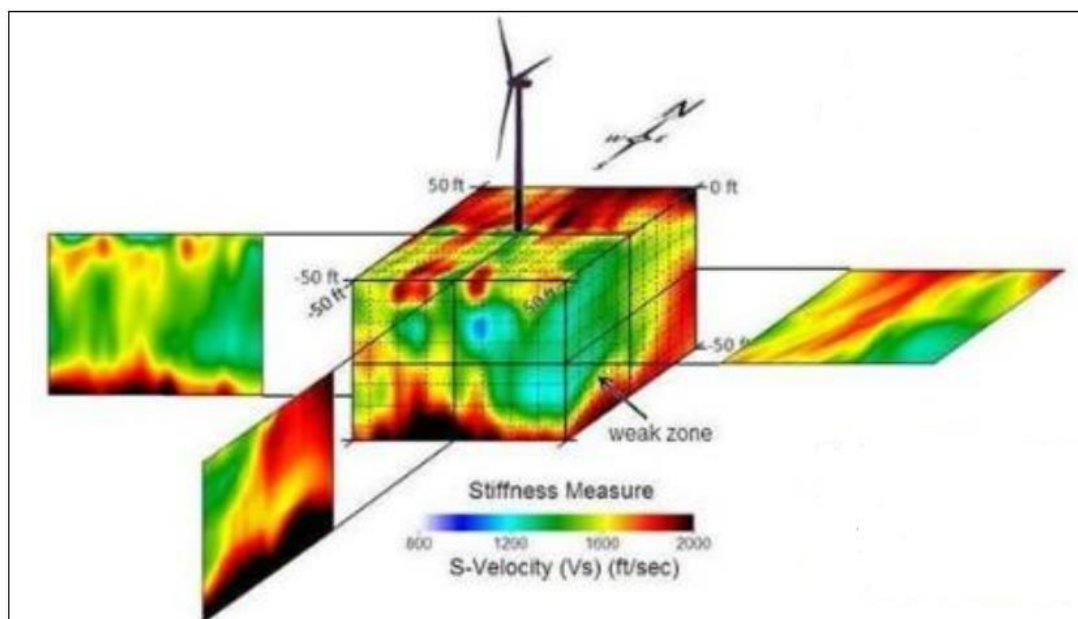


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ
ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΛΑΤΑΝΟΥ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ»**

ΚΑΜΠΑΚΗ ΜΑΡΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ – Καθηγητής (επιβλέπων)

ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΧΑΝΙΑ 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενασχόληση με το αντικείμενο της γεωφυσικής και γεωτεχνικής έρευνας κατά το οποίο προσδιορίζονται από δεδομένα του εδάφους αποτελέσματα, παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια ραγδαία εξέλιξη στη γεωτεχνική και περιβαλλοντική γεωφυσική.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιείται την διεξαγωγή μετρήσεων, την επεξεργασία και ερμηνεία τους σε γεωφυσικό και γεωτεχνικό επίπεδο στην περιοχή Κισσάμου της Περιφερειακής Ενότητας Χανίων.

Σκοπός της έρευνας είναι ο έλεγχος καταλληλότητας της περιοχής ενδιαφέροντος για την εγκατάσταση Υβριδικού Σταθμού στη θέση "Σταυρός – Κισός". Ο Υβριδικός Σταθμός στη θέση "Σταυρός" ισχύος 1,95MW θα αποτελείται από 2 ανεμογεννήτριες και στη θέση "Κισός" ισχύος 5MW από 4 ανεμογεννήτριες τύπου Gamesa G114, το κτίριο του Κέντρου ελέγχου και το Σύστημα αποθήκευσης για κάθε μία από τις δύο θέσεις.

*Οι εργασίες γεωφυσικής διασκόπησης υλοποιήθηκαν με την **μέθοδο της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας** καθώς και **της ηλεκτρικής διασκόπησης**. Οι εργασίες γεωτεχνικής έρευνας πραγματοποιήθηκαν με εργαστηριακές δοκιμές με τη **μέθοδο της ανεμπόδιστης θλίψης** και με **τριαξονικές δοκιμές υψηλής και χαμηλής τάσης περιορισμού**, έπειτα από τη συλλογή κατάλληλου δείγματος από τη περιοχή ενδιαφέροντος.*

Τα δεδομένα προέκυψαν μετά από σχετικές εργασίες υπαίθρου, στα πλαίσια της γεωφυσικής έρευνας και εργαστηριακές δοκιμές, στα πλαίσια γεωτεχνικής έρευνας, που κρίθηκαν απαραίτητο αλλά και αναγκαίο να πραγματοποιηθούν στη θέση των ανεμογεννητριών, στο Κέντρο ελέγχου και στο Σύστημα αποθήκευσης για την ασφαλή εγκατάσταση του Υβριδικού Σταθμού.

Το μέγιστο βάθος διασκόπησης ορίζονταν μέχρι τα 8 m.

Όσον αφορά τα γεωφυσικά δεδομένα επεξεργάστηκαν με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών αλλά και μεθόδων αντιστροφής. Ειδικότερα, για την ηλεκτρική τομογραφία, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Res2Dinv για την απεικόνιση των γεωηλεκτρικών τομών (2D) για όλες τις θέσεις εγκατάστασης, το Res3dinv για την απεικόνιση τρισδιάστατων τομών (3D) για την 1^η ανεμογεννήτρια στη θέση «Σταυρός» (δυτική πλευρά) καθώς και το πρόγραμμα Prosys για την ένταξη των υψομέτρων σε κάθε γραμμή μελέτης. Η μέθοδος αντιστροφής που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος με περιορισμό εξομάλυνσης (Smoothness constraint Inversion).

Η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων έγινε για τη σεισμική διάθλαση με τα προγράμματα PickWin και Poltrefa και για τα επιφανειακά κύματα, με την πολυκάναλη μέθοδο ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (MASW). Για την επεξεργασία των δεδομένων με τη μέθοδο MASW χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Krisis σε περιβάλλον MATLAB.

ABSTRACT

Engaging in the subject of geophysical and geotechnical research, in which the results are defined from the data of the ground, has manifested a rapid development in geotechnical and environmental geophysics.

This postgraduate dissertation is looking at the conducting of measurements, their processing and their interpretation in geophysical and geotechnical level in the site of Kissamos in the regional unit of Chania. The purpose of this research is to check the suitability of the site of interest for the installation of a Hybrid Plant in the “Stavros-Kisos” area. The 1.95MW power Hybrid Plant in the “Stavros” site will consist of two wind turbines while the 5MW power Hybrid plant in the “Kisos” site will consist of four wind turbines of the Gamesa G114 type. Also, there will be an Inspection Center and Storage System building in each of the two sites.

The work activities of the geophysical exploration were conducted using the method of electrical and seismic tomography and also with the method of the electrical exploration. The work activities of the geotechnical research were conducted using laboratory tests with the method of unconfined compression and with the triaxial tests of constrained high and low voltage, after having collected a suitable sample from the site of interest.

The data arose after conducting relevant work activities in open ground for the geophysical research and laboratory tests for the geotechnical research, for both of which it was regarded necessary and essential to be conducted in the site of the wind turbines, in the Inspection Center and in the Storage System so as to ensure the safe installation of the Hybrid Plant. The maximum depth of the exploration was defined up to 8m. Regarding the geophysical data, they were processed with the use of suitable software programs as well as with inverse methods. In particular, as for the electrical tomography, the following software programs were used: the Res2Dinv software program was used for the imaging of the geoelectrical sectors for all installation sites, the Res3dinv software program was used for the imaging of the three-dimensional sectors of the first wind turbine in the site of “Kisos” (west side) and the Prosys software program was used for the inclusion of altitudes in each study line. The inverse method which was used is the Smoothness constraint Inversion.

The process of the seismic data was conducted using the following software programs: the PickWin and Poltfera software programs were used for the seismic refraction and the multi-channel surface wave analysis method (AMSW) was used for the surface waves .

Also, the KRISIS software program in MATLAB environment was used to process the data of the MASW method.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία υλοποιήθηκε στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Αντώνιου Βαφείδη και σε συνεργασία με τον Μηχανικό Ορυκτών Πόρων κ. Νικηφοράκη Εμμανουήλ.

Η συγκεκριμένη εργασία πραγματεύεται την εκπόνηση ερευνητικών εργασιών υπαίθρου, την επεξεργασία αλλά και ερμηνεία τους στα πλαίσια εγκατάστασης Υβριδικού Σταθμού στη θέση "Σταυρός – Κισός" του Δήμου Κισσάμου Περιφερειακής Ενότητας Χανίων. Ο Υβριδικός Σταθμός περιλαμβάνει συνολικά 6 ανεμογεννήτριες, 2 στη θέση "Σταυρός" και 4 στη θέση " Κισός", καθώς και ένα Κέντρο ελέγχου και ένα Σύστημα Αποθήκευσης για καθεμία από τις δύο θέσεις.

Όσον αφορά τη **γεωφυσική μελέτη**, η εκπόνηση των εργασιών πραγματοποιήθηκε με τη **μέθοδο της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας** καθώς και της **ηλεκτρικής βυθοσκόπησης** και περιλαμβάνει:

- 15 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας για καθεμία εγκατάσταση (αριθμός ηλεκτροδίων 48) και μέγιστο βάθος διασκόπησης 8m (8 γραμμές για την Α/Γ 1 και 1 για κάθε μία από τις υπόλοιπες θέσεις)
- 5 γραμμές σεισμικής τομογραφίας σε επιλεγμένες θέσεις
- Ηλεκτρική βυθοσκόπηση με διάταξη Wenner σε 3 διευθύνσεις για τις θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών και σε 5 διευθύνσεις για τις θέσεις εγκατάστασης της περιοχής του κέντρου ελέγχου (Κτίριο κέντρου ελέγχου και συσσωρευτές)

Όσον αφορά τη **γεωτεχνική μελέτη**, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές για τον **υπολογισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, της συνοχής και της γωνίας τριβής** του πετρώματος, οι οποίες περιλάμβαναν:

- Έξι δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης με 2 strain gage ανά δοκίμιο για τον υπολογισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, της συνοχής και της γωνίας τριβής του πετρώματος
- Έξι τριαξονικές δοκιμές σε χαμηλή τάση περιορισμού και
- Έξι τριαξονικές δοκιμές σε υψηλή τάση περιορισμού

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά καταρχάς τον επιβλέποντα κ. Βαφείδη Αντώνιο, καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για τη συμβολή και τη συνεχή καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, τόσο στο θεωρητικό αλλά και στο πρακτικό κομμάτι της γεωφυσικής έρευνας, αλλά και για την υποστήριξη και τη πολύτιμη βοήθεια του κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας, μέχρι την ολοκλήρωση της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους διδάκτορες, κ. Ανδρονικίδη Νικόλαο και κ. Κρητικάκη Γεώργιο, για την πολύτιμη βοήθεια τους, τόσο κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων στο πεδίο όσο και αργότερα στην επεξεργασία.

Επιπλέον, οφείλω να ευχαριστήσω στον κ. Εξαδάκτυλο Γεώργιο, καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την αποδοχή του αρχικά όσον αφορά την εκπόνηση της γεωτεχνικής έρευνας αλλά και για την όμορφη συνεργασία. Η συμβολή των επιστημονικών συνεργατών, κ. Μαυριγιαννάκη Στέλιου και κ. Λιόλο Παντελή, από το εργαστήριο εφαρμοσμένης βραχομηχανικής ήταν καθοριστική στην διεκπεραίωση των αποτελεσμάτων σε γεωτεχνικό επίπεδο, και γι' αυτό τους ευχαριστώ θερμά.

Επιπροσθέτως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ, καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την αποδοχή να είναι μέλος της εξεταστικής επιτροπής μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς τον συνάδελφο Μηχανικό Ορυκτών Πόρων κ. Νικηφοράκη Εμμανουήλ, για την εμπιστοσύνη του στην ανάθεση της εκπόνησης της γεωφυσικής και γεωτεχνικής μελέτης στα πλαίσια εγκατάστασης του Υβριδικού Σταθμού, σε συνεργασία με το κ. Βαφείδη Αντώνιο στα πλαίσια της γεωφυσικής έρευνας και του κ. Εξαδάκτυλου Γεώργιου στα πλαίσια της γεωτεχνικής έρευνας.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την οικονομική και ψυχολογική υποστήριξη τους, που με βοήθησαν να εργασθώ σε ένα άνετο περιβάλλον όλο αυτό το διάστημα και μου έμαθαν να προσπαθώ για την επίτευξη των στόχων μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	viii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	15
1.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	16
1.2 ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	17
1.2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ "ΣΤΑΥΡΟΣ – ΚΙΣΟΣ".....	17
1.2 ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΥΠΑΓΩΓΗ.....	18
1.3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	20
2.1 ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.....	20
2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	23
3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	23
3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	23
3.1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	23
3.1.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ.....	25
3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	26
3.2.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ.....	26
3.3 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	28
3.3.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΟΛΟΥ – ΔΙΠΟΛΟΥ	29
3.3.2 ΔΙΑΤΑΞΗ WENNER	30
3.3.3 ΔΙΑΤΑΞΗ SCHLUMBERGER	31
3.3.4 ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	31
3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	32
3.4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ	32
3.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΥΚΑΝΑΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES – MASW)	34
3.4.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ MASW	35
3.4.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ MASW.....	37
3.4.2.3 ΤΥΠΟΙ MASW	41
3.4.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΗΓΗ	43
3.4.4 ΔΕΚΤΗΣ	44
3.4.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΕΔΙΟΥ.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ	46
4.1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΥΜΑΤΑ RAYLEIGH	47

4.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΥΜΑΤΑ LOVE	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	50
5.1 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ.....	50
5.2 ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	55
6.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	55
6.1.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	55
6.1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ.....	57
6.1.2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	58
6.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	62
7.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	62
7.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ.....	65
7.3 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	71
8.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	71
8.1.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	71
8.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗΣ – ΜΕΘΟΔΟΣ WENNER.....	85
8.1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	96
8.1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΑΝΑΛΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ MASW.....	103
8.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	116
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	122
I) ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	122
II) ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	151
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	178

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Γεωγραφική Θέση του Έργου στη θέση "Σταυρός – Κισός" (απόσπασμα χάρτη Γ.Υ.Σ 1:50.000).....	17
Εικόνα 1.2: Θέση του Έργου "Σταυρός – Κισός" στα Διοικητικά όρια Δημοτικών ενοτήτων.....	18
Εικόνα 2.1: Κύρια μέρη ανεμογεννήτριας.....	21
Εικόνα 3.1: Απεικόνιση γεωηλεκτρικών τομών.....	27
Εικόνα 3.2: Διατάξεις ηλεκτρικής τομογραφίας.....	28
Εικόνα 3.3: Διάταξη διπόλου – διπόλου.	29
Εικόνα 3.4: Διάταξη διπόλου – διπόλου, τυπική ανωμαλία αντίστασης.	30
Εικόνα 3.5: Διάταξη Wenner.....	30
Εικόνα 3.6: Διάταξη Schlumberger.....	31
Εικόνα 3.7: Τετραγωνική Διάταξη (Square).	31
Εικόνα 3.8: Σύγκριση σεισμικής έρευνας και συμβατικών γεωτρήσεων.....	36
Εικόνα 3.9: Απεικόνιση έρευνας πεδίου με τη μέθοδο MASW που δείχνει διάφορους τύπους σεισμικών κυμάτων και μεταγενέστερα στάδια ανάλυσης δεδομένων που χρησιμοποιούν διάφορα χαρακτηριστικά των σεισμικών κυμάτων.	37
Εικόνα 3.10: Συνολική διαδικασία μεθόδου MASW.....	38
Εικόνα 3.11: Συνολική απεικόνιση απαραίτητων στοιχείων της μεθόδου MASW....	39
Εικόνα 3.12: Σχηματική απεικόνιση της ενεργού έρευνας πεδίου MASW.....	41
Εικόνα 3.13: Σχηματική απεικόνιση της παθητικής απομακρυσμένης έρευνας πεδίου MASW.....	42
Εικόνα 3.14: Σχηματική απεικόνιση της παθητικής επιτόπιας έρευνας MASW.....	42
Εικόνα 3.15: Σχηματική απεικόνιση Πηγής – Δέκτη.....	44
Εικόνα 4.1: Επιμήκη – P (a) και Εγκάρσια – S κύματα (b) χώρου.....	46
Εικόνα 4.2: Love (c) και Rayleigh (d) επιφανειακά κύματα.....	47
Εικόνα 4.3: Διεύθυνση διάδοσης κύματος Rayleigh.....	48
Εικόνα 5.1: Απεικόνιση θλιπτικού συστήματος θλιπτικών δοκιμών.....	51
Εικόνα 6.1: Όργανο μέτρησης Iris (Syscal – Pro).....	55
Εικόνα 6.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης πάνω στον οποίο απεικονίζονται οι γραμμές μελέτης των 8 θέσεων της ηλεκτρικής τομογραφίας.....	57
Εικόνα 6.3: Θέσεις γεωφώνων και πηγής για τη σεισμική γραμμή μελέτης στη θέση Α/Γ 1 με διεύθυνση Δ-Α.....	59
Εικόνα 6.4: Θέσεις γεωφώνων - πηγής για τη σεισμική γραμμή μελέτης στη θέση ΕΓΚΑΤ 1 με διεύθυνση Ν-Β.....	59
Εικόνα 6.5: Θέσεις γεωφώνων και πηγής για τη σεισμική γραμμή μελέτης στη θέση Α/Γ 5 με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.....	59
Εικόνα 6.6: Θέσεις γεωφώνων και πηγής για τη σεισμική γραμμή μελέτης στη θέση Α/Γ 6 με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ	59
Εικόνα 6.7: Θέσεις γεωφώνων - πηγής για τη σεισμική γραμμή μελέτης στη θέση ΕΓΚΑΤ 2 με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.....	60
Εικόνα 6.8: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης πάνω στον οποίο απεικονίζονται οι γραμμές μελέτης των 5 επιλεγμένων θέσεων της σεισμικής τομογραφίας.....	60
Εικόνα 7.1: Γεωτεκτονικός χάρτης Ελλάδας.....	62
Εικόνα 7.2: Γεωλογική τομή ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος.....	63
Εικόνα 7.3: Στρωματογραφική στήλη σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	64

Εικόνα 7.4: Γεωλογικός χάρτης στη περιοχή ενδιαφέροντος.....	65
Εικόνα 7.5: Σχηματισμός φυλλιτών – χαλαζιτών στην περιοχή ενδιαφέροντος.....	66
Εικόνα 7.6: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας κατά ΕΑΚ, 2003.	68
Εικόνα 8.1: Διευθύνσεις γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων για τις θέσεις Α/Γ1, Α/Γ2 και ΕΓΚΑΤ 1.	93
Εικόνα 8.2: Διευθύνσεις γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων για τις θέσεις Α/Γ3, Α/Γ4 και ΕΓΚΑΤ 2.....	94
Εικόνα 8.3: Διευθύνσεις γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων για τις θέσεις Α/Γ4 και Α/Γ5.....	95
Εικόνα 8.4: Οι επικρατούσες εντατικές συνθήκες στη υποκείμενη μάζα του πετρώματος όπου εδράζεται η τεχνητή κατασκευή.....	111
Εικόνα 8.5: Ακαμπτη σερβοϋδραυλική μηχανή θλίψης (αριστερά), δοκίμιο πετρώματος με αισθητήρες αξονικής παραμόρφωσης (LVDT's) και ηλεκτρικό μηχανοσκόπετρο τύπου ορθής γωνίας επικολλημένο στην επιφάνεια του δοκιμίου (πάνω δεξιά) και τριαξονικό κελλί (κάτω δεξιά).....	112
Εικόνα 8.6: Βαθμονόμηση των 2 μοντέλων αντοχής επί των πειραματικών τιμών στη θέση «Σταυρός».....	113
Εικόνα 8.7: Βαθμονόμηση των 2 μοντέλων αντοχής επί των πειραματικών τιμών στη θέση «Κισός».....	113
Εικόνα 9.1: (α) Διάγραμμα ποιότητας βραχομάζας κατά GSI (Hoek & Brown, 1988) και (β) εμπειρική σχέση του δείκτη ποιότητας βραχομάζας GSI με την ταχύτητα των κυμάτων S (Duffy, 2008).....	119
Εικόνα 9.2: Σχέση παραμέτρου φθοράς του πετρώματος με τον δείκτη GSI (Exadaktylos & Stavropoulou, 2008).....	120

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1: Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά τη πρόσπτωση υπό γωνία: α) μικρότερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, β) ίση με την ορική γωνία δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα και γ) με γωνία μεγαλύτερη της ορικής παρατηρείται ολική ανάκλαση.....	33
Σχήμα 3.2: Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Reynolds, 1997).....	33
Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ροής της μεθόδου πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων (Κρητικάκης, 2010).	35
Σχήμα 7.1: Νεοτεκτονικός χάρτης της Κρήτης (Pavlaki et al, 1991) με λεπτομέρεια κάτω δεξιά για την περιοχή μελέτης (μαύρο πλαίσιο) όπου με πράσινο χρώμα υποδεικνύονται μεγάλα ανενεργά ρήγματα.....	67
Σχήμα 7.2: Μηχανισμοί γένεσης ισχυρών επιφανειακών σεισμών (Παπαζάχος et al., 2001).....	67
Σχήμα 7.3: Γεωγραφική κατανομή των επιφανειακών σεισμικών γεγονότων από το 500 π.Χ. έως το 2004. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται, τα νεογενή και με πράσινο, τα προνεογενή πετρώματα.....	68
Σχήμα 7.4: Γεωγραφική κατανομή σεισμικών γεγονότων με εστιακό βάθος μεγαλύτερο από 60 km από το 500 π.Χ. έως το 2004. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται τα νεογενή και με πράσινο, τα προνεογενή πετρώματα.....	68

Σχήμα 7.5: Χωρική κατανομή μέγιστου αναμενόμενου μεγέθους για τα επόμενα 5, 20, 60 και 100 έτη με χρήση ακτίνας σεισμικής πηγής 50km (Ρουμπεδάκης, 2007).....	70
Σχήμα 8.1: Σκαρίφημα περιοχής εγκατάστασης Υβριδικού Σταθμού και απεικόνιση των γραμμών μελέτης πάνω στη περιοχή εγκατάστασης της Α/Γ 1 για τη θέση "Σταυρός".....	72
Σχήμα 8.2: Γεωηλεκτρική τομή 1 ^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.....	73
Σχήμα 8.3: Γεωηλεκτρική τομή 2 ^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.....	73
Σχήμα 8.4: Γεωηλεκτρική τομή 3 ^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.	74
Σχήμα 8.5: Γεωηλεκτρική τομή 4 ^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.	75
Σχήμα 8.6: Γεωηλεκτρική τομή 5 ^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.	75
Σχήμα 8.7: Γεωηλεκτρική τομή 6 ^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.	76
Σχήμα 8.8: Γεωηλεκτρική τομή 7 ^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.	77
Σχήμα 8.9: Γεωηλεκτρική τομή 8 ^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.	77
Σχήμα 8.10: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για τη θέση ΕΓΚΑΤ 1 με υψόμετρο.....	78
Σχήμα 8.11: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για την Α/Γ 2 με υψόμετρο.....	79
Σχήμα 8.12: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για την Α/Γ 3 με υψόμετρο.....	80
Σχήμα 8.13: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για το Σημείο ΕΓΚΑΤ 2 με υψόμετρο.....	80
Σχήμα 8.14: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για την Α/Γ 4 με υψόμετρο.....	81
Σχήμα 8.15: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για την Α/Γ 5.....	82
Σχήμα 8.16: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για την Α/Γ 6 με υψόμετρο.....	82
Σχήμα 8.17: Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές σε βάθος $z=0$ έως $z=8,84$ m και σφάλμα $RMS=6,05\%$	84
Σχήμα 8.18: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ροής επεξεργασίας των σεισμικών καταγραφών με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας.	96
Σχήμα 8.19 : Απεικόνιση των πρώτων αφίξεων για τις καταγραφές 101 και 107 της θέσης Α/Γ 01, όπου οι πηγές βρίσκονται πριν το 1° (-3m – πράσινη γραμμή) και μετά το 7° γεώφωνο (71m – κόκκινη γραμμή).	97
Σχήμα 8.20: Απεικόνιση των πρώτων αφίξεων για όλες τις καταγραφές (101, 102, 103, 104, 105, 106 και 107) της σεισμικής γραμμής Α/Γ 1.	97
Σχήμα 8.21: Απεικόνιση του δρομοχρονικού διαγράμματος για τη σεισμική γραμμή Α/Γ 01.....	98
Σχήμα 8.22: Απεικόνιση υψομέτρου για τη σεισμική γραμμή Α/Γ 1 από 624,12 έως 604,94m (Διεύθυνση Δ-Α).	98
Σχήμα 8.23: Αρχικό εδαφικό μοντέλο Α/Γ 01.	98
Σχήμα 8.24: Δρομοχρονικό διάγραμμα πειραματικών και υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων της Α/Γ 01.	99
Σχήμα 8.25: Απεικόνιση του μοντέλου βάθους της Α/Γ 1 με εξομάλυνση.....	99
Σχήμα 8.26: Απεικόνιση των σεισμικών ακτινών στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους Α/Γ 1.....	100
Σχήμα 8.27: Απεικόνιση του μοντέλου βάθους της ΕΓΚΑΤ 1 με εξομάλυνση.....	101

Σχήμα 8.28: Απεικόνιση του μοντέλου βάθους της Α/Γ 5 με εξομάλυνση.....	101
Σχήμα 8.29: Απεικόνιση του μοντέλου βάθους της ΕΓΚΑΤ 2 με εξομάλυνση.....	102
Σχήμα 8.30: Απεικόνιση του μοντέλου βάθους της Α/Γ 6 με εξομάλυνση.....	102
Σχήμα 8.31: Απεικόνιση πειραματικής καμπύλης διασποράς στο πεδίο φάσης ταχύτητας – συχνότητας.	103
Σχήμα 8.32: Τελικό μοντέλο για την καταγραφή 101 – Αποτέλεσμα ταύτισης θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης διασποράς για τα δεδομένα της καταγραφής (δεξιά), Κατανομή της ταχύτητας Vs σε σχέση με το βάθος (αριστερά).	104
Σχήμα 8.33: Σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vr για την Α/Γ 1.....	105
Σχήμα 8.34: Απεικόνιση πειραματικής καμπύλης διασποράς στο πεδίο φάσης ταχύτητας – συχνότητας.	105
Σχήμα 8.35: Τελικό μοντέλο για την καταγραφή 301 – Αποτέλεσμα ταύτισης θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης διασποράς για τα δεδομένα της καταγραφής (δεξιά), Κατανομή της ταχύτητας Vs σε σχέση με το βάθος (αριστερά).	106
Σχήμα 8.36: Σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vr για την Α/Γ 5.....	106
Σχήμα 8.37: Τελικό μοντέλο για την καταγραφή 407 – Αποτέλεσμα ταύτισης θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης διασποράς για τα δεδομένα της καταγραφής (δεξιά) – Κατανομή της ταχύτητας Vs σε σχέση με το βάθος (αριστερά).	107
Σχήμα 8.38: Σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vr για την Α/Γ 6.....	107
Σχήμα 8.39: Τελικό μοντέλο για την καταγραφή 201 – Αποτέλεσμα ταύτισης θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης διασποράς για τα δεδομένα της καταγραφής (δεξιά) – Κατανομή της ταχύτητας Vs σε σχέση με το βάθος (αριστερά).	108
Σχήμα 8.40: Σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vr για την θέση ΕΓΚΑΤ 1.....	109
Σχήμα 8.41: Τελικό μοντέλο για την καταγραφή 507 – Αποτέλεσμα ταύτισης θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης διασποράς για τα δεδομένα της καταγραφής (δεξιά) – Κατανομή της ταχύτητας Vs σε σχέση με το βάθος (αριστερά).	109
Σχήμα 8.42: Σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vr για την θέση ΕΓΚΑΤ 2.....	110

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Εύρος τυπικών τιμών ηλεκτρικών αντιστάσεων διαφόρων υλικών.....	24
Πίνακας 3.2: Βασικός εξοπλισμός της μεθόδου MASW.	40
Πίνακας 6.1: Στοιχεία των γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων.	56
Πίνακας 6.2: Διαστάσεις δοκιμίων προς εργαστηριακή ανάλυση.....	61
Πίνακας 7.1: Υπόμνημα Γεωλογικού χάρτη στη περιοχή ενδιαφέροντος.....	65
Πίνακας 8.1: Εκτιμώμενοι παράμετροι αντοχής του φυλλίτη στις 2 θέσεις δειγματοληψίας.....	114
Πίνακας 8.2: Παράμετροι ελαστικότητας του φυλλίτη στη θέση «Σταυρός».....	114
Πίνακας 8.3: Παράμετροι ελαστικότητας του φυλλίτη στη θέση «Κισός».....	115
Πίνακας 9.1: Παράμετροι του άρρηκτου και ρηγμαστωμένου βράχου θεμελίωσης.....	121

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη για απεξάρτηση από τις συμβατικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και για μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης ολοένα και αυξάνεται τα τελευταία χρόνια κάνοντας στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ΑΠΕ είναι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια των κυμάτων, η παλιρροιακή ενέργεια, η βιομάζα, η υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς, τα εκλυόμενα αέρια από τους χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια ή ακόμα και συνδυασμός αυτών. Οι πηγές αυτές, χαρακτηρίζονται ως ανανεώσιμες λόγω του ότι δεν υπάρχει ένα πεπερασμένο αποθεματικό αυτών, και είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμες.

Σημαντικό πλεονέκτημα τους σχετίζεται με τις επιδράσεις που έχουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, σε αντίθεση με τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα. Σε πολλές χώρες η υιοθέτηση νέων ενεργειακών πολιτικών σχετίζεται με την επιβολή ποινών σε συστήματα παραγωγής ενέργειας που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα τα οποία συνεισφέρουν στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως CO₂), προωθώντας με αυτό τον τρόπο τις «καθαρές» τεχνολογίες που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, το γεγονός ότι οι τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι εξαρτώμενες από μια πηγή η οποία δεν είναι ελεγχόμενη έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αξιοπιστίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος μπορεί να γίνει, πέραν της εγκατάστασης συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών, με τη χρήση τεχνολογιών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, που λειτουργούν ως ένα μέσο εξισορρόπησης της ενέργειας του συστήματος.

Η ταχεία προώθηση των ΑΠΕ αποτελεί έναν από τους θεμελιώδεις άξονες της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), στο πλαίσιο της προσπάθειας αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής και των ενδεχόμενων καταστροφικών συνεπειών της. Άρρηκτα συνδεδεμένη με τις πολιτικές που αποβλέπουν στον δραστικό περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και την εξοικονόμηση ενέργειας, η ευρωπαϊκή πολιτική για τις ΑΠΕ έχει καθορίσει δεσμευτικό στόχο, σύμφωνα με τον οποίο μέχρι το 2020 το 20% του συνόλου της ενέργειας που καταναλώνεται στην ΕΕ θα πρέπει να προέρχεται από ΑΠΕ. Ο στόχος αυτός έχει επιμεριστεί στα κράτη μέλη και η επίτευξη του συνοδεύεται από πρόσθετα οφέλη, καθώς, εκτός από τη συνεισφορά στη μείωση των εκπομπών, αναμένεται να οδηγήσει σε βελτίωση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και σε τόνωση της ευρωπαϊκής οικονομίας, η βιομηχανία της οποίας πρωτοπορεί τεχνολογικά στην κατασκευή του απαιτούμενου εξοπλισμού. Επιπλέον, αναμένεται να αποφευχθεί η μεγάλης έκτασης εξαγωγή συναλλάγματος για εισαγωγές συμβατικών καυσίμων από όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Το ήδη θεσμοθετημένο πλαίσιο πολιτικής για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, αναπόσπαστο μέρος του οποίου αποτελεί και η ταχεία προώθηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, συνιστά μόλις το πρώτο βήμα στην προσπάθεια μετασχηματισμού προς μια οικονομία με χαμηλές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Η προσπάθεια δεν πρόκειται να ολοκληρωθεί το 2020, αλλά όπως προκύπτει από τον Οδικό Χάρτη για το Κλίμα που πρόσφατο ανακοίνωσε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Μάρτιος 2011), ήδη προετοιμάζεται η εποχή μετά το 2020, όπου οι στόχοι μείωσης των εκπομπών θα είναι ακόμα υψηλότεροι. Μια τέτοια εξέλιξη θα δώσει τεράστια ώθηση στον απρόσκοπτο μετασχηματισμό του ενεργειακού συστήματος, μέσω της αξιοποίησης τεχνολογιών χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών, όπως η πλειονότητα των τεχνολογιών ΑΠΕ.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την **αξιολόγηση της καταλληλότητας της περιοχής ενδιαφέροντος για την εγκατάσταση ενός Υβριδικού Σταθμού στη θέση "Σταυρός – Κισός"** ισχύος 1,95MW και 5MW αντίστοιχα του Δήμου Κισσάμου, Περιφερειακής Ενότητας Χανίων, ο οποίος θα αποτελείται συνολικά από 6 ανεμογεννήτριες τύπου Gamesa G114, 2 στη θέση "Σταυρός" και 4 στη θέση "Κισός".

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν τεχνικά έργα εκμετάλλευσης φυσικών πόρων. Είναι αιολικές μηχανές που μετατρέπουν τον άνεμο από κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική, με αποτέλεσμα τη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, είτε για τη σύνδεση με το δίκτυο είτε σε απομακρυσμένες περιοχές από κάποιο δίκτυο διανομής. Η θεμελίωση των ανεμογεννητριών είναι απαραίτητο κριτήριο για τη σωστή και εποικοδομητική λειτουργία τους και πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν το γεωλογικό υπόβαθρο στο οποίο θα στηριχθεί η όλη κατασκευή. Για το λόγο αυτό, πρέπει να γίνεται λεπτομερής έρευνα για το είδος των σχηματισμών και των επιμέρους μηχανικών χαρακτηριστικών τους, για την αποφυγή πιθανών αστοχιών.

Πέρα από την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, στην περιοχή ενδιαφέροντος πρόκειται να εγκατασταθεί το κτίριο του Κέντρου Ελέγχου και το Σύστημα αποθήκευσης γι' αυτό και ο όρος «Υβριδικός» Σταθμός, πράγμα που σημαίνει ότι θα γίνεται αποθήκευση της ενέργειας, τις ώρες που το σύστημα δεν θα τη χρειάζεται.

Η έρευνα καταλληλότητας του εδάφους για την εγκατάσταση του Υβριδικού Σταθμού πραγματοποιήθηκε σε γεωφυσικό και γεωτεχνικό επίπεδο.

Η **γεωφυσική έρευνα** έχει σαν στόχο την αξιοποίηση των γεωφυσικών γνώσεων για πρακτικούς σκοπούς. Από τα αποτελέσματα της εφαρμοσμένης γεωφυσικής έρευνας, προκύπτουν σημαντικές πληροφορίες για τα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης. Επίσης, προσδιορίζονται οι μηχανικές ιδιότητες των επιφανειακών στρωμάτων, που έχουν άρρηκτη σχέση με την κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων, όπως είναι η εγκατάσταση ανεμογεννητριών αλλά και άλλων μεγάλων έργων.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι παρουσιάζουν ιδιαίτερη τεχνολογική πρόοδο, με αποτέλεσμα να έχουν εφαρμογή ευρέως στην απεικόνιση του εδάφους. Έχουν καθιερωθεί σε

τομείς όπως ο εντοπισμός εγκοίλων, βραχωδών σχηματισμών, η μεταλλευτική έρευνα, η αναζήτηση κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου, η εφαρμοσμένη μηχανική και η αρχαιομετρία. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραδοσιακές γεωφυσικές τεχνικές που αρχικά εφαρμόζονταν στην αναζήτηση κοιτασμάτων πετρελαίου και μεταλλευμάτων βρίσκουν πια πρόσφορο έδαφος και στην απεικόνιση των εδαφικών σχηματισμών.

Η **γεωτεχνική έρευνα** έχει σκοπό την λήψη πληροφοριών για τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και των πετρωμάτων γύρω από μία περιοχή ενδιαφέροντος. Περιλαμβάνει τη συγκέντρωση και την αξιολόγηση των πετρωμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών σε δείγματα που λαμβάνονται από το πεδίο της εκάστοτε έρευνας.

Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, με τη χρήση γεωφυσικών και γεωτεχνικών μεθόδων στοχεύετε η **εύρεση και αξιολόγηση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους και των πετρωμάτων της περιοχής εγκατάστασης** για καθεμία από τις 6 ανεμογεννήτριες (2 στη θέση "Σταυρός" και 4 στη θέση "Κισός"), του Συστήματος αποθήκευσης καθώς και της περιοχής ανέγερσης του κτιρίου του Κέντρου ελέγχου για καθεμία από τις δύο θέσεις εγκατάστασης.

Προς τούτο, πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με τη **μέθοδο της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας καθώς και ηλεκτρικής βυθοσκόπησης** για την αξιολόγηση του εδάφους, και γεωτεχνική μελέτη με εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής, για την αξιολόγηση του πετρώματος που εμφανίζεται στη περιοχή με τη **μέθοδο ανεμπόδιστης θλίψης με 2 strain gage ανά δοκίμιο και τριαξονικές δοκιμές σε χαμηλή και υψηλή τάση περιορισμού.**

Η επεξεργασία των μετρήσεων της ηλεκτρικής τομογραφίας πραγματοποιήθηκε με την χρήση εξειδικευμένων λογισμικών. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Res2Dinv για την απεικόνιση των γεωηλεκτρικών τομών (2D) για όλες τις θέσεις εγκατάστασης, το Res3dinv για την απεικόνιση (3D) για την 1 ανεμογεννήτρια (Α/Γ1) στη θέση «Σταυρός» (δυτική πλευρά) καθώς και το πρόγραμμα Prosys για την ένταξη των υψομέτρων σε κάθε γραμμή μελέτης. Η μέθοδος αντιστροφής που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος με περιορισμό εξομάλυνσης.

Για τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας, χρησιμοποιήθηκε σε πρώτο στάδιο το πρόγραμμα Poltrefa και στην συνέχεια για την εξαγωγή των μοντέλων το πρόγραμμα PickWin. Για την επεξεργασία των επιφανειακών κυμάτων χρησιμοποιήθηκε η πολυκάναλη μέθοδος ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (MASW). Για την επεξεργασία των δεδομένων με τη μέθοδο MASW χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Krisis σε περιβάλλον MATLAB.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει στόχο την αξιολόγηση της καταλληλότητας της περιοχής ενδιαφέροντος για την εγκατάσταση Υβριδικού Σταθμού στη θέση "Σταυρός – Κισός", του Δήμου Κισσάμου, Περιφερειακής Ενότητας Χανίων με τη χρήση γεωφυσικών και γεωτεχνικών μεθόδων.

Ειδικότερα, στοχεύει στην εύρεση και αξιολόγηση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους και του πετρώματος της περιοχής εγκατάστασης καθεμίας από τις 6 ανεμογεννήτριες (2 στη θέση "Σταυρός" και 4 στη θέση "Κισός") και του Συστήματος αποθήκευσης καθώς και της περιοχής ανέγερσης του κτιρίου του Κέντρου Ελέγχου για καθεμία από τις δύο θέσεις εγκατάστασης.

Προς τούτο, πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με τη μέθοδο της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας καθώς και ηλεκτρικής βυθοσκόπησης για την αξιολόγηση του εδάφους και γεωτεχνική μελέτη με εργαστηριακές δοκιμές για την αξιολόγηση του πετρώματος που εμφανίζεται στη περιοχή.

Η γεωφυσική διασκόπηση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας καθώς και της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης και περιλάμβανε:

- Για την ηλεκτρική τομογραφία:
1 γραμμή μελέτης για κάθε σημείο εγκατάστασης (2D απεικονίσεις) και επιπλέον 7 γραμμές μελέτης για την θέση εγκατάστασης της Α/Γ 1 (σύνολο 8 γραμμές μελέτης) στη θέση "Σταυρός" (3D απεικονίσεις).
- Για την ηλεκτρική βυθοσκόπηση:
3 διευθύνσεις για τις θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών και 5 διευθύνσεις για τις θέσεις εγκατάστασης της περιοχής του κέντρου ελέγχου (Κτίριο κέντρου ελέγχου και συσσωρευτές)
- Για τη σεισμική τομογραφία:
5 γραμμές σεισμικής τομογραφίας, 2 για τις θέσεις εγκατάστασης του κτιρίου ελέγχου και των συσσωρευτών και 3 για τη θέση εγκατάστασης της Α/Γ 1, Α/Γ 5 και Α/Γ 6.

Η γεωτεχνική επεξεργασία και μελέτη περιλάμβανε εργαστηριακές δοκιμές για τον υπολογισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, της συνοχής και της γωνίας τριβής του πετρώματος, με σκοπό τον χαρακτηρισμό της παραμορφωσιμότητας και της αντοχής της βραχομάζας. Οι δοκιμές ήταν οι εξής:

- Έξι (6) δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης με 2 strain gage ανά δοκίμιο για τον υπολογισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, της συνοχής και της γωνίας τριβής του πετρώματος
- Έξι (6) τριαξονικές δοκιμές σε χαμηλή τάση περιορισμού και
- Έξι (6) τριαξονικές δοκιμές σε υψηλή τάση περιορισμού

1.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η γεωφυσική χρησιμοποιεί μεθόδους μέτρησης φυσικών μεγεθών στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να το καταστρέφει. Στόχος μιας γεωφυσικής έρευνας μπορεί να είναι η εύρεση νερού μες το υπέδαφος, καρστικού εγκοίλου, βραχωδών σχηματισμών, ρηγμάτων που δεν είναι εμφανή στην επιφάνεια, ρωγμών στα θεμέλια μεγάλων εγκαταστάσεων, θαμμένων αρχαιολογικών χώρων αλλά και κοιτασμάτων πετρελαίου.

Η **γεωφυσική έρευνα** βασίζεται στη συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων που γίνονται απευθείας στο πεδίο με γεωφυσικά όργανα. Παράμετροι του εδάφους είναι η ηλεκτρική αντίσταση, η πυκνότητα, η θερμοκρασία, οι ελαστικές σταθερές, η πίεση κ.α. Μέσα από τις μετρήσεις αυτές, το συνδυασμό τους και την επεξεργασία τους προκύπτει μία εικόνα για το υπέδαφος. Αυτό βοηθά στην απόκτηση μιας εικόνας για τη κατάσταση του εδάφους, τη σύσταση του και τις συνθήκες που επικρατούν σε βάθος πέραν της επιφάνειας.

Σκοπός λοιπόν της γεωφυσικής μας έρευνας, είναι να εντοπιστούν δομές **σε βάθη έως 8 m** από το επίπεδο θεμελίωσης των ανεμογεννητριών, του κέντρου ελέγχου και του συστήματος αποθήκευσης με τη χρήση της μεθόδου της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας και ηλεκτρικής βυθοσκόπησης.

Οι δομές είναι δυνατόν να εντοπιστούν από τις διαφοροποιήσεις των τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, γνωστές ως γεωηλεκτρικές ανωμαλίες.

Οι θέσεις διασκόπησης επιλέχθηκαν με βάση την προτεινόμενη θέση θεμελίωσης για κάθε σημείο εγκατάστασης, ώστε να εντοπιστούν πιθανές δομές που επηρεάζουν τα δομικά στοιχεία της θεμελίωσης και ενδέχεται να προκαλέσουν αστοχίες. Η προσβασιμότητα στο χώρο αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την διεξαγωγή των γεωφυσικών μετρήσεων.

Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκε ηλεκτρική τομογραφία με τη χρήση του 10-κάναλου ηλεκτρόμετρου SYSCAL Pro SwitchTM της εταιρίας IRIS Instruments και διάταξη ηλεκτροδίων διπόλου – διπόλου με ισαποστάσεις ηλεκτροδίων 1,5m, εκτός για τη θέση εγκατάστασης 1 που πραγματοποιήθηκε με ισαπόσταση 2m. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας 48 ηλεκτρόδια με μήκος γραμμών μελέτης 70,5 και 90m αλλά και 24 ηλεκτρόδια με μήκος γραμμής 34,5m. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε σεισμική τομογραφία με τη χρήση του Σεισμογράφου 24 καναλιών Geode EG&G Geometrics, σε επιλεγμένες θέσεις, με μήκος 69 και 48m και απόσταση μεταξύ γεωφώνων ίση με 3 και 2m αντίστοιχα.

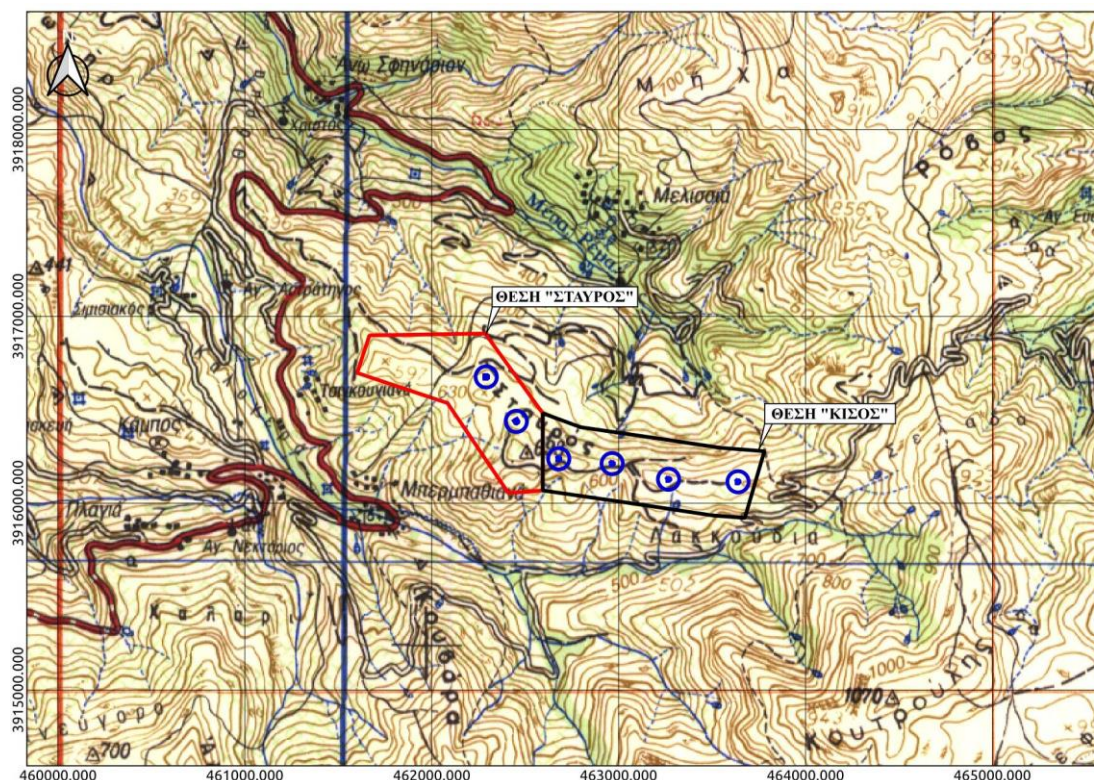
Η **γεωτεχνική έρευνα** έχει σκοπό την λήψη πληροφοριών για τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και των πετρωμάτων γύρω από μία περιοχή ενδιαφέροντος. Περιλαμβάνει τη συγκέντρωση και αξιολόγηση των πετρωμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών που εκτελούνται στο εργαστήριο σε δείγματα που λαμβάνονται από το πεδίο της εκάστοτε έρευνας.

Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης με 2 strain gage ανά δοκίμιο και τριαξονικές δοκιμές σε χαμηλή και υψηλή τάση περιορισμού, με σκοπό το προσδιορισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, της συνοχής και της γωνίας τριβής του πετρώματος. Οι ανωτέρω δοκιμές είναι απαραίτητες γιατί οι εντατικές συνθήκες κάτω από τις τεχνητές κατασκευές που θα εδραστούν επί του πετρώματος, είναι η μονοαξονική (ανεμπόδιστη) και η τριαξονική θλίψη.

1.2 ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

1.2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΘΕΣΗ "ΣΤΑΥΡΟΣ – ΚΙΣΟΣ"

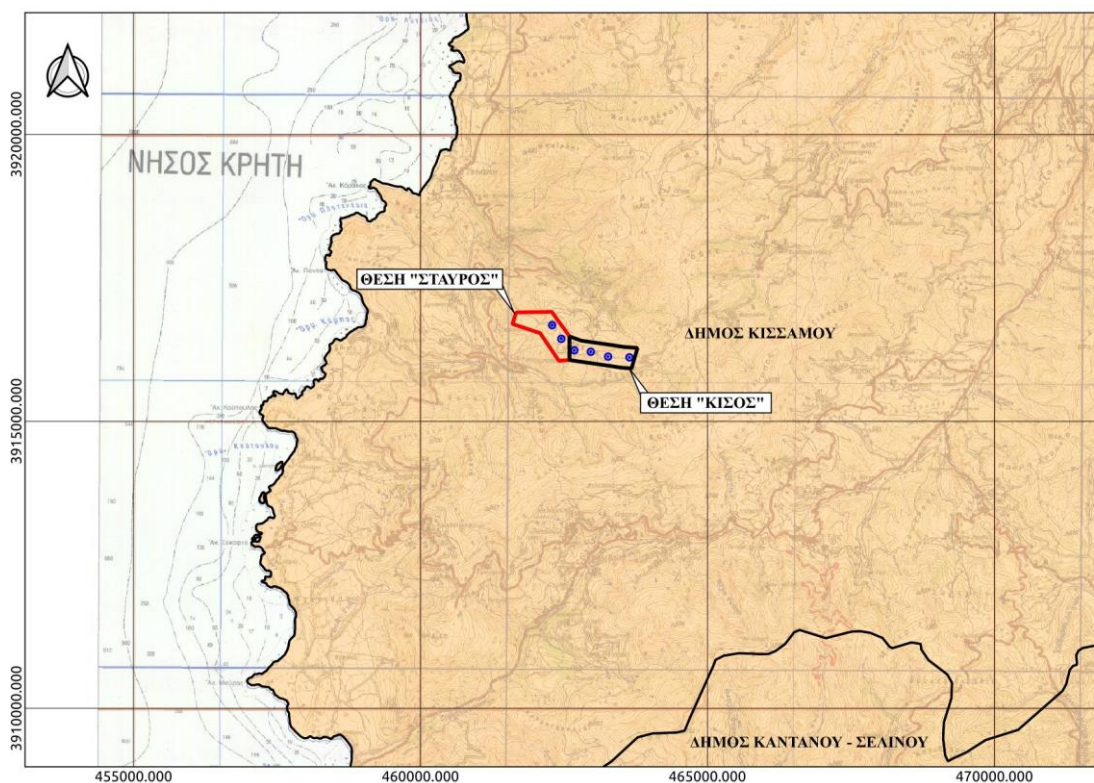
Η περιοχή του Έργου στη θέση "Σταυρός - Κισός" βρίσκεται στο Δήμο Κισσάμου, Δημοτικής Ενότητας Ιναχωρίου, Περιφερειακής Ενότητας Χανίων. Η περιοχή ενδιαφέροντος στη θέση "Σταυρός" βρίσκεται περίπου 1,3km νότια του οικισμού "Άνω Σφηνάρι", 1km νοτιοδυτικά του οικισμού Μελισσιά, και 0,6km περίπου βόρεια του οικισμού Μπερμπαθιανά. Στην θέση αυτή πρόκειται να εγκατασταθεί **Υβριδικός Σταθμός**, αποτελούμενος από **2 ανεμογεννήτριες** τύπου Gamesa G114. Η περιοχή ενδιαφέροντος στη θέση "Κισός" βρίσκεται περίπου 1km νότια του οικισμού Μελισσιά, 0,8km περίπου βορειοανατολικά του οικισμού Μπερμπαθιανά και 2,2km βόρεια του οικισμού Φελεσιανά. Στην θέση αυτή πρόκειται να εγκατασταθεί **Υβριδικός Σταθμός**, αποτελούμενος από **4 ανεμογεννήτριες** τύπου Gamesa G114.



