίηση εν τέλει, των καμπύλων των χρόνων διαδρομής των κυμάτων αυτών, για τον καθορισμό των ταχυτήτων των κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα με θεωρητικές σχέσεις.

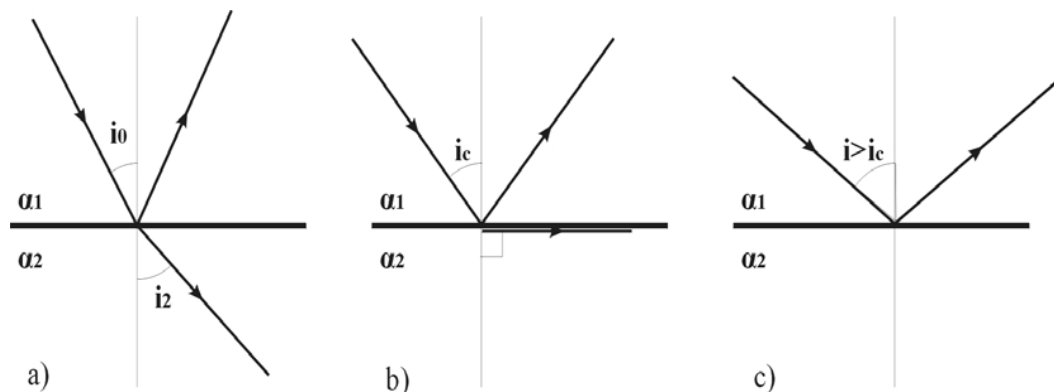
Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας. Η γωνία πρόσπτωσης i_0 , η γωνία διάθλασης i_2 , και οι ταχύτητες α_1 και α_2 στα δύο επιφανειακά στρώματα συνδέονται μέσω του νόμου του Snell (Βαφείδης 1993) :

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

όπου p είναι η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας.

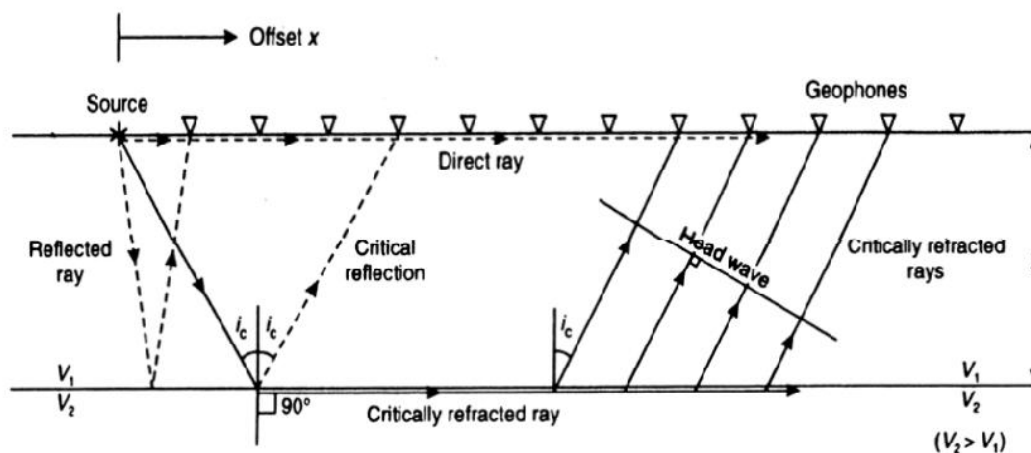
Η σεισμική ακτίνα προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία, όταν η διαθλώμενη ακτίνα έχει διεύθυνση παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια (Σχήμα 2.4b). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής :

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



Σχήμα 2.4: Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά την πρόσπτωση υπό γωνία a) μικρότερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, b) ίση με την ορική γωνία δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα και c) με γωνία μεγαλύτερη της ορικής παρατηρείται ολική ανάκλαση.

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 (Σχήμα 2.4b). 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 προς την επιφάνεια (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Σχηματική παράσταση της δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Reynolds, 1997).

Η γωνία των αναδύομένων προς την επιφάνεια σεισμικών ακτίνων με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι ίση με την ορική γωνία. Αυτά τα αναδύομενα σεισμικά κύματα ονομάζονται μετωπικά κύματα. Τα σεισμικά κύματα που καταγράφονται πρώτα (πρώτες αφίξεις) στις θέσεις των γεωφώνων είναι τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα. Τα απευθείας κύματα καταγράφονται πρώτα στα γεώφωνα, που βρίσκονται μέχρι ορισμένη απόσταση από το σημείο δημιουργίας της σεισμικής δόνησης, ενώ τα μετωπικά κύματα καταγράφονται ως πρώτες αφίξεις στα μακρύτερα από την πηγή γεώφωνα.

Μελετώντας τις πρώτες αφίξεις (απευθείας και μετωπικά) είναι δυνατόν να προκύψουν συμπεράσματα με το πάχος των σχηματισμών του υπεδάφους και την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε αυτούς (Βαφειδής, 1993).

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης άρχισαν να εφαρμόζονται στη μελέτη του υπεδάφους με την αρχή του εικοστού αιώνα. Πρωτοπόροι στην έρευνα υπήρξαν ο Wenner και ιδιαίτερα ο Schlumberger που το βιβλίο του «Etude sur la Prospection Electrique du Sous-Sol» (Σούρλας, 2000) συνέβαλε σημαντικά στη διάδοση των ηλεκτρικών μεθόδων. Η συστηματική όμως εφαρμογή των ηλεκτρικών διασκοπήσεων άρχισε μετά το 1970 εκμεταλλευόμενη την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών που πρόσφεραν σημαντική βοήθεια τόσο στη συλλογή όσο και στην επεξεργασία των μετρήσεων.

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μια από τις πιο σημαντικές μεθόδους της γεωφυσικής διασκόπησης. Με τη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δημιουργείται στο έδαφος τεχνητό ηλεκτρικό πεδίο. Οι ιδιότητες του πεδίου διαμορφώνονται από τη δομή του υπεδάφους. Συνεπώς ο καθορισμός των ιδιοτήτων του πεδίου οδηγεί στον καθορισμό της δομής του υπεδάφους. Η ποσότητα που μετριέται είναι η ηλεκτρική τάση και τελικός σκοπός είναι ο εντοπισμός δομών, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετική ειδική ηλεκτρική αντίσταση από τα περιβάλλοντα πετρώματα.

2.3 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

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

- **Διάταξη Wenner:**

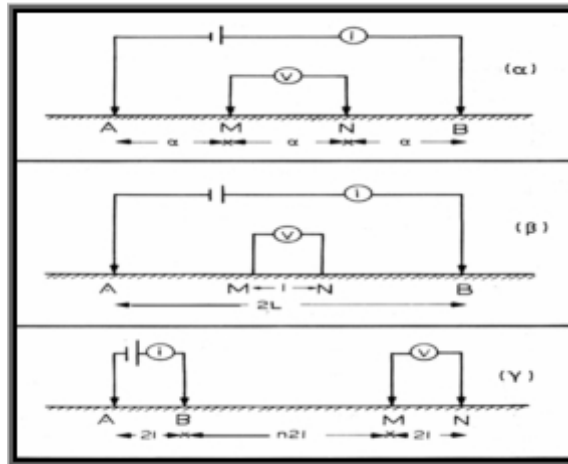
Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM = MN = NB = a$, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.11, έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 2\pi a \frac{V_{MN}}{I} \quad (2.11)$$

- **Διάταξη Schlumberger:**

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N είναι ανάμεσα στα A και B και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης. Έτσι είναι $AB = 2L$ και $MN = 2b$ (Σχήμα 2.11), η απόσταση 2b μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση 2L μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{i} \quad (2.14)$$



Σχήμα 2.11: Διάταξη Wenner(α), Schlumberger(β), διπόλου-διπόλου (γ) (Παπαζάχος, 1986).

- Διάταξη Διπόλου-Διπόλου

Από τις παραπάνω διατάξεις, η πιο σημαντική είναι αυτή του διπόλου–διπόλου, όπου η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Ομοίως a είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και ίση με na ($n \gg 1$), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.11.

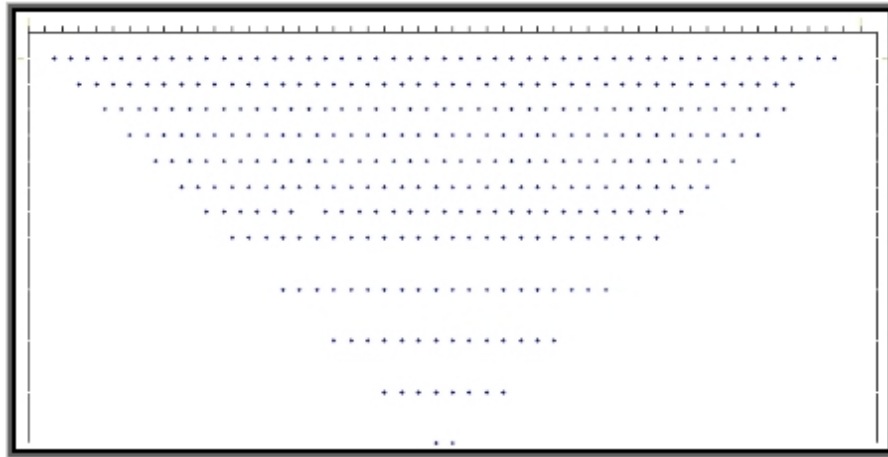
η φαινόμενη ειδική αντίσταση από την σχέση:

$$\rho_a = \pi na(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{i} \quad (2.16)$$

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

Στην ηλεκτρική τομογραφία, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στη 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 (Γιαλαμάς, 2005).

Στην τομογραφία τα αποτελέσματα δίνονται με τη μορφή μιας ψευδοτομής (pseudosection). Στην ψευδοτομή οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις σχεδιασμένες σε μια τομή, με τέτοιο τρόπο, όπως οι πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις σε σημεία ακριβώς κάτω από το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων και σε βάθος που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη διάταξη (Σχήμα 2.12).



Σχήμα 2.12: Διάταξη των δεδομένων στην ψευδοτομή του υπεδάφους (Σούρλας, 2000).

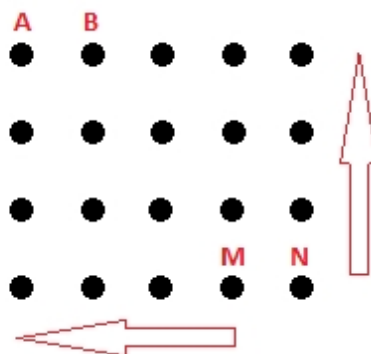
2.4 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η τρισδιάστατη ηλεκτρική τομογραφία για να υλοποιηθεί πρέπει να δημιουργηθεί ένας κανάβος της περιοχής μελέτης και να γίνουν διάφοροι συνδυασμοί των καλωδίων δυναμικού και ρεύματος σε διάφορα σημεία του κανάβου έτσι ώστε να καλυφτεί ο κανάβος πλήρως.

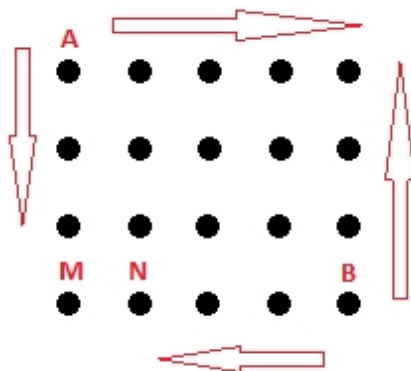
Οι συνδυασμοί των καλωδίων ρεύματος και δυναμικού είναι άπειροι έτσι εναπόκειται στο καθένα πως θα τους πραγματοποιήσει για την κάλυψη του κανάβου.

Για παράδειγμα κρατάμε τα καλώδια δυναμικού (M,N) σταθερά στην μια γωνιά του κανάβου και τα καλώδια ρεύματος (A,B) να μετακινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις. Όταν καλύψουμε τον κανάβο μετακινούμε τα καλώδια δυναμικού πιο πέρα και ούτω καθεξής (Σχήμα 2.13).

Εναλλακτικά κρατάμε τα καλώδια δυναμικού (M,N) σταθερά στην μια γωνιά του κανάβου και τα καλώδια ρεύματος (A,B) τοποθετούνται στις δυο απέναντι γωνίες του κανάβου καλύπτοντας στην συνέχεια όλο τον κανάβο (Σχήμα 2.14).

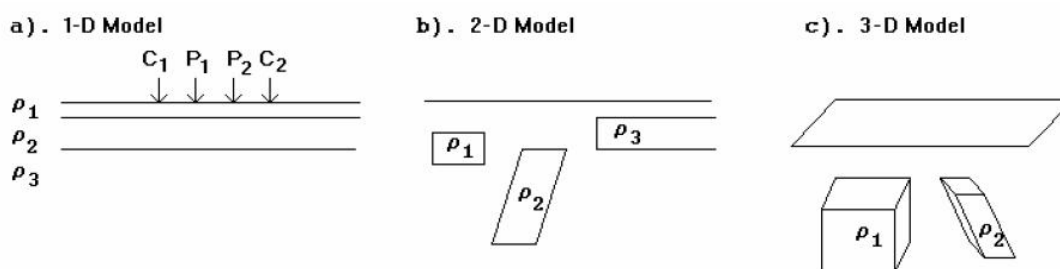


Σχήμα 2.13: Κανάβος με τα καλώδια ρεύματος και δυναμικού.



Σχήμα 2.14: Κάναβος με τα καλώδια ρεύματος και δυναμικού.

Για τον προσδιορισμό της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιούνται μοντέλα μιας δυο ή τριών διαστάσεων. Στην πρώτη περίπτωση το μοντέλο αποτελείται από οριζόντια στρώματα στη δεύτερη η γεωηλεκτρική δομή είναι δυο διαστάσεων και τέλος στην τρίτη διαφοροποιείται στις 3 διαστάσεις η ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Σχήμα 2.15).



Σχήμα 2.15: Τα τρία διαφορετικά πρότυπα που χρησιμοποιούνται στην ερμηνεία των μετρήσεων ειδικής αντίστασης (Παγκράτης, 2012).

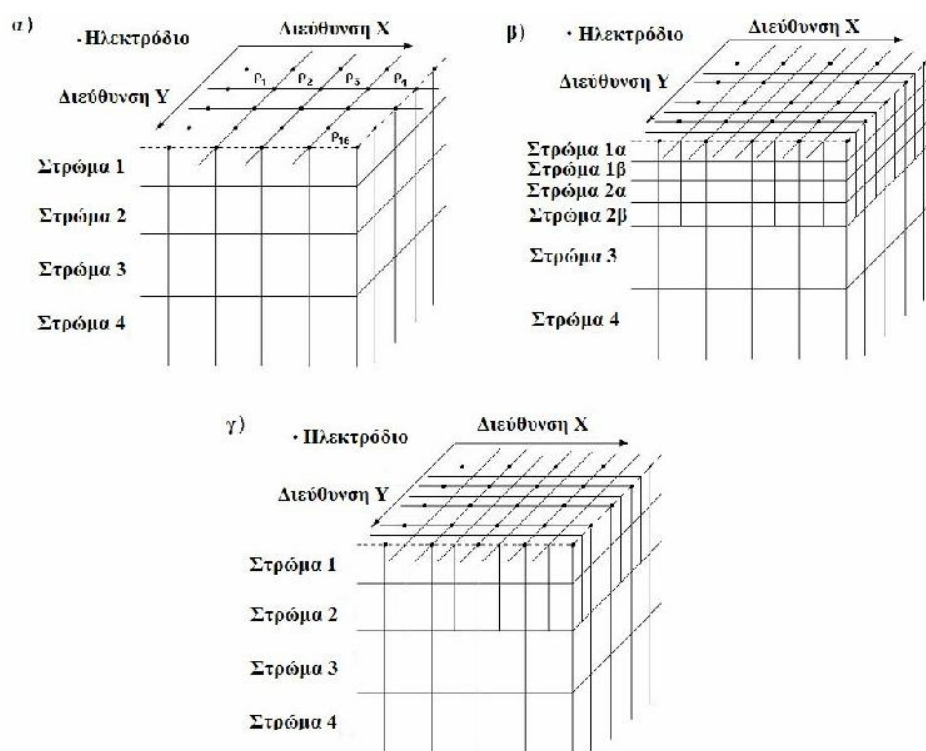
Δεδομένου ότι όλες οι γεωλογικές δομές είναι τρισδιάστατες, μια πλήρως τρισδιάστατη έρευνα πρέπει θεωρητικά να δώσει τα ακριβέστερα αποτελέσματα. Οι τρισδιάστατες έρευνες αποτελούν ένα αντικείμενο εξέλιξης. Εντούτοις, δεν έχει φθάσει στο επίπεδο ώστε να χρησιμοποιείται συνήθως όπως η δισδιάστατη έρευνα. Ο κύριος λόγος είναι ότι το κόστος ερευνών είναι συγκριτικά πολύ υψηλότερο για μια τρισδιάστατη έρευνα.

Ωστόσο, για την υλοποίηση της τρισδιάστατης διασκόπησης κρατώντας το κόστος χαμηλό, συνήθως πραγματοποιούνται πολλές οριζόντιες και κάθετες δισδιάστατες διασκοπήσεις στην περιοχή μελέτης δημιουργώντας ένα πλέγμα. Με την ταυτόχρονη επεξεργασία (αντιστροφή) των μετρήσεων της δισδιάστατης γεωηλεκτρικής διασκόπησης προκύπτει μια τρισδιάστατη απεικόνιση του γεωηλεκτρικού μοντέλου του υπεδάφους, με υποδεέστερη ωστόσο ποιότητα σε σχέση με μια πλήρως τρισδιάστατη διασκόπηση.

Η ανάπτυξη των πολυδιαυλικών μετρητών ειδικής αντίστασης που επιτρέπει περισσότερους από μια αναγνώσεις ευνοούν την πιο συχνή χρήση της τρισδιάστατης έρευνας (Παγκράτης, 2012).

Η τρισδιάστατη αντιστροφή μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας διάφορα μοντέλα όπως: α) μοντέλο όπου τα άκρα των ορθογωνίων παραλληλεπίπεδων συμπίπτουν με τις αποστάσεις ηλεκτροδίων στην x και y διάσταση, β) μοντέλο στο οποίο τα πρώτα στρώματα είναι υποδιαιρεμένα στο μισό σε κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση, γ) μοντέλο στο οποίο τα πρώτα στρώματα είναι υποδιαιρεμένα στο μισό σε οριζόντια διεύθυνση (Σχήμα 2.16).

Το υπέδαφος διαιρείται σε στρώματα και κάθε στρώμα υποδιαιρείται περαιτέρω σε ορθογώνια παραλληλεπίπεδα. Το τρισδιάστατο πρόγραμμα αντιστροφής ειδικής αντίστασης Earthimager 3D χρησιμοποιείται για να αντιστρέψει τα δεδομένα στις τρισδιάστατες έρευνες. Αυτό το πρόγραμμα προσπαθεί να καθορίσει την ειδική αντίσταση των κελιών στο πρότυπο της αντιστροφής ώστε να αναπαράγει όσο αξιόπιστα γίνεται τις μετρημένες τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης.



Σχήμα 2.16: Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη αντιστροφή. α)μοντέλο όπου τα άκρα των ορθογωνίων παραλληλεπίπεδων συμπίπτουν με τις αποστάσεις ηλεκτροδίων στην x και y διάσταση, β)μοντέλο στο οποίο τα πρώτα στρώματα είναι υποδιαιρεμένα στο μισό σε κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση, γ)μοντέλο στο οποίο τα πρώτα στρώματα είναι υποδιαιρεμένα στο μισό σε οριζόντια διεύθυνση (Παγκράτης, 2012).

2.5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την σεισμική έρευνα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας. Από τις πρώτες αφίξεις των διαμηκών κυμάτων προέκυψαν οι αντίστοιχες σεισμικές τομές. Για τις 2 θέσεις των λιμνοδεξαμενών (M και K), ερευνήθηκαν είκοσι (20) σεισμικές γραμμές, συνολικού μήκους 2925 m. Το μήκος κάθε σεισμικής γραμμής ήταν 55 m, 115 m ή 230 m και το διάστημα των γεωφώνων μεταξύ τους ήταν 5 m και 10 m. Για την σεισμική διέγερση χρησιμοποιήθηκαν εκρηκτικά και βαριοπούλα. Για κάθε σεισμική γραμμή έγιναν πέντε (5) ή

επτά (7) χτυπήματα συνήθως, όπου αυτό ήταν δυνατό. Από τα αρχεία των σεισμικών καταγραφών, μόνο οι πρώτες αφίξεις χρησιμοποιήθηκαν στην σεισμική τομογραφία. Το μέγιστο βάθος της έρευνας είχε αρχικά προγραμματιστεί για 25 m. Ωστόσο, η σεισμική έρευνα σε ορισμένες περιπτώσεις υπερέβει τα 25 m.

Για την ηλεκτρική τομογραφία, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δεκαεπτά (17) ηλεκτρικές γραμμές που καλύπτουν 3840 m με τη χρήση των διατάξεων διπόλου-διπόλου και Wenner-Schlumberger. Το μήκος κάθε γραμμής κυμαινόταν από 80 m έως 320 m, και η απόσταση των ηλεκτροδίων από 2 m έως 8 m. Για την συλλογή δεδομένων τις φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Sting R1/Swift της AGI σε 21 επίπεδα βάθους ανά γραμμή. Οι καταγεγραμμένες αντιστάσεις στη συνέχεια αντιστράφηκαν με τη χρήση των λογισμικών Res2Dinv και EarthImager.

Το βάθος της έρευνας ορίστηκε αρχικά σε 20 m, αλλά το μήκος των γραμμών της ηλεκτρικής τομογραφίας επέτρεπε μια διεξοδική έρευνα σε βάθος που έφτανε τα 50 m. Στο πλαίσιο της γεωηλεκτρικής διασκόπησης πραγματοποιήθηκαν επίσης και 8 ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις (VES), τα αποτελέσματα των οποίων όμως δεν παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

Από την προκαταρκτική αξιολόγηση των γεωφυσικών δεδομένων, 16 γεωτρήσεις προτάθηκαν σε επιλεγμένα σημεία του συνολικού μήκους 552 m. Το γεωτρητικό πρόγραμμα που ακολούθησε, διενεργήθηκε από την ISTPIA General Consulting Ltd, και περιελάμβανε 13 γεωτρήσεις συνολικού μήκους 457.6 m. Οι γεωτρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση και την ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων. Η χωροθέτηση και η αποτύπωση των γεωφυσικών γραμμών και των γεωτρήσεων είχε ανατεθεί σε τοπογράφο.

2.6 ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Ακολουθώς, περιγράφεται η διαδικασία και τα χαρακτηριστικά της σεισμικής και της γεωηλεκτρικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής, δηλαδή της βορειότερης λιμνοδεξαμενής στη θέση Μ.

2.6.1 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στην περιοχή μελέτης (θέση Μ) διασκοπήθηκαν 11 γραμμές σεισμικής τομογραφίας με συνολικό μήκος 1895 m.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα της σεισμικής τομογραφίας αποτελούνταν από:

- Σεισμογράφος 12 καναλιών Geode EG&G GEOMETRICS ©.
- 24 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσα 14 Hz MARK PRODUCTS ©.
- Μπαταρία 12 Volt DC.
- Ένα καλώδιο τροφοδοσίας.
- Δύο (2) καλώδια γεωφώνων 12 καναλιών.
- Για σεισμική πηγή χρησιμοποιήθηκε βαριοπούλα 8 kg ή αεροβόλο όπλο (betsygun).
- Ένα (1) γεώφωνο για την ενεργοποίηση της καταγραφής (trigger).
- Ένα καλώδιο πηγής για την ενεργοποίηση της καταγραφής.
- Ένα φορητό υπολογιστή για τον έλεγχο και την αποθήκευση των αρχείων.

Η εφαρμογή της σεισμικής έρευνας εκτελέστηκε με την ακόλουθη διαδικασία:

1)) Επιλέχθηκε η θέση της κάθε σεισμικής γραμμής. Η κάθε γραμμή χωροθετήθηκε (και στην συνέχεια αποτυπώθηκε) με τη βοήθεια γεωδαιτικού εξοπλισμού. Οι συντεταγμένες (στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς '87 - ΕΓΣΑ'87) παρατίθενται στο Παράρτημα Ζ.

2) 24 (ή 12) γεώφωνα τοποθετήθηκαν κατά μήκος της σεισμικής γραμμής με διάστημα μεταξύ των γεωφώνων 5 m ή 10 m και συνδέθηκαν με τα καλώδια γεωφώνων (2 ή 1 καλώδια-ο από 12 υποδοχές το καθένα).

3) Ο σεισμογράφος τοποθετήθηκε μεταξύ του 12ου και 13ου γεωφώνου.

4) Τα γεώφωνα 1-12 συνδέθηκαν αρχικά με το σεισμογράφο.

5) Το καλώδιο της πηγής συνδέθηκε με το σεισμογράφο. Το γεώφωνο που χρησιμοποιήθηκε για την ενεργοποίηση της πηγής (trigger) τοποθετήθηκε σε προκαθορισμένη θέση κατά μήκος της γραμμής μελέτης.

6) Η σεισμική πηγή ενεργοποιήθηκε με μια συγκεκριμένη θέση κατά μήκος της γραμμής και ο σεισμογράφος άρχισε να καταγράφει αυτόματα με τη χρήση του γεωφώνου ενεργοποίησης (trigger). Το διάστημα δειγματοληψίας και η διάρκεια καταγραφής ορίστηκε στα 0.125 ms και 500 ms, αντίστοιχα.

7) Αποθήκευση του αρχείου στο δίσκο του φορητού υπολογιστή που συνδέθηκε με το σεισμογράφο.

8) Τα γεώφωνα 13-24 συνδέθηκαν με το σεισμογράφο. Στη συνέχεια επαναλήφθηκαν τα βήματα 6 και 7 με τη θέση της πηγής να ενεργοποιείται στην ίδια θέση στην οποία καταγράφηκαν σεισμικά δεδομένα στα γεώφωνα 1-12. Με αυτό τον τρόπο, ενώνοντας τις δύο καταγραφές (1-12 & 13-24 γεώφωνα) προέκυπτε κάθε φορά (όπου ήταν απαραίτητο) καταγραφή συνολικά 24 καναλιών.

9) Τα βήματα 5 έως 8 επαναλήφθηκαν για όλα τις θέσεις πηγής κατά μήκος της γραμμής μελέτης.

Στον Πίνακα 2.1 περιγράφονται οι παραμέτροι απόκτησης των σεισμικών καταγραφών. Στις γραμμές ML3 και ML4 χρησιμοποιήθηκε βαριοπούλα και Betsy seisgun για να συγκριθούν τα αρχεία και να επιδεχθεί η πιο κατάλληλη πηγή. Εν τέλει επιλέχθηκε η βαριοπούλα τελικά για την θέση M.

Πίνακας 2.1:Παραμέτροι απόκτησης των σεισμικών καταγραφών.

Γραμμή	Μήκος (m)	Διάστημα Γεωφώνων (m)	Χτυπήματα ανά Γραμμή	Θέση χτυπημάτων Γραμμής (m)	Είδος Πηγής
ML1	230	10	8	-40, -3.5, 45.8, 115, 171.5, 235, 254, 270	Βαριοπούλα
ML2	230	10	9	-40, -20, -5, 53, 115, 174.6, 235, 253, 266	Βαριοπούλα
ML3	230	10	8	-40, -20, -5, 56, 115, 177.2, 235, 270	Βαριοπούλα και Betsy seisgun
ML4	230	10	7	-40, -5, 54.3, 114.2, 175.2, 235, 270	Βαριοπούλα και Betsy seisgun
ML5	230	10	8	-40, -5, 53.3, 115, 174.5, 235, 256, 270	Βαριοπούλα
ML6	230	10	8	-40, -22, -5, 58, 115, 176, 235, 250	Βαριοπούλα
ML7	115	5	5	-37, -5, 58.1, 121, 155	Βαριοπούλα
MT1	115	5	5	-40.3, -5, 58, 125, 155,	Βαριοπούλα
MT2	115	5	5	-35, -5, 57, 120, 155	Βαριοπούλα
MT3	115	5	5	-25, -5, 59.3, 120, 156.2	Βαριοπούλα
MT5 - DAM	55	5	3	-7.3, 27.15, 58.8	Βαριοπούλα

2.6.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν 10 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας (ERT) των οποίων το συνολικό μήκος είναι 2720 m

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελούνταν από:

- Σύστημα μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης Sting R1 / Swift της AGI Inc.
- 41 ηλεκτροδία από ανοξείδωτο χάλυβα, 45 εκατοστά σε μήκος και 9,5 mm σε διάμετρο.
- Μια μπαταρία 12 V για το Sting R1.
- Ένα καλώδιο σύνδεσης Sting R1 με την μπαταρία.
- Τρία πολύκλινα καλώδια 14 καναλιών.
- Σύστημα αυτόματης εναλλαγής των ηλεκτροδίων (Swift AGI Inc και Switch AGI Inc).
- Καλώδια σύνδεσης του Sting R1 με το σύστημα αυτόματης εναλλαγής των ηλεκτροδίων.

- Σφυριά και μετροταινία για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων.

Η υλοποίηση της ηλεκτρικής τομογραφίας έγινε με βάση την ακόλουθη διαδικασία:

1) Επιλέχθηκε η θέση της κάθε γραμμής ηλεκτρικής τομογραφίας. Η κάθε γραμμή χωροθετήθηκε (και στην συνέχεια αποτυπώθηκε) με τη βοήθεια γεωδαιτικού εξοπλισμού. Οι συντεταγμένες (στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς '87 - ΕΓΣΑ'87) παρατίθενται στο Παράρτημα Ζ. Κατά κανόνα, οι γεωηλεκτρικές γραμμές συμπίπτουν με τις αντίστοιχες σεισμικές γραμμές μελέτης.

2) 41 ηλεκτρόδια καρφώθηκαν στο έδαφος κατά μήκος της γραμμής μελέτης σε ισαποστάσεις μεταξύ τους.

3) Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με το πολύκλωνο καλώδιο στις κατάλληλες απολήξεις.

4) Το πολύκλωνο καλώδιο συνδέεται με τον μετρητή αντίστασης Sting R1 μέσω του συστήματος αυτόματης εναλλαγής των ηλεκτροδίων.

5) Πραγματοποιείται δοκιμή επικοινωνίας πριν από την απόκτηση δεδομένων για να διασφαλιστεί ότι όλα τα ηλεκτρόδια είναι συνδεδεμένα σωστά και η αντίσταση επαφής είναι λογικά χαμηλή. Χρησιμοποιήθηκε θαλασσινό νερό για να βελτιώσει την αντίσταση επαφής, όπου χρειαζόταν.

6) Τέλος, η διαδικασία μέτρησης ξεκινά. Οι μετρήσεις αντίστασης διεξήχθησαν με διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος στο έδαφος μέσω δύο ηλεκτροδίων και μετρώντας την προκύπτουσα διαφορά δυναμικού σε δύο άλλα ηλεκτρόδια.

7) Η επιλογή των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού σε κάθε μέτρηση γίνεται αυτόματα από σύστημα αυτόματης επιλογής των ηλεκτροδίων με βάση την επιθυμητή διάταξη ηλεκτροδίων, το μέγιστο βάθος διασκόπησης και τα επίπεδα βάθους.

Η επίτευξη της βέλτιστης ποιότητας των δεδομένων αποτελούσε προτεραιότητα ακολουθώντας ορισμένα κριτήρια που προτείνονται στη βιβλιογραφία και από τον κατασκευαστή του οργάνου. Τα βασικά κριτήρια που υλοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας είναι:

- Γεωφυσικοί στόχοι που παρουσίαζαν τιμές αντίστασης που μπορεί να διακριθούν από τις τιμές θορύβου.
- Η εγκατάσταση των ηλεκτροδίων με υψηλή ακρίβεια ως προς τη θέση.
- Η μέτρηση των αντιστάσεων επαφής εκτελέστηκε πριν από την απόκτηση δεδομένων για να εξασφαλιστεί ότι όλα τα ηλεκτρόδια είναι σωστά συνδεδεμένα και η αντίσταση επαφής είναι λογικά χαμηλή.
- Σε κάθε μέτρηση, τουλάχιστον οι δύο τιμές της αντίστασης λαμβάνονται και η μέση τιμή τους υπολογιζόταν. Η καταγραφή και η τυπική απόκλιση για όλες τις τιμές αποθηκεύεται.
- Έμπειρος γεωφυσικός έλεγχε κατά διαστήματα τα δεδομένα και βεβαιωνόταν ότι οι αντιστάσεις βρίσκονται μέσα σε λογικές τιμές.

- Όλες οι απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την επιφάνεια και το υπέδαφος καταγράφονταν και να χρησιμοποιούνταν κατά το στάδιο της επεξεργασίας και της ερμηνείας.

Ο πίνακας που ακολουθεί (Πίνακας 2.2) περιγράφει τις παραμέτρους διασκόπησης της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Πίνακας 2.2: Παράμετροι διασκόπησης των γραμμών της ηλεκτρικής τομογραφίας στη θέση Μ. Χρησιμοποιήθηκαν οι διατάξεις ηλεκτροδίων διπόλου-διπόλου (DD) και Wenner-Schlumberger (WS).

Γραμμές	Μήκος Γραμμών (m)	Διάστημα ηλεκτροδίων (m)	Μέγιστο βάθος (m)	Διάταξη ηλεκτροδίων	Επίπεδα βάθους
ML1	320	8	70	DD	21
ML2	320	8	70	DD	21
ML3	320	8	70	DD & WS	21
ML4	320	8	70	DD	21
ML5	320	8	70	DD	21
ML6	320	8	70	DD & WS	21
ML7	200	5	40	DD & WS	21
MT1	200	5	40	DD	21
MT2	200	5	40	DD & WS	21
MT3	200	5	40	DD	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα γεωτρητικά δεδομένα αποκτήθηκαν από γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν επί των γεωηλεκτρικών και σεισμικών τομών (Σχήμα 1.4). Στο πλαίσιο των παραδοτέων της γεωφυσικής έρευνας, πραγματοποιήθηκε πρωτογενώς, από το προσωπικό του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης, μια ποιοτική κατάταξη των διαρτηθέντων πετρωμάτων (προβολή της γεωτρητικής στήλης στις γεωηλεκτρικές και σεισμικές τομές) σε διάφορες κατηγορίες, σύμφωνα με α) την καθημερινή έκθεση (the daily report) και τη λεπτομερή περιγραφή των γεωτρήσεων, β) την ηλεκτρική αντίσταση και γ) τις τιμές της σεισμικής ταχύτητας. Η βαθμονόμηση των γεωφυσικών δεδομένων παρουσιάζεται στις επόμενες παραγράφους.

Ο πλήρως διερρηγμένος ή/και αποσαθρωμένος ή/και με ασυνέχειες πληρωμένες με εδαφικό υλικό ασβεστόλιθος (CFW) βρέθηκε να αντιστοιχεί σε τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης 100-600 (Ohm.m), σεισμικής ταχύτητας μικρότερη των 2800 m/s (σε γενικές γραμμές) και οι τιμές RQD από 0-25 στην γεώτρηση MCD-1 από τα 8,8 έως 34.1m βάθος. Επίσης διατρήθηκαν διάκενα σε αυτό το βάθος. Η ίδια κατηγορία (CFW) είναι επίσης παρούσα στη γεώτρηση MCD-2 από τα 12.1 έως 17.0 m και από τα 20.4 έως 25 m βάθος, όπου και πάλι η ειδική αντίσταση (ML7) και η σεισμική ταχύτητα είναι πολύ χαμηλή (100-600 Ohm.m και <2800 m/s, αντίστοιχα), ενώ οι τιμές του RQD είναι λιγότερο από 25. Στην γεώτρηση MCD-4 διατρήθηκε CFW στα βάθη των 2,2 – 7.1 m, 8.8 – 24.5m, 37.8 - 40.4m και 45.6 – 51.1m, η οποία είναι καλή σε σχέση με την ηλεκτρική τομογραφία (πολύ χαμηλές τιμές αντίστασης) και στη σεισμική τομογραφία(ταχύτητα σε γενικές γραμμές <2800 m / s) (ML2).

Πλήρως διερρηγμένος ή/και αποσαθρωμένος ασβεστόλιθος με ασυνέχειες πληρωμένες με εδαφικό υλικό (CFW-FW) είναι μια κατηγορία πετρωμάτων μεταξύ της CFW και της FW (πληρωμένος με εδαφικό υλικό) κατηγορίας. Χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές αντίστασης (450-1100 Ohm.m), και σεισμικής ταχύτητας (γενικά <2800 m/s) και οι τιμές του RQD είναι 15-35.

Διερρηγμένος ασβεστόλιθος με ασυνέχειες πληρωμένες με εδαφικό υλικό (FW) υπάρχει στη γεώτρηση MCD-5 σε βάθος 1.3 - 6.2 m, 8.1 - 10.1 m, 15.5 – 23.1 m και 25.2 έως 30.3 m, όπου οι τιμές αντίστασης (ML4) κυμαίνονται από 800 έως 2000 Ohm.m και η σεισμική ταχύτητα είναι (γενικά) λιγότερο από 2800 m/s. και οι τιμές RQD κυμαίνονται από 25 έως 50.

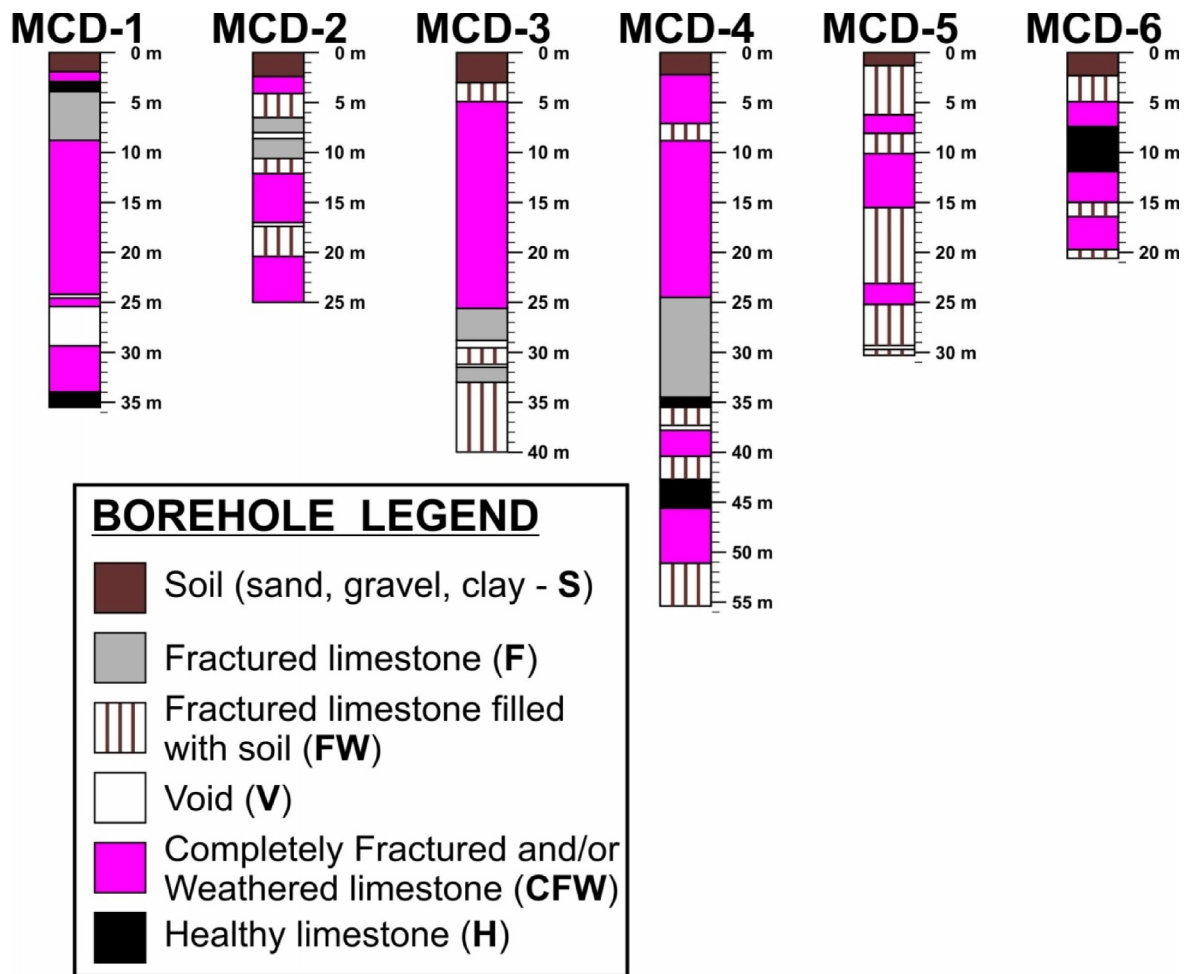
Ελαφρώς διερρηγμένος ασβεστόλιθος (FW-F) και ελαφρώς υγής ασβεστόλιθος (FH) είναι αναμεμιγμένα. Χαρακτηρίζονται από μεσαίες (1500 - 3650 Ohm.m) προς υψηλές (2700-6700 Ohm.m) τιμές αντίστασης, ενώ το RQD κυμαίνεται από 40 έως 60 και από 50 έως 75, αντίστοιχα. Αυτές οι κατηγορίες των πετρωμάτων είναι παρούσες στις γεωτρήσεις MCD-4 και MDC-1 στα βάθη 24.5 έως 35.5 m και 4.0 έως 8.8 m, αντίστοιχα, και συμφωνούν με την ηλεκτρική τομογραφία των γραμμών ML2 και MT1, αντίστοιχα.

Υγιής ασβεστόλιθος χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλές ($> 6700 \text{ Ohm.m}$) τιμές αντίστασης, ενώ το RQD είναι μεγαλύτερο από 75. Αυτή η κατηγορία πετρωμάτων έχει περιορισμένη παρουσία στις γεωτρήσεις. Ωστόσο, διαπιστώθηκε στις γεωτρήσεις MCD-1 (3.0 έως 4.0 m) και MCD-6 (7.4 - 11.9 m) και συμφωνούν με την ηλεκτρική τομογραφία των γραμμών MT1 και ML5 αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 3.1 περιγράφονται συνοπτικά οι διάφορες κατηγορίες των πετρωμάτων, ενώ στο Σχήμα 3.1 απεικονίζονται οι τομές των γεωτρήσεων μετά από την κατηγοριοποίηση των διατρηθέντων πετρωμάτων (Vafidis et al., 2012). Στο Παράρτημα Α παρατίθενται οι αρχικές τομές των γεωτρήσεων.

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες πετρωμάτων από της γεωτρήσεις στη θέση Μ (Vafidis et al., 2012).

Κατηγορίες	Συμβολισμός	Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση (Ohm.m)	Σεισμική Ταχύτητα (m/s)	RQD
Πλήρως Διερρηγμένος ή/και Αποσαθρωμένος ή/και με ασυνέχειες πληρωμένες με Εδαφικό Υλικό Ασβεστόλιθος (Completely Fractured and/or Weathered limestone)	CFW	100-600	<2800	0-25
Πλήρως Διερρηγμένος ή/και Πληρωμένος με Εδαφικό Υλικό (Completely Fractured and/or Weathered limestone to Fractured limestone filled With soil)	CFW-FW	450-1100	<2800	15-35
Διερρηγμένος Ασβεστόλιθος Πληρωμένος με Εδαφικό Υλικό (Fractured limestone filled With soil)	FW	800-2000	<2800	25-50
Ελαφρώς Διερρηγμένος ή/και Υγιής Ασβεστόλιθος (Fractured limestone filled With soil to Fractured limestone)	FW-F	1500-3650	-	40-60
Διερρηγμένος προς Υγιή Ασβεστόλιθος (Fractured to Healthy limestone)	F-H	2700-6700	-	50-75
Υγιής Ασβεστόλιθος (Healthy limestone)	H	>6700	-	>75



Σχήμα 3.1: Κατηγορίες πετρωμάτων που διατρήθηκαν στις γεωτρήσεις της θέσης Μ (Vafidis et al., 2012).

3.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Για την επεξεργασία των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα του λογισμικού πακέτου Seisimager, Pickwin και Plotrefa. Πιο συγκεκριμένα, η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων διάθλασης πραγματοποιείται σε 2 στάδια. Στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Pickwin με το οποίο πραγματοποιείται η επιλογή και η αποθήκευση των πρώτων αφίξεων των σεισμικών καταγραφών. Η διαδικασία που ακολουθείται, περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Εισαγωγή των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης.
- Επιλογή των πρώτων αφίξεων των σεισμικών κυμάτων (picking) και αποθήκευση αυτών.

Στο δεύτερο στάδιο χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Plotrefa με το οποίο πραγματοποιείται ανάγνωση, ανάλυση και επεξεργασία των αποθηκευμένων πρώτων αφίξεων καθώς και υπολογισμός των σεισμικών ταχυτήτων και του μοντέλου βάθους.

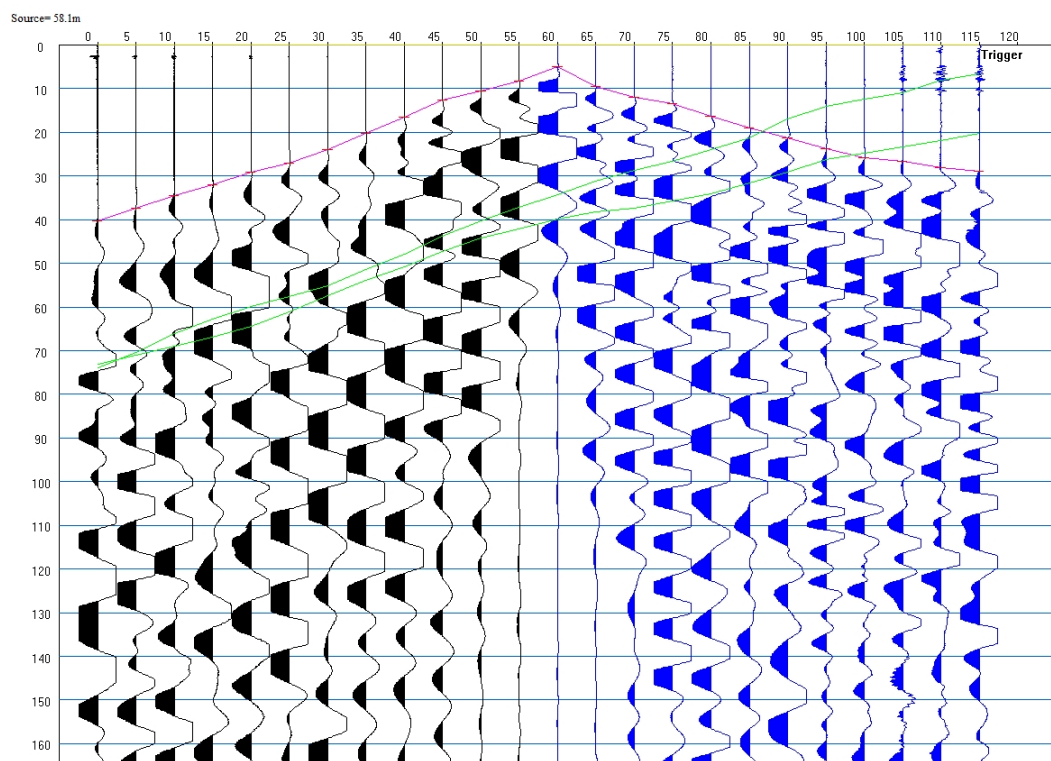
Η διαδικασία που ακολουθείται, περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Επεξεργασία των πρώτων αφίξεων.
- Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων.
- Αντιστροφή.
- Προσδιορισμός των σεισμικών ταχυτήτων και του μοντέλου βάθους .

Τα δεδομένα εισάγονται στο πρόγραμμα επεξεργασίας (PickWin), σε μορφή *.dat. Μετά την εισαγωγή των δεδομένων, ο χρήστης μπορεί να επέμβει και να διορθώσει τη γεωμετρία του πειράματος, αν είναι απαραίτητο (θέση πηγής, ισαπόσταση γεωφώνων, διαμόρφωση αξόνων, μονάδες μέτρησης κ.τ.λ.).

Το πρόγραμμα αρχικά επιλέγει αυτόματα κάποιες θέσεις τις οποίες θεωρεί ως πρώτες αφίξεις των σεισμικών κυμάτων, ενώ παρέχει δυνατότητα ελεύθερης επιλογής στον χρήστη. Πάντα θα πρέπει να γίνεται έλεγχος της αυτόματης επιλογής πρώτων αφίξεων από τον χρήστη (Σχήμα 3.2).

Ως πρώτη άφιξη, θεωρούμε τη στιγμή που ένας γεωφώνου αρχίζει να ταλαντώνεται (Σχήμα 3.2), δηλαδή ο χρόνος που η ταχύτερη σεισμικό κύμα φτάνει αυτό γεωφώνου.

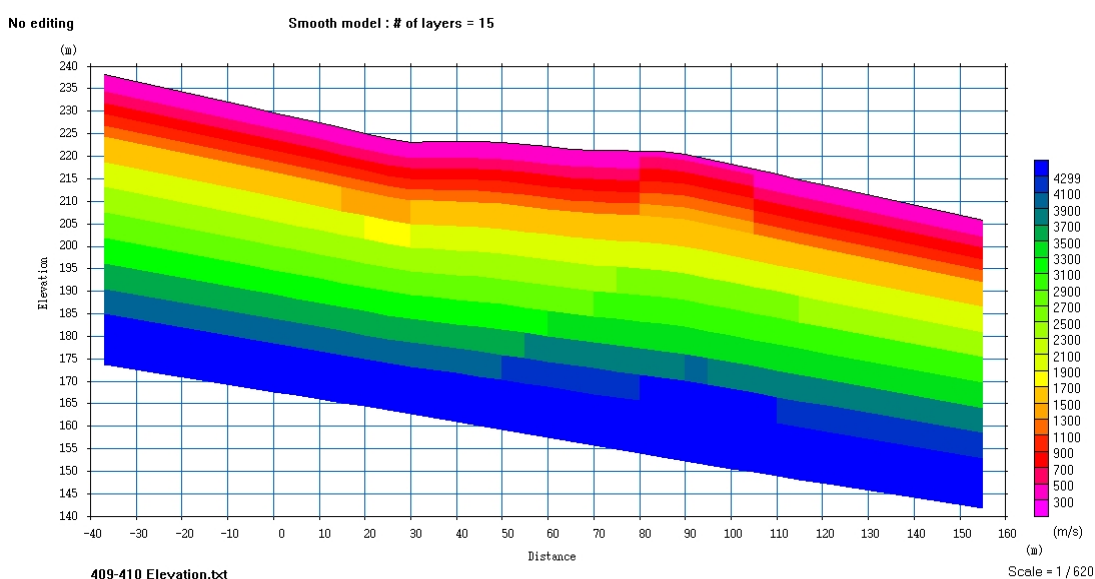


Σχήμα 3.2: Γραμμή μελέτης ML7. Καταγραφή κοινής πηγής με τη θέση της πηγής στα 58.1 m. Απεικόνιση επιλογής των πρώτων αφίξεων (ροζ γραμμή) καθώς και από τις υπόλοιπες πηγές της γραμμής μελέτης (πράσινες γραμμές) με το πρόγραμμα PickWin.

Η διαδικασία της εισαγωγής και επιλογής των πρώτων αφίξεων, ολοκληρώνεται όταν χρησιμοποιηθούν όλα τα αρχεία που αντιστοιχούν στην ίδια γραμμή μελέτης. Ακολουθεί η αποθήκευση του αρχείου σε αρχείο (*.vs), το οποίο συμπεριλαμβάνει τις πρώτες αφίξεις από όλες τις θέσεις των σεισμικών πηγών.

Με το κύριο πρόγραμμα ανάλυσης και ερμηνείας (Plotrefa) πραγματοποιείται η αντιστροφή των πρώτων αφίξεων με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας. Το πρόγραμμα λαμβάνει ως αρχείο εισόδου, το αρχείο εξόδου του προγράμματος Pickwin (αρχεία *.vs) και παρέχει τη δυνατότητα της κοινής επεξεργασίας περισσότερων του ενός αναπτύγματος γεωφώνων (spreads), που οριοθετούν μια γραμμή μελέτης. Μετά την εισαγωγή των δεδομένων, δημιουργείται το δρομοχρονικό διάγραμμα (διάγραμμα χρόνου διαδρομής συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης πηγής - γεωφώνου).

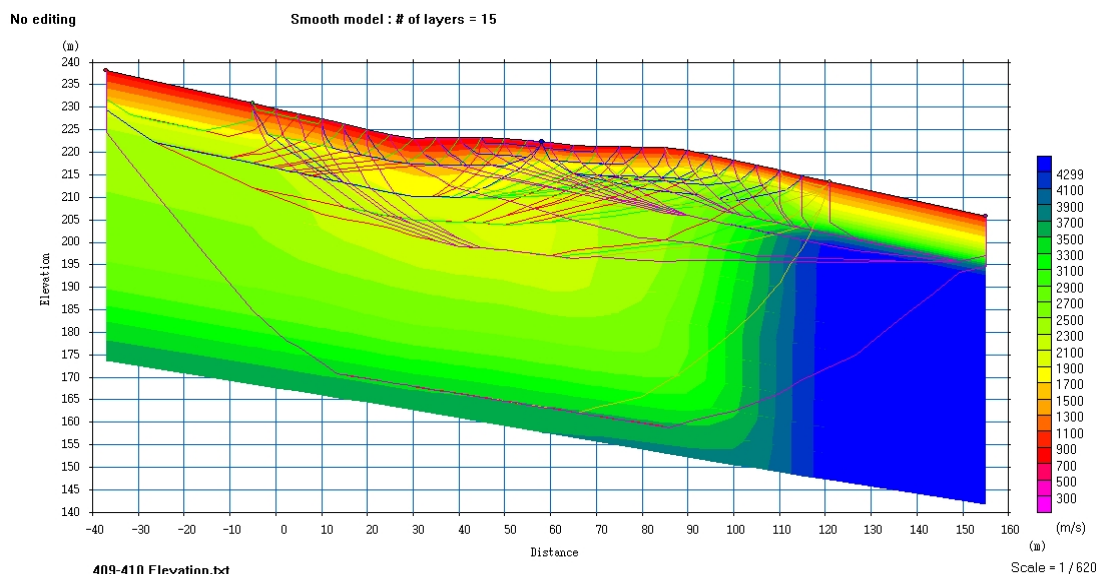
Ο χρήστης μπορεί να κάνει διορθώσεις, να διαγράψει δεδομένα και να μεταβάλει την κλίμακα. Ως αρχικό μοντέλο ορίζεται ένα οριζόντια στρωματομένο μέσο (με στρώματα παράλληλα στο ανάγλυφο, αν υπάρχει) σε περίπτωση όπου δεν γνωρίζει τις παραμέτρους του μοντέλου (μέγιστο βάθος, ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων). Επίσης έχει την δυνατότητα προεπεξεργασίας με την μέθοδο Time - Term για τον υπολογισμό ενός αρχικού μοντέλου με διακριτά ομοιογενή στρώματα (SeisImager2D Manual, 2005).



Σχήμα 3.3: Γραμμή μελέτης ML7. Αρχικό μοντέλο ταχυτήτων με το ανάγλυφο του εδάφους. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στη ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων

Η μέθοδος της Σεισμικής Τομογραφίας βασίζεται στην σύγκριση των πειραματικών χρόνων πρώτων αφίξεων (που προέκυψαν από τις καταγραφές) και των θεωρητικά υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων που προκύπτουν από ένα αρχικό δισδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων (Σχήμα 3.3). Τροποποιώντας επαναληπτικά το αρχικό μοντέλο ταχυτήτων, πραγματοποιείται η ταύτιση (στα όρια κάποιου αποδεκτού σφάλματος) των συγκρινόμενων χρόνων πρώτων αφίξεων (δρομοχρονικά διαγράμματα).

Το τελικό μοντέλο ταχυτήτων που προκύπτει (δισδιάστατη κατανομή της σεισμικής ταχύτητας στο υπέδαφος), θεωρείται ότι απεικονίζει την πραγματική κατανομή της σεισμικής ταχύτητας στο υπέδαφος, κάτω από την σεισμική γραμμή μελέτης.



Σχήμα 3.4: Γραμμή μελέτης ML7. Απεικόνιση των σεισμικών ακτίνων στο εξομαλυσμένο τελικό μοντέλο ταχυτήτων. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων.

Έτσι, απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία της μεθόδου είναι η εισαγωγή από τον χρήστη ενός αρχικού μοντέλου βάθους και των αντίστοιχων σεισμικών ταχυτήτων των στρωμάτων.

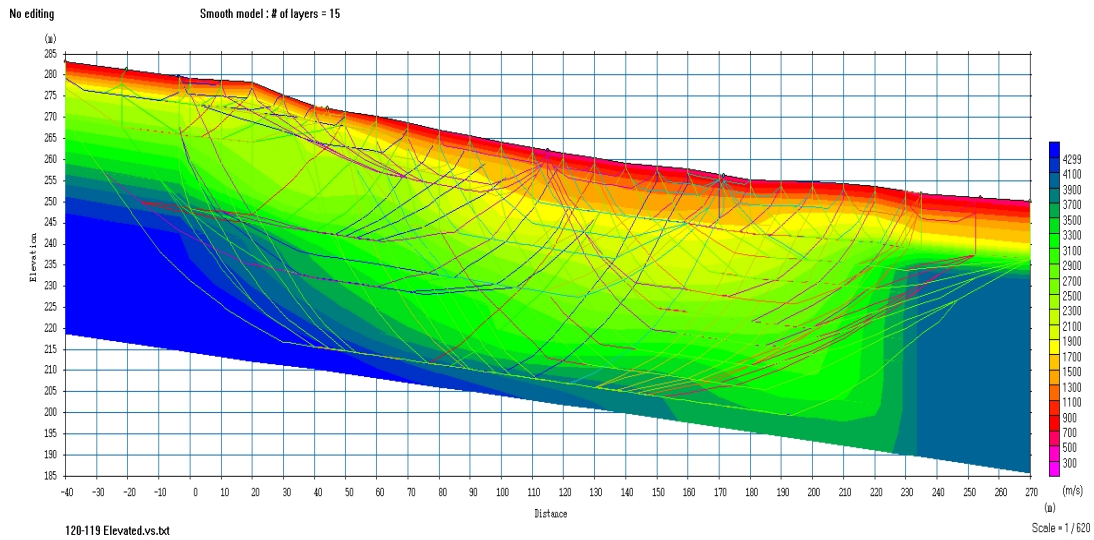
Στην παρούσα διπλωματική, κατά την επεξεργασία των πρώτων αφίξεων με την μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας, χρησιμοποιήθηκε ως αρχικό μοντέλο ένα οριζόντια στρωματομένο μέσο.

3.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η επεξεργασία με τη μέθοδο Σεισμικής Τομογραφίας υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό SeisImager.

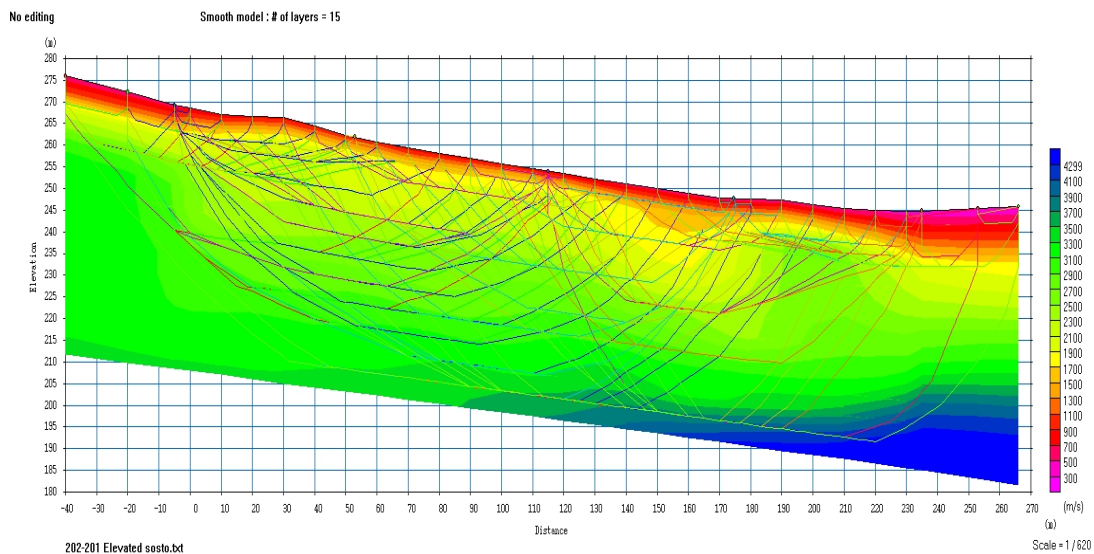
Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της σεισμικής τομογραφίας όπου απεικονίζουν τις σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο ταχυτήτων. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (Σχήμα 3.5 - 3.15). Οι πλήρεις τομές όπως πρόέκυψαν από το λογισμικό παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

Γραμμή ML1



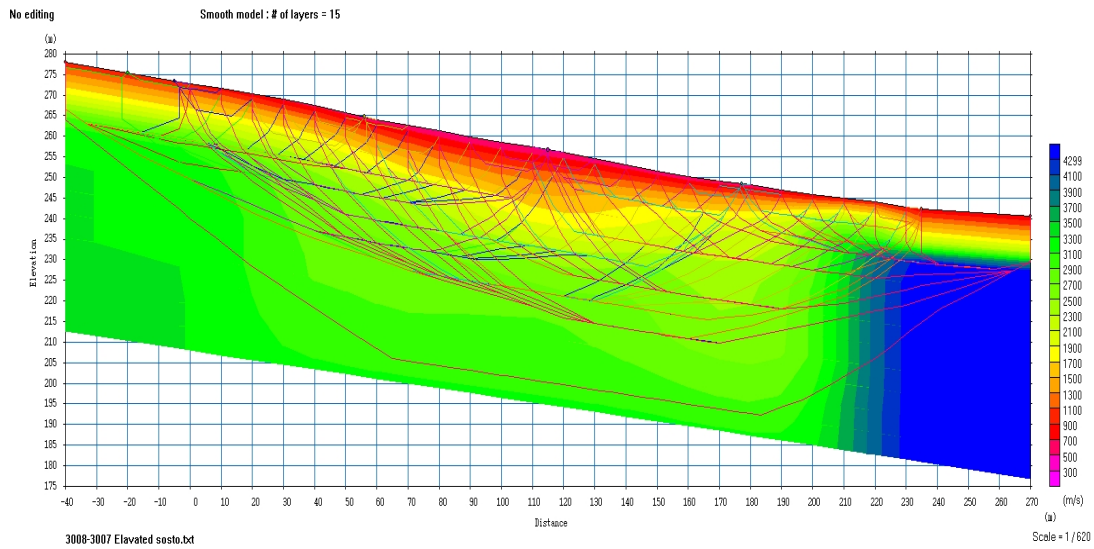
Σχήμα 3.5: Γραμμή μελέτης ML1. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 900-1300 m/s με πάχος 4-8m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1500-1900 m/s με πάχος 25m. Η γραμμή διευθύνεται από Νοτιοδυτικά προς Βορειοανατολικά.

Γραμμή ML2



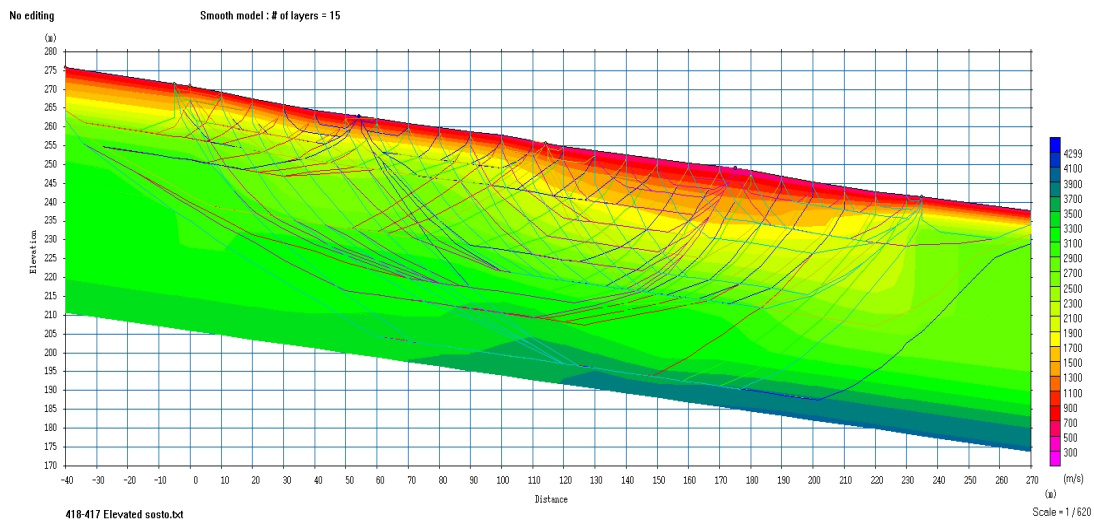
Σχήμα 3.6: Γραμμή μελέτης ML2. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 900-1500 m/s με πάχος 6-7m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1900-2700 m/s με πάχος 35m. Η γραμμή διευθύνεται από Νοτιοδυτικά προς Βορειοανατολικά.

Γραμμή ML3



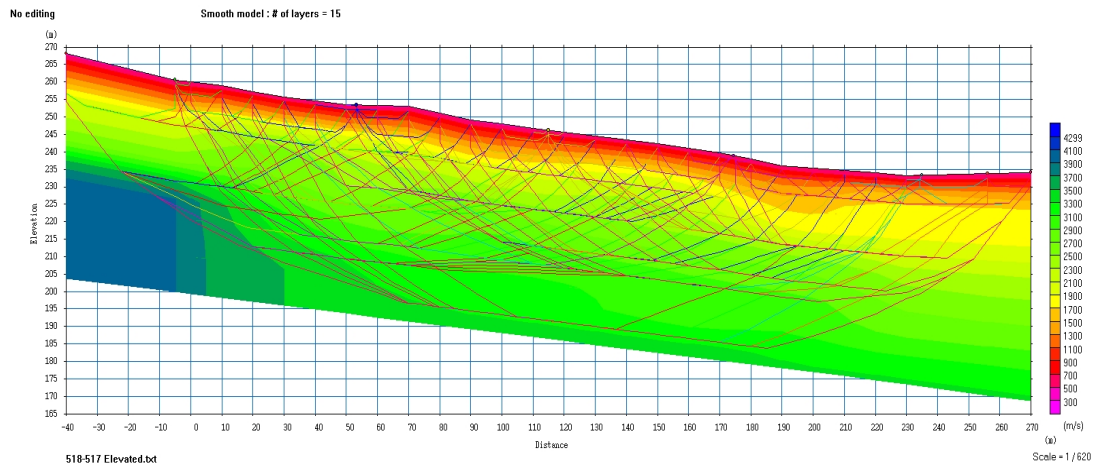
Σχήμα 3.7: Γραμμή μελέτης ML3. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 500-1500 m/s με πάχος 8-12m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1700-2900 m/s με πάχος 30m. Η γραμμή διευθύνεται από Νοτιοδυτικά προς Βορειοανατολικά.

Γραμμή ML4



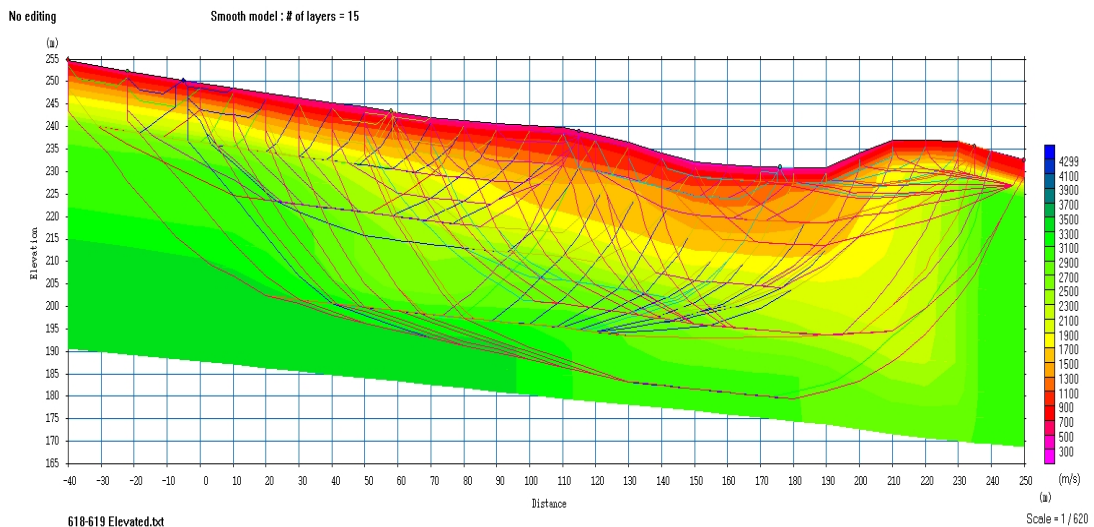
Σχήμα 3.8: Γραμμή μελέτης ML4. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 500-1300 m/s με πάχος 7-13m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1500-2700 m/s με πάχος 22m. Η γραμμή διευθύνεται από Νοτιοδυτικά προς Βορειοανατολικά.

Γραμμή ML5



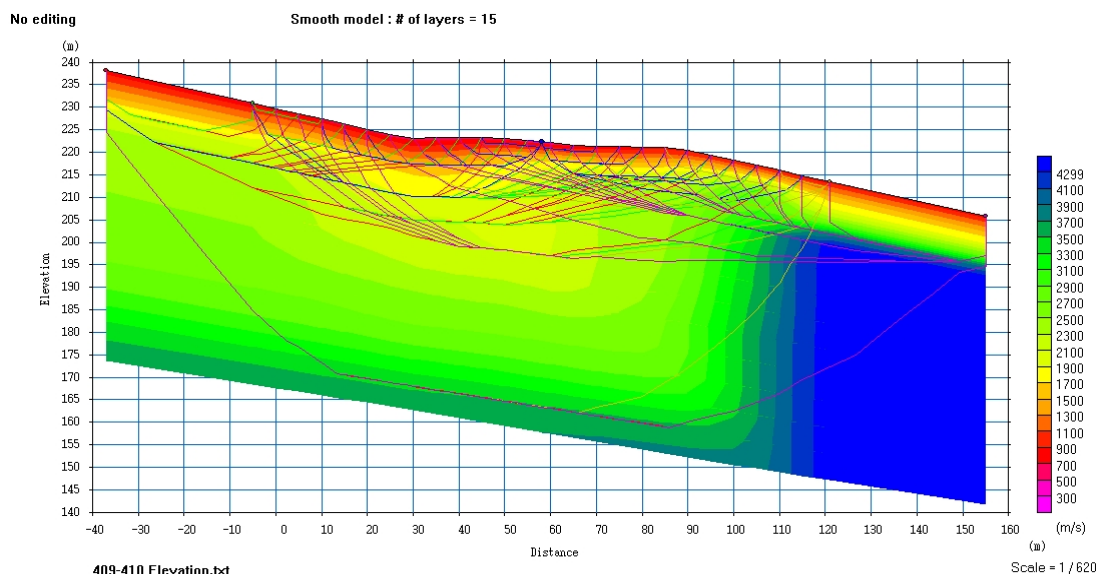
Σχήμα 3.9: Γραμμή μελέτης ML5. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 500-1500 m/s με πάχος 8-10m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1700-2500 m/s με πάχος 20m. Η γραμμή διευθύνεται από Νοτιοδυτικά προς Βορειοανατολικά.

Γραμμή ML6



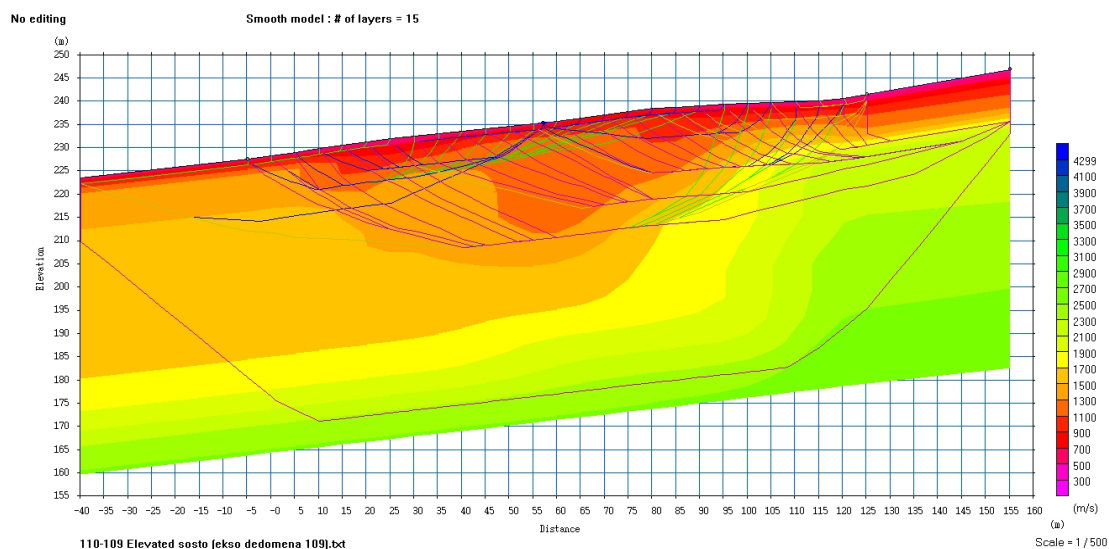
Σχήμα 3.10: Γραμμή μελέτης ML6. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 500-1500 m/s με πάχος 8-15m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1700-2500 m/s με πάχος 30m. Η γραμμή διευθύνεται από Νοτιοδυτικά προς Βορειοανατολικά.

Γραμμή ML7



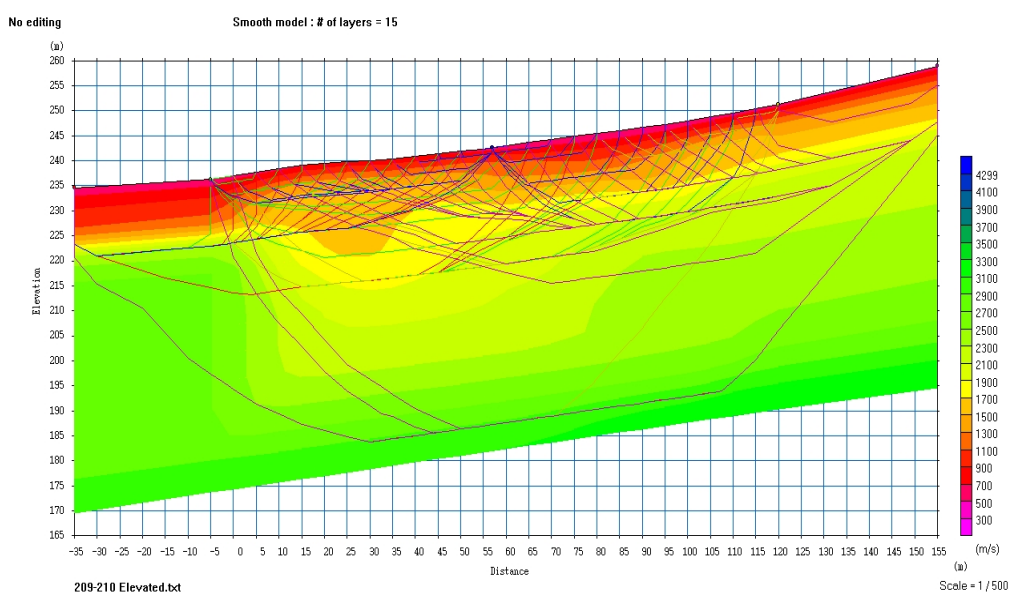
Σχήμα 3.11: Γραμμή μελέτης ML7. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 900-1500 m/s με πάχος 5-7m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1700-2100 m/s με πάχος 30m. Η γραμμή διευθύνεται από Νοτιοδυτικά προς Βορειοανατολικά.

Γραμμή MT1



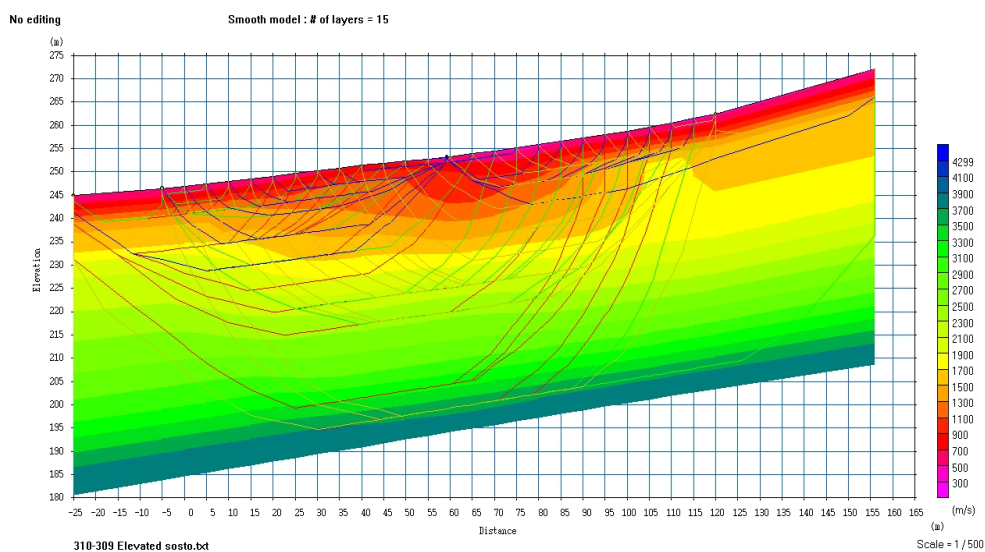
Σχήμα 3.12: Γραμμή μελέτης MT1. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 300-1100 m/s με πάχος 6-8m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1300-1700 m/s με πάχος 30m. Η γραμμή διευθύνεται από Βορρά προς Νότο.

Γραμμή MT2



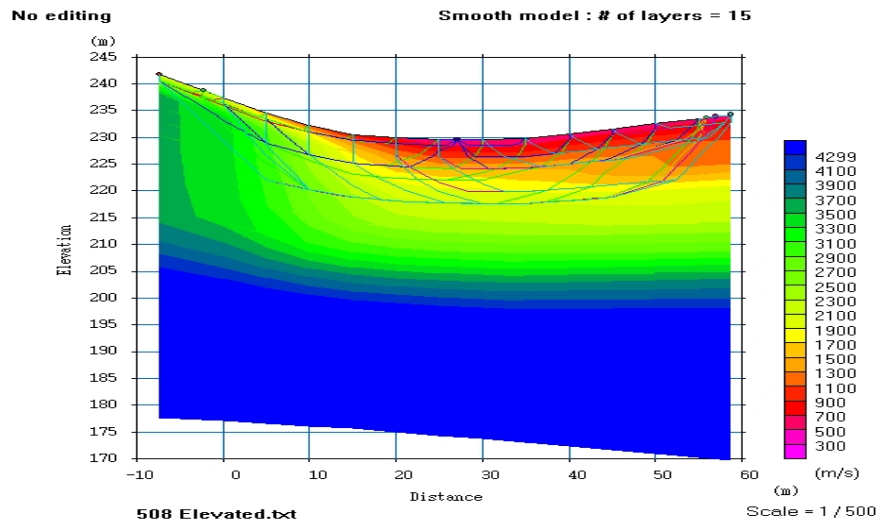
Σχήμα 3.13: Γραμμή μελέτης MT2. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 500-1500 m/s με πάχος 8-12m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1700-2300 m/s με πάχος 30m. Η γραμμή διευθύνεται από Βορρά προς Νότο.

Γραμμή MT3



Σχήμα 3.14: Γραμμή μελέτης MT3. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 500-1500 m/s με πάχος 10-15m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1700-2900 m/s με πάχος 35m. Η γραμμή διευθύνεται από Βορρά προς Νότο.

Γραμμή MT5



Σχήμα 3.15: Γραμμή μελέτης MT5. Διακρίνονται δυο στρώματα όπου το 1ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 500-1300 m/s με πάχος 4-6m και το 2ο η ταχύτητα του κυμαίνεται από 1500-2100 m/s με πάχος 15m. Η γραμμή διευθύνεται από Νοτιοδυτικά προς Βορειοανατολικά.

3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

3.3.1 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ Res2dinv

3.3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

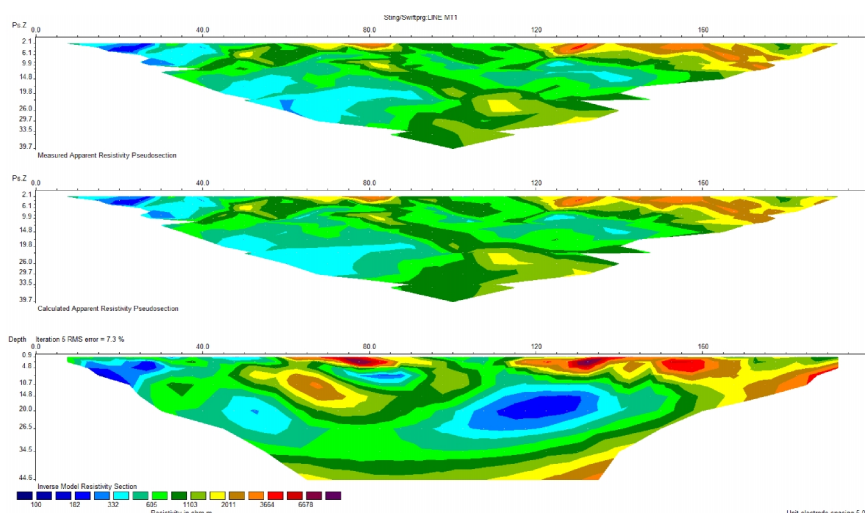
Ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ επιτυγχάνεται με την χρήση του λογισμικού πακέτου Res2dinv. Το Res2dinv καθορίζει αυτόματα δισδιάστατο (2-D) μοντέλο ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα δεδομένα της ηλεκτρικής τομογραφίας (Griffiths and Barker 1993). Αυτό το πρόγραμμα αντιστρέφει δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν με τη χρήση μεγάλου αριθμού ηλεκτροδίων.

Χρησιμοποιείται μη γραμμική τεχνική ελαχίστων τετραγώνων για την αντιστροφή των δεδομένων (deGroot-Hedlin and Constable, 1990, Loke and Barker, 1996) τα οποία συλλέχθηκαν με οποιαδήποτε από τις παρακάτω διατάξεις: Wenner, πόλου-πόλου, διπόλου - διπόλου, πόλου - δίπολου, Schlumberger, Wenner - Schlumberger.

Ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί ψευδοτομές με έως και 650 ηλεκτρόδια και 6500 σημεία δεδομένων (Σχήμα 3.16).

Σύμφωνα με το πρόγραμμα, εισάγονται τα δεδομένα από το αρχείο dat. Αφού πραγματοποιηθεί η αντιστροφή των δεδομένων παρουσιάζονται στην οθόνη τρεις τομές. Υπάρχει η δυνατότητα να μην ληφθούν υπόψη μετρήσεις οι οποίες έχουν μεγάλο σφάλμα.

Επίσης παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης του αριθμού των επαναλήψεων της διαδικασίας της αντιστροφής. Ακόμα, στα αποτελέσματα του προγράμματος συγκαταλέγεται και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS μεταξύ μετρούμενων και υπολογιζόμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Βλαχοδημητρόπουλος και Παρασχούδης, 2010).



Σχήμα 3.16: Ηλεκτρική τομογραφία για την γραμμή μελέτης MT1. Η πρώτη τομή αντιστοιχεί στην ψευδοτομή των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a), η δεύτερη τομή αντιστοιχεί στην ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a), και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) μεταξύ μετρούμενων υπολογιζόμενων τιμών της ρ_a είναι 7.3%.

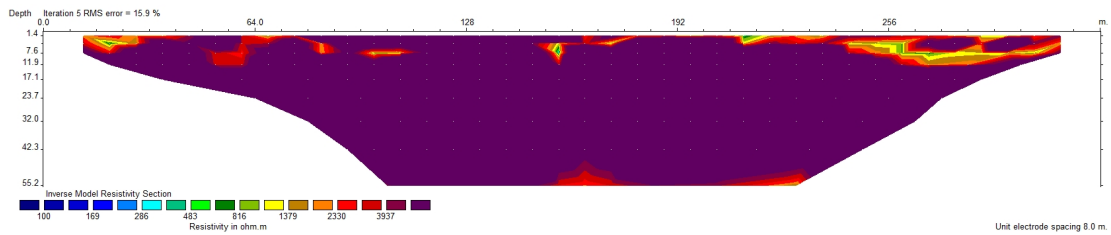
3.3.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων του λογισμικού Res2dinv είναι παρόμοια με της έρευνας που έγινε για το συγκεκριμένο ερευνητικό έργο (Vafidis et al., 2012). Έτσι υιοθετήθηκαν οι κατηγορίες αυτές και προσαρμόστηκαν στα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας για είναι δυνατή η συσχέτιση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με τον δείκτη ποιότητας των πετρωμάτων (RQD) ή/και την πυκνότητα ασυνεχειών.

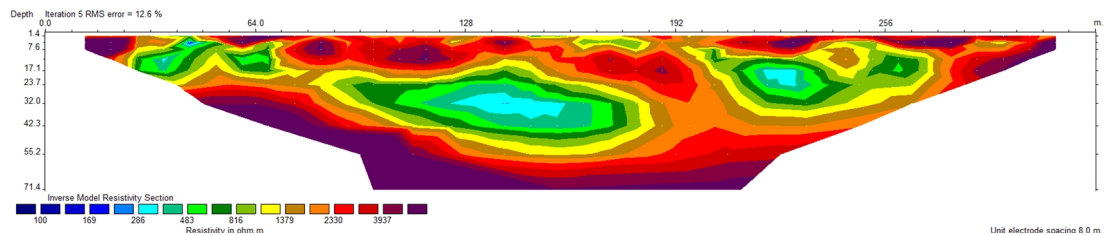
Πίνακας 3.2: Πίνακας κατηγοριών και ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις γεωτρήσεις στη θέση Μ.

#	Κατηγορίες	Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση (Ohm.m)
1	Πλήρως διερρηγμένος ή/και αποσαθρωμένος ή/και με ασυνέχειες πληρωμένες με εδαφικό υλικό ασβεστόλιθος	100 - 600
2	Πλήρως διερρηγμένος ή/και με ασυνέχειες πληρωμένες με εδαφικό υλικό ασβεστόλιθος	600 - 1100
3	Διερρηγμένος ασβεστόλιθος με ασυνέχειες πληρωμένες με εδαφικό υλικό	1100 - 2000
4	Διερρηγμένος ή/και υγιής ασβεστόλιθος	>2000

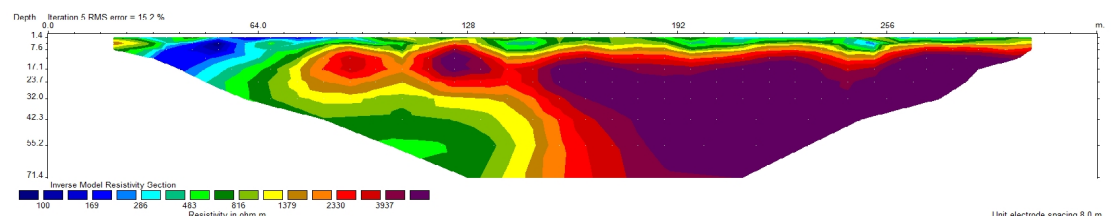
Πιο κάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας όπου απεικονίζουν τη γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών καθώς αναγράφεται και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS (Σχήμα 3.17 - 3.26). Οι πλήρης τομές όπως πρόεκυψαν από το λογισμικό Res2Dinv παρατίθενται στο Παράρτημα Γ.



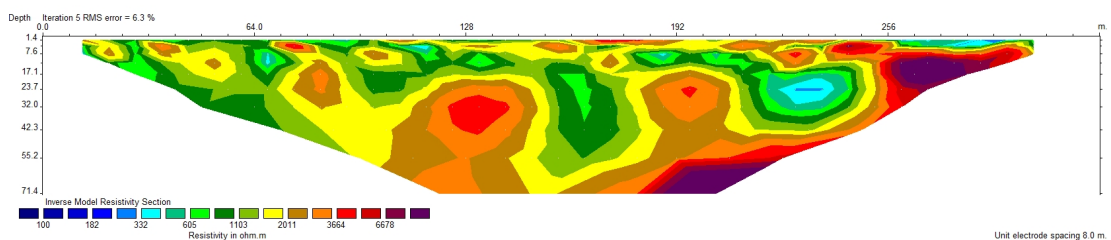
Σχήμα 3.17: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML1. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 15.9%. Η γεωηλεκτρική αυτή τομή δεν αξιολογήθηκε λόγω μη αξιόπιστων αποτελεσμάτων (κορεσμός στις υψηλές αντιστάσεις).



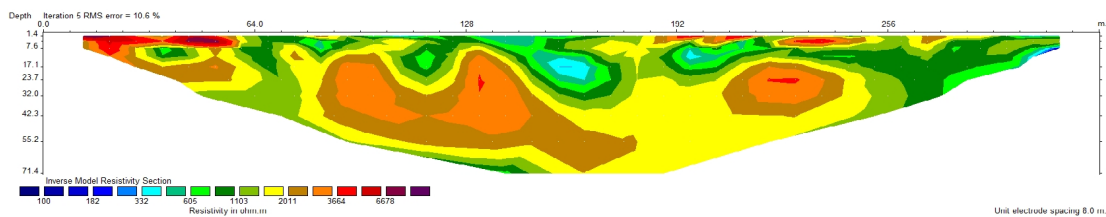
Σχήμα 3.18: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML2. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 5 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 4 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 12,6%.



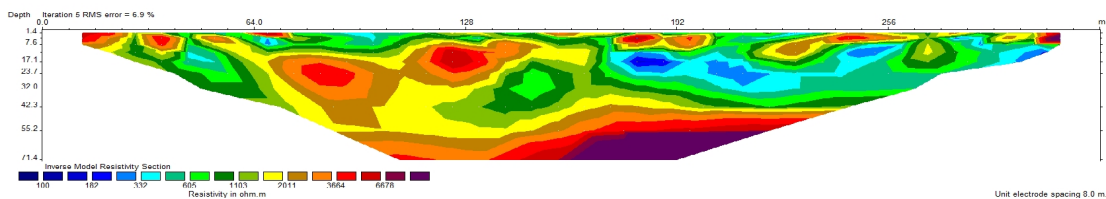
Σχήμα 3.19: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML3. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 1 θέση χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 2 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 15.2%.



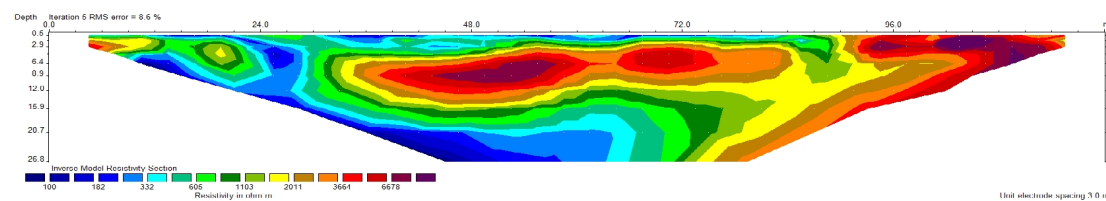
Σχήμα 3.20: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML4. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 3 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 2 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 6.3%.



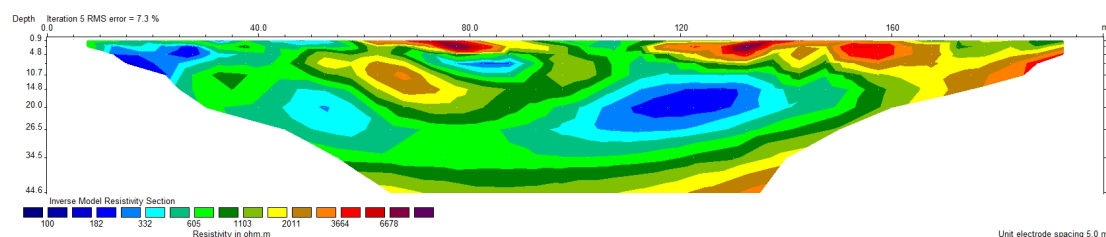
Σχήμα 3.21: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML5. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 4 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 2 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 10.6%.



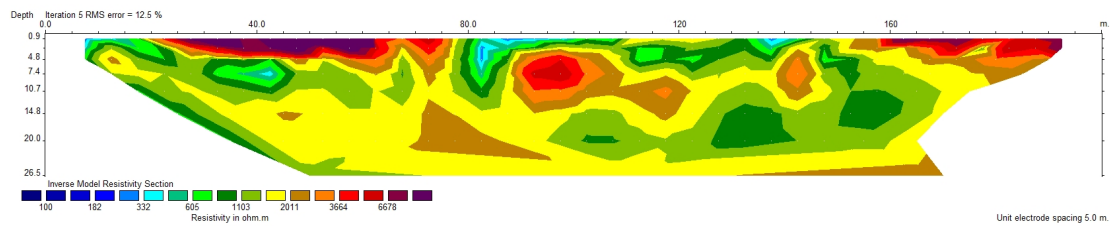
Σχήμα 3.22: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML6. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 3 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 3 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 6.9%.



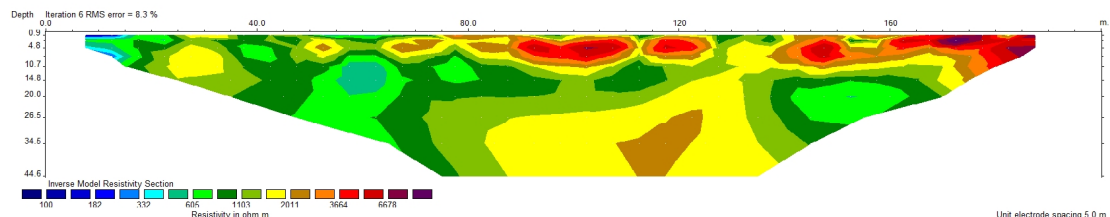
Σχήμα 3.23: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML7. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 2 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 3 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 8.6%.



Σχήμα 3.24: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης MT1. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 4 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 2 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 7.3%.



Σχήμα 3.25: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης MT2. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 3 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 3 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 12.5%.



Σχήμα 3.26: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης MT3. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 2 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 4 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 8.3%.

3.3.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EarthImager2D

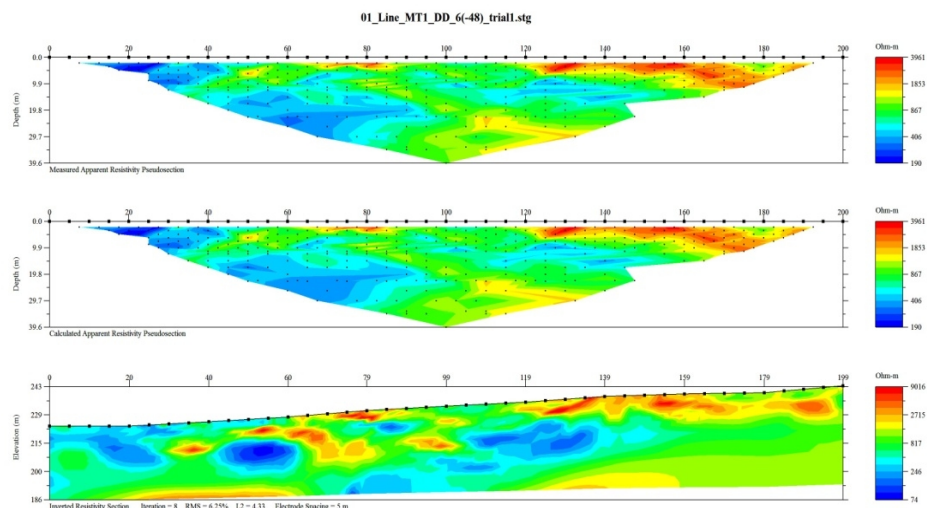
3.3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το EarthImager2D χρησιμοποιείται για να ερμηνεύσει 2D προφίλ αντίστασης που δημιουργούνται με κάθε συστοιχία ηλεκτροδίων τοποθετημένα σε ένα επίπεδο, δηλαδή α) κατά μήκος μιας γραμμής στην επιφάνεια του εδάφους, β) ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες παράλληλες γεωτρήσεις, γ) μεταξύ μιας γεώτρησης και της επιφάνειας. Κάθε συστοιχία ή διάφορα δεδομένα από Wenner, πόλου-πόλου, διπόλου-διπόλου, πόλου-διπόλου και Schlumberger είναι δυνατόν να αντιστραφούν.

Το εν λόγω λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντιστρέψει δεδομένα με μεγάλο αριθμό θέσεων ηλεκτροδίων, όπως θαλάσσιες έρευνες. Επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει ένα γεωηλεκτρικό μοντέλο να εκτελεί μια εικονική έρευνα και στη συνέχεια να αντιστρέψει τα συνθετικά δεδομένα για να διερευνήσει αν ο στόχος της έρευνας του μπορεί να επιτευχθεί.

Σύμφωνα με το πρόγραμμα, εισάγονται τα δεδομένα από το αρχείο *.stg. Αφού πραγματοποιηθεί η αντιστροφή των δεδομένων παρουσιάζονται στην οθόνη τρεις τομές. Υπάρχει η δυνατότητα να μην ληφθούν υπόψη μετρήσεις οι οποίες έχουν μεγάλο σφάλμα.

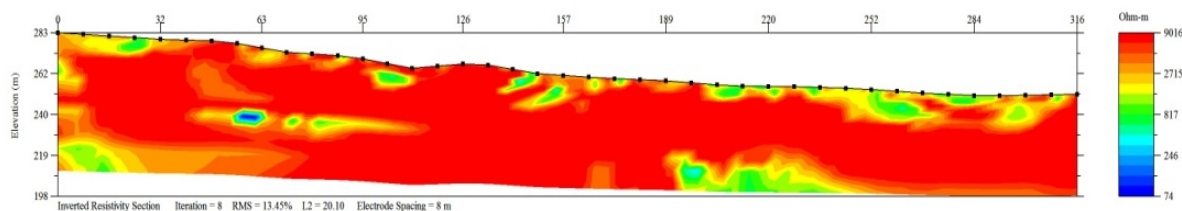
Επίσης παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης του αριθμού των επαναλήψεων της διαδικασίας της αντιστροφής. Ακόμα, στα αποτελέσματα του προγράμματος συγκαταλέγεται και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS και η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων (<https://www.agiusa.com/agi2dimg.shtml>).



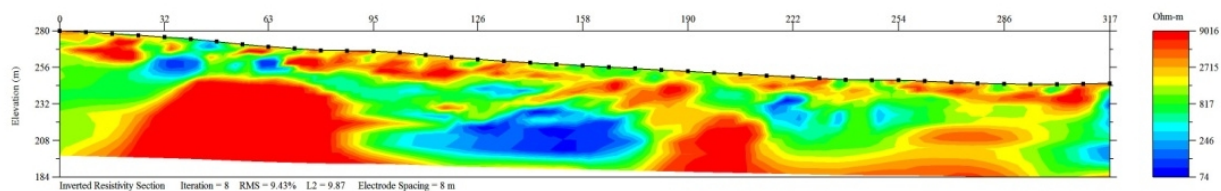
Σχήμα 3.27: Ηλεκτρική τομογραφία για την γραμμή μελέτης MT1. Η πρώτη τομή αντιστοιχεί στην ψευδοτομή των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a), η δεύτερη τομή αντιστοιχεί στην ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a), ενώ η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) μεταξύ μετρούμενων υπολογιζόμενων τιμών της ρ_a είναι 6.2%.

3.3.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

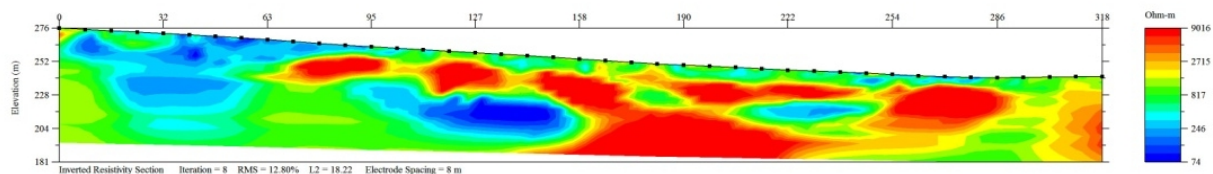
Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας όπου απεικονίζουν τη γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών καθώς αναγράφεται και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS (Σχήμα 3.28 – 3.37). Όλες οι ψευδοτομές όπως πρόέκυψαν από το λογισμικό EarthImager παρατίθενται στο Παράρτημα Γ.



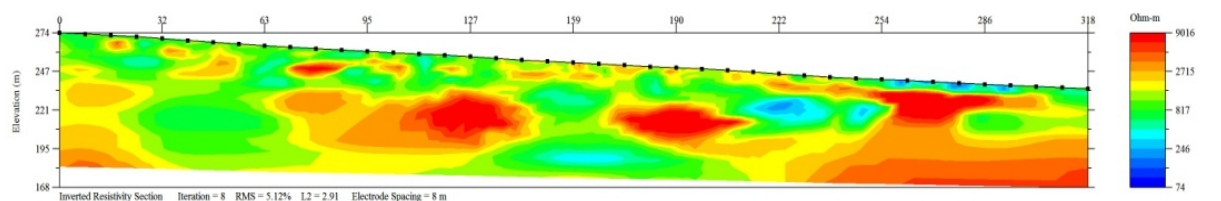
Σχήμα 3.28: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML1. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 13.45%. Η γεωηλεκτρική αυτή τομή δεν αξιολογήθηκε λόγω μη αξιόπιστων αποτελεσμάτων (κορεσμός στις υψηλές αντιστάσεις).



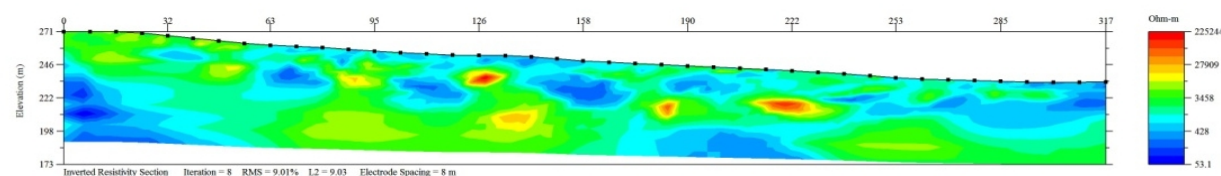
Σχήμα 3.29: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML2. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 5 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 3 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 9.43%.



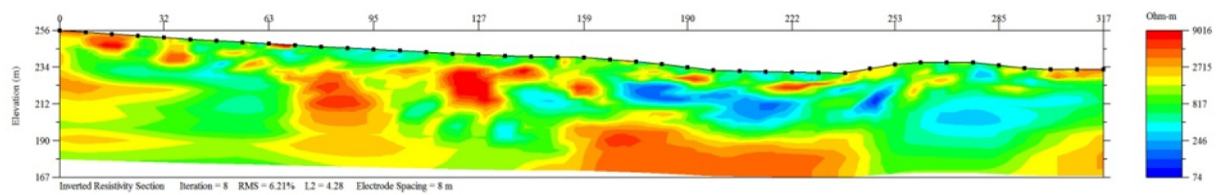
Σχήμα 3.30: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML3. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 3 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 3 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 12.80%.



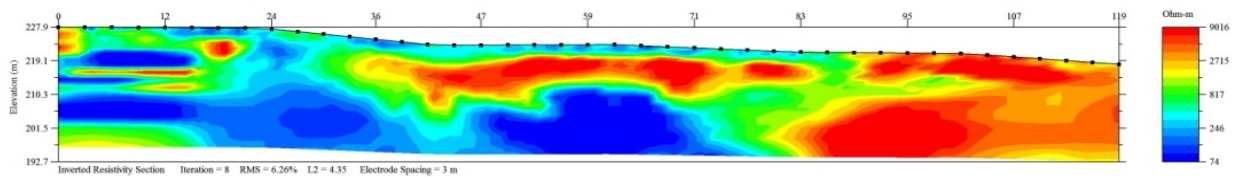
Σχήμα 3.31: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML4. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 4 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 4 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 5.12%.



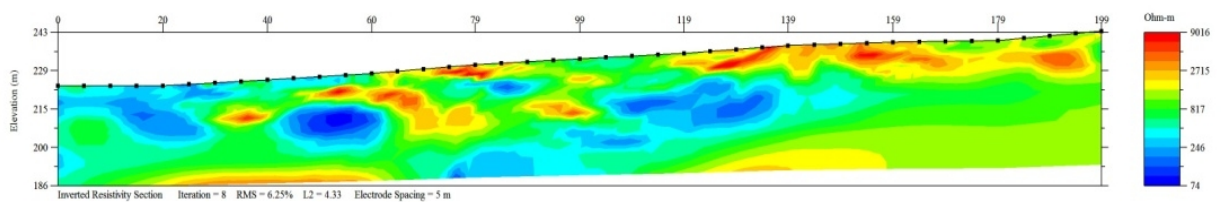
Σχήμα 3.32: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML5. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται χαμηλές αντιστάσεις 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 3 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 9.01%.



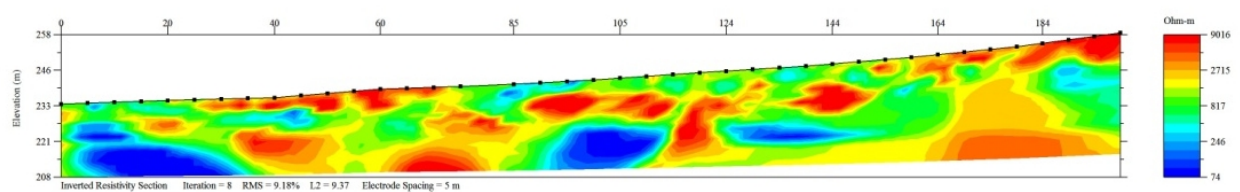
Σχήμα 3.33: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML6. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 4 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 4 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 6.21%.



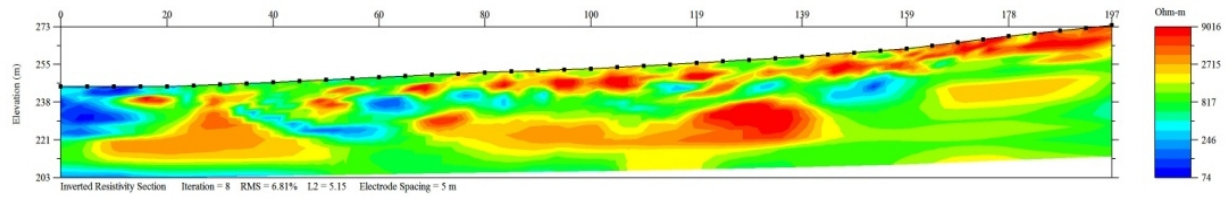
Σχήμα 3.34: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης ML7. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 3 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 2 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 6.26%.



Σχήμα 3.35: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης MT1. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 3 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 3 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 6.25%.



Σχήμα 3.36: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης MT2. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 3 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 4 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 9.18%.



Σχήμα 3.37: Γεωηλεκτρική τομή για τη γραμμή μελέτης MT3. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Παρατηρούνται 3 θέσεις χαμηλών αντιστάσεων 100-600, 600-1100 (Ohm.m) και 3 θέσεις αντιστάσεων >2000 (Ohm.m). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMS είναι 6.81%.