Εικόνα 1.1: Γεωγραφική Θέση του Έργου στη θέση "Σταυρός – Κισός" (απόσπασμα χάρτη Γ.Υ.Σ 1:50.000).

1.2 ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΥΠΑΓΩΓΗ

Το προτεινόμενο έργο βρίσκεται στη θέση **"Σταυρός – Κισός"** του Δήμου **Κισσάμου** (Εικόνα 1.2). Ο Δήμος Κισσάμου αποτελείται από τις Δημοτικές Ενότητες, Ιναχωρίου, Κισσάμου και Μεθύμνης και ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Χανίων της Περιφέρειας Κρήτης.



Εικόνα 1.2: Θέση του Έργου "Σταυρός – Κισός" στα Διοικητικά όρια Δημοτικών ενοτήτων.

1.3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ

Οι συντεταγμένες της περιοχής εγκατάστασης και των θέσεων των ανεμογεννητριών του Υβριδικού Σταθμού στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87) παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

ΘΕΣΕΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ “ΣΤΑΥΡΟΣ”		
α/α	ΕΓΣΑ ‘87	
	X(m)	Y(m)
1	462291	3916676
2	462452	3916438

ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ “ΣΤΑΥΡΟΣ”		
α/α	ΕΓΣΑ ‘87	
	X(m)	Y(m)
1	461600	3916697
2	462084	3916536
3	462410	3916055
4	462594	3916068
5	462594	3916481
6	462285	3916908
7	461666	3916898

ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ “ΚΙΣΟΣ”		
α/α	ΕΓΣΑ ‘87	
	X(m)	Y(m)
1	463675	3915921
2	463503	3915935
3	463143	3915989
4	462594	3916068
5	462594	3916481
6	462796	3916407
7	463196	3916349
8	463544	3916296
9	463779	3916278

ΘΕΣΕΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ “ΚΙΣΟΣ”		
α/α	ΕΓΣΑ ‘87	
	X(m)	Y(m)
1	462679	3916236
2	462965	3916212
3	463267	3916128
4	463638	3916115

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν τεχνικά έργα εκμετάλλευσης φυσικών πόρων. Είναι αιολικές μηχανές που μετατρέπουν τον άνεμο από κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική, με αποτέλεσμα τη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, είτε για τη σύνδεση με το δίκτυο είτε σε απομακρυσμένες περιοχές από κάποιο δίκτυο διανομής.

Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες, οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) του οριζόντιου άξονα, στις οποίες ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται πάντα παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους και β) του κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και κάθετος στην επιφάνεια του εδάφους.

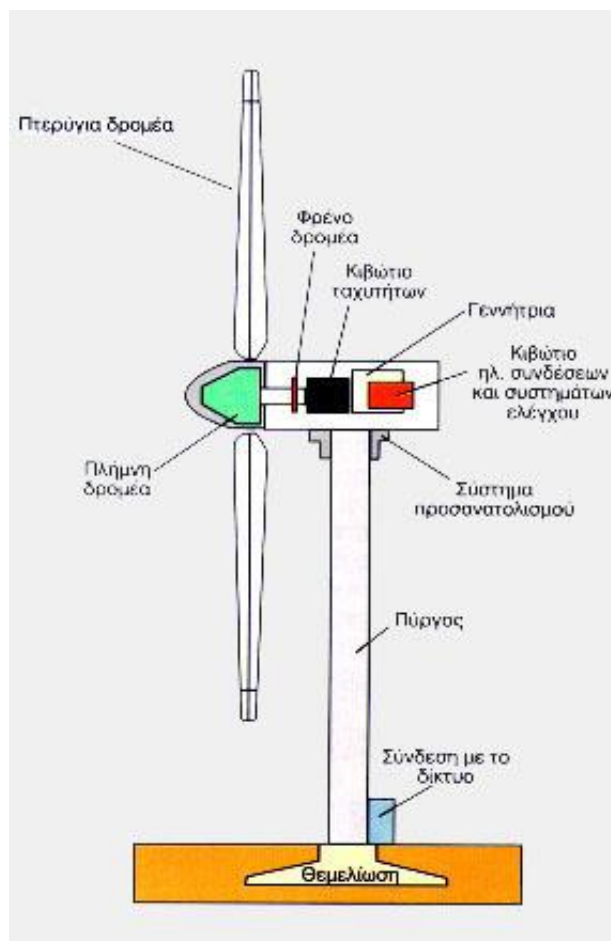
Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου αλλά και από το μέγεθος της. Το μέγεθος της ποικίλει και είναι συνάρτηση των αναγκών που πρόκειται να εξυπηρετεί και η ισχύς της κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες έως μερικά εκατομμύρια Watt.

2.1 ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Τα κύρια μέρη μιας ανεμογεννήτριας είναι:

- *Ο δρομέας*, ο οποίος απαρτίζεται από δύο ή τρία πτερύγια κατασκευασμένα από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια τοποθετούνται πάνω σε μία πλήμνη σταθερά, αλλιώς με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους, μεταβάλλοντας το βήμα.
- *Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης*, το οποίο απαρτίζεται από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών. Το κιβώτιο αυτό προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής η ταχύτητα περιστροφής παραμένει ίδια.
- *Η ηλεκτρική γεννήτρια*, βρίσκεται πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας, μπορεί να είναι σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους και συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και με αυτόν τον τρόπο μετατρέπεται η μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.
- *Το σύστημα πέδησης*, που ουσιαστικά αποτελείται από ένα δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας και βοηθά στη μείωση της ταχύτητας σε περίπτωση που ξεπερνά κάποιο όριο για να μην υποστεί η ανεμογεννήτρια κάποια βλάβη.
- *Το σύστημα προσανατολισμού*, το οποίο είναι αρμόδιο για τον άξονα περιστροφής του δρομέα, διότι θα πρέπει να είναι παράλληλος με τη διεύθυνση του ανέμου, γεγονός που επιτυγχάνεται με αισθητήρες ή με καθοδηγητικό πτερύγιο (σαν ανεμοδείκτης).

- Ο πύργος, στον οποίο στηρίζεται όλη η παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση και είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και πιο σπάνια από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Ο ηλεκτρονικός πίνακας και ο πίνακας ελέγχου, οι οποίοι βρίσκονται στη βάση του πύργου. Ο πίνακας ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για τη σωστή λειτουργία της.



Εικόνα 2.1: Κύρια μέρη ανεμογεννήτριας
(http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm)

Στην περίπτωση μας θα εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες της εταιρείας Gamesa τύπου G114, με διάμετρο 114m και αριθμό πτερυγίων ίσο με 3.

2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από την εγκατάσταση και λειτουργία των ανεμογεννητριών είναι τα εξής:

Πλεονεκτήματα:

- Ανεξάντλητη διαθέσιμη πηγή – άνεμος, η οποία παρέχεται δωρεάν

- Εκμετάλλευση ανέμου σε μεγαλύτερες ταχύτητες, λόγω του ύψους των ανεμογεννητριών
- Περιβαλλοντικά θετικά οφέλη (δεν δημιουργεί καυσαέρια και δεν μολύνει το περιβάλλον)

Μειονεκτήματα:

- Μεγάλο κόστος κατασκευής και μεταφοράς λόγω μεγέθους
- Παραγωγή θορύβου
- Αισθητική οπτική όχληση
- Ενόχληση της πανίδας και πιο συγκεκριμένα των πτηνών λόγω του ύψους των ανεμογεννητριών. Μερικές φορές παρατηρείται η σύγκρουση αυτών με τους ηλεκτρικούς κινητήρες, με αποτέλεσμα να σκοτώνονται.

Τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα έχουν επιλυθεί ή έχουν μειωθεί σε σημαντικό βαθμό μέσω της τεχνολογικής ανάπτυξης αλλά και μέσω της επιλογής κατάλληλων περιοχών για τη δημιουργία των αιολικών σταθμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εφαρμόζονται για τον καθορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Αυτό επιτυγχάνεται με την μέτρηση της ηλεκτρικής τάσης, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο καθορισμός και η μελέτη της κατανομής των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Για την επιτυχή εφαρμογή των ηλεκτρικών μεθόδων είναι απαραίτητη η ύπαρξη σημαντικής αντίθεσης στις ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ του υπό μελέτη σχηματισμού και του ευρύτερου γεωλογικού περιβάλλοντος. Γενικά, χρησιμοποιούνται στη χαρτογράφηση γεωλογικών σχηματισμών, στην κοιτασματολογία, στην τεκτονική, στην υδρογεωλογία, στην τεχνική γεωλογία, στη γεωθερμία, στη στρωματογραφία αλλά και στην αρχαιολογία.

3.1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στην λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. 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. Έτσι λοιπόν, με την ηλεκτρική τομογραφία επιδιώκεται ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους, δηλαδή η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η πιο διαδεδομένη από τις ηλεκτρικές μεθόδους τόσο από λειτουργικής πλευράς όσο και από θεωρητικής. Έχει σκοπό το καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος που ονομάζεται γεωηλεκτρική δομή. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία τεχνητών ηλεκτρικών πεδίων. Το ηλεκτρικό πεδίο επηρεάζεται από τη δομή του υπεδάφους και επομένως από τις μετρήσεις του δυναμικού είναι δυνατός ο καθορισμός της δομής.

Η **ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ)** είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων και δίνεται από τον τύπο:

$$\rho = \frac{RA}{L}, \text{ όπου:}$$

- R: Αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού,
- A: Εμβαδόν τομής αγωγού
- L: Μήκος αγωγού

Μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) είναι το Ωm .

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ) εξαρτάται γενικά από τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης, τη χημική σύσταση του νερού και τη συγκέντρωση των διαλυμένων ιόντων σε αυτό, το μέγεθος των πόρων των σχηματισμών, τις πιθανές διαρρήξεις και διακλάσεις, τη θερμοκρασία και την πίεση. Οι παράγοντες που επηρεάζουν και κατά συνέπεια ρυθμίζουν την ηλεκτρολυτική αγωγή, άρα και την αντίσταση του υπεδάφους είναι ευμετάβλητοι αφού εξαρτώνται από το ποσοστό και τη σύσταση του νερού που κυκλοφορεί στο πορώδες (πρωτογενές ή δευτερογενές) των πετρωμάτων του υπεδάφους.

Το πλήθος των παραγόντων, αλλά και η συχνή μεταβολή κάποιων από αυτούς, έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές διακυμάνσεις στις τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης, ακόμα και μέσα στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Τα ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία έχουν μεγαλύτερο πορώδες και ενδεχομένως «φιλοξενούν» υψηλότερο ποσοστό νερού, έχουν γενικά σχετικά χαμηλές αντιστάσεις. Τα συμπαγή πετρώματα έχουν ενδιάμεσες και μεγαλύτερες τιμές αντιστάσεων και η τελική τους τιμή εξαρτάται από τον βαθμό καταπόνησης τους (τεκτονισμός, αποσάθρωση κλπ) και το νερό που περιέχουν στο πρωτογενές αλλά και στο δευτερογενές πορώδες τους.

Είδος Πετρώματος	Αντίσταση (Ωm)
Επιφανειακές Προσχώσεις	80 - 250
Πυριγενή	
Οφιόλιθοι	100 – 300
Ιζηματογενή	
Άργιλοι	2 – 20
Μάργες	20 – 60
Άμμοι και Χαλίκια κορεσμένα	50 – 500
Εβαπορίτες (γύψοι)	200
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	150 – 500
Κροκαλοπαγή βάσεως	200 – 300
Ψαμμίτες	50 – 70
Συμπαγής δολομίτης	>105
Πορώδης δολομίτης	100 – 1000
Φλύσχης	70 – 80
Ασβεστόλιθοι	>500
Μεταμορφωμένα	
Σχιστόλιθοι	100 – 300
Διάφορα Υλικά	
Αέρας	∞
Υπόγειο Νερό	0.5 – 300
Θαλασσινό Νερό	0.2

Πίνακας 3.1: Εύρος τυπικών τιμών ηλεκτρικών αντιστάσεων διαφόρων υλικών.

Με βάση τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται πως τα μεταμορφωμένα πετρώματα, στα οποία ανήκουν και τα πετρώματα της περιοχής μελέτης, παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ενώ τα ιζηματογενή (ψαμμίτες), τις χαμηλότερες, επειδή συνήθως έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ρευστά.

Το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης $\sigma = \frac{1}{\rho}$, λέγεται **ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα**.

Επειδή δεν είναι εύκολος ο άμεσος υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος από μετρήσεις στην επιφάνεια της γης, υπολογίζεται αρχικά η **φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a** , η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος.

Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα και η τιμή της εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Για την διάταξη Wenner δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}, \text{ όπου:}$$

- a : Απόσταση ηλεκτροδίων
- ΔV : Διαφορά δυναμικού
- I : Ένταση του ρεύματος που διέρχεται από τα ηλεκτρόδια

Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός διαφορετικών διατάξεων ηλεκτροδίων. (Αναλυτικότερα οι διατάξεις ηλεκτροδίων στο Κεφάλαιο 3.3).

3.1.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ

Η γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση αποτελεί μέρος της ηλεκτρικής διασκόπησης, στην οποία μελετάται η μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος. Απεικονίζει δηλαδή την μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά μία μόνο διάσταση, αυτή του βάθους, πράγμα το οποίο επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της με πληροφορίες από γεώτρηση. Στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση αντί του γεωφυσικού χάρτη, προκύπτει γράφημα της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους. Η βυθοσκόπηση είναι μία σχετικά γρήγορη και μικρού κόστους γεωηλεκτρική διασκόπηση η οποία επιτρέπει την εξαγωγή αξιόλογων συμπερασμάτων για την εναλλαγή των στρωμάτων με το βάθος.

Η περιγραφή της γεωλογικής δομής του υπεδάφους κατά την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης, προκύπτει από τον υπολογισμό των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του πάχους ή/και του βάθους των γεωλογικών στρωμάτων.

Με τη γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση προσδιορίζεται η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a σε σταθερό σημείο της επιφάνειας για διαδοχικά αυξανόμενες τιμές του γεωμετρικού συντελεστή a . Αυτό συμβαίνει αυξάνοντας συνεχώς την απόσταση

μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Καθώς η διάταξη των ηλεκτροδίων απλώνεται, η ίδια ποσότητα ρεύματος διαρρέει μεγαλύτερα βάθη. Άρα, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των βαθύτερων γεωλογικών στρωμάτων επηρεάζει τη φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Ανάμεσα στις διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων, η διάταξη Wenner, την οποία και χρησιμοποιήθηκε, είναι η λιγότερο κατάλληλη για τις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις λόγω της μετακίνησης των τεσσάρων ηλεκτροδίων σε κάθε πρόσθετη μέτρηση. Αντίθετα στη διάταξη Schlumberger τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν στην ίδια θέση, και μόνο τα ηλεκτρόδια του ρεύματος μετακινούνται για κάθε επιπλέον μέτρηση.

3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που συλλέγονται με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας και βυθοσκόπησης αποτελούν τη ψευδοτομή του υπεδάφους. Το επόμενο βήμα είναι η αντιστροφή των δεδομένων, δηλαδή ο υπολογισμός της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ .

Με την αντιστροφή λοιπόν, πραγματοποιείται ο υπολογισμός της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις φαινόμενες αντιστάσεις. Στα περισσότερα γεωφυσικά προβλήματα που χρησιμοποιείται η αντιστροφή, τα δεδομένα συνδέονται με μη γραμμικές σχέσεις με τις παραμέτρους του μοντέλου. Έτσι και στην περίπτωση της αντιστροφής των φαινόμενων αντιστάσεων το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Επιπλέον, το πρόβλημα της είναι υπερκαθορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων υπερβαίνει τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου. Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζονται επαναληπτικές τεχνικές που χρησιμοποιούν την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Αρχικά όμως γίνεται προσέγγιση του μη γραμμικού προβλήματος με το γραμμικό, με τη βοήθεια της σειράς Taylor.

3.2.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ

Η αντιστροφή αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές μεθόδους επεξεργασίας των γεωφυσικών δεδομένων και έχει εφαρμοστεί σε όλες τις γεωφυσικές μεθόδους. Στόχος της, είναι ο προσδιορισμός των γεωφυσικών παραμέτρων που αναπαράγουν τα μετρούμενα γεωφυσικά μεγέθη, υπό την θεώρηση ότι αυτά διακρίνονται από τυχαία ή/και συναφή σφάλματα. Το όνομα της προέκυψε από το γεγονός ότι για τον υπολογισμό των ζητούμενων γεωφυσικών παραμέτρων, είναι αναγκαία η εύρεση του αντίστροφου του πίνακα των συντελεστών ενός γραμμικού συστήματος εξισώσεων.

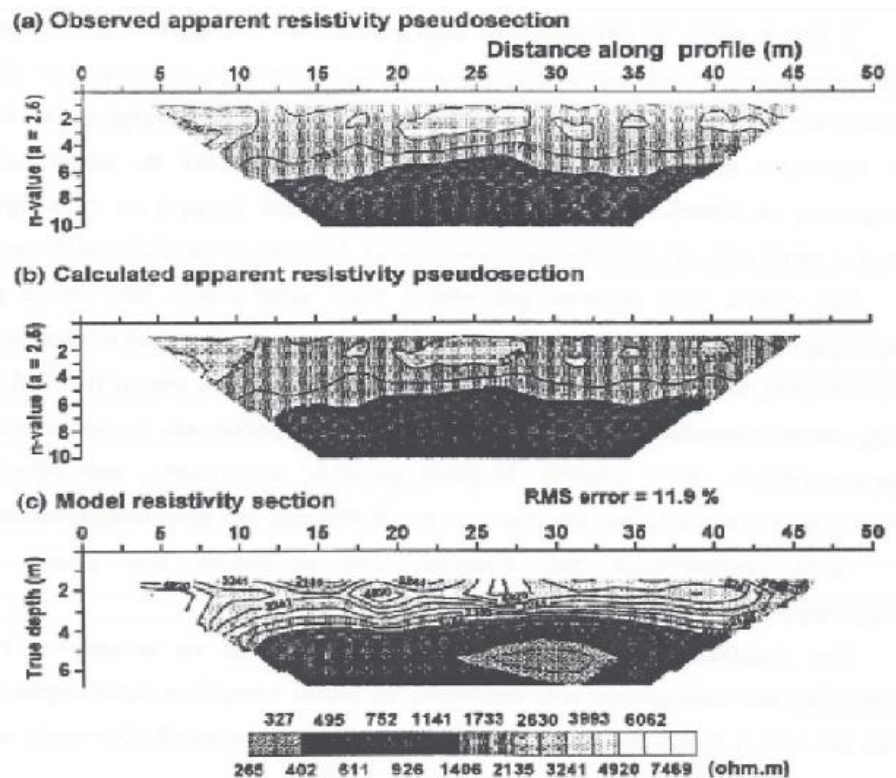
Η αντιστροφή ξεκινά με τη δημιουργία ενός τυχαίου αρχικού μοντέλου των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων. Το επόμενο βήμα είναι η λύση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό. Οι θεωρητικές αυτές τιμές, συγκρίνονται με τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης και υπολογίζεται η απαιτούμενη διόρθωση στο αρχικό μοντέλο, για την ελαχιστοποίηση της διαφοράς μεταξύ της υπολογιζόμενης και της μετρούμενης τιμής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Με την διαδικασία αυτή

υπολογίζεται ένα νέο βελτιωμένο μοντέλο. Η βελτίωση αυτή αφορά μόνο τις παραμέτρους του μοντέλου. Η διαδικασία συνεχίζεται υπολογίζοντας για το βελτιωμένο μοντέλο τις φαινόμενες αντιστάσεις, οι οποίες συγκρίνονται στη συνέχεια με τις πραγματικές μετρήσεις. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο που να δίνει φαινόμενες αντιστάσεις όσο το δυνατόν πιο κοντά στις μετρήσεις.

Για καθεμία από τις μεθόδους αντιστροφής προκύπτουν τρεις γεωηλεκτρικές τομές για κάθε γραμμή μελέτης:

- Η πρώτη γεωηλεκτρική τομή αποτελεί απεικόνιση της ψευδοτομής των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Όπως αναφέρθηκε με την δημιουργία της ψευδοτομής προσδιορίζεται προσεγγιστικά η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντιστάσης στο υπέδαφος.
- Η δεύτερη γεωηλεκτρική τομή αποτελεί απεικόνιση της ψευδοτομής των υπολογισμένων των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης
- Η τρίτη γεωηλεκτρική τομή αποτελεί απεικόνιση της γεωηλεκτρικής τομής από την αντιστροφή των δεδομένων.

Έτσι, προκύπτουν για κάθε γραμμή μελέτης, οι εξής γεωηλεκτρικές τομές που φαίνονται στην παρακάτω Εικόνα:

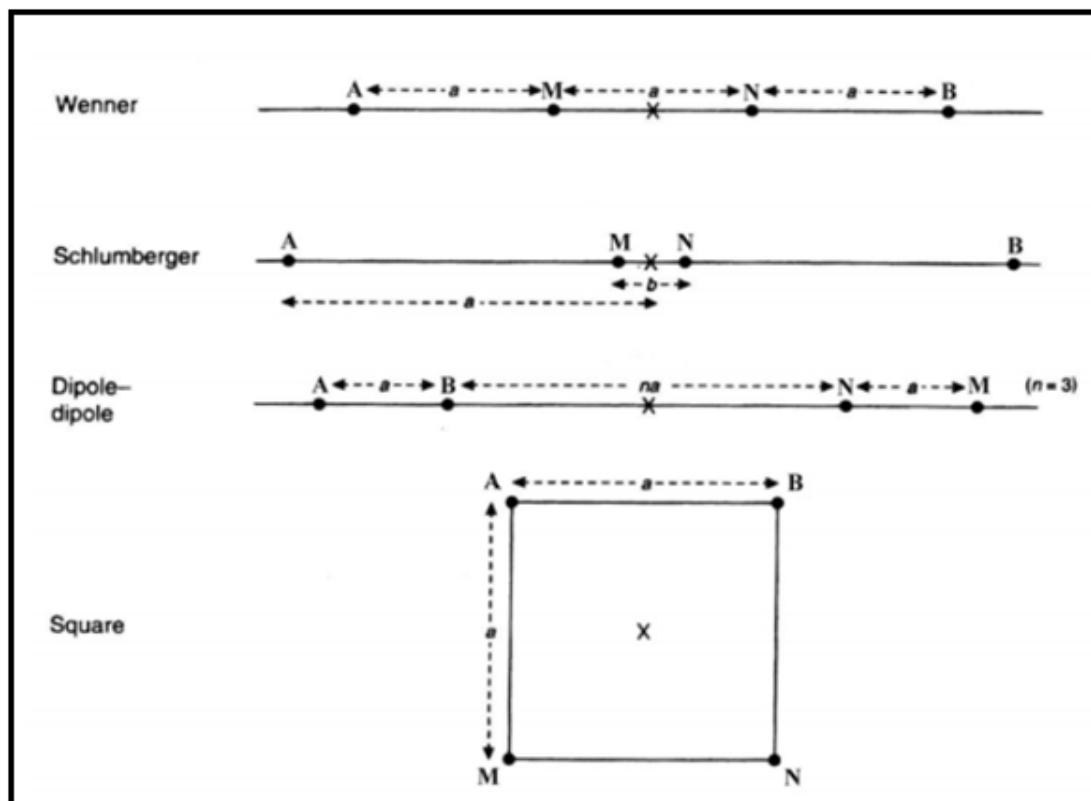


Εικόνα 3.1: Απεικόνιση γεωηλεκτρικών τομών (Βαφείδης, 2001).

Στην απεικόνιση των γεωηλεκτρικών τομών παρουσιάζονται διαφορετικές χρωματικές αποχρώσεις. Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης καθώς και στο σφάλμα. Έτσι, σε συνδυασμό με τα γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, μπορεί να γίνει μία εκτίμηση των ιδιοτήτων του υπεδάφους και να εκτιμηθεί η ύπαρξη πιθανόν βράχων, νερού ή οποιωνδήποτε αστοχιών, που μπορεί να επηρεάσουν την εγκατάσταση του Υβριδικού στη δική μας περίπτωση.

3.3 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Υπάρχουν πολλές διατάξεις ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται σήμερα στην ύπαιθρο, ανάλογα με την περιοχή, το μέγεθος των δομών που αναμένονται, τον εξοπλισμό και την εξοικείωση του προσωπικού. Οι διατάξεις τεσσάρων ηλεκτροδίων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές επειδή ελαχιστοποιούν τα αποτελέσματα της αντίστασης επαφής, δηλαδή της ηλεκτρικής αντίστασης στην θέση του ηλεκτροδίου. Για την επιλογή της διάταξης, κυριότεροι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι το βάθος διασκόπησης καθώς και η διακριτική ικανότητα της κάθε μεθόδου. Έτσι υπάρχουν διατάξεις **διπόλου – διπόλου**, **πόλου – διπόλου**, **Wenner** και **Schlumberger**.



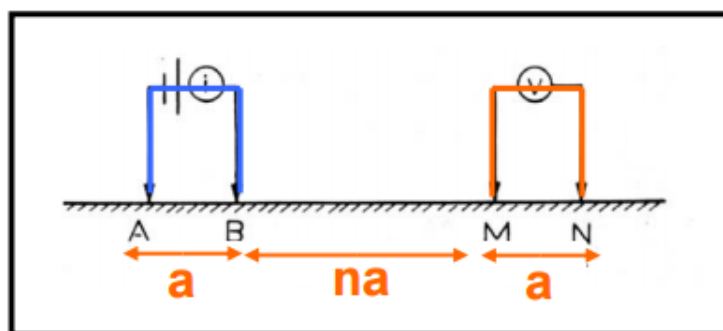
Εικόνα 3.2: Διατάξεις ηλεκτρικής τομογραφίας (Βαφείδης, 2001).

Οι διατάξεις στις οποίες χρησιμοποιούνται δίπολα (διπόλου – διπόλου, πόλου – διπόλου) έχουν μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης για συγκεκριμένο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Οι διατάξεις Wenner,

Schlumberger και διπόλου – διπόλου έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα στο ίδιο βάθος σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις.

3.3.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΟΛΟΥ – ΔΙΠΟΛΟΥ

Στην **διάταξη διπόλου – διπόλου**, την οποία και χρησιμοποιήθηκε, οι μετρήσεις έγιναν τοποθετώντας τα ηλεκτρόδια ρεύματος συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης. Η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Το a είναι το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι ίση με na .



Εικόνα 3.3: Διάταξη διπόλου – διπόλου.

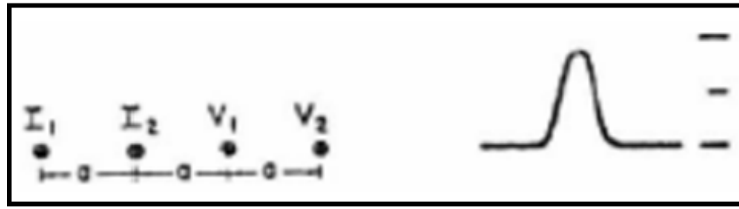
Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a) δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_a = \pi na (n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{I}, \text{ όπου:}$$

- $\pi na (n+1)(n+2)$: Γεωμετρικός συντελεστής της διάταξης των ηλεκτροδίων
- ΔV : Διαφορά δυναμικού
- I : Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος

Εφόσον πρόκειται να καταγραφεί ένα προφίλ ηλεκτρικής αντίστασης, τότε η καλύτερη διάταξη ηλεκτροδίων είναι διπόλου – διπόλου. Η γεωμετρική μορφή του διπόλου καθορίζει και τη διακριτικότητα που θα προκύψει από το προφίλ και πρέπει να επιλέγεται πάντοτε πριν τις μετρήσεις ανάλογα με το γεωφυσικό στόχο. Είναι δηλαδή αδύνατο, να ανιχνευθούν κοιλότητες μεγέθους πέντε μέτρων με δίπολο διαστάσεων μεγαλύτερες από πέντε μέτρα. Η ανάλυση επίσης μειώνεται με το βάθος. **Γενικά, ένας κανόνας είναι να επιλέγεται μήκος διπόλου περίπου στο ήμισυ των αναμενόμενων γεωφυσικών στόχων.**

Το πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι η απόσταση na ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού. **Όσο μεγαλύτερο είναι το n τόσο μεγαλύτερο είναι το βάθος διεξόδου του ηλεκτρικού ρεύματος.** Επιπλέον, έχει μεγάλη ευαισθησία στις πλευρικές μεταβολές της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι παρουσιάζει μικρό λόγο σήματος προς θόρυβο. Δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο της διπλής κορυφής.



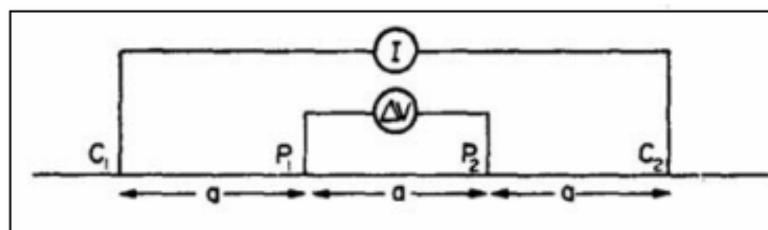
Εικόνα 3.4: Διάταξη διπόλου – διπόλου, τυπική ανωμαλία αντίστασης. (Βαφείδης, 2001).

Τέλος, μειονέκτημα της διάταξης αυτής είναι η ανάγκη μετακίνησης και των τεσσάρων ηλεκτροδίων, το οποίο σημαίνει μεγαλύτερο χρόνο διεξαγωγής των μετρήσεων.

3.3.2 ΔΙΑΤΑΞΗ WENNER

Η **διάταξη Wenner**, η οποία και χρησιμοποιήθηκε για την ηλεκτρική βυθοσκόπηση, είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος μέτρησης της ειδικής αντίστασης του εδάφους. Χρησιμοποιεί συνολικά τέσσερα ηλεκτρόδια, εκ των οποίων δύο είναι ρεύματος και δύο δυναμικού, τα οποία τοποθετούνται σε προκαθορισμένες θέσεις. Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, δηλαδή κατακόρυφη ηλεκτρική διασκόπηση, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται κέντρο της βυθοσκόπησης.

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης το a παραμένει σταθερό και τα τέσσερα ηλεκτρόδια μεταφέρονται κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστοιχείται στο κέντρο της διάταξης. Η διάταξη Wenner παρά τη γεωμετρική της απλότητα παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, αφού κατά την πραγματοποίηση κάθε νέας μέτρησης πρέπει να μετακινούνται όλα τα ηλεκτρόδια.



Εικόνα 3.5: Διάταξη Wenner
(<http://users.uoa.gr/jalexopoulos/electrical.pdf>).

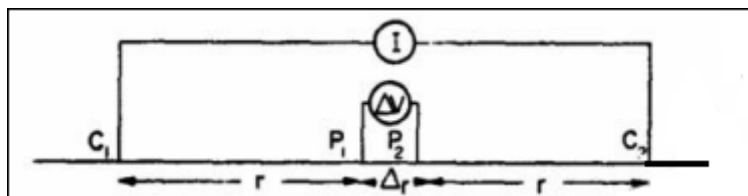
Η φαινόμενη ειδική αντίσταση εδάφους (ρ_a) δίνεται από την σχέση:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}, \text{ όπου:}$$

- V : Μέτρηση διαφοράς δυναμικού
- I : Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος
- a : Απόσταση ηλεκτροδίων

3.3.3 ΔΙΑΤΑΞΗ SCHLUMBERGER

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



Εικόνα 3.6: Διάταξη Schlumberger
(<http://users.uoa.gr/jalexopoulos/electrical.pdf>).

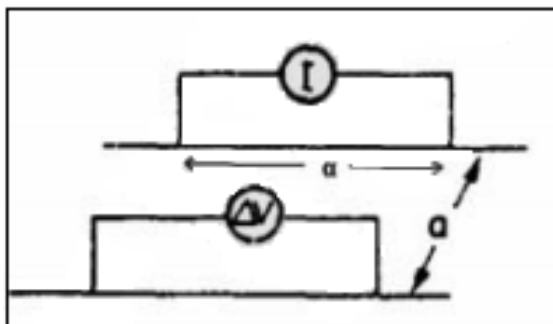
Η φαινόμενη ειδική αντίσταση εδάφους (ρ_a) δίνεται από την σχέση:

$$\rho_a = \pi \frac{L^2}{2l} \frac{\Delta V}{I}, \text{ όπου:}$$

- L : Απόσταση εξωτερικών ηλεκτροδίων από το κέντρο
- l : Απόσταση εσωτερικών ηλεκτροδίων από το κέντρο

3.3.4 ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Στη διάταξη αυτή τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στις κορυφές ενός τετραγώνου και δίνουν τη δυνατότητα εξομάλυνσης των τιμών από αζιμουθιακές μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, που παρατηρούνται πάνω από επαφές ή απότομα κεκλιμένα στρώματα.



Εικόνα 3.7: Τετραγωνική Διάταξη (Square)
(<http://users.uoa.gr/jalexopoulos/electrical.pdf>).

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση (ρ_a) δίνεται από το τύπο:

$$\rho_a = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \frac{\alpha}{2-\sqrt{2}}, \text{ όπου:}$$

- α : Μήκος της πλευράς του τετραγώνου

3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Οι σεισμικές μέθοδοι είναι οι πιο ακριβείς μέθοδοι προσδιορισμού της δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης. Στις σεισμικές μεθόδους τα μετρούμενα μεγέθη είναι το πλάτος και ο χρόνος διαδρομής των σεισμικών κυμάτων. Το πλάτος των σεισμικών κυμάτων μεταβάλλεται, όταν το σεισμικό κύμα κατά τη διάδοσή του συναντά διαχωριστικές επιφάνειες και ελαττώνεται με την απόσταση που έχει διανύσει το σεισμικό κύμα. Με την σεισμική τομογραφία γίνεται απεικόνιση του υπεδάφους κάνοντας χρήση των τιμών ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων διάδοσης σε κάθε σημείο της υπό μελέτης θέσης.

3.4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

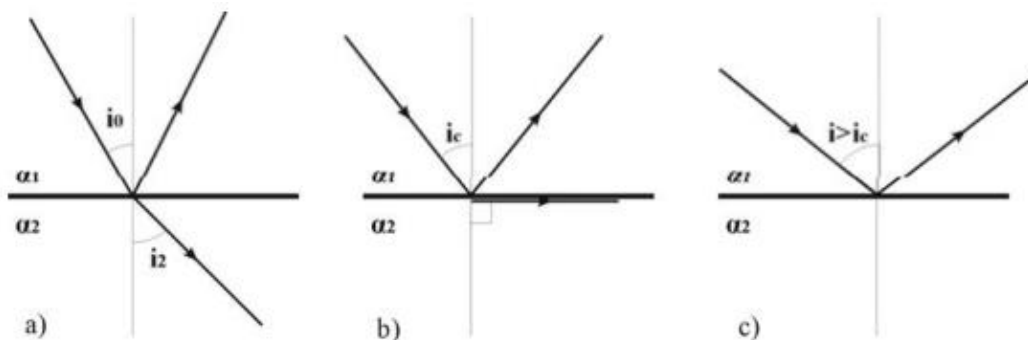
Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας (Σχήμα 3.1a). Η γωνία πρόσπτωσης, i_1 , η γωνία διάθλασης i_2 , και οι ταχύτητες α_1 και α_2 στα δύο επιφανειακά στρώματα συνδέονται μέσω του νόμου του Snell :

$$p = \frac{\sin(i_1)}{\alpha_1} = \frac{\sin(i_2)}{\alpha_2}, \text{ όπου:}$$

- p είναι η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας. Η σεισμική ακτίνα προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία, όταν ισχύει $\alpha_2 > \alpha_1$ και η διαθλώμενη ακτίνα έχει διεύθυνση παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια (Σχήμα 3.1b). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής:

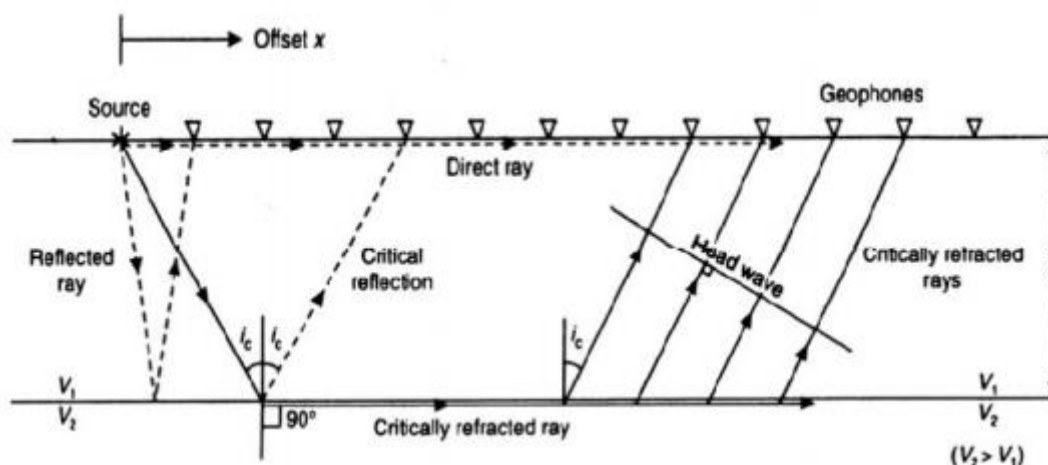
$$\sin(i_c) = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση (Σχήμα 3.1c). Βέβαια, θα πρέπει να σημειωθεί ότι βασική προϋπόθεση δημιουργίας ορικά διαθλώμενων κυμάτων είναι ότι οι ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων θα πρέπει να αυξάνουν από τους ρηχότερους στους βαθύτερους σχηματισμούς.



Σχήμα 3.1: Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά τη πρόσπτωση υπό γωνία: α) μικρότερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, β) ίση με την ορική γωνία δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα και γ) με γωνία μεγαλύτερη της ορικής παρατηρείται ολική ανάκλαση (Βαφείδης, 2011).

Έστω σεισμική ακτίνα η οποία προσπίπτει σε διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία. Τότε το διαθλώμενο κύμα διαδίδεται στο δεύτερο στρώμα παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, κάθε σημείο του διαθλώμενου μετώπου κύματος αποτελεί δευτερεύουσα πηγή σεισμικών κυμάτων. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σεισμικά κύματα τα οποία προέρχονται από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές και αναδύονται στο πρώτο στρώμα.



Σχήμα 3.2: Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Reynolds, 1997).

Η γωνία των αναδύμενων προς την επιφάνεια σεισμικών ακτίνων με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι ίση με την ορική γωνία. Αυτά τα αναδύμενα σεισμικά κύματα ονομάζονται μετωπικά κύματα. Τα σεισμικά κύματα που καταγράφονται πρώτα (πρώτες αφίξεις) στις θέσεις των γεωφώνων είναι τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα. Τα απευθείας κύματα καταγράφονται πρώτα στα γεωφώνων, 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 γεωφώνων. Μελετώντας τις πρώτες αφίξεις (απευθείας και μετωπικά) είναι δυνατό να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με το πάχος των σχηματισμών

του υπεδάφους και την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε αυτούς (Βαφείδης 1993).

3.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΥΚΑΝΑΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES – MASW)

Η μέθοδος πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων (Multichannel Analysis of Surface Waves – MASW) αποτελεί μία σεισμική μέθοδο, η οποία αξιολογεί την ελαστική κατάσταση (ακαμψία) του εδάφους με τη μέτρηση της ταχύτητας κύματος διάτμησης (V_s) για σκοπούς γεωτεχνικής μηχανικής.

Η πολυκάναλη μέθοδος:

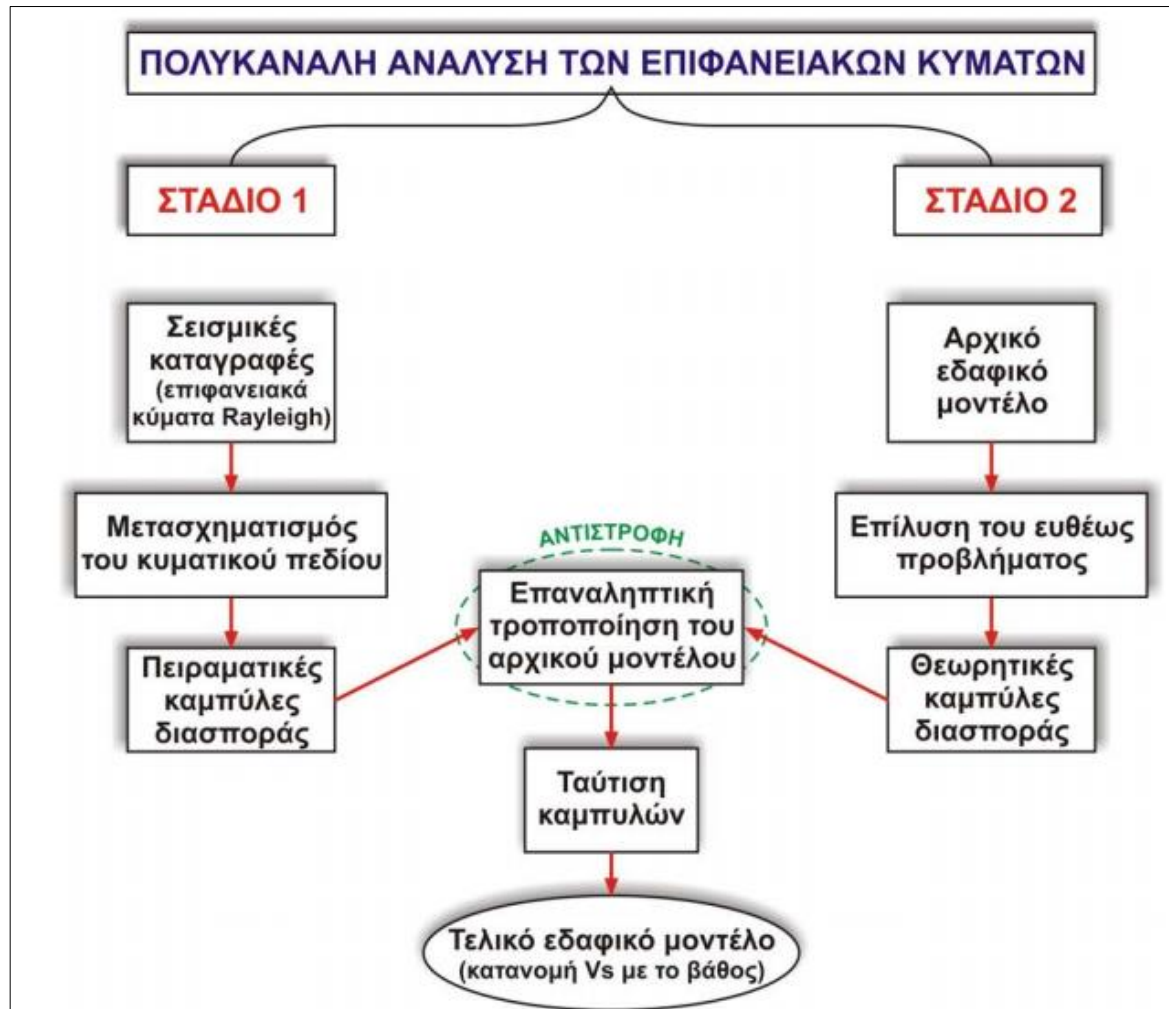
- μετράει πρώτα τα σεισμικά κύματα που παράγονται από διάφορους τύπους σεισμικών πηγών, όπως το σφυρί,
- αναλύει τις ταχύτητες διάδοσης αυτών των επιφανειακών κυμάτων και
- συμπεραίνει τις διακυμάνσεις της ταχύτητας των διακυμάνσεων (V_s) κάτω από την περιοχή έρευνας που είναι υπεύθυνη για την αναλυόμενη ταχύτητα διάδοσης των επιφανειακών κυμάτων.

Η ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων περιλαμβάνει τη λήψη καταγραφών πλούσιων σε επιφανειακά κύματα Rayleigh και την αντιστροφή των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς τους, για τον καθορισμό της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων κατανεμημένης με το βάθος. Μια από τις κυριότερες διαδικασίες για την ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων είναι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς από τις καταγραφές. Η αντιστροφή των χαρακτηριστικών καμπύλων διασποράς αποτελεί τη δεύτερη σημαντικότερη φάση της επεξεργασίας. Από τη διαδικασία της αντιστροφής προσδιορίζονται οι παράμετροι του εδαφικού μοντέλου.

Η μεθοδολογία της ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων Rayleigh είναι δυνατό να χωριστεί σε δύο διακριτά στάδια.

- Κατά το πρώτο στάδιο, προκύπτουν οι πειραματικές καμπύλες διασποράς, από τις σεισμικές καταγραφές κοινής πηγής, οι οποίες θα πρέπει να περιλαμβάνουν σημαντική σεισμική ενέργεια κατανεμημένη στα επιφανειακά κύματα.
- Στο δεύτερο στάδιο προσδιορίζονται οι θεωρητικές καμπύλες διασποράς για οριζόντια στρωματομένο εδαφικό μοντέλο. Τροποποιώντας επαναληπτικά το εδαφικό μοντέλο επιτυγχάνεται η προσαρμογή της θεωρητικής καμπύλης διασποράς στην πειραματική (διαδικασία που ονομάζεται αντιστροφή). Έτσι, εφόσον πραγματοποιηθεί ταύτιση των καμπύλων, προσδιορίζεται το τελικό εδαφικό μοντέλο (κατανομή της ταχύτητας των εγκάρσιων σεισμικών κυμάτων (V_s) με το βάθος) (Αβαγιανός, 2011).

Η ταχύτητα κύματος διάτμησης (V_s) συνδέεται στενά με το μέτρο του Young. Υπό τις περισσότερες περιστάσεις, το V_s είναι ένας άμεσος δείκτης της αντοχής του εδάφους (ακαμψία) και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται συνήθως για να αποδίδει φέρουσα ικανότητα.



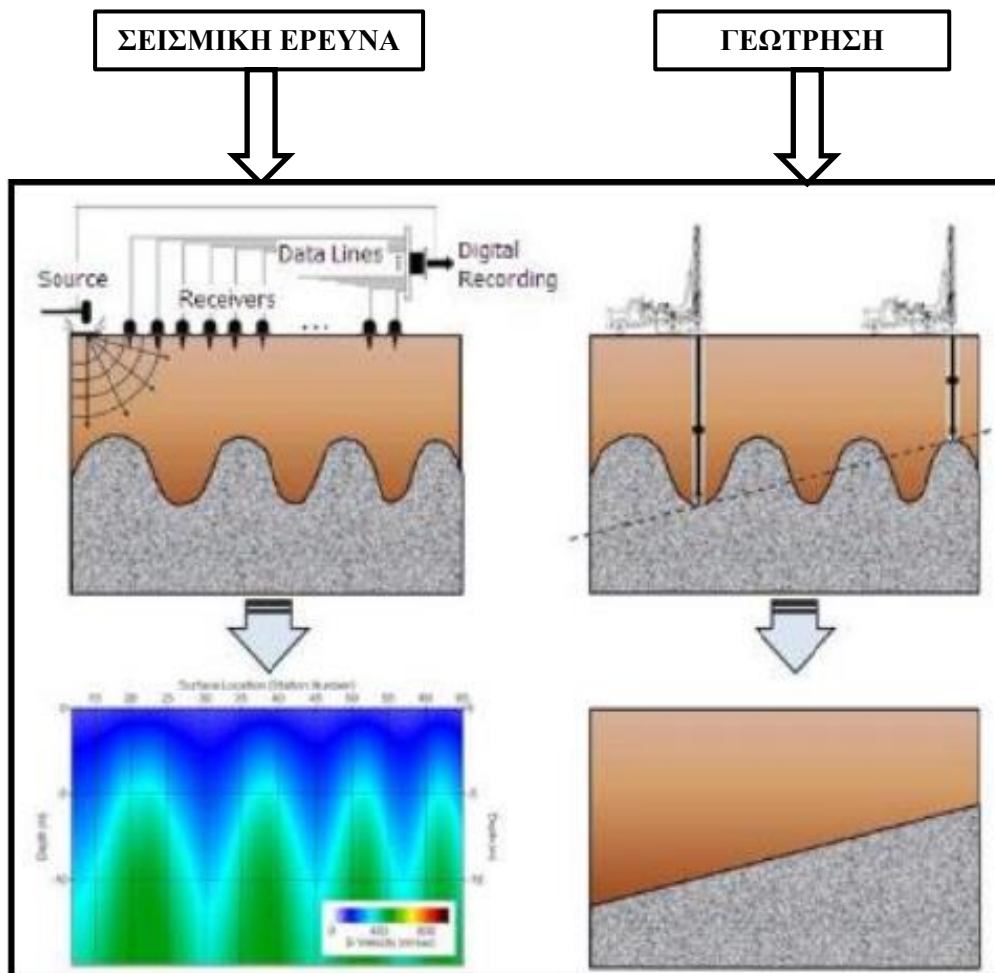
Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ροής της μεθόδου πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων (Κρητικάκης, 2010).

3.4.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΑΘΟΔΟΥ MASW

Η MASW είναι μία από τις ευκολότερες σεισμικές μεθόδους που παρέχει εξαιρετικά ευνοϊκά και ικανά αποτελέσματα.

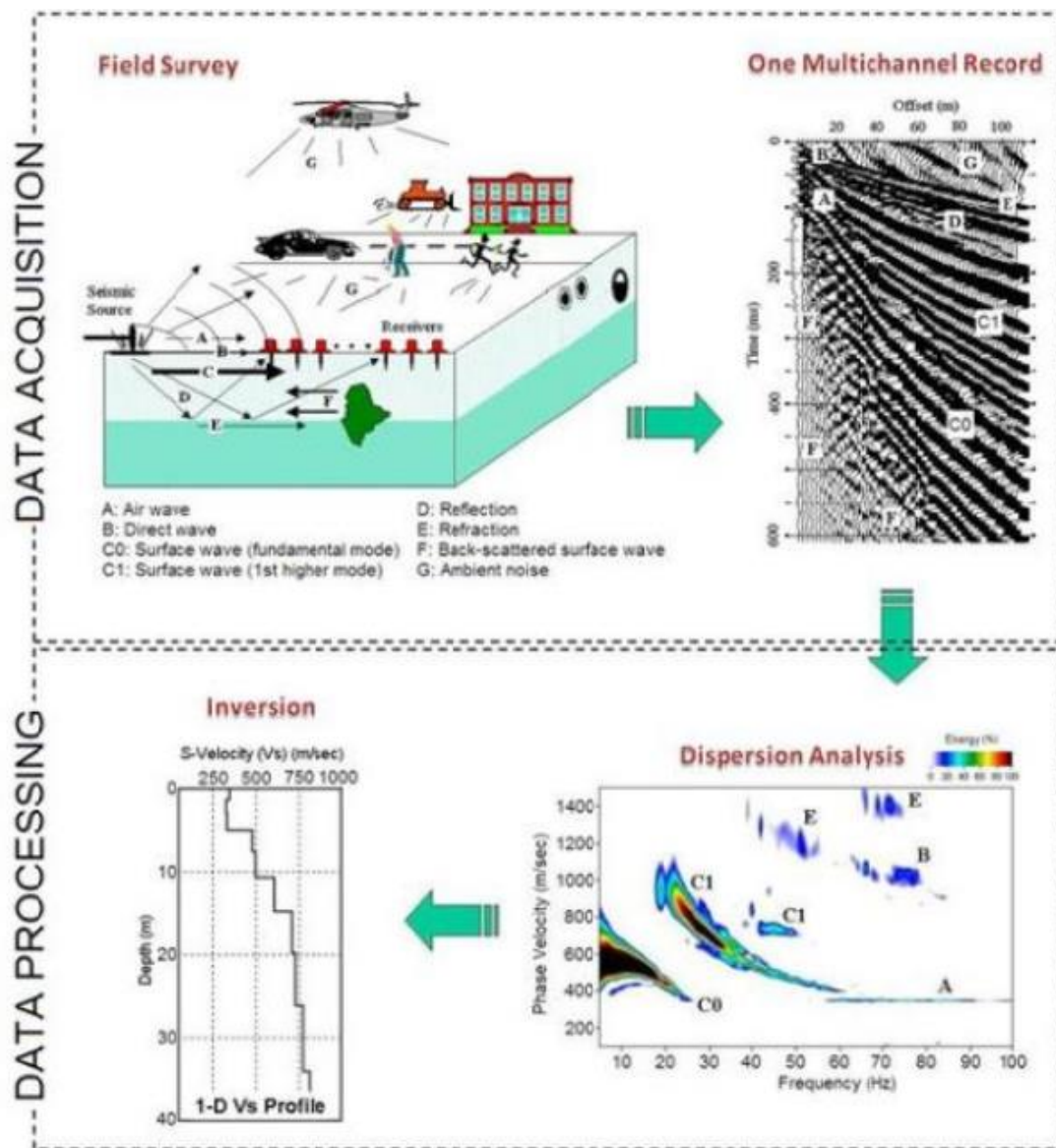
Η απόκτηση δεδομένων είναι σημαντικά πιο ανεκτική στην επιλογή παραμέτρων από οποιαδήποτε άλλη σεισμική μέθοδο, λόγω της υψηλότερης αναλογίας σήματος προς θόρυβο που επιτυγχάνεται εύκολα. Αυτή η πιο ευνοϊκή αναλογία σήματος προς θόρυβο οφείλεται στο γεγονός ότι τα σεισμικά επιφανειακά κύματα είναι τα ισχυρότερα σεισμικά κύματα που παράγονται και μπορούν να διανύσουν πολύ μεγαλύτερη απόσταση από τα κύματα του σώματος χωρίς να υποφέρουν από τη επίδραση του θορύβου.