3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ Res2dinv ΚΑΙ EarthImager2D

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν δυο λογισμικά πακέτα (Res2dinv και EarthImager2D) για την επεξεργασία των γεωηλεκτρικών δεδομένων στις 2 διαστάσεις.

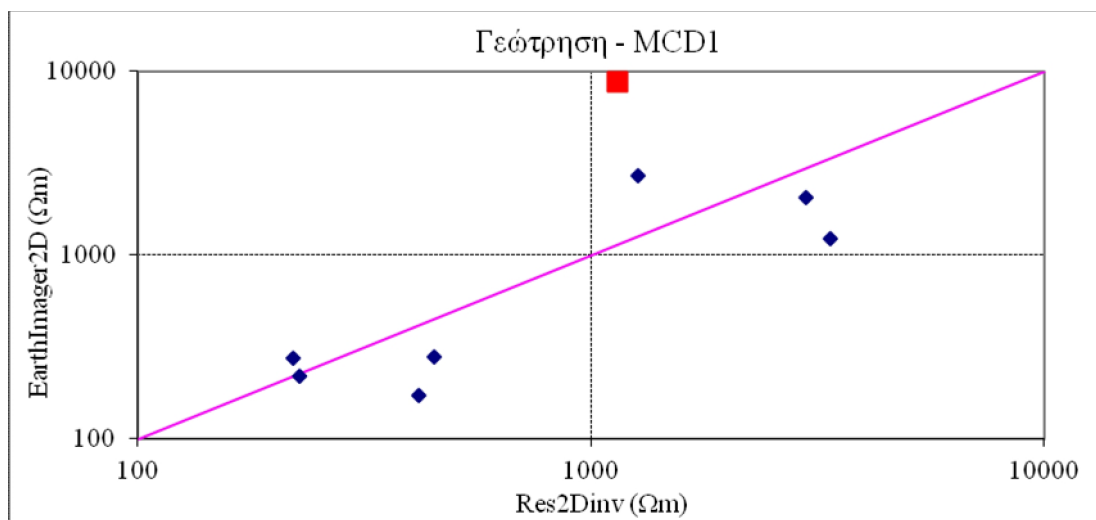
Παρατηρήθηκε ότι στο λογισμικό πακέτο EarthImager2D υπήρχε χαμηλότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS), αλλά υψηλότερες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις κατά την αντιστροφή καθώς και χαμηλότερης ποιότητας.

Για τις θέσεις των γεωτρήσεων, πραγματοποιήθηκε προσπάθεια συσχέτισης των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα δύο λογισμικά. Βέβαια, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα συγκρινόμενα στοιχεία δεν αντιστοιχούν ακριβώς στα ίδια βάθη. Έτσι, λήφθηκαν υπόψη τα βάθη από τις γεωηλεκτρικές τομές του Res2Dinv και οι αντιστάσεις συσχετίστηκαν με τις αντιστάσεις του EarthImager που αντιστοιχούσαν στα πιο κοντινά βάθη.

Πιο κάτω παρατίθενται οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από τα δυο λογισμικά στις θέσεις των γεωτρήσεων καθώς και τα διαγράμματα συσχέτισής τους. Το βάθος που αναγράφεται σε κάθε γεώτρηση είναι από τα αποτελέσματα του λογισμικού Res2dinv και προσαρμόστηκαν τα βάθη για το λογισμικό EarthImager2D. Καλύτερη συσχέτιση παρουσιάζει η γεώτρηση MCD6 με 0.9373 και χειρότερη η γεώτρηση MCD4 με 0.3945.

Πίνακας 3.3: Τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από τα 2 λογισμικά επεξεργασίας (Res2Dinv & EarthImager2D) στη θέση της γεώτρησης MCD1. Με κόκκινο χρώμα είναι η μέτρηση που δεν συμπεριλήφθηκε στην συσχέτιση λόγω μεγάλης απόκλισης της τιμής της αντίστασης που προέκυψε από το EarthImager σε σχέση με τις γειτονικές της (outlier).

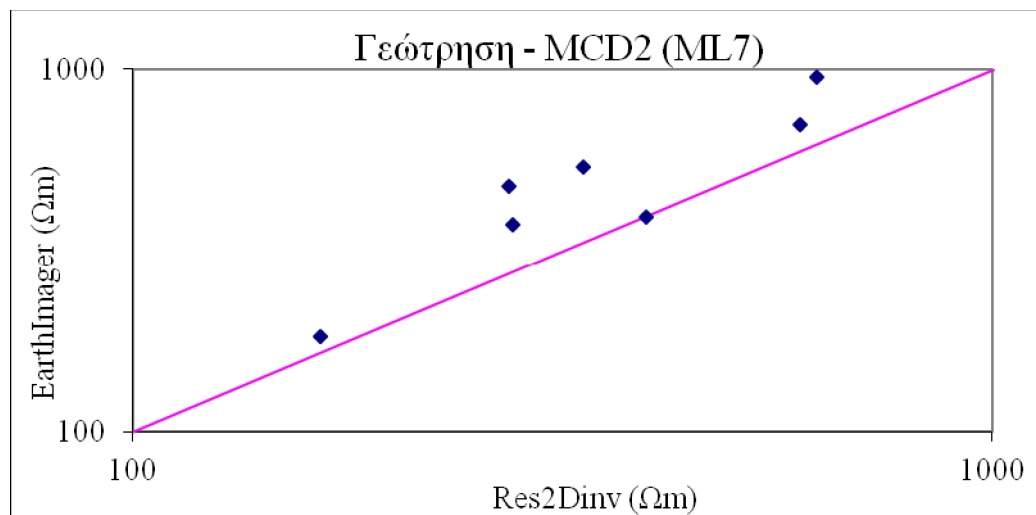
MCD1		
ΒΑΘΟΣ (m)	Resistivity Res2dinv (Ohm.m)	Resistivity Earthimager2D (Ohm.m)
0,9	1268	2680
2,7	3380	1223
4,8	2970	2037
7,4	1140	8730
10,7	449	278
14,8	227	220
20,0	220	275
26,5	416	173



Σχήμα 3.38: Διάγραμμα συσχέτισης των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα 2 λογισμικά στην γεώτρηση MCD1. Η συσχέτιση τους είναι 0.616.

Πίνακας 3.4: Τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από τα 2 λογισμικά επεξεργασίας (Res2Dinv & EarthImager2D) στη θέση της γεώτρησης MCD2.

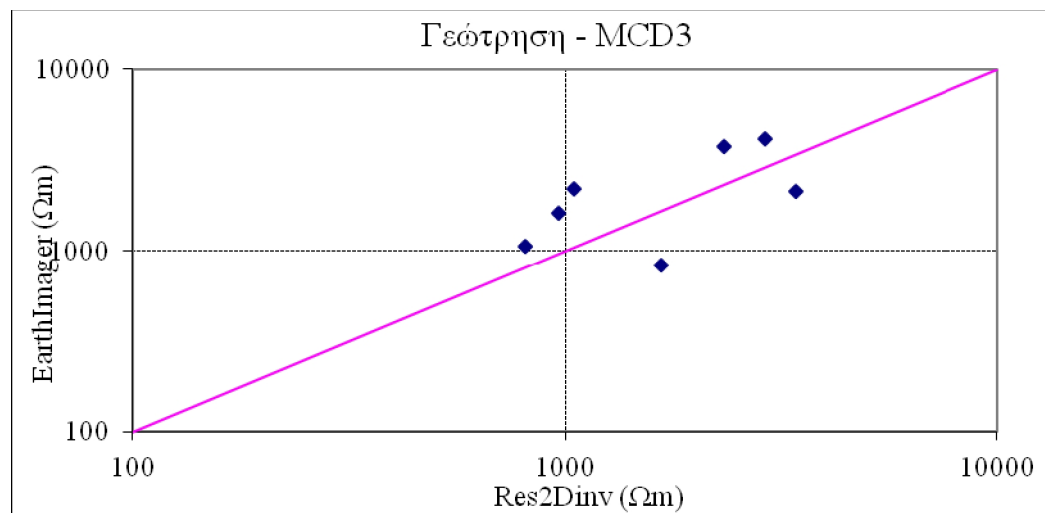
MCD2		
ΒΑΘΟΣ (m)	Resistivity Res2dinv (Ohm.m)	Resistivity Earthimager2D (Ohm.m)
0,51	625	949
1,59	598	702
2,86	395	392
4,44	277	374
6,43	274	475
8,91	334	539
15,88	165	182



Σχήμα 3.39: Διάγραμμα συσχέτισης των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα 2 λογισμικά στην γεώτρηση MCD2. Η συσχέτιση τους είναι 0.9125.

Πίνακας 3.5: Τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από τα 2 λογισμικά επεξεργασίας (Res2Dinv & EarthImager2D) στη θέση της γεώτρησης MCD3.

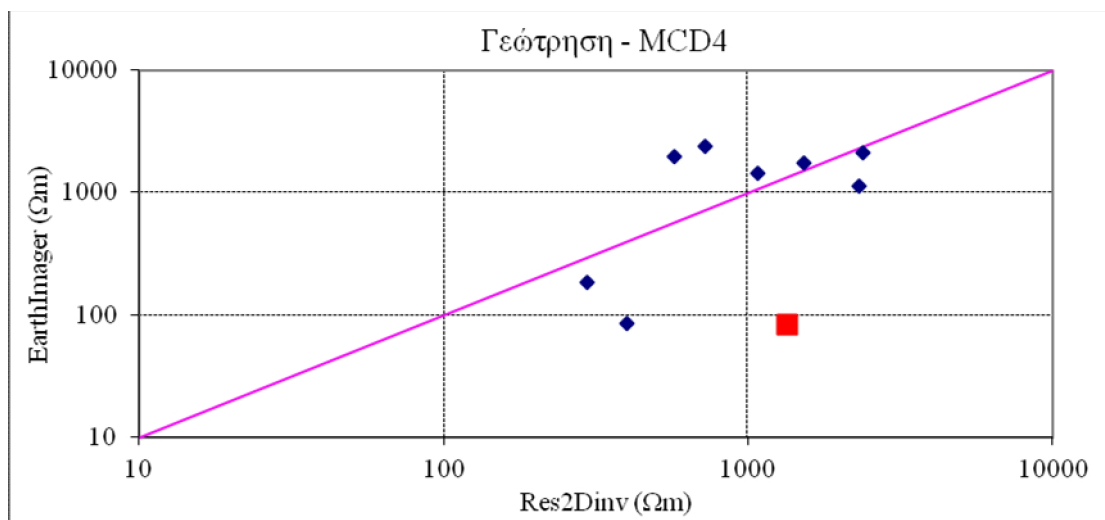
MCD3		
ΒΑΘΟΣ (m)	Resistivity Res2dinv (Ohm.m)	Resistivity Earthimager2D (Ohm.m)
0,85	3418	2128
2,65	962	1610
4,76	807	1057
7,41	1664	826
10,71	2894	4130
14,84	2327	3753
20,01	1045	2195



Σχήμα 3.40: Διάγραμμα συσχέτισης των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα 2 λογισμικά στην γεώτρηση MCD3. Η συσχέτιση τους είναι 0.5893.

Πίνακας 3.6: Τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από τα 2 λογισμικά επεξεργασίας (Res2Dinv & EarthImager2D) στη θέση της γεώτρησης MCD4. Με κόκκινο χρώμα είναι η μέτρηση που δεν συμπεριλήφθηκε στην συσχέτιση λόγω μεγάλης απόκλισης της τιμής της αντίστασης που προέκυψε από το Res2Dinv σε σχέση με τις γειτονικές της (outlier).

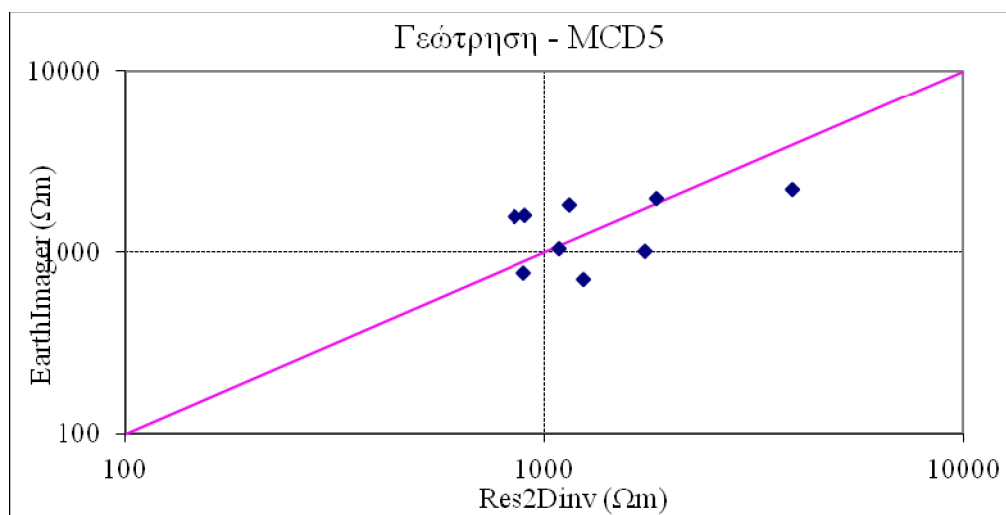
MCD4		
ΒΑΘΟΣ (m)	Resistivity Res2dinv (Ohm.m)	Resistivity Earthimager2D (Ohm.m)
1,37	720	2402
4,24	2317	1136
7,62	2371	2129
11,85	1519	1721
17,14	1071	1433
23,75	573	1951
32,01	296	185
42,34	400	85
55,24	1340	83



Σχήμα 3.41: Διάγραμμα συσχέτισης των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα 2 λογισμικά στην γεώτρηση MCD4. Η συσχέτιση τους είναι 0.3945.

Πίνακας 3.7: Τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από τα 2 λογισμικά επεξεργασίας (Res2Dinv & EarthImager2D) στη θέση της γεώτρησης MCD5.

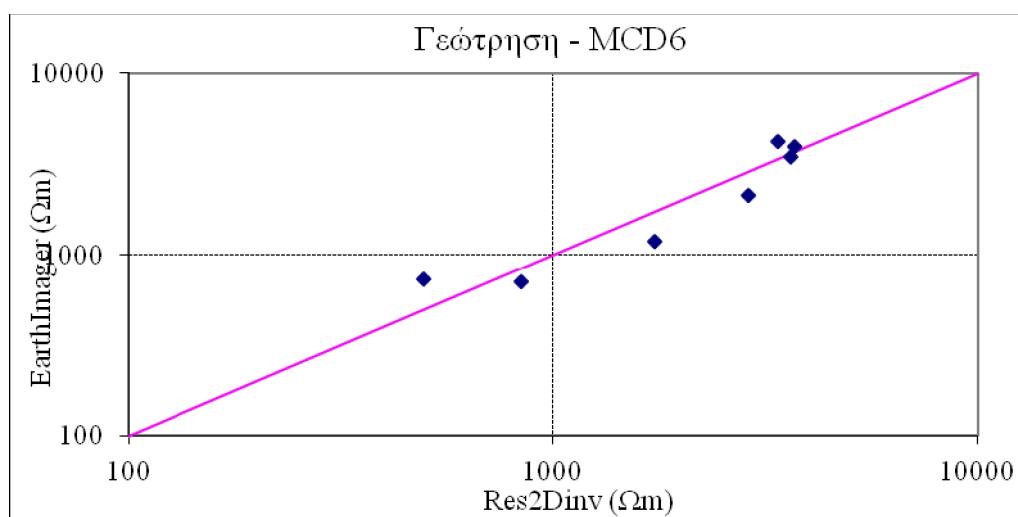
MCD5		
ΒΑΘΟΣ (m)	Resistivity Res2dinv (Ohm.m)	Resistivity Earthimager2D (Ohm.m)
1,37	3890	2215
4,24	1080	1040
7,62	1735	1010
11,85	1844	1962
17,14	1150	1799
23,75	890	762
32,01	849	1563
42,34	895	1581
55,24	1236	705



Σχήμα 3.42: Διάγραμμα συσχέτισης των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα 2 λογισμικά στην γεώτρηση MCD5. Η συσχέτιση τους είναι 0.5767.

Πίνακας 3.8: Τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από τα 2 λογισμικά επεξεργασίας (Res2Dinv & EarthImager2D) στη θέση της γεώτρησης MCD6.

MCD6		
ΒΑΘΟΣ (m)	Resistivity Res2dinv (Ohm.m)	Resistivity Earthimager2D (Ohm.m)
1,37	499	727
4,24	842	703
7,62	1745	1179
11,85	2893	2136
23,75	3711	3935
32,01	3646	3461
42,34	3386	4232



Σχήμα 3.43: Διάγραμμα συσχέτισης των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα 2 λογισμικά στην γεώτρηση MCD5. Η συσχέτιση τους είναι 0.9373.

3.5 EarthImager3D

Το EarthImager 3D είναι ένα λογισμικό όπου μπορεί να προσδιορίσει αυτόματα ένα τρισδιάστατο μοντέλο αντίστασης για το υπέδαφος χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που λαμβάνονται από μια τρισδιάστατη ή μια ψεύδοτρισδιάστατη (όπου οι μετρήσεις λαμβάνονται κατά μήκος γραμμών) γεωηλεκτρική έρευνα.

Με την προηγμένη τεχνική απόδοση όγκου, ο χρήστης μπορεί να τον περιστρέψει σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, να τον μεγεθύνει μέσα και έξω έτσι ώστε να παρατηρήσει και να μελετήσει τον όγκο λεπτομερώς (<https://www.agiusa.com/earthimager3d.shtml>).

Το λογισμικό αυτό έχει απλό λειτουργικό περιβάλλον όπου δεν χρειάζεται να έχεις ιδιαίτερες γνώσεις για να το χειριστείς (Παράρτημα Ε). Για την ανάγνωση των δεδομένων χρειάζεται μια προεργασία αφού το πρόγραμμα δέχεται συγκεκριμένους τύπους αρχείων *.stg και *.url (Σχήμα 3.44, τύπου ascii προκαθορισμένης δομής) για τα γεωηλεκτρικά δεδομένα και αρχεία *.trn (τύπου ascii προκαθορισμένης δομής) για το ανάγλυφο της περιοχής.

```
Unit: meters

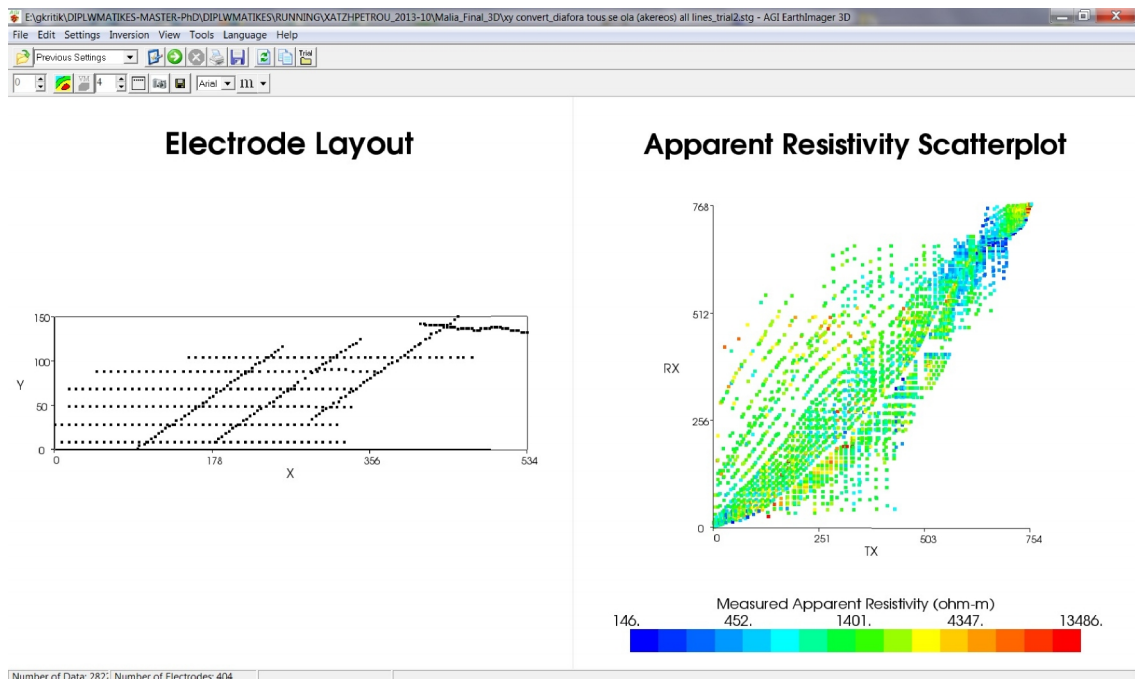
:Geometry
;ID, X, Y, Z
1, 0.00, 0.00, 0.00
2, 0.00, 1.00, 0.00
3, 0.00, 2.00, 0.00
4, 0.00, 3.00, 0.00
5, 0.00, 4.00, 0.00
6, 0.00, 5.00, 0.00
7, 1.00, 5.00, 0.00
8, 1.00, 4.00, 0.00
9, 1.00, 3.00, 0.00
10, 1.00, 2.00, 0.00
11, 1.00, 1.00, 0.00
12, 1.00, 0.00, 0.00

:Measurements
;A, B, M, N, V/I(ohm), I(mA), Error(%), Chargeability(mV/V)
1, 2, 3, 4, -1.0e-01
1, 2, 4, 5, -9.0e-02
1, 2, 5, 6, -7.5e-02
1, 2, 7, 8, 8.0e-02
1, 2, 8, 9, 7.0e-02
```

Σχήμα 3.44: Παράδειγμα αρχείου *.url, εισαγωγής στο λογισμικό EarthImager3D (Manual EarthImager 3D Version 1.5.3,2008).

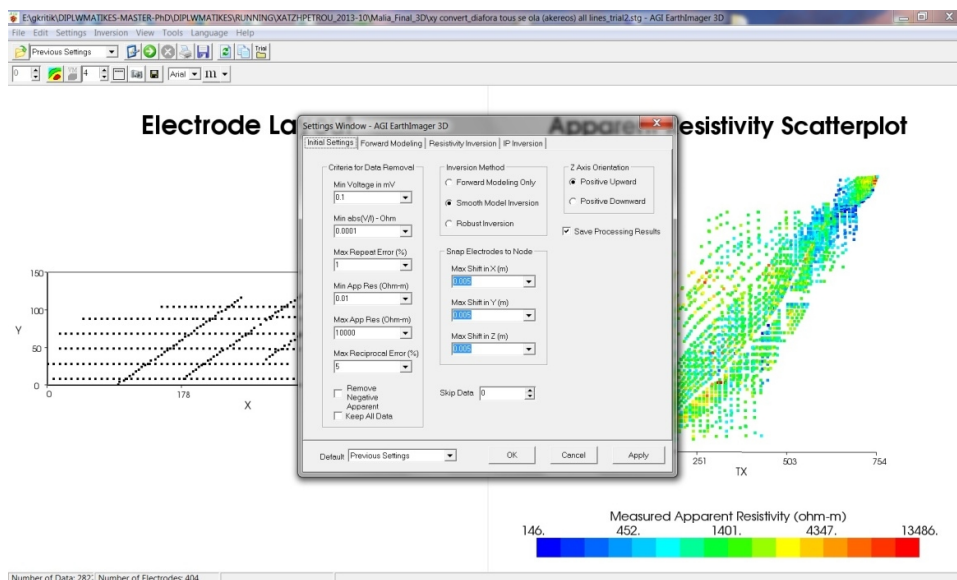
Για την μετατροπή των αρχείων που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της γεωηλεκτρικής διασκόπησης σε διδιάστατο αρχείο *.stg σε αρχείο ανάγνωσης τρισδιάστατων δεδομένων (*.url), δημιουργήθηκε κατάλληλος αλγόριθμος σε γλώσσα Matlab. Στον αλγόριθμο αυτό, ο χρήστης εισάγει πολλαπλά αρχεία *.stg ισάριθμων διδιάστατων διασκοπήσεων, τις συντεταγμένες και τα υψόμετρα των ηλεκτροδίων των διασκοπήσεων αυτών, ενώ ο αλγόριθμος επιστρέφει το ενοποιημένο στις τρεις διαστάσεις αρχείο *.url και το αρχείο αναγλύφου *.trn. Ο αλγόριθμος αυτός παρατίθεται στο Παράρτημα Ε.

Για την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό, φορτώνονται τα αρχεία πηγαίνοντας στην εντολή File/Read Data, όπου βγαίνει ένα παράθυρο επιλογής ανάγνωσης αρχείου και διαβάζονται τα δεδομένα των γραμμών μελέτης *.url. Έπειτα διαβάζονται τα αρχεία με το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης πηγαίνοντας στην εντολή Read Terrain File, όπου βγαίνει ένα παράθυρο επιλογής αρχείου ανάγνωσης και διαβάζονται τα δεδομένα του ανάγλυφου τη περιοχής μελέτης *.trn (Σχήμα 3.45).

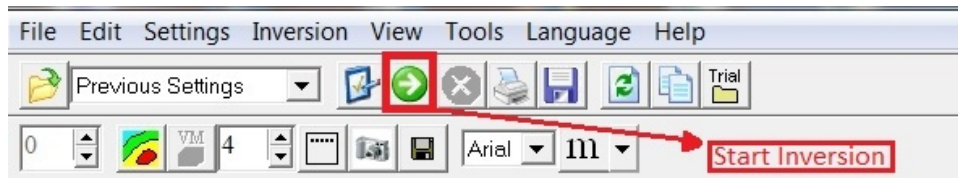


Σχήμα 3.45: Ανάγνωσης αρχείου δεδομένων των γραμμών μελέτης *.url και *.trn.

Μπορούν να αφαιρεθούν δεδομένα από την ανάγνωση των δεδομένων που πιστεύεται ότι έχουν μεγάλο σφάλμα (ακραίων τιμών) καθώς και να αλλαχτούν οι παράμετροι της αντιστροφής των δεδομένων με την εντολή Settings/Initial Settings (Σχήμα 3.46). Μετά και την αφαίρεση ακραίων τιμών από τα δεδομένα εκτελείται η έναρξη της αντιστροφής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Σχήμα 3.47).

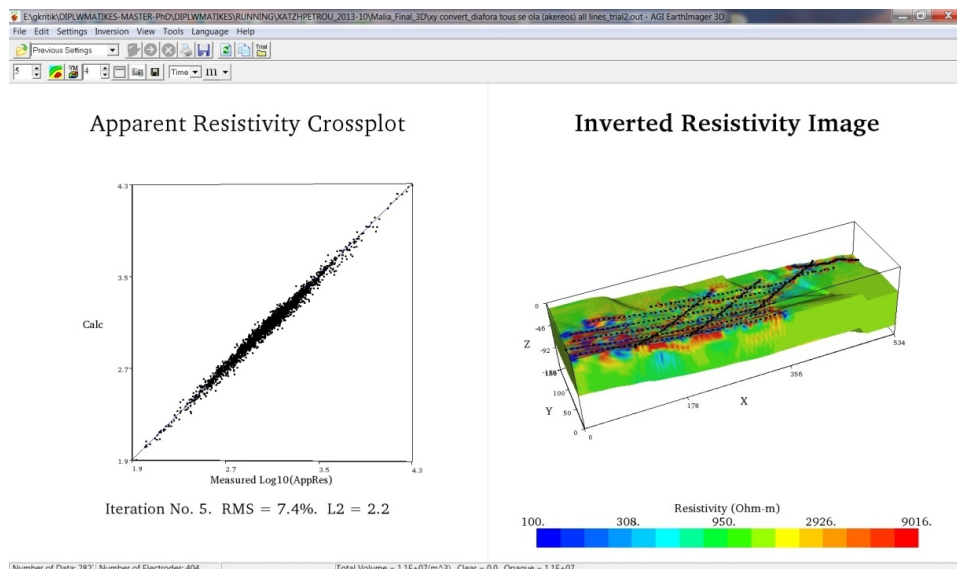


Σχήμα 3.46: Παράθυρο αλλαγής των παραμέτρων της αντιστροφής.

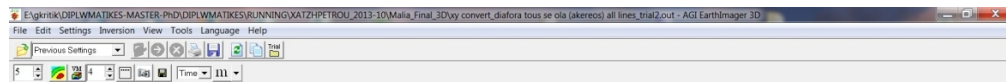


Σχήμα 3.47: Κουμπί εκτέλεσης της αντιστροφής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

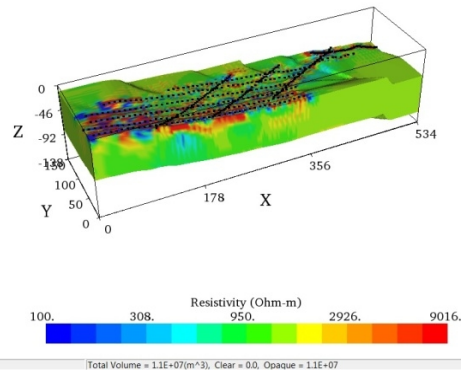
Όταν τελειώσει η αντιστροφή των δεδομένων το λογισμικό δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να απεικονίσει την τρισδιάστατη αντιστροφή των δεδομένων με μια σειρά τρόπων απεικόνισης ανάλογα με το επιθυμεί να απεικονίσει. Υπάρχει η απεικόνιση Measured Apparent Resistivity (Σχήμα 3.48) όπου απεικονίζει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) των μετρούμενων και των υπολογισμένων φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων και τις πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις στο χώρο με διαφορετικά χρώματα, την απεικόνιση Inverted Resistivity Model (Σχήμα 3.49) όπου χρωματίζει τον όγκο της περιοχής μελέτης με τις πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις.



Σχήμα 3.48: Απεικόνιση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS) και η χρωματική απεικόνιση των αντιστραμμένων αντιστάσεων αναγράφοντας και τον όγκο της περιοχής μελέτης.

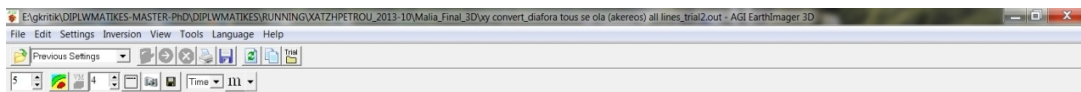


Inverted Resistivity Image

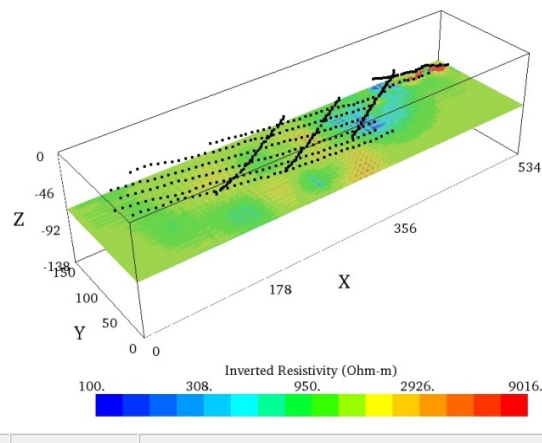


Σχήμα 3.49: Χρωματική απεικόνιση των αντιστραμμένων αντιστάσεων αναγράφοντας και τον όγκο της περιοχής μελέτης (Inverted Resistivity Model).

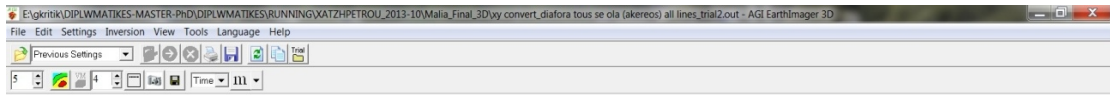
Επίσης υπάρχει η απεικόνιση Static Slices of Resistivity Model (Σχήμα 3.50), το 3D Countours of Resistivity (Σχήμα 3.51), καθώς και η απεικόνιση Resistivity Misfit Histogram (Παράρτημα Ε).



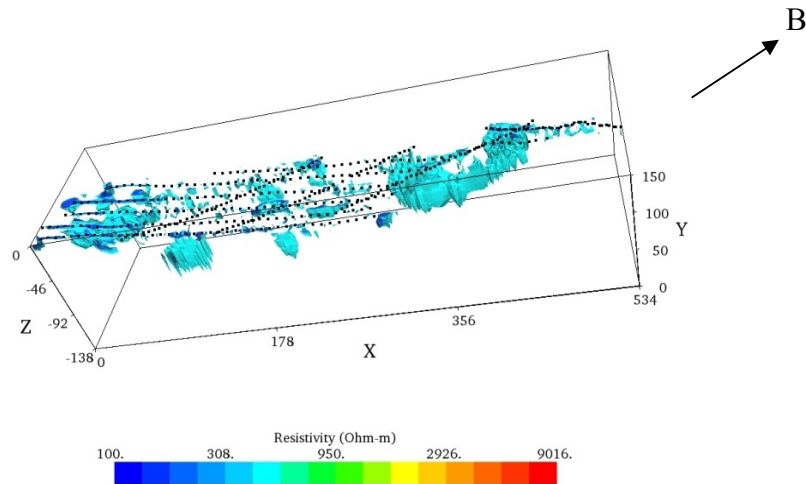
Z Slices of Inverted Resistivity



Σχήμα 3.50: Χρωματική απεικόνιση των αντιστραμμένων αντιστάσεων σε διάφορες τομές της περιοχής μελέτης (Static Slices of Resistivity Model).



3D Resistivity Contour Plot



Number of Data: 282; Number of Electrodes: 404

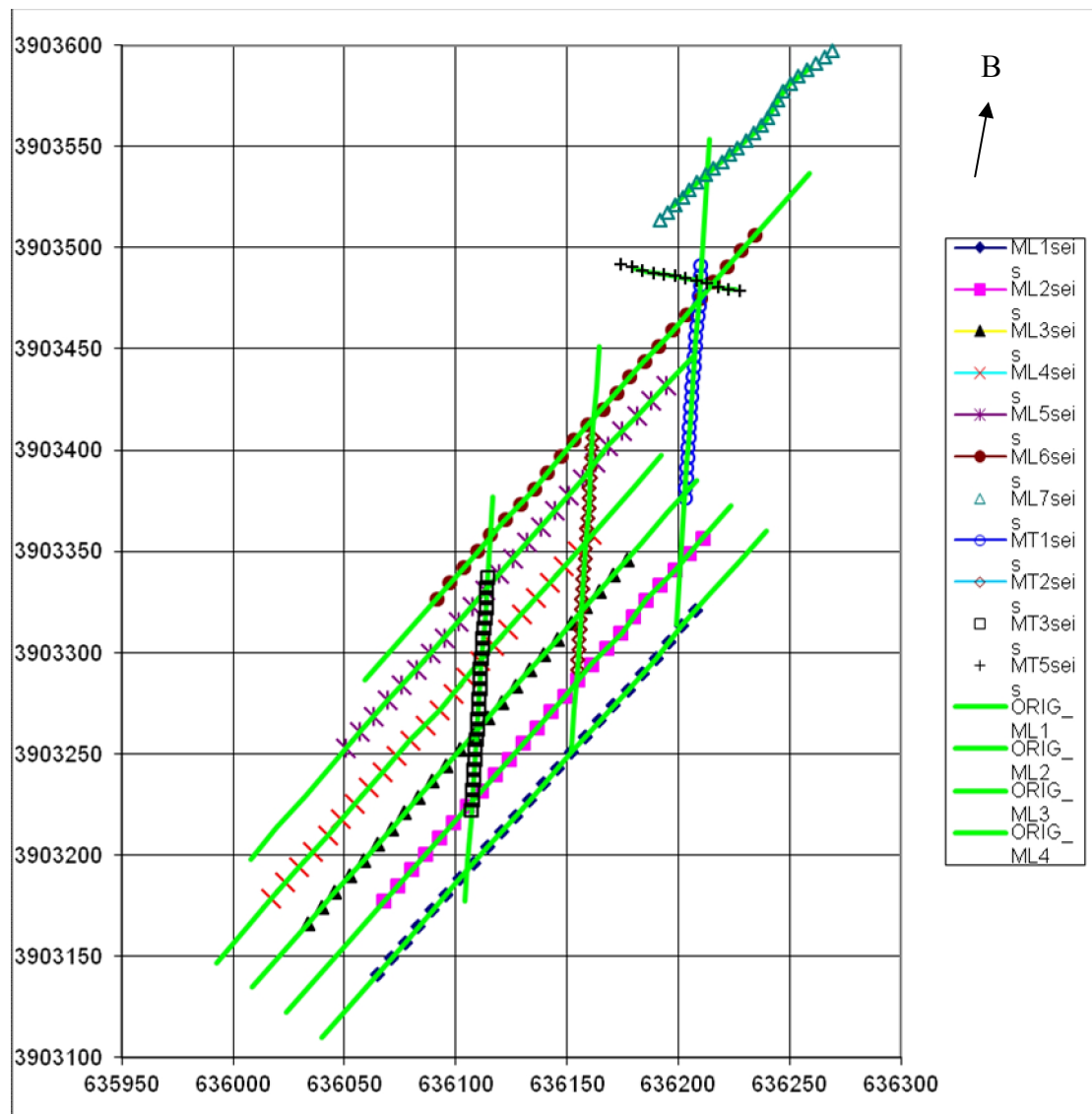
Σχήμα 3.51: Τρισδιάστατη χρωματική απεικόνιση ισότιμων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (3D Countours of Resistivity).

Στην προσπάθεια να αντιστραφούν τρισδιάστατα οι μετρούμενες φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις προέκυψαν κάποια προβλήματα που εν τέλει αντιμετωπίστηκαν. Τα προβλήματα ήταν:

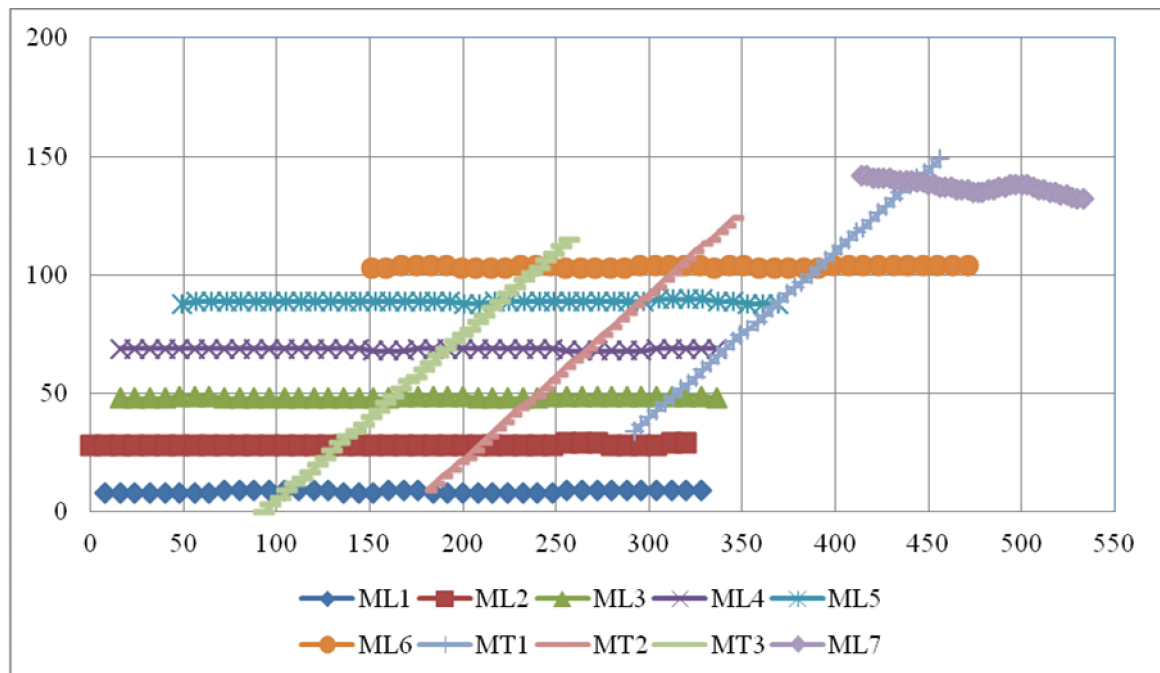
1) Οι γραμμές μελέτης στο σύστημα συντεταγμένων (Παράρτημα Z) ήταν υπό γωνία (Σχήμα 3.52) και το λογισμικό EarthImager3D δεν ήταν να δυνατό να κάνει την αντιστροφή. Έτσι αντιμετωπίστηκε το πρόβλημα με τον μετασχηματισμό των συντεταγμένων κατά γωνία 51.38° (0.89675 rad), (Σχήμα 3.53). Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής (Αγιουτάνης, 2002):

$$X' = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3.1)$$

$$Y' = y \cos \theta - x \sin \theta \quad (3.2)$$



Σχήμα 3.52: Αρχικές συντεταγμένες των γραμμών μελέτης (ΕΓΣΑ '87).



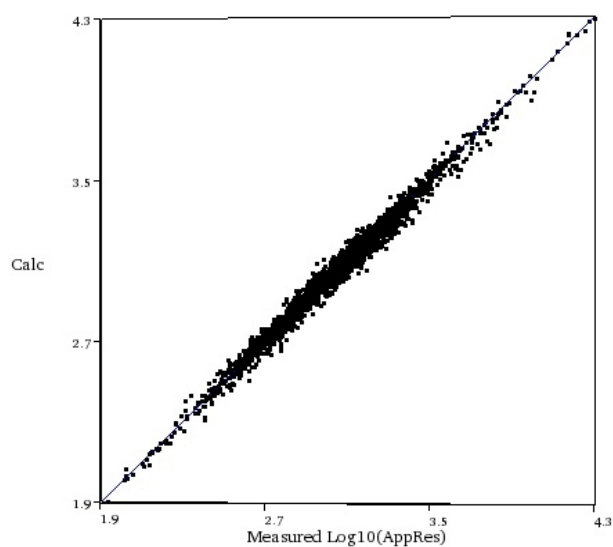
Σχήμα 3.53: Απεικόνιση των γραμμών μελέτης μετά από στροφή των συντεταγμένων υπό γωνιά 51.38° (0.89675 rad)

2) Λόγω του μεγάλου αριθμού των ψηφίων (7 ψηφία) που απαρτίζουν τις συντεταγμένες (μετά από στροφή) της περιοχής μελέτης έκανε αδύνατη την εκτέλεση της διαδικασίας της τρισδιάστατης αντιστροφής με αποτέλεσμα να γίνει αναγκαστική αφαίρεση των σταθερών ψηφίων (τα πρώτα ψηφία που δεν αλλάζουν). Τα σταθερά ψηφία που αποκόπηκαν ήταν από τον X:344 και από τον Y:1939.

3) Για να απεικονιστεί με ακρίβεια το γεωηλεκτρικό μοντέλο έγινε προσπάθεια να εισαχθούν οι άξονες X,Y,Z με ακρίβεια 2 δεκαδικών, πράγμα όμως που κατέστη αδύνατο από το λογισμικό EarthImager3D. Τελικά η τρισδιάστατη αντιστροφή πραγματοποιήθηκε με ακρίβεια στους X, Y άξονες σε ακέραιο αριθμό (μετά από στρογγυλοποίηση) και ο άξονας Z με ένα δεκαδικό.

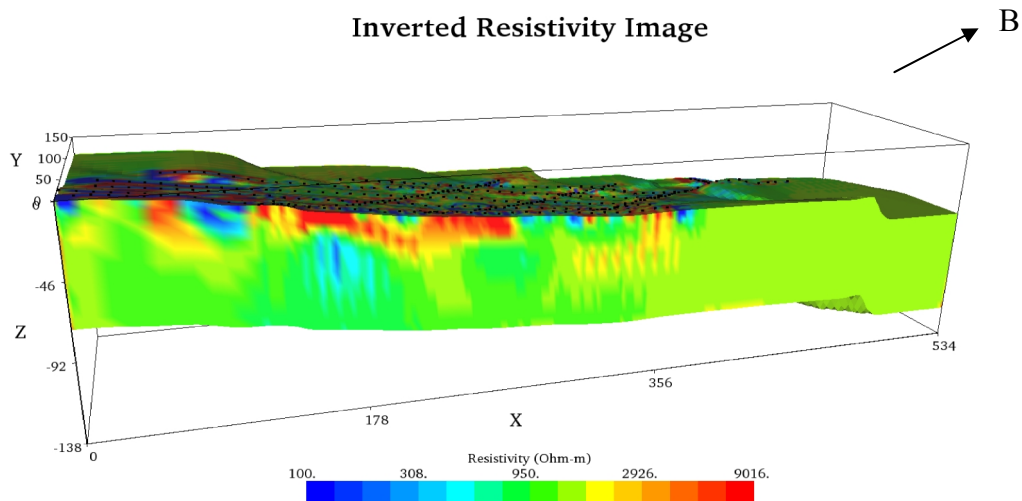
Πιο κάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της τρισδιάστατης αντιστροφής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από το λογισμικό EarthImage3D.

Apparent Resistivity Crossplot



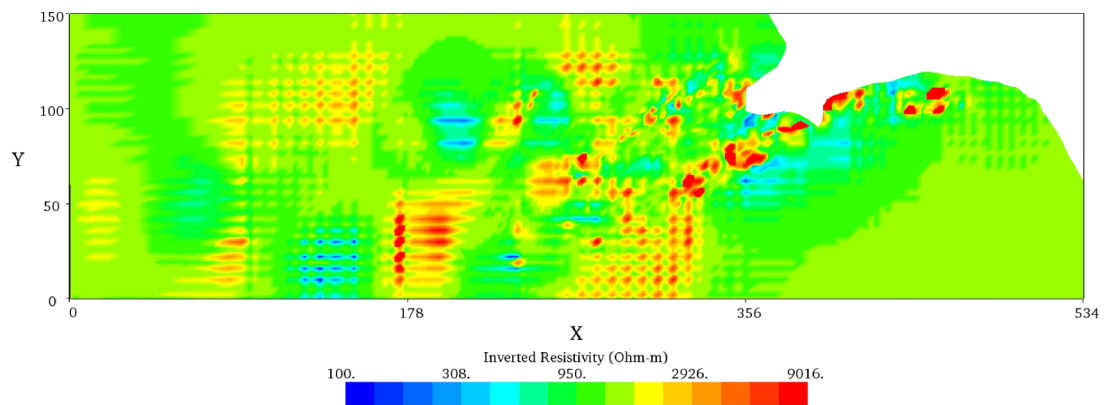
Iteration No. 5. RMS = 7.4%. L2 = 2.2

Σχήμα 3.54: Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) της τρισδιάστατης αντιστροφής είναι 7.4%.



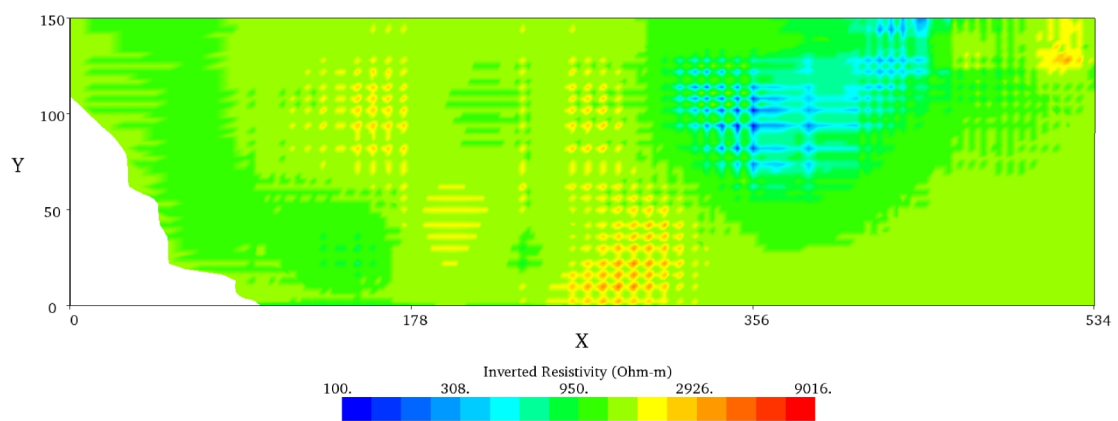
Σχήμα 3.55: Τρισδιάστατη γεωηλεκτρικό μοντέλο όλης της περιοχής μελέτης και η χρωματική κλίμακα που αντιστοιχεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών.

Z Slices of Inverted Resistivity



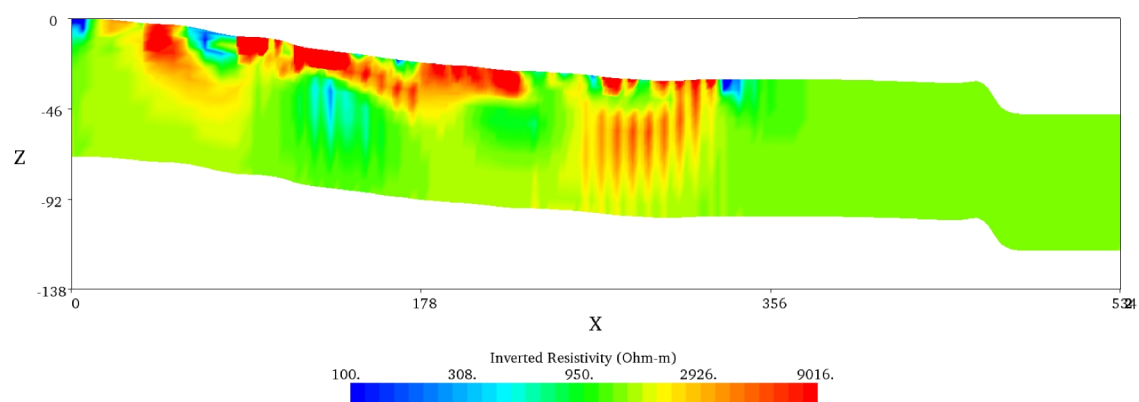
Σχήμα 3.56: Οριζόντια Τομή από τον άξονα Z στα -50m.

Z Slices of Inverted Resistivity



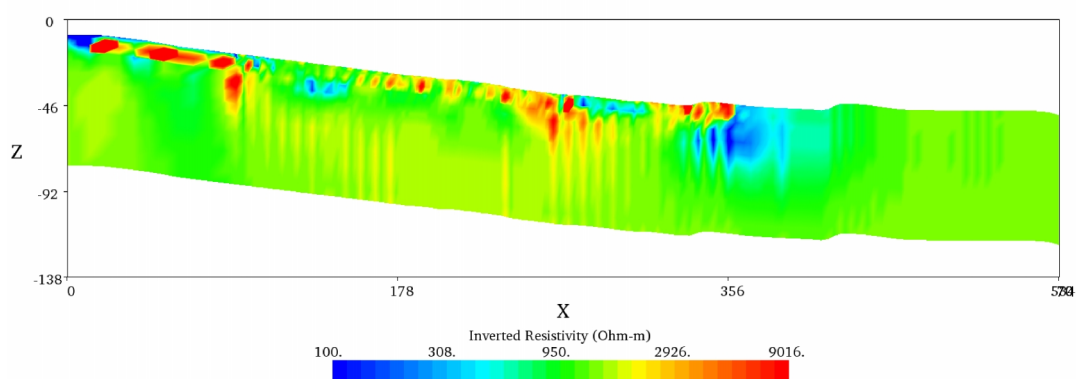
Σχήμα 3.57: Οριζόντια Τομή από τον άξονα Z στα -80m.

Y Slices of Inverted Resistivity



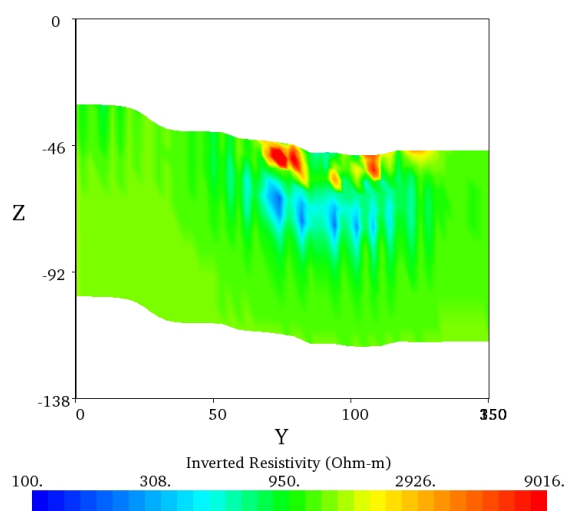
Σχήμα 3.58: Κάθετη Τομή από τον άξονα Y στα 2m.

Y Slices of Inverted Resistivity

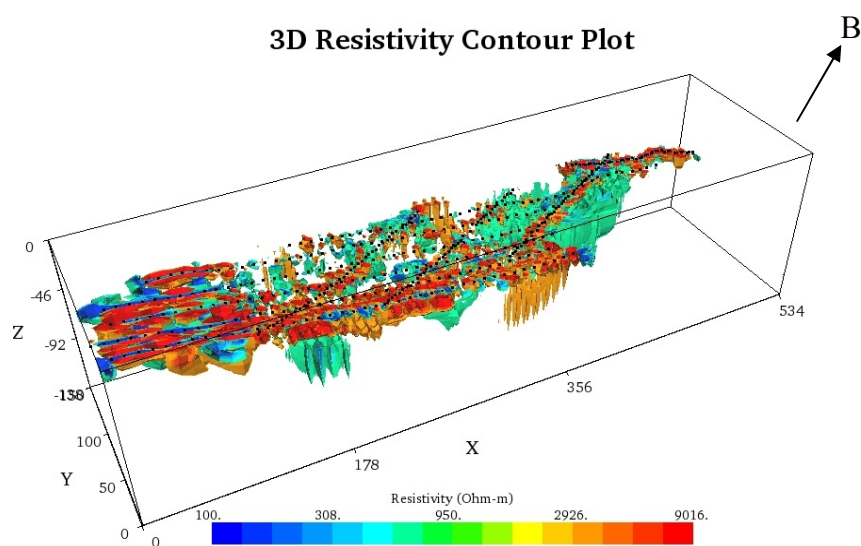


Σχήμα 3.59: Κάθετη Τομή από τον άξονα Y στα 70m.

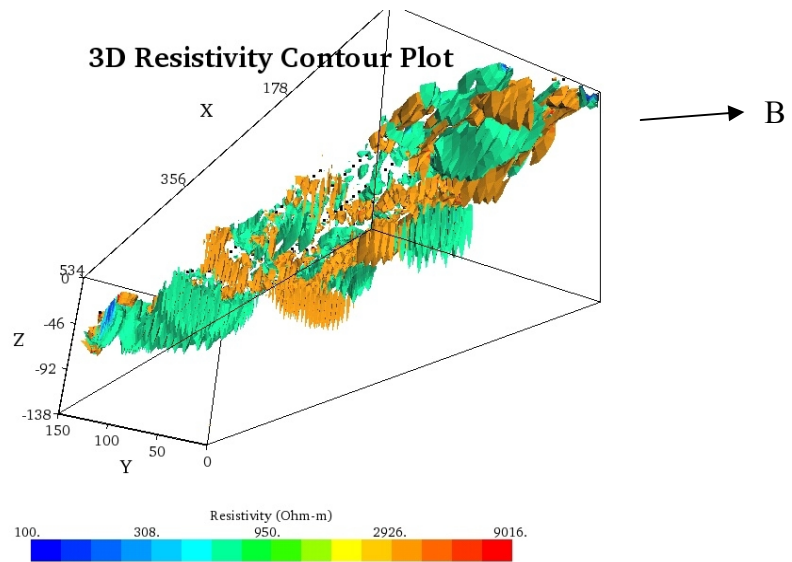
X Slices of Inverted Resistivity



Σχήμα 3.60: Κάθετη Τομή από τον άξονα X στα 350m.



Σχήμα 3.61: Τρισδιάστατη γεωηλεκτρική απεικόνιση ισοεπιφανειών για τις αντιστάσεις 132.5 Ohm.m, 308.1 Ohm.m, 716.7 Ohm.m, 3876.6 Ohm.m, 9016 Ohm.m.



Σχήμα 3.62: Τρισδιάστατη γεωηλεκτρική απεικόνιση ισοεπιφανειών για τις αντιστάσεις 132.5 Ohm.m, 308.1 Ohm.m, 716.7 Ohm.m, 3876.6 Ohm.m, 9016 Ohm.m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Για την ταξινόμηση των πετρωμάτων σε κατηγορίες χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των γεωτρήσεων. Η συσχέτιση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων (RQD, πυκνότητα ασυνεχειών) με τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στις αντίστοιχες θέσεις είναι προσεγγιστική αφού δεν έγινε αναλυτική/λεπτομερής στατιστική επεξεργασία και αξιολόγηση των δεδομένων.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων (RQD και πυκνότητα ασυνεχειών (D/m)) και των γεωφυσικών αποτελεσμάτων (ειδική ηλεκτρική αντίσταση (RES) και σεισμική ταχύτητα (V_p)) σε 4 κατηγορίες (Πίνακα 4.1). Ακολούθως, προσδιορίστηκαν οι τιμές της ταχύτητας των P-κυμάτων από την σεισμική τομογραφία και των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από το λογισμικό EarthImager3D στις θέσεις των γεωτρήσεων. Στη συνέχεια έγινε διακριτοποίηση ανά 10m και ταξινόμηση στις διάφορες κατηγορίες Τέλος προσδιορίστηκαν τα πλήθη και τα ποσοστά ανά ζεύγος παραμέτρων (ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ -RQD), (RES- ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ) .

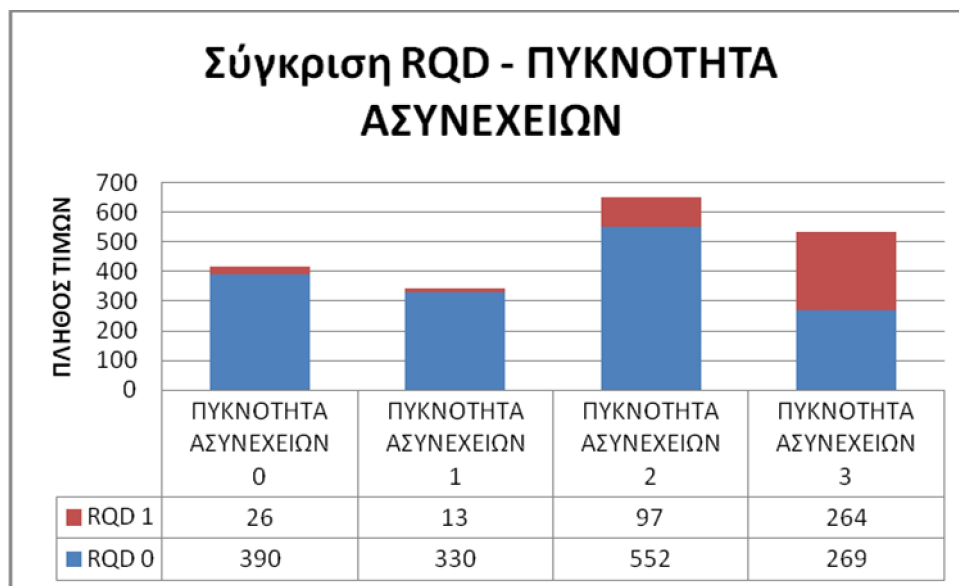
Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση των γεωτεχνικών και των γεωφυσικών αποτελεσμάτων σε 4 κατηγορίες

Κατηγορία	Κατηγορία 0	Κατηγορία 1	Κατηγορία 2	Κατηγορία 3
Ειδ. Ηλεκτρική αντίσταση (RES) (Ωm)	100-600	601-1100	1101-2000	>2001
Ταχύτητα P- κυμάτων (V_p) (m/s)	<2800	>2800		
RQD (%)	0-40	41-100		
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (D/m)	>15	10-14	5-9	0-4

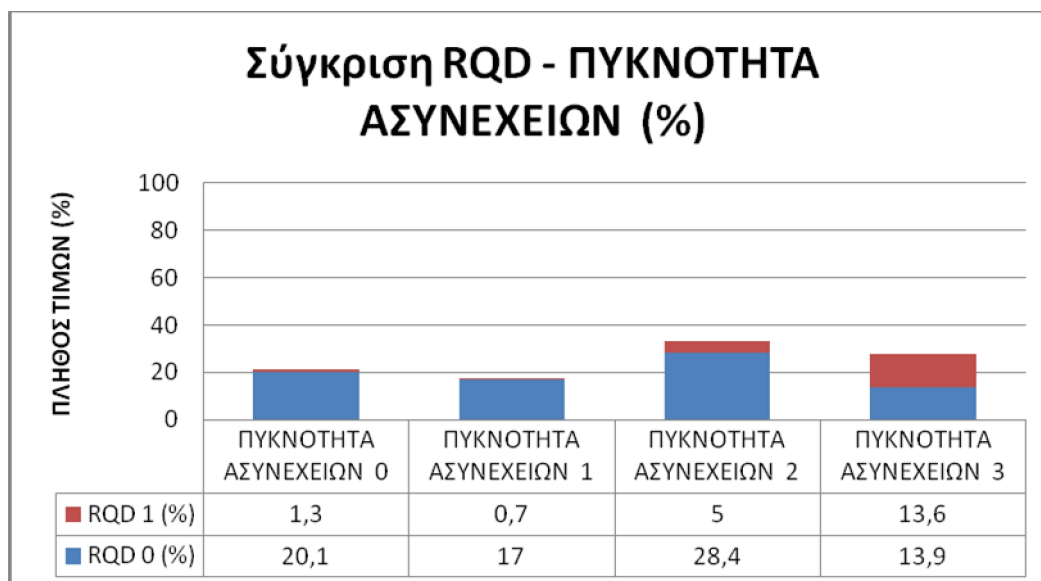
Η προσεγγιστική συσχέτιση των παραμέτρων μεταξύ τους παρατίθενται πιο κάτω.

Πίνακας 4.2: Πίνακας σύγκρισης της πυκνότητας ασυνεχειών (D/m) με την ποιότητα των πετρωμάτων (RQD).

	RQD 0	RQD 1		RQD 0 (%)	RQD 1 (%)
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 0	390	26	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 0	20,1	1,3
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 1	330	13	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 1	17	0,7
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 2	552	97	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 2	28,4	5
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 3	269	264	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 3	13,9	13,6



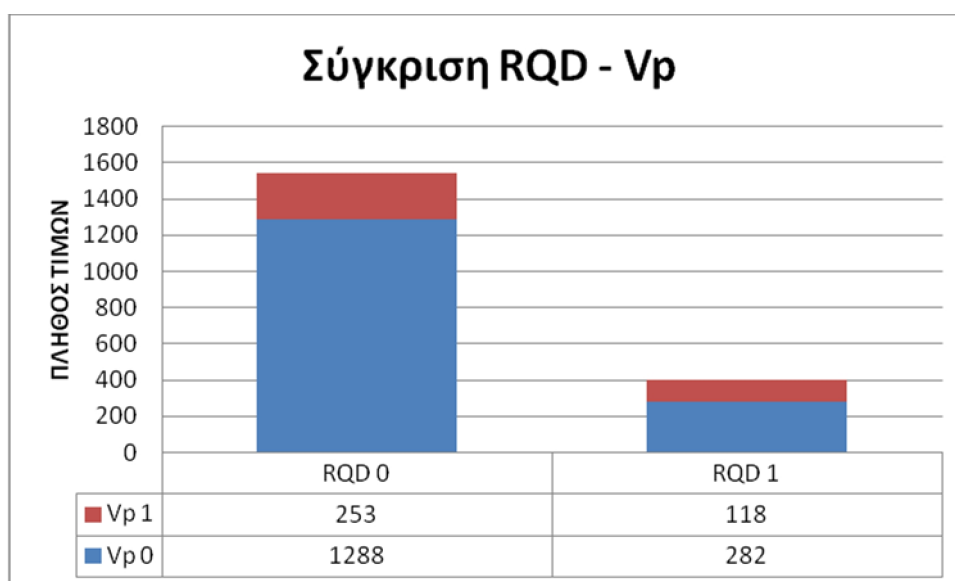
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα σύγκρισης της πυκνότητας ασυνεχειών (D/m) με την ποιότητα των πετρωμάτων (RQD).



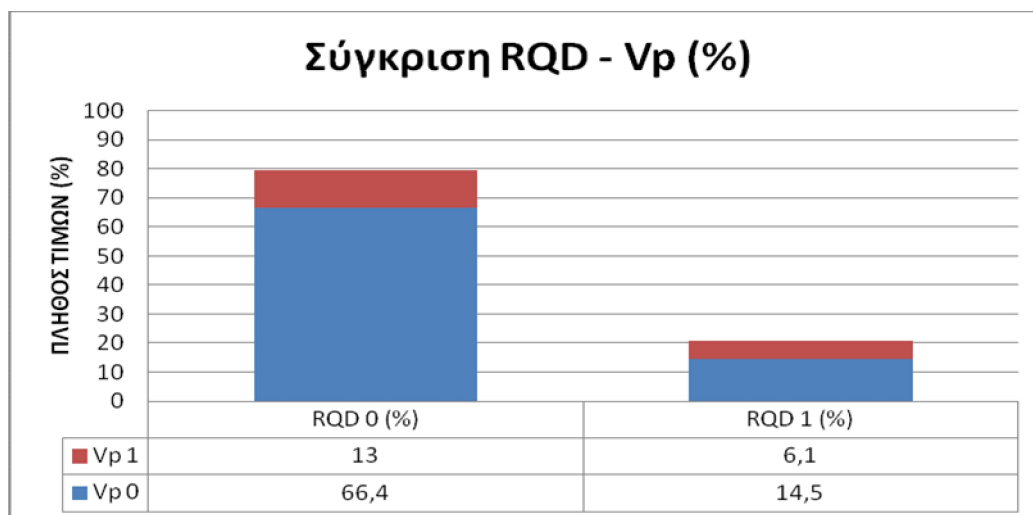
Σχήμα 4.2: Ποσοστιαίο διάγραμμα της πυκνότητας ασυνεχειών (D/m) με την ποιότητα των πετρωμάτων (RQD). Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι στο ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 3 (λίγες ασυνέχειες) η ποιότητα των πετρωμάτων είναι καλύτερη από ότι στο ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 0, ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 1, ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 2 που οι ασυνέχειες είναι περισσότερες.

Πίνακας 4.3: Πίνακας σύγκρισης της ποιότητας των πετρωμάτων (RQD) με την ταχύτητα των P κυμάτων (Vp).

	RQD 0	RQD 1		RQD 0 (%)	RQD 1 (%)
Vp 0	1288	282	Vp 0	66,4	14,5
Vp 1	253	118	Vp 1	13	6,1



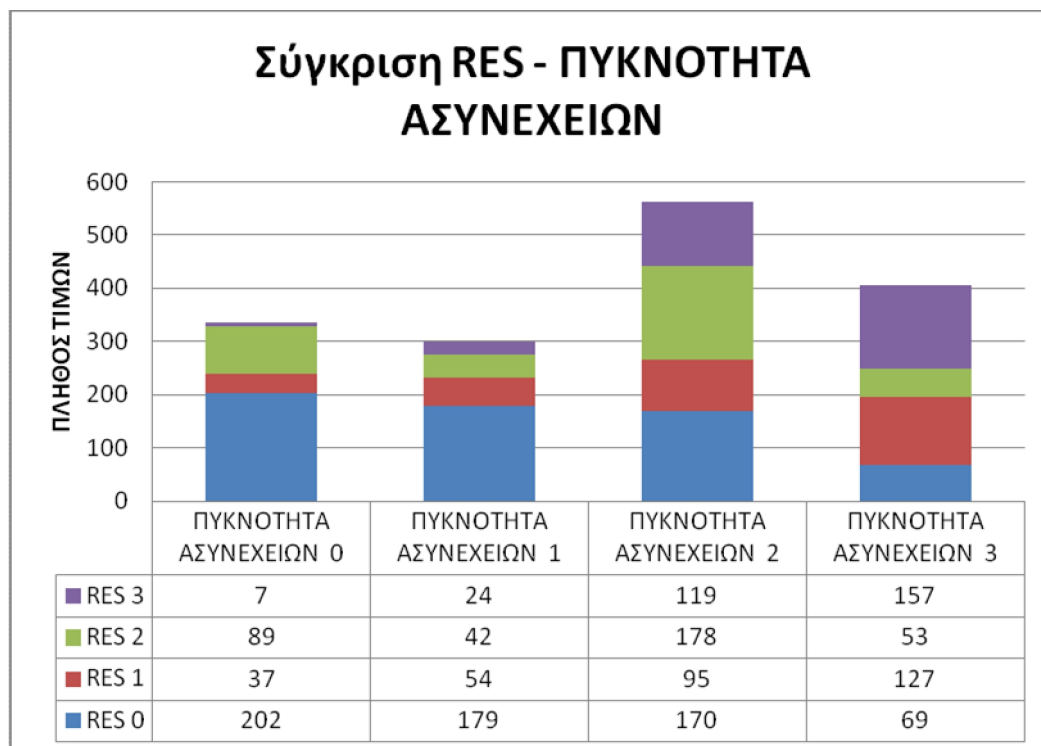
Σχήμα 4.3: Διάγραμμα σύγκρισης της ποιότητας των πετρωμάτων (RQD) με την ταχύτητα των P κυμάτων (Vp).



Σχήμα 4.4: Ποσοστιαίο διάγραμμα της ποιότητας των πετρωμάτων (RQD) με την ταχύτητα των Ρ κυμάτων (Vp). Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλο πλήθος τιμών των χαμηλών ταχυτήτων των Ρ-κυμάτων (Vp 0) όταν η ποιότητα των πετρωμάτων είναι χαμηλή (RQD 0) .

Πίνακας 4.4: Πίνακας σύγκρισης της ηλεκτρικής αντίστασης (RES) με την πυκνότητα ασυνεχειών (D/m).

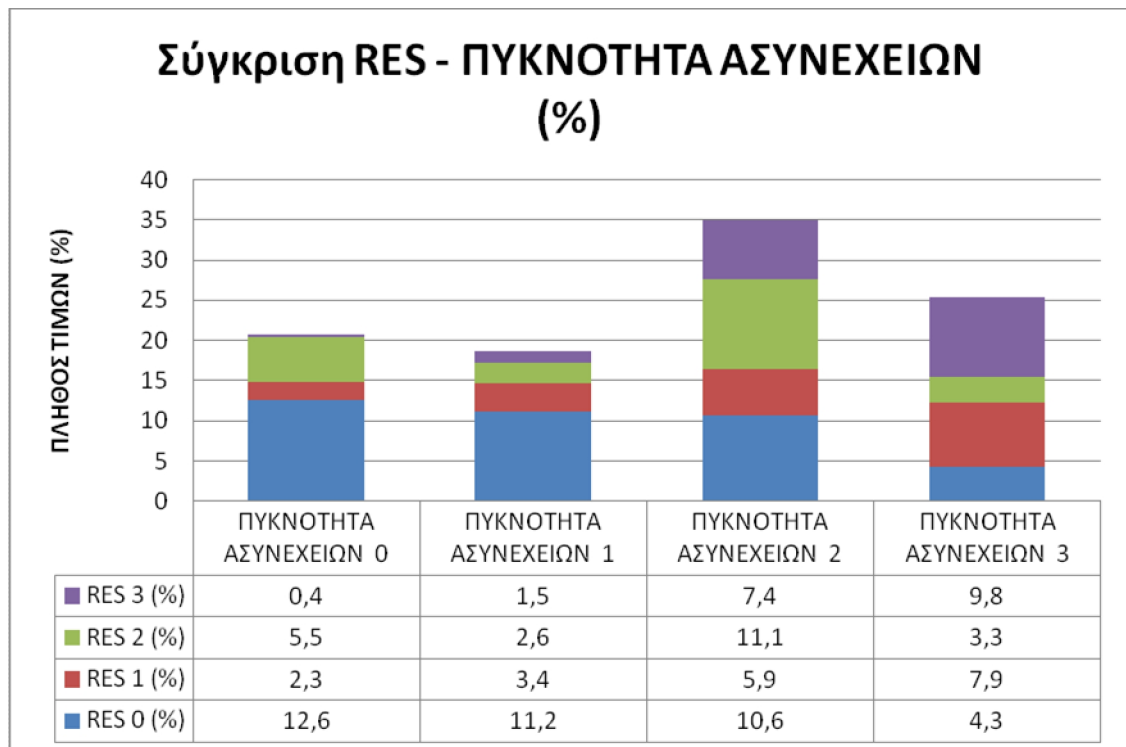
	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 0	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 1	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 2	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 3
RES 0	202	179	170	69
RES 1	37	54	95	127
RES 2	89	42	178	53
RES 3	7	24	119	157



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα σύγκρισης της ηλεκτρικής αντίστασης (RES) με την πυκνότητα ασυνεχειών (D/m). Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι οι ηλεκτρικές αντιστάσεις από 100-600 Ohm.m (RES 0) και 1100-2000 Ohm.m (RES2) έχουν μια τάση το πλήθος τιμών τους να μικραίνει όσο μικραίνουν οι ασυνέχειες ενώ αντιθέτως οι ηλεκτρικές αντιστάσεις από 600-1100 Ohm.m (RES 1) και >2000 Ohm.m (RES4) έχουν μια τάση το πλήθος τιμών τους να μεγαλώνει όσο μικραίνουν οι ασυνέχειες.

Πίνακας 4.5: Ποσοστιαίος πίνακας της ηλεκτρικής αντίστασης (RES) με την απόστασης ασυνεχειών (MAX).

	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 0	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 1	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 2	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ 3
RES 0 (%)	12,6	11,2	10,6	4,3
RES 1 (%)	2,3	3,4	5,9	7,9
RES 2 (%)	5,5	2,6	11,1	3,3
RES 3 (%)	0,4	1,5	7,4	9,8

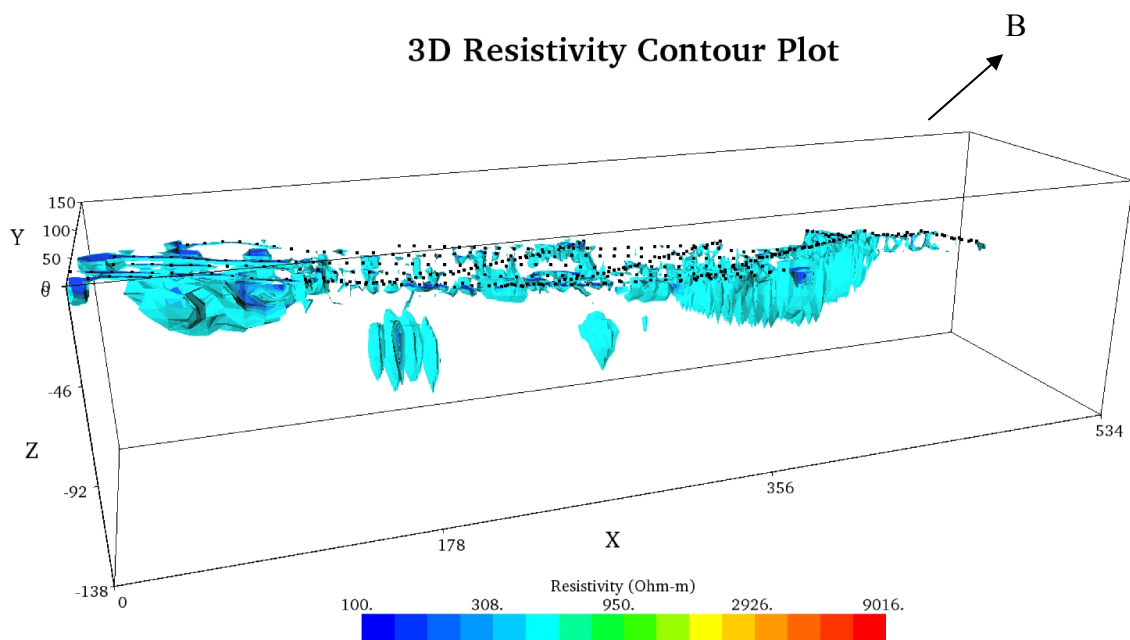


Σχήμα 4.6: Ποσοστιαίο διάγραμμα της ηλεκτρικής αντίστασης (RES) με την πυκνότητα ασυνεχειών (D/m). Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι οι ηλεκτρικές αντιστάσεις από 100-600 Ohm.m (RES 0) και 1100-2000 Ohm.m (RES2) μικραίνει το πλήθος τιμών τους όσο μικραίνουν οι ασυνέχειες ενώ αντιθέτως οι ηλεκτρικές αντιστάσεις από 600-1100 Ohm.m (RES 1) και >2000 Ohm.m (RES4) μεγαλώνει το πλήθος τιμών τους όσο μικραίνουν οι ασυνέχειες.

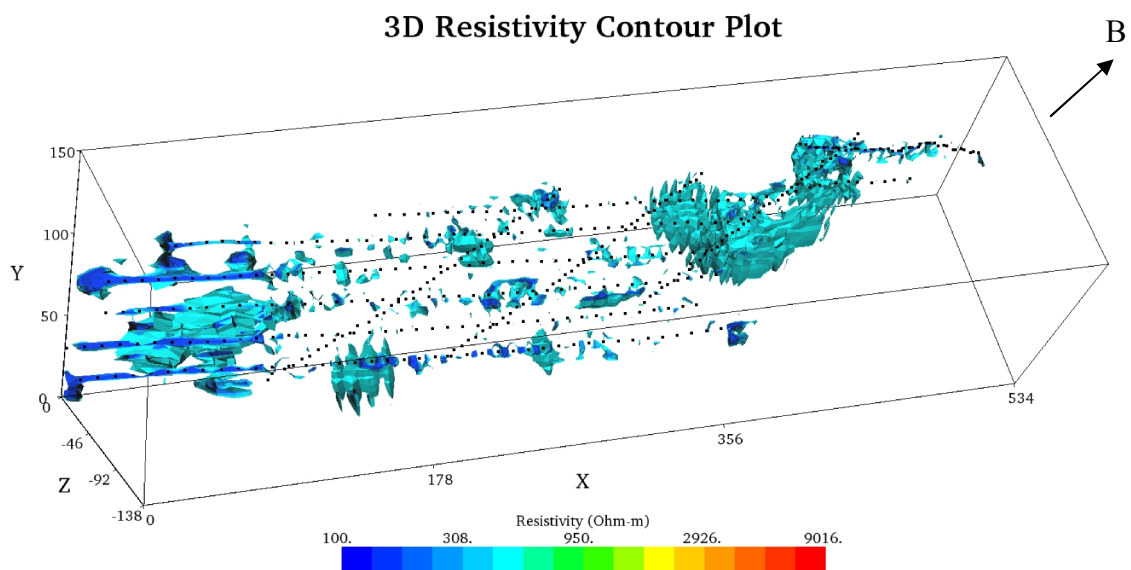
Από την σύγκριση των γεωτεχνικών παραμέτρων μεταξύ τους προέκυψε ότι οι παράμετροι που σχετίζονται μεταξύ τους καλύτερα είναι η ηλεκτρική αντίσταση (RES) και οι πυκνότητες ασυνεχειών (D/m). Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις από 100-600 Ohm.m (RES 0) και 1100-2000 Ohm.m (RES2) έχουν μια τάση το πλήθος τιμών τους να μικραίνει όσο μικραίνουν οι πυκνότητες ασυνεχειών ενώ αντιθέτως οι ηλεκτρικές αντιστάσεις από 600-1100 Ohm.m (RES 1) και >2000 Ohm.m (RES4) έχουν μια τάση το πλήθος τιμών τους να μεγαλώνει όσο μικραίνουν οι πυκνότητες ασυνεχειών.

4.2 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EarthImager3D

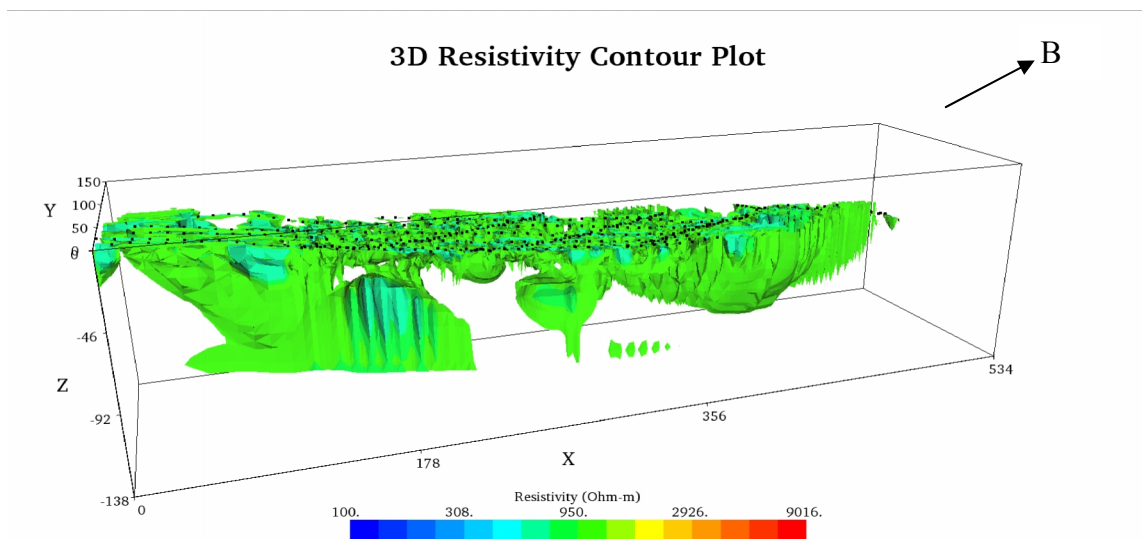
Με βάση την ταξινόμηση που πραγματοποιήθηκε στο Κεφάλαιο 4.1 και με βάση τις όποιες συσχετίσεις έχουν γίνει ή όχι (μεταξύ των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και των γεωτεχνικών παραμέτρων) προέκυψαν τα Σχήματα 4.7 έως 4.11. Στα σχήματα αυτά απεικονίζονται οι ισοεπιφάνειες των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που σύμφωνα με τα πιο πάνω θεωρήθηκε ότι υπάρχει πιθανότητα να βρίσκονται ασυνέχειες ανάλογα με την κατηγορία στην οποία βρίσκονται (Σχήμα 4.6).



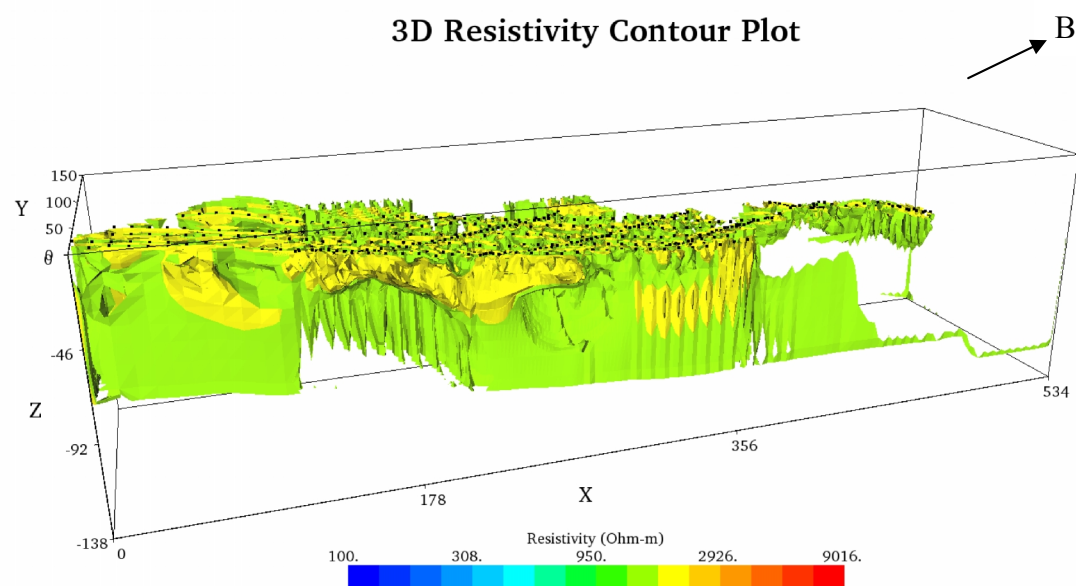
Σχήμα 4.7: Τρισδιάστατη απεικόνιση των ισοεπιφανειών από 132 Ohm.m – 540 Ohm.m



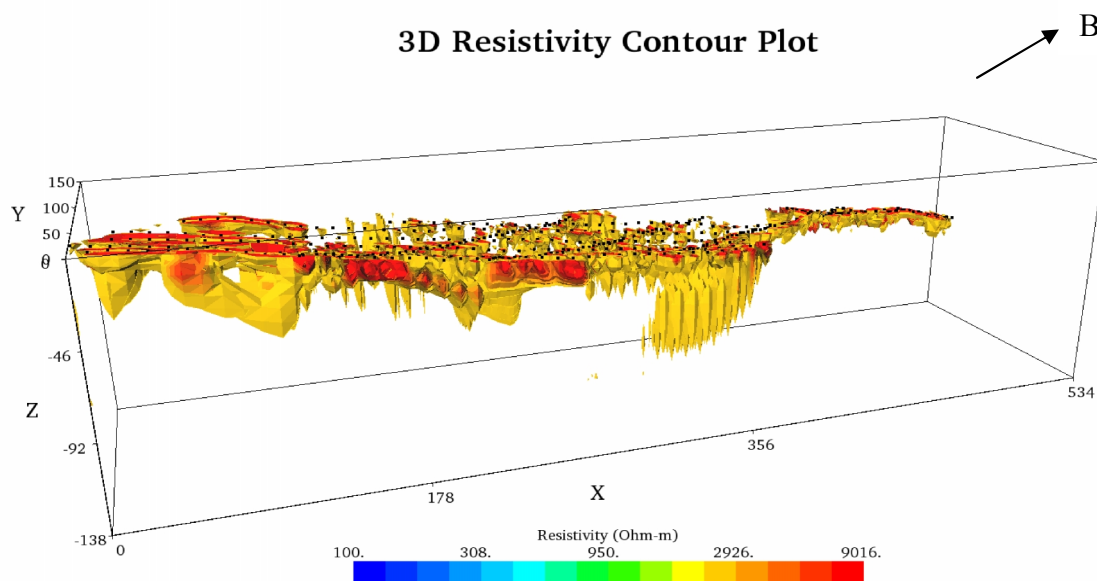
Σχήμα 4.8: Τρισδιάστατη απεικόνιση των ισοεπιφανειών από 132 Ohm.m – 540 Ohm.m



Σχήμα 4.9: Τρισδιάστατη απεικόνιση των ισοεπιφανειών από 717 Ohm.m – 1258 Ohm.m



Σχήμα 4.10: Τρισδιάστατη απεικόνιση των ισοεπιφανειών από 1666 Ohm.m – 2208 Ohm.m



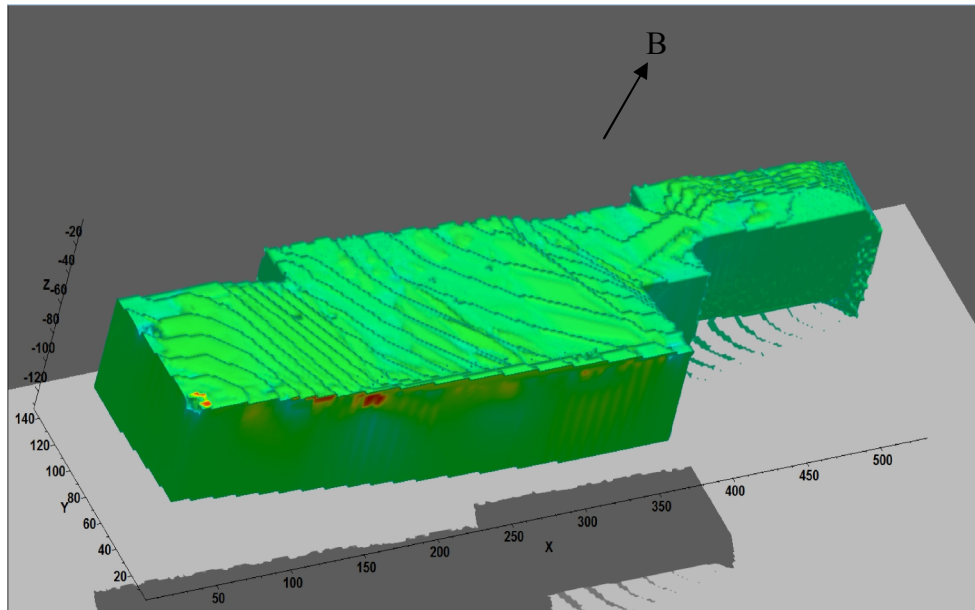
Σχήμα 4.11: Τρισδιάστατη απεικόνιση των ισοεπιφανειών από 2900 Ohm.m – 9000 Ohm.m

4.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ T3D

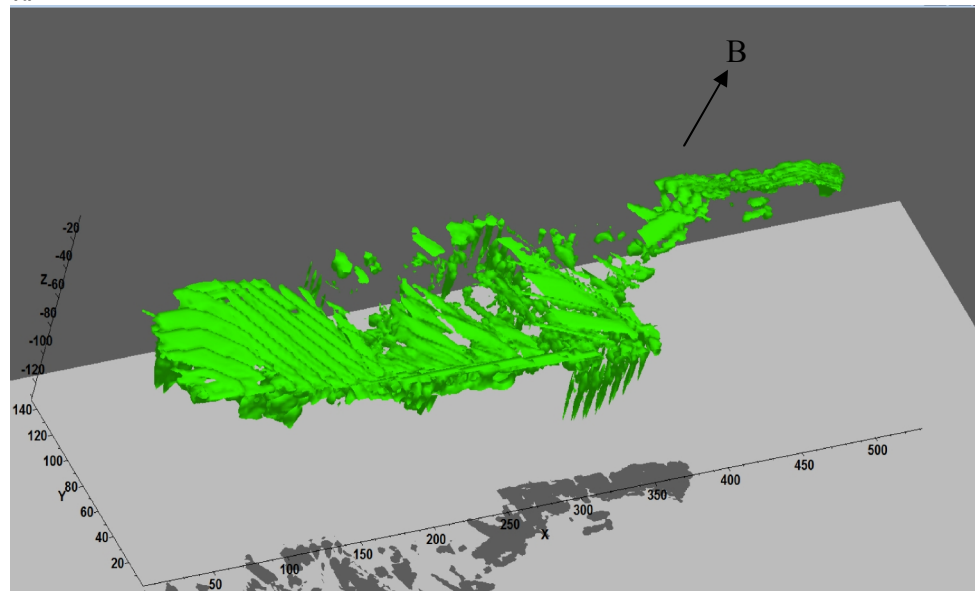
Το λογισμικό T3D επιτρέπει στο χρήστη μια γρήγορη και αποτελεσματική προβολή τρισδιάστατων δεδομένων με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας δημιουργίας τομών στην τρισδιάστατη απεικόνιση. Χρησιμοποιήθηκε το συγκεκριμένο λογισμικό για την παρουσίαση των τρισδιάστατων αποτελεσμάτων του λογισμικού EarthImager3D για τους εξής λόγους:

- Έχει την δυνατότητα να αφαιρεί τμήματα του όγκου όπου δεν υπάρχουν χρήσιμα δεδομένα ή δεδομένα που δεν είναι επιθυμητό να φαίνονται στην τρισδιάστατη προβολή.
- Έχει την δυνατότητα να εισαχθούν οι κατηγορίες πετρωμάτων που αναφέρθηκαν στα πιο πάνω κεφάλαια στην τρισδιάστατη απεικόνιση ανάλογα με της ηλεκτρικές αντιστάσεις της κάθε κατηγορίας.

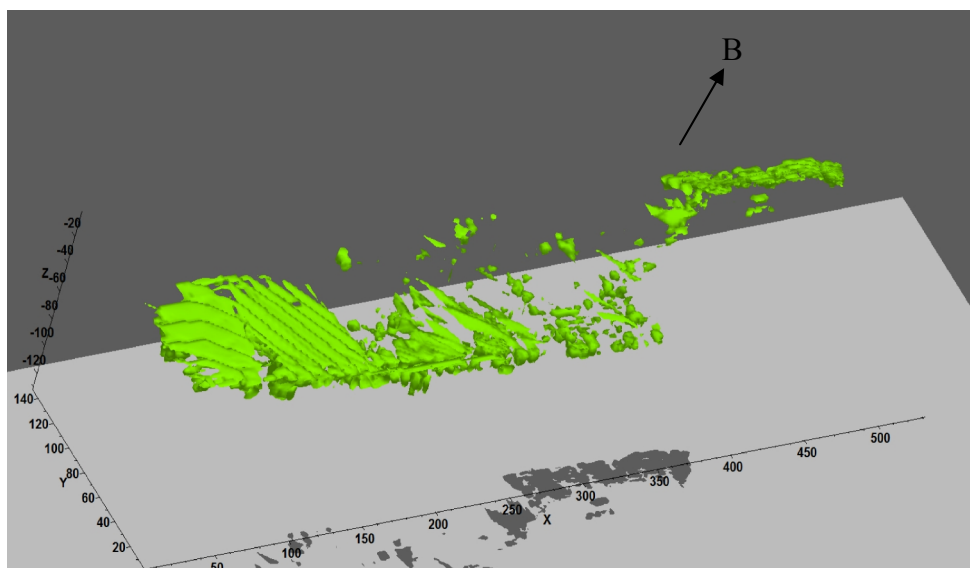
Πιο κάτω παρατίθενται οι τρισδιάστατες απεικονίσεις από το λογισμικό T3D:



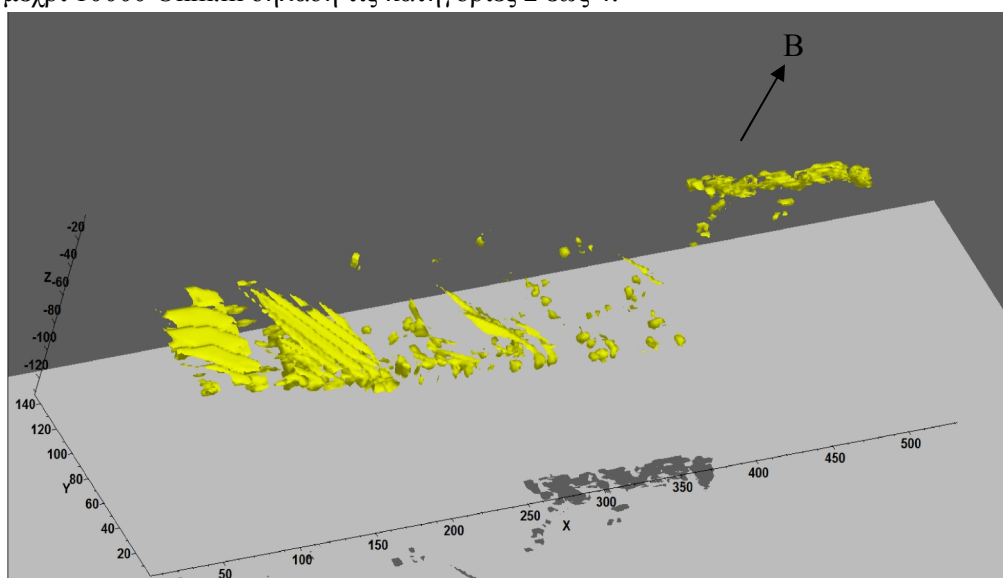
Σχήμα 4.12: Τρισδιάστατη απεικόνιση του όγκου των τιμών της ηλεκτρικής αντίστασης από 100 Ohm.m μέχρι 10000 Ohm.m.



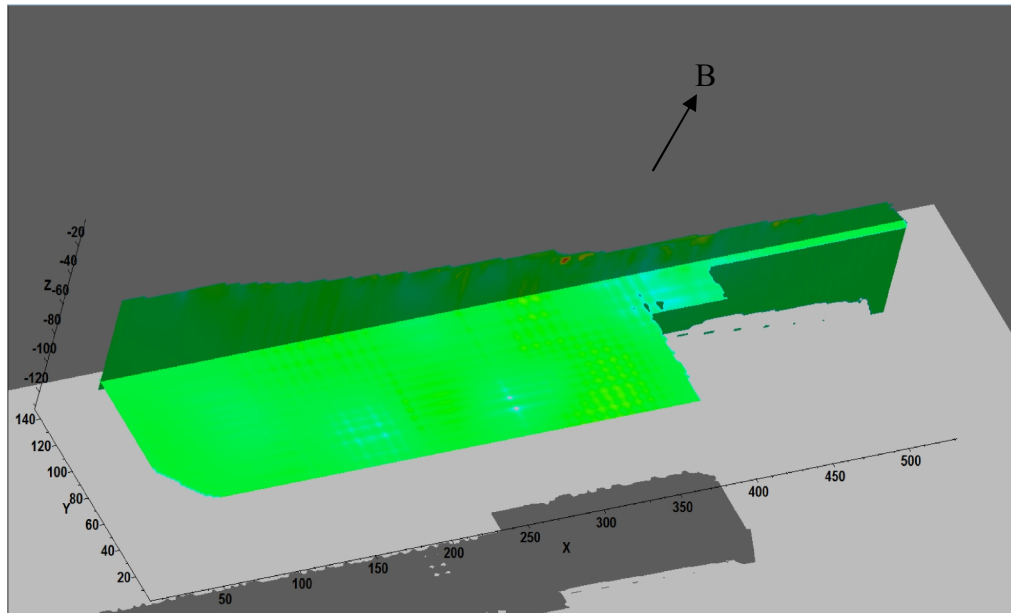
Σχήμα 4.13: Τρισδιάστατη απεικόνιση του όγκου των τιμών της ηλεκτρικής αντίστασης από 603 Ohm.m μέχρι 10000 Ohm.m δηλαδή τις κατηγορίες 1 έως 4.



Σχήμα 4.14: Τρισδιάστατη απεικόνιση του όγκου των τιμών της ηλεκτρικής αντίστασης από 1100 Ohm.m μέχρι 10000 Ohm.m δηλαδή τις κατηγορίες 2 έως 4.



Σχήμα 4.15: Τρισδιάστατη απεικόνιση του όγκου των τιμών της ηλεκτρικής αντίστασης από 1995 Ohm.m μέχρι 10000 Ohm.m δηλαδή την κατηγορία 4.



Σχήμα 4.16: Τομές ($Z=68\text{m}$, $Y=97.5\text{m}$) της τρισδιάστατη απεικόνιση των τιμών της ηλεκτρικής αντίστασης από 100 Ohm.m μέχρι 10000 Ohm.m .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δισδιάστατων γεωηλεκτρικών μοντέλων από τα λογισμικά Res2dinv και EarthImager2D δεν είχε την αναμενόμενη συσχέτιση που ενδεχομένως να είχαν τα δυο λογισμικά αν αντιστοιχούσαν ακριβώς στα ίδια βάθη στις γεωτρήσεις. Αυτό είναι ένα συνήθες φαινόμενο όταν γίνεται σύγκριση δυο γεωηλεκτρικών μοντέλων λόγω του ότι επεξεργάζεται διαφορετικά τα δεδομένα το κάθε λογισμικό.

Στην προκαταρκτική συσχέτιση των γεωφυσικών δεδομένων με τα γεωτρητικά δεδομένα προέκυψε ότι οι σεισμική ταχύτητα των Ρ-κυμάτων δεν φαίνεται να σχετίζεται με τοπικές μεταβολές στην ποιότητα των ανθρακικών πετρωμάτων ενώ αντίθετα, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση φαίνεται να επηρεάζεται από την ύπαρξη μεγάλων τιμών της πυκνότητας ασυνεχειών. Δηλαδή όσο πιο αποσαθρωμένος/κατακερματισμένος/με ασυνέχειες πληρωμένες με εδαφικό υλικό, είναι το πέτρωμα τόσο περισσότερο παρουσιάζει χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και όσο πιο συμπαγές είναι το πέτρωμα, τόσο περισσότερο υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης παρουσιάζει.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των τρισδιάστατων γεωηλεκτρικών δεδομένων αντιμετωπίστηκαν σημαντικά λειτουργικά προβλήματα που οφείλονται κυρίως στο γεγονός της ακανόνιστης κατανομής των γεωηλεκτρικών γραμμών μελέτης στο χώρο. Αυτό είχε και ως συνέπεια την υποβάθμιση των τελικών αποτελεσμάτων, κυρίως στις θέσεις όπου δεν υπήρχε ικανοποιητική κάλυψη από δεδομένα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα διπλωματική έχει πραγματοποιηθεί μια προσεγγιστική στατιστική ανάλυση μεταξύ των γεωφυσικών και γεωτεχνικών δεδομένων και όχι μια ενδελεχής μελέτη συσχέτισης των παραμέτρων αυτών. Ο σκοπός της μεθοδολογίας αυτής ήταν η κατηγοριοποίηση σε κατηγορίες πετρωμάτων, τα ποσοτικοποιημένα δεδομένα της ηλεκτρικής αντίστασης. Η μεθοδολογία αυτή θα είχε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα αν είχε γίνει μια πιο εις βάθος, ολοκληρωμένη στατιστική μελέτη και η ταξινόμηση των πετρωμάτων πιο αξιόπιστη.

Τέλος από την όλη μελέτη και επεξεργασία των δεδομένων και των λογισμικών που εφαρμόστηκαν στην παρούσα διπλωματική προτείνεται ότι για να είναι εφικτή αλλά και αξιόπιστη η τρισδιάστατη αντιστροφή με το λογισμικό πακέτο EarthImager3D θα πρέπει τα γεωηλεκτρικά δεδομένα να δειγματοληπτούνται σε κανονικό κানাβο. Επιπρόσθετα, για τον προσδιορισμό της κατανομής των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων που προέρχονται από τις γεωτρήσεις σε όλη την έκταση της γεωφυσικής διασκόπησης θα πρέπει να υλοποιηθεί μια λεπτομερής στατιστική συσχέτιση των δεδομένων αυτών έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα και αξιοποιήσιμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Αγιουτάντης, Γ. Ζ., 2002**, «Στοιχεία Γεωμηχανικής – Μηχανική Πετρωμάτων», Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, ISBN: 960-411-213-9.
2. **Αντωνακόπουλος, Μ., (2010)**, «Ανάλυση Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας που συνδυάζει ΑΠΕ και Τεχνολογίες Υδρογόνου», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
3. **Βαφείδης, Α., (1993)**, «Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι», Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
4. **Βαφείδης, Α., (2001)**, «Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ», Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
5. **Βλαχοδημητρόπουλος, Α., Παρασχούδης, Π., (2010)**, «Σεισμική και ηλεκτρική τομογραφία στο όρος Κλόκοβα Αιτωλοακαρνανίας», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
6. **Γιαλαμάς, Ε., (2005)**, «Συμβολή των Γεωφυσικών Μεθόδων Σεισμικής Διάθλασης και Ηλεκτρικής Τομογραφίας στην Ολοκλήρωση της Μελέτης Κατασκευής της Λιμνοδεξαμενής Κουντούρας Χανίων», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
7. **Γκανιάτσος, Ι., (2000)**, «Γεωηλεκτρική Τομογραφία σε τρεις Διαστάσεις», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
8. **Καπλανίδης, Α., Μορφόπουλος, Ζ., Παπαγιάννη, Ν., Περγαλιώτης, Π., Σώκος, Ε., Χασιώτης Θ., (2003)**, «Τα φράγματα και οι Λιμνοδεξαμενές Του Υπουργείου Γεωργίας».
9. **Καρταλίδης, Α., (2011)**, «Σχεδιασμός Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής Ενέργειας από ΑΠΕ για την Κάλυψη Αναγκών Ηλεκτρικής Ενέργειας και Νερού με Αφαλάτωση», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Πανεπιστήμιο Πειραιά, Αθήνα.
10. **Παγκράτης, Π., (2012)**, «Συμβολή της Τρισδιάστατης Ηλεκτρικής Τομογραφίας και της Ανάλυσης των Επιφανειακών Κυμάτων στον Σχεδιασμό Λιμνοδεξαμενής στο Οροπέδιο του Ομαλού Χανίων», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
11. **Παπαζάχος, Β., (1986)**, «Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική», Εκδόσεις «Ζήτη», Θεσσαλονίκη.

12. **Παπαθανασίου, Χ., (2007),** «Γεωφυσική Έρευνα με τη Μέθοδο της Σεισμικής Τομογραφίας στο Μόχο Ηρακλείου», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
13. **Ραπτάκης, Δ., (1995),** «Συμβολή στον Προσδιορισμό της Γεωμετρίας και των Δυναμικών Ιδιοτήτων των Εδαφικών Σχηματισμών και στη Σεισμική Απόκριση τους», Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
14. **Σκούρας, Γ., (2010),** «Συμβολή της Σεισμικής και Ηλεκτρικής Τομογραφίας στον Σχεδιασμό Λιμνοδεξαμενής στο Οροπέδιο του Ομαλού Χανίων», Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
15. **Σούρλας, Γ., (2000),** «Συμβολή της Γεωφυσικής Διασκόπησης στην Αναζήτηση Θαμμένων Αρχαιοτήτων στην Ίτανο, Λασιθίου», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

16. **Andreas A Pfaffhuber*, Sara Bazin, Ulrik Domaas, Eystein Grimstad (NGI), (2011),** «Electrical Resistivity Tomography to follow up an airborne EM rock slide mapping survey – Linking rock quality with resistivity.»
17. **A. El-Naqa, (1996),** «Assessment of geomechanical characterization of a rock mass using a seismic geophysical technique»
18. **Andy A. Bery, Rosli Saad, (2012),** «Correlation of Seismic P-Wave Velocities with Engineering Parameters (N Value and Rock Quality) for Tropical Environmental Study»
19. **deGroot-Hedlin, C. and Constable, S., (1990),** «Occam's inversion to generate smooth, twodimensional models form magnetotelluric data. Geophysics», 55, 1613-1624.
20. **Griffiths D.H. and Barker R.D.,(1993),** «Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology», Journal of Applied Geophysics, 29, 211-226.
21. **Loke M.H. and Barker R.D.,(1996),** Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, 44, 131-152.
22. **Manual EarthImager 3D Version 1.5.3,2008**
23. **Reynolds, M. J., (1997),** «An Introduction To Applied And Environmental Geophysics», John Wiley & Sons Ltd, Chichester, ISBN 0-471-95555-8.