Σε σύγκριση με μια συμβατική προσέγγιση γεώτρησης, **εφαρμόζεται πλήρως στην επιφάνεια του εδάφους (μη επεμβατική)** και καλύπτει συνεχώς την υπόγεια επιφάνεια με τρόπο παρόμοιο με το ραντάρ διείσδυσης εδάφους (GPR) και παρέχει πληρέστερη κάλυψη (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8: Σύγκριση σεισμικής έρευνας και συμβατικών γεωτρήσεων
(<http://www.masw.com/>).

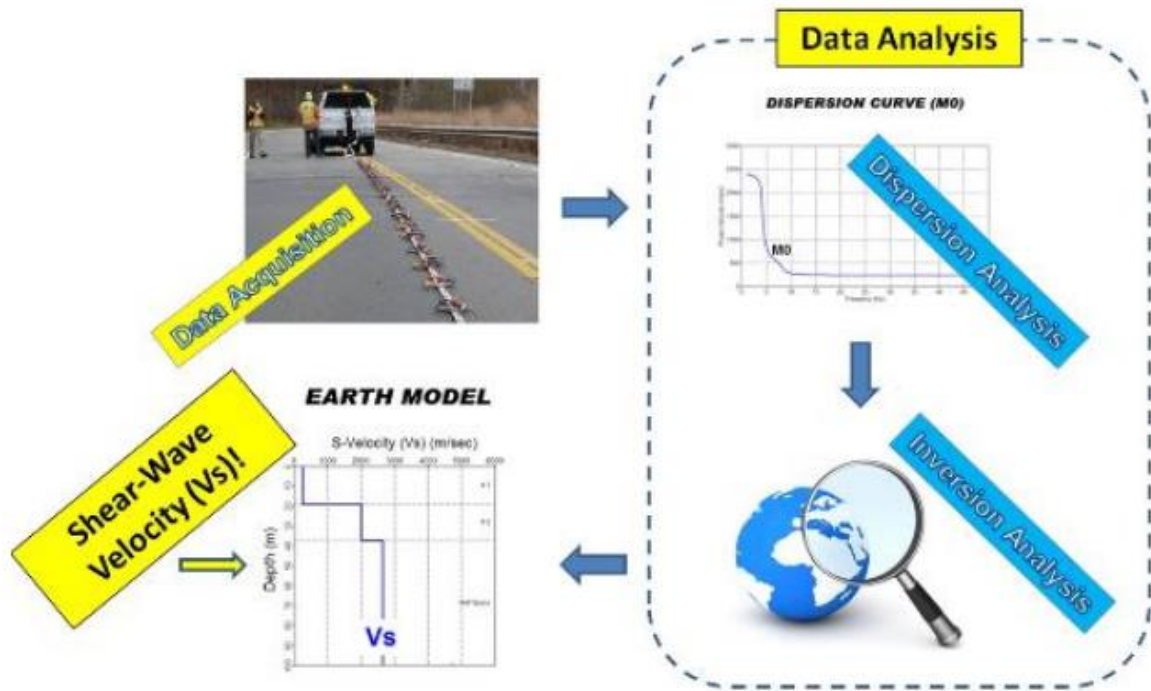
Η μέθοδος **MASW** είναι **πολυκάναλη**. Το χαρακτηριστικό αυτό της προσφέρει **αυξημένη ικανότητα πολυκαναλικής σεισμικής εξερεύνησης που διακρίνει το χρήσιμο σήμα από τον επιβλαβή θόρυβο**. Εξασφαλίζει αυξημένη ανάλυση όταν εξάγεται σήμα στη μέση του θορύβου που μπορεί να είναι οτιδήποτε από φυσικές ή πολιτιστικές δραστηριότητες (άνεμος, βροντή, κίνηση κλπ.) σε άλλους τύπους εγγενών σεισμικών κυμάτων που δημιουργούνται ταυτόχρονα (επιφανειακά κύματα υψηλότερου τρόπου λειτουργίας, κύματα σώματος, κύματα αναπήδησης κλπ.) (Εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9: Απεικόνιση έρευνας πεδίου με τη μέθοδο MASW που δείχνει διάφορους τύπους σεισμικών κυμάτων και μεταγενέστερα στάδια ανάλυσης δεδομένων που χρησιμοποιούν διάφορα χαρακτηριστικά των σεισμικών κυμάτων (<http://www.masw.com/>).

3.4.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ MASW

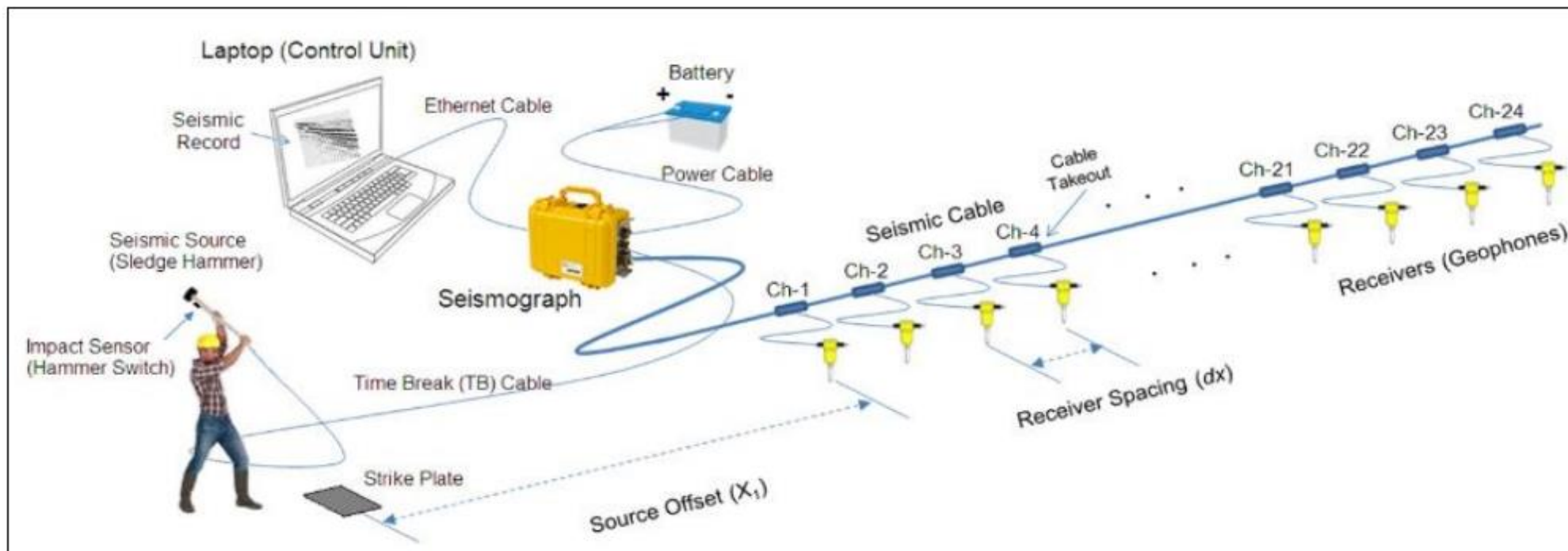
Συνήθως, η συνολική διαδικασία της μεθόδου MASW αποτελείται από τρία (3) βήματα, όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα (3.10):



Εικόνα 3.10: Συνολική διαδικασία μεθόδου MASW (<http://www.masw.com/>).

- 1) **1^ο Βήμα:** Απόκτηση δεδομένων: Απόκτηση πολυκαναλικών αρχείων πεδίων
- 2) **2^ο Βήμα:** Ανάλυση δεδομένων (Στάδιο 1): Ανάλυση διάχυσης που εξάγει μία καμπύλη διασποράς από ένα πεδίο εγγραφής, και
- 3) **3^ο Βήμα:** Ανάλυση δεδομένων (Στάδιο 2): Αντίστροφη, εκ των υστέρων υπολογισμός διάτμησης – ταχύτητας κυμάτων (V_s) με βάθος που δίνει τη θεωρητική καμπύλη διασποράς πλησιέστερη προς τη μετρούμενη καμπύλη (ένα προφίλ V_s από κάθε καμπύλη - 1D).

Το μέγιστο βάθος της έρευνας με τη μέθοδο MASW, όπως προαναφέραμε είναι συνήθως στην περιοχή των 10 – 30m, αλλά αυτό μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον τόπο και τον τύπο των ενεργών πηγών που χρησιμοποιούνται. Τα επιφανειακά κύματα δημιουργούνται καλύτερα σε ένα «**επίπεδο**» έδαφος παρά σε έδαφος με απότομες κλίσεις και αυτό γιατί ένα τέτοιο έδαφος θα προκαλεί σημαντική παρεμπόδιση στην παραγωγή επιφανειακών κυμάτων.



Εικόνα 3.11: Συνολική απεικόνιση απαραίτητων στοιχείων της μεθόδου MASW (<http://www.masw.com/>).

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΗΘΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΣΧΟΛΙΑ
Σεισμογράφος (seismograph)	24-καναλιών με δυναμική περιοχή 24 bit	Αποδεκτό ένα με δυναμικό εύρος 16 bit. Ένας φορητός υπολογιστής είναι συνήθως απαραίτητος για τον έλεγχο του σεισμογράφου.
Πηγή ενέργειας (battery)	Μικρή μπαταρία 12V με σχετικά χαμηλή χωρητικότητα (π.χ. 4Ah)	
Δέκτης (receivers)	Γεώφωνα 4,5Hz (μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υψηλότερης συχνότητας π.χ., 10Hz, 14Hz, 40Hz)	Τα γεώφωνα υψηλής συχνότητας (π.χ. 40 Hz) μπορεί να είναι αποδεκτά μόνο για σχετικά ρηχή έρευνα ($Z_{\max} \leq 10$ m)
Πηγή (source)	Βαριά (SledgeHammer) ($\geq 81b$) (για μέγιστο βάθος έρευνας, $Z_{\max}, \leq 30$ m)	Μια πηγή βάρους μπορεί να αυξήσει περαιτέρω το βάθος της έρευνας. π.χ., $Z_{\max} \geq 30$ m.
Πλάκα (strike plate)	Πλάκα αλουμινίου (π.χ. μέγεθος 1 ftx 1 ft με 1/2-in πάχος)	Πιο μαλακή πλάκα (π.χ. πολυαιθυλένιο) μπορεί να βελτιώσει την ενέργεια σε χαμηλότερα επίπεδα συχνοτήτων
Καλώδιο ενεργοποίησης χρόνου	Διακόπτης βαριάς – Hammer Switch	Time break sensor
Καλώδιο ενεργοποίησης	Καλώδια	Triggering Cable
Σεισμικό καλώδιο (seismic cable)	Απόσταση 5 ποδιών	Αποδεκτή οποιαδήποτε περιοχή σε απόσταση από 4 - 8 πόδια
Άλλα εξαρτήματα	Καλώδια επέκτασης ενεργοποίησης, καλώδιο βραχυκυκλωτήρα, ωτοασπίδες, γάντια, μέτρο, ταινία, κουτί πρώτων βοηθειών	

Πίνακας 3.2: Βασικός εξοπλισμός της μεθόδου MASW.

Η MASW μπορεί να είναι αποτελεσματική με μόλις δώδεκα (12) κανάλια εγγραφής συνδεδεμένα σε απλά γεώφωνα χαμηλής συχνότητας (<10 Hz).

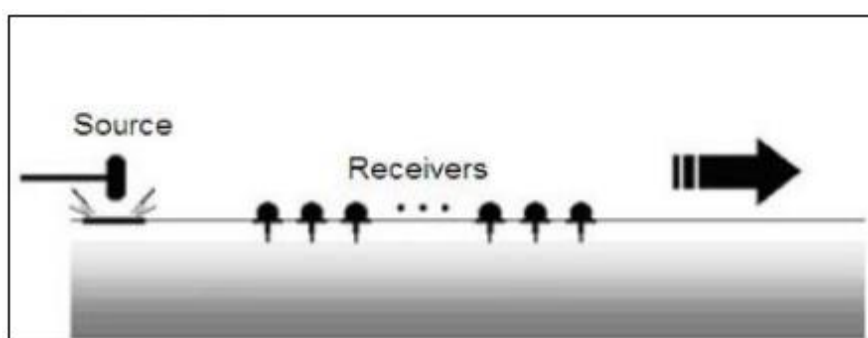
Σε σύγκριση με τις μεθόδους έρευνας κυμάτων όπως η αντανάκλαση ή η διάθλαση, η σεισμική μέθοδος επιφανειακών κυμάτων συνήθως έχει πολύ μεγαλύτερη ανοχή στην επιλογή των βέλτιστων παραμέτρων πεδίου. Ο κύριος λόγος για αυτή την ανοχή είναι ότι τα επιφανειακά κύματα έχουν την ισχυρότερη ενέργεια μεταξύ όλων των άλλων τύπων σεισμικών κυμάτων, εξασφαλίζοντας έτσι την υψηλότερη αναλογία σήματος προς θόρυβο. Η έλευση της μεθόδου πολυκάναλης ανάλυσης της επιφανειακής κυματομορφής κατέστησε τον συγκεκριμένο τύπο σεισμικής μεθόδου ευκολότερο από ποτέ, διότι η πολυκάναλη μέθοδος καταγραφής και επεξεργασίας έχει τα πλεονεκτήματα της.

3.4.2.3 ΤΥΠΟΙ MASW

Ανάλογα με τον τρόπο που δημιουργούνται τα επιφανειακά κύματα, υπάρχουν δύο τύποι της μεθόδου: α) η ενεργή (*Active MASW*) και β) η παθητική (*Passive MASW*).

Η ενεργή μέθοδος έχει προκαθορισμένο σχέδιο με μια κατάλληλη πηγή όπως ένα σφυρί ή βύθιση βάρους, ενώ στη παθητική μέθοδο τα παθητικά επιφανειακά κύματα παράγονται από πηγές (πολιτιστικές και φυσικές) που δεν σχετίζονται με την έρευνα, όπως η κίνηση και η παλιρροιακή κίνηση.

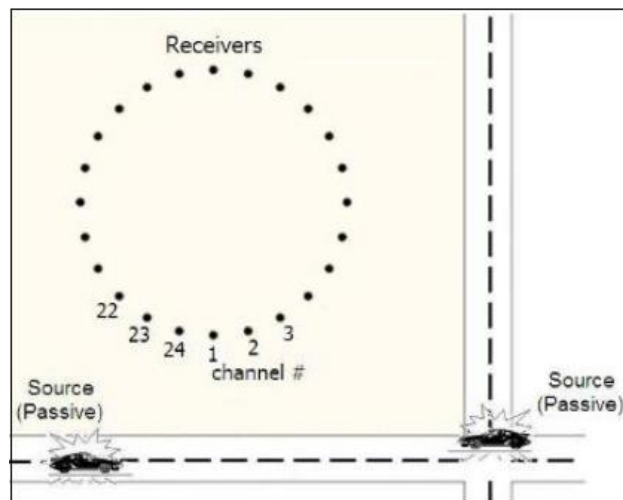
Η ενεργή μέθοδος MASW, όπου και χρησιμοποιήθηκε, είναι ο συμβατικός τρόπος διερεύνησης και συλλογής δεδομένων με χρήση ενεργού σεισμικής πηγής (π.χ. σφυριού) και γραμμικής συστοιχίας δέκτη. Οι παθητικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τα επιφανειακά κύματα που παράγονται από το περιβάλλον και τις φυσικές δραστηριότητες όπως η κυκλοφορία (και η βροντή, η παλιρροιακή κίνηση, η αλλαγή της ατμοσφαιρικής πίεσης κλπ.).



Εικόνα 3.12: Σχηματική απεικόνιση της ενεργού έρευνας πεδίου MASW (<http://www.masw.com/>).

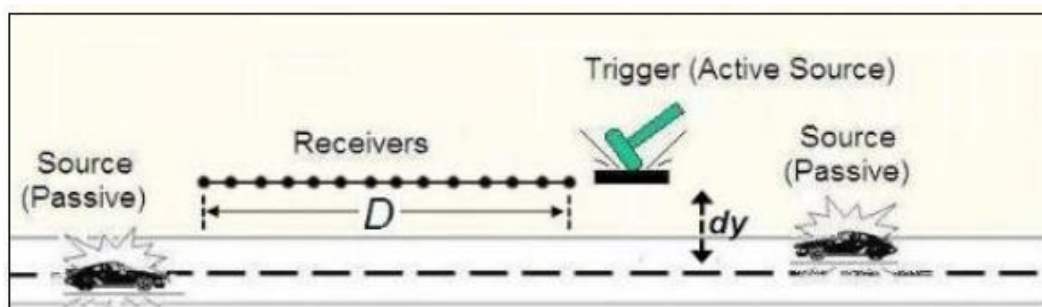
Η παθητική μέθοδος χρησιμοποιεί μια δισδιάστατη (2D) συστοιχία δέκτη όπως μια διασταυρούμενη ή κυκλική διάταξη για την καταγραφή παθητικών επιφανειακών κυμάτων. Αυτό οδηγεί στην ακριβέστερη εκτίμηση της ταχύτητας κύματος διάτμησης (V_s), αλλά είναι μια πιο εντατική λειτουργία πεδίου και απαιτεί ένα ευρύ ανοικτό

χώρο για τη συστοιχία. Αυτό μπορεί να είναι μια καλή επιλογή αν απαιτείται ένα σχετικά περιφερειακό μονοδιάστατο (1D) Vs προφίλ.



Εικόνα 3.13: Σχηματική απεικόνιση της παθητικής απομακρυσμένης έρευνας πεδίου MASW (<http://www.masw.com/>).

Η παθητική μέθοδος MASW στο δρόμο (Εικόνα 3.13) (Park and Miller, 2006) υιοθετεί τη συμβατική συστοιχία γραμμικών δέκτη και προσπαθεί κυρίως να αξιοποιήσει τα επιφανειακά κύματα που παράγονται από τοπική κυκλοφορία. Προσπαθεί να ξεπεράσει τους περιορισμούς με την παθητική απομακρυσμένη μέθοδο - όπως η εξασφάλιση ευρύχωρου χώρου - θυσιάζοντας κάποια ακρίβεια (συνήθως λιγότερο από 10%) της αξιολόγησης Vs. Με τη μέθοδο της παθητικής οδού, η πηγή μπορεί να τοποθετηθεί κατά μήκος ενός πεζοδρομίου ή πάνω στον ώμο ενός δρόμου και η έρευνα μπορεί να συνεχιστεί σε κατάσταση κύλισης για το σκοπό της ανάλυσης 2D Vs.. Επιπλέον, μπορεί να εφαρμοστεί ένα ενεργό χτύπημα (π.χ. χρησιμοποιώντας ένα σφυρί) στο ένα άκρο της συστοιχίας για να ενεργοποιηθεί μια μακρά (π.χ., 30 sec) καταγραφή δεδομένων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην ενεργή - παθητική συνδυασμένη ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων με σκοπό την ταυτόχρονη απόκτηση τόσο ρητής (π.χ. 1-20 m) όσο και βαθιάς (π.χ., 20-100 m) Vs πληροφοριών ταυτόχρονα.



Εικόνα 3.14: Σχηματική απεικόνιση της παθητικής επιτόπιας έρευνας MASW (<http://www.masw.com/>).

3.4.3 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΗΓΗ

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, η σεισμική πηγή αποτελεί μαζί με το δέκτη (ακολουθεί αναφορά στο Κεφάλαιο 3.4.4), δύο από τα πιο απαραίτητα «όργανα» προκειμένου να πραγματοποιηθεί η σεισμική έρευνα. Μια σεισμική πηγή παράγει επιφανειακά κύματα (καθώς και κύματα σώματος = body waves) όταν προσκρούει στην επιφάνεια του εδάφους. Η ισχύς κρούσης της σχετίζεται άμεσα με την περιοχή μήκους κύματος των παραγόμενων επιφανειακών κυμάτων, η οποία καθορίζει το μέγιστο βάθος της έρευνας (Z_{max}). Το Z_{max} είναι ένα θεωρητικό βάθος που μπορεί να επιτευχθεί μόνο όταν πληρούνται ταυτόχρονα και άλλες συνθήκες. Για παράδειγμα, βελτιστοποιημένη γεωμετρία απόκτησης και κατάλληλη χρήση της ανάλυσης δεδομένων. Μια πιο ισχυρή πηγή είναι πάντα απαραίτητη προϋπόθεση για να αυξηθεί το βάθος της έρευνας (Z_{max}).

Η πηγή μπορεί να είναι ένα σφυρί σε μια ενεργή έρευνα. Ένα αρκετά βαρύ σφυρί θα είναι μια καλή επιλογή, αν και υπάρχουν και άλλες πιο εξελιγμένες πηγές που μπορούν να δώσουν περισσότερη δύναμη πρόσκρουσης στο έδαφος (π.χ. πτώση βάρους) που μπορεί να είναι ένα πλεονέκτημα σε σχέση με ένα σφυρί λόγω της δυνατότητάς του να παράγει χαμηλότερες συχνότητες (μεγαλύτερα μήκη κύματος) επιφανειακών κυμάτων.

Το κέρδος από τη χρήση αυτών των άλλων πηγών συχνά δεν επαρκεί για να δικαιολογήσει το κόστος του εξοπλισμού και την ταλαιπωρία στην επιτόπια λειτουργία, εκτός αν σχεδιάζονται και κατασκευάζονται προσεκτικά. Για παράδειγμα, μια απλή αύξηση της ισχύος πρόσκρουσης που δεν συνοδεύεται από προσεκτική εξέταση του μηχανισμού σύζευξης ενέργειας μπορεί να μην επιτευχθεί ο στόχος.

Η κατακόρυφη (Vertical Stacking) πολλαπλών πτώσεων μπορεί να καταργήσει σημαντικά τον περιβαλλοντικό θόρυβο και συνεπώς συνιστάται πάντα, ειδικά εάν η έρευνα πραγματοποιείται σε αστική περιοχή. Ο βέλτιστος αριθμός πτώσεων μπορεί να καθοριστεί όταν υπάρχει μικρή αλλαγή στη σχέση σήματος προς θόρυβο στο εμφανιζόμενο σεισμικό αρχείο κατά τη διάρκεια της στοίβαξης. Ο αριθμός αυτός, ωστόσο, θα πρέπει να αυξηθεί καθώς αυξάνεται το επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος και / ή το συνολικό μήκος του συστοιχού δέκτη (D) αυξάνεται.

Το μέγιστο βάθος έρευνας (Z_{max}) θα καθοριστεί από το μεγαλύτερο μήκος κύματος (L_{max}) επιφανειακών κυμάτων που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση ως:

$$Z_{max} \approx 0,5 L_{max}$$

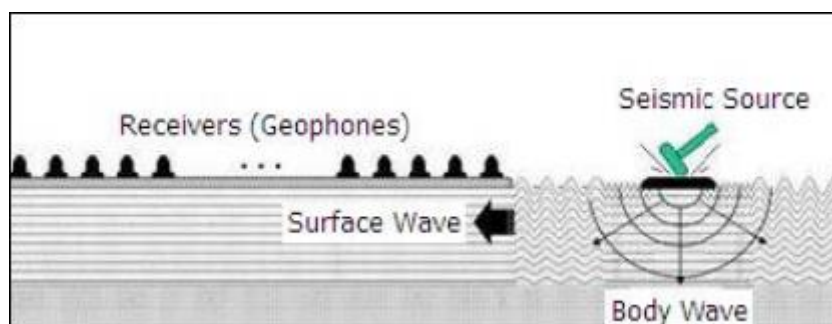
Στη συνέχεια, το μεγαλύτερο μήκος κύματος L_{max} ελέγχεται από την ισχύ κρούσης της σεισμικής πηγής.

3.4.4 ΔΕΚΤΗΣ

Ένας δέκτης σε μια σεισμική έρευνα «αισθάνεται» τη δόνηση του εδάφους και τη «μετατρέπει» σε ηλεκτρικό ρεύμα. Ο πιο συνηθισμένος τύπος δέκτη χρησιμοποιείται παραδοσιακά στις σεισμικές έρευνες εξερεύνησης είναι το γεωφώνο, το οποίο ανιχνεύει τη δόνηση του εδάφους μέσω ενός συστήματος μαζικού ελατηρίου που περικλείεται σε ένα μαγνήτη. Η σχέση συχνότητας – πλάτους ενός γεωφώνου ονομάζεται "καμπύλη απόκρισης" και καθορίζεται κυρίως από το μέγεθος της μάζας και της ακαμψίας του ελατηρίου.

Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατακόρυφα (αντί για οριζόντια) γεωφώνα. Τα γεωφώνα χαμηλής συχνότητας (π.χ. 4,5 Hz) συνιστώνται πάντα. Τα υψηλότερης συχνότητας γεωφώνα δεν είναι τόσο κρίσιμα. Για παράδειγμα, η καταγραφή και η ανάλυση επιφανειακών κυμάτων μέχρι 450 Hz έχουν αναφερθεί χρησιμοποιώντας γεωφώνα 4,5 Hz.

Η αποτελεσματικότητα των γεωφώνων κάπως υψηλότερης συχνότητας (π.χ. 10-20 Hz), ωστόσο, είναι συχνά συγκρίσιμη με αυτή των γεωφώνων πολύ χαμηλότερης συχνότητας.



Εικόνα 3.15: Σχηματική απεικόνιση Πηγής – Δέκτη
(<http://www.masw.com/>).

3.4.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΕΔΙΟΥ

Από όλους τους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την υλοποίηση της σεισμικής μεθόδου μέσω της πολυκάναλης ανάλυσης των επιφανειακών κυμάτων, η γεωμετρία της διάταξης πηγής – γεωφώνων αποτελεί την παράμετρο εκείνη που συνήθως μεταβάλλεται, προκειμένου να προσαρμοστεί η μέθοδος στον στόχο για τον οποίο πραγματοποιείται η διασκόπηση. Δηλαδή, με συγκεκριμένο διαθέσιμο εξοπλισμό (σεισμική πηγή, γεωφώνα και καταγραφικό) η γεωμετρία της διάταξης της πηγής – γεωφώνων θα καθορίσει το ελάχιστο και το μέγιστο βάθος διασκόπησης.

Το μήκος του αναπτύγματος του δέκτη (D) σχετίζεται άμεσα με το μεγαλύτερο μήκος κύματος (L_{max}) που μπορεί να αναλυθεί, το οποίο με τη σειρά του καθορίζει το μέγιστο βάθος της έρευνας. Συνήθως το μήκος αναπτύγματος πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το βάθος Z_{max} :

$$D = mZ_{max} \quad (1 \leq m \leq 3)$$

Από την άλλη πλευρά, η απόσταση του δέκτη (dx) σχετίζεται με το μικρότερο μήκος κύματος (L_{min}) και ως εκ τούτου καθορίζει ρηχότερο διακριτό βάθος της έρευνας (Z_{min}):

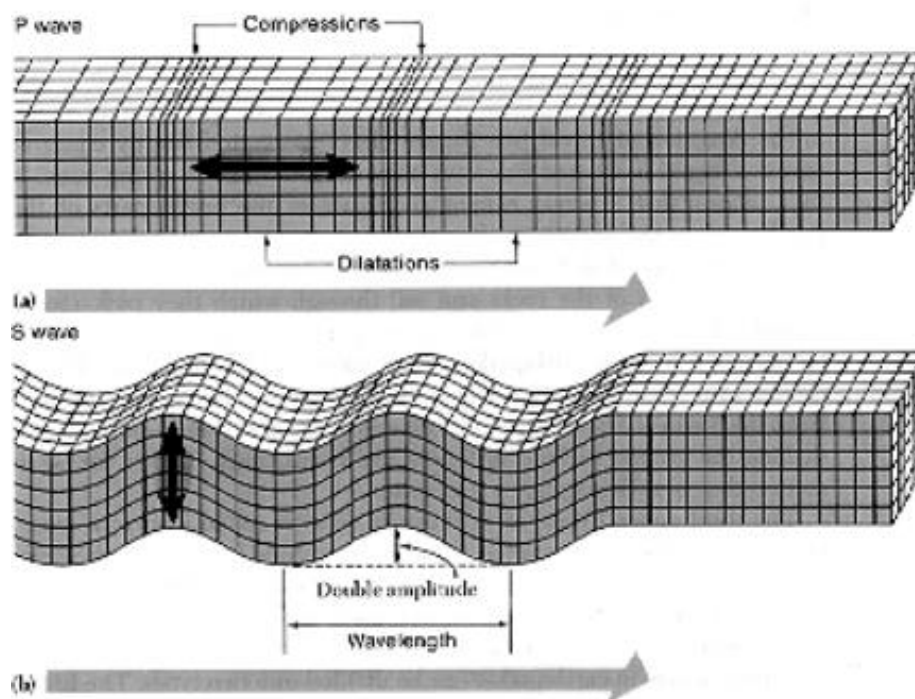
$$Z_{min} = kdx \quad (0,3 \leq k \leq 1,0)$$

Στην πράξη, όμως, η L_{max} (επομένως D) σε μια ενεργή έρευνα συνήθως περιορίζεται από την σεισμική πηγή, όπως είναι η συνήθως στην περιοχή των 50-100 m. Αν το μήκος (D) γίνει υπερβολικά μεγάλο, τα επιφανειακά κύματα που παράγονται από τις πιο ενεργές πηγές εξασθενούνται κάτω από το επίπεδο θορύβου στο άκρο του δέκτη. Αυτό ονομάζεται εφέ μεγάλης εμβέλειας. Ωστόσο, τα αδύναμα επιφανειακά κύματα χαμηλής συχνότητας υπάρχουν συχνά, αν και δεν είναι οπτικά προφανή λόγω του πολύ ισχυρότερου περιβαλλοντικού θορύβου. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην απεικόνιση του τμήματος της καμπύλης διασποράς χαμηλότερης συχνότητας, με αποτέλεσμα την αύξηση του μέγιστου βάθους (Z_{max}). Υπό αυτή την έννοια, το μέγιστο D για την παροχή του μέγιστου Z_{max} είναι συνήθως λίγο πιο πέρα από τα δεδομένα απόστασης που αρχίζουν να φαίνονται θορυβώδη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

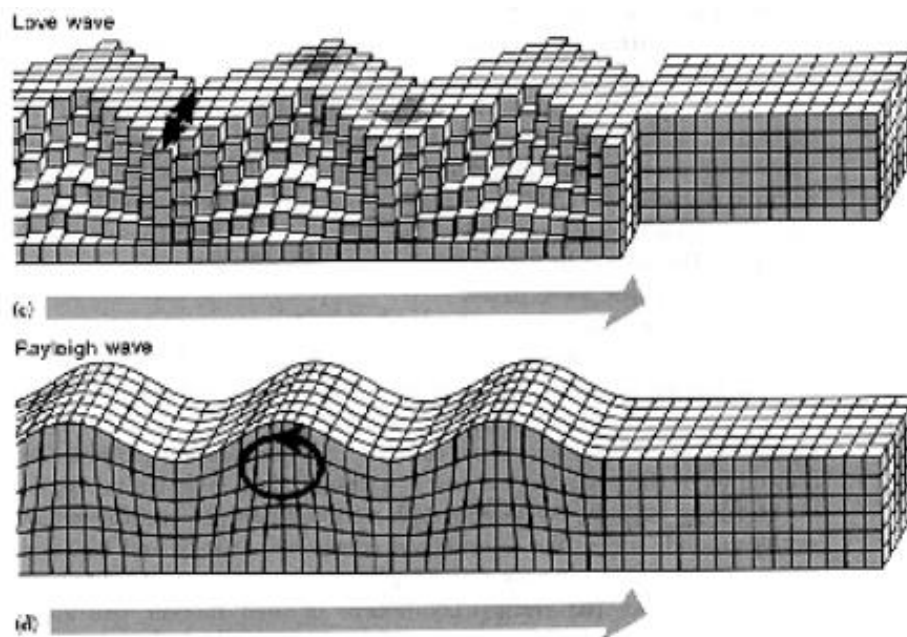
Υπάρχουν πολλά είδη σεισμικών κυμάτων, τα οποία διακρίνονται σε διαφορετικά είδη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά διάδοσης τους. Οι δύο κύριοι τύποι αυτών είναι τα κύματα χώρου (*body waves*) και τα επιφανειακά κύματα (*surface waves*).

Τα κύματα χώρου χωρίζονται σε επιμήκη (P-waves) και εγκάρσια – διατμητικά (S-waves) και μεταδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις στο εσωτερικό της γης.



Εικόνα 4.1: Επιμήκη – P (a) και Εγκάρσια – S κύματα (b) χώρου (<https://www.meteo-news.gr/2017/01/seismika-kymata.html>).

Τα **επιφανειακά κύματα** διαδίδονται οριζόντια, κατά μήκος των επιφανειακών στρωμάτων της γης. Έχουν χαμηλότερη συχνότητα, κάτι που διευκολύνει τη διάκρισή τους σε ένα σειсмоγράφημα, και φτάνουν στο σημείο μέτρησης του σεισμού μετά από τα κύματα χώρου. Τα επιφανειακά κύματα είναι εκείνα που είναι υπεύθυνα για τις περισσότερες καταστροφές που συνδέονται με τους σεισμούς. Οι κύριες κατηγορίες επιφανειακών κυμάτων είναι τα κύματα **Love** και τα κύματα **Rayleigh**.



Εικόνα 4.2: Love (c) και Rayleigh (d) επιφανειακά κύματα
(<https://www.meteo-news.gr/2017/01/seismika-kymata.html>).

4.1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΥΜΑΤΑ RAYLEIGH

Τα επιφανειακά σεισμικά κύματα σχετίζονται με την χωροχρονική ταλάντωση των σωματιδίων του εδάφους κοντά στην επιφάνεια.

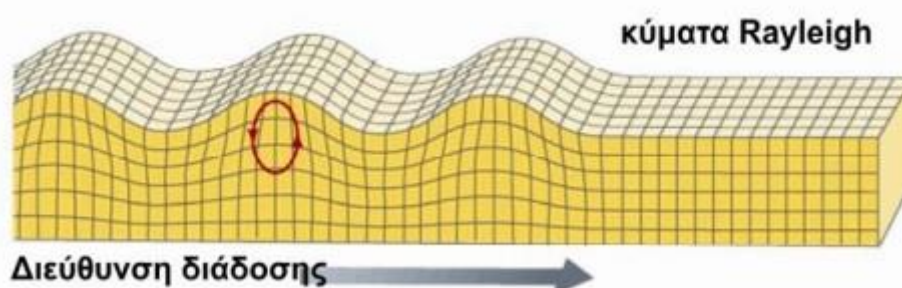
Τα κύματα Rayleigh, τα οποία ανακάλυψε το 1887 ο Strutt Rayleigh, κατά τη διάδοσή τους τα υλικά σημεία του μέσου κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές των οποίων οι μεγάλοι άξονες είναι κατακόρυφοι και οι μικροί παράλληλοι με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τα κύματα αυτά, μπορεί να συμβάλλουν σημαντικά στην απόκριση μίας κατασκευής.

Τα κύματα Rayleigh είναι σύνθετα κύματα, αποτελούμενα από P και SV συνιστώσες και δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση επιμηκών και εγκάρσιων κυμάτων στην επιφάνεια της γης και ταξιδεύουν με ταχύτητα μικρότερη από εκείνη των κυμάτων P-, S- και Love. Μετακινούν το έδαφος με τον ίδιο τρόπο όπως ένα θαλάσσιο κύμα μετακινεί τα επιφανειακά νερά. Η ακτινική και η κατακόρυφη συνιστώσα κάθε κύματος είναι αλληλοεξαρτώμενες κάτι που οδηγεί σε παλίνδρομη κίνηση των σωματιδίων στο επίπεδο R-z (όπου R η κατεύθυνση διάδοσης και z ο κατακόρυφος άξονας). Σε ισότροπα στερεά, τα κύματα αυτά κινούν τα σωματίδια της επιφάνειας σε ελλείψεις σε επίπεδα κάθετα προς την επιφάνεια και παράλληλα προς την κατεύθυνση της διάδοσης. Ο κύριος άξονας της έλλειψης είναι ο κατακόρυφος. Στην επιφάνεια και σε μικρά βάθη, η κίνηση ενός σωματιδίου του εδάφους στο επίπεδο είναι αριστερόστροφη όταν το κύμα ταξιδεύει από τα αριστερά προς τα δεξιά. Κατά συνέπεια, η κίνηση ενός πεδύλου θεμελίωσης που καταπονείται από ένα κύμα Rayleigh είναι μεταφορική ως προς τον άξονα διάδοσης του και ως προς τον

κατακόρυφο άξονα και στρεπτική ως προς άξονα κάθετο στο επίπεδο διάδοσης. Θα εμφανίζει δηλαδή λικνισμό.

Μία σημαντική ιδιότητα των κυμάτων Rayleigh (και όλων των κυμάτων επιφανείας) είναι η διασπορά (dispersion), δηλαδή, η εξάρτηση της ταχύτητας διάδοσης από τη συχνότητα του κύματος. Η διασπορά είναι συνήθως κανονική, όσο αυξάνεται η περίοδος ενός κύματος, τόσο αυξάνεται η ταχύτητά του. Όταν τα κύματα διαδίδονται σε ανελαστικό και ανομοιογενές μέσο, η ενέργειά τους μειώνεται σταδιακά λόγω της ανελαστικής απόσβεσης και του φαινομένου της σκέδασης (scattering). Η σκέδαση προκαλείται από μικρής κλίμακας ανομοιογένειες του δρόμου διάδοσης. Στα επιφανειακά κύματα, η ενέργεια διαχέεται προς δύο διαστάσεις και φθίνει με ρυθμό $1/R$, όπου R η απόσταση από την πηγή.

Τα επιφανειακά κύματα Rayleigh διαδίδονται παράλληλα στην ελεύθερη επιφάνεια ημιχώρου (ομοιογενούς ή όχι), η ύπαρξη της οποίας αποτελεί και την βασική προϋπόθεση για την δημιουργία αυτού του είδους των κυμάτων. Αν και θεωρητικά, ως ελεύθερη επιφάνεια θεωρείται η διαχωριστική επιφάνεια κάποιου στερεού με το κενό, εντούτοις, λόγω της πολύ μικρής πυκνότητας του αέρα συγκριτικά με αυτήν των πετρωμάτων, η επιφάνεια της γης μπορεί να θεωρηθεί ως ελεύθερη επιφάνεια.



Εικόνα 4.3: Διεύθυνση διάδοσης κύματος Rayleigh
(http://www.geo.auth.gr/211/pdf/Mathima_5_Seismika%20kymata.pdf).

Η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων Rayleigh είναι μικρότερη από την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων. Η ταχύτητα τους εξαρτάται από τις ελαστικές σταθερές, τη πυκνότητα αλλά και από την συχνότητα (ή το μήκος κύματος), όταν τα κύματα Rayleigh διαδίδονται σε μη ομογενή μέσα.

4.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΥΜΑΤΑ LOVE

Τα κύματα Love συνδέονται με την εδαφική κίνηση, που περιορίζεται σε οριζόντιο επίπεδο και είναι κάθετη στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος SH (Σχήμα 4.2c). Ο τύπος αυτός του επιφανειακού κύματος μπορεί να υπάρχει μόνο όταν εδαφικοί σχηματισμοί χαμηλής ταχύτητας είναι υπερκείμενοι των αντίστοιχων υψηλότερης

ταχύτητας (Ραπτάκης, 1995). Η δημιουργία των κυμάτων αυτών προκύπτει από την παγίδευση κυμάτων, που υπόκεινται σε ολικές πολλαπλές ανακλάσεις, στις πάνω και κάτω διεπιφάνειες του επιφανειακού χαμηλής ταχύτητας στρώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ένα από τα σημαντικότερα στάδια πριν τη πραγματοποίηση οποιαδήποτε δοκιμής αποτελεί η δειγματοληψία. Ένα δείγμα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του σχηματισμού από το οποίο προέρχεται και όχι να προέρχεται από επιλογή του καλύτερου και συνεκτικού τεμαχιδίου, και πρέπει να αξιολογείται ανάλογα με τη θέση και τον προσανατολισμό του στο φυσικό του χώρο. Σε περίπτωση που ο σχηματισμός που επιδιώκεται να εξεταστεί βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της γης, χρησιμοποιείται πυρανολήπτης ή γίνεται γεώτρηση προκειμένου να γίνει η συλλογή του δείγματος.

Η διαδικασία κατασκευής ενός δείγματος στο εργαστήριο αποτελείται από τα εξής βήματα:

- Διάτρηση του ακανόνιστου δείγματος και λήψη πυρήνων υλικού, σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Γι' αυτό το λόγο το δείγμα στερεώνεται σε κατάλληλη βάση διάτρησης
- Κοπή των άκρων των κυλίνδρων (πυρήνων) σε κατάλληλο δισκοπρίονο με αδαμαντοτροχό
- Λείανση των βάσεων του κυλινδρικού δοκιμίου σε λειαντικό μηχάνημα
- Μέτρηση των διαστάσεων των δοκιμίων με τις αντοχές που προβλέπει η σχετική διαδικασία

5.1 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Η μέθοδος ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης αφορά τον προσδιορισμό της ανεμπόδιστης αντοχής αδιατάρακτου δείγματος κατά την εφαρμογή ενός αξονικού φορτίου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεκτικότητα του σχηματισμού να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει τη διατήρηση της γεωμετρίας του δοκιμίου χωρίς την εφαρμογή πλευρικής πίεσεως. Η εκτέλεση της δοκιμής δεν είναι εφικτή στα μη συνεκτικά εδάφη, επειδή δεν είναι δυνατή η παρασκευή εδαφικών δοκιμίων.

Με τον όρο **αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (C_o)** εννοούμε τη θραύση μετά από πίεση ενός δείγματος κατά μία μόνο κατεύθυνση (κατακόρυφη), ενώ πλευρικά μπορεί να επεκτείνεται χωρίς κανένα εξωγενή προσδιορισμό.

Απαραίτητος εξοπλισμός για την εφαρμογή της δοκιμής είναι:

- Η συσκευή δοκιμής, η οποία μπορεί να επιβάλλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως να έχει τη δυνατότητα να μετρήσει ή και να καταγράψει το επιβαλλόμενο φορτίο,
- Οι πλάκες φόρτισης, οι οποίες χρησιμεύουν στο να μετατρέπουν το φορτίο στο δοκίμιο και πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους
- Οι χαλύβδινοι δίσκοι, οι οποίοι τοποθετούνται ανάμεσα στις πλάκες φόρτισης και στο δοκίμιο και έχουν σκοπό να μειώσουν την υπερβολική πλευρική

παραμόρφωση του δοκιμίου, λόγω των δυνάμεων τριβής στα σημεία επαφής. Η σκληρότητα των δίσκων (στην κλίμακα Rockwell) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από HRC58 και η διάμετρος τους πρέπει να είναι μεταξύ D και $D+2\text{mm}$, όπου D είναι η διάμετρος του δοκιμίου. Το πάχος των δίσκων πρέπει να είναι τουλάχιστον 15mm ή $D/3$ και οι παράλληλες επιφάνειες τους πρέπει να έχουν ανοχή μικρότερη από $0,005\text{mm}$.

- Τέλος, η σφαιρική κεφαλή έδρασης, η οποία πρέπει να βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοκιμίου και ο άξονας της πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης. Αν η μηχανή δοκιμής δεν διαθέτει σφαιρική κεφαλή έδρασης, η οποία είναι συνήθως ενσωματωμένη στην πάνω πλάκα φόρτισης, τότε ο ένας από τους δύο χαλύβδινους δίσκους πρέπει να έχει αυτή τη δυνατότητα. Η κεφαλή πρέπει να λιπανθεί με ελαφρό ορυκτέλαιο.



Εικόνα 5.1: Απεικόνιση θλιπτικού συστήματος θλιπτικών δοκιμών (Αγιουτάντης, 2010).

Η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, στην οποία ένας ορθός κυκλικός κύλινδρος πετρώματος συμπίεζεται μεταξύ δύο παράλληλων χαλύβδινων πλακών, είναι η παλιότερη και συνηθέστερη εκτελούμενη εργαστηριακή δοκιμή στα πετρώματα. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της μονοαξονικής ή ανεμπόδιστης θλιπτικής αντοχής του μέτρου ελαστικότητας και του λόγου Poisson του άρρηκτου πετρώματος.

Για τη λήψη έγκυρων αποτελεσμάτων από τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης απαιτείται όπως προαναφέρθηκε, προσεκτική διαμόρφωση των δοκιμίων. Η διάμετρος των δοκιμίων πρέπει να μετράτε 6 φορές με ακρίβεια $0,1\text{mm}$ και υπολογίζεται ο μέσος όρος. Συγκεκριμένα, μετρείται κατά δύο διευθύνσεις που σχηματίζουν μεταξύ τους, γωνία 90° στο πάνω και κάτω μέρος του δοκιμίου αλλά και στη μέση του. Η μέση διάμετρος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του εμβαδού της επιφάνειας φόρτισης.

Το ύψος του δοκιμίου μετράται με ακρίβεια 1,0mm. Για μια καλή ακρίβεια αποτελεσμάτων, απαιτούνται 5 δοκίμια για την κάθε δοκιμή.

Όσον αφορά την επιβολή φορτίου κατά τη δοκιμή, θα πρέπει να έχει σταθερό ρυθμό φόρτισης μεταξύ 0,5 – 1,0 MPa/sec χωρίς διακοπές. Το μέγιστο φορτίο πρέπει να καταγράφεται με ακρίβεια 1%.

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (C_o) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_o = \frac{F_{max}}{A}, \text{ όπου:}$$

- F_{max} : το μέγιστο φορτίο που δέχθηκε το δοκίμιο μέχρι να αστοχήσει και
- A : η επιφάνεια που υπολογίζεται από τη μέση διάμετρο του δοκιμίου

Συνήθως τα δοκίμια που προέρχονται από την ίδια πυρηνοληψία έχουν ίδια διάμετρο αλλά δεν έχουν ίδιο ύψος, δηλαδή δεν έχουν ίδιο λόγο ύψους προς διάμετρο. Γι' αυτό το λόγο, είναι απαραίτητη, για τη σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ των διαφόρων δοκιμίων, η αναγωγή των τιμών αυτών σε κάποιο σταθερό λόγο h/D .

Από τα δεδομένα των δοκιμών, υπολογίζεται επίσης ο λόγος του Poisson ν , καθώς και το μέτρο ελαστικότητας E , μέσω του διαγράμματος τάσης – παραμόρφωσης και κατάλληλων υπολογισμών. Το μέτρο ελαστικότητας υπολογίζεται εύκολα στα υλικά τα οποία έχουν γραμμική σχέση τάσης - παραμόρφωσης χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Από τα δεδομένα της ανεμπόδιστης, μονοαξονικής θλίψης υπολογίζονται έμμεσα η διατμητική τάση τ , στην οποία αστοχεί το δοκίμιο, η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ και η συνοχή c . Η σ_n είναι η κάθετη στο επίπεδο αστοχίας τάση και εκφράζεται συναρτήσει της μέγιστης κύριας τάσης σ_1 ως εξής:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1}{2} (1 + \cos 2\alpha)$$

Κατά την διάρκεια της δοκιμής μονοαξονικής θλίψης, ο υπολογιστής που είναι συνδεδεμένος με την μηχανή φόρτισης, καταγράφει με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού την μετατόπιση l (mm) της πλάκας φόρτισης, καθώς και την δύναμη F (kN) που επιβάλλει στο δοκίμιο σε προκαθορισμένα χρονικά βήματα.

Από τα παραπάνω στοιχεία μπορεί να εντοπιστεί η μέγιστη δύναμη που έχει επιβληθεί στο δοκίμιο και να δοθεί το φορτίο θραύσης σε kN, καθώς και η αντίστοιχη μετατόπιση. Δύναται επίσης να κατασκευαστεί διάγραμμα δύναμης – μετατόπισης και να δοθεί η γραφική λύση του προβλήματος

Η παραμόρφωση είναι αδιάστατο μέγεθος, ενώ η τάση δίνεται σε MPa. Υπενθυμίζεται ότι: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / 1 \text{ m}^2$.

5.2 ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ

Η τριαξονική δοκιμή καλύπτει τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων. Η εφαρμογή του κατακόρυφου φορτίου, που εξασκείται κατά τον άξονα του δοκιμίου, που υπόκειται ταυτόχρονα σε μία πλευρική πίεση, ελέγχεται με τη μέτρηση των παραμορφώσεων του δοκιμίου και των τάσεων που εξασκούνται σ' αυτό. Τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ) και της συνοχής (S_o) και της περιβάλλουσας αστοχίας του πετρώματος. Είναι η πλέον αντιπροσωπευτική και αξιόπιστη δοκιμή διερεύνησης της συμπεριφοράς του σχηματισμού που υπόκειται σε εντατικές καταστάσεις. Η διατμητική αντοχή του σχηματισμού είναι συνάρτηση όχι μόνο του μεγέθους της πίεσης που εξασκείται σ' αυτό και της πίεσης του νερού των πόρων, αλλά εξαρτάται και από την εντατική κατάσταση που βρίσκονταν ο σχηματισμός πριν από τη δοκιμή του.

Η τριαξονική δοκιμή εκτελείται στο εργαστήριο από ένα κατάλληλο εξοπλισμό που περιλαμβάνει:

- Κυψέλη Τριαξονικής δοκιμής,
- Σύστημα αξονικής φόρτισης και
- Σύστημα πλευρικής φόρτισης

Αρχικά, το δοκίμιο τοποθετείται μέσα στη κυψέλη ανάμεσα στους χαλύβδινους δίσκους και περιβάλλεται από την ελαστική μεμβράνη έτσι ώστε το σύστημα να είναι ευθυγραμμισμένο με τους άξονες των σφαιρικών κεφαλών έδρασης. Έπειτα η κυψέλη τοποθετείται στη συσκευή αξονικής φόρτισης και γεμίζεται με υδραυλικό λάδι ή νερό. Ο αέρας που παραμένει πρέπει να αφαιρείται από τη βαλβίδα εξαέρωσης.

Το αξονικό φορτίο και η πλευρική τάση πρέπει να αναπτυχθούν ταυτόχρονα, έτσι ώστε να παραμένουν ίσα, μέχρις ότου η πλευρική τάση φτάσει στη προκαθορισμένη της τιμή. Στη συνέχεια, η πλευρική τάση πρέπει να διατηρηθεί σταθερή, μέχρι το τέλος της δοκιμής (με απόκλιση 2%). Το φορτίο κατά τη διάρκεια της δοκιμής πρέπει να επιβάλλεται με σταθερό ρυθμό φόρτισης μεταξύ 0,5 – 1,0MPa/sec χωρίς διακοπές, όπως και στην μονοαξονική θλίψη. Τέλος, καταγράφονται η μέγιστη πλευρική τάση και το μέγιστο φορτίο, ώστε να υπολογιστεί η αντοχή σε θλίψη από τον τύπο $\frac{F_{max}}{A}$, οι τιμές των πλευρικών τάσεων και οι αντίστοιχες αντοχές σε θλίψη, η περιβάλλουσα αστοχίας, η οποία σχεδιάζεται σε (σ_1, σ_2), η γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ) από τον τύπο:

$$\phi = \sin^{-1} \left[\frac{q-1}{q+1} \right]$$

και η συνοχή (S_o) από τον τύπο:

$$S_o = c \left[\frac{1 - \sin \phi}{2 \cos \phi} \right]$$

Όπως αποδεικνύουν πειράματα, η πλευρική πίεση αυξάνει την αντοχή του δοκιμίου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μία πέτρα που βυθίζεται στον πάτο του ωκεανού. Η τεράστια πίεση λόγω του βάρους του υπερκείμενου νερού θα έπρεπε να την θρυμματίσει. Η πέτρα όμως παραμένει αλώβητη διότι ασκείται σε αυτή ίση πλευρική πίεση.

Η μέθοδος της τριαξονικής δοκιμής είναι χρονοβόρα. Όπως προαναφέραμε, το δοκίμιο πρέπει να τοποθετηθεί σωστά μέσα στο κελί και αυτό να ασφαλίσει. Έπειτα απαιτείται χρόνος έτσι ώστε η πλευρική πίεση να ανέλθει στην επιθυμητή τιμή. Μετά την αστοχία του δοκιμίου, απαιτείται επιπλέον χρόνος ώστε να αποστραγγιστεί το νερό από το κελί και να αφαιρεθεί τελικά το κατεστραμμένο δοκίμιο. Τα πλεονεκτήματα όμως που προσφέρει είναι σημαντικά. Για κάθε πλευρική πίεση αποκτάται διαφορετική τιμή της αντοχής, και άρα ένας νέος κύκλος του Mohr στο διάγραμμα τ-σ. Έχοντας λοιπόν τρεις κύκλους από αντίστοιχα τρεις τριαξονικές δοκιμές, έναν κύκλο από μονοαξονική δοκιμή (προκύπτει από τη μέση αντοχή πολλών μονοαξονικών δοκιμών) και έναν κύκλο από δοκιμή εφελκυσμού (προκύπτει από τη μέση αντοχή πολλών εφελκυστικών δοκιμών) στο ίδιο διάγραμμα τ-σ, κατασκευάζεται η περιβάλλουσα των κύκλων και προσδιορίζεται η εξίσωσή της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

6.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Για την γεωφυσική έρευνα πεδίου, όπως αναφέρθηκε και στα παραπάνω κεφάλαια, έγινε η εφαρμογή της ηλεκτρικής τομογραφίας και ηλεκτρικής βυθοσκόπησης σε 8 διαφορετικές θέσεις στην περιοχή που επρόκειτο να γίνει η εγκατάσταση του Υβριδικού Σταθμού καθώς και σεισμικής τομογραφίας σε 5 επιλεγμένες θέσεις της περιοχής εγκατάστασης.

6.1.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Σαν πρώτο βήμα ήταν η ανάπτυξη των γραμμών μελέτης, η οποία επιδιώκεται να γίνεται σε ευθεία και όσο τον δυνατόν παράλληλα στην παράταξη των γεωλογικών σχηματισμών. Έπειτα τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Το κάθε ηλεκτρόδιο ισαπέχει με το άλλο, σε απόσταση 1,5m για τις όλες θέσεις, εκτός της θέση εγκατάστασης κέντρου ελέγχου – συσσωρευτών που τα ηλεκτρόδια ισαπείχαν 2m.

Για κάθε γραμμή μελέτης, εφαρμόζοταν διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων, συνδέοντας το έδαφος με ένα αρνητικό και ένα θετικό πόλο μιας μπαταρίας. Τα διάφορα ηλεκτρόδια ήταν συνδεδεμένα για κάθε γραμμή μελέτης με το πολυκάναλο καλώδιο, το οποίο είναι συνδεδεμένο με το πρόγραμμα. Το πρόγραμμα ελέγχει σε πρώτη φάση τα ηλεκτρόδια για κάθε μέτρηση, και έπειτα λαμβάνονται αυτόματα οι μετρήσεις της ειδικής αντίστασης.

Για τις μετρήσεις της ηλεκτρικής τομογραφίας το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την διεκπεραίωση των μετρήσεων ήταν το Iris (Syscal – Pro). Είναι ιδανικό για περιβαλλοντικές εφαρμογές και εφαρμογές πολιτικού μηχανικού, όπως τον προσδιορισμό βάθους σε βράχο και η χαρτογράφηση υποβρύχιων πετρωμάτων. Είναι προσαρμοσμένο για να ανιχνεύει βαθιά βλάβη στους υδροφόρους ορίζοντες ή για να χαρακτηρίζει τα βάθη και το πάχος των υπόγειων υδροφορέων, με μέγιστη τάση εξόδου 2000Vpp.

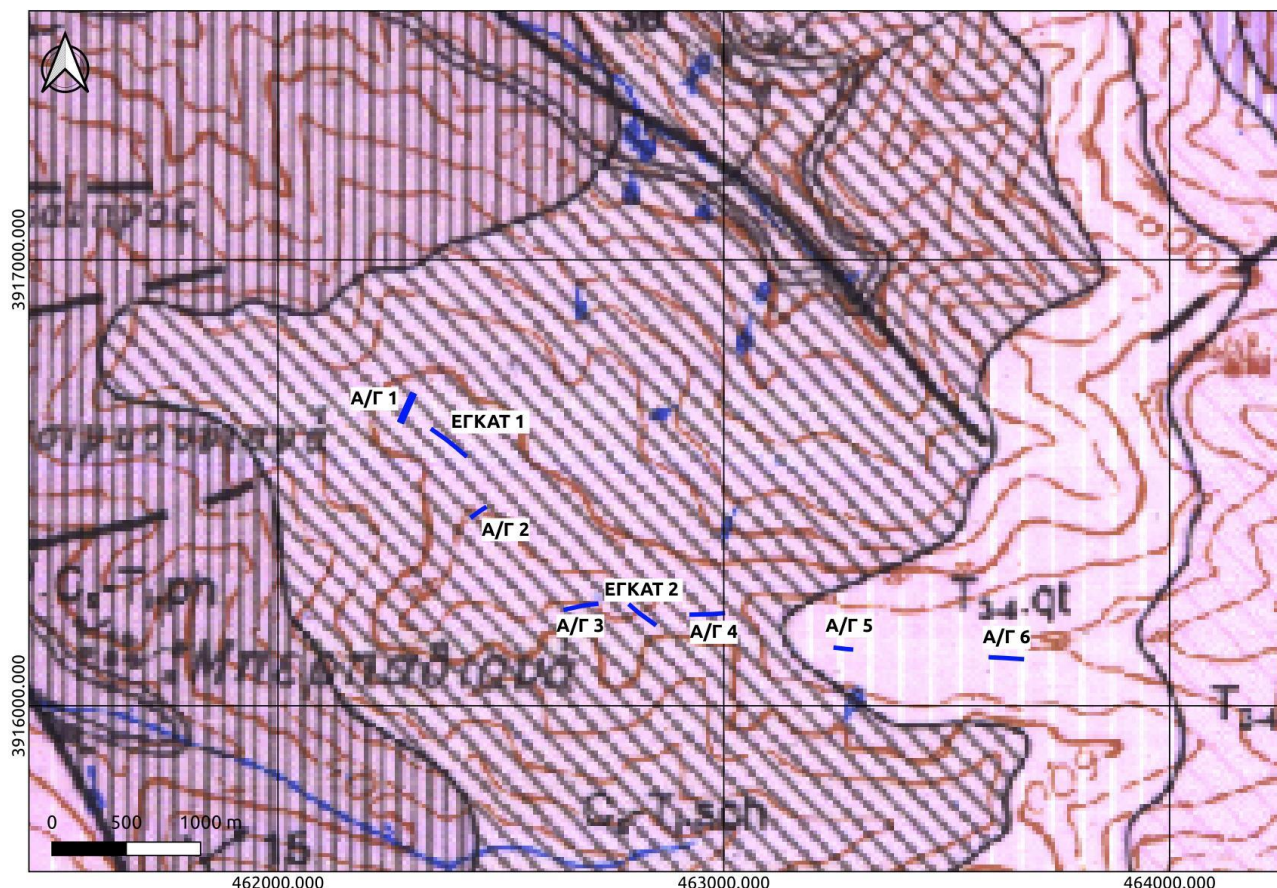


Εικόνα 6.1: Όργανο μέτρησης Iris (Syscal – Pro).

Αναλυτικότερα, για τις γραμμές μελέτης της ηλεκτρικής τομογραφίας:

ΘΕΣΗ	ΓΡΑΜΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	ΜΗΚΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (m)	ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ (m)	ΠΛΗΘΟΣ ΗΛΑΚΤΡΟΔΙΩΝ
Α/Γ 1	8	70,5	8	48
Α/Γ 2	1	34,5	7	24
ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 1	1	94	11	48
Α/Γ 3	1	70,5	8	48
Α/Γ 4	1	70,5	8	48
Α/Γ 5	1	34,5	7	24
Α/Γ 6	1	70,5	8	48
ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 2	1	70,5	8	48

Πίνακας 6.1: Στοιχεία των γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων.



Εικόνα 6.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης πάνω στον οποίο απεικονίζονται οι γραμμές μελέτης των 8 θέσεων της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Οι θέσεις των ηλεκτρικών διασκοπήσεων, ακριβείς συντεταγμένες, σε ΕΓΣΑ '87 παρουσιάζονται στον πίνακα του Παραρτήματος Ι.

6.1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ

Η διαδικασία της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης με τη διάταξη Wenner πραγματοποιήθηκε για τις θέσεις των ανεμογεννητριών σε 3 άξονες με αποστάσεις ηλεκτροδίων 2, 4, 8, 12 και 16m ενώ για τις θέσεις του κέντρου ελέγχου – συσσωρευτών σε 5 άξονες με αποστάσεις ηλεκτροδίων 2, 4, 8, 12, 16, 20 και 24m.

Σαν πρώτο βήμα ήταν η ανάπτυξη της γραμμής μελέτης, η οποία επιδιώκεται να γίνεται σε ευθεία και όσο τον δυνατόν παράλληλα στην παράταξη των γεωλογικών φαινομένων. Τοποθετήθηκαν τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού εκατέρωθεν ενός σημείου το οποίο είχε οριστεί ως το κέντρο της διάταξης και έμενε σταθερό σε απόσταση ανάλογα με τη θέση εγκατάστασης (ανεμογεννήτριας ή κέντρου ελέγχου – συσσωρευτών). Στη συνέχεια πραγματοποιείτο η σύνδεση των ηλεκτροδίων Α, Β με τα καλώδια, διοχετεύοντας ηλεκτρικό ρεύμα και λαμβανόταν τη μέτρηση, $\Delta V/I$. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα ηλεκτρόδια του ρεύματος σε μεγαλύτερη απόσταση $AB/2$ και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία μέχρι τη μέγιστη ζητούμενη απόσταση, των 16m για τις θέσεις των ανεμογεννητριών και των 24m για τη θέση του κέντρου ελέγχου – συσσωρευτών.

Για κάθε άξονα καταγράφαμε το $\Delta V/I$ για καθεμία από τις αποστάσεις που αναφέρθηκαν και έτσι ήταν εύκολος ο υπολογισμός της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a), μέσω της σχέσης:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

Το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Sting R1-AGI.

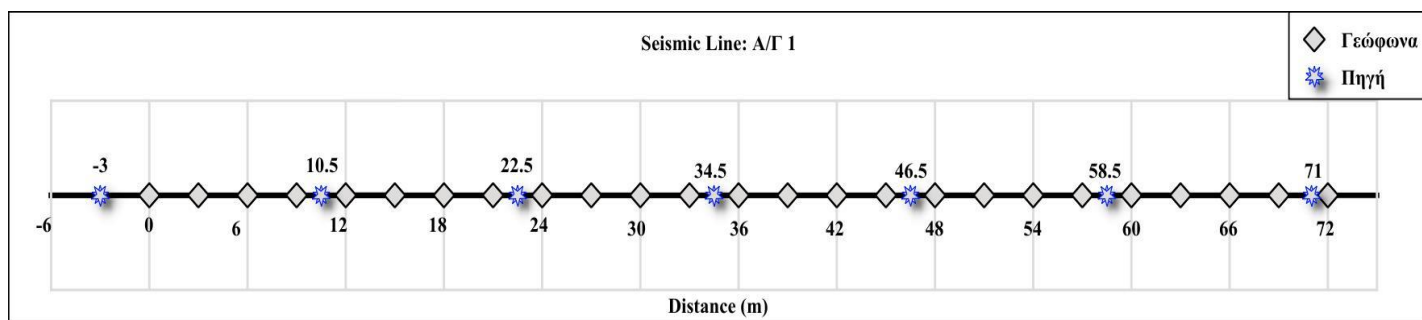
6.1.2 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Για κάθε γραμμή μελέτης πραγματοποιήθηκαν καταγραφές για την απόκτηση απευθείας και μετωπικών κυμάτων. Οι θέσεις των γεωφώνων και τα σημεία των πηγών ήταν ίδια και στις δύο περιπτώσεις. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο Σεισμογράφος GeometricsGeode 24 καναλιών, 24 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας Mark Products, μία πηγή (σιδερένια πλάκα), διαστάσεων 20x20cm στην οποία αλλάζοντας θέση για την ίδια γραμμή μελέτης, έχοντας έτσι 7 διαφορετικές θέσεις πηγής για κάθε γραμμή και μια βαριά των 5kg.

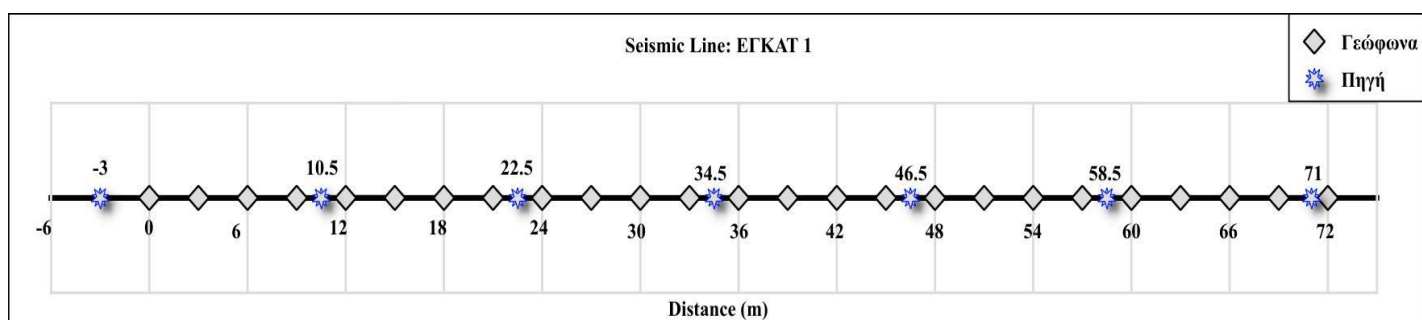
Πρώτο βήμα για τη διεκπεραίωση της σεισμικής διάθλασης είναι η οριοθέτηση της γραμμής μελέτης. Για την οριοθέτηση της γραμμής μελέτης, χρησιμοποιήθηκε μετροταινία. Μετά την οριοθέτηση της γραμμής μελέτης, τοποθετήθηκε ο σεισμογράφος στο τέλος του αναπτύγματος των γεωφώνων, ελέγχοντας πάντα να υπάρχει μια υποδοχή γεωφώνου κάθε 3m, ώστε να είναι σε ίσες αποστάσεις. Εν συνεχεία, τοποθετήθηκαν τα γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας ιδιοσυχνότητας 4.5Hz στο έδαφος, ακριβώς δίπλα στο ανάπτυγμα της μετροταινίας. Αφού ολοκληρώθηκε το στάδιο της τοποθέτησης των γεωφώνων στο έδαφος, συνδέσαμε τα γεώφωνα με το σεισμογράφο. Έπειτα τοποθετήθηκε η πηγή, σιδερένια πλάκα και βαριά, στη προκαθορισμένη θέση πηγής (-3m) και άρχισε η λήψη καταγραφών διαμήκων και επιφανειακών κυμάτων. Χτυπώντας την πηγή (σιδερένια πλάκα) με την βαριά στα διάφορα σημεία που αναφέρθηκαν παραπάνω και καταγράφουμε τις μετρήσεις. Με την ολοκλήρωση της λήψης των καταγραφών, η πηγή τοποθετείται διαδοχικά στα προκαθορισμένα σημεία μέχρι το τελευταίο γεώφωνο. Σε κάθε θέση γινόταν λήψη των καταγραφών κ.ο.κ. μέχρι να ολοκληρωθούν οι καταγραφές σε όλες τις θέσεις του αναπτύγματος των γεωφώνων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με τον ίδιο τρόπο για καθεμία από τις 5 γραμμές μελέτης.

Κατά τη διάρκεια των καταγραφών πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, έτσι ώστε να μην έχουμε παρεμβολές από εξωγενείς παράγοντες. Οι μετρήσεις πρέπει να καταγράφονται όταν επικρατεί όσο το δυνατόν περισσότερη ησυχία, έτσι ώστε οι μετρήσεις να είναι ανεπηρέαστες από θορύβους.

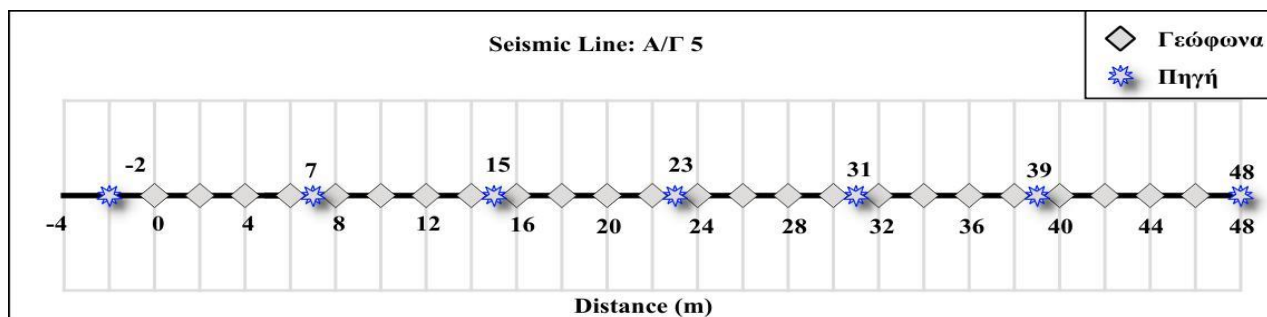
Οι θέσεις των γεωφώνων και της πηγής για κάθε σεισμική γραμμή παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες:



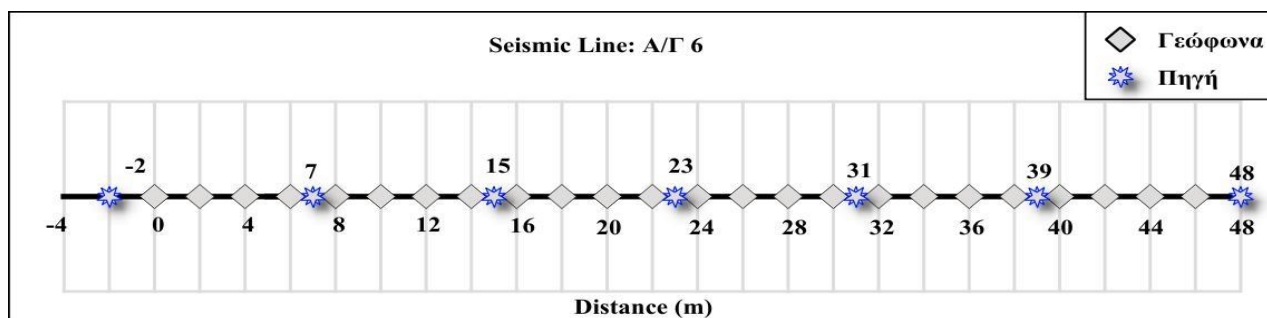
Εικόνα 6.3: Θέσεις γεωφώνων και πηγής για τη σεισμική γραμμή μελέτης στη θέση A/Γ 1 με διεύθυνση Δ-Α.



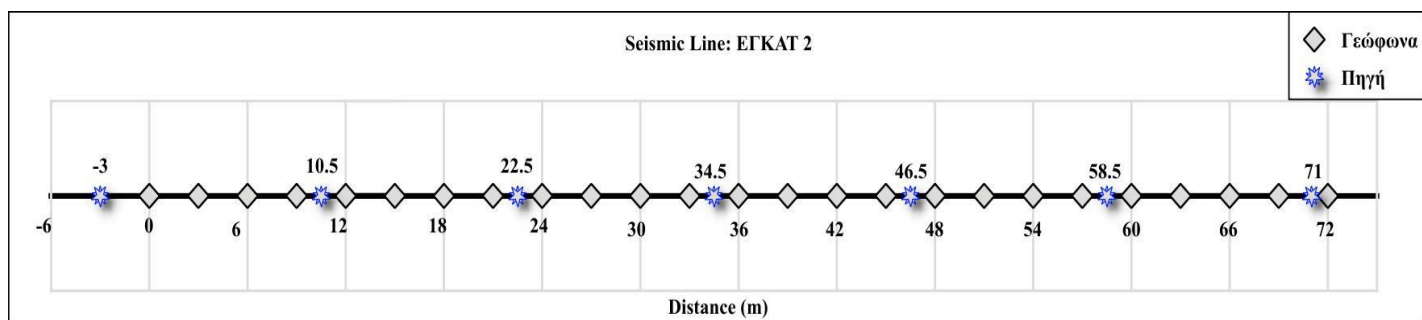
Εικόνα 6.4: Θέσεις γεωφώνων - πηγής για τη σεισμική γραμμή μελέτης στη θέση ΕΓΚΑΤ 1 με διεύθυνση Ν-Β.



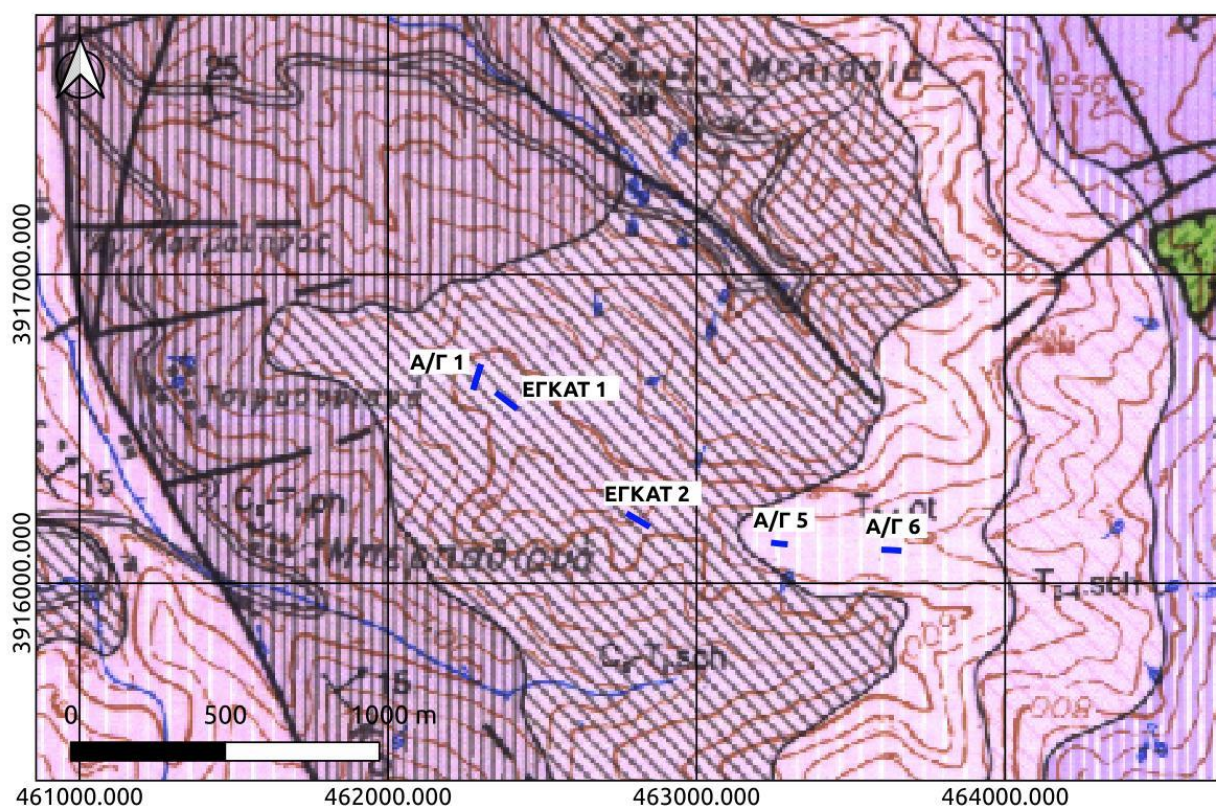
Εικόνα 6.5: Θέσεις γεωφώνων και πηγής για τη σεισμική γραμμή μελέτης στη θέση A/Γ 5 με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.



Εικόνα 6.6: Θέσεις γεωφώνων και πηγής για τη σεισμική γραμμή μελέτης στη θέση A/Γ 6 με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ .



Εικόνα 6.7: Θέσεις γεωφώνων - πηγής για τη σεισμική γραμμή μελέτης στη θέση ΕΓΚΑΤ 2 με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ.



Εικόνα 6.8: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης πάνω στον οποίο απεικονίζονται οι γραμμές μελέτης των 5 επιλεγμένων θέσεων της σεισμικής τομογραφίας.

6.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Τα ογκοτεμάχια φυλλίτη περισυλλέχθηκαν από τις θέσεις «Σταυρός - Κισός» στο Σφηνάρι Χανίων. Συνολικά, διαμορφώθηκαν 18 δοκίμια, εκ των οποίων, τα 10 ήταν για τη θέση «Κισός» και τα 8 για την θέση «Σταυρός».

Το πέτρωμα από το οποίο διαμορφώθηκαν τα κυλινδρικά δοκίμια είναι φυλλίτης πράσινου έως τεφρόφαιου χρώματος και μεγάλης σκληρότητας, που φάνηκε ήδη κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης των κυλινδρικών δοκιμών. Ο φυλλίτης χαρακτηρίζεται από την έντονη σχιστότητα και το πολύ μικρό μέγεθος των ορυκτών συστατικών του. Αποτελείται κυρίως από μοσχοβίτη (σερικίτη), και από χαλαζία, γρανάτη, χλωρίτη. Ως εποψιδώδη μπορεί να βρεθούν ασβεστίτης, γραφίτης, επίδοτο, βιοτίτης,

σιδηροπυρίτης, μαγνητίτης. Σχηματίζεται με χαμηλού έως μέσου βαθμού μεταμόρφωση αργιλοπηλιτικών ή μαργαϊκών ιζημάτων. Το πέτρωμα εμφανίζει μακροσκοπικά ανισότροπη μικροδομή που κυριαρχείται από την παρουσία στρώσης που είναι σχεδόν οριζόντια στην περιοχή της έδρασης. Για την εξάλειψη διατμητικών τάσεων λόγω τριβής μεταξύ των εδρών των δοκιμίων και των πλακών εδράσεως της μηχανής χρησιμοποιήθηκαν λεπτά φύλλα τεφλόν.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαστάσεις των δοκιμίων, ανάλογα με το είδος της δοκιμής.

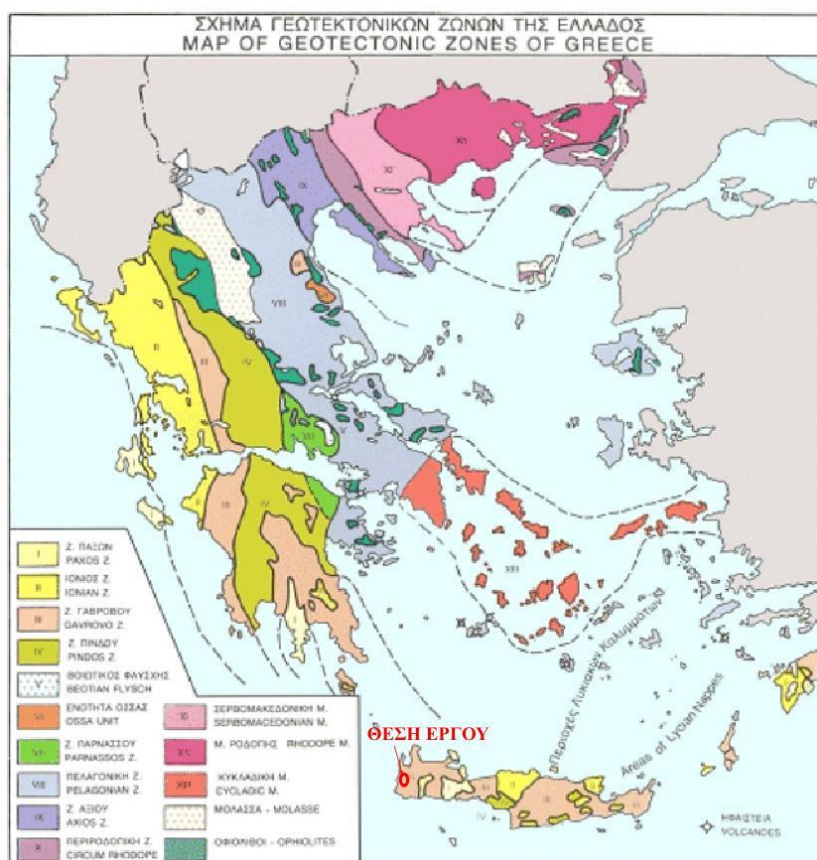
Κωδικός δοκιμίου	Θέση	Είδος δοκιμής	Μήκος δοκιμίου L (m)	Διάμετρος δοκιμίου D (m)
ΣΚ2-1	Κισός	Ανεμπόδιστη θλίψη	9,4	5,0
ΣΚ3-2	Κισός	Ανεμπόδιστη θλίψη	7,4	4,5
ΣΚ4-2	Κισός	Ανεμπόδιστη θλίψη	8,5	4,5
ΣΚ5-2	Κισός	Ανεμπόδιστη θλίψη	9,5	4,5
ΣΣ3-1	Σταυρός	Ανεμπόδιστη θλίψη	7,9	4,5
ΣΣ3-2	Σταυρός	Ανεμπόδιστη θλίψη	5,4	4,5
ΣΣ1-2	Κισός	Τριαξονική θλίψη	7,2	4,5
ΣΚ2-3	Κισός	Τριαξονική θλίψη	5,4	4,5
ΣΚ3-3	Κισός	Τριαξονική θλίψη	6,5	4,5
ΣΚ4-3	Κισός	Τριαξονική θλίψη	6,7	4,5
ΣΣ1-2	Σταυρός	Τριαξονική θλίψη	6,1	4,5
ΣΣ1-3	Σταυρός	Τριαξονική θλίψη	5,8	4,5
ΣΚ1-1	Κισός	Τριαξονική θλίψη	7,3	5,0
ΣΚ2-2	Κισός	Τριαξονική θλίψη	5,6	4,5
ΣΚ3-1	Κισός	Τριαξονική θλίψη	6,5	4,5
ΣΚ4-1	Κισός	Τριαξονική θλίψη	10,6	4,5
ΣΣ1-1	Σταυρός	Τριαξονική θλίψη	6,1	4,5
ΣΣ3-3	Σταυρός	Τριαξονική θλίψη	7,0	4,5

Πίνακας 6.2: Διαστάσεις δοκιμίων προς εργαστηριακή ανάλυση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή ανήκει στη Ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως. Η ζώνη Γαβρόβου - Τριπόλεως χαρακτηρίζεται από συνεχή ανθρακική ιζηματογένεση με κυρίαρχα πετρώματα τους ασβεστόλιθους και δολομίτες. Οι σχηματισμοί της ζώνης αυτής επικάθονται σε ένα υπόβαθρο αποτελούμενο από φυλλίτες, χαλαζιακούς φυλλίτες και μάρμαρα, γνωστό ως «Τεκτονικό Κάλυμμα Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς».



Εικόνα 7.1: Γεωτεκτονικός χάρτης Ελλάδας (<https://www.orykta.gr/>).

Η ζώνη περιλαμβάνει μεταμορφωμένα πετρώματα κυανοσχιστολιθικού τύπου και βρίσκεται τεκτονικώς επωθημένη πάνω στην Ιόνια ζώνη. Εκτός από μεταμορφωμένα, τα πετρώματα της ενότητας αυτής είναι και ιδιαίτερα τεκτονισμένα. Εκτός της μεταμόρφωσης κυανοσχιστολιθικού τύπου έχουν υποστεί και μεταγενέστερη ανάδρομη πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

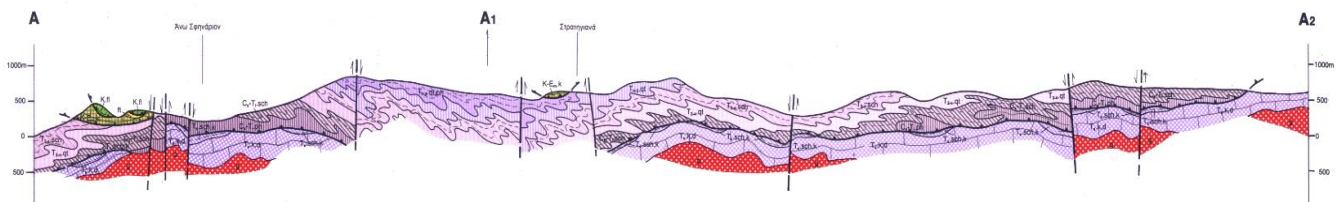
Σύμφωνα με το Γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε ΦΥΛΛΟ “ΠΑΛΙΟΧΩΡΑ”, η Φυλλιτική – Χαλαζιτική Σειρά βρίσκεται επωθημένη πάνω στους σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης και τα στρώματά της σχηματίζουν μεγάλα ανοικτά σύγκλινα και αντίκλινα. Είναι πολύ πτυχωμένη και λεπιωμένη. Αποτελείται από ένα σύνολο ορθό

και παραπετρωμάτων που έχουν μεταμορφωθεί σε συνθήκες υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του Ανωτέρου Ολιγοκαίνου – Κατωτέρου Μειοκαίνου. Το τεκτονικό κάλυμμα της Φυλλιτική – Χαλαζιτικής Σειράς καταλαμβάνει πολύ μεγάλη έκταση στο δυτικό τμήμα της Περιφερειακής Ενότητας Χανίων. Στην ενότητα αυτή επικρατούν ανθρακικοί ασβεστόλιθοι σεριτικοί – χλωριτικοί φυλλίτες και χαλαζιακοί μεταναμμίτες (χαλαζίτες). Τα πετρώματα αυτά διασχίζονται από αδροκρυσταλλικές φλέβες χαλαζία και φλέβες κατακερματισμένων ασβεστόλιθων. Τέλος, η σειρά έχει υποστεί ανάδρομη μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

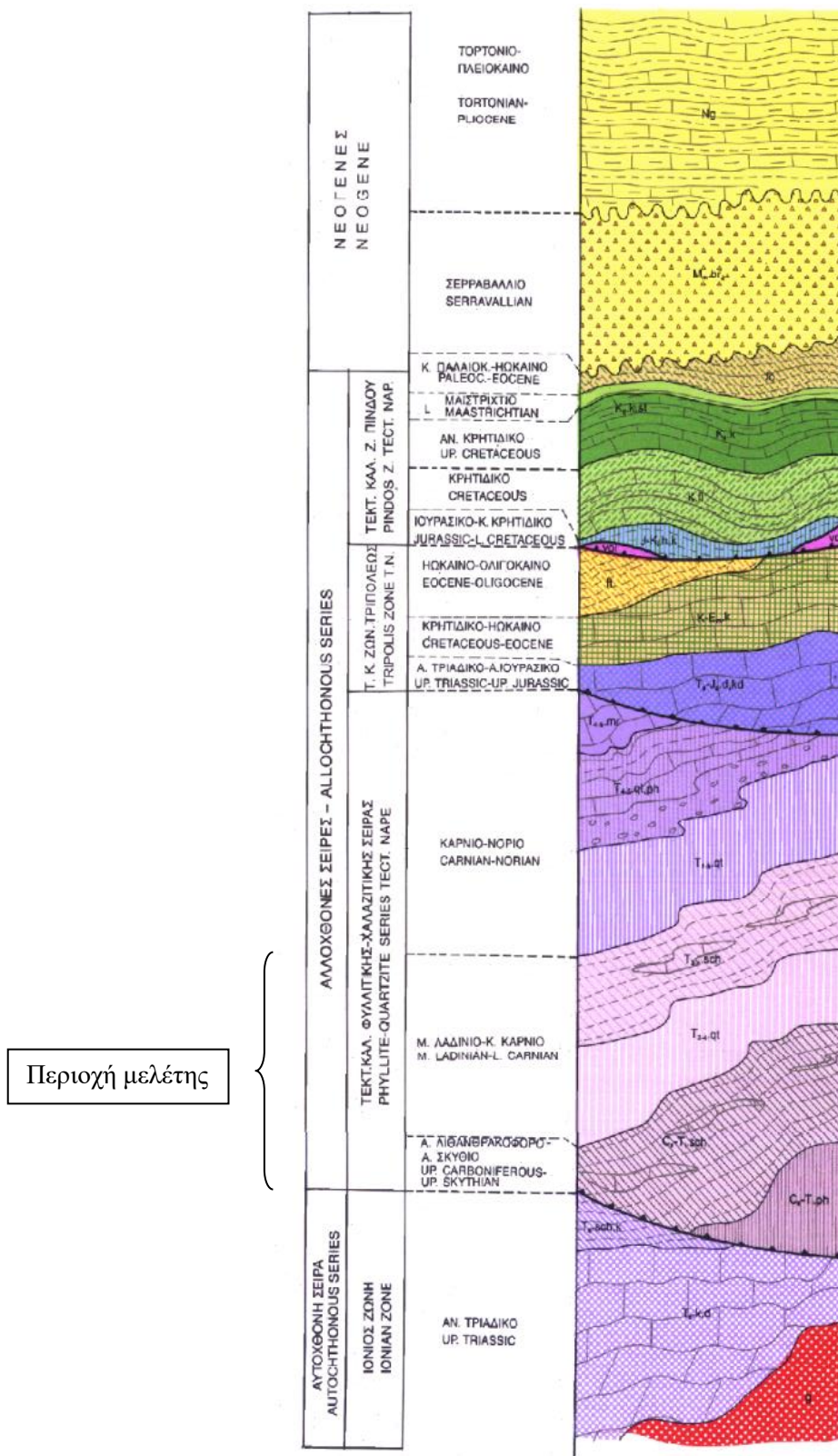
Έτσι κατέστη δυνατόν να διαχωριστεί στους παρακάτω σχηματισμούς με βάση πετρολογικά και στρωματογραφικά δεδομένα, που από τους νεότερους στους παλαιότερους είναι:

- **ΚΑΡΝΙΟ – ΝΟΡΙΟ:** Σχηματισμός «Μάνα» και Χαλαζίτες «Κουτρούλη»
- **ΜΕΣΟ ΛΑΔΙΝΙΟ – ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΚΑΡΝΙΟ:** Σχιστόλιθοι «Σταυρός – Σέλι» και Χαλαζίτες «Άγιος Δίκαιος»
- **ΑΝΩΤΕΡΟ ΛΙΘΑΝΘΡΑΚΟΦΟΡΟ – ΑΝΩΤΕΡΟ ΣΚΥΘΙΟ:** «Μικτός Σχηματισμός» και Σχηματισμός «Σφηνάρι»

Οι σχηματισμοί της περιοχής ενδιαφέροντος φαίνονται στην παρακάτω στρωματογραφική στήλη και γεωλογική τομή:



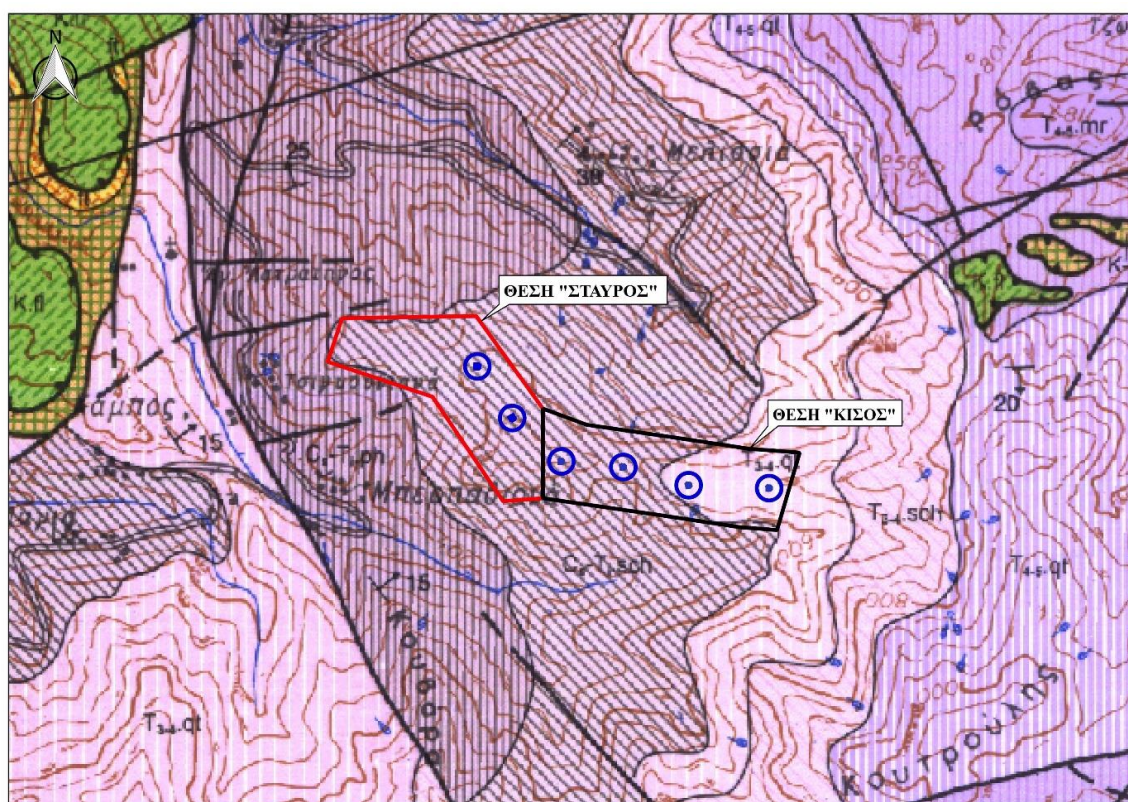
Εικόνα 7.2: Γεωλογική τομή ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος.



Εικόνα 7.3: Στρωματογραφική στήλη σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης, (ΙΓΜΕ Φ.Χ: ΠΑΛΙΟΧΩΡΑ, Τεκτονικό Κάλυμμα Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς).

7.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Στην θέση "Σταυρός" εντοπίζεται «Μικτός Σχηματισμός» με μέγιστο πάχος 500m, ο οποίος αποτελεί ποικίλο σχηματισμό που συνίσταται από χλωριτοειδείς σχιστόλιθους, χαλαζίτες και πλακώδη μάρμαρα Σε ένα πολύ μικρό μέρος δυτικά της θέσεως εγκατάστασης (εκτός της θέσης εγκατάστασης) συναντάται ο Σχηματισμός «Σφηνάρι» με μέγιστο πάχος περίπου 250m. Στο σχηματισμό αυτό εντοπίζονται εναλλαγές από πράσινους φυλλίτες, λεπτοπλακώδη μάρμαρα και μεμονωμένους λεπτούς πάγκους χαλαζίτη. Στην θέση "Κισός", εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα «Μικτός Σχηματισμός» καθώς και Χαλαζίτες «Άγιος Δίκαιος», με μέγιστο πάχος περίπου 200m, στο ανατολικό τμήμα του έργου.



Εικόνα 7.4: Γεωλογικός χάρτης στη περιοχή ενδιαφέροντος.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ	
	«Μικτός σχηματισμός»: Ποικίλος σχηματισμός που συνίσταται από χλωριτοειδείς σχιστόλιθους, χαλαζίτες και πλακώδη μάρμαρα
	Σχηματισμός «Σφηνάρι»: Ακολουθία εναλλαγών από πράσινους φυλλίτες, λεπτοπλακώδη μάρμαρα και μεμονωμένους λεπτούς πάγκους χαλαζίτη.
	Χαλαζίτες «Άγιος Δίκαιος»

Πίνακας 7.1: Υπόμνημα Γεωλογικού χάρτη στη περιοχή ενδιαφέροντος.

Οι φυλλίτες έχουν χαλαζία και σερικήτη και αποτελούν μεταμορφωμένα πετρώματα, μεταμόρφωση αργιλικών σχιστόλιθων. Οι χαλαζίτες προέρχονται από τη μεταμόρφωση χαλαζιακών ψαμμιτών (ιζηματογένη).

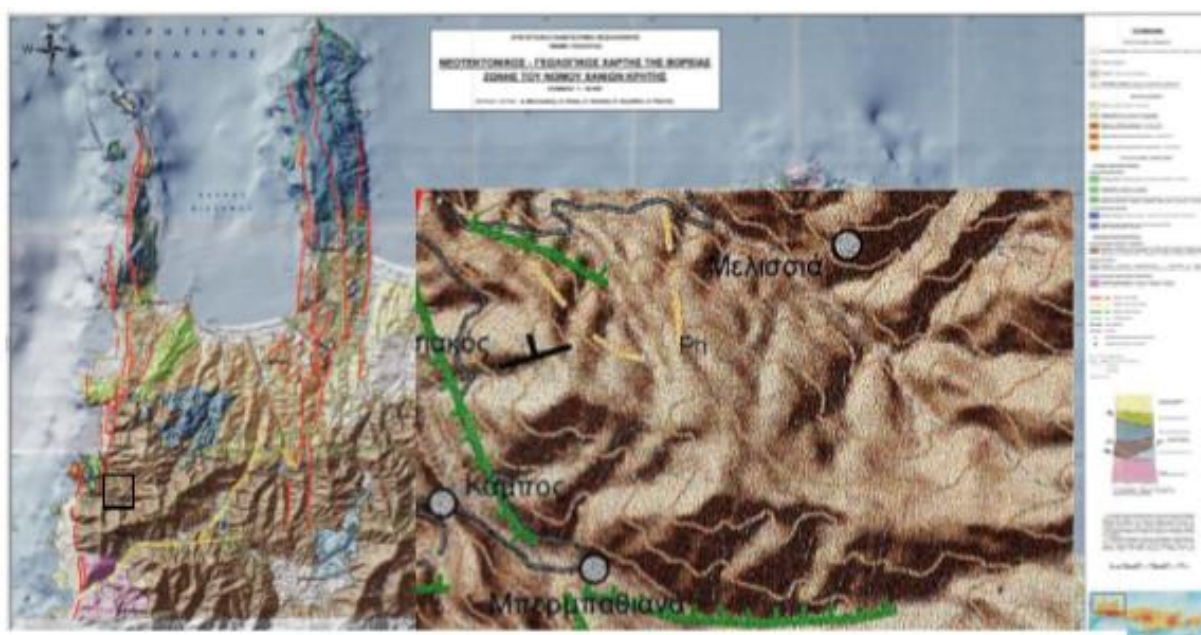


Εικόνα 7.5: Σχηματισμός φυλλιτών – χαλαζιτών στην περιοχή ενδιαφέροντος.

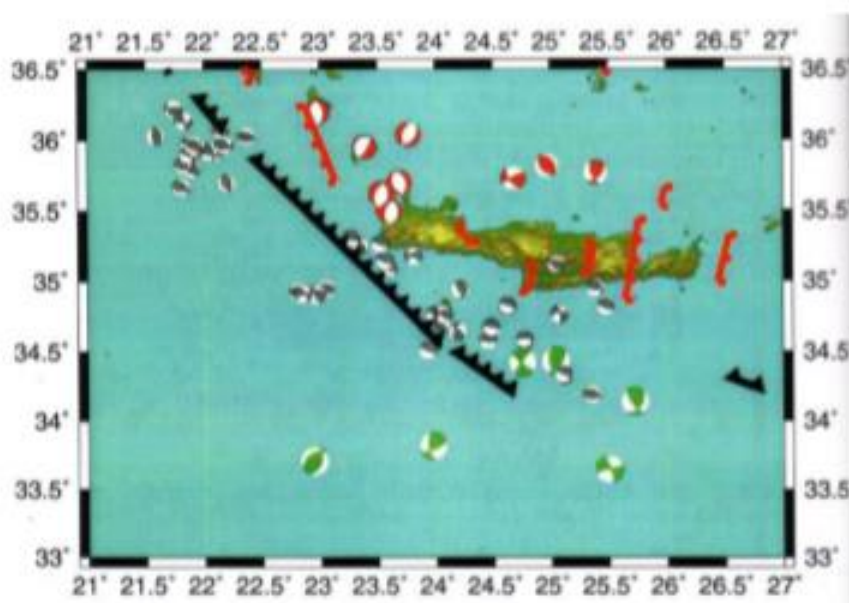
7.3 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Σε απόσταση μεγαλύτερη των 100m εμφανίζεται ρήγμα κύριας διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, το οποίο χαρακτηρίζεται ως ανενεργό (Βλέπε Σχήμα 7.1).

Η περιοχή της δυτικής Κρήτης βρίσκεται στο Ελληνικό τόξο και εμφανίζει έντονη σεισμική δραστηριότητα και υψηλή σεισμικότητα. Κατά τους ιστορικούς χρόνους εμφανίστηκε τεκτονική ανύψωση στην Δυτική Κρήτη η οποία υπερέβη τα 2m και οφείλεται στην υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας. Οι μηχανισμοί γέννησης για την ευρύτερη περιοχή της Κρήτης διακρίνονται στο Σχήμα 7.2. Μηχανισμοί με ανάστροφη διάρρηξη (μαύρα σύμβολα) εντοπίζονται κατά μήκος του Ελληνικού Τόξου εν αντιθέσει με το βόρειο τμήμα που παρατηρούνται μηχανισμοί με κανονική διάρρηξη (κόκκινα σύμβολα).

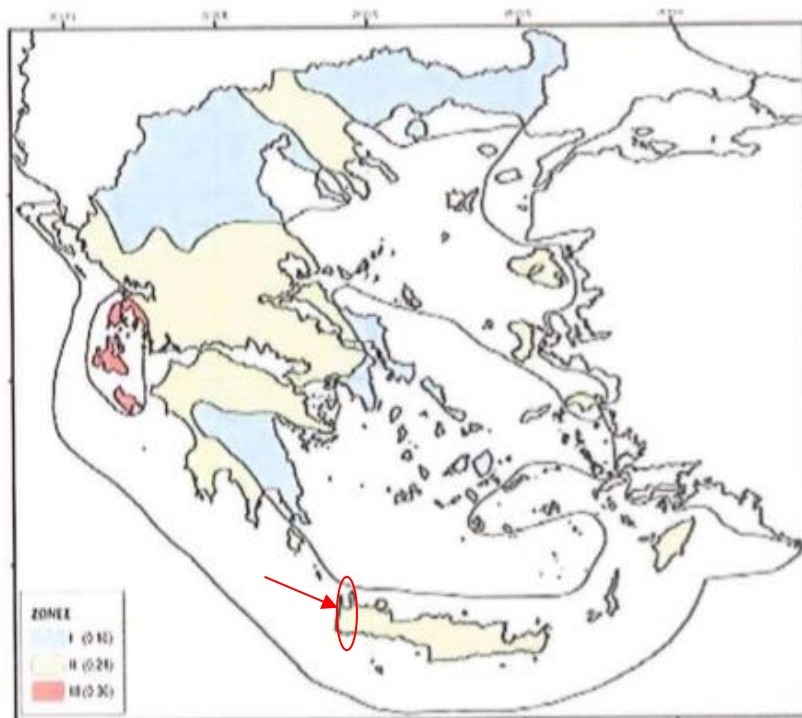


Σχήμα 7.1: Νεοτεκτονικός χάρτης της Κρήτης (Pavlaki et al, 1991) με λεπτομέρεια κάτω δεξιά για την περιοχή μελέτης (μαύρο πλαίσιο) όπου με πράσινο χρώμα υποδεικνύονται μεγάλα ανενεργά ρήγματα.