24. **Robinson, E. S. & Coruh, C., (1988)**, «Basic Exploration Geophysics», New York: John Wiley.**Sheriff, R. E., Geldart, L. P., (1995)**, «Exploration Seismology», 2nd Edition, Cambridge University Press, ISBN 0-521-46282-7.
25. **SeisImager2D™ Manual Version 3.1, (2005)**
26. **Vafidis et al., 2012 Technical University of Crete, Department of Mineral Resources Engineering, Laboratory of Applied Geophysics, (2012)** «Geophysical Survey at, Crete, Greece for the Foundation of Two Water Reservoirs », Technical Report
27. **Vafidis A., Andronikidis N., Hamdan H., Kritikakis G., Economou N., Panagopoulos G., Zannettidis S., Merziotis D., Pateras S., Nikofoarakis E. and Blais J.P., (2013)**, « Rock Characterization for the Foundation of Two Water Reservoirs Using Geophysical and Borehole Data »

ΙΣΤΙΟΣΕΛΙΔΕΣ

28. <https://www.agiusa.com/agi2dimg.shtml>
29. <https://www.agiusa.com/earthimager3d.shtml>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

MCD1

PROJECT : ΕΡΓΟ :		MALIA HYBRID SYSTEM		ΓΕΩΤΡΗΣΗ (BOREHOLE) : MCD-1	
CONTRACTOR : ΑΝΑΔΟΧΟΣ :		GENERAL CONSULTING Ltd Istria		ΘΕΣΗ & Χ.Ο. (LOCAT. & U.I.): MALIA	
				ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :	
				ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE): 07/03/12	
				ΗΜ. ΑΦΕΡΣ (END. DATE) : 17/03/12	

ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (N60) 15cm SPT (Blows/15cm)	ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ - JOINTS					ΑΠΟΚΛΑΔΙΣΜΟΣ WEATHERING	R.Q.D. (%)	ΤΡΑΧΥΛΟΤΗΤΑ Υ.Σ.Ο - FINAL U.W.I. (m)	ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)
				Τύπος - Type	Τομή επιφανειακής filling material	Κατάσταση επιφανειακής surface	Απόσταση (1-5) & Δ/μ Spacing (cm)	Κλίση (°) - Inclination				
0.00		CLAYEY SAND, dark brown colour and GRAVELS, sand, c-m. Gravels, c-f, angular to subangular, of limestone consistency.										1
0.50												2
1.00		SAND, light brown colour and GRAVELS with a small percentage of clay. Sand, m-f. Gravels, c-f, angular, of limestone consistency.										3
1.50												4
2.00												5
2.50												6
3.00		LIMESTONE, light gray colour, fresh, to cat planes) completely unweathered, low-medium to completely fractured.										7
3.50												8
4.00												9
4.50												10
5.00												11
5.50												12
6.00												13
6.50												14
7.00												15
7.50												16
8.00												17
8.50												18
9.00												19
9.50												20

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - LEGEND OF JOINTS	
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ I: Τίποτα - Nothing II: Χρωστός Αβαντός - Clayey sand, availing III: Χλωστός, Τάλας - Clayey, Yellow IV: Αβαντός - Gabbro V: Χαλκίδας - Quartz VI: Αβαντός και αποσπασματικά υλικά - Sand & small material VII: Ουδέτερος - Gabbro VIII: Μυαλίτης - Myaélite	ΤΥΠΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ Type of joints A: Στοιβά - Layering B: Διπλοσύν - Wides C: Διπλοσύν - Clastic D: Στοιβά - Schistosity E: Ρήγμα - Fault F: Άλλος - Other

ΑΠΟΚΛΑΔΙΣΜΟΣ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΑΠΟΚΛΑΔΙΣΜΟΣ Spacing of joints 1. Πολύ μεγάλη - Very wide > 2.0 m 2. Μεγάλη - Wide 0.8 m - 2.0 m 3. Μέση - Medium 0.2 m - 0.8 m 4. Μικρή - Close 0.08 m - 0.2 m 5. Πολύ μικρή - Very close < 0.08 m	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Joint's surface A: Ανεπίπεδη - Discontinuous B: Τραχεία & ανώμαλη επιφανειακή - Rough or irregular C: Αδελφική επιφανειακή - Smooth and sliding D: Επιδεικτική επιφανειακή - Sidesliding, undulating E: Τραχεία, επίπεδη - Rough, planar F: Αδελφική επιφανειακή - Smooth, Planar G: Επιδεικτική επιφανειακή - Sidesliding planar

Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD1 - Α.

PROJECT: **MALIA HYBRID SYSTEM**
 ΕΡΓΟ:
 CONTRACTOR: **GENERAL CONSULTING LTD**
 ΑΝΑΔΟΧΟΣ:

ΓΕΩΤΡΗΣΗ (BOREHOLE): **MCD-1**
 ΘΕΣΗ ή Χ.Θ. (LOCAT.-X.U.): **MALIA**
 ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE):
 ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE): **07/03/12**
 ΗΜ. ΑΦΗΞΗΣ (END. DATE): **17/03/12**

ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Blows/15cm) SPT (Blows/15cm)	ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ - JOINTS						ΑΕΡΟΠΡΟΣΘΕΤΗ ΜΕΤΕΩΡΙΣΗ	R.Q.D. (%)	ΥΠΟΛΟΙΠΟΝ ΥΛΟ - REMAINING (m)	ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)
				Τύπος - Type	Μέγεθος / Διαστάσεις / Size	Κατάσταση / Κατάσταση / Condition	Αριθμός / Αριθμός / Number	Απόσταση / Απόσταση / Distance	Κλίση / Κλίση / Dip				
21	Δ	LIMESTONE, light gray colour, fresh to (at places) completely weathered, low-medium to completely fractured, as above.		J	VII	E	8-14m	0°			6		21
22	Δ					A	21-24m	30°			12		22
23	Δ	The formation is completely fractured at the depths: 5.30-5.60/12.40-13.40/18.00-19.70/20.50-21.10/22.10-22.60m.			VIII	E	5-6m	0°		W ₁	14		23
24	Δ	Presence of karstic voids at the depths: 24.10-24.50/25.40-28.20/28.80-29.30m.		J		A	23.70	70°					24
25	Δ	Diagenetic limestone appears at the depths: 4.10-5.50/12.80-13.10/20.60-24.20/22.30-22.60/23.70-24.90/32.00-32.10m.			VII	E	24.10	90°		W ₂	0		25
26	Δ	The formation (limestone) appears karstification at the depth 24.90-35.20m.		J		E	7-8m	70°			11		26
27	Δ					A	8-10m	0°			8		27
28	Δ			J	IV	E	30.60	30.80			17		28
29	Δ					E	5-6m	20-30°			19		29
30	Δ			J	VII	E	23.30	0°			67		30
31	Δ					A	23.30	0°					31
32	Δ			J	VI	E	7-8m	0°					32
33	Δ			J	VI	E	7-8m	0°					33
34	Δ			J	VI	E	7-8m	0°					34
35	Δ			J	VI	E	7-8m	0°					35
36	Δ	END OF BOREHOLE AT 35.50m.				B	24.4m	40°					36
37							33.50	33.50					37
38													38
39													39
40													40

Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD1 - B.

MCD2

PROJECT :
EPTO :

MALIA HYBRID SYSTEM

CONTRACTOR:
ANADOKOΞ :

GENERAL CONSULTING LTD
Istria

ΓΕΩΤΡΗΣΗ (BOREHOLE) : MCD-2
ΘΕΣΗ / Χ.Θ. (LOCAT.-X.U.): MALIA
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :
ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE): 21/02/12
ΗΜ. ΛΗΞΗΣ (END. DATE): 02/03/12

ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Kilonewton/15cm) SPT (blows/15cm)	ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ - JOINTS					ΑΥΤΟΔΙΑΡΡΕΥΣΗ WEATHERING	R.Q.D. (%)	ΤΕΛΟΣ ΤΑΞΗΣ Υ.Θ. - FINAL U.W.L. (m)	ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)
				Τύπος - Type	Υλικό αδιαρροής (filling material)	Κατεύθυνση Διαρροής Surface	Απόσταση (1-5) 1cm Spacing (cm)	Κόστος C - Inclination				
0.00												
1.00		SANDY CLAY, dark brown to red-brown colour and GRAVELS.										1
1.50		CLAY, plastic, very stiff to hard.										2
2.00		GRAVELS, 2-8, angular, of limestone consistency.	2.00									3
2.50			2.50									4
3.00	Δ	LIMESTONE, light gray colour, fresh	2.79									5
3.50		to slightly weathered, slightly to highly fractured.										6
4.00	Δ	Joints, planar to undulating at places, medium rough to rough, medium to very close, open to narrow, with an inclination of 0°-10°, 70°, 90° and 20°.										7
5.00	Δ	Presence of karstic voids at the depths: 8.00-8.60m and 13.00-17.40m.										8
6.00	Δ	Presence of clay red-brown colour with sand at the depths: 7.90-8.00/8.60-8.80/9.10-9.40/12.10-12.50/14.90-15.10/16.70-17.00/18.70-19.00 and 20.10-20.90m.										9
7.00	Δ	The formation is completely fractured at: 2.10-4.10/15.90-16.60/21.10-21.30/22.60-23.70 and 24.10-25.00m.										10
8.00	Δ	Presence of plant roots at 5.70m.										11
9.00	Δ	Diagenetic limestone appears at the depths: 4.00-4.60/5.80-7.00/18.00-18.20 and 21.40-23.70m.										12
10.00	Δ											13
11.00	Δ											14
12.00	Δ											15
13.00	Δ											16
14.00	Δ											17
15.00	Δ											18
16.00	Δ											19
17.00	Δ											20
18.00	Δ											21
19.00	Δ											22
20.00	Δ											23
21.00	Δ											24
22.00	Δ											25
23.00	Δ											26
24.00	Δ											27
25.00	Δ											28
26.00	Δ											29
27.00	Δ											30
28.00	Δ											31
29.00	Δ											32
30.00	Δ											33
31.00	Δ											34
32.00	Δ											35
33.00	Δ											36
34.00	Δ											37
35.00	Δ											38
36.00	Δ											39
37.00	Δ											40
38.00	Δ											41
39.00	Δ											42
40.00	Δ											43
41.00	Δ											44
42.00	Δ											45
43.00	Δ											46
44.00	Δ											47
45.00	Δ											48
46.00	Δ											49
47.00	Δ											50
48.00	Δ											51
49.00	Δ											52
50.00	Δ											53
51.00	Δ											54
52.00	Δ											55
53.00	Δ											56
54.00	Δ											57
55.00	Δ											58
56.00	Δ											59
57.00	Δ											60
58.00	Δ											61
59.00	Δ											62
60.00	Δ											63
61.00	Δ											64
62.00	Δ											65
63.00	Δ											66
64.00	Δ											67
65.00	Δ											68
66.00	Δ											69
67.00	Δ											70
68.00	Δ											71
69.00	Δ											72
70.00	Δ											73
71.00	Δ											74
72.00	Δ											75
73.00	Δ											76
74.00	Δ											77
75.00	Δ											78
76.00	Δ											79
77.00	Δ											80
78.00	Δ											81
79.00	Δ											82
80.00	Δ											83
81.00	Δ											84
82.00	Δ											85
83.00	Δ											86
84.00	Δ											87
85.00	Δ											88
86.00	Δ											89
87.00	Δ											90
88.00	Δ											91
89.00	Δ											92
90.00	Δ											93
91.00	Δ											94
92.00	Δ											95
93.00	Δ											96
94.00	Δ											97
95.00	Δ											98
96.00	Δ											99
97.00	Δ											100

Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD2 - A.

PROJECT :
EPTO :
CONTRACTOR :
ΑΝΑΛΟΧΟΣ :

MALIA HYBRID SYSTEM

GENERAL CONSULTING LTD
100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

ΓΕΩΤΡΗΣΗ (BOREHOLE) : MCD-2
ΘΕΣΗ & Χ.Θ. (LOCAT.-X.U.): MALIA
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :
ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE): 21/03/19
ΗΜ. ΛΗΞΗΣ (END. DATE) : 09/03/19

ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Blows/15cm) SPT (Blows/15cm)	ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ - JOINTS					ΑΙΟΖΑΙΟΡΟΗ WEATHERING	R.Q.D. (%)	ΤΕΛΟΣ ΣΤΑΘΗΣ ΥΔ. - FINAL UNCL. (m)	ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)
				Τύπος - Type	Κατάσταση Επιφανείας - Surface	Απόσταση (1-10 Δ. cm) Spacing (cm)	Αντίστροφο - Inversion	Αντίστροφο - Inversion				
21	20,50 Δ	LIMESTONE, as above.		J II	E	20,50 70°				0		21
22	21,40 Δ				A	21,40 90°				18		22
23	23,70 Δ			III	B	23,70 70°				0		23
24	23,60 Δ			J	E	23,60 0-10°				11		24
25	25,00	(25,00) END OF BOREHOLE AT 25,00m.	25,00			25,00						25
26												26
27												27
28												28
29												29
30												30
31												31
32												32
33												33
34												34
35												35
36												36
37												37
38												38
39												39
40												40

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - LEGEND OF JOINTS

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ Filing material	ΤΥΠΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ Type of joints	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ Joints Surface
I: Τίποτα - Nothing II: Αργίλος Αβραμίδας, άσβεστος - Clay noisel, unslaking III: Χλαμίδας, Τέλας - Clotite, Telk IV: Ασβεστόλιθος - Calcite V: Χαλαδίτης - Quartz VI: Άμμος και σιμωτικό υλικό - Sand & wash material VII: Οξείδια - Oxides IX: Μυκηλίδες - Mycelite	α: Επρώση - Layering β: Διάσπαση - Voids γ: Διασύνδεση - Diastasis δ: Σπασίματα - Schistosity ε: Ρήγμα - Fault ζ: Άλλος - Other	Α: Ανεπίεστη - Discontinuous Β: Τροχάρι ή ανεπίεστη επιφάνεια - Rough or irregular Γ: Απλή επιφάνεια - Smooth undulating Δ: Επιφάνεια, κυματιστή - Slightly undulating Ε: Τροχάρι, επίπεδη - Rough, planar Σ: Απλή επιφάνεια - Smooth, Planar Θ: Επιφάνεια επίπεδη - Slightly planar

Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD2 – B.

MCD3

PROJECT :
ΕΡΓΟ :

MALIA HYBRID SYSTEM

CONTRACTOR :
ΑΝΑΔΟΧΟΣ :

GENERAL CONSULTING LTD
Iotria

ΓΕΩΤΡΗΣΗ (BOREHOLE) : MCD-3
ΘΕΣΗ & Χ.Θ. (LOCAT.-X.U.) : MALIA
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :
ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE) : 02/03/19
ΗΜ. ΛΗΞΗΣ (END. DATE) : 06/03/19

BAGOS - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Kneadings/15cm) SPT (Blows/15cm)	ΑΣΥΝΕΚΕΙΕΣ - JOINTS					ΑΠΟΖΑΦΟΡΕΣ WEATHERING	R.Q.D. (%)	ΥΠΟΛΟΙΠΟΝ ΥΔΡΟ- ΦΩΛ. (m)	BAGOS - DEPTH (m)
				Τύπος - Type	Υποκατηγορία Filling material	Κατακόρυφη Συνέπεια Series	Απόσταση (2-5) h. δια- στάσεων (cm)	Κλίση (°) - Inclination				
0.00												
0.30		SANDY CLAY, dark brown to red-brown										1
0.90		colour and GRAVELS.										2
1.50		CLAY, plastic.										3
2.00		GRAVELS, 5-1, angular to subangular, of										4
2.60		limestone consistency.										5
3.50		SAND, light brown colour, with clay and GRAVELS										6
4.30		fresh to residual soil, medium to										7
4.90		completely fractured.										8
6.50		Joints, planar to undulating at places,										9
7.10		medium rough to rough, medium to										10
8.30		very closely spaced, wide to narrow,										11
9.30		with an inclination of 0° to 90° and 70°.										12
10.20		The formation appears abrasion										13
11.10		zones, which are at the following										14
12.10		depths: 7.50-8.80/9.30-11.20/13.20-14.80/										15
13.70		15.30-15.70/16.10-18.30/18.60-19.10/										16
14.40		19.40-20.00/20.30-24.70/25.40-25.60m.										17
15.30		More detailed, the formation is										18
16.10		converted to sand, light gray to										19
17.10		light brown, c-m, at the following depths:										20
18.70		7.50-8.80/9.30-11.20/13.20-14.10/15.30-										
19.10		15.70/17.40-18.30/19.40-20.00/25.40-25.60m.										
20.00		The formation (limestone) appears										
		highly to completely weathered at the										
		following depths: 14.10-14.40/16.10-17.40/										
		18.60-19.10/20.30-24.70m.										
		These abrasion zones are formed										
		due to water flowing.										
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΣΥΝΕΚΕΙΩΝ - LEGEND OF JOINTS												
ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Filling material		ΤΥΠΟΣ ASTHENΕΙΩΝ Type of joints										
ΑΠΟΤΑΞΕΙΣ ASTHENΕΙΩΝ Spacing of joints		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ Joint Surface										
I: Τίποτα - Nothing		B: Επιφάνεια - Layering										
II-III: Άσπαστος Αδρανής, Άσπαστος - Clay neutral, swelling		Jh: Διάσπαση - Wide										
IV: Χλωρίνη, Τέφρας - Clorite, Talk		D: Διάσπαση - Discrete										
V: Ασπαστικός - Calcite		R: Σπαστική - Schistosity										
VI: Χαλασίτης - Quartz		F: Σπαστική - Fault										
VII: Άμμος και άσπαστο υλικό - Sand & weak material		O: Άλλος - Other										
VIII: Οξείδια - Oxides												
IX: Μυλινίτης - Mylonite												
1. Πολύ μεγάλη - Very wide > 2.0 m		A: Ασυνέχεια - Discontinuous										
2. Μεγάλη - wide 0.6 m - 2.0 m		B: Τραχύτη ή ανάγλυφη κομματοποίηση - Rough or irregular										
3. Μέση - Medium 0.2 m - 0.6 m		C: Λεία κομματοποίηση - Smooth undulating										
4. Μικρή - Close 0.03 m - 0.2 m		D: Επιβλαβής, κομματοποίηση - Block-sided, undulating										
5. Πολύ μικρή - Very close < 0.03 m		E: Τραχύτη, επιφάνεια - Rough, planar										
		F: Λεία επιφάνεια - Smooth, Planar										
		G: Επιβλαβής επιφάνεια - Block-sided planar										

Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD3 – Α.

PROJECT :
EPTO :
CONTRACTOR :
ΑΝΑΔΟΧΟΣ :

MALIA HYBRID SYSTEM

GENERAL CONSULTING Ltd
Intrins
11000, Athens, Greece
Tel: +30 210 771 1100
Fax: +30 210 771 1101
Email: info@intrins.gr

ΓΕΩΤΡΗΣΗ (BOREHOLE) : MCD-3
ΘΕΣΗ Α.Χ.Θ. (LOCAT. X.U.D.) : ΜΙΑ-1Α
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :
ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE) : 09/03/12
ΗΜ. ΑΦΗΡΣΗΣ (END. DATE) : 06/03/12

ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Blows/m) SPT (Blows/1.0m)	ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ - JOINTS					ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - JOINT SPACING (m)	R.Q.D. (%)	ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΑΣΗ ΚΥΚΛΟ - FIRM UNCL. (m)	ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)
				Type	Rock material	Rock material	Rock material	Rock material				
20.30	Δ	LIMESTONE, light gray colour, fresh to residual soil, medium to completely fractured, as above.										21
21.90	Δ			J	VII	E	23/4	W4-5		0		22
23.50	Δ				VII					0		23
24.70	Δ						24/40	24/70		0		24
25.40	Δ						12-14	25/80		0		25
26.70	Δ			J	I	E	23/4	26/80		43		26
28.30	Δ	Presence of karstic voids at the depths: 28.00-29.05/29.30-29.55/31.20-31.50m.			I		26/80	26/80		26		27
29.90	Δ				VII		29/80	29/80		29		28
31.00	Δ	Diagenetic limestone appears at the depths: 28.30-28.50/34.70-36.30m.		J	VII	E	24/4	31/80		45		29
32.60	Δ				I		32/80	32/80		69		30
34.10	Δ			J	VII	E	5-7/4	34/80		40		31
35.60	Δ				VII		3-4/4	35/80		81		32
37.10	Δ			J	VII	E	4-5/4	37/80		45		33
38.70	Δ				VII		38/80	38/80		27		34
40.00	Δ				VII		40/80	40/80		0		35
END OF BOREHOLE												
ΛΕΓΕΝΔΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - LEGEND OF JOINTS												
ΤΥΠΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - Type of joints			ΤΥΠΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - Type of joints			ΤΥΠΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - Type of joints			ΤΥΠΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - Type of joints			
I: Τριτοτα - Tertiary			II: Ρωλετός Αβαντός, Δοκίμα - Clay sand, swelling			III: Χυλοφύκος, Τέλειος - Gneiss, Talc			IV: Αβαντός - Gneiss			
V: Χυλοφύκος - Quartz			VI: Αβαντός και σπονοειδής υλικό - Sand & weath. material			VII: Οφίτης - Gneiss			VIII: Μυρμιρίτης - Myrmirite			
IX: Χυλοφύκος - Quartz			X: Αβαντός - Gneiss			XI: Χυλοφύκος - Quartz			XII: Αβαντός - Gneiss			
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - JOINT SPACING (m)			ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - JOINT SPACING (m)			ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - JOINT SPACING (m)			ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - JOINT SPACING (m)			
1. Πολύ μεγάλη - Very wide > 2.0 m			2. Μεγάλη - Large 0.8 m - 2.0 m			3. Μέση - Medium 0.2 m - 0.8 m			4. Μικρή - Small 0.05 m - 0.2 m			
5. Πολύ μικρή - Very close < 0.05 m												

MCD4

PROJECT :
ΕΡΓΟ :

MALIA HYBRID SYSTEM

CONTRACTOR :
ΑΝΑΔΟΧΟΣ :

GENERAL CONSULTING Ltd
11050 Athens, Greece
Tel: +30 210 7410000 Fax: +30 210 7410007
www.generalconsulting.gr

ΓΕΩΤΡΗΣΗ (BOREHOLE) : MCD-4
ΟΕΣΗ Χ.Θ. (LOCAT.-X.U.): MALIA
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :
ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE): 23/03/12
ΗΜ. ΑΦΗΞΗΣ (END. DATE) : 30/03/12

BAGOS - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Blows/15cm) SPT (Blows/15cm)	ΔΙΕΥΝΕΣΕΙΣ - JOINTS					R.Q.D. (%)	ΤΕΛΟΣ ΣΤΑΘΗΣ ΝΥΔ - FINAL U.W.L. (m)	BAGOS - DEPTH (m)
				Type	Visual observation of jointing (m)	Rock mass description	Adhesion (kN/m²) or Shear (kN/m²)	Joint (°) - Inclination			
0.00		CLAY, red-brown colour, with sand and gravels, clayey sand, m-1, gravels, c-1, of varying consistency. Sand, light brown colour and gravels, sand, m-1, gravels, c-1, angular or subangular, containing.									1
0.50		Sand, white to light gray colour and gravels.									2
1.00		Sand, m-1, gravels, c-1, subangular to angular, of limestone consistency. At 800-820 m, presence of clay red-brown colour, with sand. The formation is a completely weathered limestone.									3
1.50		LIMESTONE, light gray colour, fresh to (at places) completely weathered, medium to very highly fractured.		J	VII	E	3-4/1	50°	7		4
2.00		Joints are planar to (at places) stepped, rough to medium rough, medium to closely spaced, moderately narrow to narrow, with the main inclinations to be: 0°-10°, 70°, 80°-90°.		J	VII	E	4/1	70°	18		5
2.50		The formation appears abrasion zones, which are described thoroughly below:		J	VII	E	3-4/1	90°	0		6
3.00		At 2.20-2.40, limestone is slightly to moderately weathered.									7
3.50		At 2.40-3.00, limestone is moderately to highly weathered and there is presence of sand, light brown colour, f.									8
4.00		At 3.00-4.00, limestone is highly to completely weathered and there is presence of sand, light brown colour, f.		J	VII	E	4/1	70°	25		9
4.50		At 4.00-6.30, limestone is highly to completely weathered and is converted to sand, light gray colour and gravels. Presence of sand, light brown colour, f. At 6.70-6.90, presence of clay red-brown colour.		J	VII	E	4/1	70°	0		10
5.00		At 6.90-8.80, limestone is fresh to slightly weathered. At 6.90-7.10, presence of clay and sand, brown colour, f.		J	VII	E	4/1	70°	13		11
5.50		At 8.80-12.50, limestone is moderately to completely weathered and converted to sand, light gray colour. At 8.80-9.20, presence of sand, brown colour, f. and clay.		J	VII	E	4/1	70°	0		12
6.00		At 11.00-12.60, limestone is moderately to highly weathered and converted to sand, light gray colour, f. At 12.60-12.80 the formation (limestone) is residual soil.		J	VII	E	4/1	70°	17		13
6.50											14
7.00											15
7.50											16
8.00											17
8.50											18
9.00											19
9.50											20

Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD4 - A.

MALIA HYBRID SYSTEM

CONTRACTOR:
ΑΝΑΔΟΧΟΣ :

GENERAL CONSULTING Ltd
Istria
B. 48010, Zlatibor 66000, BEOGRAD, Yugoslavia
Tel: 4440101, 4440102, 4440103, 4440104, 4440105, 4440106, 4440107, 4440108, 4440109, 4440110, 4440111, 4440112, 4440113, 4440114, 4440115, 4440116, 4440117, 4440118, 4440119, 4440120, 4440121, 4440122, 4440123, 4440124, 4440125, 4440126, 4440127, 4440128, 4440129, 4440130, 4440131, 4440132, 4440133, 4440134, 4440135, 4440136, 4440137, 4440138, 4440139, 4440140, 4440141, 4440142, 4440143, 4440144, 4440145, 4440146, 4440147, 4440148, 4440149, 4440150, 4440151, 4440152, 4440153, 4440154, 4440155, 4440156, 4440157, 4440158, 4440159, 4440160, 4440161, 4440162, 4440163, 4440164, 4440165, 4440166, 4440167, 4440168, 4440169, 4440170, 4440171, 4440172, 4440173, 4440174, 4440175, 4440176, 4440177, 4440178, 4440179, 4440180, 4440181, 4440182, 4440183, 4440184, 4440185, 4440186, 4440187, 4440188, 4440189, 4440190, 4440191, 4440192, 4440193, 4440194, 4440195, 4440196, 4440197, 4440198, 4440199, 4440200, 4440201, 4440202, 4440203, 4440204, 4440205, 4440206, 4440207, 4440208, 4440209, 4440210, 4440211, 4440212, 4440213, 4440214, 4440215, 4440216, 4440217, 4440218, 4440219, 4440220, 4440221, 4440222, 4440223, 4440224, 4440225, 4440226, 4440227, 4440228, 4440229, 4440230, 4440231, 4440232, 4440233, 4440234, 4440235, 4440236, 4440237, 4440238, 4440239, 4440240, 4440241, 4440242, 4440243, 4440244, 4440245, 4440246, 4440247, 4440248, 4440249, 4440250, 4440251, 4440252, 4440253, 4440254, 4440255, 4440256, 4440257, 4440258, 4440259, 4440260, 4440261, 4440262, 4440263, 4440264, 4440265, 4440266, 4440267, 4440268, 4440269, 4440270, 4440271, 4440272, 4440273, 4440274, 4440275, 4440276, 4440277, 4440278, 4440279, 4440280, 4440281, 4440282, 4440283, 4440284, 4440285, 4440286, 4440287, 4440288, 4440289, 4440290, 4440291, 4440292, 4440293, 4440294, 4440295, 4440296, 4440297, 4440298, 4440299, 4440300, 4440301, 4440302, 4440303, 4440304, 4440305, 4440306, 4440307, 4440308, 4440309, 4440310, 4440311, 4440312, 4440313, 4440314, 4440315, 4440316, 4440317, 4440318, 4440319, 4440320, 4440321, 4440322, 4440323, 4440324, 4440325, 4440326, 4440327, 4440328, 4440329, 4440330, 4440331, 4440332, 4440333, 4440334, 4440335, 4440336, 4440337, 4440338, 4440339, 4440340, 4440341, 4440342, 4440343, 4440344, 4440345, 4440346, 4440347, 4440348, 4440349, 4440350, 4440351, 4440352, 4440353, 4440354, 4440355, 4440356, 4440357, 4440358, 4440359, 4440360, 4440361, 4440362, 4440363, 4440364, 4440365, 4440366, 4440367, 4440368, 4440369, 4440370, 4440371, 4440372, 4440373, 4440374, 4440375, 4440376, 4440377, 4440378, 4440379, 4440380, 4440381, 4440382, 4440383, 4440384, 4440385, 4440386, 4440387, 4440388, 4440389, 4440390, 4440391, 4440392, 4440393, 4440394, 4440395, 4440396, 4440397, 4440398, 4440399, 4440400, 4440401, 4440402, 4440403, 4440404, 4440405, 4440406, 4440407, 4440408, 4440409, 4440410, 4440411, 4440412, 4440413, 4440414, 4440415, 4440416, 4440417, 4440418, 4440419, 4440420, 4440421, 4440422, 4440423, 4440424, 4440425, 4440426, 4440427, 4440428, 4440429, 4440430, 4440431, 4440432, 4440433, 4440434, 4440435, 4440436, 4440437, 4440438, 4440439, 4440440, 4440441, 4440442, 4440443, 4440444, 4440445, 4440446, 4440447, 4440448, 4440449, 4440450, 4440451, 4440452, 4440453, 4440454, 4440455, 4440456, 4440457, 4440458, 4440459, 4440460, 4440461, 4440462, 4440463, 4440464, 4440465, 4440466, 4440467, 4440468, 4440469, 4440470, 4440471, 4440472, 4440473, 4440474, 4440475, 4440476, 4440477, 4440478, 4440479, 4440480, 4440481, 4440482, 4440483, 4440484, 4440485, 4440486, 4440487, 4440488, 4440489, 4440490, 4440491, 4440492, 4440493, 4440494, 4440495, 4440496, 4440497, 4440498, 4440499, 4440500, 4440501, 4440502, 4440503, 4440504, 4440505, 4440506, 4440507, 4440508, 4440509, 4440510, 4440511, 4440512, 4440513, 4440514, 4440515, 4440516, 4440517, 4440518, 4440519, 4440520, 4440521, 4440522, 4440523, 4440524, 4440525, 4440526, 4440527, 4440528, 4440529, 4440530, 4440531, 4440532, 4440533, 4440534, 4440535, 4440536, 4440537, 4440538, 4440539, 4440540, 4440541, 4440542, 4440543, 4440544, 4440545, 4440546, 4440547, 4440548, 4440549, 444055

ΓΕΩΤΡΙΞΗ (BOREHOLE) : ΑCD-4
 ΟΕΞΗ ή Χ.Θ. (LOCAT.-X.U.): ΜΑΛΙΑ
 ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :
 ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE): 23/03/92
 ΗΜ. ΛΗΞΗΣ (END. DATE) : 30/03/92

BAGICE - DEPTH (m)	AETIVA - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Kopeloneg/15cm) SPT (Blows/15cm)	ΑΞΥΝΕΧΕΙΕΣ - JOINTS						ΑΠΟΖΑΦΟΡΗ WEATHERING	R.Q.D. (%)	ΤΥΠΟΣ ΤΑΞΙΝΟΜ. ΤΥ.Ο. - TYPAL CLASSIF. (C)	BAGICE - DEPTH (m)
				Τύπος - Type	Μέγεθος (Kopeloneg/15cm) Size (Blows/15cm)	Κατεύθυνση - Direction	Αντοχή (Kopeloneg/15cm) Strength (Blows/15cm)	Αντοχή (Kopeloneg/15cm) Strength (Blows/15cm)	Αντοχή (Kopeloneg/15cm) Strength (Blows/15cm)				
21	Δ	LIMESTONE, light gray colour, fresh to (cat places) completely weathered, medium to very highly fractured, as above.		J	VII	E	10-20	30-40	U-1	6		21	
22	Δ			J	VII	E	11-13	80	U-2			22	
23	Δ	The abrasion zones are:		J	VII	E	23-10	50	U-3	0		23	
24	Δ	At 12.80-13.30, limestone is slightly to moderately weathered.		J	VII	E	8-10	33-40	U-4	0		24	
25	Δ	At 13.30-14.10, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, m-f, and gravels c-f. At places, presence of sand, light brown colour, f.	24.80	J	I	E	24-20	24-50		0		25	
26	Δ	At 20.80-21.00, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour.	26.00	J	I	E	26-20	26-50		28		26	
27	Δ	At 21.30-24.30, limestone is moderately to highly weathered and converted to sand and gravels, light gray colour, presence of sand, light brown colour.	27.00	J	I	E	27-20	27-50	U-1	22		27	
28	Δ	At 37.30-38.00, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour with gravels, f.	28.00	J	I	E	28-20	28-50	U-2	30		28	
29	Δ	At 38.80-40.40, limestone is moderately to highly weathered and converted to gravels, c-f, and sand, light gray colour, f.	29.00	J	I	E	29-20	29-50	U-3	39		29	
30	Δ	At 45.60-45.70, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour.	30.30	J	I	E	30-30	30-50		41		30	
31	Δ	At 47.60-49.30, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour, f.	31.60	J	I	E	31-30	31-50		58		31	
32	Δ	At 49.30-50.70, limestone is moderately to highly weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour, f.	32.40	J	I	E	32-30	32-50		69		32	
33	Δ	At 50.70-51.10, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour, f.	33.20	J	I	E	33-30	33-50		48		33	
34	Δ	At 51.10-51.40, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour, f.	34.80	J	I	E	34-30	34-50		0		34	
35	Δ	At 51.40-51.70, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour, f.	35.40	J	I	E	35-30	35-50		0		35	
36	Δ	At 51.70-52.00, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour, f.	36.00	J	I	E	36-30	36-50		0		36	
37	Δ	At 52.00-52.30, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour, f.	37.00	J	I	E	37-30	37-50		0		37	
38	Δ	At 52.30-52.60, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour, f.	38.00	J	I	E	38-30	38-50		0		38	
39	Δ	At 52.60-52.90, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour, f.	39.40	J	I	E	39-30	39-50		0		39	
40	Δ	At 52.90-53.20, limestone is highly to completely weathered and converted to sand, light gray colour, f. Presence of sand, light brown colour, f.	40.00	J	I	E	40-30	40-50		0		40	

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΞΥΝΕΧΕΙΩΝ - LEGEND OF JOINTS											
ΥΛΙΚΟ ΠΡΟΒΟΛΗΣ Filling material	Ε Timon - Nothing	Α Ασβεστός, Ασβεστός, Ασβεστός - Clay material, casing	Β Ασβεστός, Ασβεστός, Ασβεστός - Clay material, casing	Γ Ασβεστός, Ασβεστός, Ασβεστός - Clay material, casing	Δ Ασβεστός, Ασβεστός, Ασβεστός - Clay material, casing	Ε Ασβεστός, Ασβεστός, Ασβεστός - Clay material, casing	ΣΤ Ασβεστός, Ασβεστός, Ασβεστός - Clay material, casing	Ζ Ασβεστός, Ασβεστός, Ασβεστός - Clay material, casing	Η Ασβεστός, Ασβεστός, Ασβεστός - Clay material, casing	Θ Ασβεστός, Ασβεστός, Ασβεστός - Clay material, casing	Ι Ασβεστός, Ασβεστός, Ασβεστός - Clay material, casing
ΤΥΠΟΣ ΑΞΥΝΕΧΕΙΩΝ Type of joints	Α Επίπεδη - Layering	Β Διαγώνια - Wavy	Γ Οριζόντια - Horizontal	Δ Εγκάρσια - Vertical	Ε Παράλληλα - Parallel	ΣΤ Αντίθετα - Opposite	Ζ Αντίθετα - Opposite	Η Αντίθετα - Opposite	Θ Αντίθετα - Opposite	Ι Αντίθετα - Opposite	Κ Αντίθετα - Opposite
ΑΠΟΖΑΦΟΡΗ ΑΞΥΝΕΧΕΙΩΝ Spalling of joints	1. Πολύ μεγάλη - Very wide > 2.0 m	2. Μεγάλη - Large 0.8 m - 2.0 m	3. Μέση - Medium 0.2 m - 0.8 m	4. Μικρή - Small 0.05 m - 0.2 m	5. Τηλε - Close 0.05 m - 0.2 m	6. Τηλε - Close 0.05 m - 0.2 m	7. Τηλε - Close 0.05 m - 0.2 m	8. Τηλε - Close 0.05 m - 0.2 m	9. Τηλε - Close 0.05 m - 0.2 m	10. Τηλε - Close 0.05 m - 0.2 m	11. Τηλε - Close 0.05 m - 0.2 m
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ Joint Surface	Α Ασυνέχεια - Discontinuous	Β Τραχεία ή ανώμαλη επιφάνεια - Rough or irregular	Γ Ανισομερής - Uneven	Δ Επίπεδη, ασυνέχεια - Smooth surface, discontinuity	Ε Τραχεία, ανώμαλη, ανώμαλη, ανώμαλη	ΣΤ Ανισομερής - Uneven	Ζ Ανισομερής - Uneven	Η Ανισομερής - Uneven	Θ Ανισομερής - Uneven	Ι Ανισομερής - Uneven	Κ Ανισομερής - Uneven

Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD4 – B.

PROJECT :
EPTO :
CONTRACTOR :
ΑΝΑΔΟΧΟΣ :

MALIA HYBRID SYSTEM

GENERAL CONSULTING LTD
10670
10670

ΦΕΣΤΗΣΗ (BOREHOLE) : MCD-4
ΟΕΣΗ Α.Χ.Ο. (LOCAT.-X.U.): MALIA
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :
ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START DATE): 23/03/12
ΗΜ. ΑΦΗΞΗΣ (END DATE): 30/03/12

ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Blows/15cm) SPT (Blows/15cm)	ΑΞΥΝΕΧΕΙΕΣ - JOINTS					R.Q.D. (%)	ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΚΥΛΟ - FAULT TYPE (m)	ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)
				Τύπος - Type	Υλικό (απορροή/απορροή) - Filling material	Καταστάση επιφάνειας - Surface	Απόσταση (cm) - Spacing (cm)	Κλίση (°) - Inclination			
41	Δ	LIMESTONE, light gray colour, fresh to (at places) completely weathered, medium to very highly fractured, as above.	41.30	J	II	E	7-15m	0-10°	W3-4	25	41
42	Δ	The formation (limestone) is slightly karstified at the depths: 6.90-7.10/ 28.60-37.30/ 41.70-54.60 m.	44.80	J	VIII	A	5-6m	70°	W1	56	42
43	Δ	Diagenetic limestone appears at the depths: 17.70-18.00/ 25.90-26.90/ 30.30-30.50 and 32.40-32.80m.	43.40	J	V	E	3-4m	70°	W2	81	43
44	Δ	Karstic void appears at the depth: 37.30-37.80m.	45.00	J	VII	E	4.5-6.0	0-30°	W3-4	26	44
45	Δ		46.60	J	VII	E	4.5-6.0	0-30°	W3-4	26	45
46	Δ		47.90	J	VII	E	4.5-6.0	0-30°	W3-4	26	46
47	Δ		49.00	J	VIII	E	7-15m	0-10°	W4-5	0	47
48	Δ		50.20	J	VIII	E	7-15m	0-10°	W4-5	0	48
49	Δ		51.20	J	VIII	E	7-15m	0-10°	W4-5	0	49
50	Δ		52.80	J	I	A	8-9m	0-10°	W1	19	50
51	Δ		53.00	J	I	A	8-9m	0-10°	W1	19	51
52	Δ		54.40	J	VII	E	5-6m	0-10°	W2	19	52
53	Δ		55.40	J	VII	E	5-6m	0-10°	W2	19	53
54	Δ		55.40	J	VII	E	5-6m	0-10°	W2	19	54
55	Δ	END OF BOREHOLE AT 55.40m	55.40	J	VII	E	5-6m	0-10°	W2	19	55
56	Δ		56.40	J	VII	E	5-6m	0-10°	W2	19	56
57	Δ		57.40	J	VII	E	5-6m	0-10°	W2	19	57
58	Δ		58.40	J	VII	E	5-6m	0-10°	W2	19	58
59	Δ		59.40	J	VII	E	5-6m	0-10°	W2	19	59
60	Δ		60.40	J	VII	E	5-6m	0-10°	W2	19	60

ΛΕΓΕΝΔΑ ΑΞΥΝΕΧΕΙΩΝ - LEGEND OF JOINTS

ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ - Filling material	ΤΥΠΟΣ ΑΞΥΝΕΧΕΙΩΝ - Type of joints	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ - Surface
I: Τίναρι - Nothing II: Άσβεστος Αργίλος, Άσβεστος - Clay neutral, swelling IV: Χλωρίτης, Τελίτης - Chlorite, Talk V: Ασβεστινός - Calcite VI: Χαλκίτης - Quartz VII: Άμμος και άμορφοί υλικοί - Sand & smooth material VIII: Οξείδια - Oxides IX: Μυκηλίδες - Mycelium	R: Σπείρωση - Layering A: Διάσπαση - Wide D: Διάσπαση - Discrete S: Σπασμένη - Schistosity F: Ρήγμα - Fault O: Άλλος - Other	A: Ακανόνιστος - Discontinuous B: Τροχάρι ή ανάμικτος τραχυστός - Rough or irregular C: Λεία και τραχυστός - Smooth undulating D: Στεγανός, ακανόνιστος - Sealed, undulating E: Τροχάρι, λείος - Rough, planar F: Λεία και τραχυστός - Smooth, planar G: Εξωθυσμένος - Extruded

Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD4 - Γ.

MCD5

PROJECT : **MALIA HYBRID SYSTEM**
 EPTO :
 CONTRACTOR : **GENERAL CONSULTING Ltd**
 ANAΛOYXOZ :

ΓΕΩΤΡΗΣΗ (BOREHOLE) : **MCD-5**
 ΘΕΣΗ & Χ.Θ. (LOCAT., X.U.) : **MALIA**
 ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :
 ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE) : **20/3/12**
 ΗΜ. ΛΗΞΗΣ (END. DATE) : **23/3/12**

ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Cpdimes/25cm) SPT (blows/25cm)	ΑΞΥΝΕΧΕΙΕΣ - JOINTS					R.Q.D. (%)	ΤΑΧΥΣΤΑΘΜΕΤΡΟ - PENAL U.S.W. (m)	ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)
				Τύπος - Type	Υπό οπτική/ακουστική εξέταση - Visual/auditory	Μορφολογία Επιφανείας - Surface	Απόσταση (C-δ) ή Δίεση (C-δ) (cm)	Γωνία (C) - Inclination	ΑΠΟΚΛΑΔΙΣΜΟΣ - WEATHERING		
0.00		GRAVELS and SANDS with CLAY. Gravelly, 2-4, angular to subangular of limestone consistency. Sand, 0.25-4.									1
0.50											2
1.00		SAND, 4-16mm, coarse, colour green. Gravelly, 2-4, angular of limestone consistency.	4.00								3
1.50											4
2.00	Δ	LIMESTONE, light gray colour, fresh to completely weathered, medium to highly fractured.		J	VI	E	2-3/4	50°	W1	36	5
2.50											6
3.00	Δ	Joint, planar to (at places) undulating, medium rough to rough, medium to closely spaced, moderately narrow to narrow, with an inclination of 0°-10°, 80°-90° and 50°.			II	E	3-4	40°	W2	31	7
3.50											8
4.00	Δ				4.00						9
4.50											10
5.00	Δ			J	VII	E	3-10/4	80°-90°	W1	0	11
5.50											12
6.00	Δ				VII	B	5-8	0-10°	W2	0	13
6.50											14
7.00	Δ	The formation appears abrasion zones, which are described thoroughly below:									15
7.50		At 3.70-4.30, limestone is moderately to highly weathered and converted to sand, brown colour, c.m.f.									16
8.00	Δ	At 6.80-7.00, limestone is converted to sand, light brown to whitish colour, m.f.		J	VII	B	4-6/4	0-10°	W1	27	17
8.50											18
9.00	Δ	At 7.40-8.10, limestone is moderately to highly weathered and converted to sand, light brown colour, m.f.									19
9.50											20
10.00	Δ	At 10.10-11.30, limestone is also moderately to highly weathered and converted to sand, light gray colour, c.m.f. Presence of a little clay, red-brown colour.		J	II	E	8-9/4	80°-90°	W2	13	21
10.50											22
11.00	Δ	At 11.80-12.50, the formation (limestone) is moderately to highly weathered and converted at places to sand, light gray colour, c.m.f.			VII	B	12-20	0-10°	W1-2	19	23
11.50											24
12.00	Δ	At 13.00-14.00, limestone is highly to completely weathered.		J	II	B	3-4/4	60°	W2	30	25
12.50											26
13.00	Δ	At 14.30-14.40, limestone is completely weathered.			VII	E	8-10/4	0-10°	W1	14	27
13.50											28
14.00	Δ	At 15.10-15.50, limestone is moderately to highly weathered and converted to sand, light gray colour, c.m.f.		J	VII	B	12-13/4	0-10°	W2	28	29
14.50											30
15.00	Δ	At 23.10-25.20, limestone is completely weathered to residual soil and converted to sand, brown colour, c.m.f.			VII	E	6-7/4	0-10°	W2	19	31
15.50											32
16.00											33
16.50											34
17.00											35
17.50											36
18.00											37
18.50											38
19.00											39
19.50											40
20.00											41
20.50											42
21.00											43
21.50											44
22.00											45
22.50											46
23.00											47
23.50											48
24.00											49
24.50											50
25.00											51
25.50											52
26.00											53
26.50											54
27.00											55
27.50											56
28.00											57
28.50											58
29.00											59
29.50											60
30.00											61
30.50											62
31.00											63
31.50											64
32.00											65
32.50											66
33.00											67
33.50											68
34.00											69
34.50											70
35.00											71
35.50											72
36.00											73
36.50											74
37.00											75
37.50											76
38.00											77
38.50											78
39.00											79
39.50											80
40.00											81
40.50											82
41.00											83
41.50											84
42.00											85
42.50											86
43.00											87
43.50											88
44.00											89
44.50											90
45.00											91
45.50											92
46.00											93
46.50											94
47.00											95
47.50											96
48.00											97
48.50											98
49.00											99
49.50											100

Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD5 – Α.

PROJECT :
ΕΡΓΟ :
MALIA HYBRID SYSTEM

CONTRACTOR :
ΑΝΑΔΟΧΟΣ :

GENERAL CONSULTING Ltd
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ

ΓΕΩΤΡΗΣΗ (BOREHOLE) : MCD-5
ΘΕΣΗ Χ.Θ. (LOCAT.-X.U.): MALIA
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :
ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE): 20/3/12
ΗΜ. ΛΗΞΗΣ (END. DATE): 23/3/12

ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Blows/15cm) SPT (Blows/15cm)	ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ - JOINTS						R.Q.D. (%)	ΥΠΟΛΟΙΠΟΝ Χ.Θ. - FINAL W.L. (m)	ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)
				Type	Yield (kg/cm ² /mm ²) Ritter (mm)	Material Surface	Angle (°) to Spacing (cm)	Angle (°) to Spacing (cm)	Angle (°) to Spacing (cm)			
21	Δ	LIMESTONE, light gray colour, fresh to completely weathered, medium to highly fractured, as above.		J	VII	E	7.15m	50°	W ₁	68		21
22	Δ	At 23.10-25.20, presence of clay, red-brown colour.			VIII	E	3-4m	20°	W ₂			22
23	Δ				VII	E	7.0m	90°		22		23
24	Δ	Diagenetic limestone appears at the depths: 13.0-3.20/12.50-12.90/9.60-9.90/17.70-19.90/20.40-21.20/22.20-22.80 and 27.10-27.70m.			VII	E	7.15m		W ₃	0		24
25	Δ			J	II	E	25.20	25.20	W ₆	13		25
26	Δ				VII	B	6-7m	50°	W ₄	17		26
27	Δ				VIII	E	24.40	25.50				27
28	Δ	Presence of karstic void at 29.30-29.70m			II	E	7.15m	50°	W ₂	23		28
29	Δ			J	VII	E	28.20	50°				29
30	Δ				II	E	7.15m	0-10°		41		30
31		END OF BOREHOLE AT 30.30m			VIII	E	2-3m	90°				31
32							30.30	30.30				32
33												33
34												34
35												35
36												36
37												37
38												38
39												39
40												40

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ - LEGEND OF JOINTS

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ Filling material	ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ Type of joints	ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ Type of joints
<ul style="list-style-type: none"> Is: τίποτα - Nothing II-III: Άργιλος, Αδρανής, Διαχωριστική - Clay neutral, sanding IV: Χλωρίτης, Τέφρας - Clorite, Tash V: Αφιδρώτης - Caliche VI: Χαλαρή - Gravel VII: Ραμμένος και αμοιβαίως αλληλοεισχωρούμενος - Sand & gravel, material VIII: Οξείδια - Oxides IX: Μαλακώμενος - Mollified 	<ul style="list-style-type: none"> A: Στοιβάδα - Layering J: Διάρρηξη - Wide D: Διάσπαση - Dissection S: Σχισμώδης - Schistosity F: Ρήγμα - Fault O: Άλλος - Other 	<ul style="list-style-type: none"> A: Ασαφής - Discontinuous B: Τραχεία ή ανώμαλη κατανομή - Rough or irregular C: Λεία κατανομή - Smooth undulating D: Ζηλβαία, κατανομή - Stochastic, undulating E: Τραχεία, επίπεδη - Rough, planar F: Λεία επίπεδη - Smooth, Planar G: Στερεοποιημένη επιφάνεια - Solidified plaster


Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD5 – B.

MCD6

PROJECT :
EPTO : **MALIA HYBRID SYSTEM**

CONTRACTOR:
ΑΝΑΔΟΧΟΣ : **GENERAL CONSULTING Ltd**
Istria

TESTPIH (BOREHOLE) : **MCD-6**
ΟΕΞΗ ή Χ.Θ. (LOCAT.-X.U.): **MALIA**
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (ALTITUDE) :
ΗΜ. ΕΝΑΡΞΗΣ (START. DATE): **18/03/12**
ΗΜ. ΑΦΗΞΗΣ (END. DATE): **20/03/12**

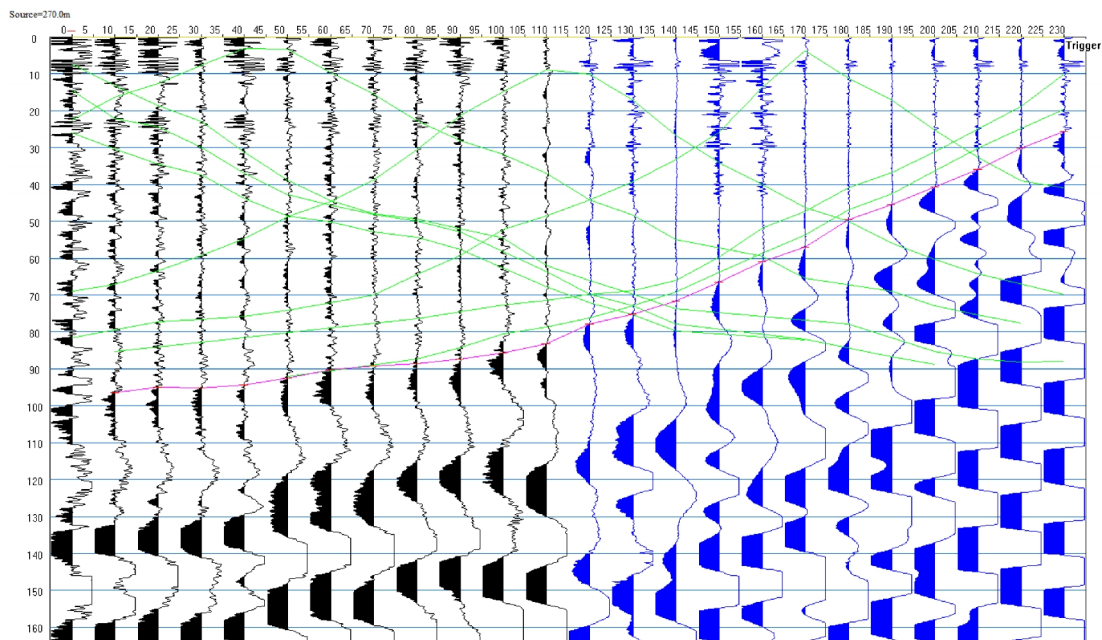
ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)	ΔΕΙΓΜΑ - SAMPLE	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ - DETAILED DESCRIPTION	SPT (Aperture/15cm) SPT (Blow/15cm)	ΑΞΥΝΕΧΕΙΕΣ - JOINTS					ΑΠΟΔΕΙΞΗ WEATHERING	R.Q.D. (%)	ΥΠΟΛΟΙΠΟΝ ΥΛΟ - RESIDUAL UML. (m)	ΒΑΘΟΣ - DEPTH (m)
				Τύπος - Type	Υπό ολίσθηση Sliding material	Εκδομή Surface	Ανέμων (1.5) / 1.5m Spacing (cm)	Κλίση (°) - Inclination				
0.00												
0.15		SAND, light brown colour and GRAVELS.										1
1.00		Sand, c.m.-f. Gravels, e-f, subangular to angular, of limestone consistency. (1.10)										2
1.50		SANDS with clay red-brown to light brown colour and GRAVELS. Sand, m-f, angular mainly, of limestone consistency. At 1.50-1.70m, presence of limestone rubble. (2.30)										3
2.30												4
3.70	Δ	LIMESTONE, light gray colour, fresh to completely weathered, medium to highly fractured.		J VII	A	2-3/m	0°-10°	W ₁	36			5
4.90	Δ				E	8-9/m	8°-10°	W ₂	18			6
5.30	Δ	Joints, planar to (at places) undulating, medium rough to rough, widely to closely spaced, moderately wide to narrow with an inclination of: 0°-70°, 80°-90° and 30°.		J VII	B	8-9/m	8°-10°	W ₁	6			7
6.90	Δ	The formation (limestone) appears abrasion zones, which are described thoroughly below: At 4.90-7.40m, limestone is converted sand light gray to white colour, m-f and at places the limestone is highly to completely weathered. At 11.90-13.10m, the formation is converted to sand c.m.-f and gravels while at places, limestone is completely weathered. At 13.50-14.90m, the formation is moderately to highly weathered and there is presence of clay, red-brown colour and sand, subwhite colour. At 14.90-15.10m, the limestone is converted to residual soil and there is presence of sand, light brown colour m-f with clay.		J II	E	7-9/m	0°-10°	W ₁	26			8
8.50	Δ				E	7-9/m	0°-10°	W ₁	91			9
10.90	Δ			J I	E	1-2/m	0°-10°	W ₂	76			10
11.90	Δ				E	1-2/m	0°-10°	W ₂	14			11
13.30	Δ				E	1-2/m	0°-10°	W ₂	28			12
14.90	Δ			J VII	B	0-10°	0°-10°	W ₁	0			13
16.30	Δ	Diagenetic Limestone appears at the depths: 2.40-3.40/8.00-8.60/9.00-9.40 and 9.90-10.20m.		J II	E	6-8/m	0°-10°	W ₁	28			14
17.30	Δ	Limestone is slightly karstified at the depth 19.00-20.60m.		J VII	B	15-20°	0°-10°	W ₁	6			15
18.10	Δ			J II	E	17-22°	0°-10°	W ₂	6			16
19.70	Δ			J VII	B	12-14°	0°-10°	W ₂	6			17
20.60	Δ	END OF BOREHOLE AT 20.60m.		J VII	B	19-20°	0°-10°	W ₂	28			18
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΑΞΥΝΕΧΕΙΩΝ - LEGEND OF JOINTS												
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΤΥΠΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ - FILING MATERIAL			ΤΥΠΟΣ ΑΞΥΝΕΧΕΙΩΝ - Type of JOINTS			ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΞΥΝΕΧΕΙΩΝ - Status of JOINTS						
I: Τιμωροί - Nothing II-III: Άργιλος, Αδρανής, Αργελοειδής - Clay neutral, swelling IV: Χυαλίνα, Τόλμας - Clotte, Talk V: Ασβεστοί - Calcite VI: Χυαλίνα - Quartz VII: Άργιλος και αποσπασματικό υλικό - Sand & weath. material VIII: Οστέα - Osseous IX: Μολυβδένιο - Molybdenum			A: Έμφυση - Layering B: Διπλοσύνδεση - Wids C: Διπλοσύνδεση - Clotting D: Σπασμένη - Schistosity E: Πήγμα - Fault F: Άλλος - Other			A1: Αποσπασμένη - Discontinuous B: Τροχονό ή ανισόμορη συμπίεση - Rough or irregular C: Απλά συμπίεση - Smooth undulating D: Σπασμένη, συμπίεση - Schistosity, undulating E: Τροχονό, εντατική - Rough, planar F: Απλά συμπίεση - Smooth, Planar G: Σπασμένη εντατική - Schistosity planar						
ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΑΞΥΝΕΧΕΙΩΝ - Spacing of joints			1. Πλάτος πτυχίας - Very wide > 2.0 m 2. Μεγάλο - wide 0.6 m - 2.0 m 3. Μέσο - Medium 0.2 m - 0.6 m 4. Μικρό - Close 0.06 m - 0.2 m 5. Πολύ μικρό - Very close < 0.06 m									

Επιτόπου χαρακτηρισμός γεώτρησης MCD6.