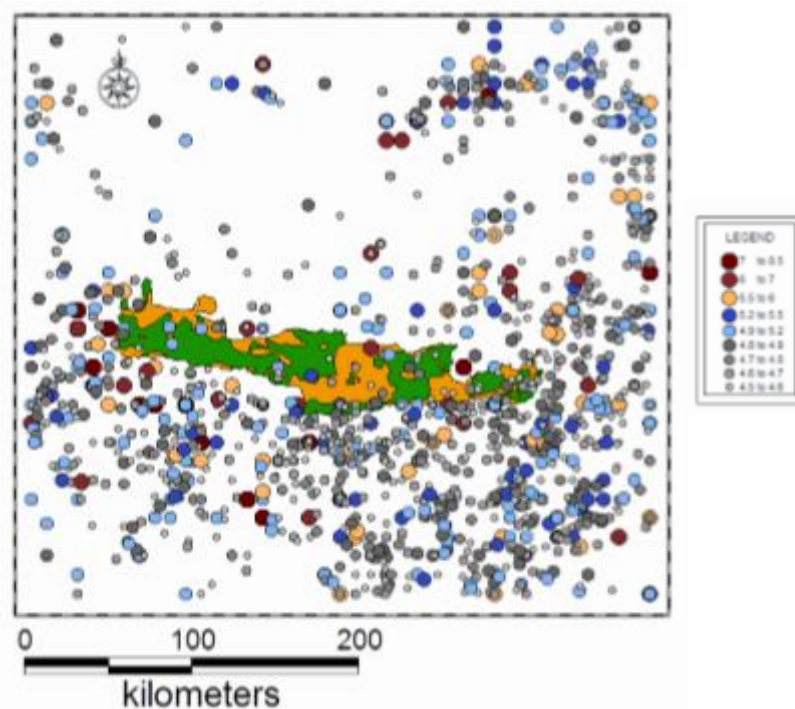


Σχήμα 7.2: Μηχανισμοί γένεσης ισχυρών επιφανειακών σεισμών (Παπαζάχος et al., 2001).

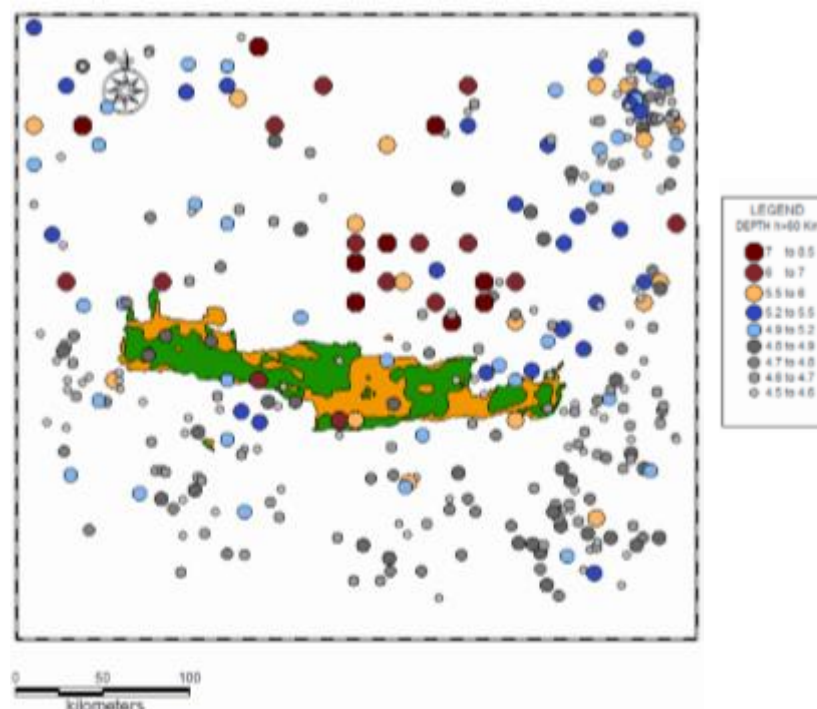
Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ, 2004) η περιοχή μελέτης ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας **II** (Εικόνα 7.6). Η εδαφική επιτάχυνση για την ζώνη αυτή είναι 0.24g (σεισμικός συντελεστής).



Εικόνα 7.6: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας κατά ΕΑΚ, 2003.



Σχήμα 7.3: Γεωγραφική κατανομή των επιφανειακών σεισμικών γεγονότων από το 500 π.Χ. έως το 2004. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται, τα νεογενή και με πράσινο, τα προνεογενή πετρώματα.



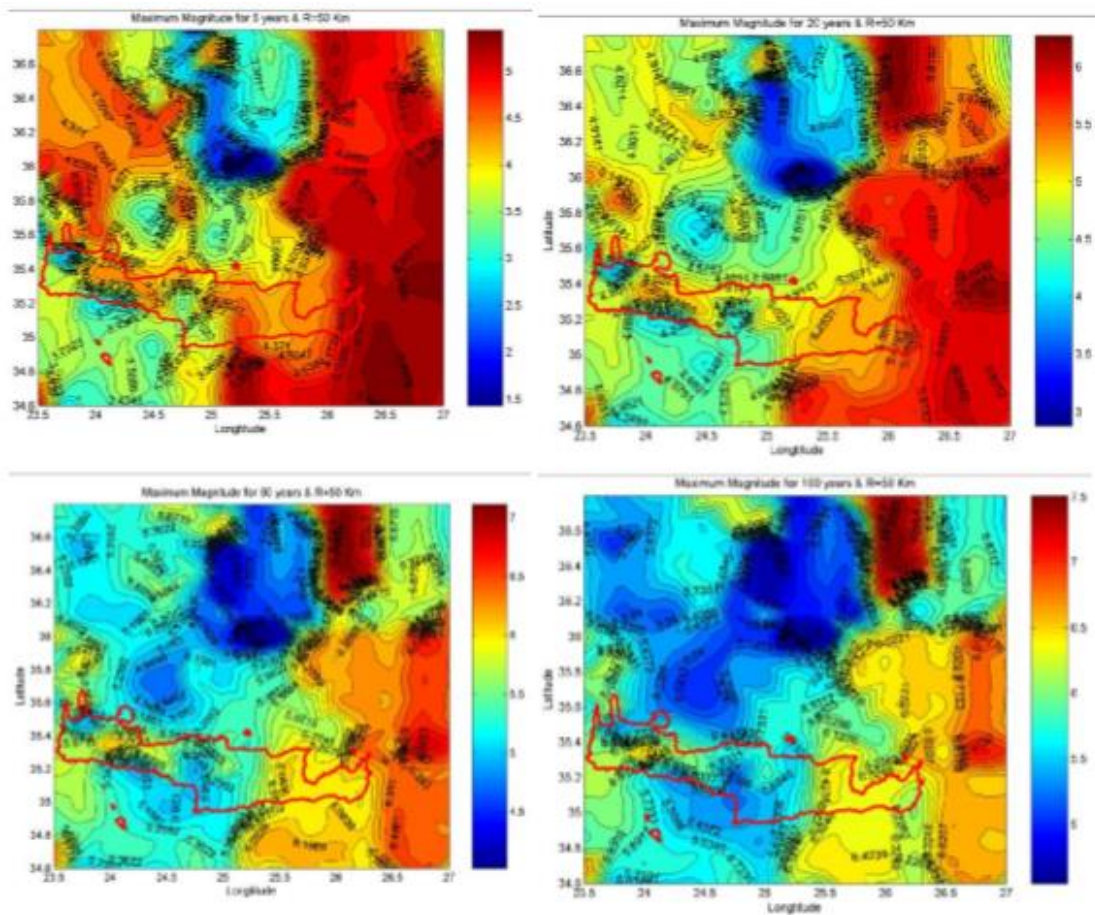
Σχήμα 7.4: Γεωγραφική κατανομή σεισμικών γεγονότων με εστιακό βάθος μεγαλύτερο από 60 km από το 500 π.Χ. έως το 2004. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται τα νεογενή και με πράσινο, τα προνεογενή πετρώματα.

Από τα παραπάνω σχήματα (7.3 και 7.4) κατανομής σεισμικών γεγονότων στην περιοχή της Κρήτης, διαπιστώνεται ότι:

- Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από σεισμούς μικρού έως ενδιάμεσου βάθους
- Το δυτικό τμήμα εμφανίζει λιγότερα σεισμικά γεγονότα από ότι το ανατολικό
- Στο δυτικό τμήμα, η κύρια διεύθυνσή τους είναι ΒΔ – ΝΑ (κυρίως)
- Τα επιφανειακά σεισμικά γεγονότα πλεονεκτούν αριθμητικά σε αντίθεση με εκείνα μεγαλύτερου βάθους ($h > 60$ km)
- Επιφανειακοί σεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο του 6 εμφανίζουν μεγαλύτερη διασπορά σε σχέση με τους μεγάλους σεισμούς μεγαλύτερου βάθους
- Παρατηρείται μια προοδευτική αύξηση των εστιακών βαθών προς τον βορρά, οριοθετώντας γεωμετρικά την ζώνη Benioff.
- Συναντώνται βαθιά ρήγματα τόσο παράλληλα στο τόξο όσο και εγκάρσια σε αυτό.

Στο Σχήμα 7.5 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή μέγιστου αναμενόμενου μεγέθους για σημεία ενός καννάβου διαστάσεων 500 x 500 κόμβων. Για κάθε σημείο του καννάβου επιλέχθηκαν τα σεισμικά γεγονότα που εμφανίζουν ευκλείδεια απόσταση του επικέντρου τους από το εξεταζόμενο σημείο του καννάβου μικρότερη ή ίση με την ακτίνα σεισμικής πηγής.

Στη ευρύτερη περιοχή της θέσης «Σταυρός – Κισός», το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος δεν υπερβαίνει το 6.5 για ακτίνα σεισμικής πηγής 50km (Ρουμπεδάκης, 2007).



Σχήμα 7.5: Χωρική κατανομή μέγιστου αναμενόμενου μεγέθους για τα επόμενα 5, 20, 60 και 100 έτη με χρήση ακτίνας σεισμικής πηγής 50km (Ρουμπεδάκης, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

8.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

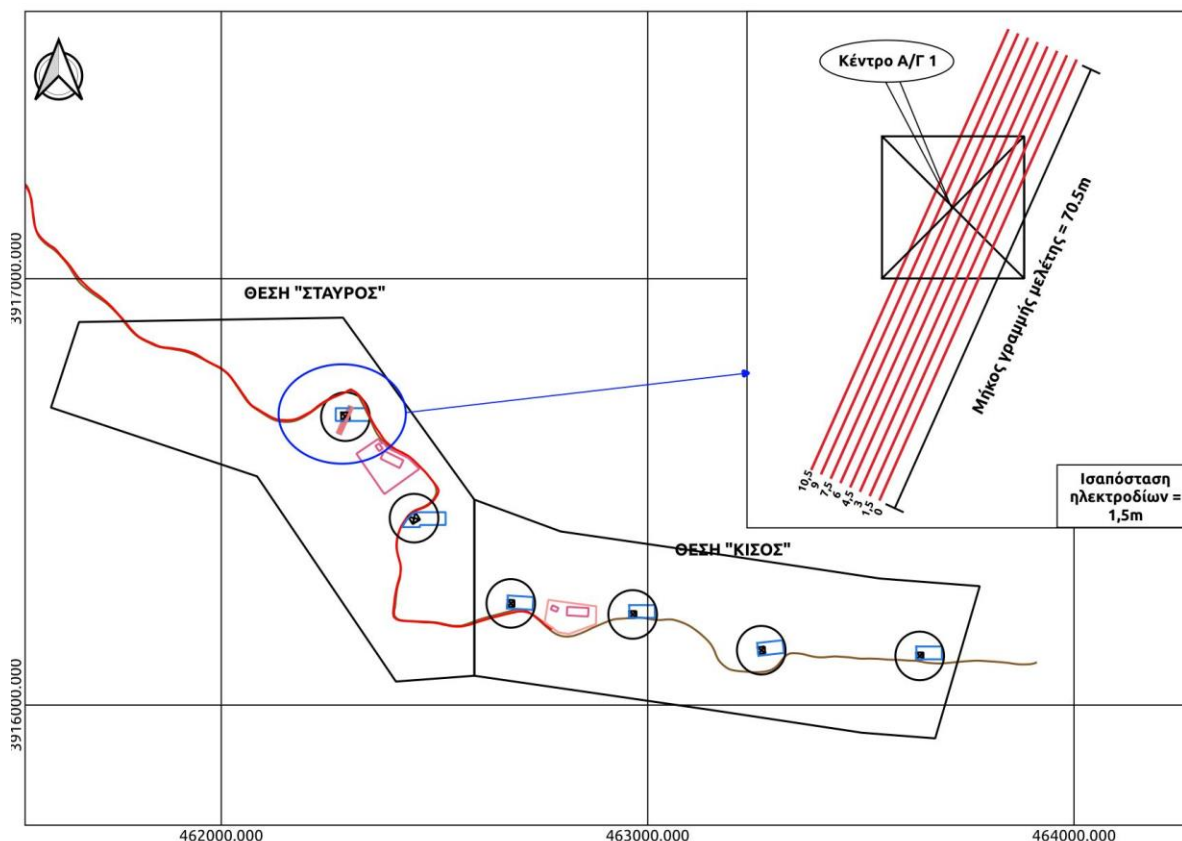
8.1.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Επεξεργασία σε 2 διαστάσεις (Res2dinv)

Τα δεδομένα που συλλέγονται με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελούν τη ψευδοτομή του υπεδάφους. Για την αντιστροφή των δεδομένων, ώστε να υπολογιστεί η πραγματική ηλεκτρική αντίσταση ρ , χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Res2Dinv.

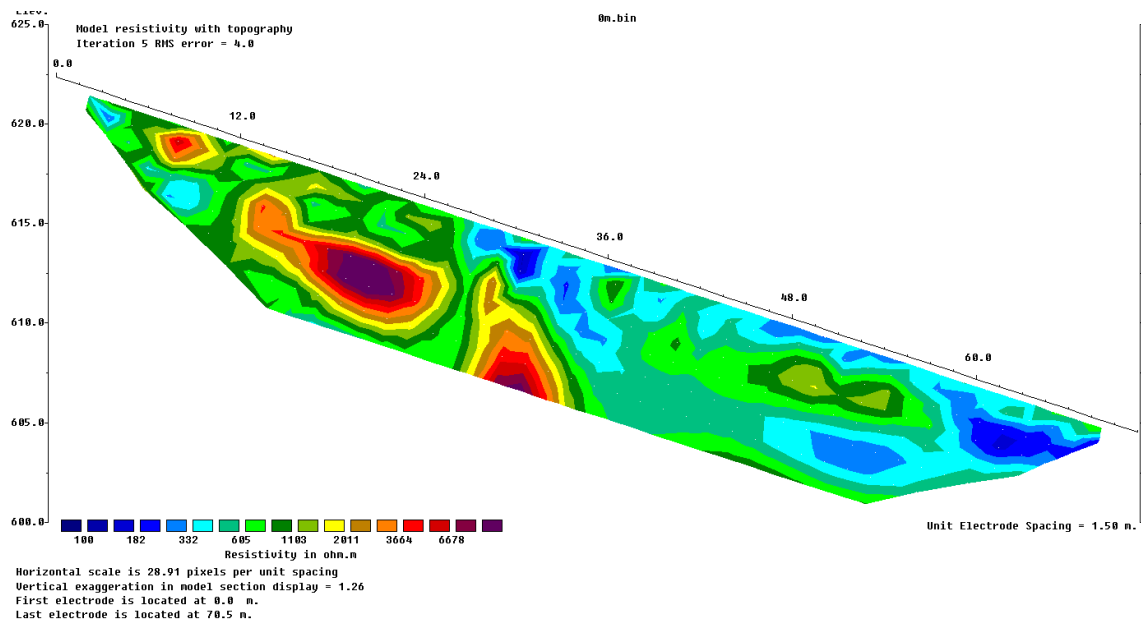
Το πρόγραμμα αυτό χωρίζει το υπέδαφος σε έναν αριθμό παραλληλογράμμων και θεωρεί σταθερή τη πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε κάθε ορθογώνιο. Ξεκινώντας από το αρχικό μοντέλο, το οποίο προκύπτει θέτοντας κάποια τιμή για την πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση, υπολογίζει τις φαινόμενες ειδικές αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό και τις συγκρίνει με τις μετρημένες τιμές των φαινόμενων αντιστάσεων. Κάνοντας διαδοχικές επαναλήψεις μειώνεται το σφάλμα συνεχώς. Τελικά επιλέγεται το μοντέλο με μικρό σφάλμα όταν οι επόμενες επαναλήψεις δεν μειώνουν σημαντικά ο σφάλμα αυτό, δηλαδή όταν η επαναληπτική διαδικασία παρουσιάζει σύγκλιση. Όπως αναφέρθηκε και στα παραπάνω Κεφάλαια, για κάθε σημείο εγκατάστασης, πραγματοποιήθηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας.

➤ Για την **A/Γ 1** στη θέση “Σταυρός” πραγματοποιήθηκαν **8 γραμμές μελέτης**, μήκους 70,5m και μέγιστου βάθους διασκόπησης 8m (48 ηλεκτρόδια). Οι γραμμές διασκοπήθηκαν με διεύθυνση από Νότο προς Βορρά (N – B). Η 1η γραμμή μελέτης βρισκόταν στα 0m ενώ η τελευταία γραμμή 10,5m, (πιο δυτική). Το κέντρο της ανεμογεννήτριας περνούσε από την 6^η γραμμή μελέτης και συγκεκριμένα μεταξύ του 28^{ου} και 29^{ου} ηλεκτρόδιο. Σε πρώτη φάση, επεξεργάστηκαν τα αρχεία για τον καθορισμό του υψομέτρου, με το πρόγραμμα Prosys, και έπειτα με την εισαγωγή τους στο πρόγραμμα Res2Dinv, και την επιλογή της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων με περιορισμό εξομάλυνσης, προέκυψαν για καθεμία από τις 8 γραμμές οι αντίστοιχες γεωηλεκτρικές τομές.



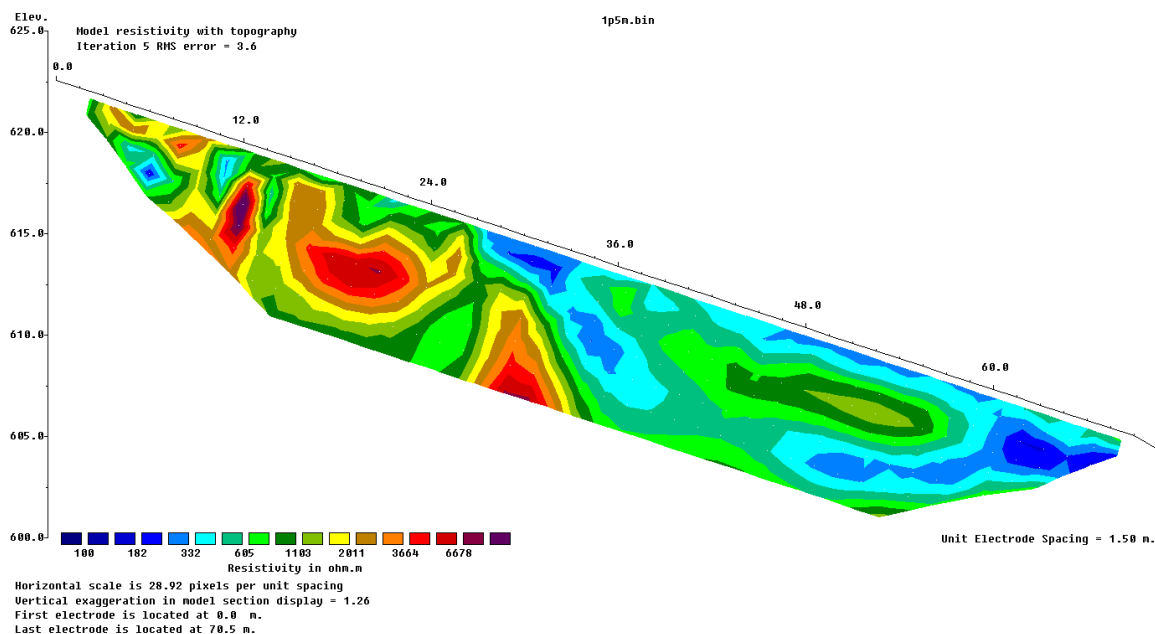
Σχήμα 8.1: Σκαρίφημα περιοχής εγκατάστασης Υβριδικού Σταθμού και απεικόνιση των γραμμών μελέτης πάνω στη περιοχή εγκατάστασης της Α/Γ 1 για τη θέση "Σταυρός".

Για κάθε γραμμή μελέτης προκύπτουν οι γεωηλεκτρικές τομές που παρουσιάζονται στο παράρτημα Ι, για τις οποίες ισχύουν ότι η 1^η αποτελεί την ψευδοτομή των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η 2^η την ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης και η 3^η την απεικόνιση του τελικού μοντέλου των τιμών της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής, η οποία και ερμηνεύτηκε (βλέπε Κεφάλαιο 3.2.1). Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται για κάθε γραμμή, η τομή με το υψομέτρο της περιοχής.



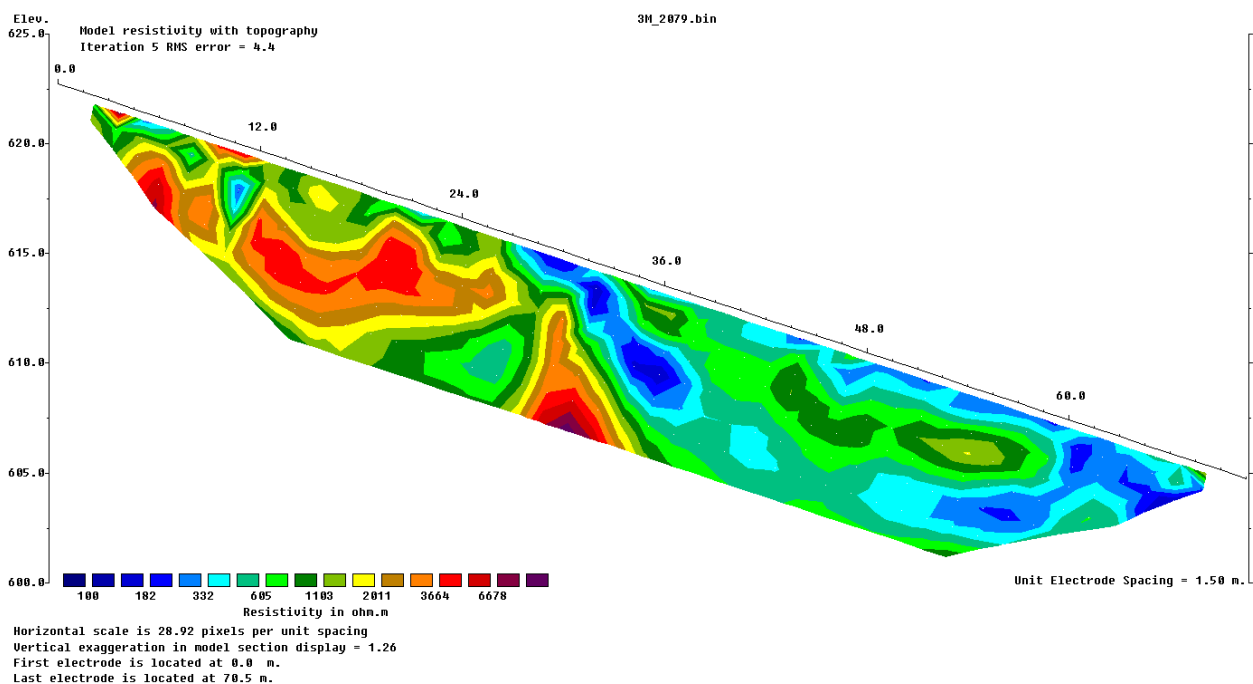
. Σχήμα 8.2: Γεωηλεκτρική τομή 1^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.

Από την παραπάνω γεωηλεκτρική τομή παρατηρείται μια ανομοιογένεια ως προς την κατανομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων. Από τα 6,5 μέχρι τα 27m της γραμμής μελέτης, και σε βάθος έως τα 2,5m από την επιφάνεια, εκτείνεται μια ζώνη υψηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 600 έως 1100Ωm (σχιστόλιθοι). Σε μεγαλύτερα βάθη έως τα 7m περίπου και μέχρι τα 35m της γραμμής μελέτης παρουσιάζεται μία ζώνη υψηλότερων αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από περίπου 2000 έως 6700 Ωm, η οποία αποδίδεται σε σχιστολιθικό σχηματισμό που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα. Από τα 36m έως το τέλος της γραμμής μελέτης, παρουσιάζεται μια ζώνη χαμηλότερων αντιστάσεων, από την επιφάνεια έως και το μέγιστο βάθος. Οι αντιστάσεις κυμαίνονται από 180 έως περίπου 1100Ωm (εδαφικός σχηματισμός και σχιστόλιθοι), μεγαλύτερες αντιστάσεις σε βάθος από 3 έως 4,5m. Το σφάλμα είναι RMS=4.0%.



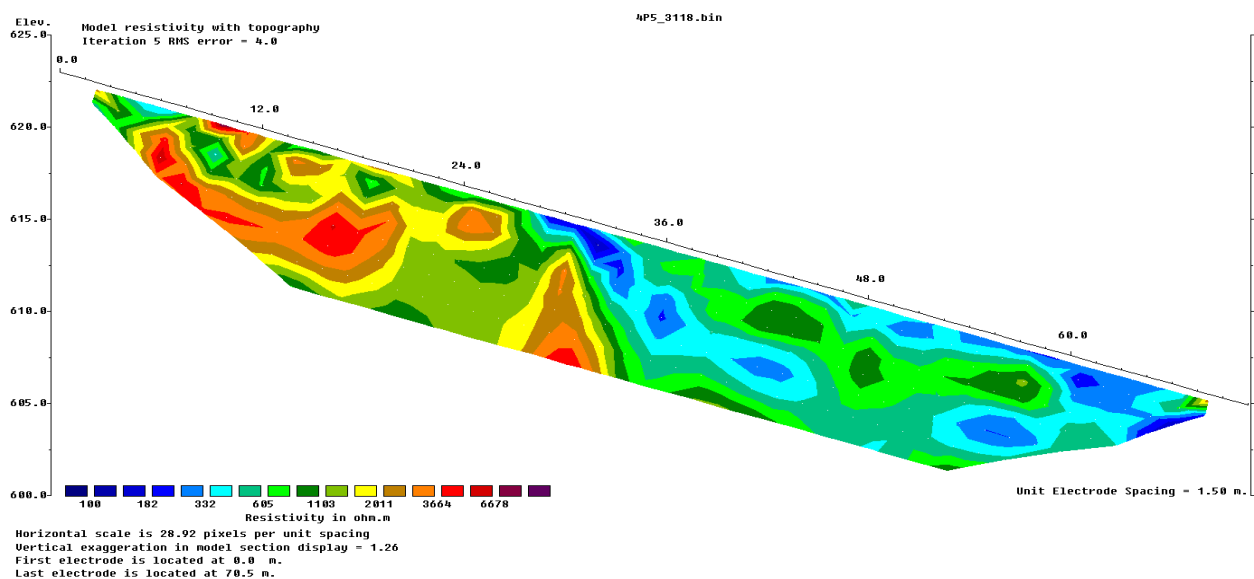
Σχήμα 8.3: Γεωηλεκτρική τομή 2^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.

Η ανομοιογένεια ως προς την κατανομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων παρατηρείται και σε αυτή τη γραμμή μελέτης με σφάλμα RMS=3,6%. Από την αρχή έως τα 36m της γραμμής μελέτης, και από τα πιο επιφανειακά έως τα βαθύτερα στρώματα, παρατηρείται μια ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 2000 έως 6600Ωm (σχιστολιθικός σχηματισμός που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα), με εξαίρεση ένα μικρή ζώνη στο δυτικό μέρος της γραμμής, που παρουσιάζει μικρότερες αντιστάσεις, από 180 έως 330Ωm, που αποδίδεται σε εδαφικό σχηματισμό. Από τα 36m έως το τέλος της γραμμής, εμφανίζεται μία ζώνη χαμηλότερων αντιστάσεων, από 180 έως 1500Ωm (παρουσία σχιστόλιθων).



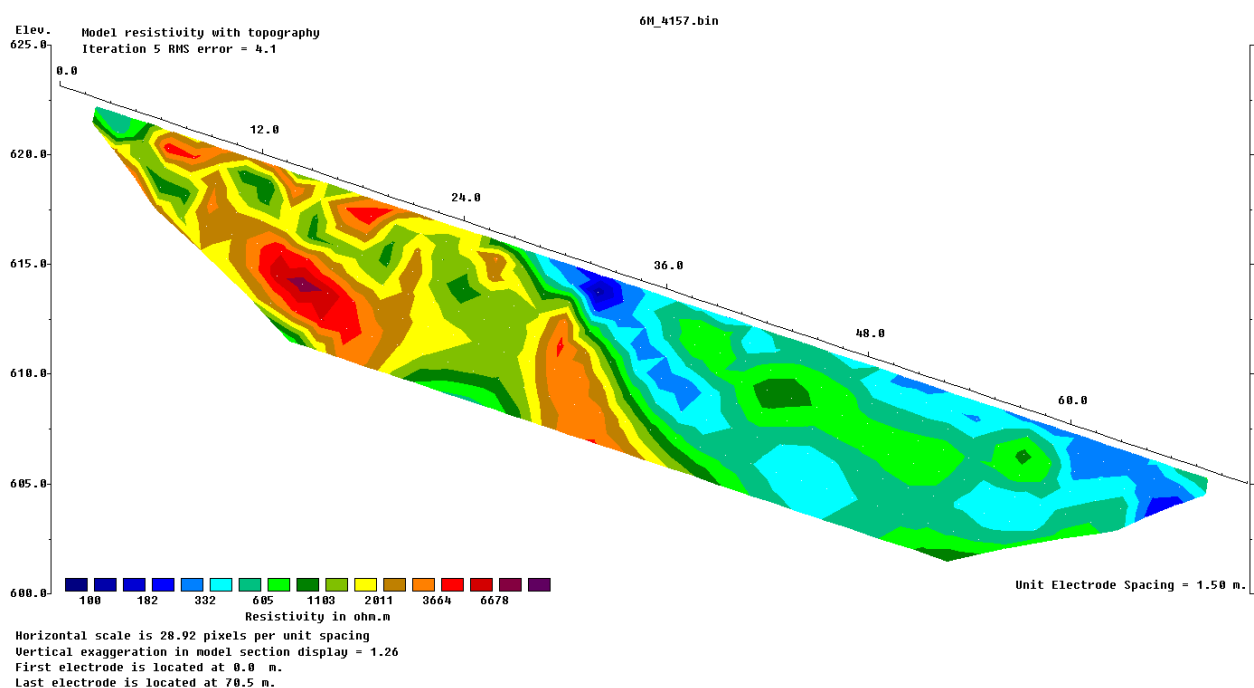
Σχήμα 8.4: Γεωηλεκτρική τομή 3^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.

Και στη παραπάνω τομή, της 3^{ης} γραμμής μελέτης παρατηρείται την ανομοιογένεια ως προς την κατανομή των ειδικών αντιστάσεων με ένα σφάλμα RMS της τάξεως του 4,4%. Από την αρχή έως τα 36m της γραμμής μελέτης, και από τα πιο επιφανειακά έως τα βαθύτερα στρώματα, παρατηρείται μια ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 2000 έως 6000Ωm (σχιστολιθικός σχηματισμός που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα), με εξαίρεση ένα μικρό στρώμα στο δυτικό μέρος της γραμμής, που παρουσιάζει μικρότερες αντιστάσεις, από 180 έως 330Ωm (εδαφικός σχηματισμός). Από τα 36m έως το τέλος της γραμμής, εμφανίζεται μία ζώνη χαμηλότερων ηλεκτρικών αντιστάσεων, από 180 έως 1800Ωm περίπου (εδαφικός σχηματισμός και σχιστόλιθοι).



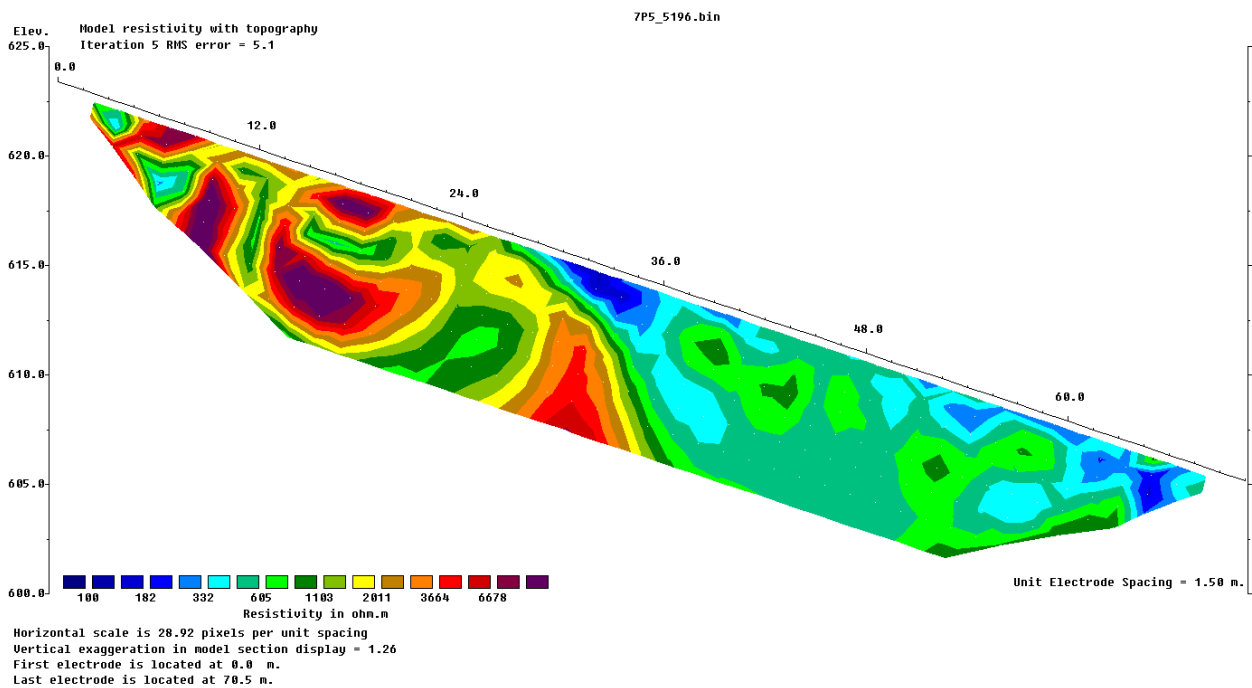
Σχήμα 8.5: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.

Στην παραπάνω τομή της 4^{ης} γραμμής μελέτης με σφάλμα RMS=4,0%, από την αρχή έως τα 36m της γραμμής μελέτης, και από τα πιο επιφανειακά έως τα βαθύτερα στρώματα, εμφανίζεται μια ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 2000 έως 6000Ωm, η οποία αποδίδεται σε σχιστολιθικό σχηματισμό που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα. Εξάιρεση αποτελούν κάποια στρώματα στο δυτικό μέρος της γραμμής, που παρουσιάζει μικρότερες αντιστάσεις, από 600 έως 1500Ωm, τα οποία αποδίδονται στην παρουσία σχιστόλιθου. Τέλος, από τα 36m έως το τέλος της γραμμής, παρατηρείται μία ζώνη χαμηλότερων ηλεκτρικών αντιστάσεων, από 180 έως 1500Ωm περίπου, η οποία αποδίδεται σε εδαφικό σχηματισμό με την παρουσία κατά τόπους σχιστόλιθου.



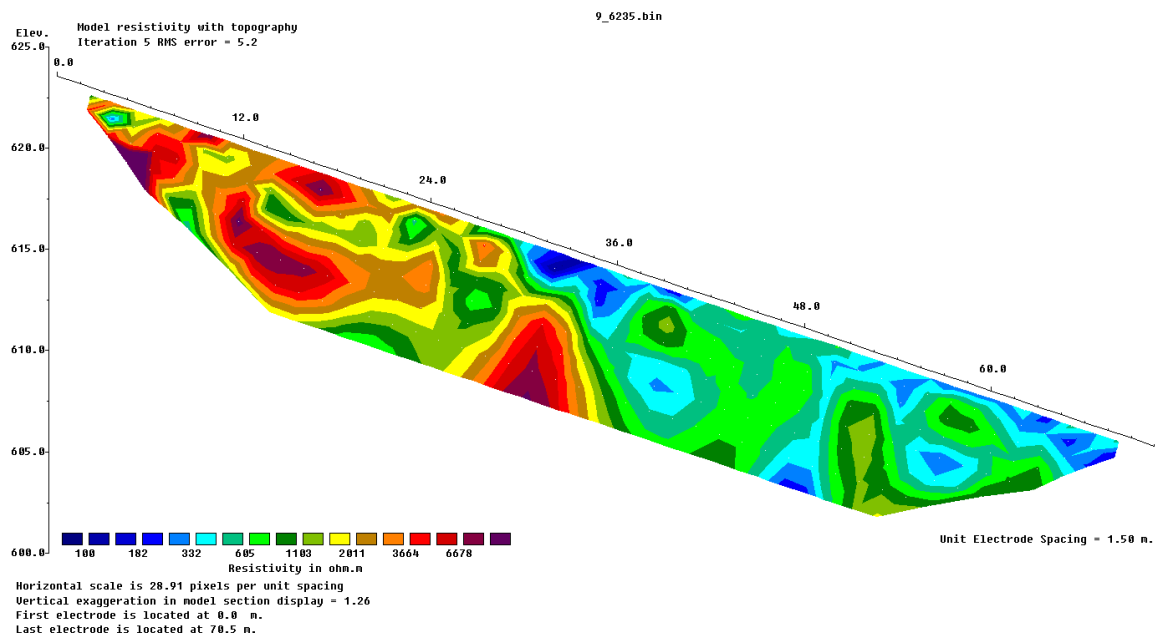
Σχήμα 8.6: Γεωηλεκτρική τομή 5^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.

Στην 5^η γραμμή μελέτης, με σφάλμα RMS=4,1%, από την αρχή έως τα 36m της γραμμής μελέτης, και από τα πιο επιφανειακά έως τα βαθύτερα στρώματα, παρατηρείται μια ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 1000 έως 6700Ωm (σχιστολιθικό σχηματισμό που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα). Από τα 36m έως το τέλος της γραμμής, παρατηρείται μία ζώνη χαμηλότερων ηλεκτρικών αντιστάσεων, από περίπου 150 έως 1500Ωm (εδαφικός σχηματισμός με την παρουσία κατά τόπους σχιστόλιθου).



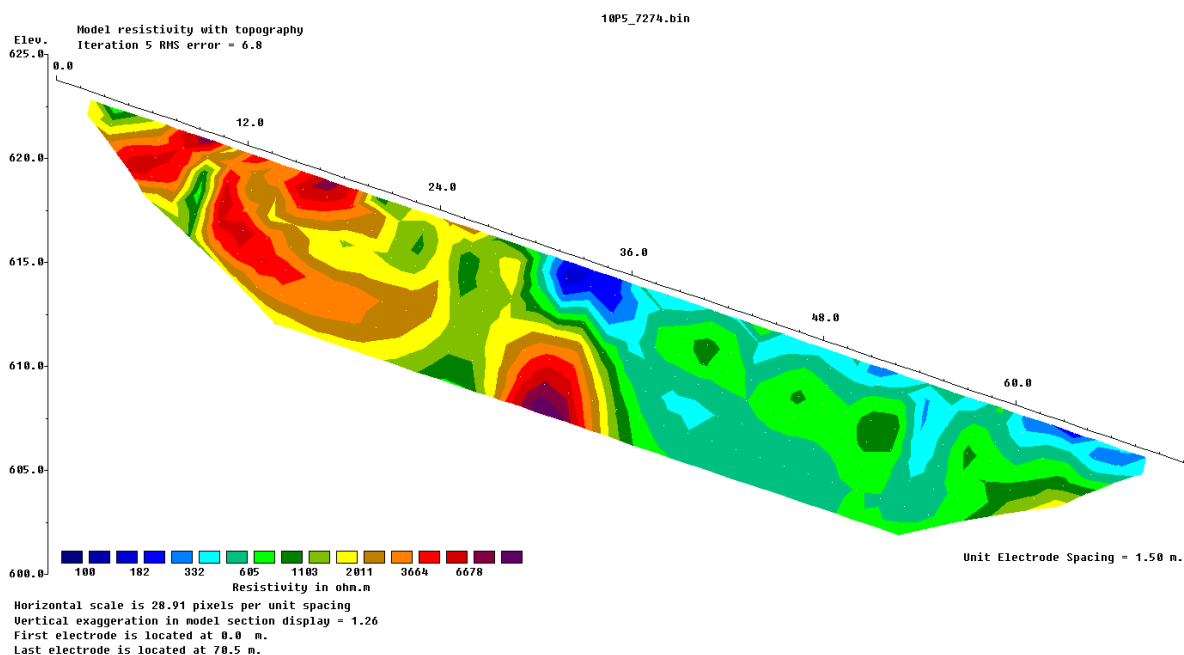
Σχήμα 8.7: Γεωηλεκτρική τομή 6^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.

Και σε αυτή τη τομή, της 6^{ης} γραμμής μελέτης, παρατηρείται ανομοιογένεια ως προς την κατανομή των ειδικών αντιστάσεων με σφάλμα RMS=5,1%. Από την αρχή έως τα 36m της γραμμής μελέτης, και από τα πιο επιφανειακά έως τα βαθύτερα στρώματα, παρατηρείται μια ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 1500 έως 6700Ωm, η οποία αποδίδεται σε σχιστολιθικό σχηματισμό που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα. Εξαίρεση αποτελεί ένα μικρό στρώμα στο δυτικό μέρος της γραμμής, που παρουσιάζει μικρότερες αντιστάσεις, από 300 έως 600Ωm. Από τα 36m έως το τέλος της γραμμής, παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, από 180 έως 1800Ωm περίπου (εδαφικός σχηματισμός και σχιστόλιθοι). Στη θέση της ανεμογεννήτριας (42 μέτρα από τη αρχή της 6ης γραμμής) το πάχος του εδαφικού σχηματισμού δεν ξεπερνά το 1 μέτρο.



Σχήμα 8.8: Γεωηλεκτρική τομή 7^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.

Στην παραπάνω τομή της 7^{ης} γραμμής μελέτης με σφάλμα $RMS=5,2\%$, από την αρχή έως τα 36m της γραμμής μελέτης, και από τα πιο επιφανειακά έως το μέγιστο βάθος, εμφανίζεται μια ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 2000 έως 6700Ωm (σχιστολιθικός σχηματισμός που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα), με εξαίρεση ένα στρώμα μεταξύ των 25,5 και 28,5m της γραμμής μελέτης, που παρουσιάζει μικρότερες αντιστάσεις, από 600 έως 1500Ωm (σχιστόλιθος). Από τα 36m έως το τέλος της γραμμής μελέτης, παρατηρείται μία ζώνη χαμηλότερων ηλεκτρικών αντιστάσεων, από 180 έως 1500Ωm περίπου (εδafικός σχηματισμός και σχιστόλιθοι).

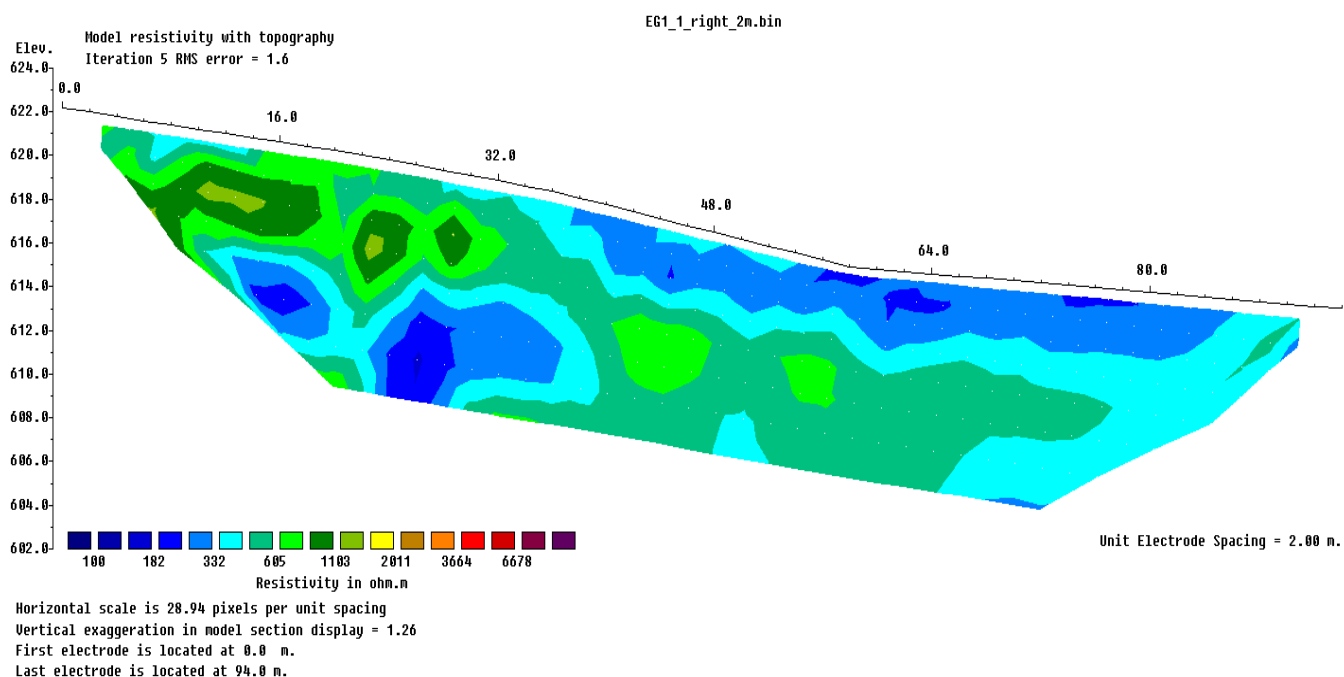


Σχήμα 8.9: Γεωηλεκτρική τομή 8^{ης} γραμμής μελέτης με υψόμετρο.

Τέλος, για την τελευταία γραμμή μελέτης, με σφάλμα RMS=6,8%, από την αρχή έως τα 36m της γραμμής μελέτης, και από τα πιο επιφανειακά έως το μέγιστο βάθος, παρατηρείται μια ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 2000 έως 6700Ωm (σχιστολιθικός σχηματισμός που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα), με εξαίρεση ένα στρώμα μεταξύ των 25,5 και 28,5m της γραμμής μελέτης, που παρουσιάζει μικρότερες αντιστάσεις, από 600 έως 1500Ωm (σχιστόλιθοι). Από τα 36m έως το τέλος της γραμμής μελέτης, παρατηρείται μία ζώνη χαμηλότερων ηλεκτρικών αντιστάσεων, από 180 έως 1500Ωm περίπου (εδαφικός σχηματισμός και σχιστόλιθοι).

Όπως προαναφέραμε, όλες οι παραπάνω τομές παρουσιάζουν μία ανομοιογένεια όσον αφορά τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Σε όλες παρατηρείται από την αρχή της γραμμής μελέτης έως περίπου τα 36m, και σε βάθος από τα πιο επιφανειακά στρώματα έως το μέγιστο βάθος διασκόπησης, μία ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων (1500 έως και 6700Ωm), οι οποίες αποδίδονται σε σχιστολιθικό σχηματισμό που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα, ενώ από τα 36m της γραμμής μελέτης ως το τέλος της, μία ζώνη χαμηλότερων ειδικών αντιστάσεων, οι οποίες έχουν ένα εύρος τιμών από 300 – 1500Ωm, οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σχιστόλιθους.

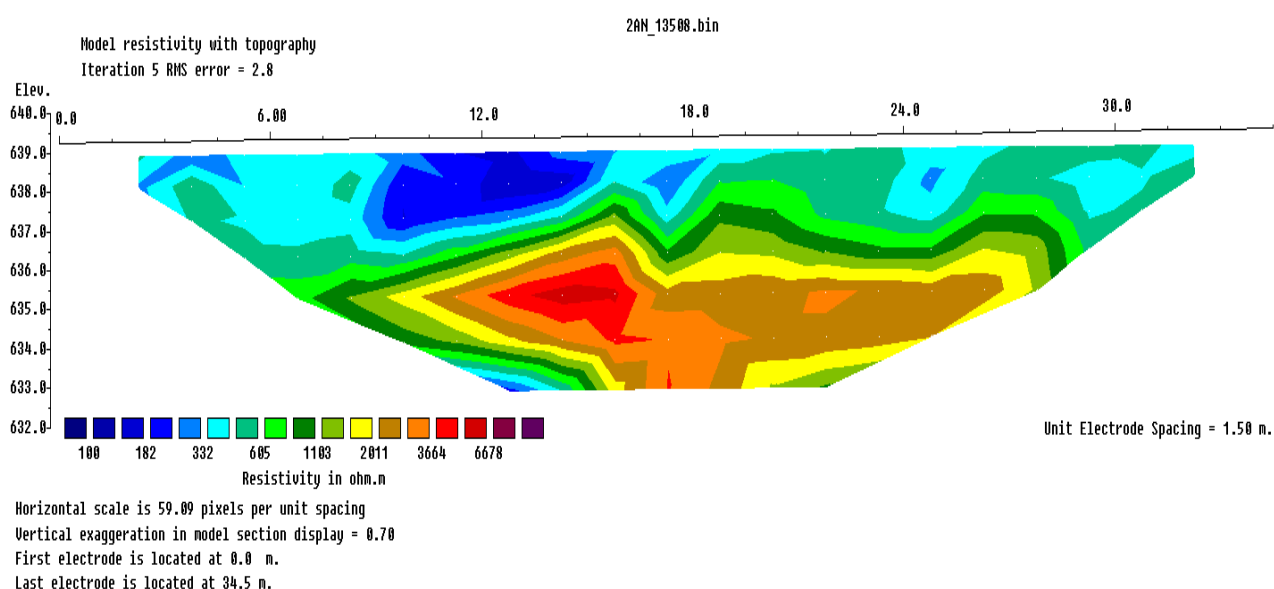
➤ Για το **σημείο εγκατάστασης του κέντρου ελέγχου – συσσωρευτών 1** στη θέση “Σταυρός” πραγματοποιήθηκε 1 γραμμή μελέτης, μήκους 94m η οποία διασκοπήθηκε με διεύθυνση Δ – Α. Η ισαπόσταση των ηλεκτροδίων ήταν 2m και το μέγιστο βάθος διασκόπησης 11m.



Σχήμα 8.10: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για τη θέση ΕΓΚΑΤ 1 με υψόμετρο.

Από τη γεωηλεκτρική τομή στη θέση Εγκατάστασης 1 με σφάλμα $RMS=1,58\%$, παρατηρείται τη διαμόρφωση δύο ζωνών ειδικής αντίστασης. Μία ζώνη υψηλότερων αντιστάσεων μέχρι περίπου τα 7m βάθος (σχιστόλιθοι), από την αρχή της γραμμής μελέτης έως τα 32m, με ειδικές αντιστάσεις από περίπου 500 έως $1200\Omega m$ και μία ρηχότερη ζώνη χαμηλότερων αντιστάσεων, από 150 έως $400\Omega m$, από τα 32m ως το τέλος της γραμμής, η οποία αποδίδεται σε εδαφικό σχηματισμό πάχους μικρότερου των 4 μέτρων. Σε αυτό το διάστημα της γραμμής, εμφανίζεται ένα στρώμα λίγο μεγαλύτερων αντιστάσεων με τιμές περίπου στα $600\Omega m$.

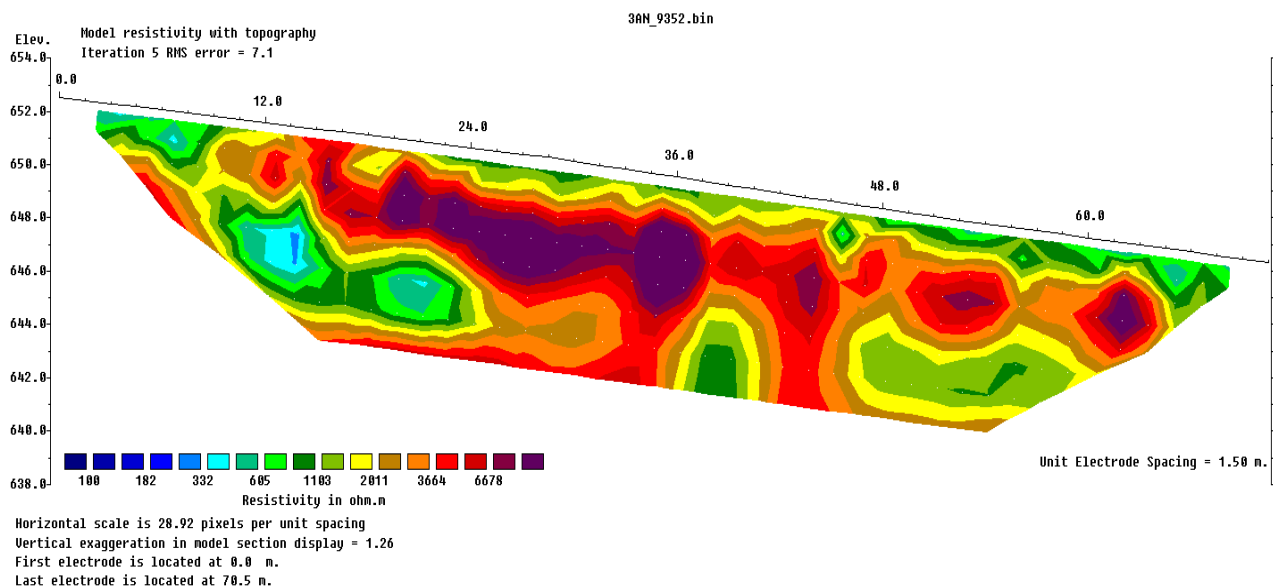
➤ Για την Α/Γ 2 στη θέση “Σταυρός” πραγματοποιήθηκε μία γραμμή μελέτης, μήκους 34,5m και μέγιστου βάθους διασκόπησης 7m (24 ηλεκτρόδια). Η γραμμή διασκοπήθηκε με διεύθυνση Δ – Α.



Σχήμα 8.11: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για την Α/Γ 2 με υψόμετρο.

Στη θέση αυτή εμφανίζονται δύο κύριες ζώνες αντιστάσεων, μια ζώνη κοντά στην επιφάνεια με υψηλές αντιστάσεις από 120 έως $600\Omega m$ που αναπτύσσεται μέχρι περίπου τα 3m (εδαφικός σχηματισμός), και κάτω από αυτό μέχρι το μέγιστο βάθος διασκόπησης, μία ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων από 600 έως και $6500\Omega m$ (σχιστόλιθοι με χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα). Στο δυτικό τμήμα της τομής, από τα 6m και κάτω, φαίνεται να μειώνονται οι τιμές της ειδικής αντίστασης, παραμένοντας βέβαια σε υψηλές τιμές, 100 – $330\Omega m$. Το σφάλμα RMS είναι ίσο με $2,4\%$.

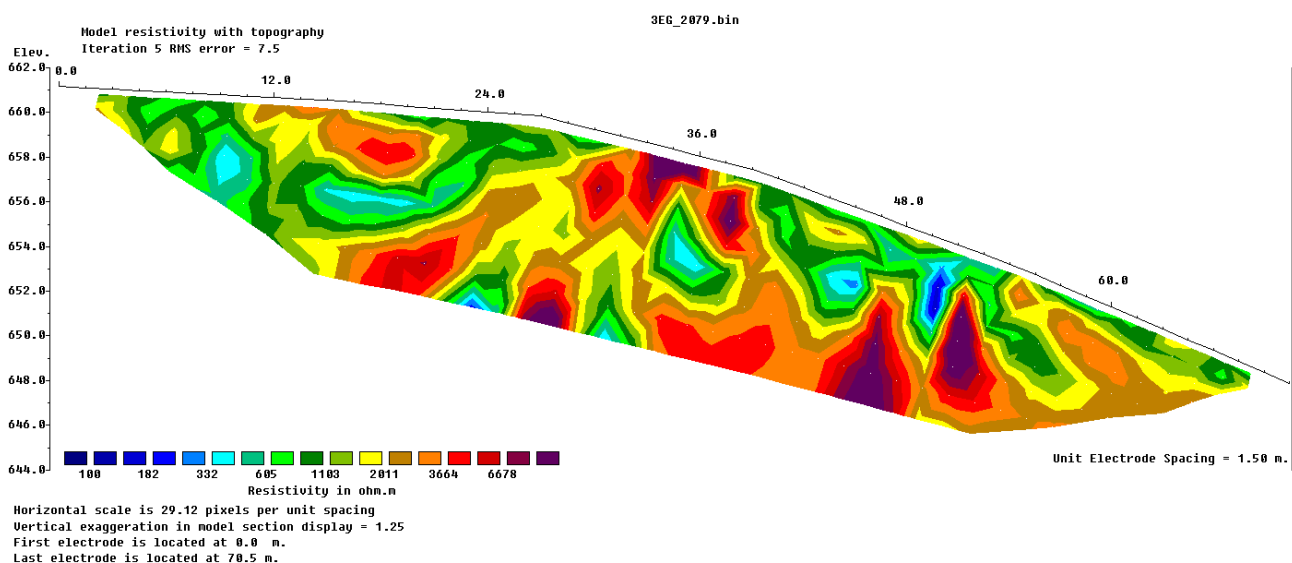
➤ Για την Α/Γ 3 στη θέση “Κισός” πραγματοποιήθηκε μία γραμμή μελέτης, μήκους 70,5m με διεύθυνση Δ – Α. Το μέγιστο βάθος διασκόπησης είναι μέχρι τα 8m.



Σχήμα 8.12: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για την Α/Γ 3 με υψόμετρο.

Στη γεωηλεκτρική τομή της θέσης Α/Γ 3, με σφάλμα 7,1%, παρατηρείται η εξάπλωση πολύ υψηλών αντιστάσεων σε όλη σχεδόν την γραμμή μελέτης. Ιδιαίτερα, από τα πιο επιφανειακά στρώματα μέχρι το μέγιστο βάθος διασκόπησης, παρατηρούνται αντιστάσεις, μεγαλύτερες από 3000Ωm (σχιστόλιθοι με χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα). Στο σημείο από τα 10,5m έως τα 15m της γραμμής μελέτης, διακρίνουμε ένα στρώμα με χαμηλές αντιστάσεις, με τιμές από 180 έως 350Ωm.

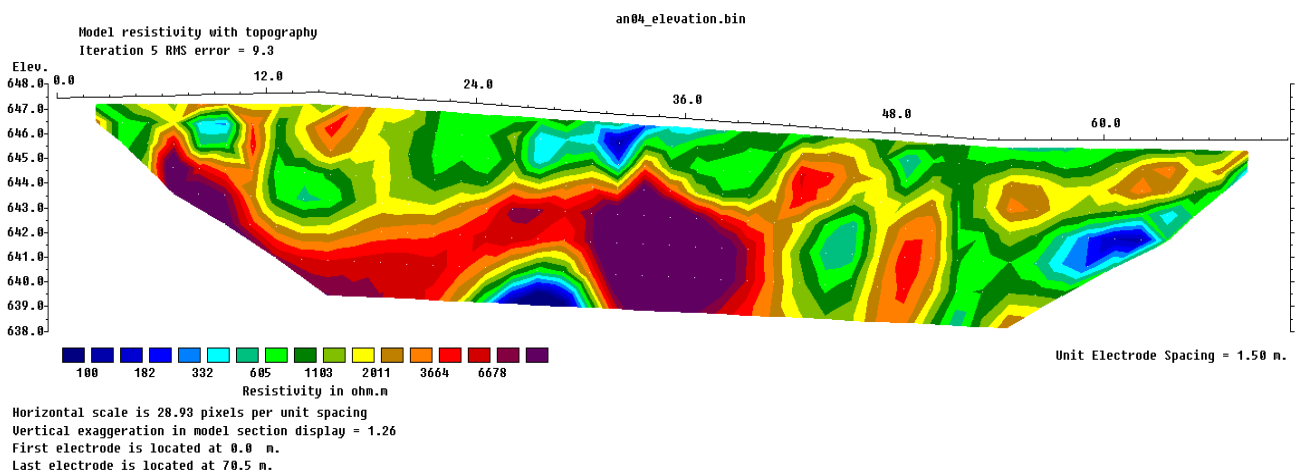
➤ Για το σημείο εγκατάστασης του κέντρου ελέγχου – συσσωρευτών 2 στη θέση “Κισός”, πραγματοποιήθηκε μία γραμμή μελέτης, μήκους 70,5m με διεύθυνση διασκόπησης ΝΑ – ΒΔ.



Σχήμα 8.13: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για το Σημείο ΕΓΚΑΤ 2 με υψόμετρο.

Σύμφωνα με τη παραπάνω γεωηλεκτρική τομή της θέσης Εγκατάστασης 2, η οποία παρουσιάζει σφάλμα $RMS=7,5\%$, παρατηρείται ότι αναπτύσσονται πολύ υψηλές αντιστάσεις σχεδόν σε όλη τη γραμμή μελέτης, με ένα εύρος τιμών από 2000 έως 6700 Ωm (σχιστόλιθοι με χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα). Σε κάποια ενδιάμεσα σημεία, παρατηρούνται κάποια στρώματα χαμηλών αντιστάσεων, με τιμές μικρότερες από 2000 Ωm .

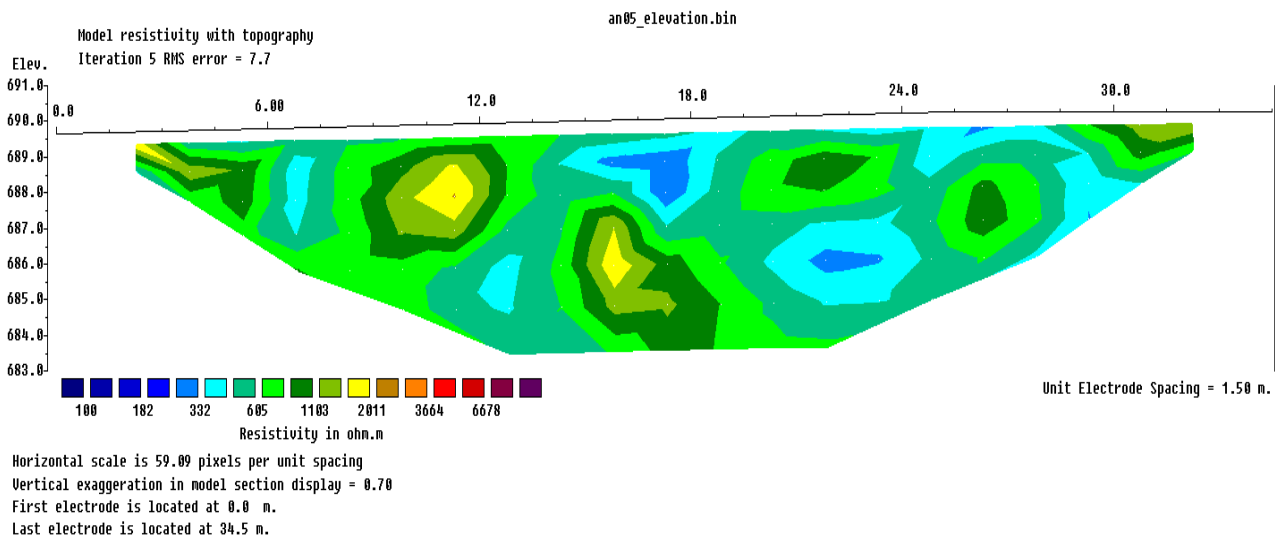
➤ Για την Α/Γ 4 στη θέση “Κισός” πραγματοποιήθηκε μία γραμμή μελέτης μήκους 70,5m, με διεύθυνση Δ-Α.



Σχήμα 8.14: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για την Α/Γ 4 με υψόμετρο.

Στη γεωηλεκτρική τομή της θέσης Α/Γ 4, με σφάλμα 9,3%, παρατηρούνται δύο ζώνες ειδικών αντιστάσεων. Μια επιφανειακή ζώνη, με σχετικά χαμηλές αντιστάσεις (εδafικός σχηματισμός) και μια ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων (περίπου 2000-6700 Ωm), η οποία αναπτύσσεται κάτω από την επιφανειακή ζώνη χαμηλών αντιστάσεων, από τα 6 έως 54m της γραμμής μελέτης και αποδίδεται σε σχιστόλιθους με χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα.

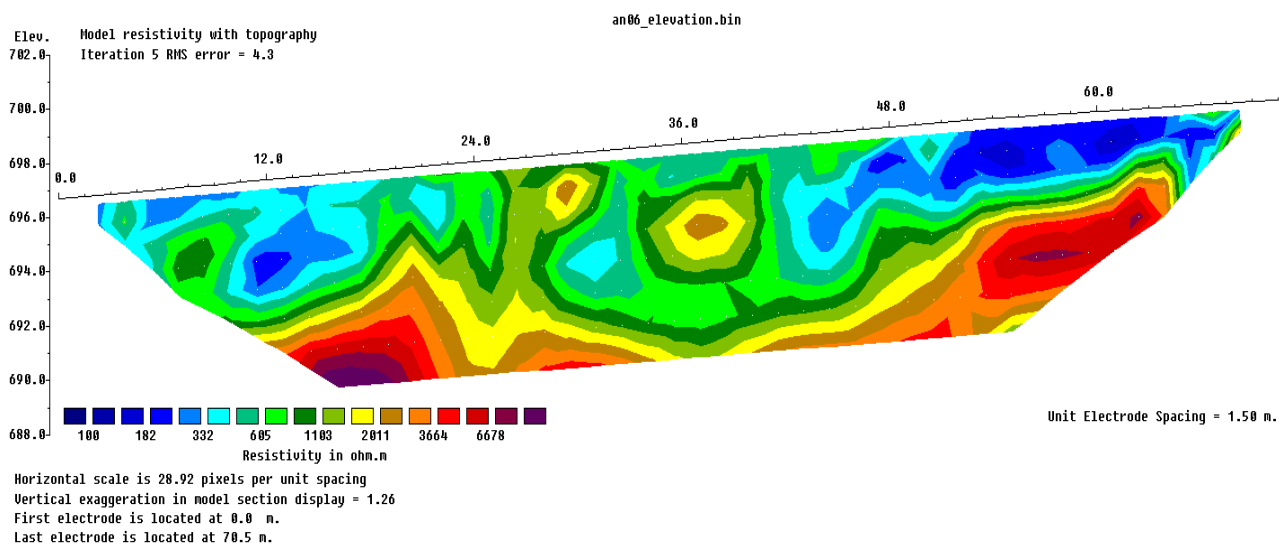
➤ Για την Α/Γ 5 στη θέση “Κισός”, πραγματοποιήθηκε μία γραμμή μελέτης μήκους 34,5m, με 24 ηλεκτρόδια σε ισαπόσταση 1,5m. Η διεύθυνση διασκόπησης ήταν Δ-Α.



Σχήμα 8.15: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για την Α/Γ 5.

Στην θέση αυτή παρατηρείται σε όλη τη γραμμή μελέτης, μία ζώνη σχετικά χαμηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 300 έως 1200Ωm (εδαφικός σχηματισμός-φερτά υλικά και κατά τόπους σχιστόλιθοι). Ένα σημείο στα 10-12m και στα 16-18m της σεισμικής γραμμής και σε βάθος από 1,5-3m και 3-4,5m αντίστοιχα, φαίνεται να εμφανίζει υψηλότερες αντιστάσεις, περίπου 2000Ωm. Το σφάλμα για τη τομή αυτή στη θέση Α/Γ 5, είναι RMS=7,7%.

➤ Για την Α/Γ 6 στη θέση “Κισός”, πραγματοποιήθηκε μία γραμμή μελέτης μήκους 70,5m, με μέγιστο βάθος διασκόπησης 8m (48 ηλεκτρόδια). Η διεύθυνση διασκόπησης ήταν Δ-Α.



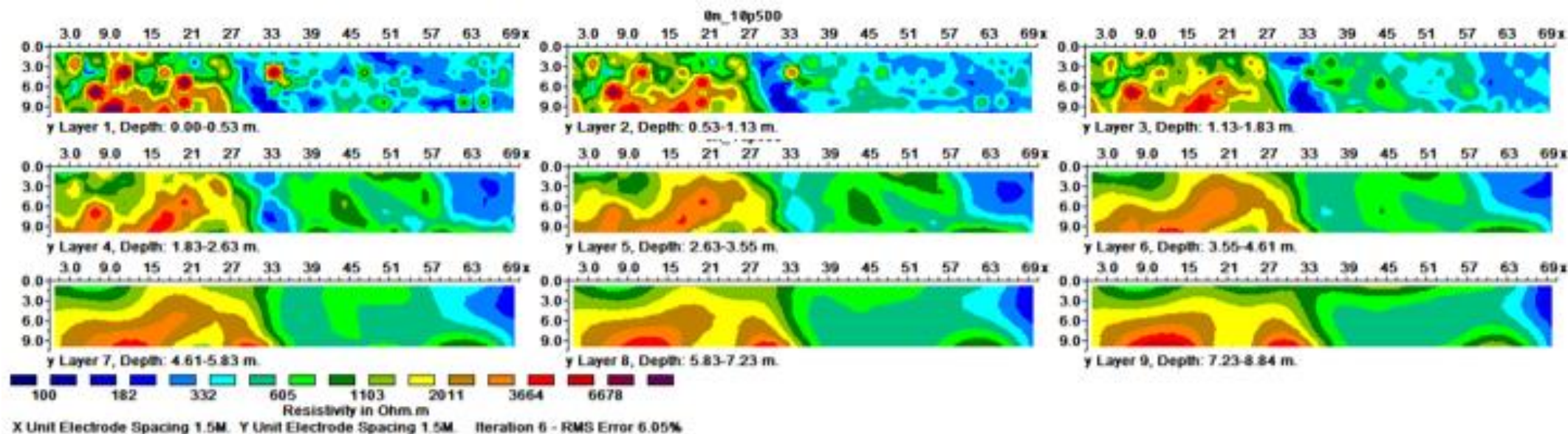
Σχήμα 8.16: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής μελέτης για την Α/Γ 6 με υψόμετρο.

Στη παραπάνω γεωηλεκτρική τομή, θέση εγκατάστασης Α/Γ 6, παρατηρούνται δύο ζώνες ειδικών αντιστάσεων. Μία ζώνη σχετικά χαμηλών αντιστάσεων από την επιφάνεια έως τα 3m βάθος (εδαφικός σχηματισμός και κατά τόπους σχιστόλιθοι) και

κάτω από αυτή, μία ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 2000 έως 6700Ωm (χαλαζίτες).

Επεξεργασία σε 3 διαστάσεις (Res3dinV)

Το Res3Din είναι ένα πρόγραμμα επεξεργασίας και μοντελοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου σε τρισδιάστατη μορφή. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί την τεχνική των ελαχίστων τετραγώνων και αναγκάζεται να παράγει ένα 3D μοντέλο του υπεδάφους μόνο από τα εμφανή στοιχεία αντίστασης. Με τη χρήση του Res3din έγινε η επεξεργασία για την θέση Α/Γ 1 στη θέση “Σταυρός” (8 γραμμές μελέτης) με αποτέλεσμα την δημιουργία οριζόντιων τομών (x-y). Η μέθοδος αντιστροφής που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Least Squares. Έτσι, προέκυψαν οι παρακάτω οριζόντιες τομές x-y.



Σχήμα 8.17: Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές σε βάθος $z=0$ έως $z=8,84$ m και σφάλμα $RMS=6,05\%$.

Στις παραπάνω οριζόντιες τομές το μέγιστο βάθος διασκόπησης είναι περίπου στα 9m και το σφάλμα $RMS=6,05\%$. Παρατηρείται λοιπόν, ότι διαμορφώνονται τρεις κύριες ζώνες ηλεκτρικών αντιστάσεων. Μία ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων από την αρχή έως τα 27m της γραμμής μελέτης για βάθος από z από 0 έως 2,63m, με ένα εύρος τιμών από 1500 έως 6000 Ωm . Σε αυτή τη ζώνη, εμφανίζονται κάποια στρώματα και λίγο μεγαλύτερων αντιστάσεων, για τα βάθη $z=0-1,83m$ που ξεπερνούν τα 6000 Ωm (παρουσία σχιστολιθικού σχηματισμού που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα). Η ίδια ζώνη για βάθη $z=2,63-8,84m$ (αντιστάσεις 1500-4000 Ωm) εκτείνεται έως τα 33m της γραμμής μελέτης.

Η δεύτερη ζώνη αντιστάσεων εκτείνεται στο υπόλοιπο τμήμα της γραμμής μελέτης με χαμηλότερες τιμές των ειδικών αντιστάσεων. Πιο συγκεκριμένα από τα 27m έως το τέλος της γραμμής, για τις τομές με z από 0 έως 2,63m εμφανίζονται αντιστάσεις από 180 έως 1100 Ωm (εδαιφικός σχηματισμός και σχιστόλιθοι). Από τα 33 έως το τέλος της γραμμής και για z από 2,63 έως 8,84m, εμφανίζονται λίγο υψηλότερες αντιστάσεις, από το προηγούμενο κομμάτι της γραμμής μελέτης, παραμένοντας πάλι σε σχετικά υψηλές τιμές (600 – 1200 Ωm), οι οποίες αποδίδονται στην παρουσία σχιστόλιθων.

8.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗΣ

Για καθεμία από τις 8 θέσεις υπολογίσαμε τη φαινόμενη ειδική αντίσταση ρ_a , για κάθε απόσταση a και για κάθε διεύθυνση από τη σχέση $2\pi a \frac{\Delta V}{I}$. Έτσι έχουμε:

- Για την θέση της Α/Γ 1, με κέντρο διάταξης $x=462290,64$, $y=3916675,52$ και $z=611,45\text{m}$:

Θέση	Α/Γ 1	Προσ/μός	POSITION 1				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρ_a
2	3	1	1	3	37,030	12,57	465,33
4	6	2	2	6	21,780	25,13	547,39
8	12	4	4	12	11,200	50,27	562,97
12	18	6	6	18	9,737	75,40	734,15
16	24	8	8	24	10,020	100,53	1007,32

Θέση	Α/Γ 1	Προσ/μός	POSITION 2				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρ_a
2	3	1	1	3	36,580	12,57	459,68
4	6	2	2	6	21,110	25,13	530,55
8	12	4	4	12	12,030	50,27	604,69
12	18	6	6	18	9,395	75,40	708,37
16	24	8	8	24	6,865	100,53	690,15

Θέση	Α/Γ 1	Προσ/μός	POSITION 3				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρ_a
2	3	1	1	3	40,230	12,57	505,55
4	6	2	2	6	20,680	25,13	519,75
8	12	4	4	12	12,430	50,27	624,80
12	18	6	6	18	9,472	75,40	714,17
16	24	8	8	24	7,124	100,53	716,18

- Για την θέση της Α/Γ 2, με κέντρο διάταξης $x=462452,08$, $y=3916438,26$ και $z=639,25\text{m}$:

Θέση	Α/Γ 2	Προσ/μός	POSITION 1				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρ_a
2	3	1	1	3	34,970	12,57	439,45
4	6	2	2	6	33,360	25,13	838,43
8	12	4	4	12	15,010	50,27	754,48
12	18	6	6	18	8,993	75,40	678,06
16	24	8	8	24	7,891	100,53	793,29

Θέση	A/Γ 2	Προσ/μός	POSITION 2				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	36,580	12,57	459,68
4	6	2	2	6	21,110	25,13	530,55
8	12	4	4	12	12,030	50,27	604,69
12	18	6	6	18	9,395	75,40	708,37
16	24	8	8	24	6,865	100,53	690,15

Θέση	A/Γ 2	Προσ/μός	POSITION 3				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	46,920	12,57	589,61
4	6	2	2	6	33,040	25,13	830,39
8	12	4	4	12	11,370	50,27	571,52
12	18	6	6	18	7,479	75,40	563,90
16	24	8	8	24	13,310	100,53	1338,07

➤ Για την θέση της A/Γ 3, με κέντρο διάταξης $x=462674,82$, $y=3916223,99$ και $z=650,16m$:

Θέση	A/Γ 3	Προσ/μός	POSITION 1				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	117,300	12,57	1474,04
4	6	2	2	6	87,000	25,13	2186,55
8	12	4	4	12	58,400	50,27	2935,50
12	18	6	6	18	26,820	75,40	2022,18
16	24	8	8	24	18,290	100,53	1838,71

Θέση	A/Γ 3	Προσ/μός	POSITION 2				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	107,200	12,57	1347,11
4	6	2	2	6	93,640	25,13	2353,43
8	12	4	4	12	52,620	50,27	2644,97
12	18	6	6	18	26,810	75,40	2021,43
16	24	8	8	24	18,240	100,53	1833,68

Θέση	A/Γ 3	Προσ/μός	POSITION 3				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	120,900	12,57	1519,27
4	6	2	2	6	126,300	25,13	3174,27
8	12	4	4	12	37,830	50,27	1901,54
12	18	6	6	18	26,180	75,40	1973,93
16	24	8	8	24	18,580	100,53	1867,87

- Για την θέση της **A/Γ 4**, με κέντρο διάταξης $x=462964,76$, $y=3916211,33$ και $z=648,36m$:

Θέση	A/Γ 4	Προσ/μός	POSITION 1				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	191,000	12,57	2400,18
4	6	2	2	6	119,100	25,13	2993,31
8	12	4	4	12	55,000	50,27	2764,60
12	18	6	6	18	-	75,40	-
16	24	8	8	24	14,140	100,53	1421,51

Θέση	A/Γ 4	Προσ/μός	POSITION 2				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	196,500	12,57	2469,29
4	6	2	2	6	214,300	25,13	5385,95
8	12	4	4	12	40,220	50,27	2021,68
12	18	6	6	18	19,330	75,40	1457,45
16	24	8	8	24	17,820	100,53	1791,46

Θέση	A/Γ 4	Προσ/μός	POSITION 3				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	198,300	12,57	2491,91
4	6	2	2	6	128,200	25,13	3222,02
8	12	4	4	12	57,240	50,27	2877,20
12	18	6	6	18	27,650	75,40	2084,76
16	24	8	8	24	16,520	100,53	1660,77

- Για την θέση της **A/Γ 5** με κέντρο διάταξης $x=463271.99$, $y=3916128.87$ και $z=690,42m$:

Θέση	A/Γ 5	Προσ/μός	POSITION 1				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	20,550	12,57	258,24
4	6	2	2	6	6,032	25,13	151,60
8	12	4	4	12	12,810	50,27	643,90
12	18	6	6	18	12,120	75,40	913,83
16	24	8	8	24	10,510	100,53	1056,58

Θέση	A/Γ 5	Προσ/μός	POSITION 2				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	34,230	12,57	430,15
4	6	2	2	6	21,660	25,13	544,38
8	12	4	4	12	13,160	50,27	661,49
12	18	6	6	18	12,430	75,40	937,20
16	24	8	8	24	29,300	100,53	2945,56
Θέση	A/Γ 5	Προσ/μός	POSITION 3				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	33,160	12,57	416,70
4	6	2	2	6	25,510	25,13	641,14
8	12	4	4	12	13,830	50,27	695,17
12	18	6	6	18	11,480	75,40	865,57
16	24	8	8	24	8,170	100,53	821,34

- Για την θέση της A/Γ 6 με κέντρο διάταξης $x=463626,84$, $y=3916109,05$ και $z=699,26m$:

Θέση	A/Γ 6	Προσ/μός	POSITION 1				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	152,200	12,57	1912,60
4	6	2	2	6	53,550	25,13	1345,86
8	12	4	4	12	23,790	50,27	1195,82
12	18	6	6	18	18,310	75,40	1380,54
16	24	8	8	24	15,760	100,53	1584,37
Θέση	A/Γ 6	Προσ/μός	POSITION 2				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	201,100	12,57	2527,10
4	6	2	2	6	45,790	25,13	1150,83
8	12	4	4	12	23,380	50,27	1175,21
12	18	6	6	18	18,400	75,40	1387,33
16	24	8	8	24	16,340	100,53	1642,68
Θέση	A/Γ 6	Προσ/μός	POSITION 3				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	157,000	12,57	1972,92
4	6	2	2	6	34,580	25,13	869,09
8	12	4	4	12	21,300	50,27	1070,65
12	18	6	6	18	8,164	75,40	615,55
16	24	8	8	24	13,180	100,53	1325,00

- Για την **Θέση εγκατάστασης κέντρου ελέγχου – συσσωρευτών 1** με κέντρο διάταξης $x=462402,35$, $y=3916577,15$ και $z=614,29$ m:

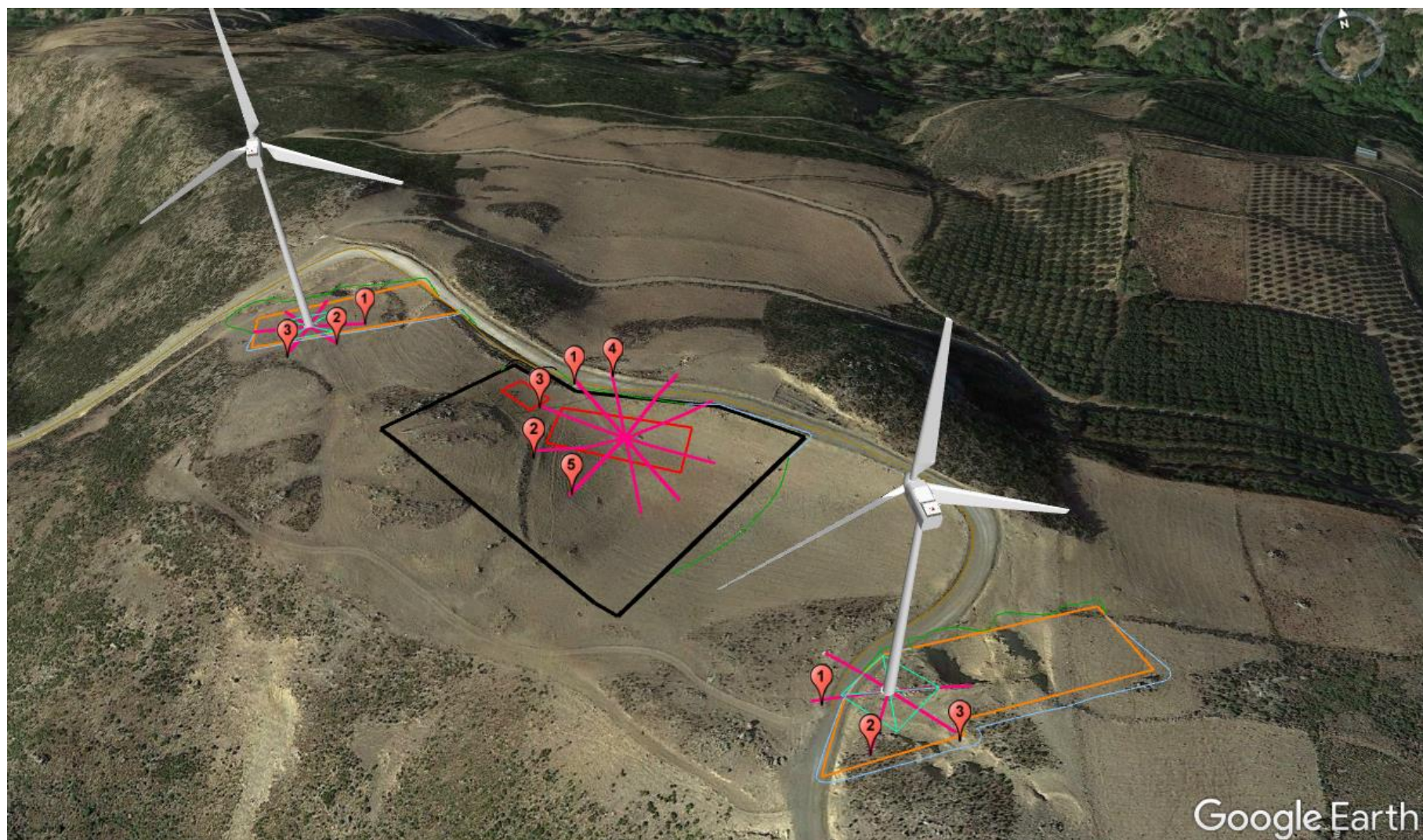
Θέση	ΕΓΚΑΤ 1	Προσ/μός	POSITION 1				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	20,510	12,57	257,74
4	6	2	2	6	12,600	25,13	316,67
8	12	4	4	12	8,257	50,27	415,04
12	18	6	6	18	5,252	75,40	395,99
16	24	8	8	24	4,091	100,53	411,27
20	30	10	10	30	3,124	125,66	392,57
24	36	12	12	36	2,925	150,80	441,08
Θέση	ΕΓΚΑΤ 1	Προσ/μός	POSITION 2				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	22,660	12,57	284,75
4	6	2	2	6	12,680	25,13	318,68
8	12	4	4	12	7,549	50,27	379,45
12	18	6	6	18	5,065	75,40	381,89
16	24	8	8	24	3,952	100,53	397,30
20	30	10	10	30	3,499	125,66	439,70
24	36	12	12	36	3,396	150,80	512,10
Θέση	ΕΓΚΑΤ 1	Προσ/μός	POSITION 3				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	22,480	12,57	282,49
4	6	2	2	6	12,640	25,13	317,68
8	12	4	4	12	7,554	50,27	379,71
12	18	6	6	18	5,205	75,40	392,45
16	24	8	8	24	3,949	100,53	397,00
20	30	10	10	30	3,289	125,66	413,31
24	36	12	12	36	2,836	150,80	427,66
Θέση	ΕΓΚΑΤ 1	Προσ/μός	POSITION 4				
a	A	M	N	B	$\Delta V/I$	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	21,650	12,57	272,06
4	6	2	2	6	13,030	25,13	327,48
8	12	4	4	12	7,621	50,27	383,07
12	18	6	6	18	4,842	75,40	365,08
16	24	8	8	24	3,808	100,53	382,82
20	30	10	10	30	3,574	125,66	449,12
24	36	12	12	36	3,265	150,80	492,35

Θέση	ΕΓΚΑΤ 1	Προσ/μός	POSITION 5				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	21,450	12,57	269,55
4	6	2	2	6	12,900	25,13	324,21
8	12	4	4	12	7,466	50,27	375,28
12	18	6	6	18	5,229	75,40	394,26
16	24	8	8	24	4,590	100,53	461,44
20	30	10	10	30	4,116	125,66	517,23
24	36	12	12	36	3,445	150,80	519,49

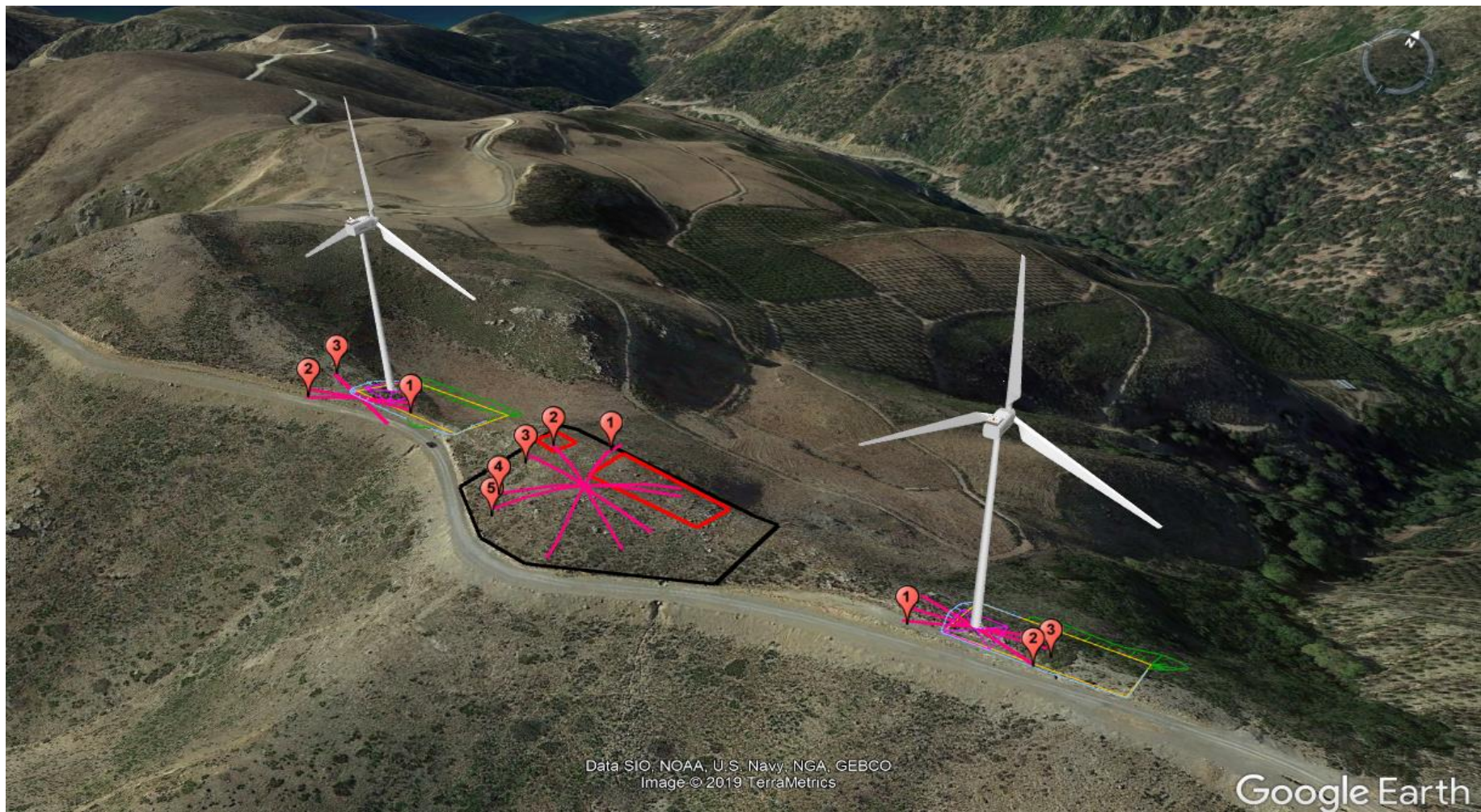
- Για την **θέση εγκατάστασης κέντρου ελέγχου – συσσωρευτών 2** με κέντρο διάταξης x=462812,61, y=3916204,15 και z=659,14m:

Θέση	ΕΓΚΑΤ 2	Προσ/μός	POSITION 1				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	47,760	12,57	600,17
4	6	2	2	6	39,290	25,13	987,47
8	12	4	4	12	22,910	50,27	1151,58
12	18	6	6	18	22,360	75,40	1685,90
16	24	8	8	24	19,800	100,53	1990,51
20	30	10	10	30	16,110	125,66	2024,44
24	36	12	12	36	12,690	150,80	1913,61
Θέση	ΕΓΚΑΤ 2	Προσ/μός	POSITION 2				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	67,580	12,57	849,24
4	6	2	2	6	36,030	25,13	905,53
8	12	4	4	12	19,260	50,27	968,11
12	18	6	6	18	22,680	75,40	1710,03
16	24	8	8	24	20,360	100,53	2046,81
20	30	10	10	30	15,130	125,66	1901,29
24	36	12	12	36	11,170	150,80	1684,40
Θέση	ΕΓΚΑΤ 2	Προσ/μός	POSITION 3				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	60,030	12,57	754,36
4	6	2	2	6	44,590	25,13	1120,67
8	12	4	4	12	22,170	50,27	1114,39
12	18	6	6	18	19,660	75,40	1482,33
16	24	8	8	24	17,640	100,53	1773,37
20	30	10	10	30	11,850	125,66	1489,11
24	36	12	12	36	8,015	150,80	1208,63

Θέση	ΕΓΚΑΤ 2	Προσ/μός	POSITION 4				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	64,480	12,57	810,28
4	6	2	2	6	44,630	25,13	1121,67
8	12	4	4	12	29,500	50,27	1482,83
12	18	6	6	18	20,420	75,40	1539,63
16	24	8	8	24	17,350	100,53	1744,21
20	30	10	10	30	11,670	125,66	1466,50
24	36	12	12	36	10,490	150,80	1581,85
Θέση	ΕΓΚΑΤ 2	Προσ/μός	POSITION 5				
a	A	M	N	B	ΔV/I	k (2πα)	ρα
2	3	1	1	3	63,230	12,57	794,57
4	6	2	2	6	42,840	25,13	1076,69
8	12	4	4	12	33,260	50,27	1671,83
12	18	6	6	18	23,630	75,40	1781,66
16	24	8	8	24	17,360	100,53	1745,22
20	30	10	10	30	13,390	125,66	1682,64
24	36	12	12	36	10,530	150,80	1587,89



Εικόνα 8.1: Διευθύνσεις γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων για τις θέσεις Α/Γ1, Α/Γ2 και ΕΓΚΑΤ 1.



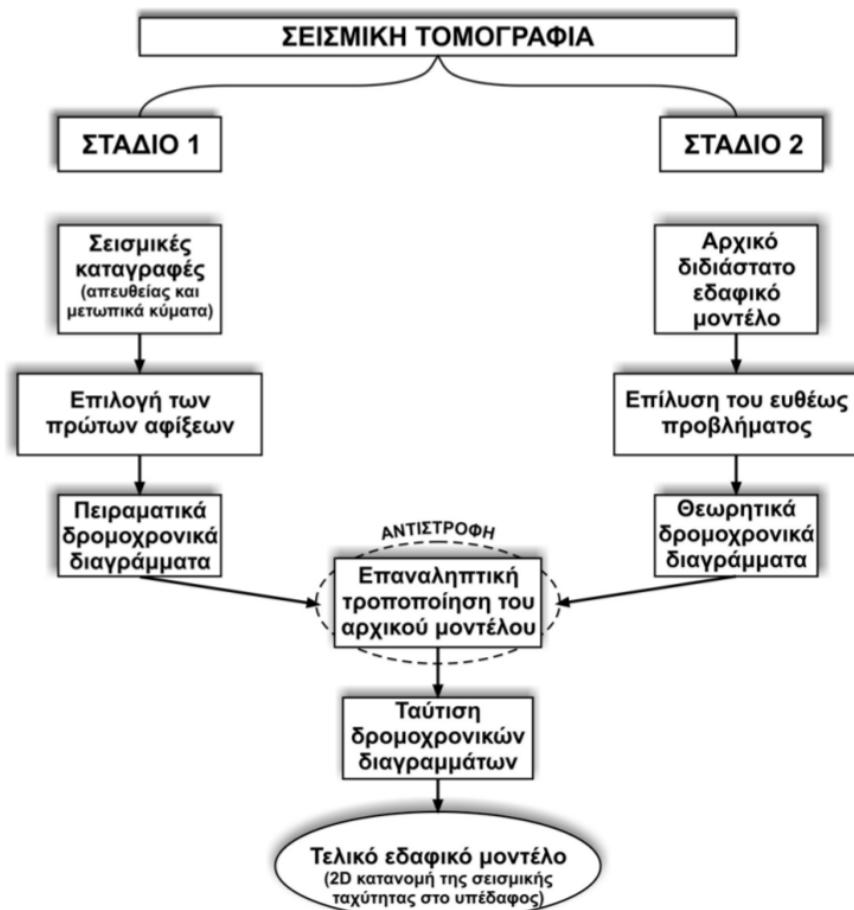
Εικόνα 8.2: Διευθύνσεις γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων για τις θέσεις Α/Γ3, Α/Γ4 και ΕΓΚΑΤ 2.



Εικόνα 8.3: Διευθύνσεις γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων για τις θέσεις Α/Γ5 και Α/Γ6.

8.1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

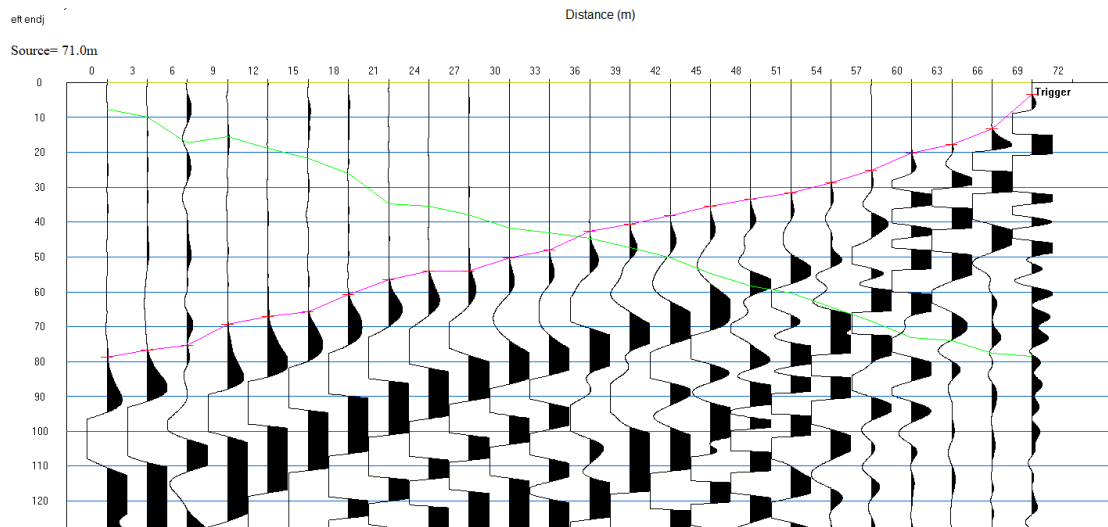
Η διαδικασία επεξεργασίας των σεισμικών καταγραφών είχε ως εξής:



Σχήμα 8.18: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ροής επεξεργασίας των σεισμικών καταγραφών με τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας.

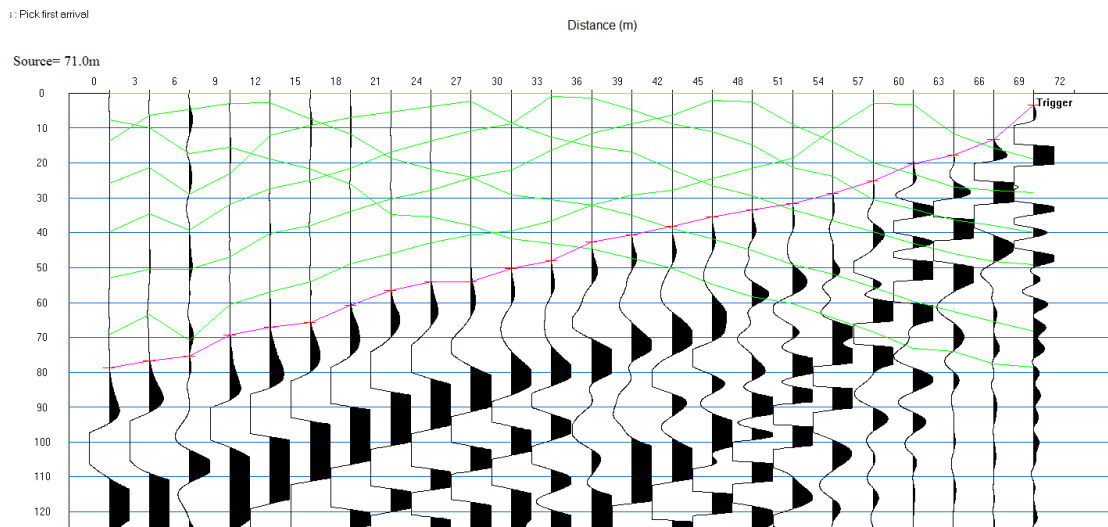
Πρώτο στάδιο για την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων διάθλασης, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί η επιλογή των πρώτων αφίξεων των σεισμικών κυμάτων, η οποία πραγματοποιείται με το πρόγραμμα PickWin. Αυτό πραγματοποιήθηκε για καθεμιά από τις 5 γραμμές μελέτης και για όλες τις διαφορετικές θέσεις της πηγής, απομακρύνοντας όπου ήταν απαραίτητο για την καλύτερη επιλογή τον θόρυβο. (Βλέπε Παράρτημα Ι – Γεωφυσική έρευνα)

➤ Για την θέση Α/Γ 1:



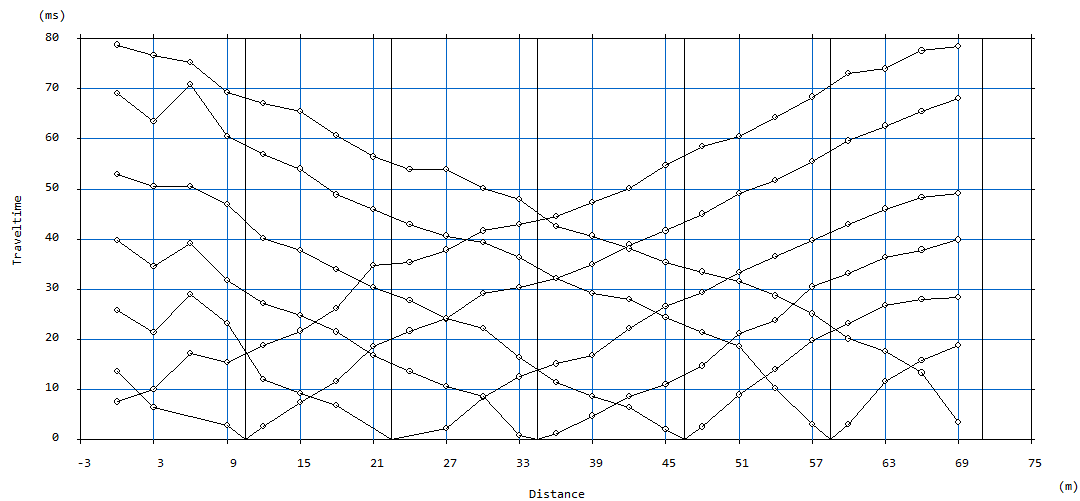
Σχήμα 8.19 : Απεικόνιση των πρώτων αφίξεων για τις καταγραφές 101 και 107 της θέσης Α/Γ 01, όπου οι πηγές βρίσκονται πριν το 1° (-3m – πράσινη γραμμή) και μετά το 7° γεώφωνο (71m – κόκκινη γραμμή).

Η επιλογή των πρώτων αφίξεων έγινε για όλες τις καταγραφές κάθε σεισμικής γραμμής. Έτσι, για όλες τις καταγραφές της Α/Γ 1 προέκυψε:



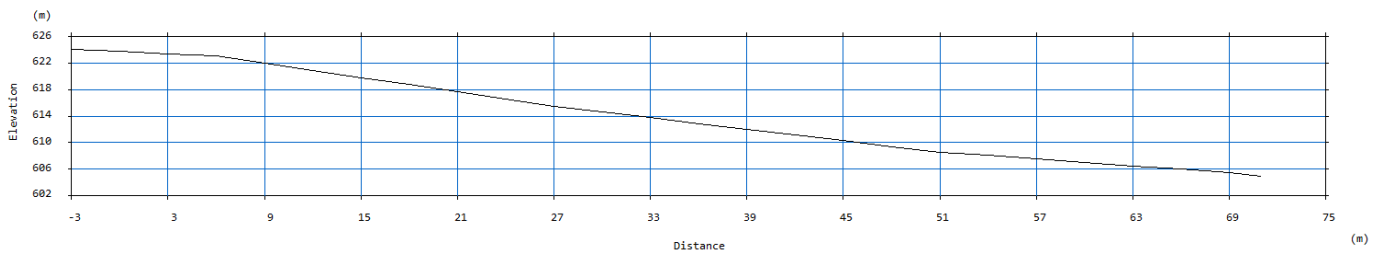
Σχήμα 8.20 : Απεικόνιση των πρώτων αφίξεων για όλες τις καταγραφές (101, 102, 103, 104, 105, 106 και 107) της σεισμικής γραμμής Α/Γ 1.