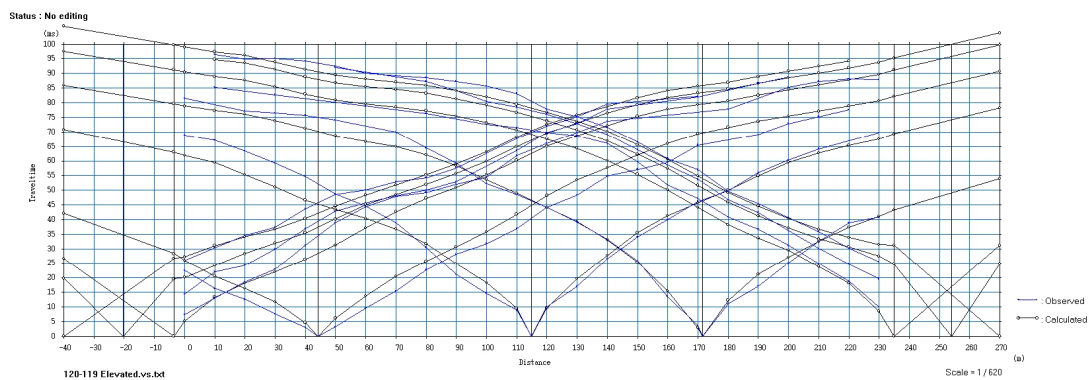
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SeisImager2D

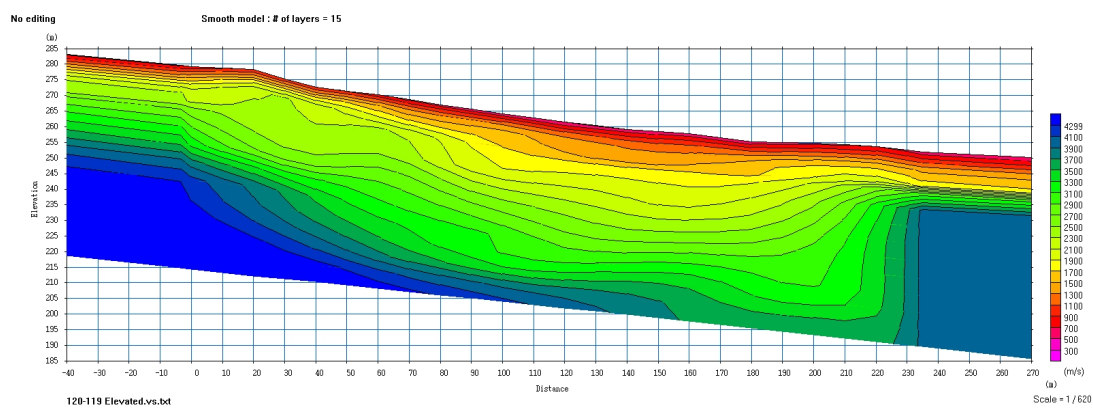
ML1



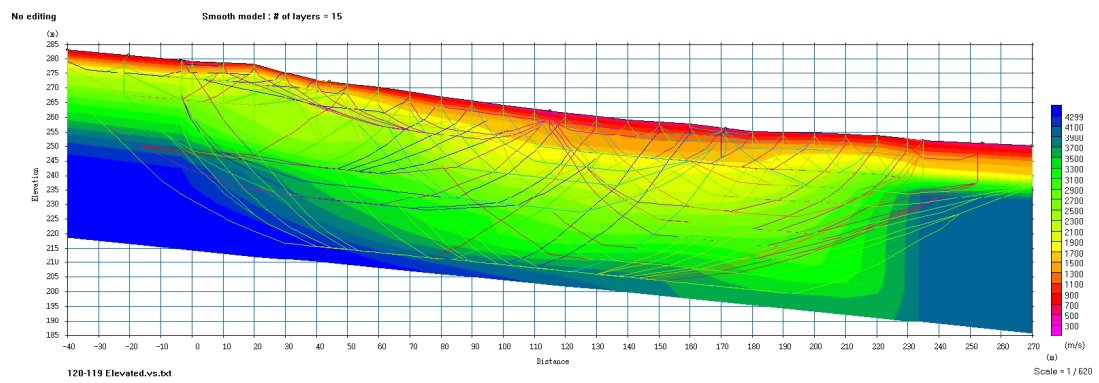
Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης ML1.



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης ML1.

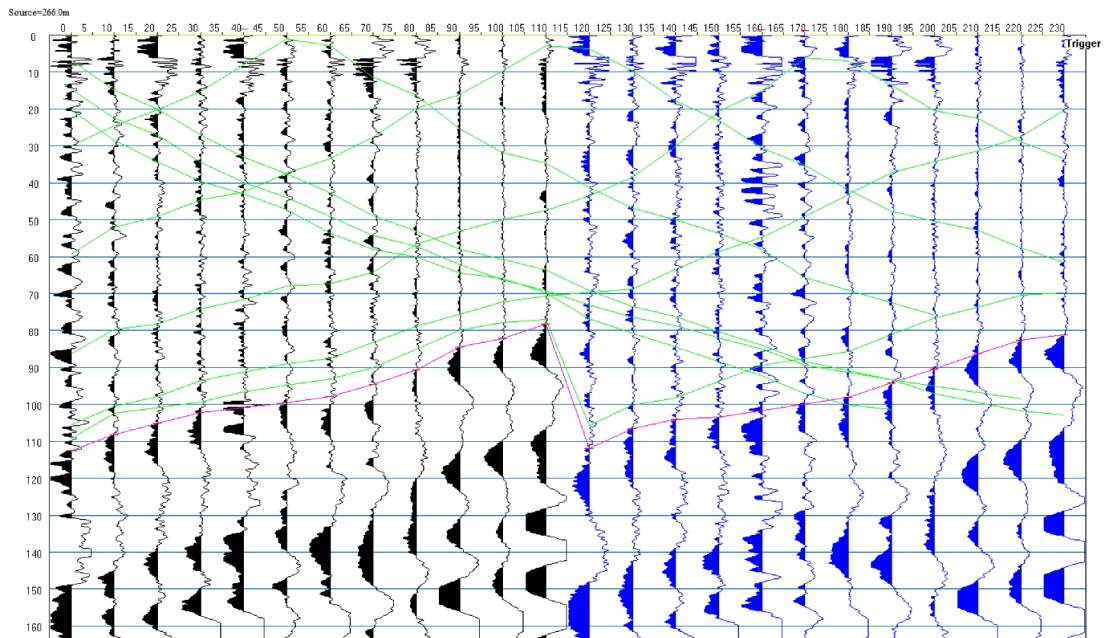


Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης ML1.

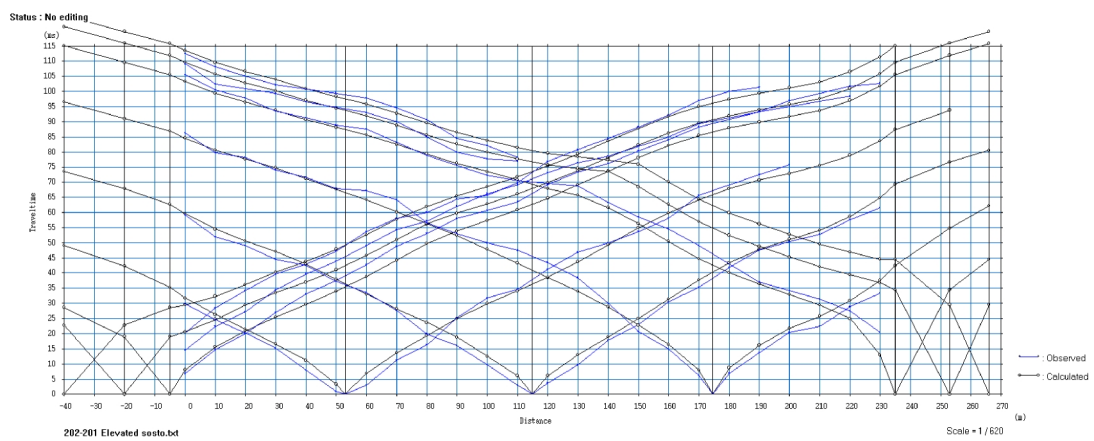


Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης ML1.

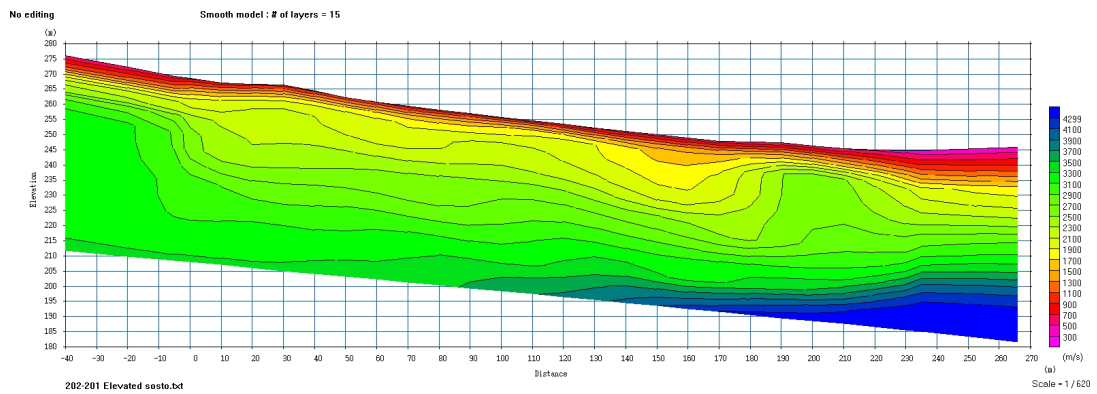
ML2



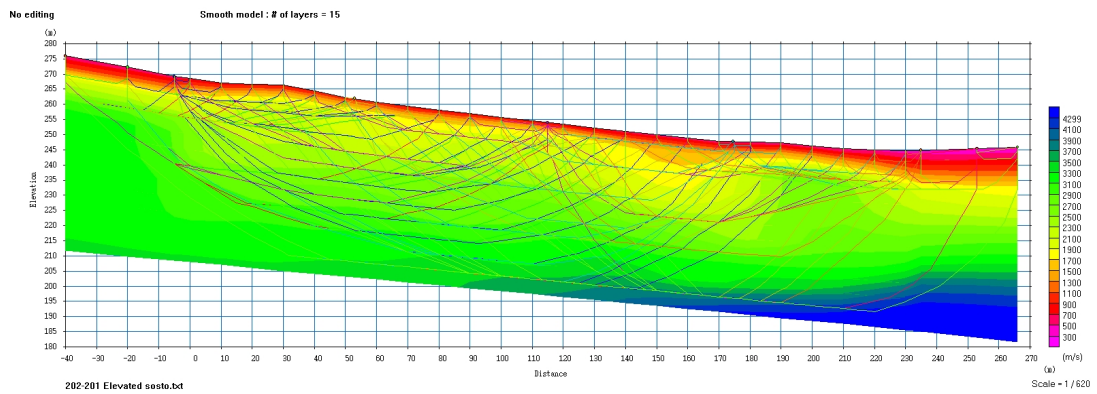
Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης ML2.



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης ML2.

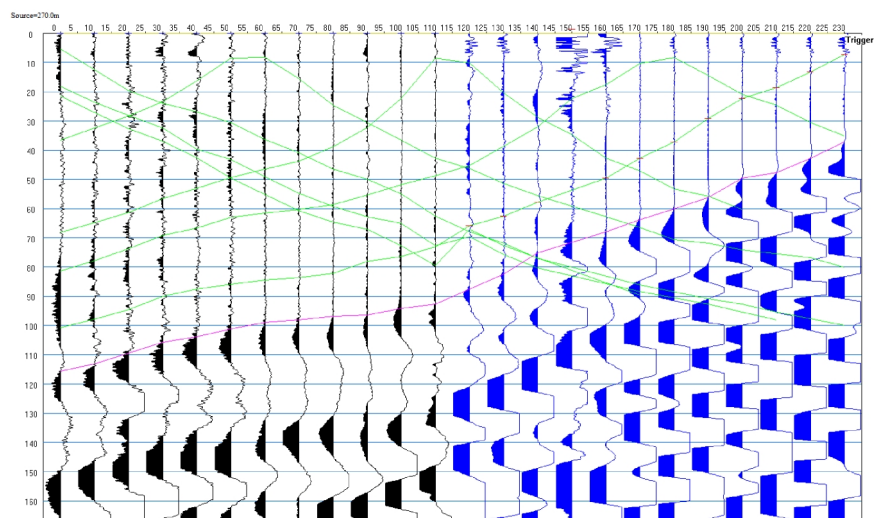


Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης ML2.

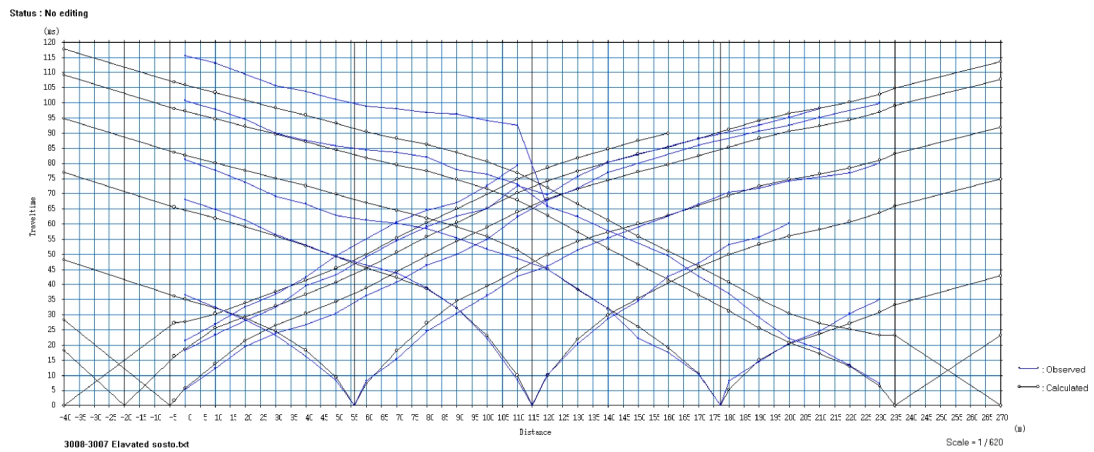


Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης ML2.

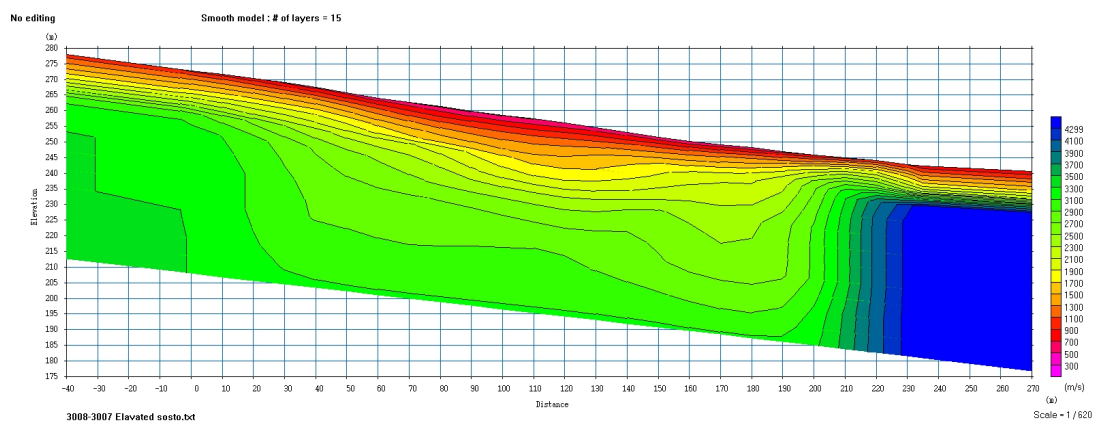
ML3



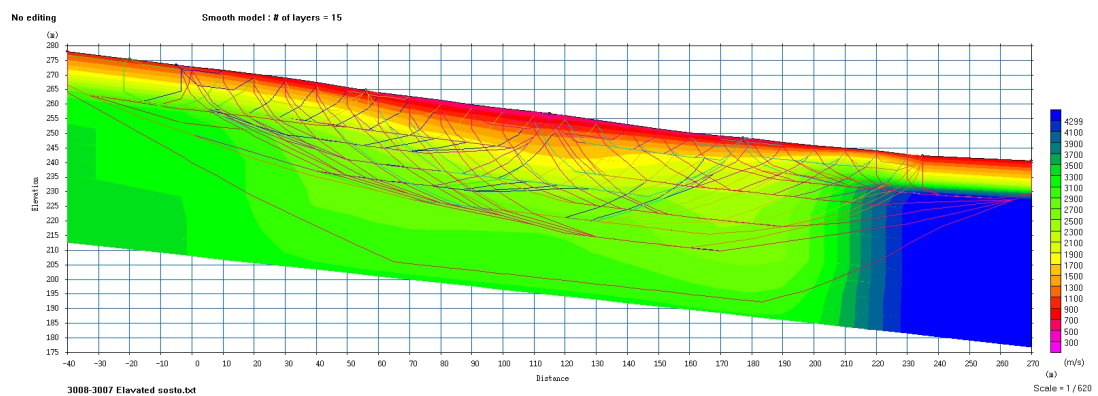
Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης ML3.



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης ML3.

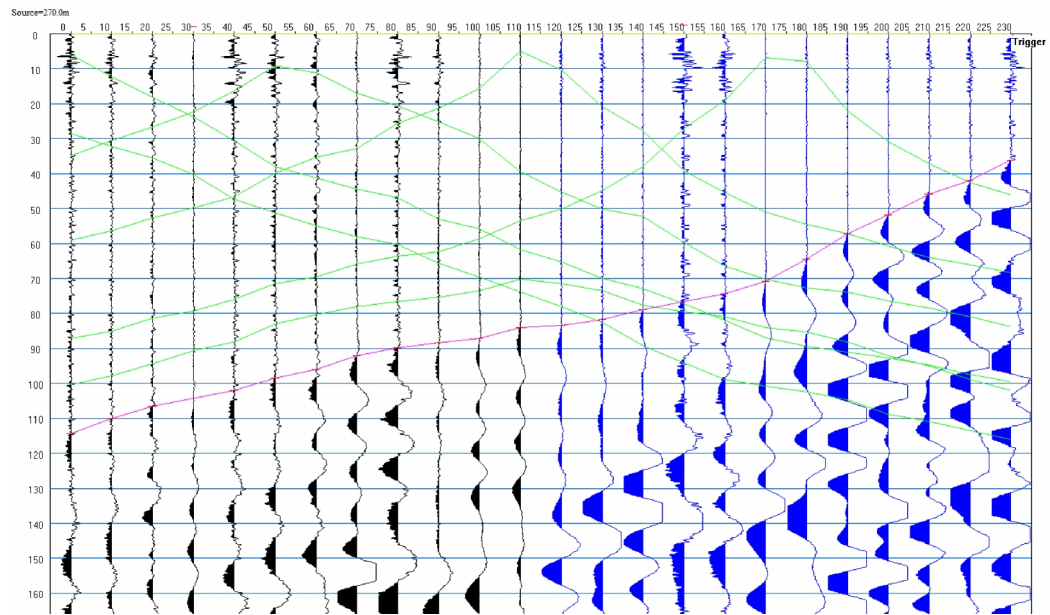


Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης ML3.

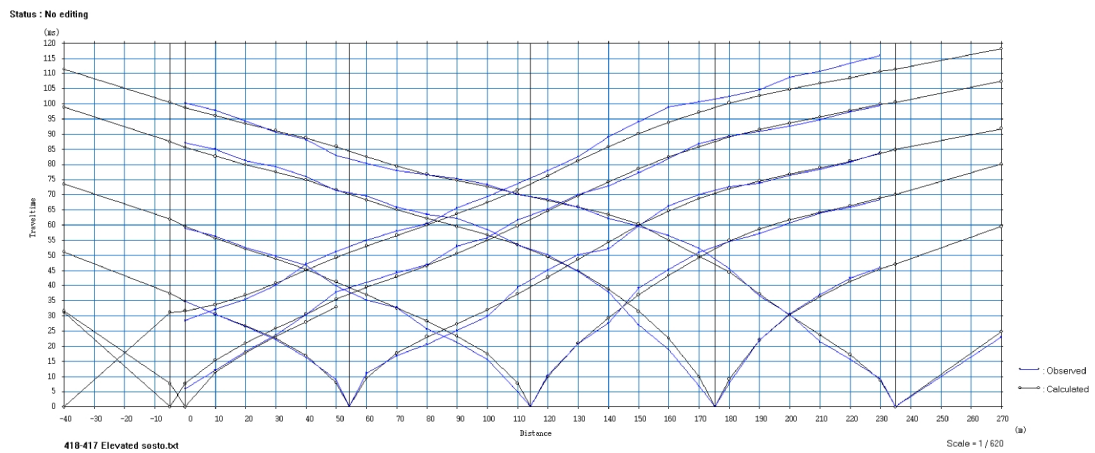


Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης ML3.

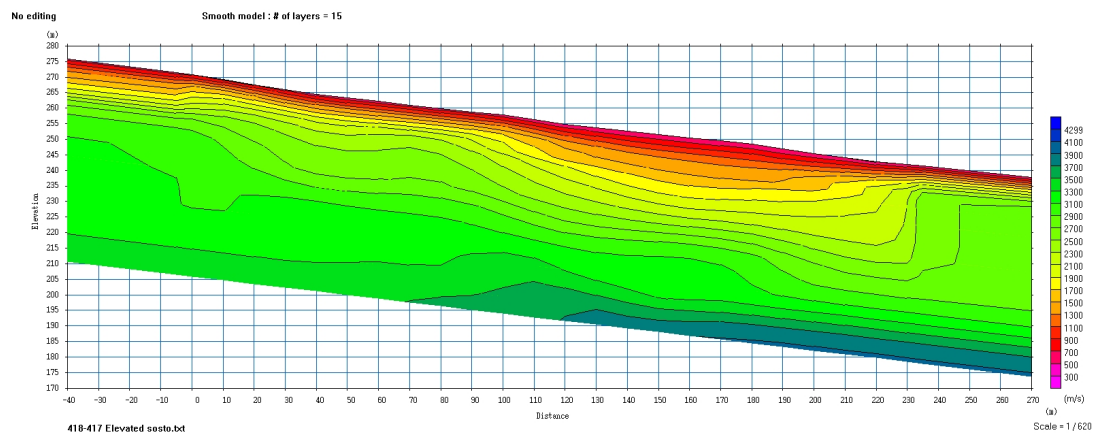
ML4



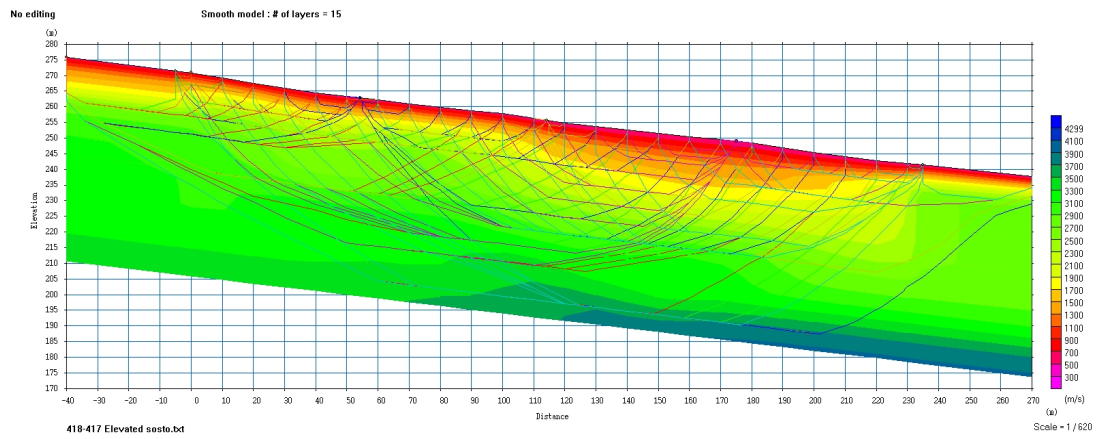
Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης ML4.



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης ML4.

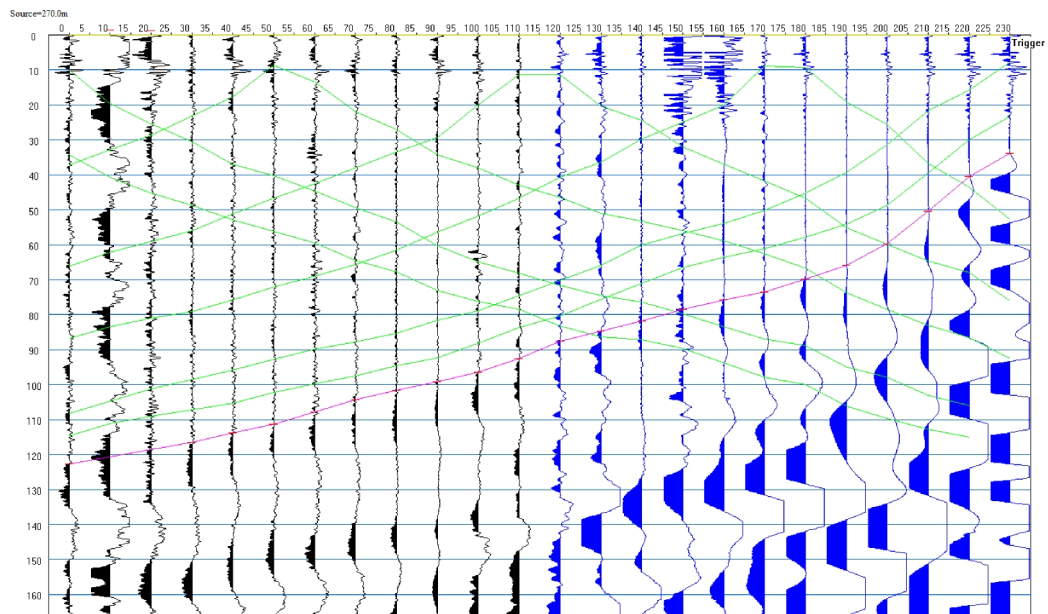


Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης ML4.

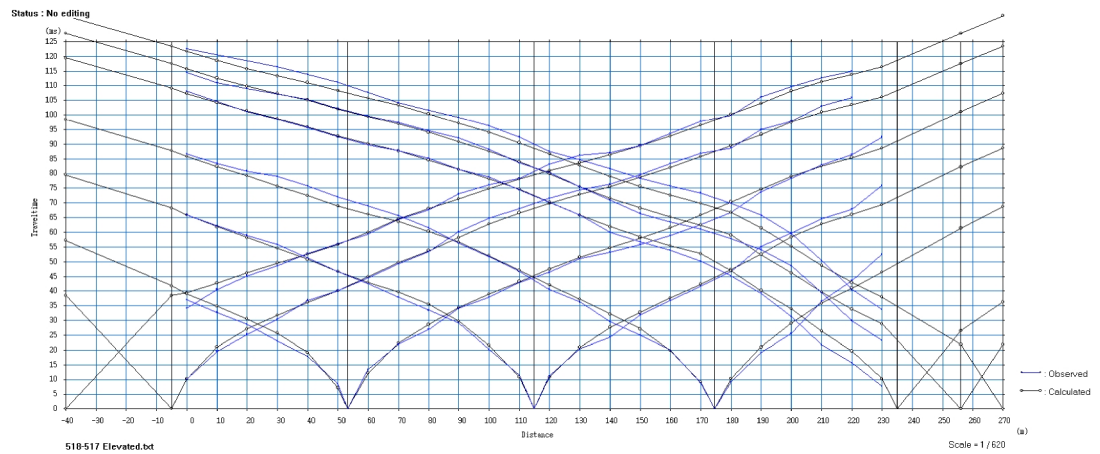


Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης ML4.

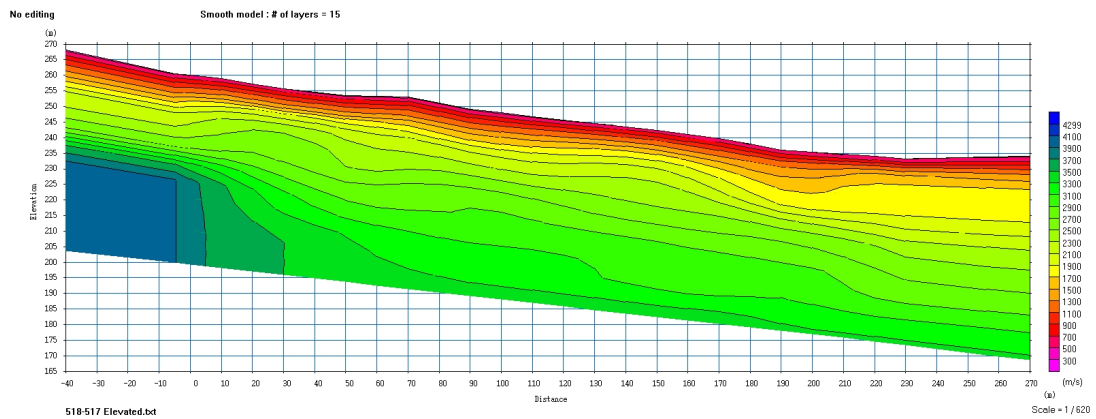
ML5



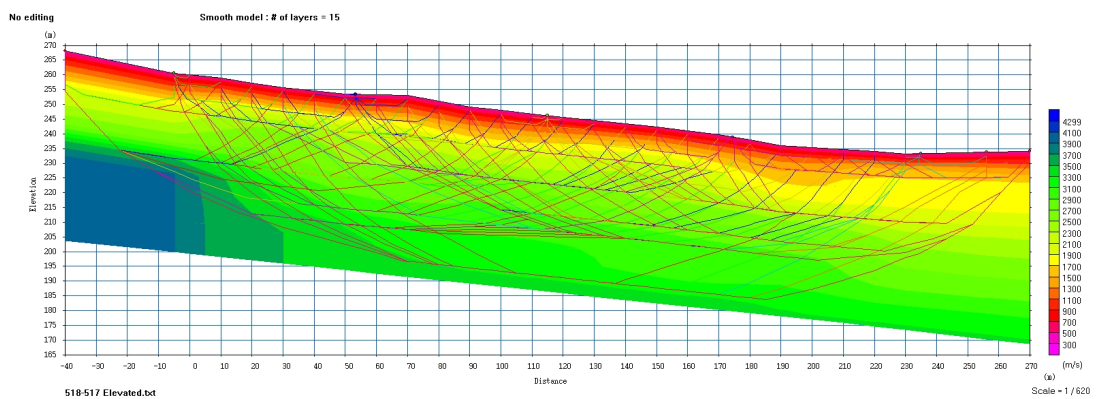
Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης ML5.



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης ML5.

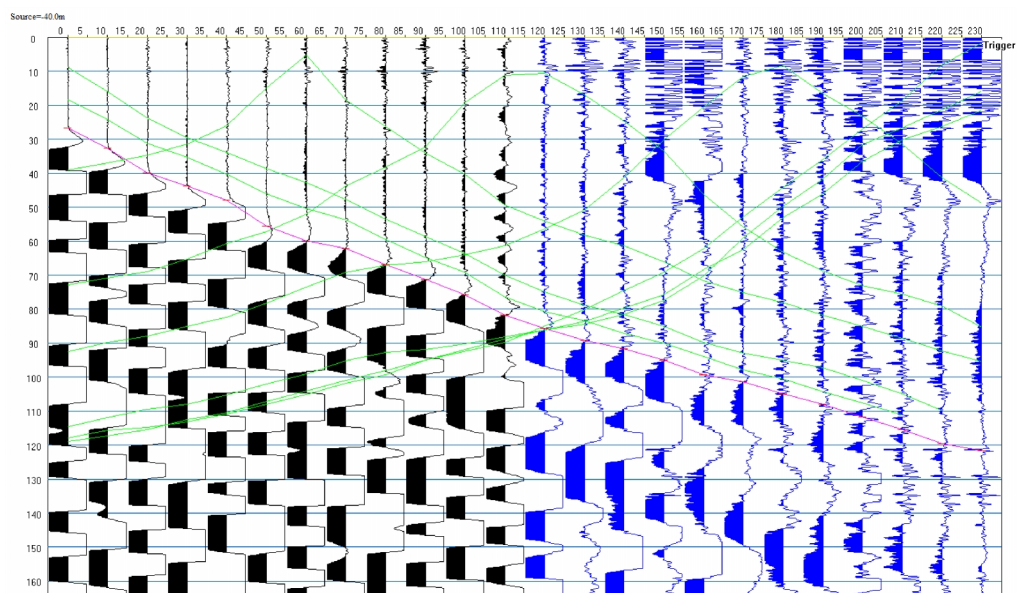


Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης ML5

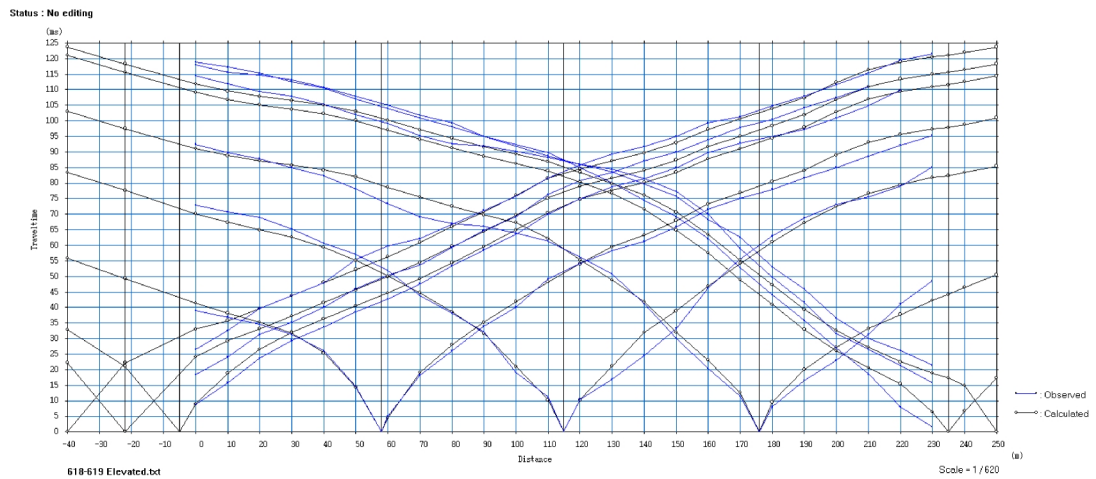


Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης ML5

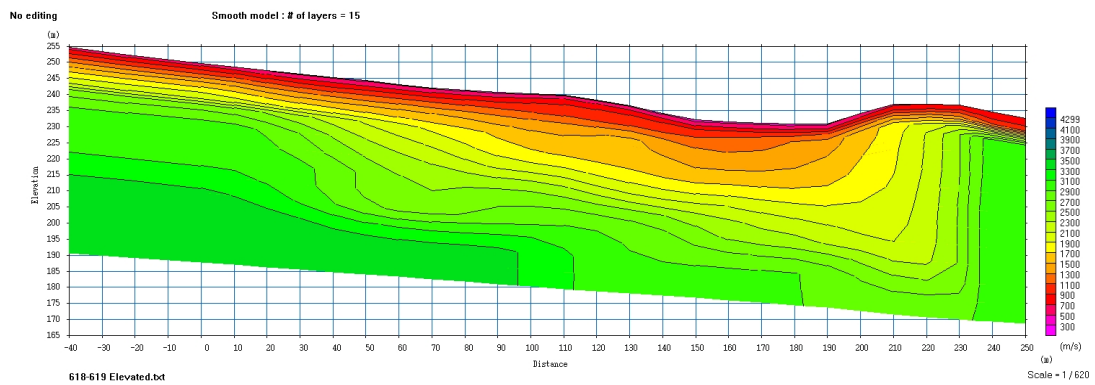
ML6



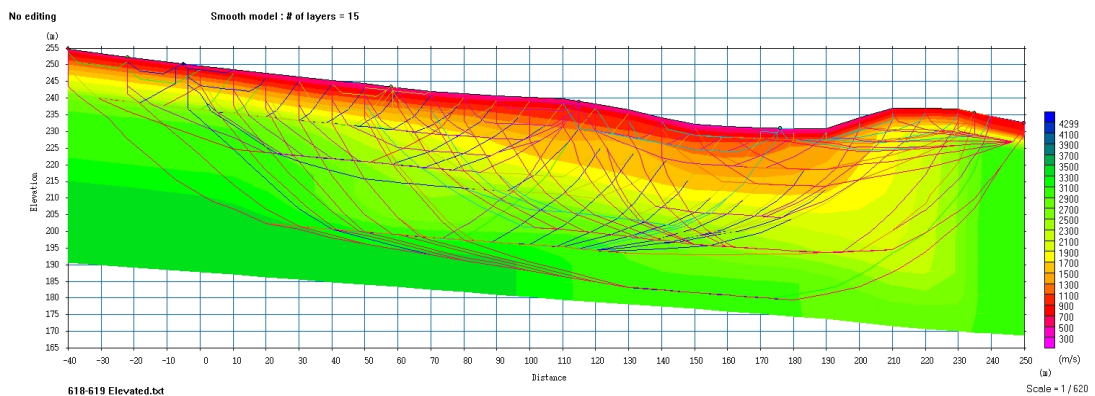
Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης ML6.



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης ML6.

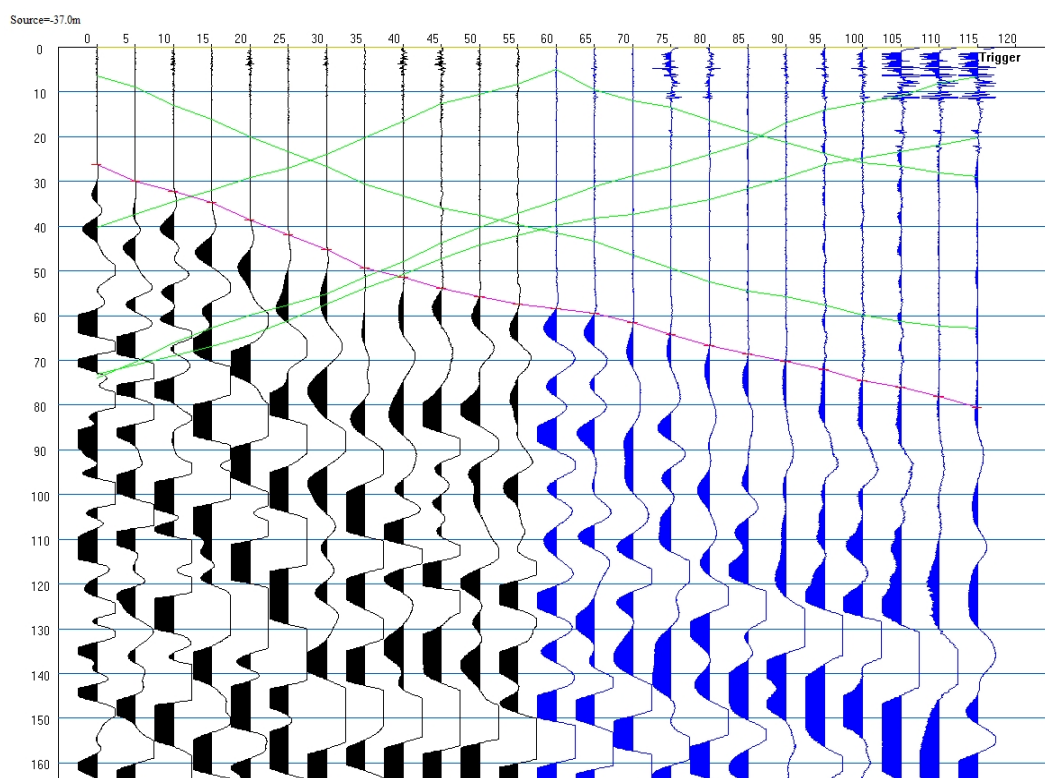


Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης ML6.

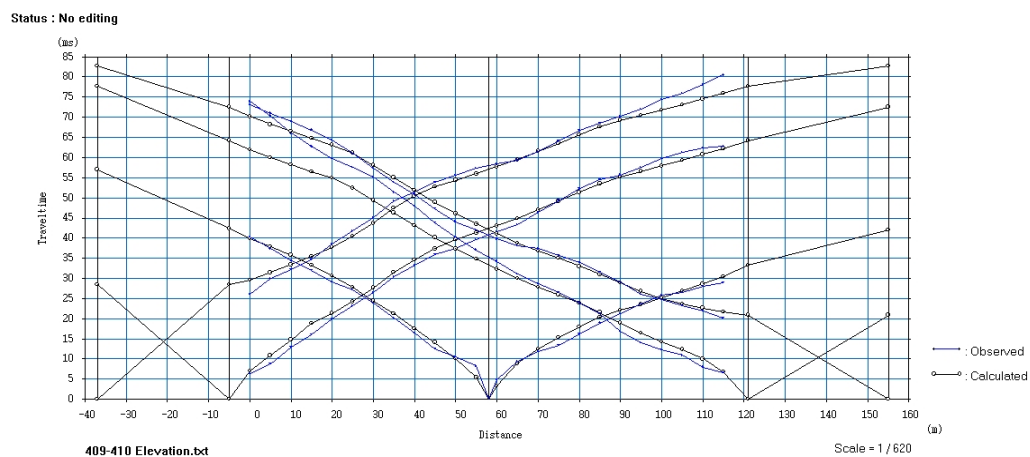


Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης ML6.

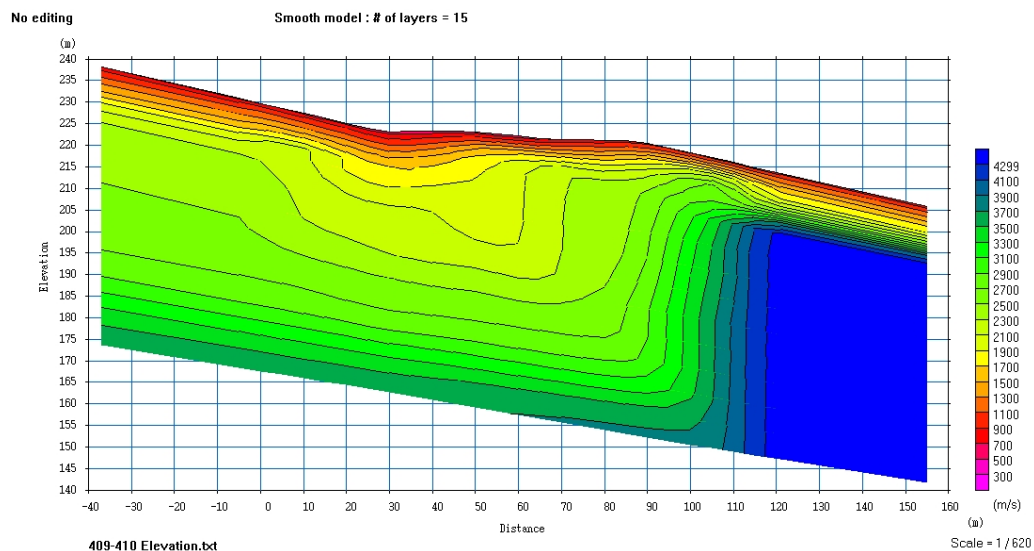
ML7



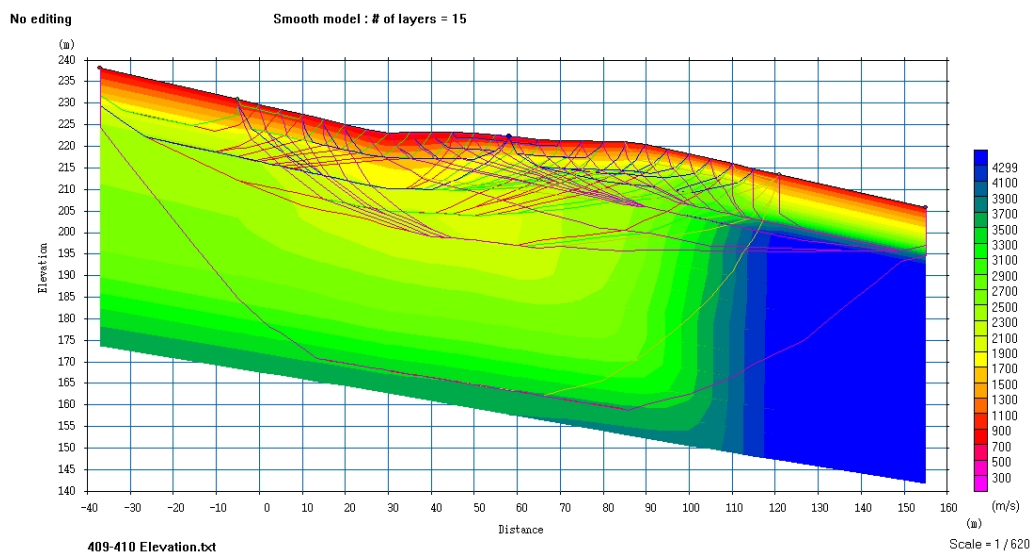
Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης ML7.



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης ML7.

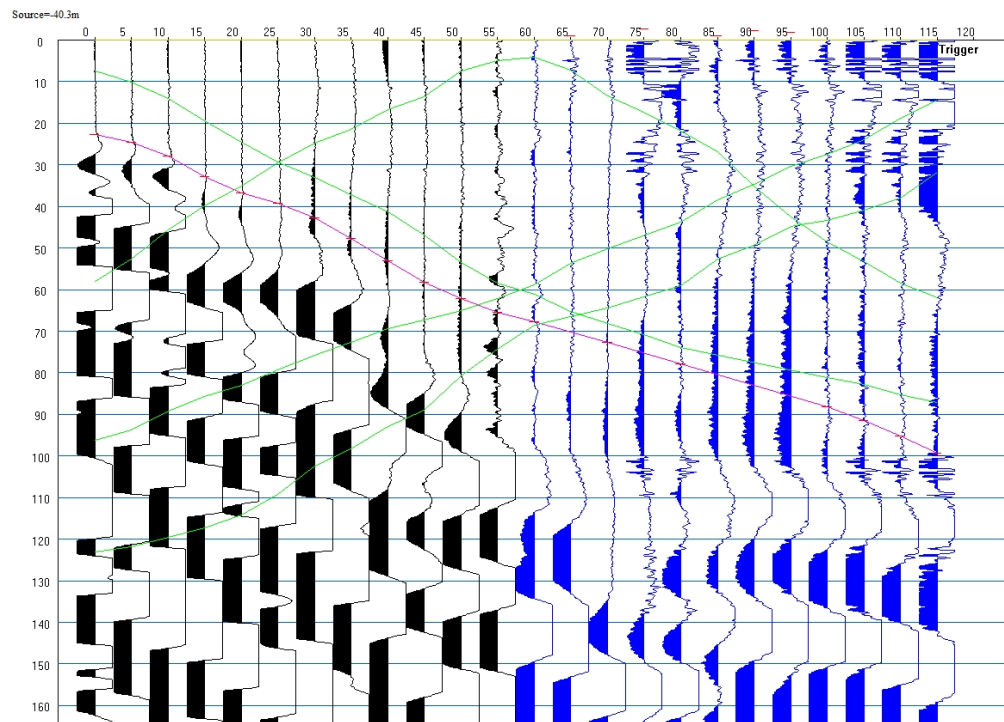


Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης ML7

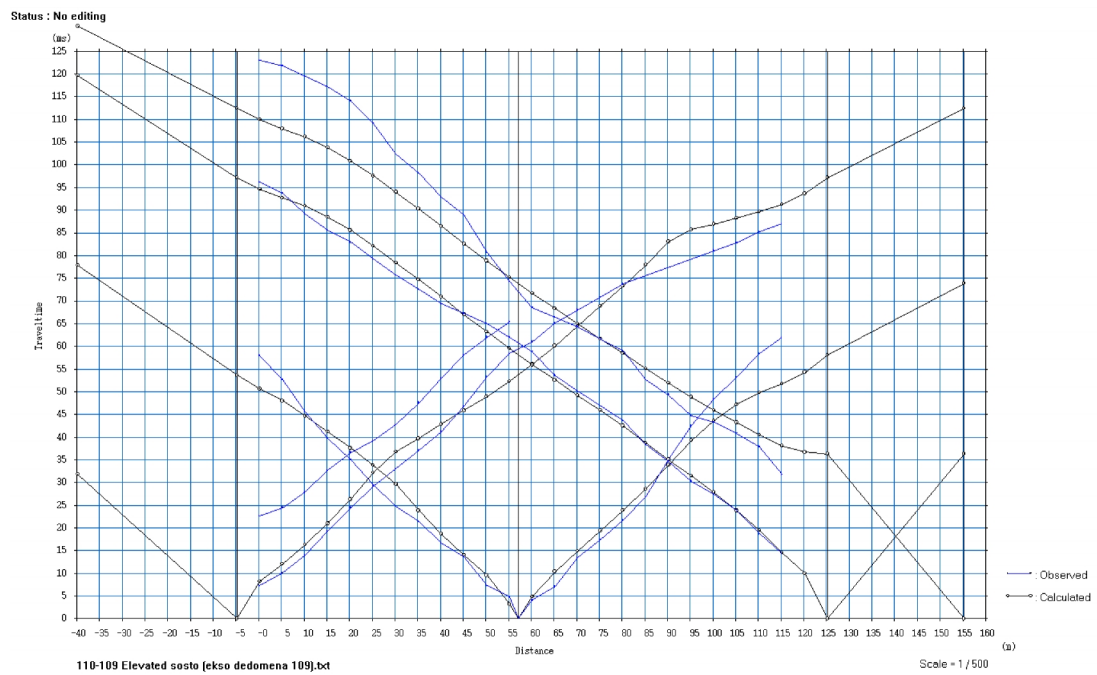


Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης ML7.

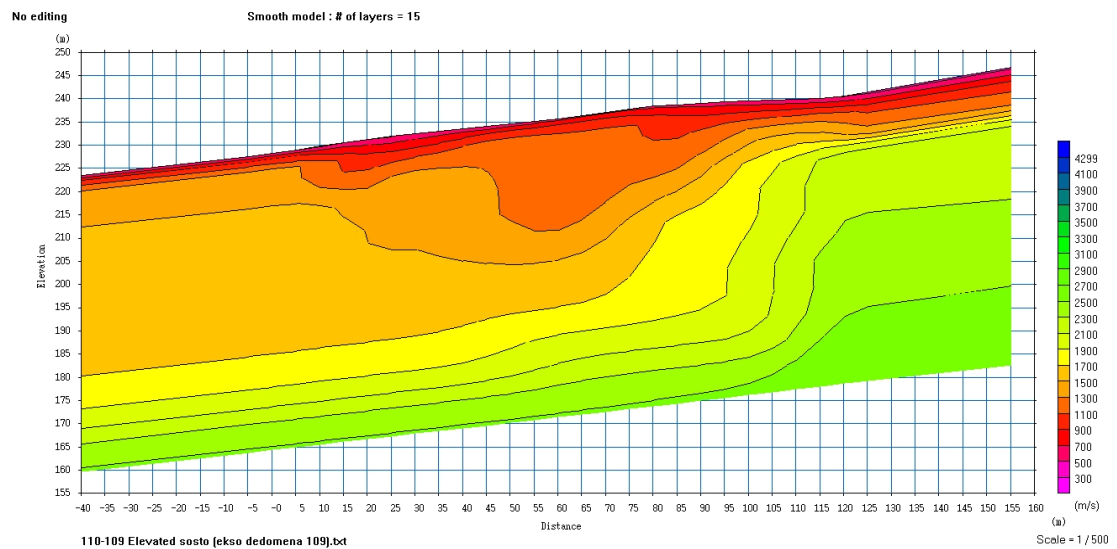
MT1



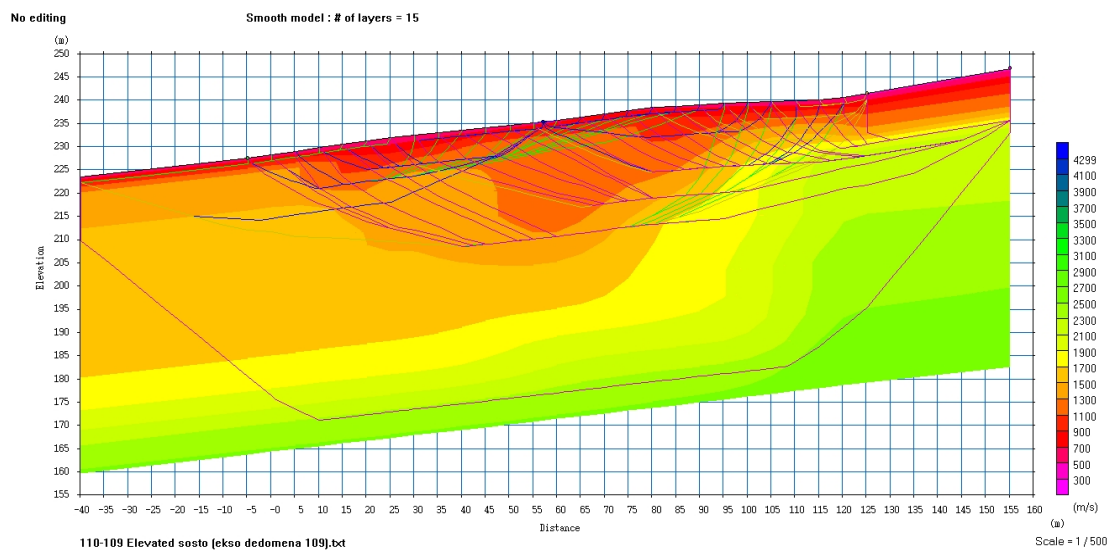
Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης MT1.



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης MT1.

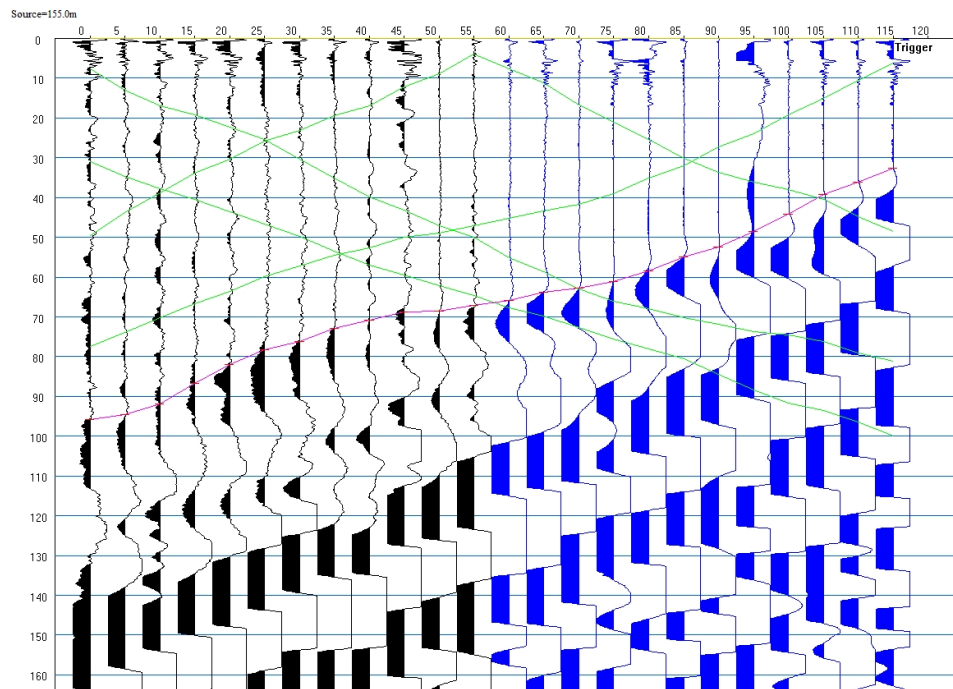


Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης MT1

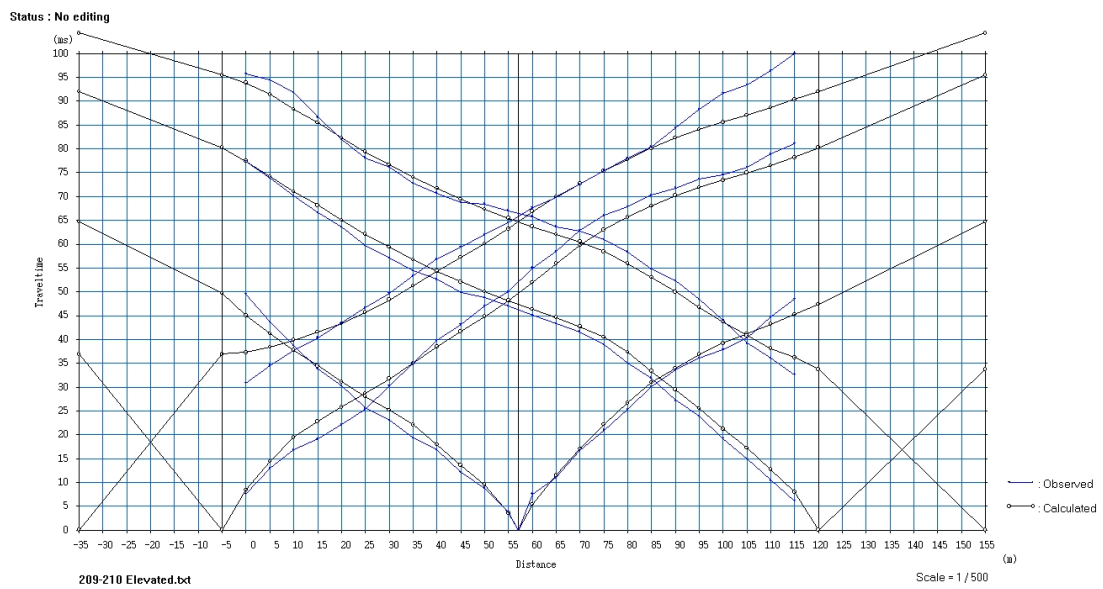


Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης MT1.

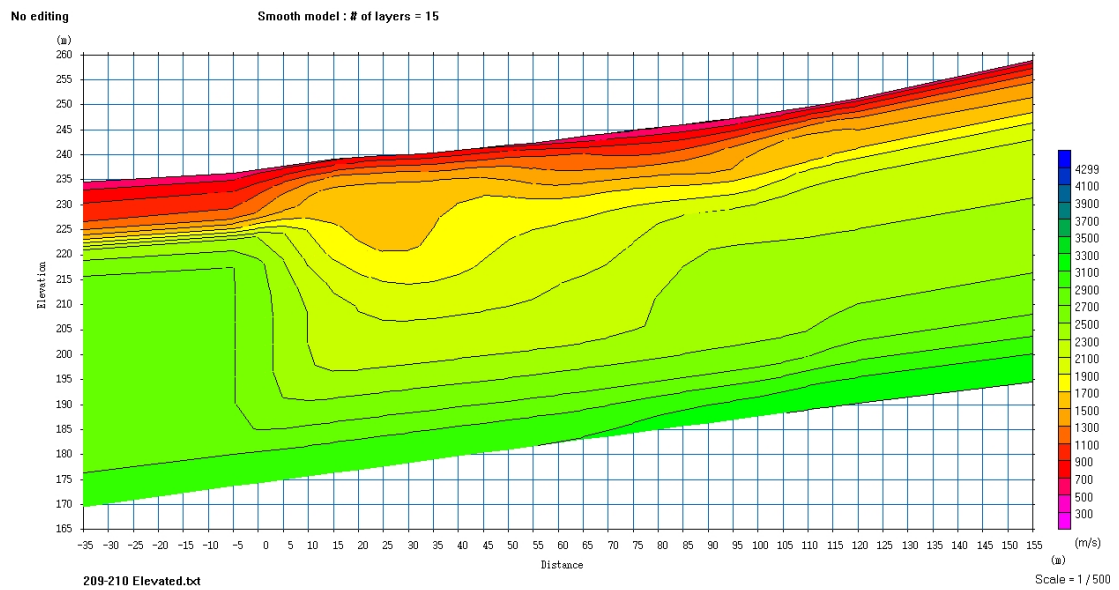
MT2



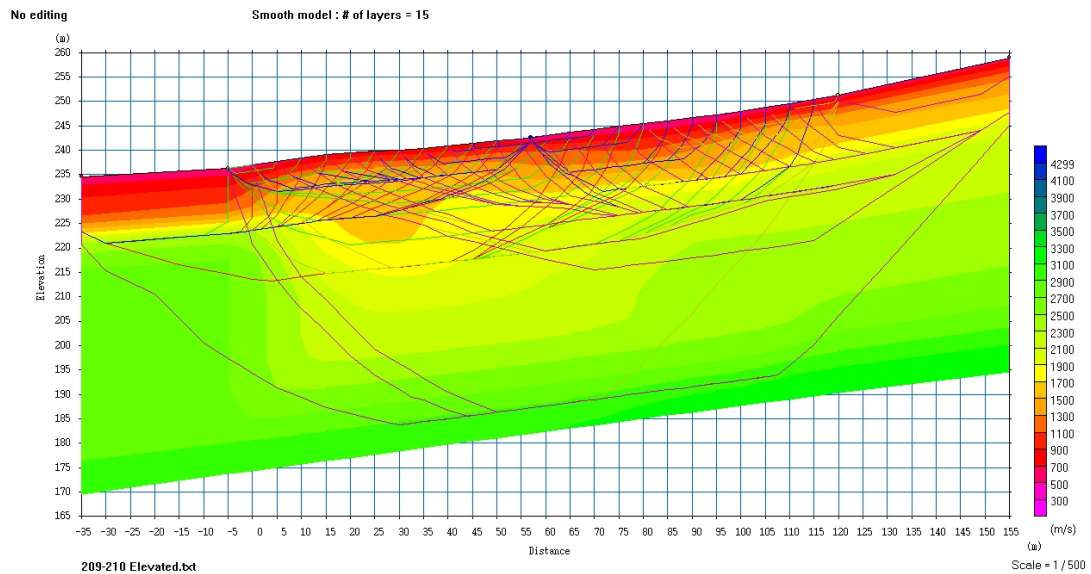
Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης MT2.



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης MT2.

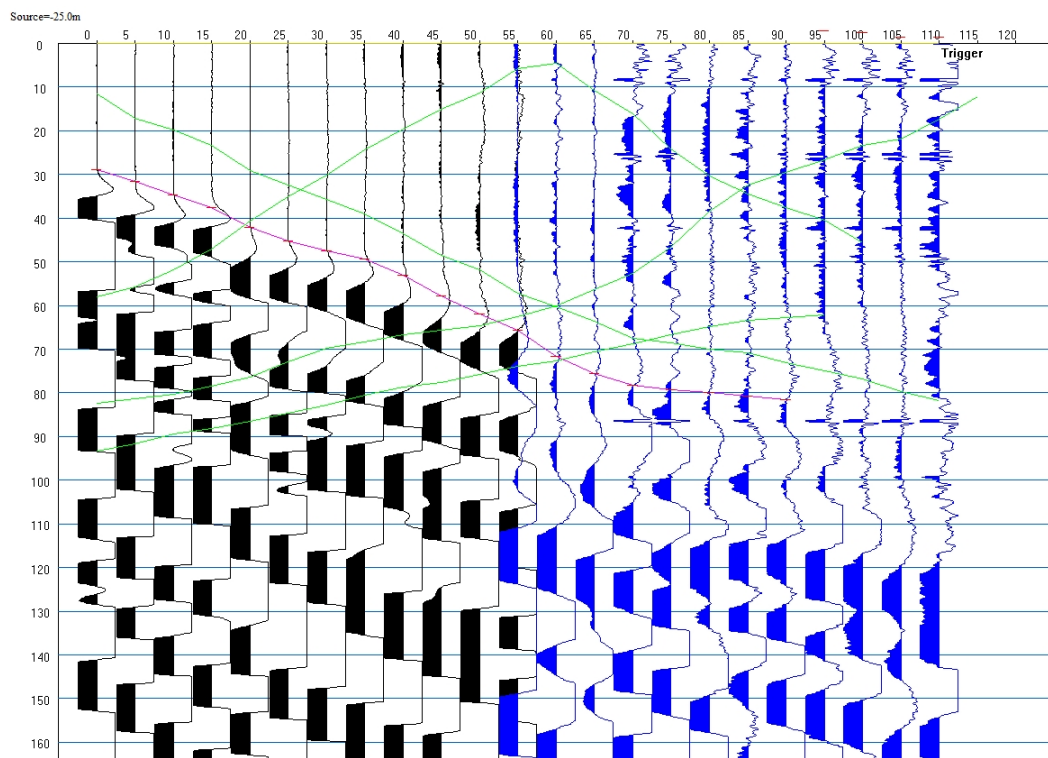


Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης MT2.

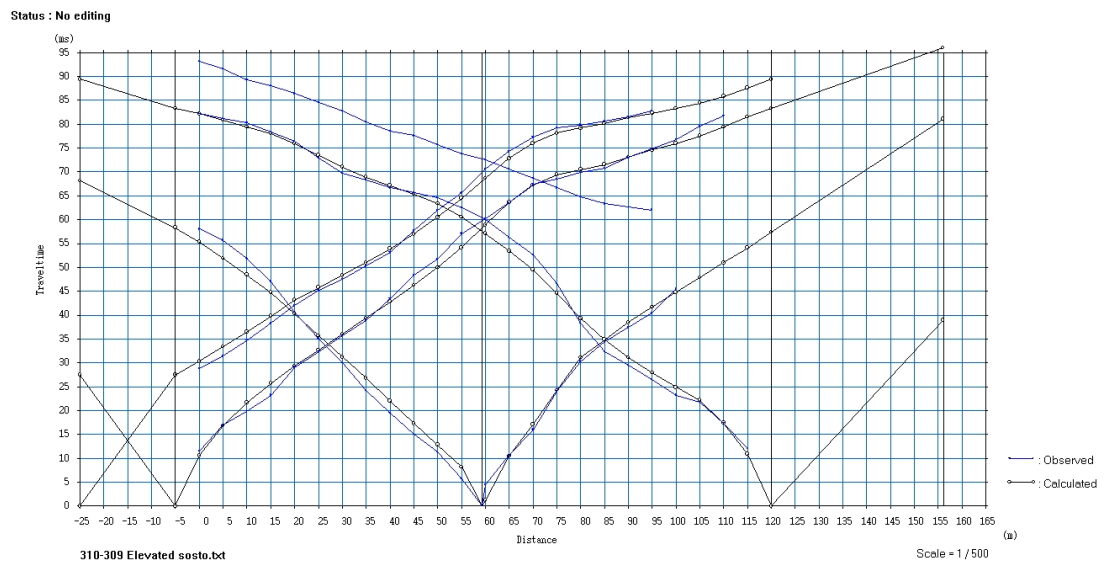


Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης MT2.

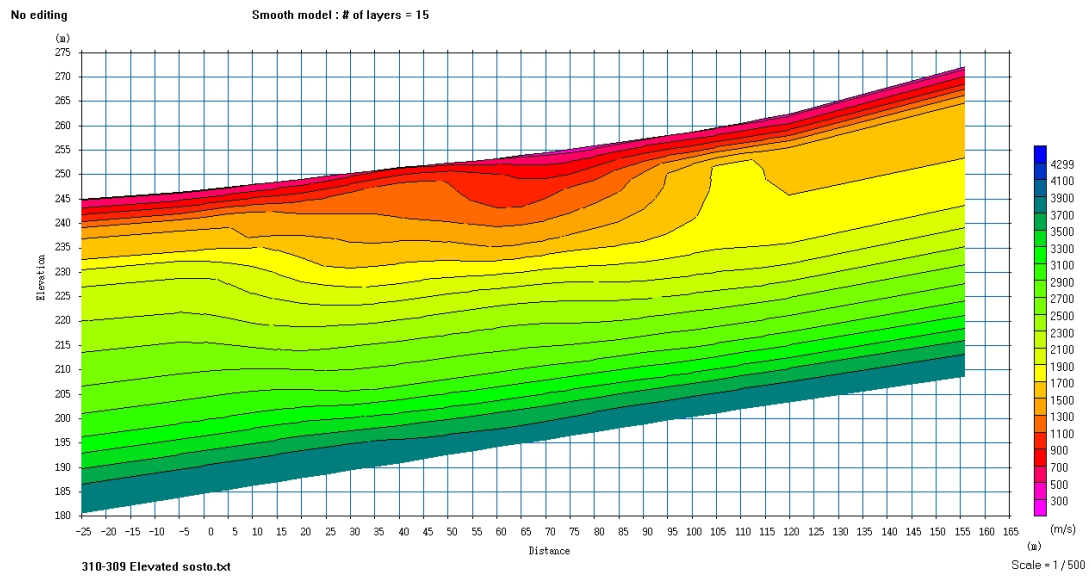
MT3



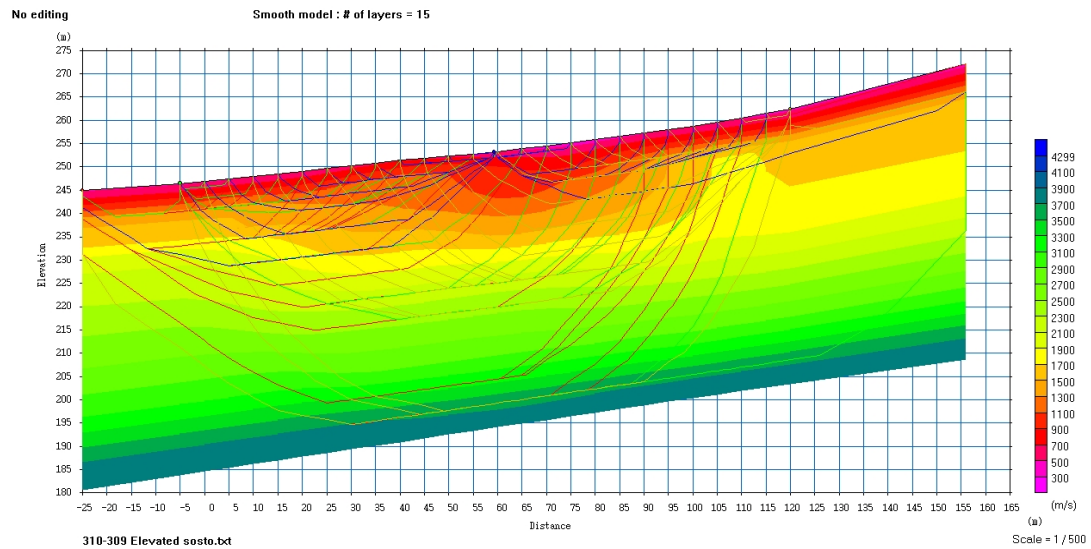
Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης MT3.



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης MT3.

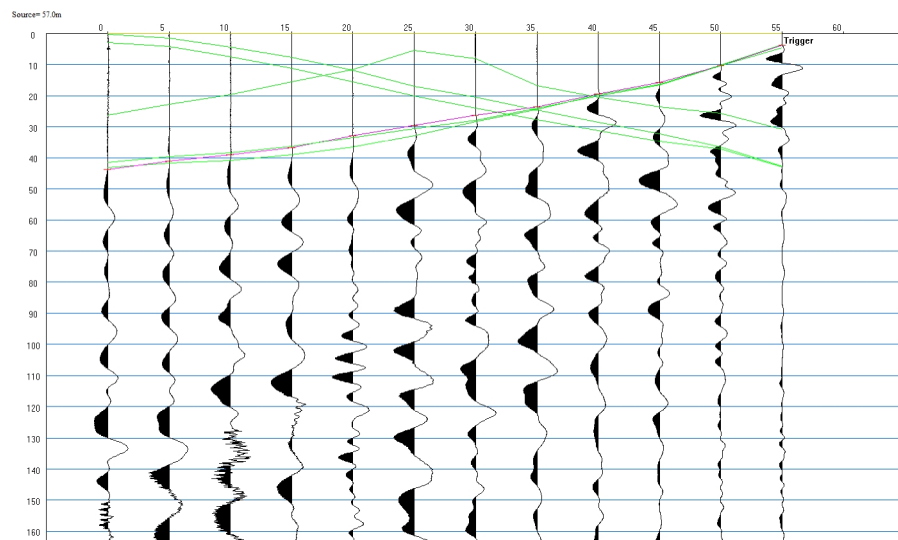


Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης MT3.



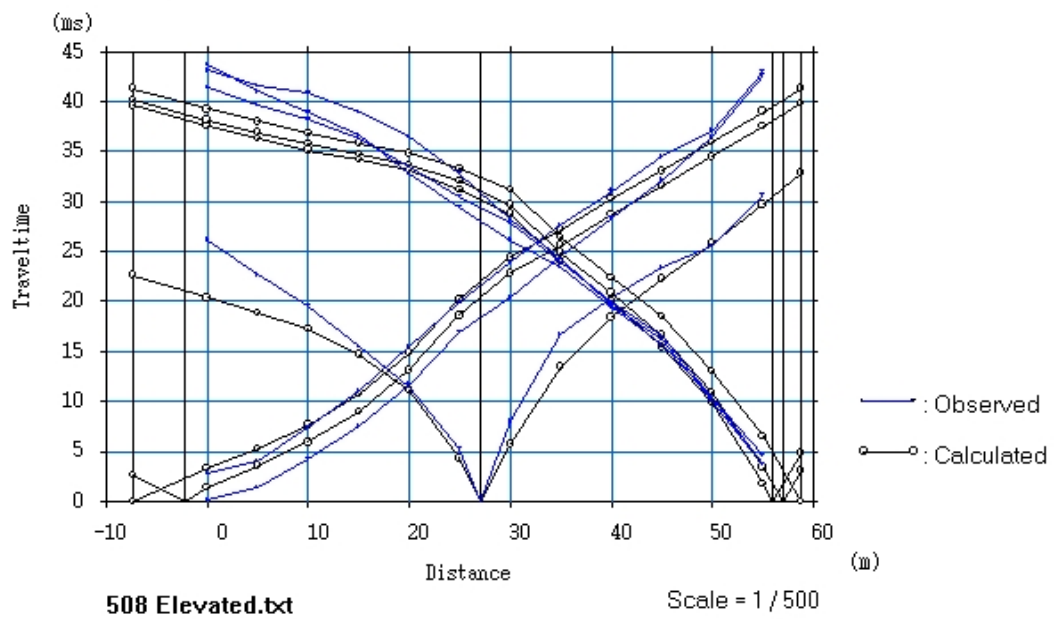
Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης MT3.

MT5

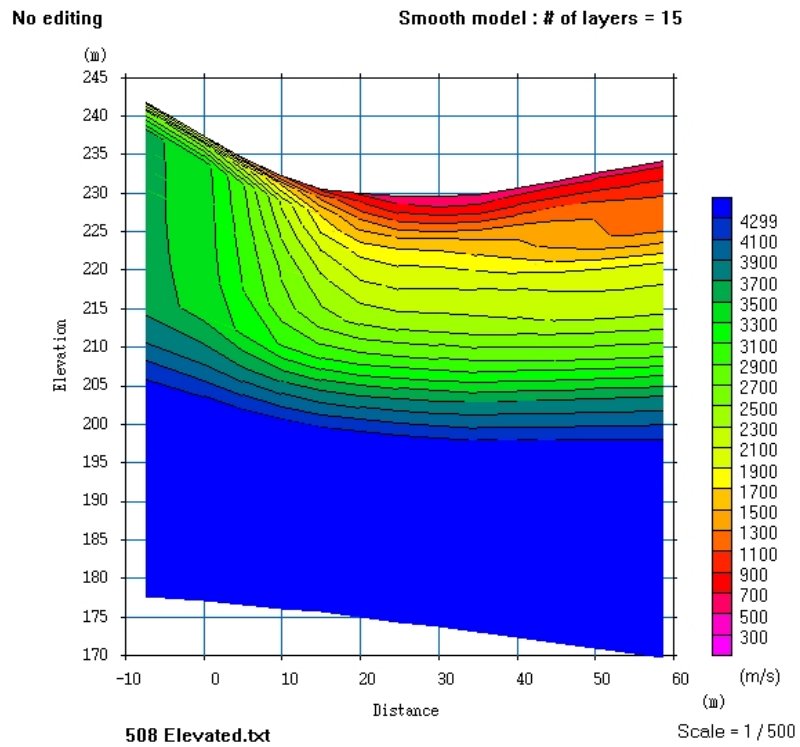


Καταγραφή πρώτων αφίξεων στη γραμμή μελέτης MT5.

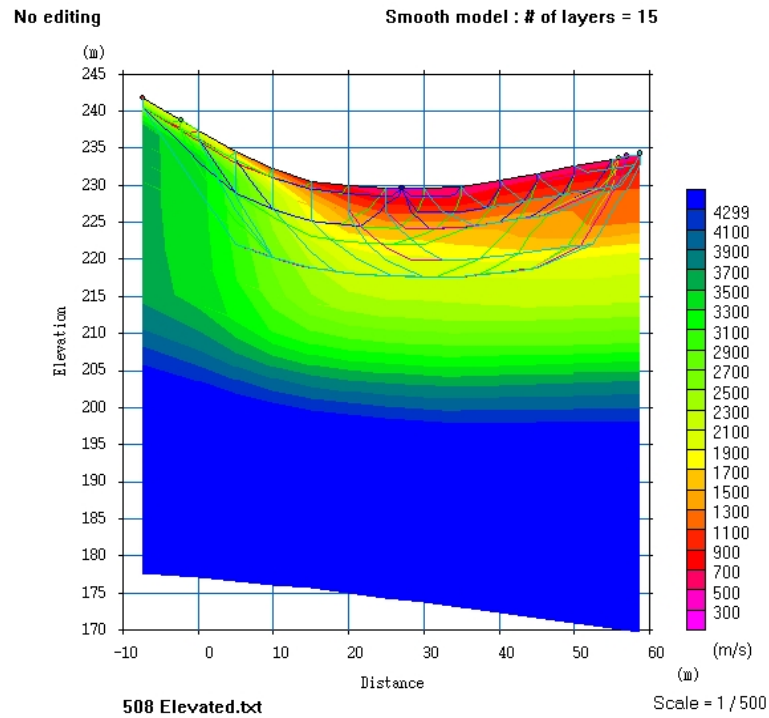
Status : No editing



Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής μελέτης MT5.



Μοντέλο Βάθους με εξομάλυνση και Ισοτίμων καμπύλων ταχύτητας της γραμμής μελέτης MT5.

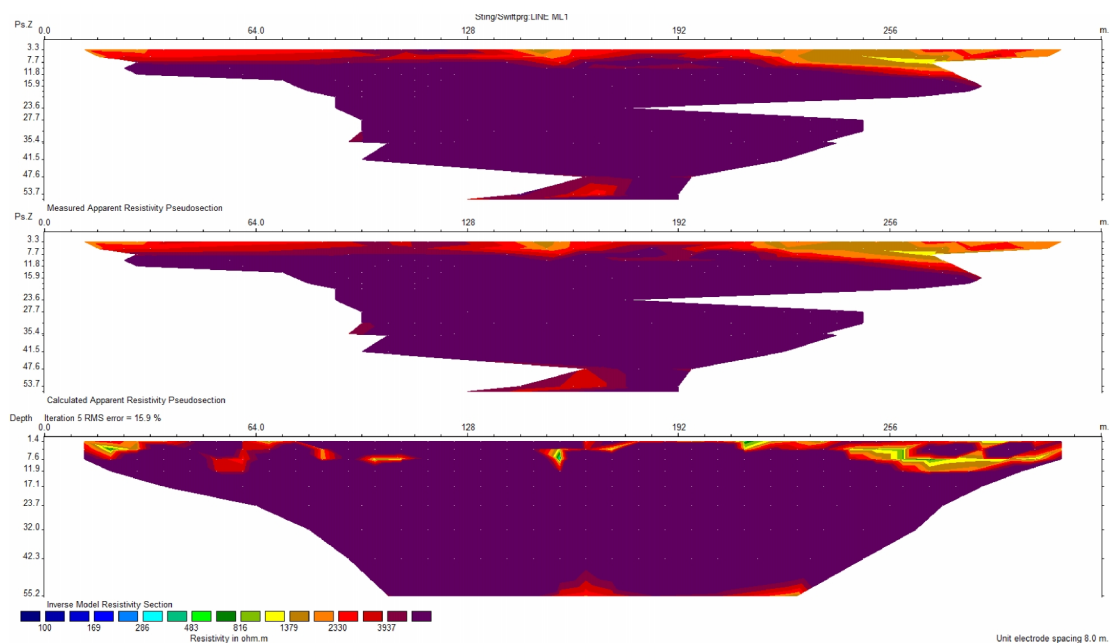


Σεισμικές ακτίνες στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης MT5.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

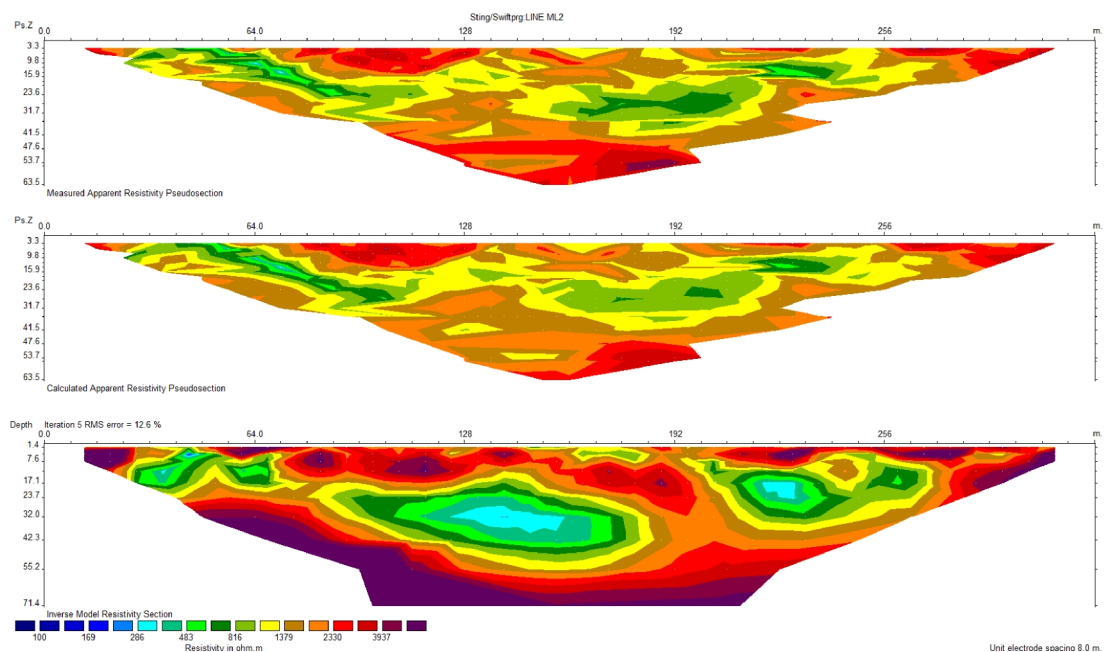
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ Res2dinv

ML1



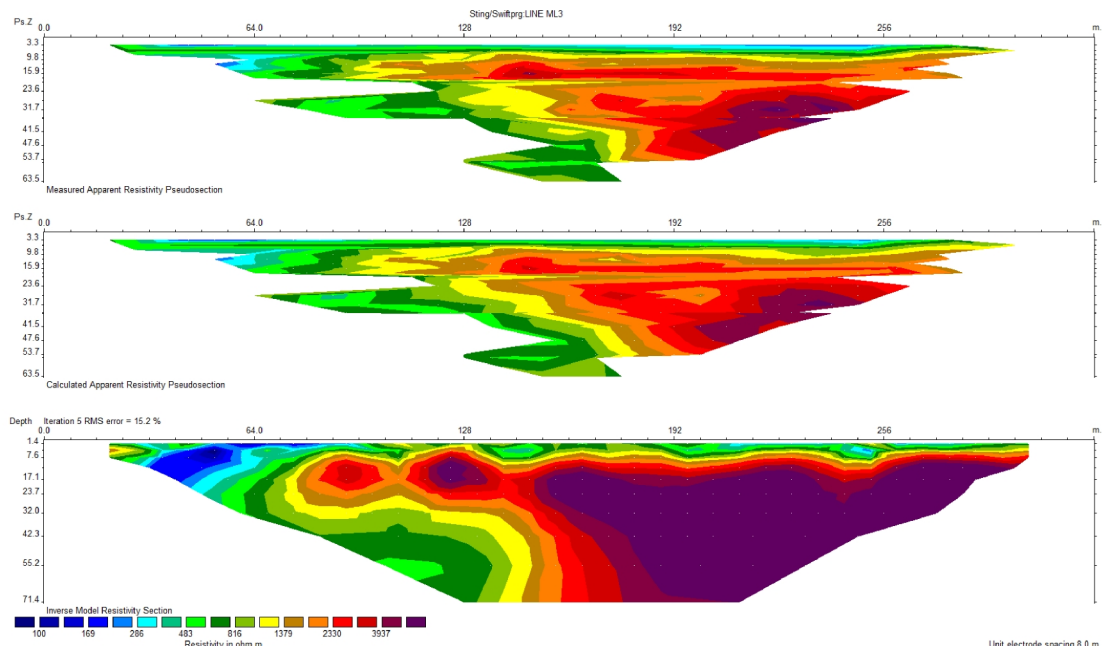
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης ML1.

ML2



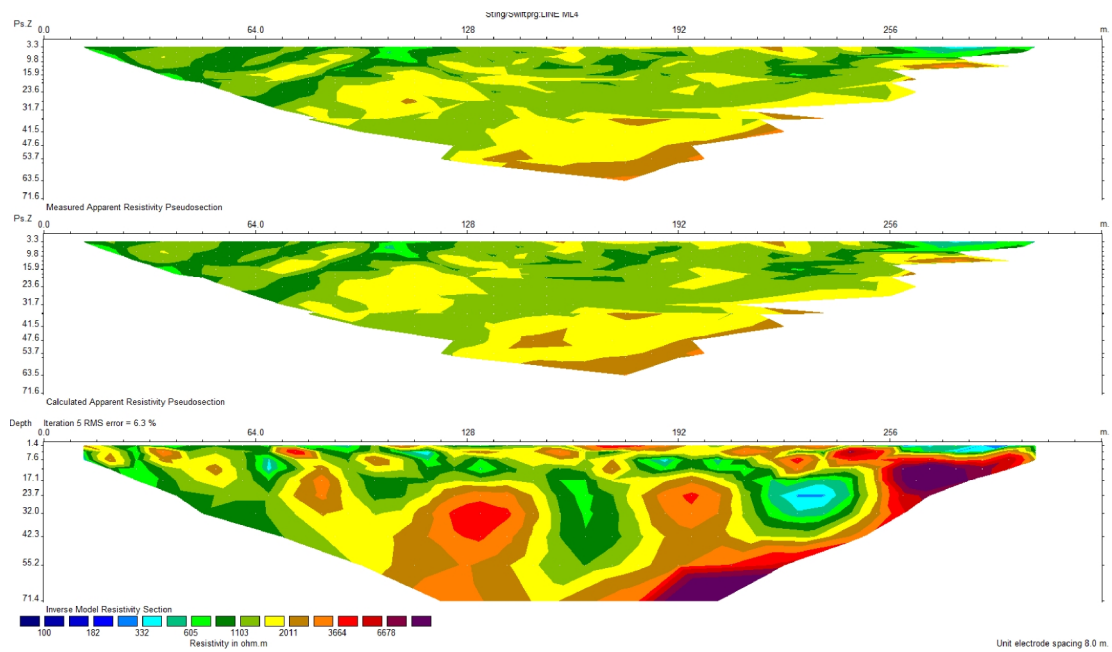
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης ML2.

ML3



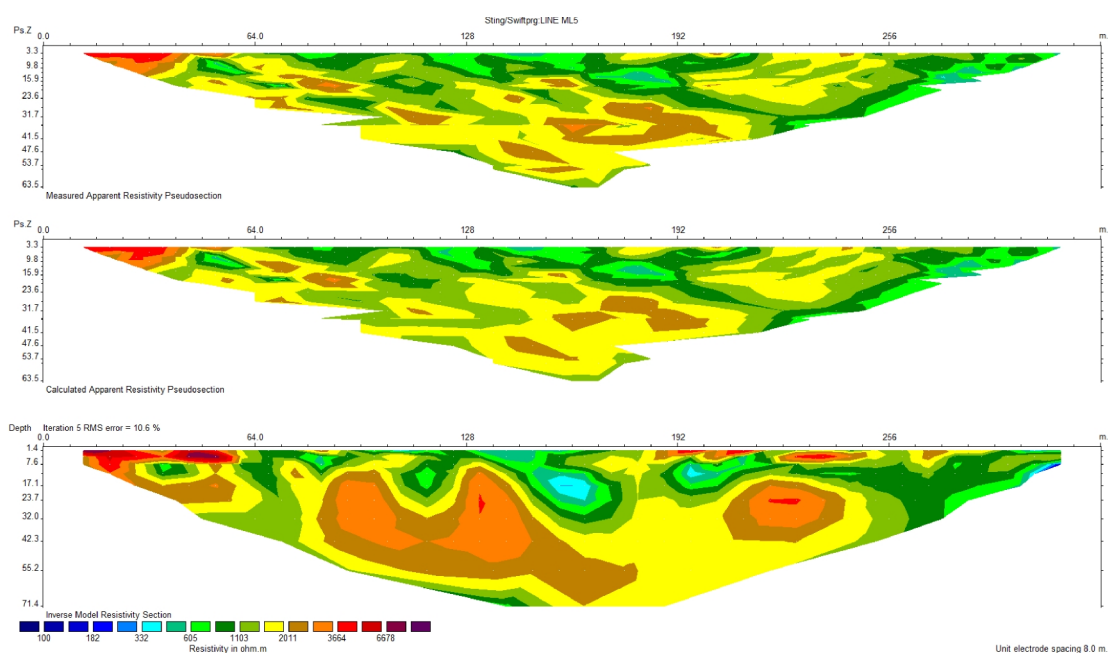
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης ML3.

ML4



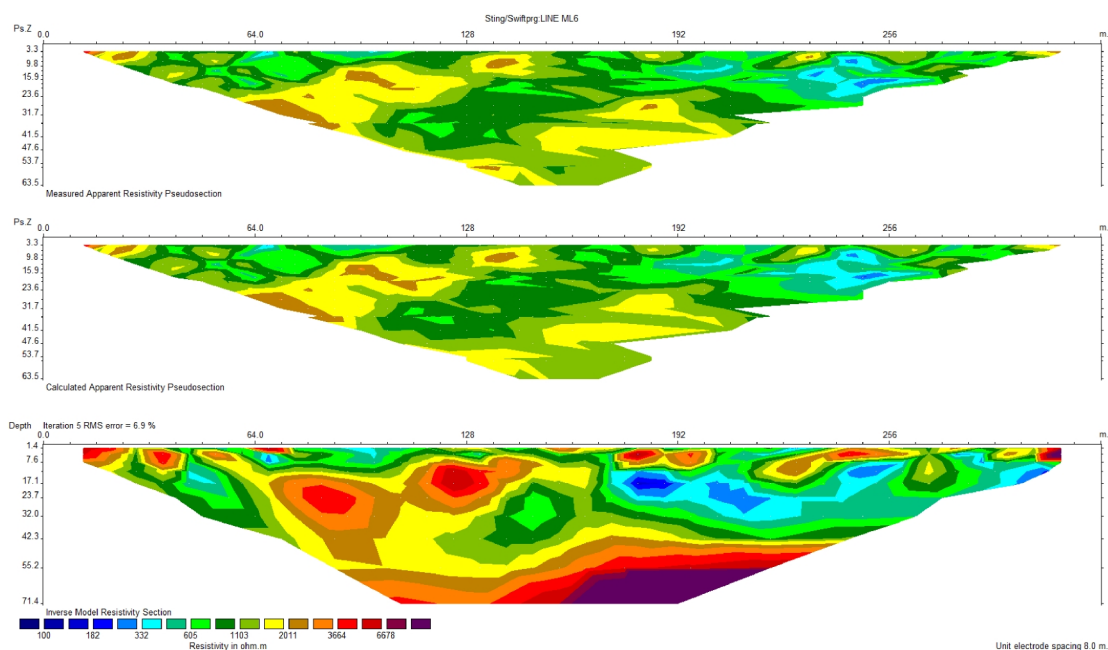
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης ML4.

ML5



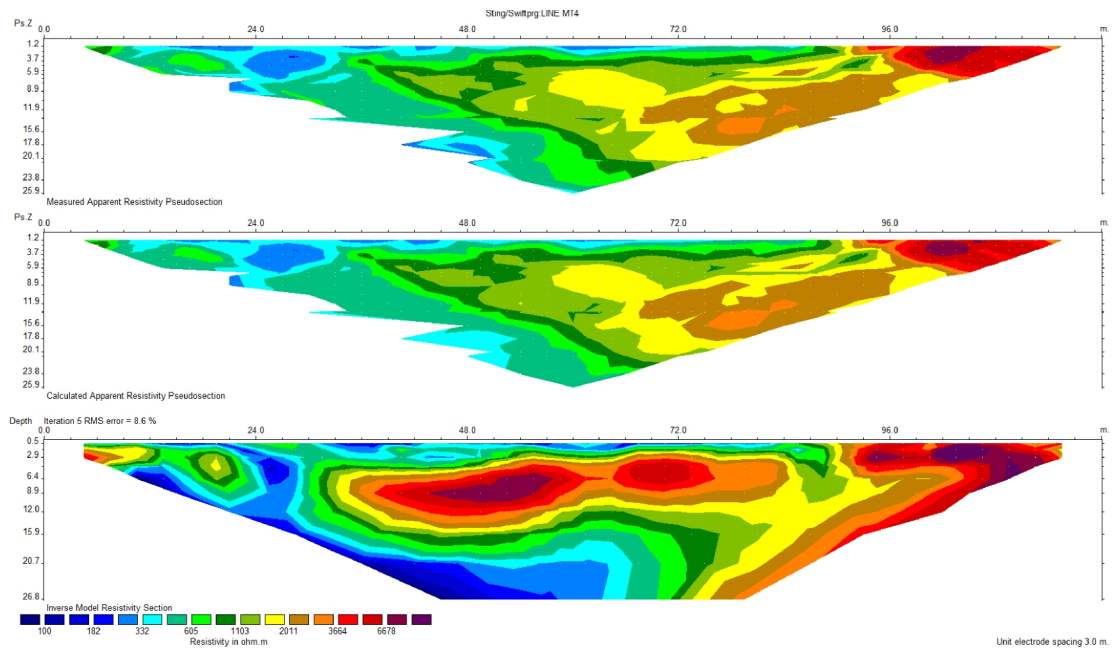
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης ML5.

ML6



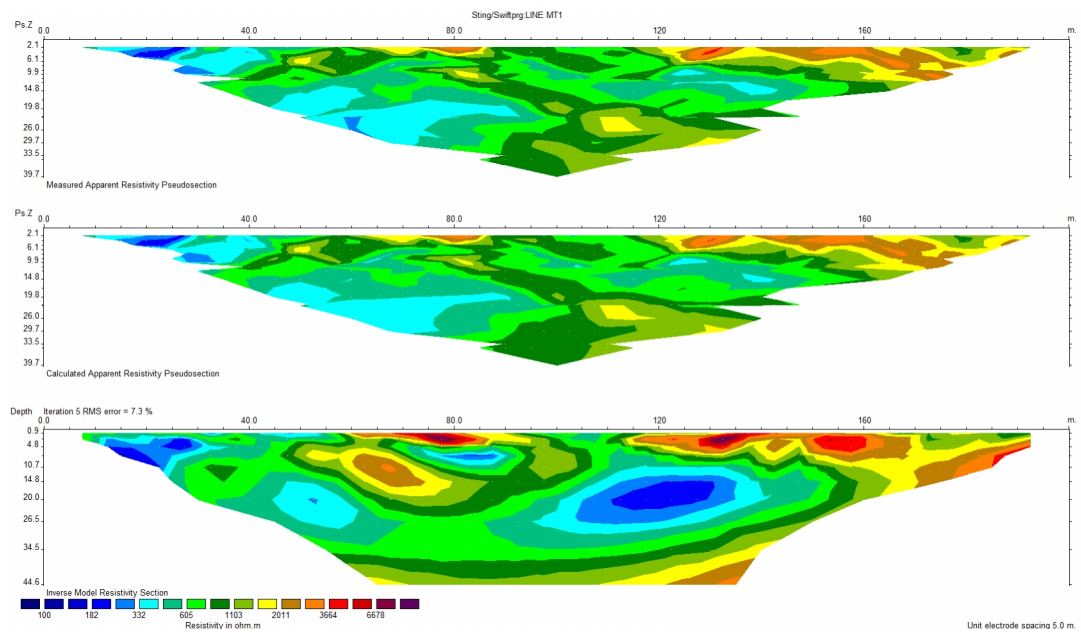
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης ML6.

ML7



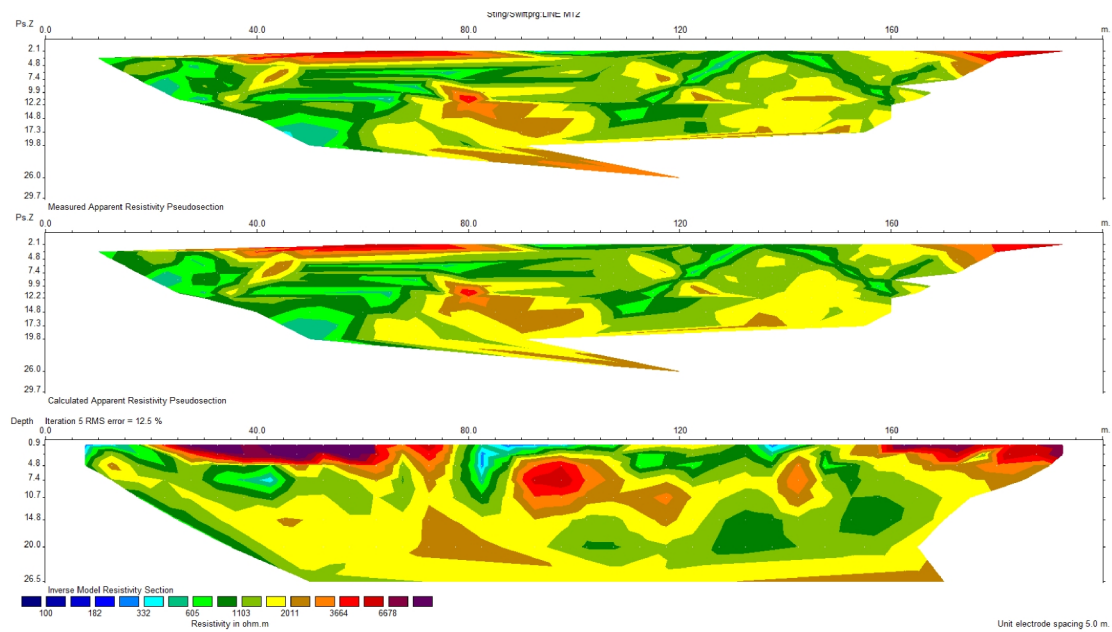
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης ML7.

MT1



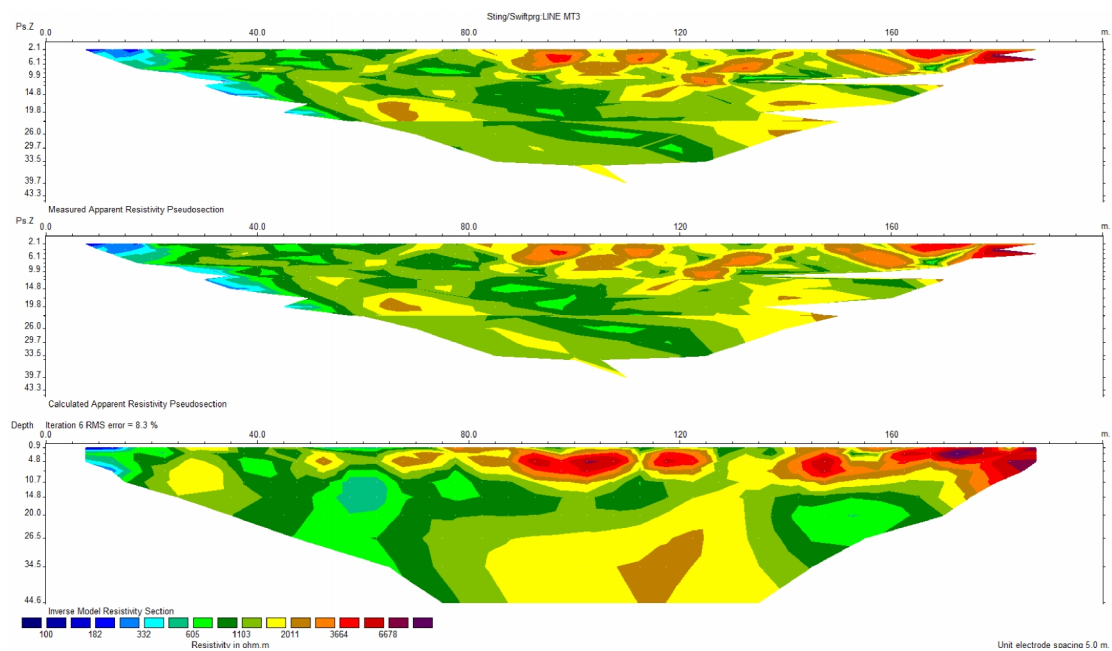
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης MT1.

MT2



Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης MT2.

MT3

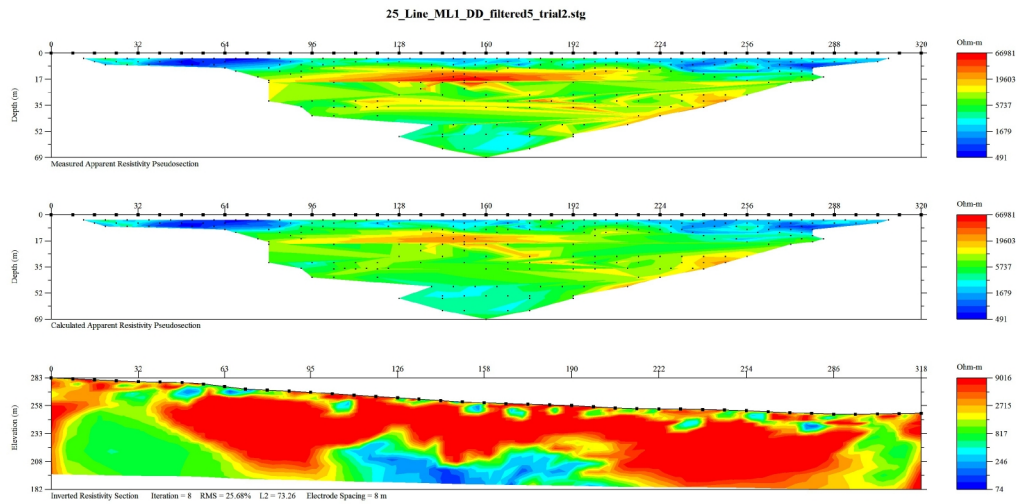


Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού Res2dinv για την γραμμή μελέτης MT3.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

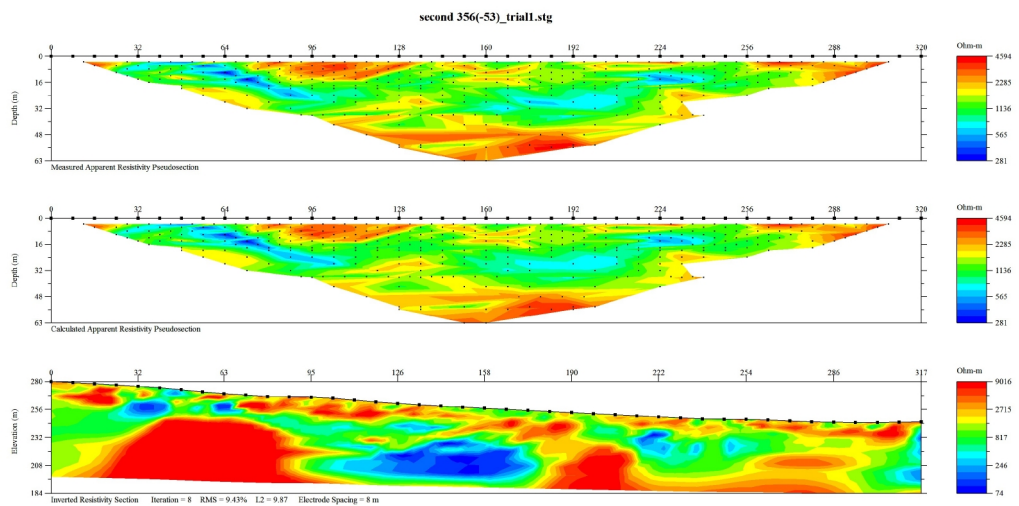
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ EarthImager2D

ML1



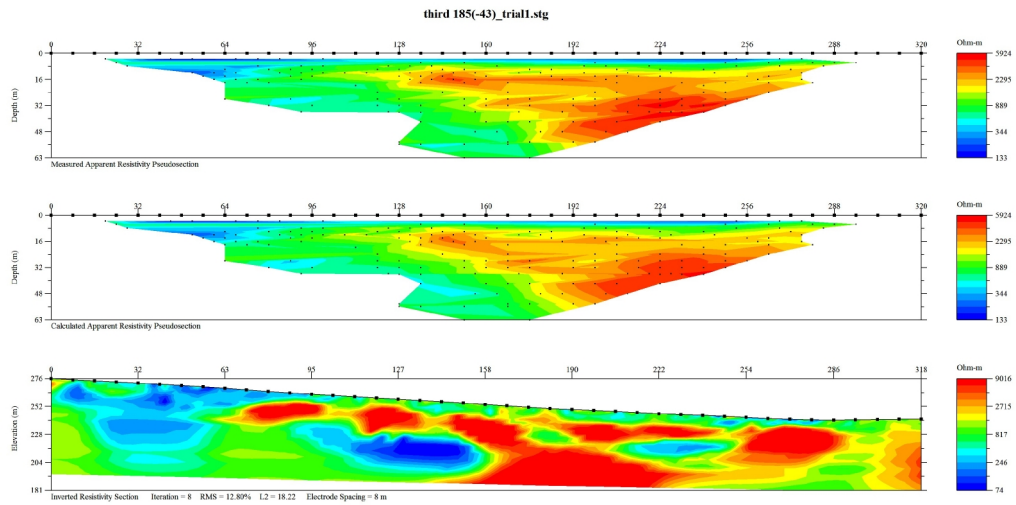
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης ML1.