Στην συνέχεια, με τη βοήθεια του προγράμματος Plotrefa απεικονίστηκαν τα δρομοχρονικά διαγράμματα. Ο αριθμός των εδαφικών στρωμάτων προσδιορίζεται από τον αριθμό των ευθύγραμμων τμημάτων με διαφορετική κλίση, που προσδιορίζεται από τα σημεία των πρώτων αφίξεων. Η απεικόνιση του δρομοχρονικού διαγράμματος για τη σεισμική γραμμή Α/Γ 01 φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



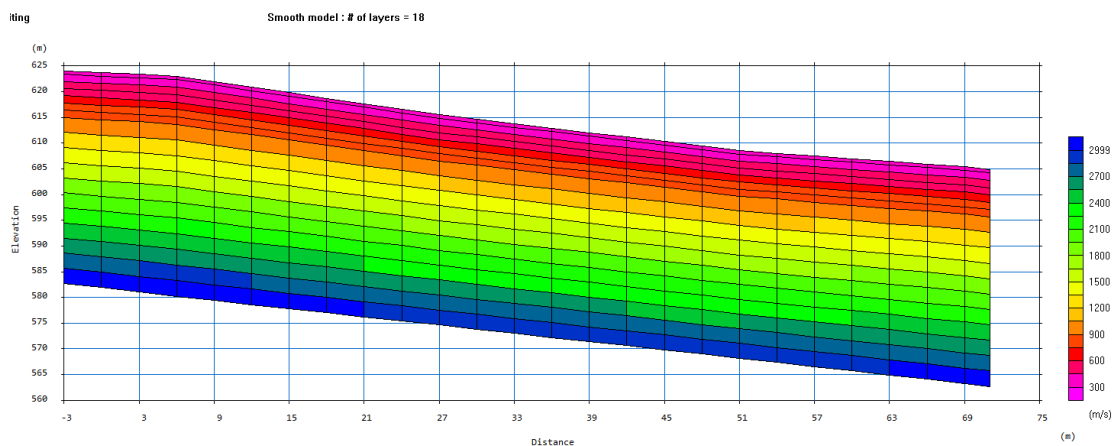
Σχήμα 8.21: Απεικόνιση του δρομοχρονικού διαγράμματος για τη σεισμική γραμμή Α/Γ 01.

Έπειτα, για την εισαγωγή του υψομέτρου, δημιουργήθηκαν δύο αρχεία, ένα *.vs αρχείο στο οποίο προσδιορίζονταν οι πηγές που βρίσκονται έξω από το ανάπτυγμα των γεωφώνων, στο οποίο προσθέτονταν στις θέσεις των πηγών αυτών 1 δέκτης, με μηδενικό χρόνο πρώτης άφιξης, και ένα αρχείο *.txt στο οποίο ορίζονταν το υψόμετρο για κάθε θέση γεωφώνου. Με την εισαγωγή του αρχείου *.txt στο καινούργιο *.vs αρχείο προέκυψε:



Σχήμα 8.22 : Απεικόνιση υψομέτρου για τη σεισμική γραμμή Α/Γ 1 από 624,12 έως 604,94m (Διεύθυνση Δ-Α).

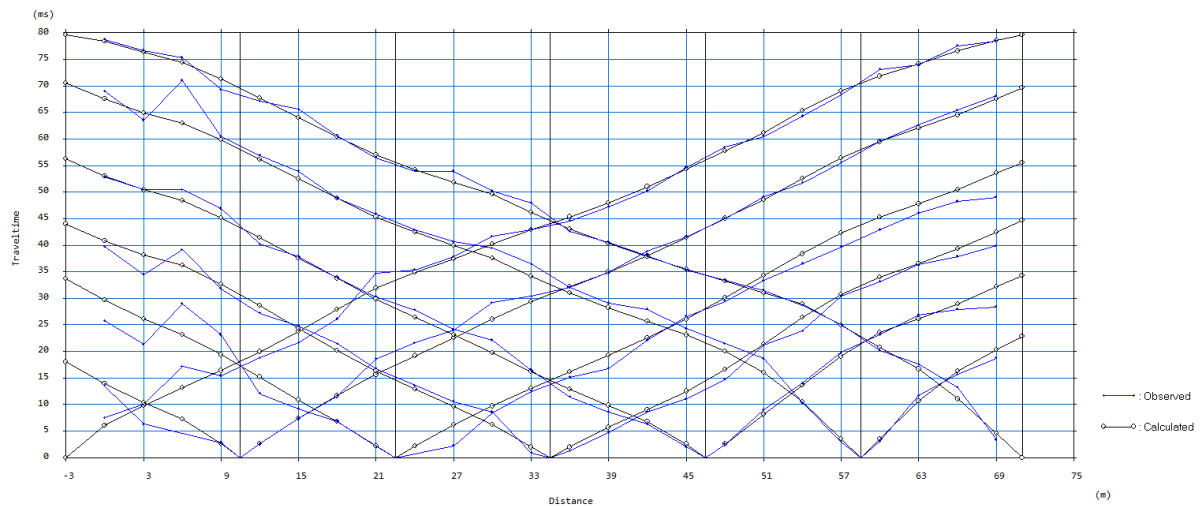
Έτσι, προκύπτει ένα αρχικό μοντέλο, στο οποίο έχουν οριστεί οι παράμετροι για την καλύτερη απεικόνιση του (αριθμός στρωμάτων = 20).



Σχήμα 8.23: Αρχικό εδαφικό μοντέλο Α/Γ 01.

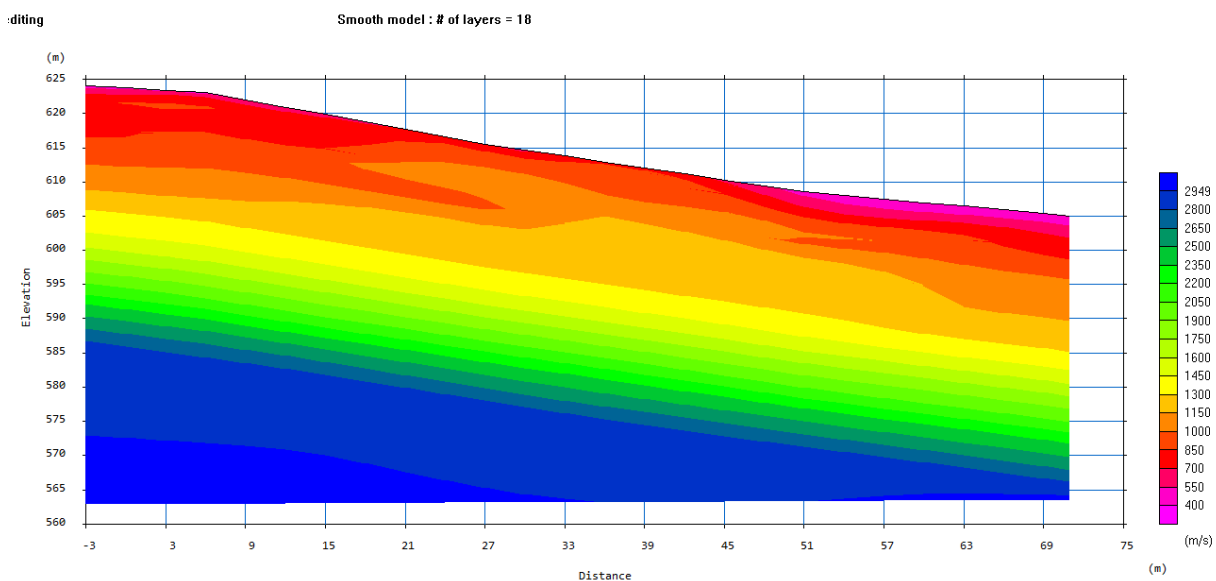
Κάθε κελί θεωρείται ως ένα ομοιογενές τμήμα του υπεδάφους με σταθερή ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων.

Για την επεξεργασία του αρχικού μοντέλου, ορίζονται 10 επαναλήψεις αντιστροφής και αριθμό κόμβων ίσο με 8.. Κάθε πλευρά ενός κελιού του αρχικού μοντέλου διαιρείται με την χρήση κόμβων προκειμένου να διέρχονται από αυτούς οι υπολογισμένες σεισμικές ακτίνες, κατά την επίλυση του ευθέως προβλήματος. Όσο περισσότεροι κόμβοι χρησιμοποιηθούν, τόσο πιο λεπτομερής θα είναι τα αποτελέσματα της απεικόνισης του εδάφους.

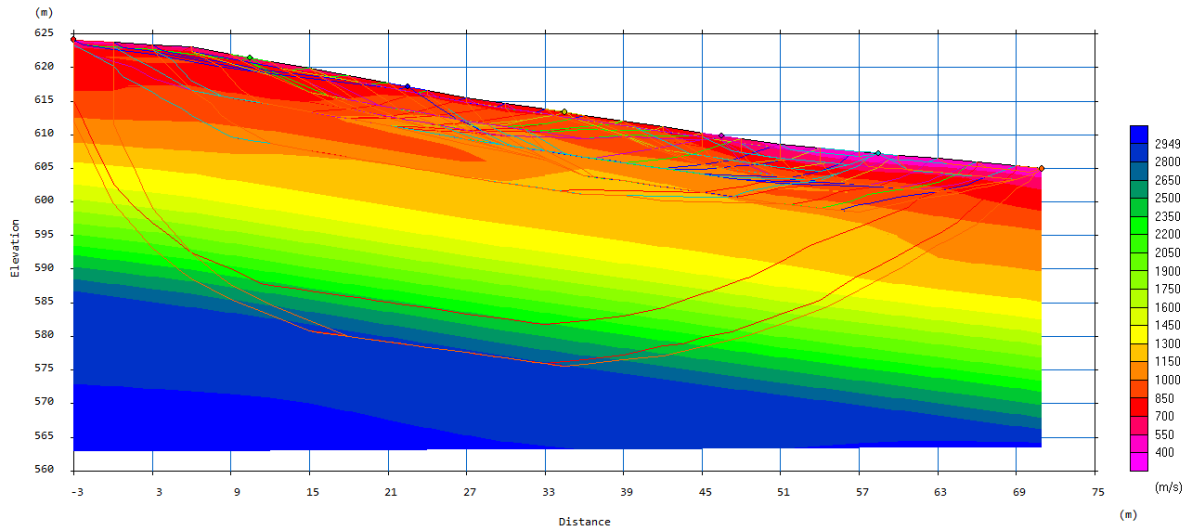


Σχήμα 8.24: Δρομοχρονικό διάγραμμα πειραματικών και υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων της Α/Γ 01.

Μετά το τέλος της αντιστροφής εμφανίζεται στην οθόνη το τελικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ πειραματικών και υπολογισμένων χρόνων διαδρομής των πρώτων αφίξεων, το οποίο ισούται με $RMSE=1,82ms$ καθώς επίσης και το τελικό εδαφικό μοντέλο.



Σχήμα 8.25: Απεικόνιση του μοντέλου βάθους της Α/Γ 1 με εξομάλυνση.



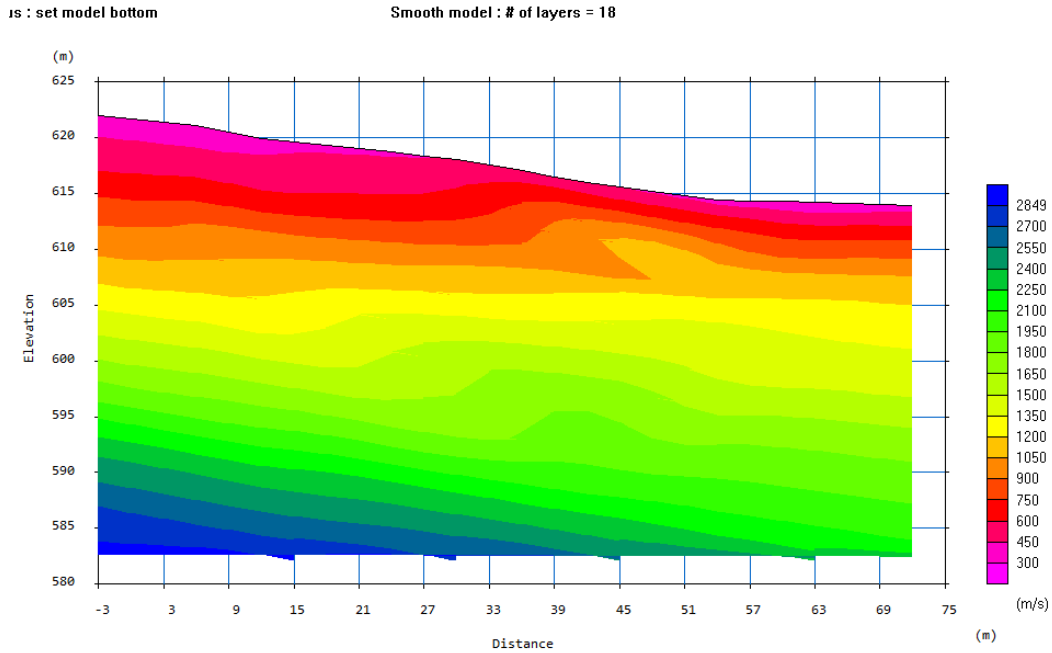
Σχήμα 8.26: Απεικόνιση των σεισμικών ακτινών στο εξομαλυσμένο μοντέλο βάθους A/Γ 1.

Σύμφωνα με το μοντέλο βάθους της A/Γ1, το οποίο προκύπτει από την διάθλαση των P-κυμάτων, στον κατακόρυφο άξονα προσδιορίζεται το βάθος από την επιφάνεια σε m και στον οριζόντιο άξονα η απόσταση πάνω στην γραμμή μελέτης. Η γραμμή πραγματοποιήθηκε σε διεύθυνση Δ-Α. Η σεισμική γραμμή A/Γ 1 συμπίπτει με την 6η γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας.

Η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε αυτή τη θέση και μέχρι το βάθος των 8 μέτρων χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές (400 m/s) έως χαμηλές τιμές (800 m/s) οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο αντίστοιχα.

Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε για όλες τις επιλεγμένες θέσεις. Έτσι, προέκυψαν τα παρακάτω μοντέλα:

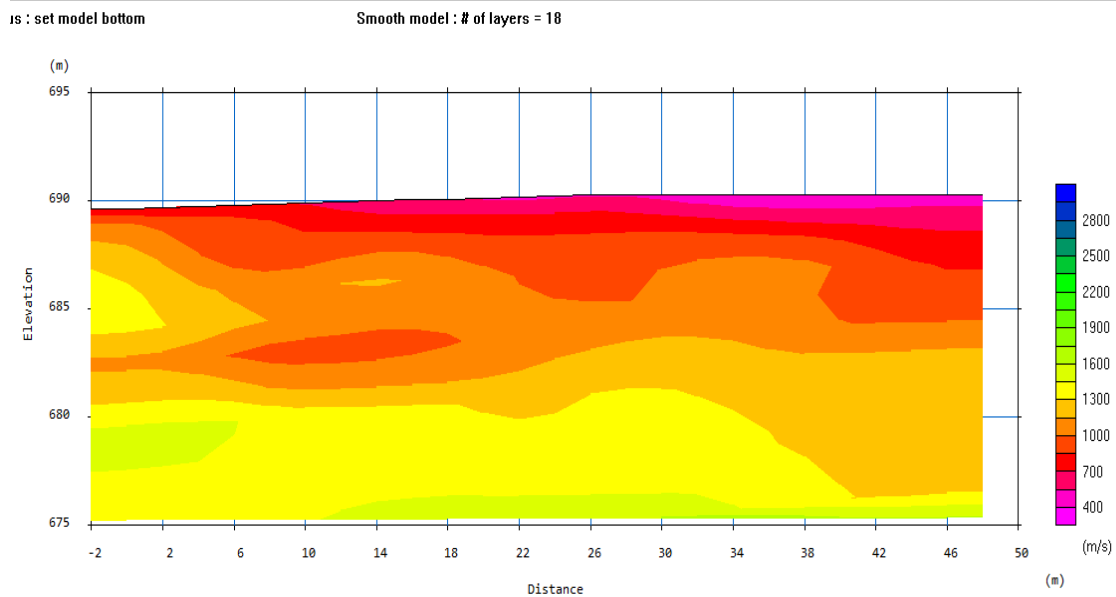
➤ Για την θέση ΕΓΚΑΤ 1:



Σχήμα 8.27: Απεικόνιση του μοντέλου βάθους της ΕΓΚΑΤ 1 με εξομάλυνση.

Σύμφωνα με το μοντέλο βάθους της θέσης εγκατάστασης του κέντρου ελέγχου – συσσωρευτών της ΕΓΚΑΤ 1, η σεισμική γραμμή ΕΓΚΑΤ 1 συμπίπτει με την γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας. Η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε αυτή τη θέση και μέχρι το βάθος των 8 μέτρων χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές (400 m/s) έως χαμηλές τιμές (800 m/s) οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο αντίστοιχα.

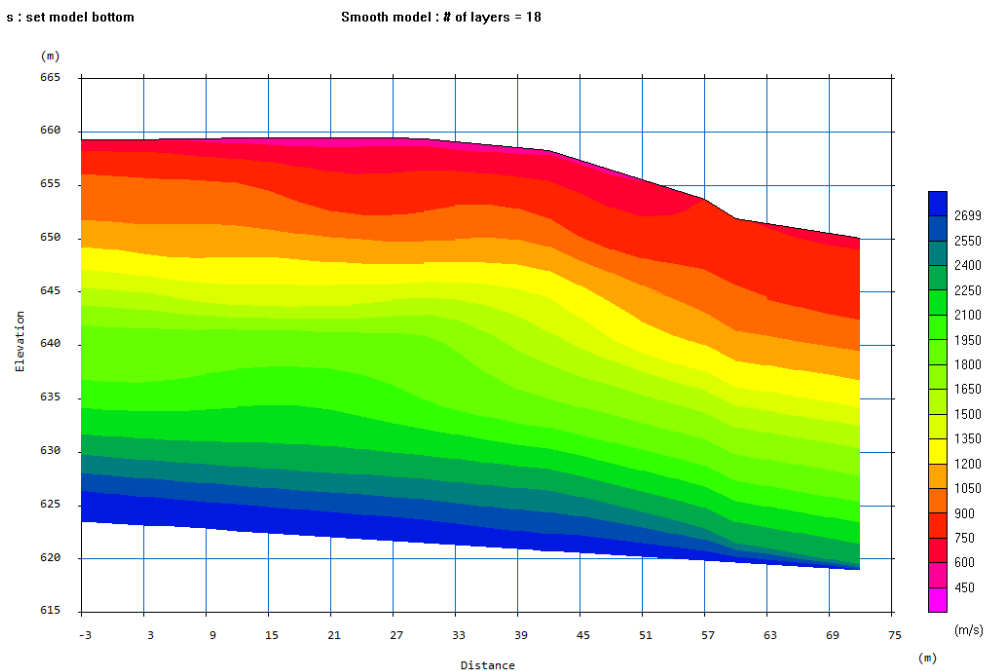
➤ Για την θέση Α/Γ 5:



Σχήμα 8.28: Απεικόνιση του μοντέλου βάθους της Α/Γ 5 με εξομάλυνση.

Και σε αυτή τη θέση, η σεισμική γραμμή συμπίπτει με την γραμμή της ηλεκτρικής τομογραφίας. Σύμφωνα με το μοντέλο βάθους της Α/Γ 5, η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε αυτή τη θέση και μέχρι το βάθος των 8 μέτρων χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές (400 m/s) έως χαμηλές τιμές (800 m/s) οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο αντίστοιχα.

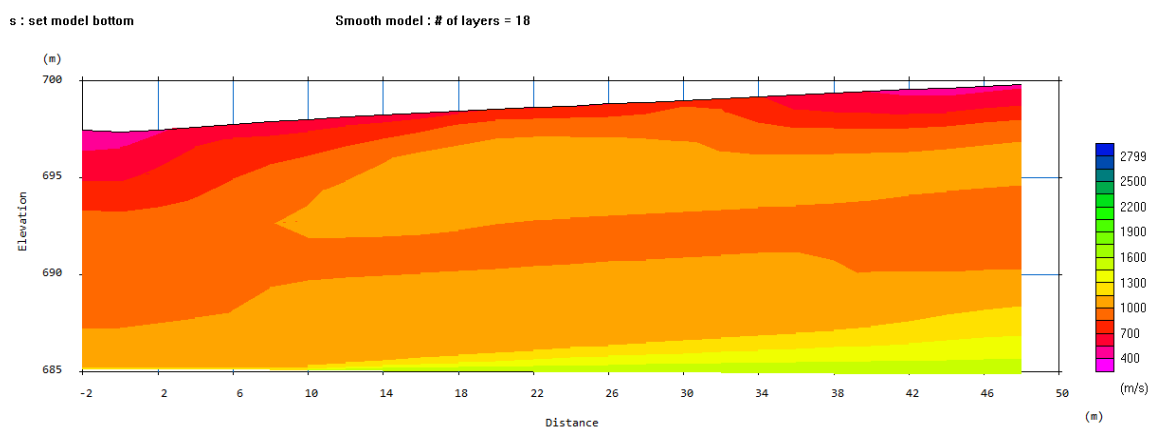
➤ Για την θέση ΕΓΚΑΤ 2:



Σχήμα 8.29: Απεικόνιση του μοντέλου βάθους της ΕΓΚΑΤ 2 με εξομάλυνση.

Η σεισμική γραμμή ΕΓΚΑΤ 2 συμπίπτει με την γραμμή ΕΓΚΑΤ 2 της ηλεκτρικής τομογραφίας. Σύμφωνα με το μοντέλο βάθους της ΕΓΚΑΤ 2, η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε αυτή τη θέση και μέχρι το βάθος των 8 μέτρων χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές (400 m/s) έως χαμηλές τιμές (1050 m/s) οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο αντίστοιχα.

➤ Για την θέση Α/Γ 6:



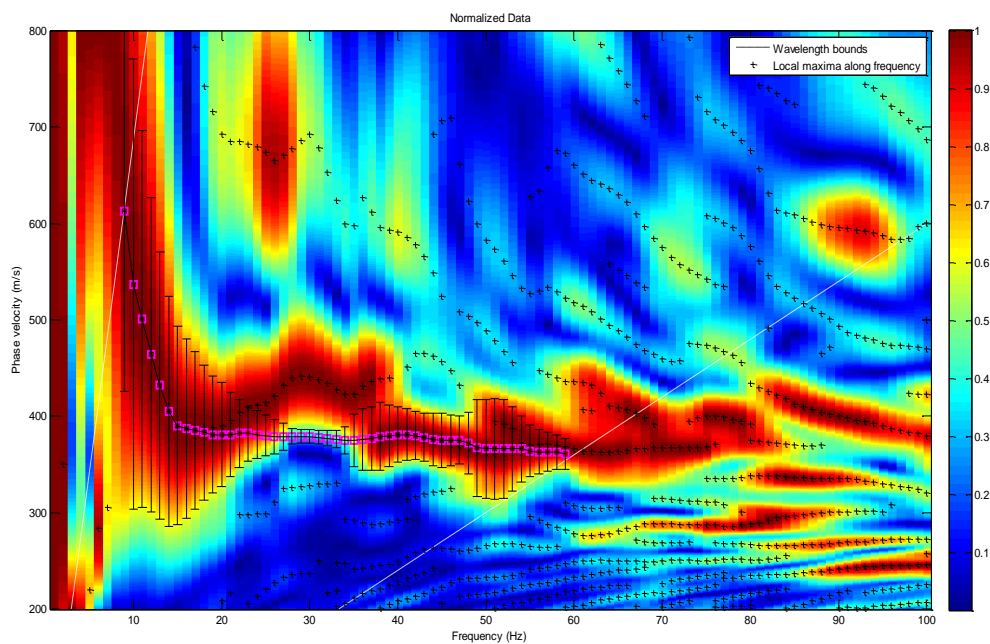
Σχήμα 8.30: Απεικόνιση του μοντέλου βάθους της Α/Γ 6 με εξομάλυνση.

Η σεισμική γραμμή A/Γ 6 συμπίπτει με την γραμμή A/Γ 6 της ηλεκτρικής τομογραφίας. Σύμφωνα με το μοντέλο βάθους της A/Γ 6, η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σε αυτή τη θέση και μέχρι το βάθος των 2.5 μέτρων χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές (400 m/s) έως χαμηλές τιμές (800 m/s) οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο αντίστοιχα. Το υποκείμενο στρώμα παρουσιάζει μεγαλύτερη σεισμική ταχύτητα και αποδίδεται σε χαλαζίτες

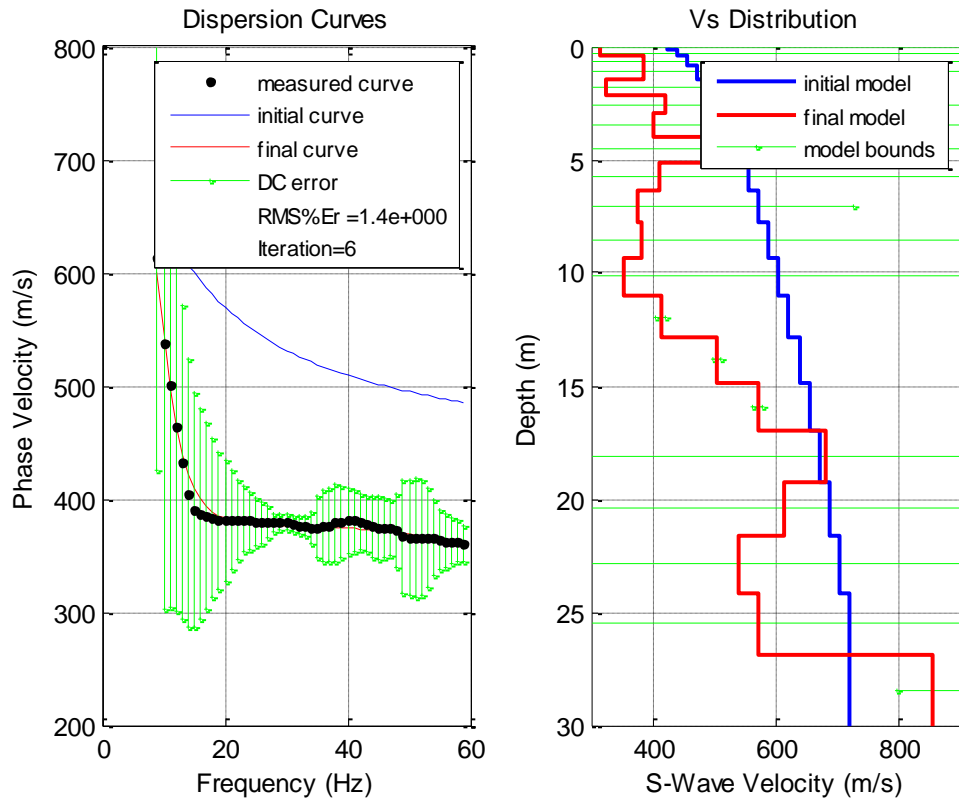
8.1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΑΝΑΛΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ MASW

Η πολυκάναλη μέθοδος MASW μετρά τα σεισμικά επιφανειακά κύματα που παράγονται από διάφορους τύπους σεισμικών πηγών, στην περίπτωση μας από βαριοπούλα και αναλύει τη ταχύτητα διάδοσης αυτών κυμάτων υπολογίζοντας έτσι τον αριθμό των στρωμάτων του εδάφους. Οι θέσεις των πηγών και των γεωφώνων ήταν ίδιες με της σεισμικής διάθλασης (βλέπε κεφάλαιο 6.1.2). Έτσι, μέσω του λογισμικού Matlab, επεξεργαστήκαν τα δεδομένα από τις καταγραφές μας για κάθε θέση.

➤ Για την θέση A/Γ 1:



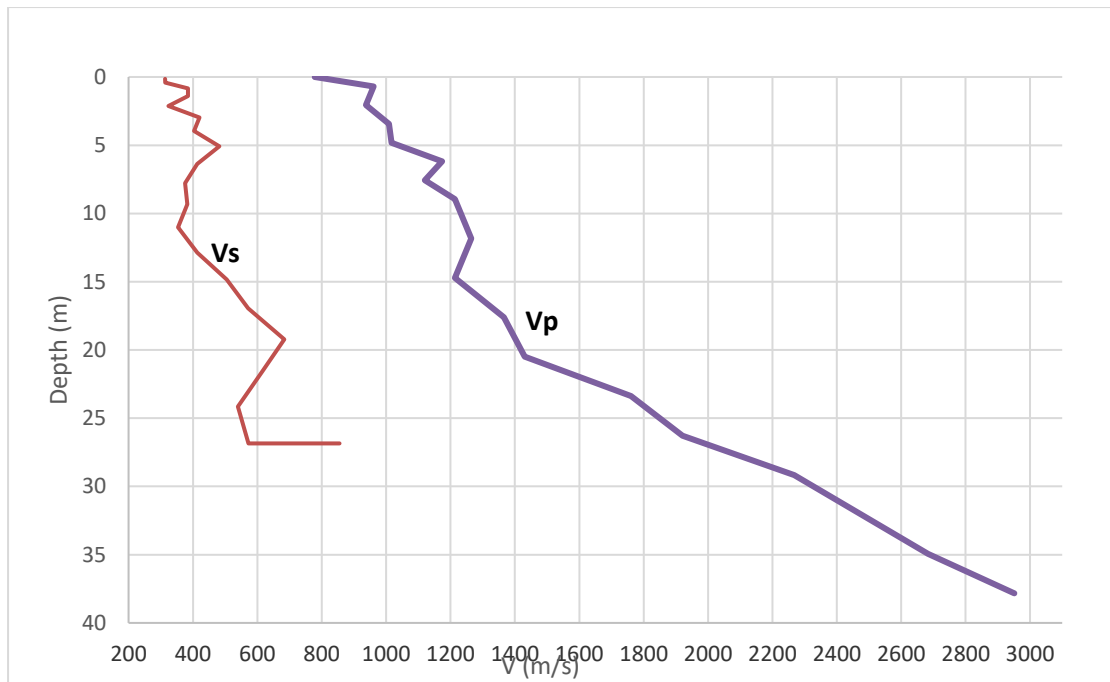
Σχήμα 8.31: Απεικόνιση πειραματικής καμπύλης διασποράς στο πεδίο φάσης ταχύτητας – συχνότητας.



Σχήμα 8.32: Τελικό μοντέλο για την καταγραφή 101 – Αποτέλεσμα ταύτισης θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης διασποράς για τα δεδομένα της καταγραφής (δεξιά), Κατανομή της ταχύτητας Vs σε σχέση με το βάθος (αριστερά).

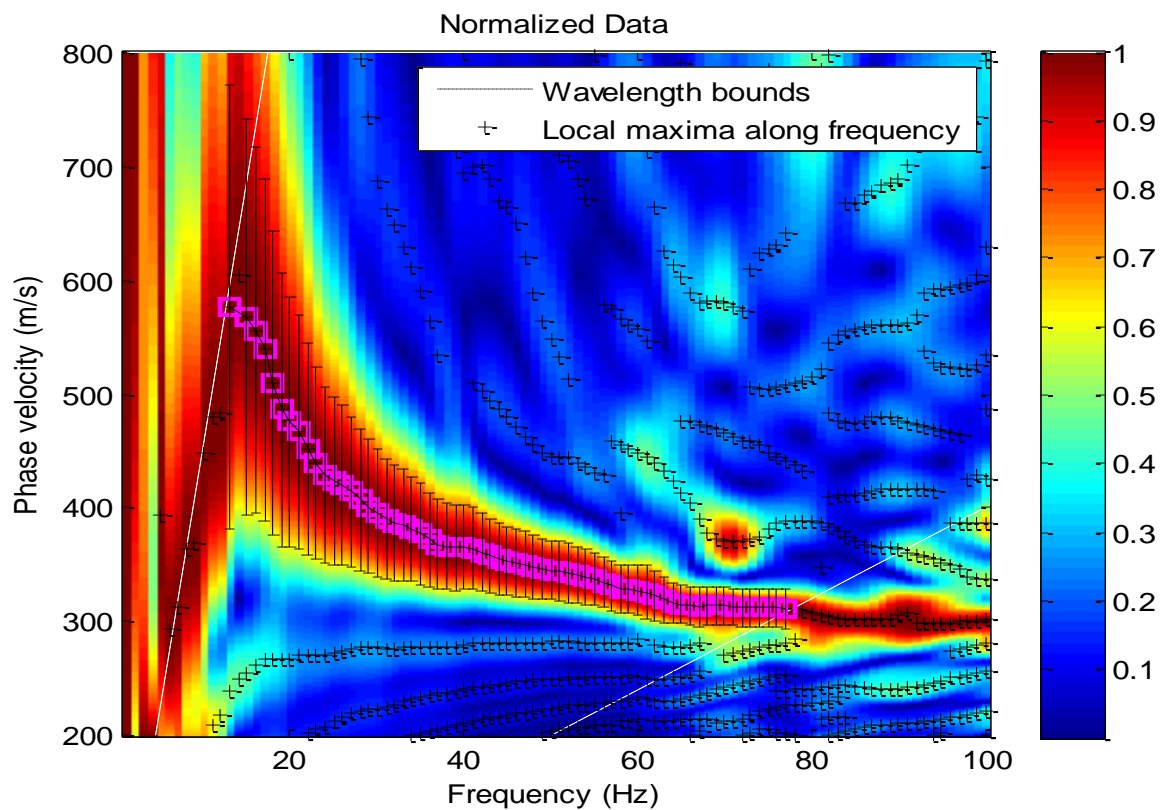
Με βάση την κατανομή ταχύτητας Vs του παραπάνω σχήματος, διακρίνονται 3 στρώματα. Το 1^ο στρώμα από την επιφάνεια έως τα 5m με ταχύτητα από 310 – 480m/s, ένα 2^ο στρώμα από τα 4 – 17m με ταχύτητα από 400 – 580 m/s, το 3^ο στρώμα σε βάθη 17 – 25m με ταχύτητα από 580 - 800 m/s και ένα τελευταίο στρώμα, σε βάθη μεγαλύτερα από 25m με ταχύτητες περίπου 850 m/s.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vp για την A/Γ 1:

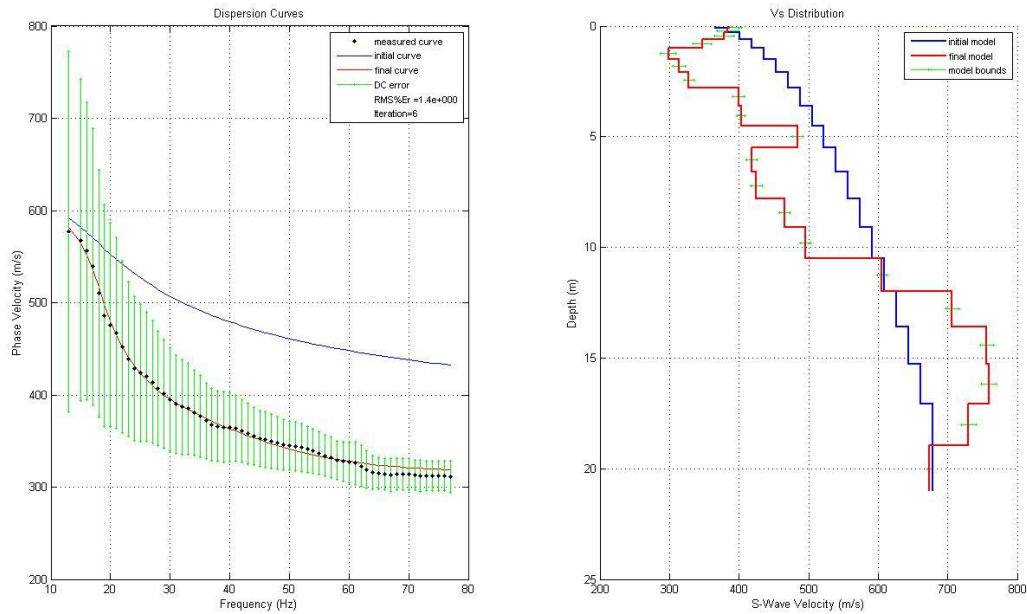


Σχήμα 8.33: Σύγκριση των ταχυτήτων V_s και V_p για την Α/Γ 1.

➤ Για την θέση Α/Γ 5:



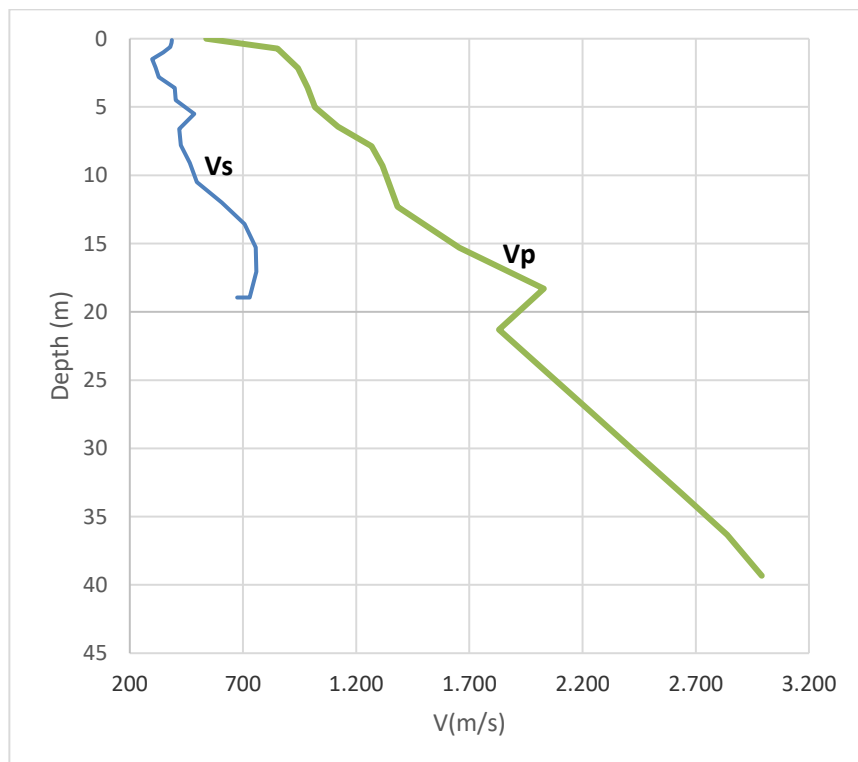
Σχήμα 8.34: Απεικόνιση πειραματικής καμπύλης διασποράς στο πεδίο φάσης ταχύτητας – συχνότητας.



Σχήμα 8.35: Τελικό μοντέλο για την καταγραφή 301 – Αποτέλεσμα ταύτισης θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης διασποράς για τα δεδομένα της καταγραφής (δεξιά), Κατανομή της ταχύτητας Vs σε σχέση με το βάθος (αριστερά).

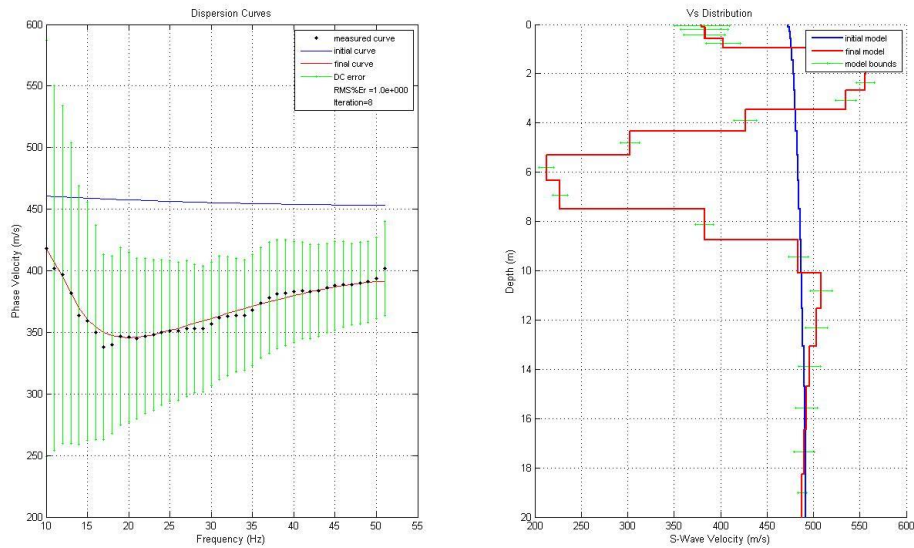
Όπως προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα, για την θέση αυτή διακρίνονται 3 στρώματα. Το 1^ο στρώμα από 0 – 2,5m με ταχύτητα περίπου 300m/s, το 2^ο στρώμα σε βάθος από 2,5 – 10m με ταχύτητα Vs 400 – 500 m/s και ένα 3^ο στρώμα σε βάθος μεγαλύτερο από 10m με ταχύτητα από 500 – 750m/s.

Ακολουθεί η σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vp για την A/T 5:



Σχήμα 8.36: Σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vp για την A/T 5.

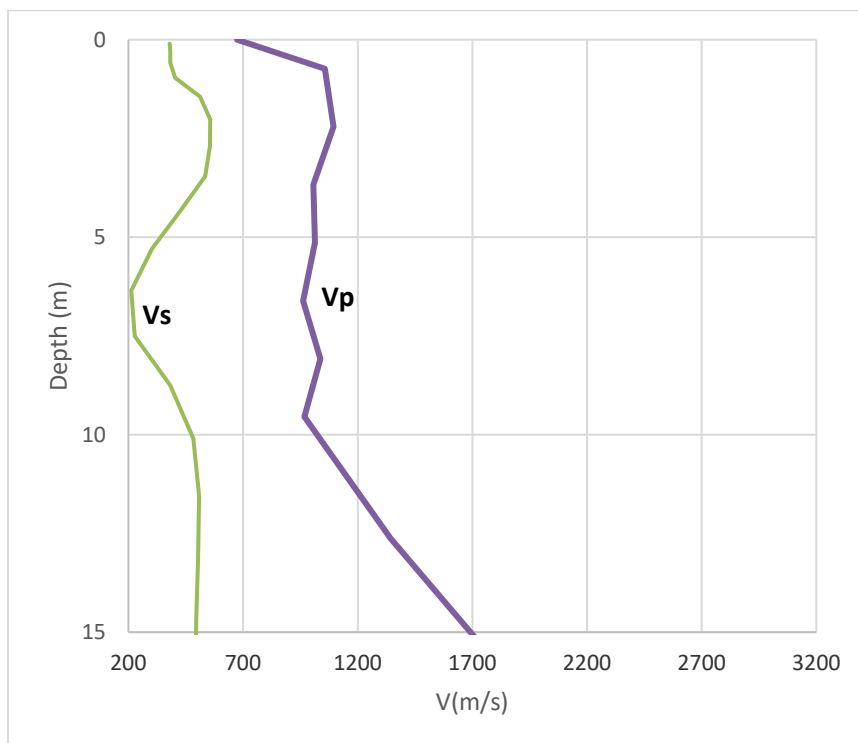
➤ Για την Α/Γ 6:



Σχήμα 8.37: Τελικό μοντέλο για την καταγραφή 407 – Αποτέλεσμα ταύτισης θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης διασποράς για τα δεδομένα της καταγραφής (δεξιά) – Κατανομή της ταχύτητας Vs σε σχέση με το βάθος (αριστερά).

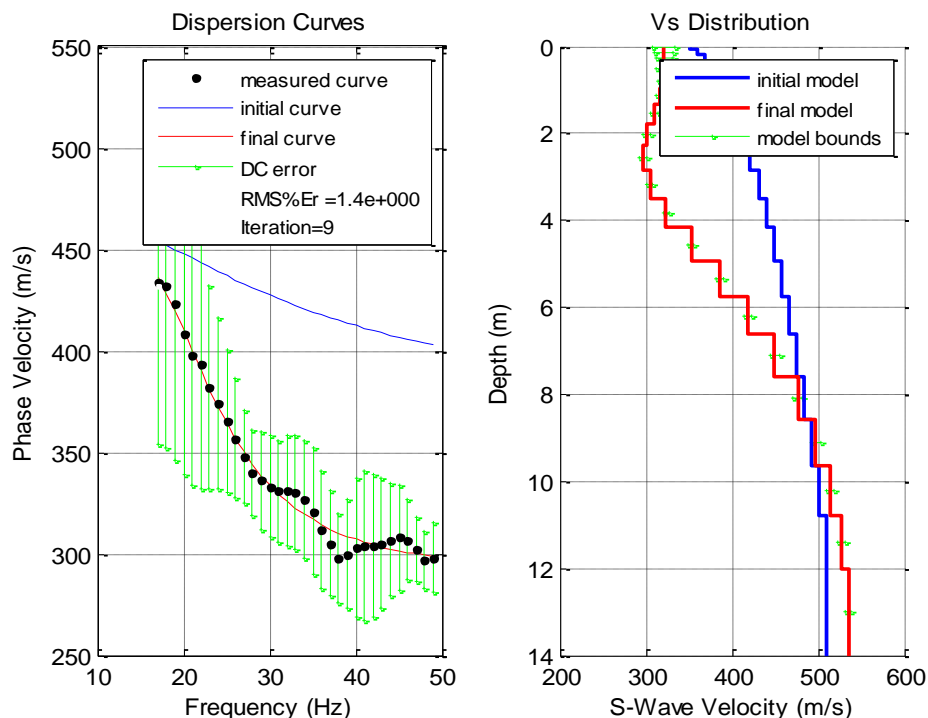
Για την θέση αυτή παρατηρείται η διάκριση του υπεδάφους σε 3 στρώματα, ένα στρώμα από την επιφάνεια έως περίπου τα 4m, με ταχύτητες από 380 – 550 m/s, ένα 2^ο στρώμα σε βάθος από 4 – 8m με ταχύτητες από 210 – 400 m/s και σε βάθη μεγαλύτερα από 8m, ταχύτητες μεγαλύτερες από 400m/s.

Ακολουθεί η σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vp για την Α/Γ 6:



Σχήμα 8.38: Σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vp για την Α/Γ 6.

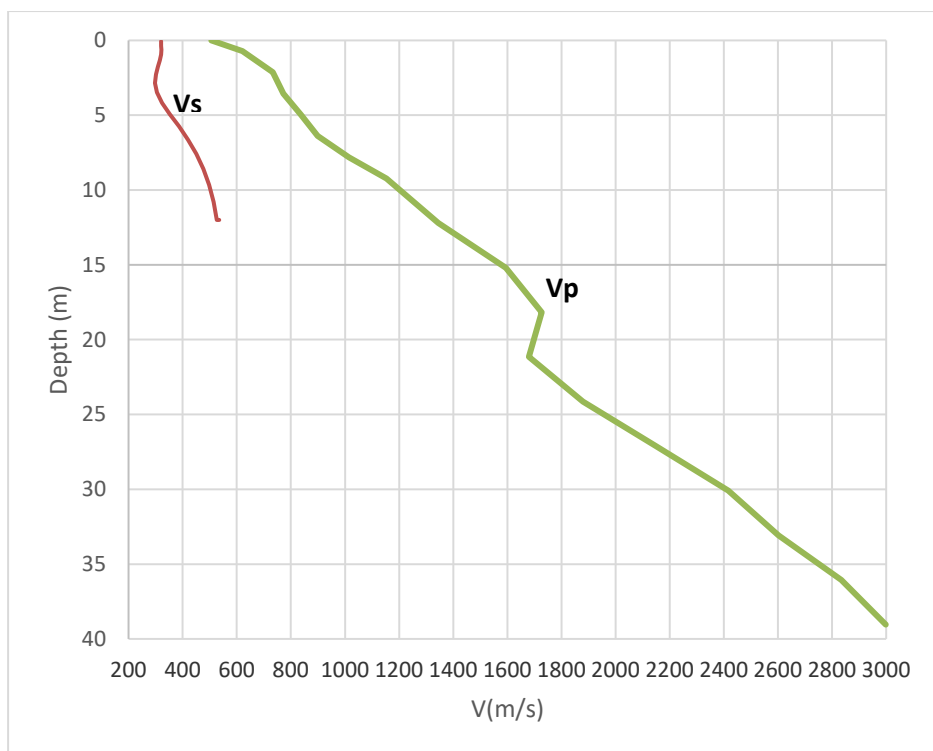
➤ Για την θέση εγκατάστασης ΕΓΚΑΤ 1:



Σχήμα 8.39: Τελικό μοντέλο για την καταγραφή 201 – Αποτέλεσμα ταύτισης θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης διασποράς για τα δεδομένα της καταγραφής (δεξιά) – Κατανομή της ταχύτητας Vs σε σχέση με το βάθος (αριστερά).

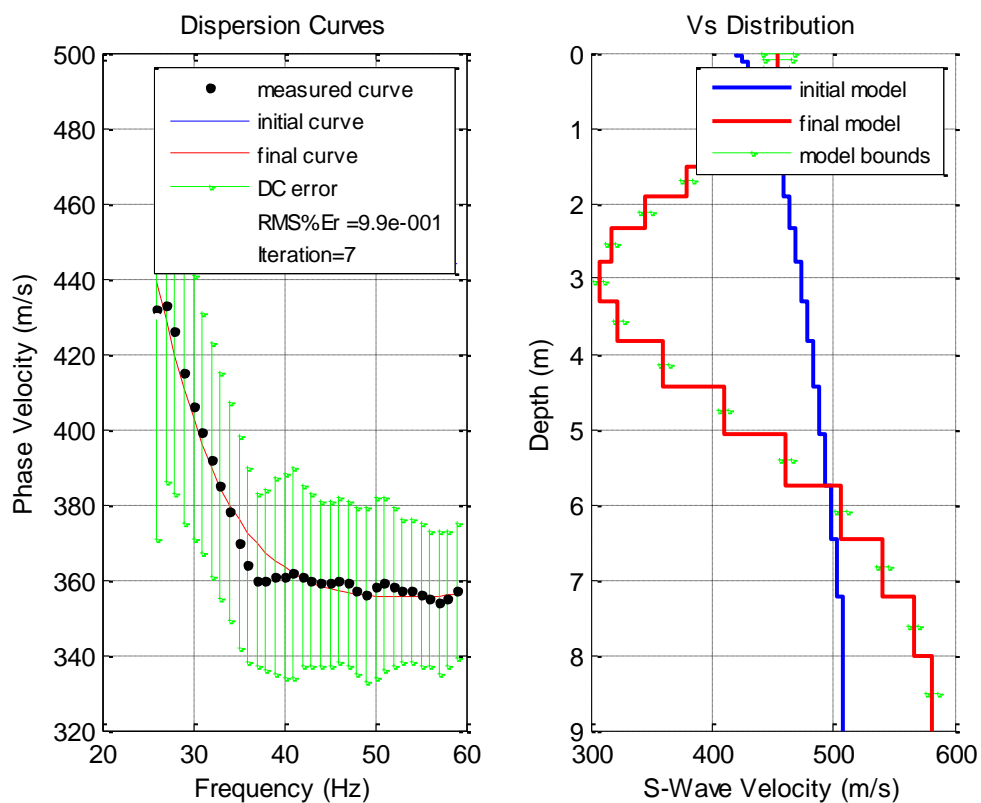
Για την θέση εγκατάστασης ΕΓΚΑΤ 1, παρατηρείται η ύπαρξη 2 στρωμάτων. Από 0 – 5m εμφανίζεται ένα στρώμα με ταχύτητα περίπου 300m/s, από τα 5 έως τα βαθύτερα σημεία, εκτείνεται το δεύτερο στρώμα, στο οποίο έχουμε ταχύτητα από 380 – 540m/s.

Ακολουθεί η σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vp για την θέση ΕΓΚΑΤ 1:



Σχήμα 8.40: Σύγκριση των ταχυτήτων Vs και Vp για την θέση ΕΓΚΑΤ 1.