ML2



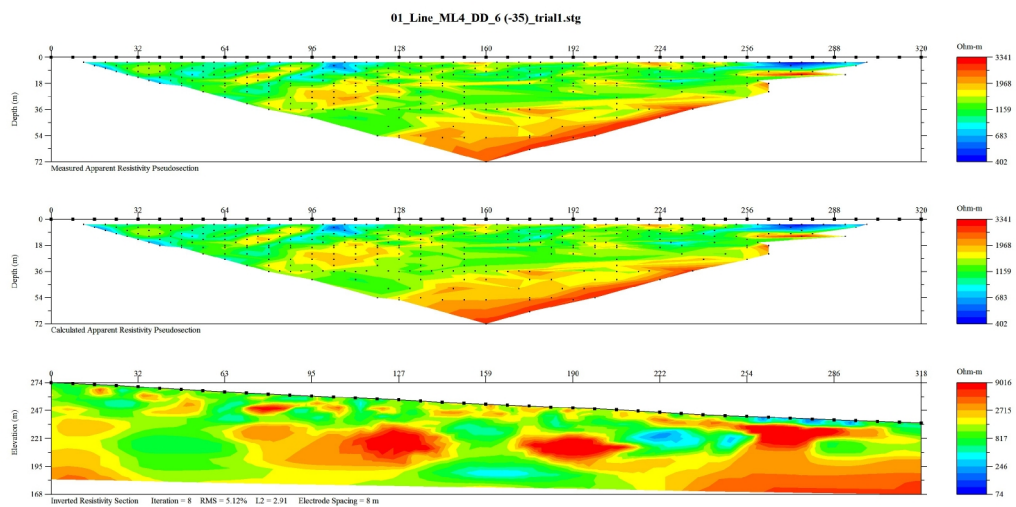
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης ML2.

ML3



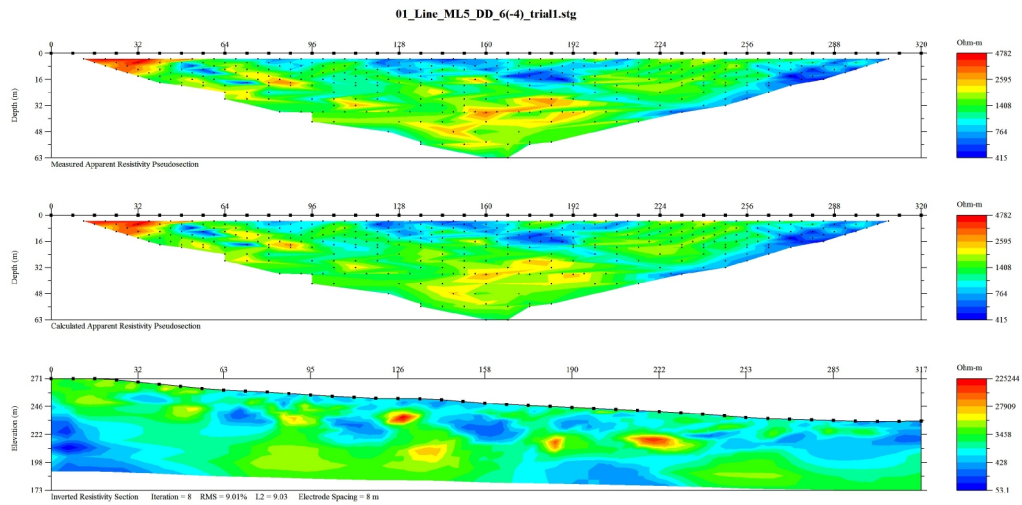
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης ML3.

ML4



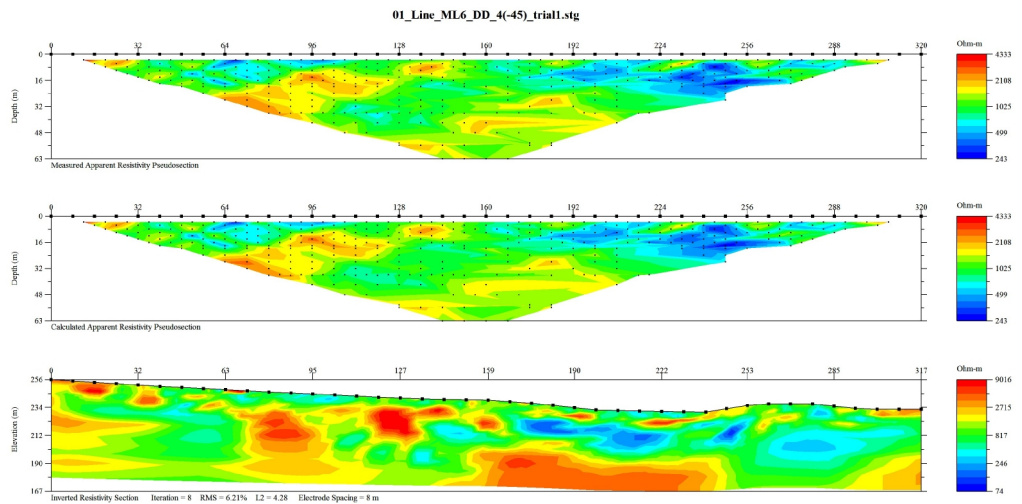
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης ML4.

ML5



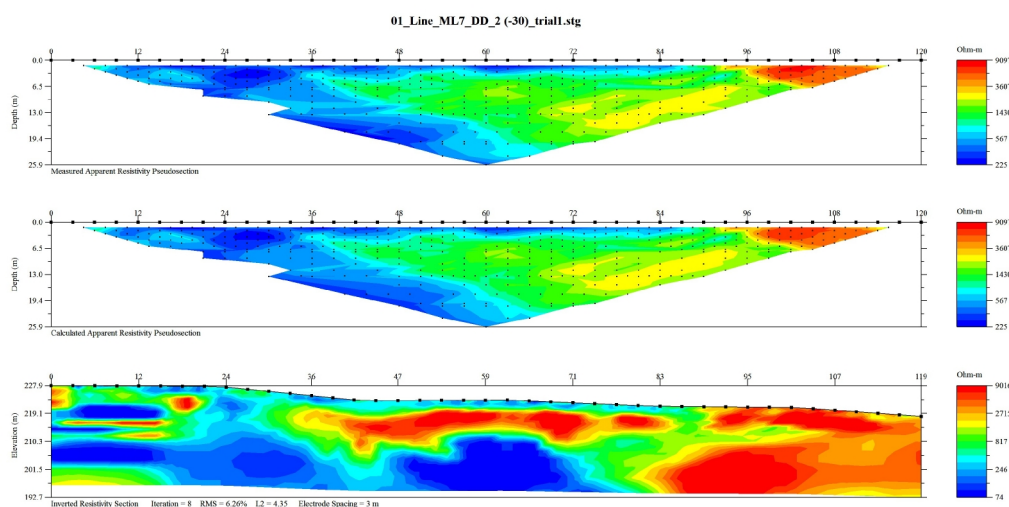
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης ML5.

ML6



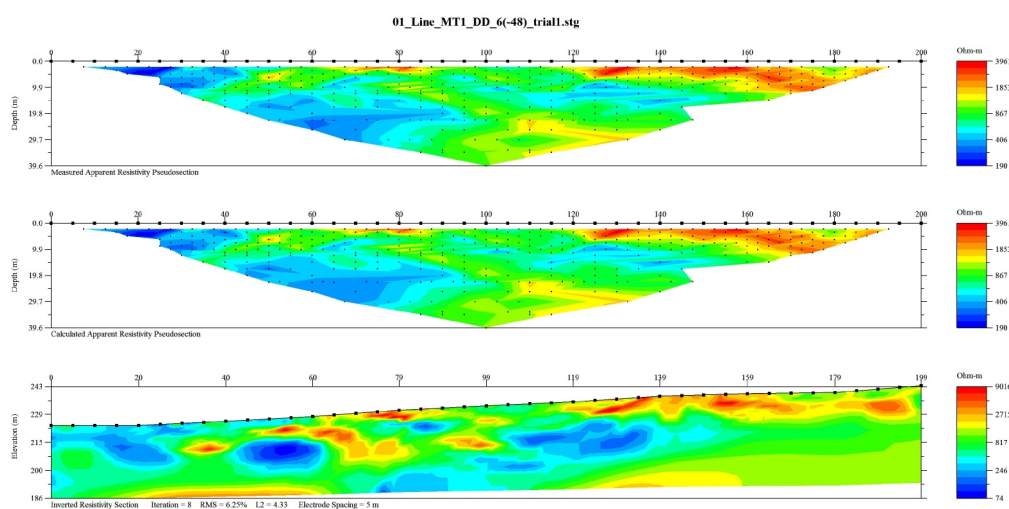
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης ML6.

ML7



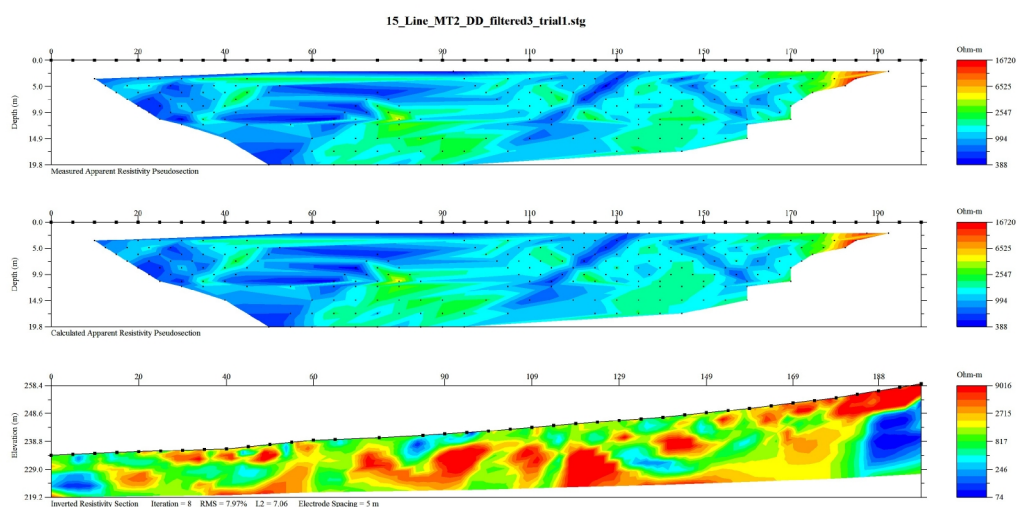
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης ML7.

MT1



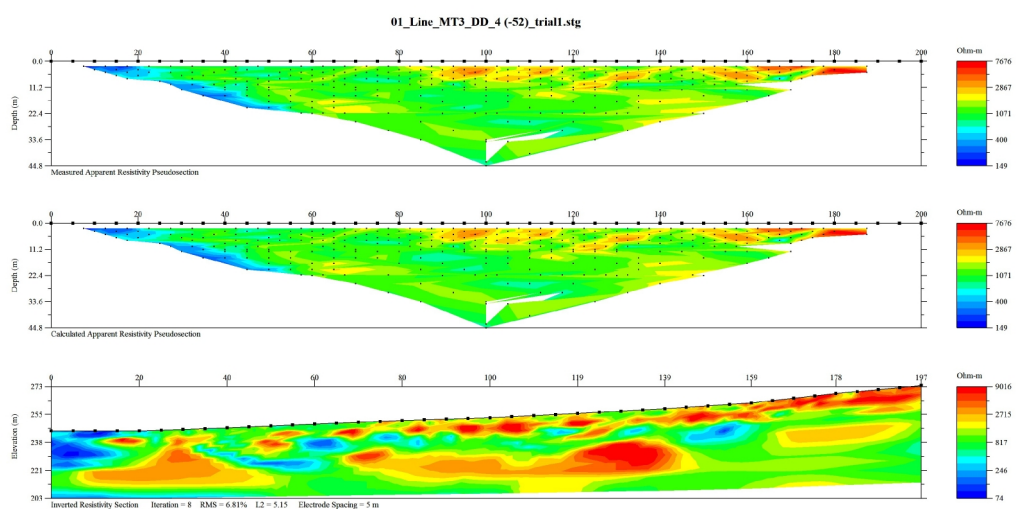
Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης MT1.

MT2



Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης MT2.

MT3



Ηλεκτρική τομογραφία του λογισμικού EarthImager2D για την γραμμή μελέτης MT3.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ EarthImager3D

[illegible]


```

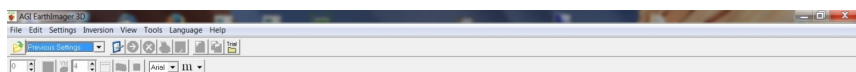
95     eofc=ftecl(Coord);
96     fseek(Coord,0,'a');
97     fgetl(Coord);%skip first line
98     fgetl(Coord);%skip second line
99     %-----
100     %IT MUST BE PROGRAMED TO CALCULATE (INTERPOLATION AND/OR EXTRAPOLATION) THE COORDINATES OF ALL ELECTRODES
101     %IF FEMER COORDINATES ARE GIVEN
102     %-----
103     cfl=1;
104     i=0;
105     while cfl==1;
106         i=i+1;
107         CRD(i,1)=fscanf(Coord,'%d',1); % read ID of Electrode
108         fseek(Coord,1,'a');
109         CRD(i,2)=fscanf(Coord,'%f',1); % X-coordinate
110         fseek(Coord,1,'a');
111         CRD(i,3)=fscanf(Coord,'%f',1); % Y-coordinate
112         fseek(Coord,1,'a');
113         CRD(i,4)=fscanf(Coord,'%f',1); % Z-coordinate
114         if eofc=ftecl(Coord)<10;
115             cfl=0;
116         end
117     end
118     fclose(Coord);
119     %Warn if elevation differences are greater than electrode spacing
120     if max(abs(diff(CRD(:,4))))>ElSp
121         warning('Elevation difference greater than electrode spacing was detected. This may cause problem!!!')
122     end
123
124     if size(CRD,1)<NoE;% electrode(s) is(are) missing
125         if misdata==0;%remove missing electrodes also from measurements
126             ElVe=1:NoE;
127             NoE=size(CRD,1);
128             msE=setdiff(ElVe,CRD(:,1));
129             for i=1:length(msE);
130                 for j=1:7
131                     stgE=size(STG,1);
132                     Ki=find(msE(i)==STG(:,j));
133                     Ki=setdiff(stgE,Ki);
134                     STG=STG(Ki,:);
135                 end
136             end
137
138             fprintf('Electrode removed: %d\n',msE);%display the removed electrodes
139             fprintf('Remaining measurements : %d\n',size(STG,1));%display the remaining measurements from this STG file
140
141             else %interpolate missing electrode coordinates (to be programmed)
142
143             end
144         end
145
146         for i=1:NoE
147             Geom(i+TNoE,1)=TNoE+i; %CRD(i,1)+; % Store coordinates of Electrodes
148             Geom(i+TNoE,2:4)=CRD(i,2:4); % Store coordinates of Electrodes
149         end
150
151         Meas(1+measNo:measNo+size(STG,1),1:4)=STG(:,4:7)+TNoE;%Store electrode positions (A B M N)
152         if neg2abs==1; %replace all negative values with the positive ones
153             Meas(1+measNo:measNo+size(STG,1),5)=abs(STG(:,1));%Store abs(V/I)
154         else
155             Meas(1+measNo:measNo+size(STG,1),5)=STG(:,1);%Store V/I
156         end
157         Meas(1+measNo:measNo+size(STG,1),6)=STG(:,3);%Store I
158         Meas(1+measNo:measNo+size(STG,1),7)=STG(:,2);%Store Error in %
159
160         TNoE=TNoE+NoE;
161         measNo=measNo+size(STG,1);
162
163         clear STG;
164     end %end of reading JEG files
165     fprintf('Total No of Measurements : %d\n',measNo);%display the remaining measurements from this STG file
166
167
168     [FN,PTH]=WriteURF(FILES,Geom,Meas); %Call the following function WriteURF to write the *.URF file
169
170     fclose('all');
171     %Display some statistical informations
172
173     %Display negative and POSITIVE values
174     figure;bar([-1 +1],[length(find(Meas(:,5)<0)) length(find(Meas(:,5)>=0))]);title('Positive and Negative measurements');xlabel('Negative - Positive');ylabel('No of samples');
175
176     %display Voltage distribution
177     minV=Meas(:,5).*Meas(:,6);
178     xx=[0.1 0.2 0.3 0.5 0.7 1 2 3 5 7 10];
179     figure;nn=hist(abs(minV(find(abs(minV)<=10))),xx);hist(abs(minV(find(abs(minV)<=10))),xx);hold on
180     pnn(1)=nn(1);for i=2:length(nn);pnn(i)=pnn(i-1)+nn(i);end
181     plot(xx,pnn,'-x');hold off
182     title('Voltage below 10 mV distribution');xlabel('Voltage (mV)');ylabel('No of samples');
183     clear pnn
184
185     %display abs(V/I) distribution
186     xx=[0.0001 0.0002 0.0003 0.0005 0.0007 0.001];
187

```

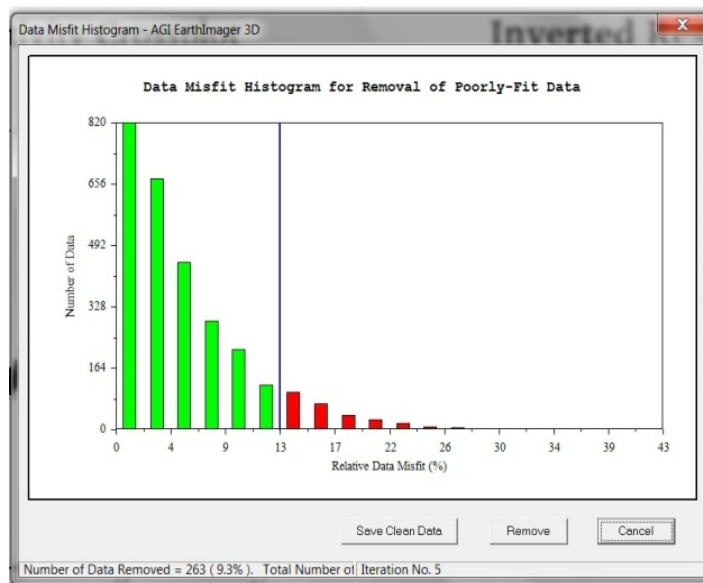
```

188 minV=Meas(:,5);
189 figure;nn=hist(abs(minV(find(abs(minV)<=0.001))),xx);hist(abs(minV(find(abs(minV)<=0.001))),xx);hold on
190 pnn(1)=nn(1);for i=2:length(nn);pnn(i)=pnn(i-1)+nn(i);end
191 plot(xx,pnn,'-gg');hold off
192 title('V/I below 0.0001 Ohm distribution');xlabel('V/I (Ohm)');ylabel('No of samples');
193 clear pnn;
194
195 %display error distribution
196 xx=[1 2 5 7 10];
197 minV=Meas(:,7);
198 figure;nn=hist(abs(minV(find(abs(minV)<=10))),xx);hist(abs(minV(find(abs(minV)<=10))),xx);hold on
199 pnn(1)=nn(1);for i=2:length(nn);pnn(i)=pnn(i-1)+nn(i);end
200 plot(xx,pnn,'-gg');hold off
201 title('Error below 10% distribution');xlabel('Error (%)');ylabel('No of samples');
202
203 %display Apparent resistivity distribution
204 %for i=1:size(Meas,1)
205 % AM=sqrt((Geom(Meas(i,1),2)-Geom(Meas(i,3),2))^2+(Geom(Meas(i,1),3)-Geom(Meas(i,3),3))^2+(Geom(Meas(i,1),4)-Geom(Meas(i,3),4))^2);
206 % BM=sqrt((Geom(Meas(i,2),2)-Geom(Meas(i,3),2))^2+(Geom(Meas(i,2),3)-Geom(Meas(i,3),3))^2+(Geom(Meas(i,2),4)-Geom(Meas(i,3),4))^2);
207 %AN=sqrt((Geom(Meas(i,1),2)-Geom(Meas(i,4),2))^2+(Geom(Meas(i,1),3)-Geom(Meas(i,4),3))^2+(Geom(Meas(i,1),4)-Geom(Meas(i,4),4))^2);
208 %BN=sqrt((Geom(Meas(i,2),2)-Geom(Meas(i,4),2))^2+(Geom(Meas(i,2),3)-Geom(Meas(i,4),3))^2+(Geom(Meas(i,2),4)-Geom(Meas(i,4),4))^2);
209 % Ra(i)=2*pi()*Meas(i,5)/(1/AM-1/BM)-(1/AN-1/BN);
210 %end
211 %figure;hist(Ra,100);title('Apparent Resistivity distribution');xlabel('Ra (Ohm.m)');ylabel('No of samples');
212
213 return %and terminate function
214
215
216 function [FN,PTH]=WriteURF(FILES,Geom,Meas);
217
218 [FN,PTH] = uiputfile('*.URF','Save URF File'); %save read measurements to *.URF file...
219 if FN==0 & PTH==0; %If "Cancel" button is pressed in uiputfile then no file is written
220 FN=[]; %return empty output ...
221
222 PTH=[];
223 return
224 end
225 cd(PTH);
226
227 FNtrn=[FN(1:length(FN)-1),'.TRN'];
228
229 repl = fopen(FN,'wt'); %Open a new ASCII file to write *.URF file
230 rep2 = fopen(FNtrn,'wt'); %Open a new ASCII file to write *.TRN (terrain) file
231 fprintf(repl,'%s\n','This is a 3D Universal Resistivity Data File deduced from STG Files:');%Write first row (characters)
232 fprintf(rep2,'%s\n','This is a 3D terrain File for STG Files:');%Write first row (characters)
233 for i=1:length(FILES)
234 fprintf(repl,'%s ','',FILES(i));
235 fprintf(rep2,'%s ','',FILES(i));
236 end
237 fprintf(repl,'%s\n','');%Return to next (3rd) line
238 fprintf(rep2,'%s\n','');%Return to next (3rd) line
239 fprintf(repl,'%s\n','Unit: meters');
240 fprintf(rep2,'%s\n','Unit: meters');
241 fprintf(repl,'%s\n','1 for map coordinate (projected distance), 2 for slope distance (tape measure), multiple 2D parallel lines and 3 for slope distance (tape measure), a true 3D survey with cables snaked around.');
```

Κώδικας Matlab για μετατροπή πολλαπλών αρχείων δισδιάστατης Ηλεκτρικής Τομογραφίας (*.stg), σε ένα αρχείο τρισδιάστατης Ηλεκτρικής Τομογραφίας (*.url) όπου περιέχει όλα δεδομένα της γεωηλεκτρικής διασκόπησης μαζί και ένα αρχείο αναγλύφου (*.tn) όπου περιέχει πληροφορίες για το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης.



Λειτουργικό περιβάλλον λογισμικού πακέτου EarthImager3D.



Παράθυρο αφαίρεσης μετρήσεων με υψηλό σφάλμα (Resistivity Misfit Histogram)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΣΕΙΣΜΙΚΑ)

ML1 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636064,699	3903141,116	279,365
2	10	636070,957	3903148,916	278,857
3	20	636077,214	3903156,717	278,327
4	30	636083,297	3903164,654	275,395
5	40	636089,385	3903172,586	272,568
6	50	636095,563	3903180,450	271,476
7	60	636101,741	3903188,313	270,352
8	70	636107,940	3903196,160	268,670
9	80	636114,159	3903203,991	267,007
10	90	636120,649	3903211,599	265,605
11	100	636127,119	3903219,222	264,205
12	110	636133,253	3903227,120	262,838
13	120	636139,389	3903235,016	261,473
14	130	636145,677	3903242,792	260,345
15	140	636151,964	3903250,568	259,217
16	150	636158,209	3903258,379	258,503
17	160	636164,454	3903266,189	257,787
18	170	636170,860	3903273,868	256,406
19	180	636177,261	3903281,551	255,103
20	190	636183,603	3903289,282	254,917
21	200	636189,946	3903297,013	254,731
22	210	636195,729	3903305,172	254,232
23	220	636201,511	3903313,330	253,732
24	230	636207,828	3903321,082	252,555

ML2 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636067,602	3903176,964	268,464
2	10	636073,879	3903184,748	267,007
3	20	636080,151	3903192,537	266,643
4	30	636086,422	3903200,326	266,293
5	40	636092,664	3903208,139	264,334
6	50	636098,905	3903215,952	262,353
7	60	636105,153	3903223,760	260,819
8	70	636111,401	3903231,568	259,289
9	80	636117,627	3903239,393	258,117
10	90	636123,853	3903247,219	256,949
11	100	636130,072	3903255,050	255,756
12	110	636136,291	3903262,881	254,562
13	120	636142,535	3903270,692	253,415
14	130	636148,779	3903278,503	252,267
15	140	636154,984	3903286,345	251,151
16	150	636161,189	3903294,187	250,036
17	160	636167,689	3903301,787	248,937
18	170	636174,191	3903309,384	247,839
19	180	636179,782	3903317,670	247,535
20	190	636185,316	3903325,999	247,280
21	200	636191,952	3903333,473	246,308
22	210	636198,644	3903340,905	245,300
23	220	636204,848	3903348,747	244,975
24	230	636211,047	3903356,594	244,658

ML3 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636033,290	3903166,095	272,795
2	10	636039,498	3903173,935	271,594
3	20	636045,706	3903181,775	270,393
4	30	636052,030	3903189,520	268,950
5	40	636058,355	3903197,266	267,508
6	50	636064,576	3903205,096	265,768
7	60	636070,797	3903212,925	264,028
8	70	636077,041	3903220,737	262,655
9	80	636083,284	3903228,548	261,285
10	90	636089,546	3903236,345	259,953
11	100	636095,806	3903244,143	258,621
12	110	636101,990	3903252,002	257,316
13	120	636108,173	3903259,861	256,010
14	130	636114,392	3903267,692	254,538
15	140	636120,610	3903275,524	253,066
16	150	636126,858	3903283,332	251,593
17	160	636133,106	3903291,140	250,121
18	170	636139,383	3903298,924	249,147
19	180	636145,660	3903306,709	248,170
20	190	636151,886	3903314,534	246,988
21	200	636158,111	3903322,360	245,806
22	210	636164,335	3903330,187	244,957
23	220	636170,558	3903338,015	244,105
24	230	636176,795	3903345,832	242,883

ML4 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636017,247	3903178,481	270,828
2	10	636023,464	3903186,313	269,188
3	20	636029,683	3903194,145	267,549
4	30	636036,022	3903201,879	266,029
5	40	636042,341	3903209,628	264,542
6	50	636048,476	3903217,526	263,373
7	60	636054,611	3903225,423	262,205
8	70	636060,929	3903233,174	261,018
9	80	636067,247	3903240,925	259,833
10	90	636073,416	3903248,796	258,845
11	100	636079,584	3903256,667	257,857
12	110	636086,235	3903264,134	256,308
13	120	636092,867	3903271,616	254,762
14	130	636098,729	3903279,717	253,702
15	140	636104,591	3903287,819	252,643
16	150	636110,787	3903295,668	251,517
17	160	636116,983	3903303,517	250,390
18	170	636123,225	3903311,329	249,465
19	180	636129,468	3903319,141	248,543
20	190	636135,758	3903326,916	246,997
21	200	636142,048	3903334,690	245,443
22	210	636148,404	3903342,410	244,085
23	220	636154,761	3903350,129	242,730
24	230	636161,037	3903357,914	241,859

ML5 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636050,815	3903252,810	260,037
2	10	636056,886	3903260,756	258,929
3	20	636063,190	3903268,519	257,309
4	30	636069,495	3903276,281	255,690
5	40	636075,847	3903284,004	254,573
6	50	636082,201	3903291,726	253,463
7	60	636088,501	3903299,492	253,210
8	70	636094,797	3903307,261	253,017
9	80	636101,059	3903315,058	251,144
10	90	636107,319	3903322,856	249,183
11	100	636113,451	3903330,756	247,966
12	110	636119,576	3903338,660	246,786
13	120	636125,834	3903346,460	245,705
14	130	636132,092	3903354,259	244,623
15	140	636138,298	3903362,101	243,536
16	150	636144,502	3903369,944	242,447
17	160	636150,851	3903377,669	241,068
18	170	636157,206	3903385,391	239,680
19	180	636162,730	3903393,727	237,896
20	190	636168,252	3903402,064	236,112
21	200	636174,761	3903409,649	235,355
22	210	636181,333	3903417,187	234,657
23	220	636187,957	3903424,678	233,963
24	230	636194,581	3903432,169	233,268

ML6 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636091,536	3903326,132	249,674
2	10	636097,289	3903334,326	248,592
3	20	636103,506	3903342,158	247,420
4	30	636109,724	3903349,990	246,274
5	40	636115,699	3903358,022	245,323
6	50	636122,196	3903365,624	244,344
7	60	636129,045	3903372,941	243,179
8	70	636135,112	3903380,891	242,086
9	80	636141,212	3903388,815	241,306
10	90	636147,243	3903396,792	240,573
11	100	636152,928	3903405,044	240,253
12	110	636159,342	3903412,715	239,806
13	120	636165,922	3903420,252	238,213
14	130	636172,152	3903428,074	236,539
15	140	636178,202	3903436,044	234,202
16	150	636184,636	3903443,699	232,079
17	160	636191,345	3903451,132	231,569
18	170	636197,468	3903459,039	231,082
19	180	636203,651	3903466,899	230,766
20	190	636209,707	3903474,856	230,815
21	200	636215,536	3903482,993	234,119
22	210	636222,021	3903490,610	236,997
23	220	636228,249	3903498,434	236,951
24	230	636234,478	3903506,257	236,680

MT1 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636210,157	3903491,098	228,218
2	5	636209,970	3903486,101	229,029
3	10	636209,783	3903481,105	229,839
4	15	636209,596	3903476,108	230,650
5	20	636209,281	3903471,120	231,341
6	25	636208,824	3903466,141	231,903
7	30	636208,367	3903461,162	232,464
8	35	636207,911	3903456,183	233,025
9	40	636207,511	3903451,199	233,558
10	45	636207,165	3903446,211	234,064
11	50	636206,819	3903441,223	234,571
12	55	636206,473	3903436,235	235,077
13	60	636206,157	3903431,245	235,695
14	65	636205,870	3903426,253	236,424
15	70	636205,584	3903421,262	237,154
16	75	636205,297	3903416,270	237,884
17	80	636204,998	3903411,279	238,405
18	85	636204,685	3903406,289	238,720
19	90	636204,372	3903401,298	239,036
20	95	636204,059	3903396,308	239,351
21	100	636203,752	3903391,318	239,586
22	105	636203,450	3903386,327	239,733
23	110	636203,148	3903381,336	239,880
24	115	636202,847	3903376,345	240,028

MT2 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636161,532	3903406,251	236,996
2	5	636161,245	3903401,260	237,736
3	10	636160,958	3903396,268	238,477
4	15	636160,671	3903391,276	239,217
5	20	636160,400	3903386,284	239,519
6	25	636160,128	3903381,291	239,820
7	30	636159,857	3903376,298	240,121
8	35	636159,586	3903371,306	240,422
9	40	636159,250	3903366,317	240,917
10	45	636158,914	3903361,328	241,417
11	50	636158,577	3903356,340	241,916
12	55	636158,240	3903351,351	242,416
13	60	636157,887	3903346,363	243,055
14	65	636157,534	3903341,376	243,693
15	70	636157,181	3903336,388	244,332
16	75	636156,828	3903331,401	244,971
17	80	636156,534	3903326,410	245,544
18	85	636156,240	3903321,418	246,116
19	90	636155,947	3903316,427	246,689
20	95	636155,654	3903311,435	247,262
21	100	636155,375	3903306,443	248,036
22	105	636155,096	3903301,451	248,811
23	110	636154,816	3903296,459	249,585
24	115	636154,537	3903291,467	250,362

MT3 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636114,220	3903337,045	246,966
2	5	636113,979	3903332,051	247,499
3	10	636113,737	3903327,057	248,033
4	15	636113,496	3903322,062	248,566
5	20	636113,255	3903317,068	249,100
6	25	636112,836	3903312,088	249,679
7	30	636112,321	3903307,114	250,284
8	35	636111,805	3903302,141	250,888
9	40	636111,290	3903297,168	251,493
10	45	636111,069	3903292,173	251,935
11	50	636110,866	3903287,177	252,368
12	55	636110,664	3903282,181	252,800
13	60	636110,459	3903277,185	253,238
14	65	636110,139	3903272,196	253,901
15	70	636109,818	3903267,206	254,563
16	75	636109,498	3903262,216	255,226
17	80	636109,177	3903257,227	255,889
18	85	636108,882	3903252,235	256,615
19	90	636108,587	3903247,244	257,341
20	95	636108,293	3903242,253	258,068
21	100	636107,998	3903237,261	258,795
22	105	636107,687	3903232,271	259,697
23	110	636107,376	3903227,281	260,599
24	115	636107,066	3903222,290	261,501

ML7 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636191,542	3903513,919	229,701
2	5	636194,928	3903517,598	228,553
3	10	636198,314	3903521,277	227,405
4	15	636201,700	3903524,956	226,258
5	20	636205,087	3903528,634	225,110
6	25	636208,473	3903532,313	223,962
7	30	636211,949	3903535,901	223,155
8	35	636215,654	3903539,259	223,202
9	40	636219,358	3903542,618	223,249
10	45	636223,062	3903545,976	223,295
11	50	636226,705	3903549,398	223,178
12	55	636230,190	3903552,983	222,636
13	60	636233,676	3903556,568	222,093
14	65	636237,161	3903560,153	221,551
15	70	636239,884	3903564,305	221,328
16	75	636242,312	3903568,676	221,227
17	80	636244,741	3903573,046	221,127
18	85	636247,170	3903577,417	221,026
19	90	636250,179	3903581,310	220,496
20	95	636253,996	3903584,540	219,367
21	100	636257,813	3903587,769	218,239
22	105	636261,630	3903590,999	217,110
23	110	636265,447	3903594,229	215,981
24	115	636269,264	3903597,458	214,852

MT5 Seismic Line Coordinates				
Geoph.	X Loc	X	Y	Z
1	0	636227,480	3903478,753	237,488
2	5	636222,548	3903479,575	234,529
3	10	636217,737	3903480,849	232,208
4	15	636213,055	3903482,604	230,569
5	20	636208,219	3903483,840	229,948
6	25	636203,338	3903484,925	229,623
7	30	636198,457	3903486,010	229,650
8	35	636193,569	3903487,054	229,781
9	40	636188,608	3903487,674	230,711
10	45	636183,750	3903488,750	231,650
11	50	636179,006	3903490,331	232,599
12	55	636174,263	3903491,912	233,547

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ)

ML1 ERT Line Coordinates				
No	X Loc	X	Y	Z
1	0	636044,693	3903116,081	282,466
2	8	636049,678	3903122,339	281,821
3	16	636054,670	3903128,590	281,073
4	24	636059,670	3903134,835	280,221
5	32	636064,670	3903141,080	279,370
6	40	636069,677	3903147,320	278,961
7	48	636074,683	3903153,559	278,554
8	56	636079,619	3903159,855	277,167
9	64	636084,486	3903166,204	274,822
10	72	636089,357	3903172,550	272,573
11	80	636094,299	3903178,841	271,699
12	88	636099,241	3903185,132	270,825
13	96	636104,192	3903191,416	269,687
14	104	636109,151	3903197,693	268,341
15	112	636114,129	3903203,956	267,013
16	120	636119,321	3903210,042	265,892
17	128	636124,513	3903216,128	264,770
18	136	636129,545	3903222,345	263,664
19	144	636134,452	3903228,663	262,570
20	152	636139,360	3903234,981	261,479
21	160	636144,390	3903241,201	260,576
22	168	636149,420	3903247,422	259,674
23	176	636154,434	3903253,656	258,935
24	184	636159,429	3903259,905	258,364
25	192	636164,425	3903266,153	257,793
26	200	636169,549	3903272,297	256,689
27	208	636174,673	3903278,441	255,584
28	216	636179,768	3903284,608	255,029
29	224	636184,843	3903290,793	254,881
30	232	636189,917	3903296,978	254,732
31	240	636194,546	3903303,502	254,334
32	248	636199,172	3903310,029	253,934
33	256	636204,000	3903316,402	253,277
34	264	636209,065	3903322,594	252,322
35	272	636214,130	3903328,787	251,374
36	280	636219,204	3903334,972	250,753
37	288	636224,278	3903341,157	250,132
38	296	636229,265	3903347,412	249,963
39	304	636234,166	3903353,734	250,234
40	312	636239,068	3903360,056	250,505
41	320	636243,970	3903366,379	250,776

ML2 ERT Line Coordinates				
No	X Loc	X	Y	Z
1	0	636024,043	3903122,179	279,707
2	8	636029,029	3903128,435	278,756
3	16	636034,014	3903134,692	277,805
4	24	636038,984	3903140,961	276,756
5	32	636043,939	3903147,242	275,614
6	40	636048,894	3903153,523	274,472
7	48	636053,867	3903159,789	272,677
8	56	636058,842	3903166,054	270,835
9	64	636063,841	3903172,300	269,338
10	72	636068,863	3903178,527	268,172
11	80	636073,885	3903184,755	267,006
12	88	636078,902	3903190,986	266,713
13	96	636083,919	3903197,217	266,432
14	104	636088,924	3903203,458	265,520
15	112	636093,917	3903209,708	263,936
16	120	636098,911	3903215,959	262,352
17	128	636103,909	3903222,205	261,123
18	136	636108,907	3903228,452	259,899
19	144	636113,897	3903234,705	258,817
20	152	636118,878	3903240,965	257,883
21	160	636123,859	3903247,225	256,948
22	168	636128,834	3903253,490	255,994
23	176	636133,809	3903259,755	255,039
24	184	636138,794	3903266,012	254,102
25	192	636143,789	3903272,261	253,184
26	200	636148,785	3903278,509	252,266
27	208	636153,749	3903284,783	251,373
28	216	636158,712	3903291,057	250,481
29	224	636163,793	3903297,235	249,596
30	232	636168,995	3903303,313	248,717
31	240	636174,196	3903309,390	247,838
32	248	636178,680	3903316,011	247,586
33	256	636183,107	3903322,675	247,382
34	264	636187,943	3903329,021	246,912
35	272	636193,296	3903334,966	246,105
36	280	636198,649	3903340,911	245,299
37	288	636203,614	3903347,184	245,038
38	296	636208,573	3903353,462	244,784
39	304	636213,542	3903359,731	244,767
40	312	636218,524	3903365,990	245,038
41	320	636223,506	3903372,250	245,308

ML3 ERT Line Coordinates				
No	X Loc	X	Y	Z
1	0	636018,466	3903147,170	275,701
2	8	636023,443	3903153,433	274,654
3	16	636028,354	3903159,748	273,727
4	24	636033,265	3903166,063	272,800
5	32	636038,231	3903172,335	271,839
6	40	636043,197	3903178,607	270,879
7	48	636048,210	3903184,842	269,822
8	56	636053,270	3903191,038	268,668
9	64	636058,330	3903197,235	267,514
10	72	636063,307	3903203,498	266,123
11	80	636068,284	3903209,761	264,731
12	88	636073,269	3903216,018	263,484
13	96	636078,264	3903222,267	262,387
14	104	636083,259	3903228,516	261,291
15	112	636088,268	3903234,754	260,225
16	120	636093,278	3903240,991	259,159
17	128	636098,255	3903247,254	258,104
18	136	636103,201	3903253,542	257,060
19	144	636108,148	3903259,829	256,016
20	152	636113,123	3903266,094	254,838
21	160	636118,097	3903272,359	253,661
22	168	636123,084	3903278,615	252,483
23	176	636128,082	3903284,862	251,305
24	184	636133,080	3903291,108	250,127
25	192	636138,102	3903297,335	249,345
26	200	636143,124	3903303,563	248,567
27	208	636148,125	3903309,807	247,702
28	216	636153,105	3903316,068	246,757
29	224	636158,086	3903322,328	245,811
30	232	636163,065	3903328,590	245,130
31	240	636168,043	3903334,852	244,451
32	248	636173,027	3903341,110	243,621
33	256	636178,017	3903347,364	242,644
34	264	636183,005	3903353,617	241,670
35	272	636187,974	3903359,887	241,120
36	280	636192,942	3903366,158	240,569
37	288	636197,935	3903372,408	240,415
38	296	636202,951	3903378,640	240,633
39	304	636207,968	3903384,872	240,851
40	312	636212,984	3903391,104	241,068
41	320	636218,000	3903397,337	241,286

ML4 ERT Line Coordinates				
No	X Loc	X	Y	Z
1	0	636002,402	3903159,643	273,591
2	8	636007,325	3903165,949	272,597
3	16	636012,291	3903172,221	271,711
4	24	636017,257	3903178,493	270,825
5	32	636022,231	3903184,759	269,513
6	40	636027,204	3903191,025	268,201
7	48	636032,228	3903197,251	266,938
8	56	636037,299	3903203,438	265,723
9	64	636042,351	3903209,641	264,540
10	72	636047,259	3903215,959	263,605
11	80	636052,167	3903222,277	262,670
12	88	636057,148	3903228,536	261,728
13	96	636062,203	3903234,736	260,779
14	104	636067,257	3903240,938	259,831
15	112	636072,192	3903247,234	259,041
16	120	636077,127	3903253,531	258,251
17	128	636082,247	3903259,672	257,245
18	136	636087,578	3903265,637	255,992
19	144	636092,876	3903271,628	254,760
20	152	636097,566	3903278,110	253,912
21	160	636102,255	3903284,591	253,065
22	168	636107,078	3903290,972	252,191
23	176	636112,036	3903297,250	251,289
24	184	636116,993	3903303,529	250,388
25	192	636121,987	3903309,779	249,647
26	200	636126,981	3903316,029	248,910
27	208	636131,994	3903322,264	247,928
28	216	636137,026	3903328,483	246,684
29	224	636142,058	3903334,702	245,440
30	232	636147,143	3903340,878	244,354
31	240	636152,228	3903347,054	243,270
32	248	636157,284	3903353,253	242,365
33	256	636162,302	3903359,484	241,688
34	264	636167,319	3903365,715	241,011
35	272	636172,268	3903372,001	240,104
36	280	636177,214	3903378,289	239,187
37	288	636182,157	3903384,579	238,358
38	296	636187,095	3903390,873	237,625
39	304	636192,033	3903397,167	236,891
40	312	636196,972	3903403,461	236,158
41	320	636201,910	3903409,755	235,424

ML5 ERT Line Coordinates				
No	X Loc	X	Y	Z
1	0	636007,741	3903198,046	270,719
2	8	636012,437	3903204,522	270,668
3	16	636017,134	3903210,999	270,616
4	24	636022,111	3903217,255	269,489
5	32	636027,288	3903223,354	267,598
6	40	636032,465	3903229,453	265,709
7	48	636037,444	3903235,715	263,861
8	56	636042,434	3903241,968	262,012
9	64	636047,353	3903248,276	260,666
10	72	636052,208	3903254,635	259,784
11	80	636057,063	3903260,993	258,881
12	88	636062,116	3903267,196	257,585
13	96	636067,159	3903273,406	256,290
14	104	636072,223	3903279,599	255,206
15	112	636077,306	3903285,777	254,318
16	120	636082,388	3903291,955	253,430
17	128	636087,427	3903298,168	253,243
18	136	636092,464	3903304,384	253,088
19	144	636097,488	3903310,610	252,262
20	152	636102,496	3903316,848	250,693
21	160	636107,504	3903323,087	249,125
22	168	636112,407	3903329,408	248,167
23	176	636117,307	3903335,732	247,223
24	184	636122,264	3903342,010	246,322
25	192	636127,271	3903348,250	245,457
26	200	636132,278	3903354,490	244,591
27	208	636137,240	3903360,765	243,721
28	216	636142,204	3903367,039	242,851
29	224	636147,227	3903373,265	241,860
30	232	636152,310	3903379,442	240,749
31	240	636157,393	3903385,619	239,628
32	248	636161,789	3903392,306	238,200
33	256	636166,206	3903398,975	236,773
34	264	636171,015	3903405,347	235,753
35	272	636176,268	3903411,381	235,195
36	280	636181,521	3903417,415	234,636
37	288	636186,828	3903423,401	234,081
38	296	636192,128	3903429,394	233,526
39	304	636197,339	3903435,463	233,331
40	312	636202,459	3903441,609	233,509
41	320	636207,579	3903447,756	233,686

ML6 ERT Line Coordinates				
No	X Loc	X	Y	Z
1	0	636059,240	3903286,622	256,321
2	8	636064,201	3903292,898	255,204
3	16	636069,163	3903299,174	254,086
4	24	636074,141	3903305,435	252,993
5	32	636079,135	3903311,685	251,920
6	40	636084,132	3903317,933	250,852
7	48	636089,271	3903324,064	249,998
8	56	636094,410	3903330,195	249,143
9	64	636099,391	3903336,453	248,244
10	72	636104,236	3903342,819	247,307
11	80	636109,083	3903349,183	246,372
12	88	636114,057	3903355,449	245,611
13	96	636119,031	3903361,714	244,850
14	104	636124,126	3903367,881	243,998
15	112	636129,324	3903373,962	243,067
16	120	636134,487	3903380,071	242,166
17	128	636139,340	3903386,431	241,542
18	136	636144,194	3903392,790	240,918
19	144	636149,033	3903399,161	240,478
20	152	636153,858	3903405,542	240,222
21	160	636158,682	3903411,923	239,966
22	168	636163,813	3903418,062	238,695
23	176	636168,945	3903424,199	237,421
24	184	636174,002	3903430,397	235,845
25	192	636178,986	3903436,655	233,975
26	200	636183,973	3903442,910	232,132
27	208	636189,120	3903449,034	231,724
28	216	636194,267	3903455,159	231,316
29	224	636199,286	3903461,386	230,988
30	232	636204,185	3903467,711	230,736
31	240	636209,083	3903474,036	230,484
32	248	636213,928	3903480,402	233,118
33	256	636218,773	3903486,768	235,761
34	264	636223,729	3903493,047	236,983
35	272	636228,782	3903499,249	236,947
36	280	636233,836	3903505,451	236,906
37	288	636238,818	3903511,709	235,154
38	296	636243,801	3903517,968	233,401
39	304	636248,799	3903524,215	232,595
40	312	636253,812	3903530,449	232,698
41	320	636258,825	3903536,684	232,802

MT1 ERT Line Coordinates				
No	X Loc	X	Y	Z
1	0	636213,721	3903553,560	223,222
2	5	636213,471	3903548,566	223,219
3	10	636213,221	3903543,573	223,216
4	15	636212,970	3903538,579	223,212
5	20	636212,720	3903533,585	223,209
6	25	636212,399	3903528,595	223,752
7	30	636212,077	3903523,606	224,297
8	35	636211,755	3903518,616	224,841
9	40	636211,434	3903513,626	225,386
10	45	636211,138	3903508,635	225,989
11	50	636210,843	3903503,644	226,594
12	55	636210,548	3903498,653	227,198
13	60	636210,253	3903493,661	227,803
14	65	636210,066	3903488,665	228,613
15	70	636209,879	3903483,668	229,423
16	75	636209,692	3903478,672	230,234
17	80	636209,505	3903473,675	231,044
18	85	636209,058	3903468,696	231,615
19	90	636208,602	3903463,717	232,176
20	95	636208,145	3903458,737	232,737
21	100	636207,688	3903453,758	233,298
22	105	636207,342	3903448,770	233,805
23	110	636206,996	3903443,782	234,311
24	115	636206,650	3903438,794	234,817
25	120	636206,305	3903433,806	235,323
26	125	636206,017	3903428,815	236,050
27	130	636205,731	3903423,823	236,780
28	135	636205,444	3903418,831	237,509
29	140	636205,158	3903413,839	238,239
30	145	636204,845	3903408,849	238,558
31	150	636204,532	3903403,859	238,874
32	155	636204,220	3903398,869	239,190
33	160	636203,907	3903393,878	239,505
34	165	636203,605	3903388,887	239,657
35	170	636203,303	3903383,897	239,805
36	175	636203,001	3903378,906	239,952
37	180	636202,700	3903373,915	240,100
38	185	636202,392	3903368,924	240,979
39	190	636202,084	3903363,934	241,860
40	195	636201,776	3903358,943	242,741
41	200	636201,468	3903353,953	243,622

MT2 ERT Line Coordinates				
No	X Loc	X	Y	Z
1	0	636164,415	3903451,192	233,959
2	5	636164,079	3903446,203	234,280
3	10	636163,742	3903441,215	234,602
4	15	636163,406	3903436,226	234,923
5	20	636163,070	3903431,237	235,244
6	25	636162,757	3903426,247	235,484
7	30	636162,444	3903421,257	235,723
8	35	636162,131	3903416,267	235,963
9	40	636161,820	3903411,276	236,250
10	45	636161,533	3903406,285	236,991
11	50	636161,246	3903401,293	237,731
12	55	636160,960	3903396,301	238,472
13	60	636160,673	3903391,309	239,212
14	65	636160,401	3903386,317	239,517
15	70	636160,130	3903381,324	239,818
16	75	636159,859	3903376,331	240,119
17	80	636159,588	3903371,339	240,420
18	85	636159,253	3903366,350	240,914
19	90	636158,916	3903361,361	241,414
20	95	636158,579	3903356,373	241,913
21	100	636158,242	3903351,384	242,413
22	105	636157,889	3903346,397	243,050
23	110	636157,536	3903341,409	243,689
24	115	636157,183	3903336,422	244,328
25	120	636156,830	3903331,434	244,966
26	125	636156,536	3903326,443	245,540
27	130	636156,242	3903321,451	246,113
28	135	636155,949	3903316,460	246,685
29	140	636155,656	3903311,469	247,258
30	145	636155,377	3903306,476	248,031
31	150	636155,097	3903301,484	248,806
32	155	636154,818	3903296,492	249,580
33	160	636154,539	3903291,500	250,356
34	165	636154,203	3903286,511	251,289
35	170	636153,867	3903281,522	252,222
36	175	636153,531	3903276,534	253,155
37	180	636153,195	3903271,545	254,090
38	185	636152,870	3903266,556	255,309
39	190	636152,544	3903261,566	256,527
40	195	636152,219	3903256,577	257,746
41	200	636151,893	3903251,587	258,964

MT3 ERT Line Coordinates				
No	X Loc	X	Y	Z
1	0	636116,676	3903376,874	245,057
2	5	636116,350	3903371,885	245,049
3	10	636116,024	3903366,895	245,040
4	15	636115,698	3903361,906	245,032
5	20	636115,372	3903356,917	245,023
6	25	636115,082	3903351,925	245,500
7	30	636114,793	3903346,933	245,992
8	35	636114,504	3903341,942	246,484
9	40	636114,215	3903336,950	246,976
10	45	636113,974	3903331,956	247,510
11	50	636113,733	3903326,962	248,043
12	55	636113,491	3903321,968	248,576
13	60	636113,250	3903316,973	249,110
14	65	636112,827	3903311,993	249,691
15	70	636112,311	3903307,020	250,295
16	75	636111,795	3903302,046	250,900
17	80	636111,280	3903297,073	251,505
18	85	636111,065	3903292,078	251,944
19	90	636110,863	3903287,082	252,376
20	95	636110,660	3903282,086	252,808
21	100	636110,453	3903277,091	253,250
22	105	636110,132	3903272,101	253,913
23	110	636109,812	3903267,111	254,576
24	115	636109,492	3903262,121	255,239
25	120	636109,171	3903257,132	255,902
26	125	636108,877	3903252,140	256,629
27	130	636108,582	3903247,149	257,355
28	135	636108,287	3903242,158	258,082
29	140	636107,992	3903237,166	258,813
30	145	636107,681	3903232,176	259,715
31	150	636107,371	3903227,186	260,616
32	155	636107,060	3903222,195	261,518
33	160	636106,749	3903217,205	262,420
34	165	636106,400	3903212,217	263,874
35	170	636106,050	3903207,230	265,329
36	175	636105,700	3903202,242	266,783
37	180	636105,351	3903197,254	268,234
38	185	636105,027	3903192,265	269,475
39	190	636104,703	3903187,275	270,717
40	195	636104,378	3903182,286	271,959
41	200	636104,054	3903177,296	273,201

ML7 ERT Line Coordinates				
No	X Loc	X	Y	Z
1	0	636193,565	3903516,116	229,015
2	3	636195,596	3903518,324	228,327
3	6	636197,628	3903520,531	227,638
4	9	636199,660	3903522,738	226,949
5	12	636201,691	3903524,946	226,261
6	15	636203,723	3903527,153	225,572
7	18	636205,755	3903529,360	224,884
8	21	636207,786	3903531,568	224,195
9	24	636209,818	3903533,775	223,506
10	27	636211,939	3903535,892	223,155
11	30	636214,162	3903537,907	223,183
12	33	636216,384	3903539,922	223,211
13	36	636218,607	3903541,937	223,239
14	39	636220,829	3903543,952	223,267
15	42	636223,052	3903545,967	223,295
16	45	636225,274	3903547,982	223,323
17	48	636227,393	3903550,105	223,071
18	51	636229,484	3903552,256	222,746
19	54	636231,575	3903554,407	222,420
20	57	636233,666	3903556,558	222,095
21	60	636235,757	3903558,709	221,769
22	63	636237,849	3903560,861	221,444
23	66	636239,391	3903563,419	221,348
24	69	636240,849	3903566,042	221,288
25	72	636242,306	3903568,664	221,227
26	75	636243,763	3903571,286	221,167
27	78	636245,220	3903573,908	221,107
28	81	636246,677	3903576,531	221,047
29	84	636248,135	3903579,153	220,987
30	87	636250,168	3903581,302	220,499
31	90	636252,459	3903583,239	219,822
32	93	636254,749	3903585,177	219,145
33	96	636257,039	3903587,115	218,467
34	99	636259,329	3903589,053	217,790
35	102	636261,619	3903590,990	217,113
36	105	636263,910	3903592,928	216,436
37	108	636266,200	3903594,866	215,758
38	111	636268,490	3903596,804	215,081
39	114	636270,780	3903598,742	214,404
40	117	636273,070	3903600,679	213,726
41	120	636275,361	3903602,617	213,049