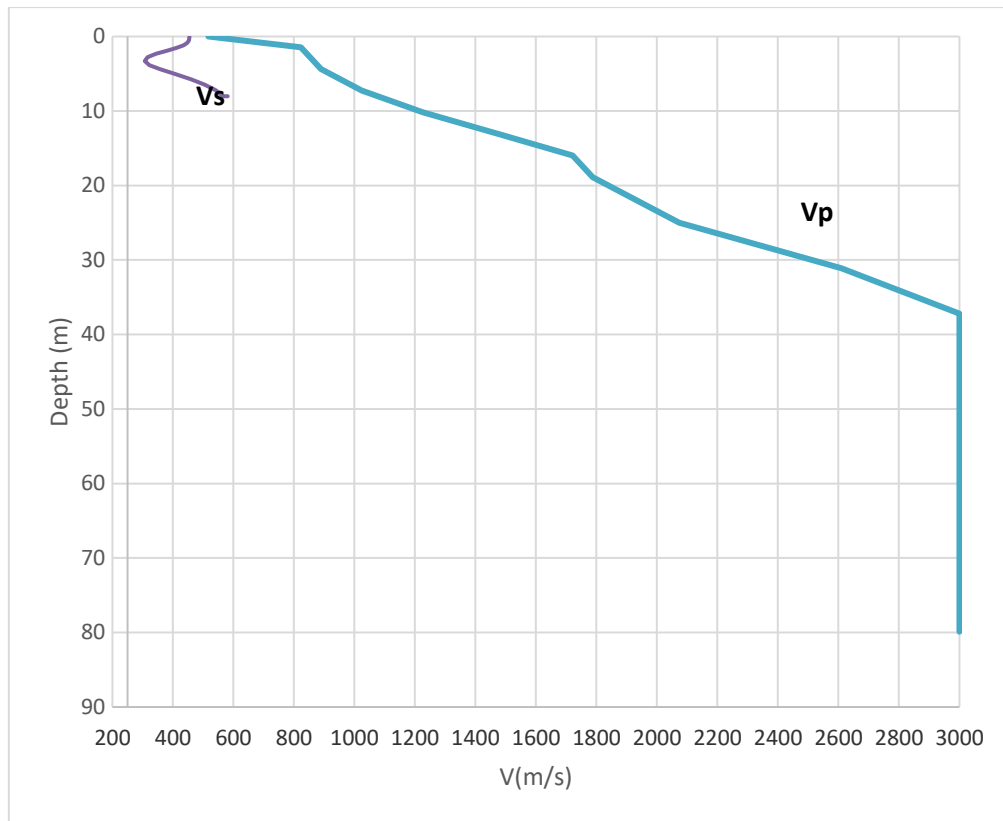
➤ Για την θέση ΕΓΚΑΤ 2:



Σχήμα 8.41: Τελικό μοντέλο για την καταγραφή 507 – Αποτέλεσμα ταύτισης θεωρητικής και πειραματικής καμπύλης διασποράς για τα δεδομένα της καταγραφής (δεξιά) – Κατανομή της ταχύτητας Vs σε σχέση με το βάθος (αριστερά).

Για τη θέση αυτή παρατηρείται η ύπαρξη 2 στρωμάτων. Από την επιφάνεια έως περίπου τα 3m έχουμε το 1^ο στρώμα με ταχύτητα V_s από 300 – 500m/s. Σε βάθος από 3-9m εμφανίζεται το 2^ο στρώμα, στο οποίο παρατηρείται η βαθμιαία αύξηση της ταχύτητας σε σχέση με το βάθος, με ένα εύρος τιμών από 300-580m/s.

Ακολουθεί η σύγκριση των ταχυτήτων V_s και V_p για τη θέση ΕΓΚΑΤ 2:

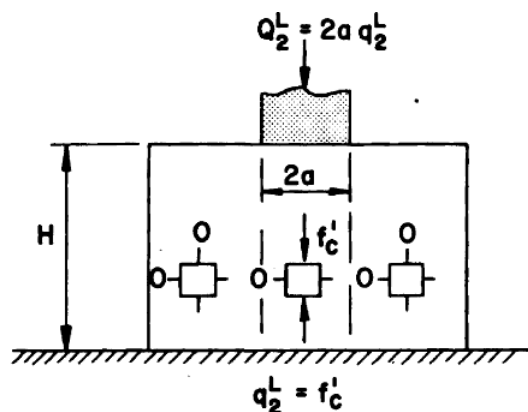


Σχήμα 8.42: Σύγκριση των ταχυτήτων V_s και V_p για την θέση ΕΓΚΑΤ 2.

Από τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται μία σχετικά καλή συμφωνία της ταχύτητας των S-κυμάτων ως προς την ταχύτητα των P-κυμάτων, με εξαίρεση την θέση ΕΓΚΑΤ 2. Αποκλίσεις του βάθους της διεπιφάνειας των στρωμάτων, αποδίδονται στο γεγονός ότι οι σχηματισμοί δεν είναι οριζόντιοι (διαφορά υψομέτρου).

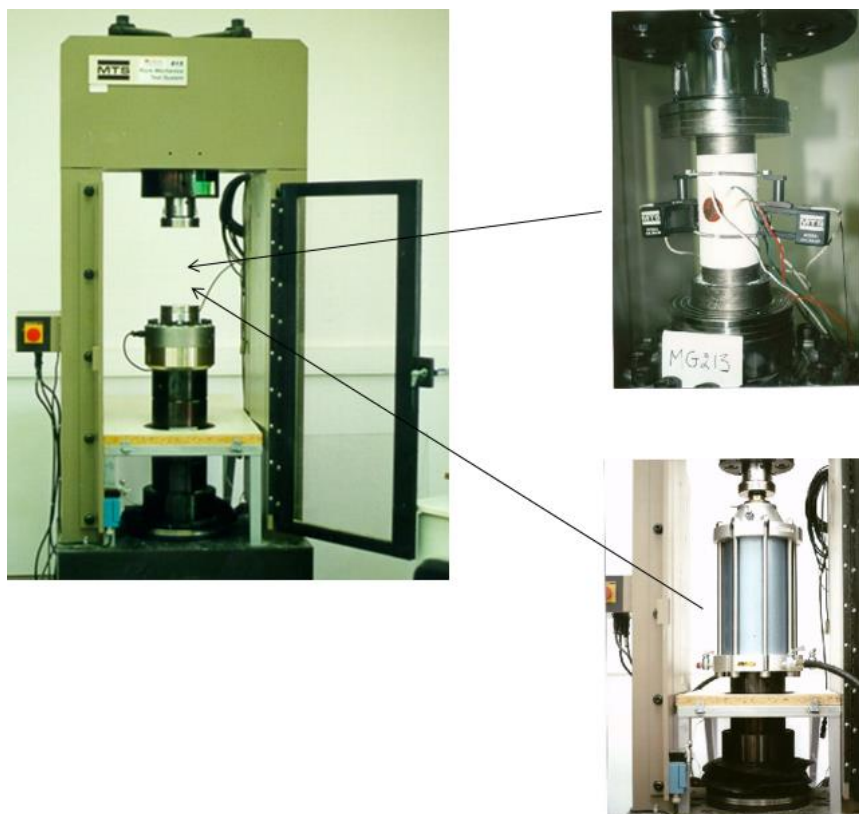
8.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Όπως προαναφέρθηκε, τα ογκοτεμάχια φυλλίτη περισυλλέχθηκαν από τις θέσεις ενδιαφέροντος. Οι δοκιμές που έγιναν, είναι απαραίτητες γιατί οι εντατικές συνθήκες κάτω από τις τεχνητές κατασκευές που θα εδραστούν επί του πετρώματος, είναι η μονοαξονική (ανεμπόδιστη) και η τριαξονική θλίψη όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.4.



Εικόνα 8.4: Οι επικρατούσες εντατικές συνθήκες στη υποκείμενη μάζα του πετρώματος όπου εδράζεται η τεχνητή κατασκευή.

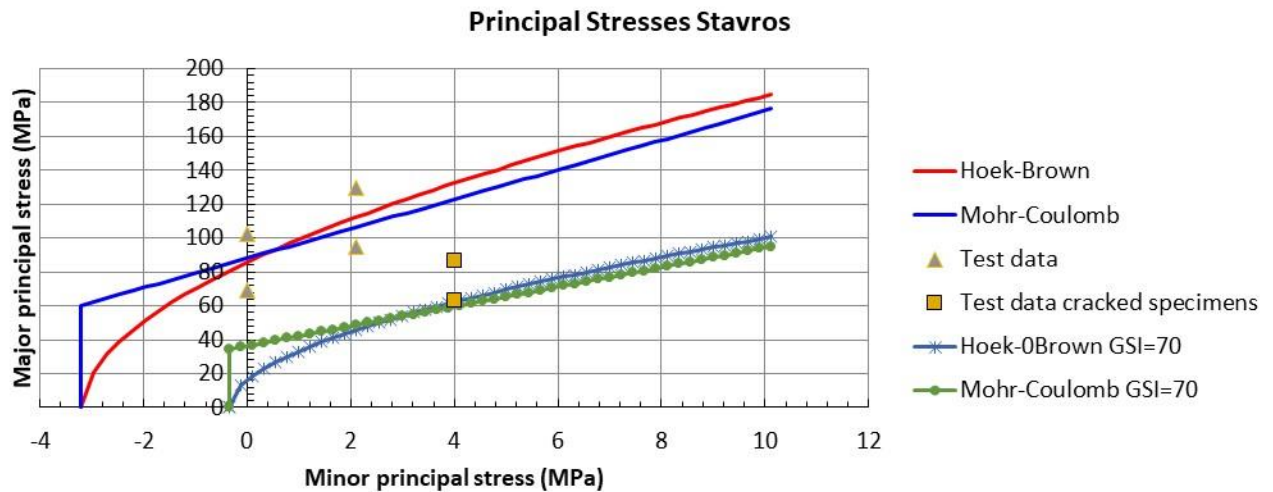
Οι δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης και τριαξονικής θλίψης εκτελέσθηκαν σε άκαμπτη σερβοϋδραυλική μηχανή MTS 815. Στις τριαξονικές δοκιμές χρησιμοποιήθηκε ειδικό τριαξονικό κελί ενώ στις δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης χρησιμοποιήθηκαν και ηλεκτρικά μηχανοσκόμια διάταξης 90ο για την μέτρηση της αξονικής και ακτινικής μετατόπισης όπως φαίνεται στην Εικόνα, το κελί φορτίου της μηχανής και αισθητήρες μετατόπισης που καταγράφουν την αξονική μετατόπιση σε όλο το ύψος του δοκιμίου σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά μηχανοσκόμια που καλύπτουν μικρή περιοχή μερικών mm του δοκιμίου.



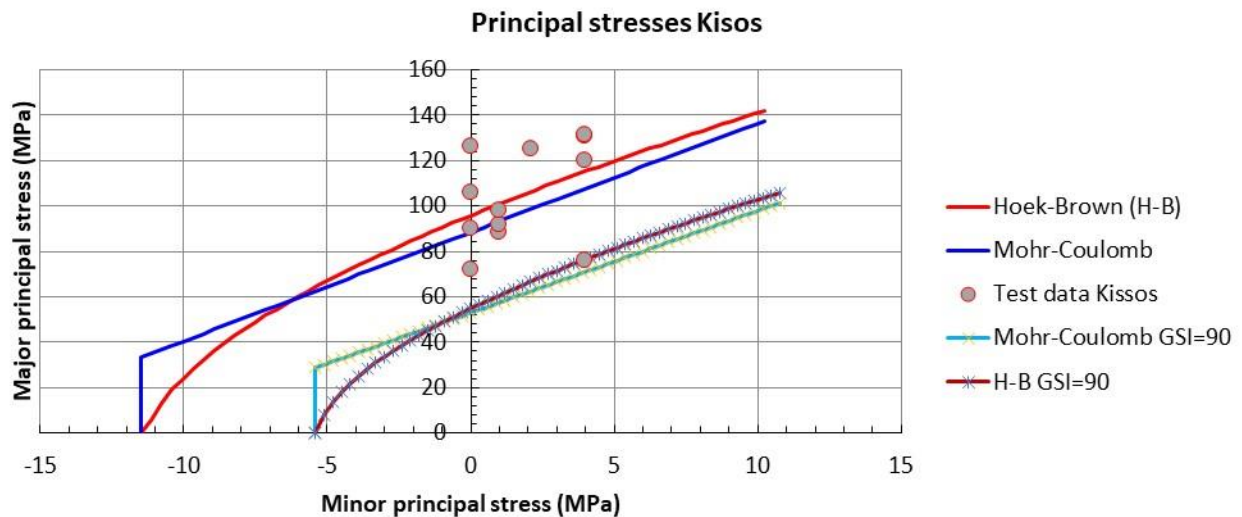
Τριαξονικό κελί φορτίου

Εικόνα 8.5: Ακαμπτη σερβοϋδραυλική μηχανή θλίψης (αριστερά), δοκίμιο πετρώματος με αισθητήρες αξονικής παραμόρφωσης (LVDT's) και ηλεκτρικό μηκυνσιόμετρο τύπου ορθής γωνίας επικολλημένο στην επιφάνεια του δοκιμίου (πάνω δεξιά) και τριαξονικό κελλί (κάτω δεξιά).

Το πέτρωμα από το οποίο διαμορφώθηκαν τα κυλινδρικά δοκίμια είναι φυλλίτης πράσινου έως τεφρόφαιου χρώματος και μεγάλης σκληρότητας που φάνηκε ήδη κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης των κυλινδρικών δοκιμίων. Ο φυλλίτης χαρακτηρίζεται από την έντονη σχιστότητα και το πολύ μικρό μέγεθος των ορυκτών συστατικών του. Αποτελείται κυρίως από μοσχοβίτη (σερικήτη), και από χαλαζία, γρανάτη, γλωρίτη. Ως εποψιδώδη μπορεί να βρεθούν ασβεστίτης, γραφίτης, επίδοτο, βιοτίτης, σιδηροπυρίτης, μαγνητίτης. Σχηματίζεται με χαμηλού έως μέσου βαθμού μεταμόρφωση αργιλοπηλιτικών ή μαργαϊκών ιζημάτων. Το πέτρωμα εμφανίζει μακροσκοπικά ανισότροπη μικροδομή που κυριαρχείται από την παρουσία στρώσης που είναι σχεδόν οριζόντια στην περιοχή της έδρασης. Για την εξάλειψη διατμητικών τάσεων λόγω τριβής μεταξύ των εδρών των δοκιμίων και των πλακών εδράσεως της μηχανής χρησιμοποιήθηκαν λεπτά φύλλα τεφλόν.



Εικόνα 8.6: Βαθμονόμηση των 2 μοντέλων αντοχής επί των πειραματικών τιμών στη θέση «Σταυρός».



Εικόνα 8.7: Βαθμονόμηση των 2 μοντέλων αντοχής επί των πειραματικών τιμών στη θέση «Κισός».

Οι παράμετροι αντοχής του αρρήκτου πετρώματος ($GSI=100$) και της βραχώμαζας ($GSI<100$) που εκτιμήθηκαν για τον φυλλίτη στις 2 θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.1.

Θέση	GSI	Παράμετροι αντοχής μοντέλου Mohr-Coulomb			Παράμετροι αντοχής μοντέλου Hoek-Brown			
		Αντοχή σε εφελκυσμό	Συνοχή	Γωνία τριβής	Παράμετρος m	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη	s	a
Κισός	100	11.5	20.2	40.9	8.35	95.9	1	0.5
Κισός	90	5.4	12.5	39.5	5.84	55.0	0.33	0.5
Σταυρός	100	3.2	14.9	52.6	26.7	85.8	1	0.5
Σταυρός	70	0.3	7.5	44.9	9.13	16.1	0.036	0.5

Πίνακας 8.1: Εκτιμώμενοι παράμετροι αντοχής του φυλλίτη στις 2 θέσεις δειγματοληψίας.

Οι παράμετροι ελαστικότητας ή παραμορφωσιμότητας του φυλλίτη στις 2 θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2 και 8.3.

A/A πειράματος	Κωδικός δοκιμίου	Πλευρική τάση [MPa]	Αξονική τάση [MPa]	Μέτρο Ελαστικότητας [GPa]	Λόγος Poisson	Παρατηρήσεις
1	ΣΣ3-1	0.0	69.2	24	-	
2	ΣΣ3-2	0.0	102.4	20	0.27	
3	ΣΣ1-2	2.1	129.9	21	-	
4	ΣΣ1-3	2.1	94.9	17	-	
5	ΣΣ1-1	4.0	86.5	16	-	Αστοχία σε προϋπάρχουσα ρωγμή
6	ΣΣ3-3	4.0	62.8	19	-	Αστοχία σε προϋπάρχουσα ρωγμή
Μέση τιμή				19.5	0.27	
Τυπική απόκλιση				2.6	-	

Πίνακας 8.2: Παράμετροι ελαστικότητας του φυλλίτη στη θέση «Σταυρός».

A/A πειράματος	Κωδικός δοκιμίου	Πλευρική τάση [MPa]	Αξονική τάση [MPa]	Μέτρο Ελαστικότητας [GPa]	Λόγος Poisson	Παρατηρήσεις
1	ΣΚ2-1	0.0	89.9	50	0.24	
2	ΣΚ3-2	0.0	125.9	28	0.27	
3	ΣΚ4-2	0.0	105.8	31	0.28	
4	ΣΚ5-2	0.0	71.6	34	0.24	Αστοχία σε προϋπάρχουσα ρωγμή
5	ΣΚ1-2	1.0	88.4	22	-	
6	ΣΚ2-3	1.0	91.4	19	-	
7	ΣΚ3-3	1.0	98.1	19	-	
8	ΣΚ4-3	2.1	125.1	23	-	
9	ΣΚ1-1	4.0	75.9	21	-	Αστοχία σε προϋπάρχουσα ρωγμή
10	ΣΚ2-2	4.0	130.7	18	-	
11	ΣΚ3-1	4.0	131.4	21	-	
12	ΣΚ4-1	4.0	119.7	31	-	
Μέση τιμή				35.8	0.26	
Τυπική απόκλιση				8.5	0.02	

Πίνακας 8.3: Παράμετροι ελαστικότητας του φυλλίτη στη θέση «Κισός».

Αναλυτικά τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών βρίσκονται στο Παράρτημα
II

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά με τη **μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας**, προσδιορίστηκαν οι ζώνες της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους για καθεμία από τις οχτώ (8) θέσεις εγκατάστασης του Υβριδικού Σταθμού, με τη **μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας** πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός των ζωνών ταχύτητας (V_p) στο φλοιό και το κατώτερο μανδύα της περιοχής εγκατάστασης σε πέντε (5) επιλεγμένες θέσεις, που επιλέχθηκαν με βάση τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας. Με κατάλληλη επεξεργασία και την εξαγωγή μοντέλων εδάφους προσδιορίστηκαν οι ζώνες ταχύτητας στις επιλεγμένες θέσεις. Για τις ίδιες επιλεγμένες θέσεις, εφαρμόστηκε η **πολύκαναλη μέθοδος MASW**, η οποία όπως προαναφέρθηκε αναλύει τα σεισμικά επιφανειακά κύματα (V_s) και υπολογίστηκε ο αριθμός των στρωμάτων του εδάφους, έπειτα από την επεξεργασία και την εξαγωγή μοντέλων εδάφους. Έτσι, για καθεμία από τις θέσεις:

- Για τη θέση **Α/Γ 1**:

Έγινε η επεξεργασία σε δύο (2D) και τρεις διαστάσεις (3D), διότι οι τομές σε τρεις διαστάσεις (3D) βγάζουν καλύτερο αποτέλεσμα. (Βλέπε Σχήμα 8.2 έως 8.9) Αυτό συμβαίνει διότι στην τρισδιάστατη επεξεργασία, πραγματοποιείται αντιστροφή δεδομένων από πολλές παράλληλες γραμμές μελέτης, σε αντίθεση με τη δισδιάστατη απεικόνιση. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν δύο κύριες ζώνες αντιστάσεων τόσο στις γεωηλεκτρικές τομές όσο και στις οριζόντιες τομές. Η πρώτη ζώνη χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, με ένα εύρος τιμών από 1500 έως 6700 Ω m και αποδίδεται σε σχιστολιθικό σχηματισμό που περιέχει κατά τόπους χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα. Στην δεύτερη ζώνη παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, από 180 έως 1800 Ω m περίπου, που αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σχιστόλιθο. Η εμφάνιση αυτών των ζωνών ήταν σχεδόν ίδια για όλες τις γραμμές μελέτης της Α/Γ 1 (8 γραμμές μελέτης). Στη θέση της ανεμογεννήτριας (42 μέτρα από τη αρχή της 6ης γραμμής, το πάχος του εδαφικού σχηματισμού δεν ξεπερνά το 1m. Η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στη θέση αυτή (βλέπε Σχήμα 8.25), η οποία εκτιμήθηκε από τη σεισμική διασκόπηση, χαρακτηρίζεται μέχρι το βάθος των 8 μέτρων από πολύ χαμηλές έως χαμηλές τιμές οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο αντίστοιχα. Με την εφαρμογή της πολυκάναλη μεθόδου MASW παρατηρήθηκαν 3 στρώματα. (Σχήμα 8.32) Το 1^ο στρώμα από την επιφάνεια έως τα 5m με ταχύτητα από 310 – 480m/s, το 2^ο στρώμα από τα 4 – 17m με ταχύτητα από 400 – 580 m/s και το 3^ο στρώμα σε βάθη 17 – 25m με ταχύτητα από 580 – 800 m/s και σε βάθη μεγαλύτερα από 25m με ταχύτητα περίπου 850 m/s.

- Για τη θέση **ΕΓΚΑΤ 1**:

Από τη γεωηλεκτρική τομή (Σχήμα 8.10), διακρίνεται μία ζώνη υψηλότερων τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μέχρι περίπου τα 7m βάθος (σχιστόλιθοι), επιφανειακά στο δυτικό τμήμα της γραμμής μελέτης. Η ζώνη αυτή στο ανατολικό

τμήμα καλύπτεται από ζώνη χαμηλότερων τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, πάχους μικρότερου των 4 μέτρων (εδαφικός σχηματισμός). Η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στη θέση **ΕΓΚΑΤ 1** (βλέπε Σχήμα 8.27), η οποία εκτιμήθηκε από τη σεισμική διασκόπηση, χαρακτηρίζεται μέχρι το βάθος των 8 μέτρων από πολύ χαμηλές έως χαμηλές τιμές οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο αντίστοιχα. Με βάση τη μέθοδο MASW, παρατηρείται η ύπαρξη 2 στρωμάτων (Σχήμα 8.36). Από 0 – 5m, ένα στρώμα με ταχύτητα περίπου 300m/s και ένα δεύτερο στρώμα, το οποίο εκτείνεται από τα 5m έως τα βαθύτερα σημεία, στο οποίο έχουμε ταχύτητα από 380 – 540m/s.

- Για τη θέση **A/Γ 2:**

Στη γεωηλεκτρική τομή της θέσης αυτής (Σχήμα 8.11) απεικονίζονται δύο γεωηλεκτρικά στρώματα, το επιφανειακό με χαμηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που αναπτύσσεται μέχρι περίπου τα 3m (εδαφικός σχηματισμός), και κάτω από αυτό μέχρι το μέγιστο βάθος διασκόπησης, ένα στρώμα υψηλότερων τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (σχιστόλιθοι με χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα).

- Για την θέση **A/Γ 3:**

Στη γεωηλεκτρική τομή της θέσης **A/Γ 3** (Σχήμα 8.12) παρατηρείται εξάπλωση πολύ υψηλών αντιστάσεων σε όλη την γραμμή μελέτης. Ιδιαίτερα, από τα πιο επιφανειακά στρώματα μέχρι το μέγιστο βάθος διασκόπησης, παρατηρούνται αντιστάσεις, μεγαλύτερες από 3000Ωm (σχιστόλιθοι με χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα).

- Για την θέση **A/Γ 4:**

Στη γεωηλεκτρική τομή της θέσης **A/Γ 4** (Σχήμα 8.13), παρατηρούνται δύο ζώνες. Μια επιφανειακή ζώνη, με σχετικά χαμηλές αντιστάσεις (εδαφικός σχηματισμός) και μια ζώνη υψηλότερων αντιστάσεων, περίπου 2000 – 6700Ωm, που αποδίδεται σε σχιστόλιθους με χαλαζίτες ή πλακώδη μάρμαρα.

- Για την θέση **A/Γ 5:**

Στην γεωηλεκτρική τομή της θέσης **A/Γ 5** (Σχήμα 8.14), παρατηρείται σε όλη τη γραμμή μελέτης, μία ζώνη σχετικά χαμηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 300 έως 1200Ωm (εδαφικός σχηματισμός – φερτά υλικά και κατά τόπους σχιστόλιθοι). Η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (βλέπε Σχήμα 8.28), η οποία εκτιμήθηκε από τη σεισμική διασκόπηση, χαρακτηρίζεται μέχρι το βάθος των 8 μέτρων από πολύ χαμηλές έως χαμηλές τιμές οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο αντίστοιχα. Για την **A/Γ 5** παρατηρήθηκαν 3 στρώματα (Σχήμα 8.34) Το 1^ο στρώμα από 0 – 2,5m με ταχύτητα περίπου 300m/s, το 2^ο στρώμα σε βάθος από 2,5 – 10m με ταχύτητα Vs 400 – 500 m/s και ένα 3^ο στρώμα σε βάθος μεγαλύτερο από 10m με ταχύτητα από 500 – 750m/s.

- Για την θέση **A/Γ 6**:

Στη γεωηλεκτρική τομή της θέσης **A/Γ 6** (Σχήμα 8.15), παρατηρούνται δύο ζώνες. Μία ζώνη σχετικά χαμηλών αντιστάσεων από την επιφάνεια έως τα 3m βάθος (εδαφικός σχηματισμός και κατά τόπους σχιστόλιθοι) και κάτω από αυτή, μία ζώνη πολύ υψηλών αντιστάσεων, με ένα εύρος τιμών από 2000 έως 6700Ωm (χαλαζίτες). Η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στη θέση αυτή (βλέπε Σχήμα 8.30) και μέχρι το βάθος των 2,5m χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές, περίπου 400 m/s, έως χαμηλές τιμές (800 m/s) οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο αντίστοιχα. Το υποκείμενο στρώμα παρουσιάζει μεγαλύτερη σεισμική ταχύτητα και αποδίδεται σε χαλαζίτες. Στην θέση **A/Γ 6**, παρατηρείται η διάκριση του υπεδάφους σε 3 στρώματα (Σχήμα 8.35). Ένα στρώμα από την επιφάνεια έως περίπου τα 4m, με ταχύτητα από 380 – 550 m/s, ένα 2^ο στρώμα σε βάθος από 4 – 8m με ταχύτητα από 210 – 400 m/s και σε βάθη μεγαλύτερα από 8m, ένα 3^ο στρώμα με ταχύτητα μεγαλύτερη από 400m/s.

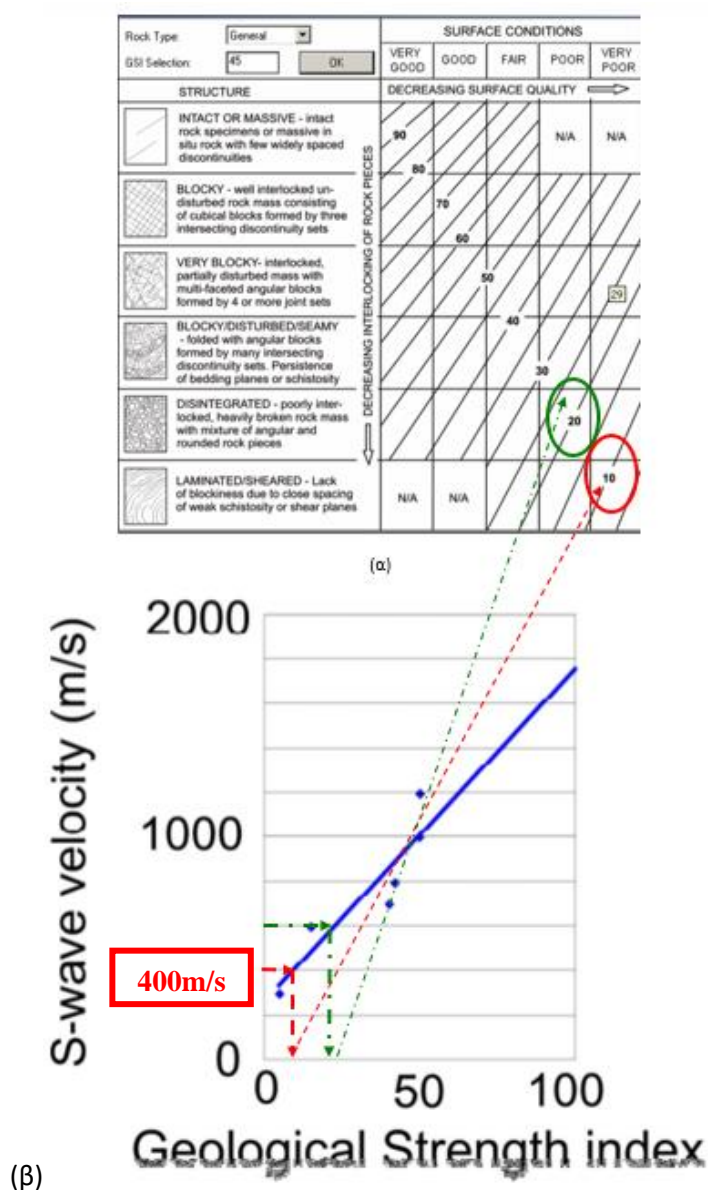
- Για τη θέση **ΕΓΚΑΤ 2**:

Στη γεωηλεκτρική τομή της θέσης εγκατάστασης – συσσωρευτών **ΕΓΚΑΤ 2** (Σχήμα 8.16) παρατηρούνται πολύ υψηλές αντιστάσεις σχεδόν σε όλη τη γραμμή μελέτης, με ένα εύρος τιμών από 2000 έως 6700Ωm, γεγονός που αποδίδεται στην παρουσία σχιστόλιθων με χαλαζίτες ή πλακών μαρμάρων. Η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων **ΕΓΚΑΤ 2** (βλέπε Σχήμα 8.29), η οποία εκτιμήθηκε από τη σεισμική διασκόπηση, χαρακτηρίζεται μέχρι το βάθος των 8 μέτρων από πολύ χαμηλές έως χαμηλές τιμές οι οποίες αποδίδονται σε εδαφικό σχηματισμό και σε αποσαθρωμένο σχιστόλιθο αντίστοιχα. Για την **ΕΓΚΑΤ 2** παρατηρείται η ύπαρξη 2 στρωμάτων (Σχήμα 8.37) με την εφαρμογή της μεθόδου MASW. Από την επιφάνεια έως περίπου τα 3m έχουμε το 1ο στρώμα με ταχύτητα Vs από 300 – 500m/s. Σε βάθος από 3-9m έχουμε το 2ο στρώμα, στο οποίο παρατηρούμε τη βαθμιαία αύξηση της ταχυτήτας σε σχέση με το βάθος, με ένα εύρος τιμών από 300-580m/s.

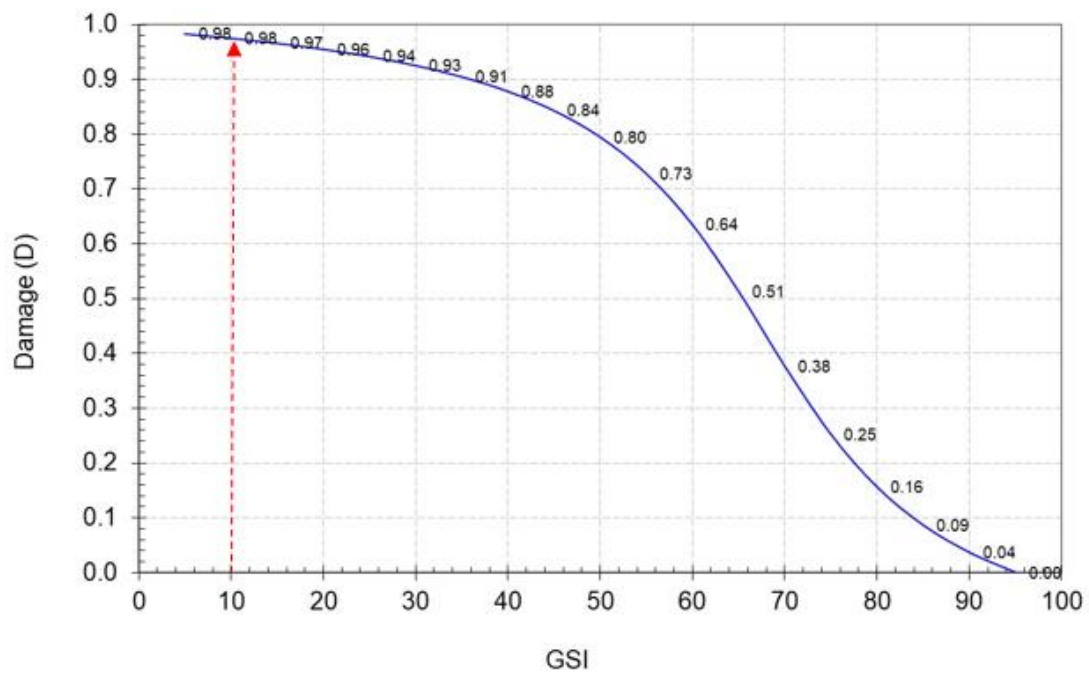
Όσον αφορά τη **γεωτεχνική επεξεργασία**, η θραύση των δοκιμίων κατέδειξε ψαθυρό παρά πλαστικό πέτρωμα. Κάποια δοκίμια διασχιζόντουσαν από μεγάλης κλίσης ρωγμές ως προς την έδρα του δοκιμίου με συνέπεια να θραυσθούν σε μικρότερο εξωτερικό φορτίο από ότι αναμενότανε από τα μοντέλα αστοχίας. Γι' αυτό το λόγο παρουσιάζονται δύο οικογένειες καμπυλών αστοχίας ως άνω και κάτω όριο αντοχής των κριτηρίων Hoek-Brown (1988) και Mohr-Coulomb (Jaeger et al, 2007). Η μια οικογένεια με τις 2 καμπύλες των 2 κριτηρίων αστοχίας αντιστοιχούν σε άρρηκτο πέτρωμα χωρίς προϋπάρχουσες ρωγμές και η δεύτερη οικογένεια καμπυλών των 2 κριτηρίων αστοχίας σε πέτρωμα με χαμηλότερο δείκτη αντοχής. Ως δείκτης αντοχής της βραχώμαζας θεωρήθηκε ο GSI (Geological Strength Index) που λαμβάνει τιμές στην κλίμακα 0 (έδαφος) έως 100 (άρρηκτο πέτρωμα). Για το άρρηκτο πέτρωμα ελήφθη GSI=100 και ως κάτω όριο αντοχής των προ-ρηγματωμένων δοκιμίων GSI=90 για τον φυλλίτη που λήφθηκε στη θέση Κισός και GSI=70 για τον φυλλίτη που λήφθηκε στη θέση Σταυρός. Και οι 2 αυτές κατώτερες τιμές του δείκτη GSI

βαθμονομήθηκαν πάνω στα αποτελέσματα των δοκιμών όπως φαίνεται στις Εικόνες 8.6 και 8.7 του Κεφαλαίου 8.2.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των σεισμικών ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων (V_s), η έδραση θα πρέπει να γίνει στο βραχώδες στρώμα με ταχύτητες μεγαλύτερες από 400m/s κατ' ελάχιστο, που σημαίνει ταχύτητα διαμηκών κυμάτων $V_p = \frac{400}{0,6} = 670\text{m/s}$. Αυτές οι τιμές αντιστοιχούν σε κατώτερο δείκτη αντοχής βραχομάζας $GSI=10$ σύμφωνα με τα εμπειρικά διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω, Εικόνα 9.1. Η τιμή αυτή του GSI αντιστοιχεί σε κατακερματισμένη βραχομάζα με χαμηλή συνοχή (προτελευταία κλάση πετρώματος στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος της Εικόνα 9.1 και μια παράμετρο φθοράς (damage) του πετρώματος $D=0.976$ σύμφωνα με το διάγραμμα της Εικόνα 9.2



Εικόνα 9.1: (α) Διάγραμμα ποιότητας βραχομάζας κατά GSI (Hoek & Brown, 1988) και (β) εμπειρική σχέση του δείκτη ποιότητας βραχομάζας GSI με την ταχύτητα των κυμάτων S (Duffy, 2008).



Εικόνα 9.2: Σχέση παραμέτρου φθοράς του πετρώματος με τον δείκτη GSI (Exadaktylos & Stavropoulou, 2008).

Με βάση αυτή την τιμή της παραμέτρου φθοράς της βραχομάζας (damage) υπολογίσθηκαν οι παράμετροι αντοχής και ελαστικότητας και παρουσιάζονται για τις 2 θέσεις έδρασης στον παρακάτω Πίνακα 9.1.

Η έδραση του Σταθμού δεν προτείνεται να γίνει επί του εδάφους άρα ή θα αποφευχθούν οι ανωτέρω θέσεις ή θα εκσκαφθούν μέχρι να συναντηθεί το βραχώδες υπόβαθρο.

Θέση	GSI	Παράμετροι αντοχής μοντέλου Mohr-Coulomb				Παράμετροι Ελαστικότητας		Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση q_{ult} [MPa]	Τιμές κατακόρυφου δείκτη εδάφους (ακαμψία) για κυκλικό θεμέλιο διαμέτρου 18m, K_n [MPa/mm]
		Αντοχή σε εφελκυσμό [MPa]	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη [MPa]	Συνοχή [MPa]	Γωνία τριβής [μοίρες]	Μέτρο ελαστικότητας [GPa]	Λόγος Poisson [-]		
Κισός (άρρηκτο πέτρωμα)	100	11.5	88.4	20.2	40.9	35.8	0.26		
Κισός (κατακερματισμένο πέτρωμα)	10	0.3	2.15	0.5	40.9	0.87	0.26	2.15	0.0656
Σταυρός (άρρηκτο πέτρωμα)	100	3.2	88.0	14.9	52.6	19.5	0.27		
Σταυρός (κατακερματισμένο πέτρωμα)	10	0.1	2.14	0.4	52.6	0.47	0.27	2.14	0.0359

Πίνακας 9.1: Παράμετροι του αρρήκτου και ρηγματωμένου βράχου θεμελίωσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

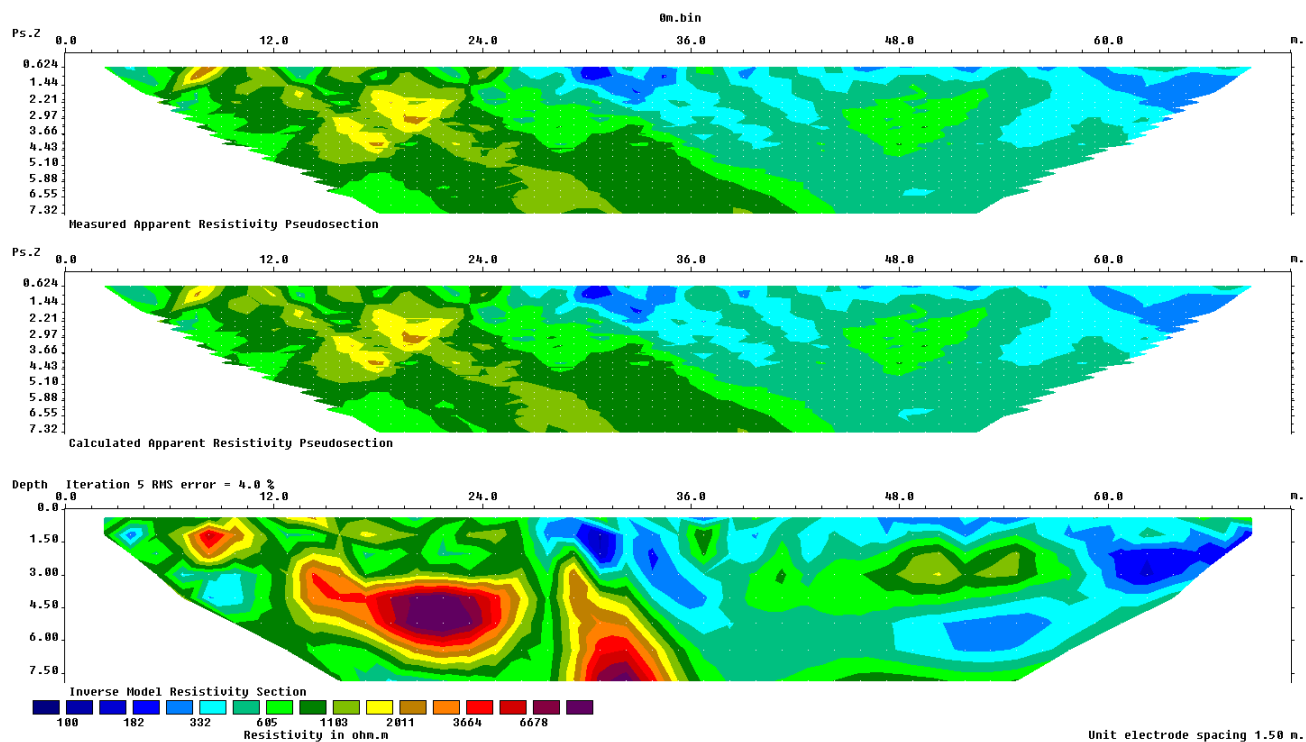
Ι) ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ '87 όλων των θέσεων της ηλεκτρικής τομογραφίας.

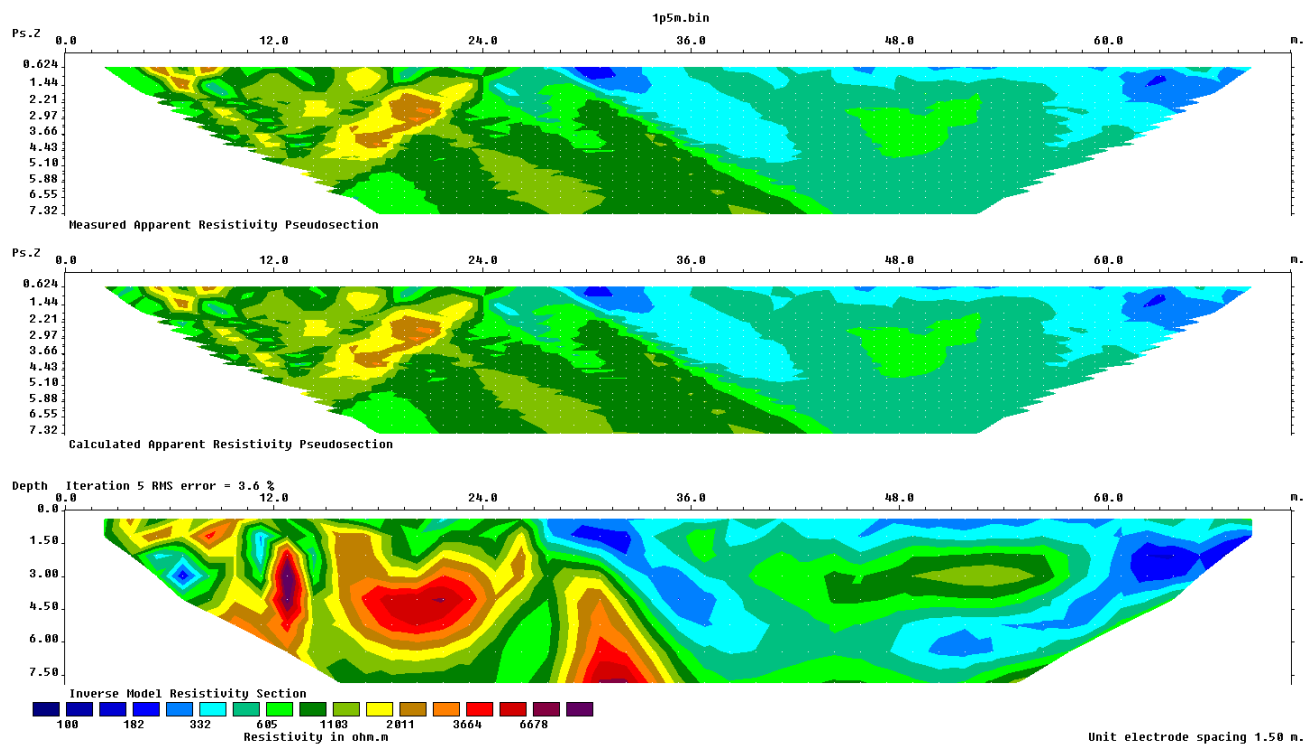
ΘΕΣΗ	Συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ '87		Υψόμετρο (m)
	X (m)	Y (m)	
Α/Γ 1	462307.310	3916697.774	605.420
	462298.390	3916701.270	604.540
	462270.782	3916639.565	622.382
	462282.443	3916635.170	623.776
Α/Γ 2	462436.051	3916424.176	639.673
	462444.047	3916430.014	639.401
	462453.172	3916436.759	639.484
	462463.951	3916443.791	639.275
ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 1	462419.891	3916561.884	613.026
	462394.919	3916583.131	614.927
	462377.778	3916596.809	618.392
	462347.074	3916618.538	622.194
	462367.073	3916604.379	619.816
Α/Γ 3	462714.441	3916228.365	646.343
	462694.535	3916226.254	648.058
	462672.522	3916221.990	650.290
	462645.614	3916215.770	652.543
	462796.073	3916197.982	656.646
Α/Γ 4	462928.175	3916204.409	647.459
	462944.001	3916204.696	647.695
	462962.480	3916205.013	646.691
	462981.411	3916205.960	645.741
	462998.446	3916207.337	645.768

A/Γ 5	463285.891	3916126.328	690.293
	463276.342	3916127.079	690.285
	463251.493	3916129.921	689.671
A/Γ 6	463669.386	3916104.536	700.374
	463653.962	3916105.492	699.713
	463625.997	3916107.325	698.269
	463599.562	3916108.554	696.746
ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 2	462844.556	3916182.937	647.899
	462832.516	3916191.753	653.223
	462821.119	3916199.925	657.471
	462811.663	3916206.729	659.837
	462802.501	3916214.383	660.557
	462794.645	3916221.348	660.926
	462790.735	3916224.786	661.177

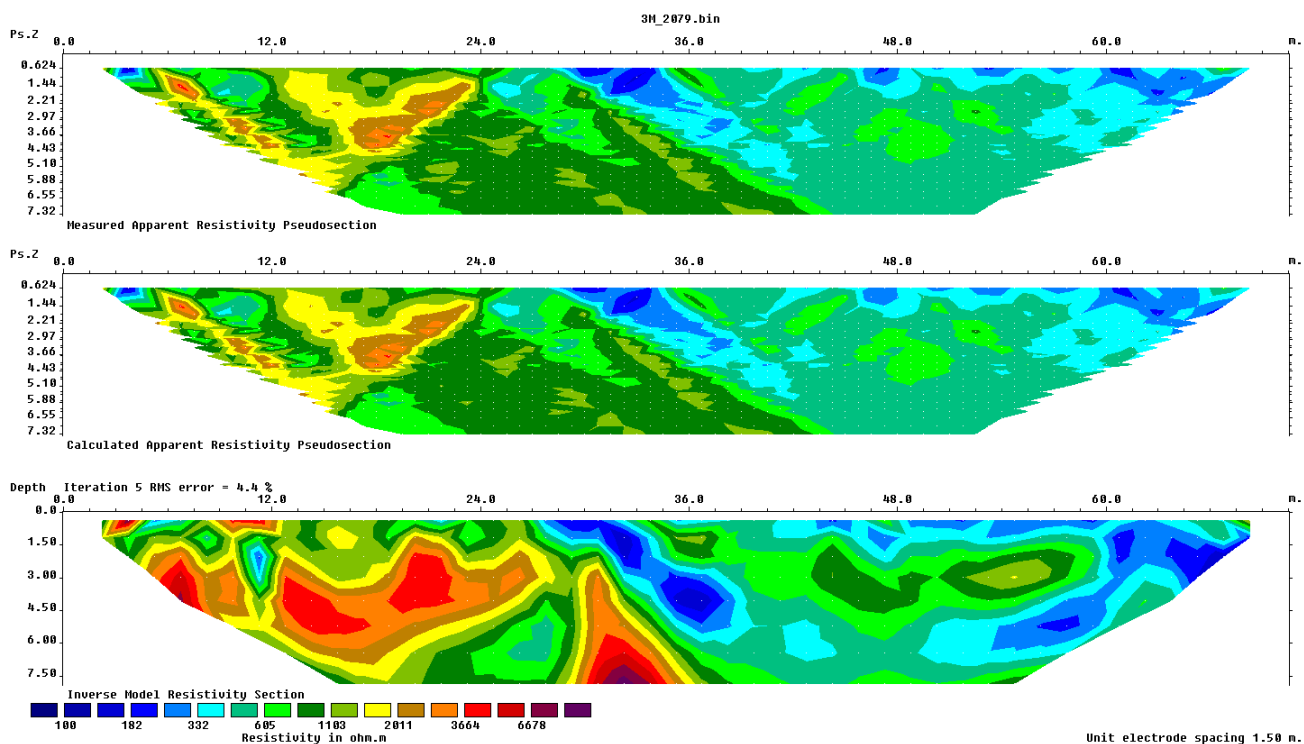
**Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης:
A/G 1 (8 γραμμές)**



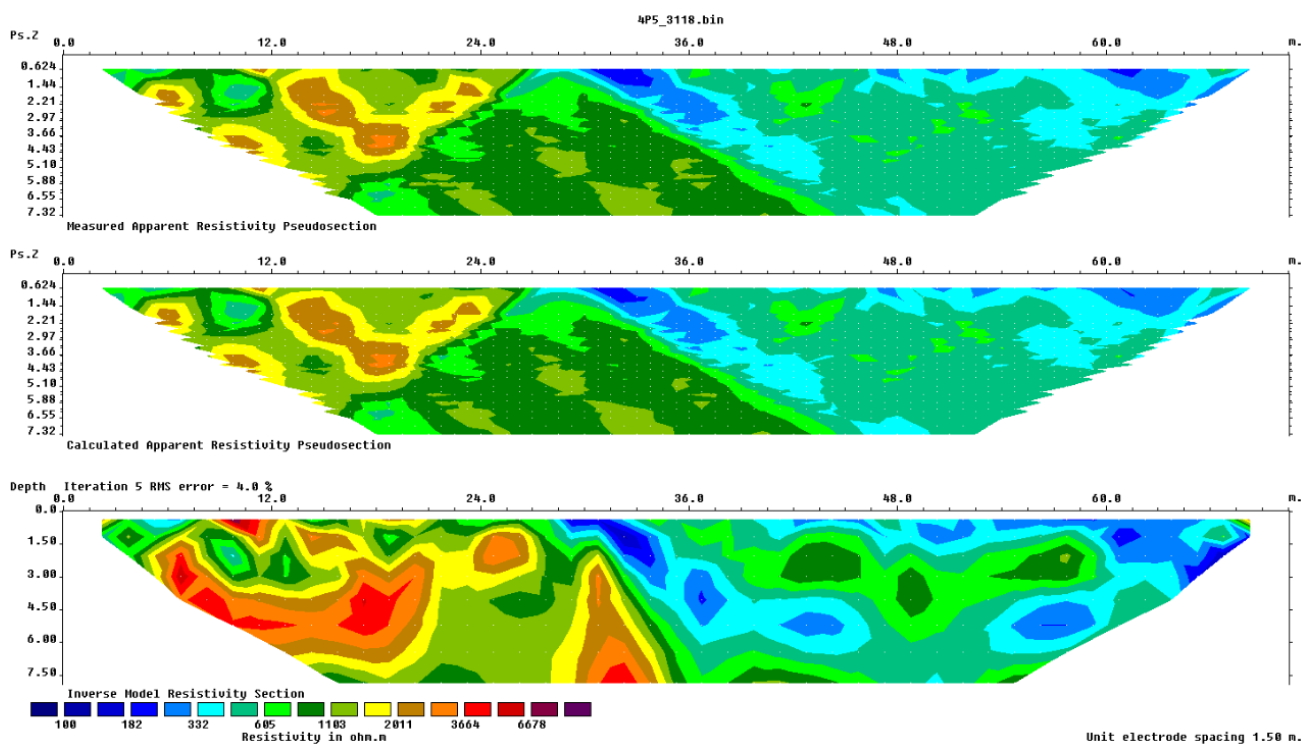
Σχήμα 1.1: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 1^{ης} γραμμής μελέτης συναρτήσει του βάθους στα 0m.



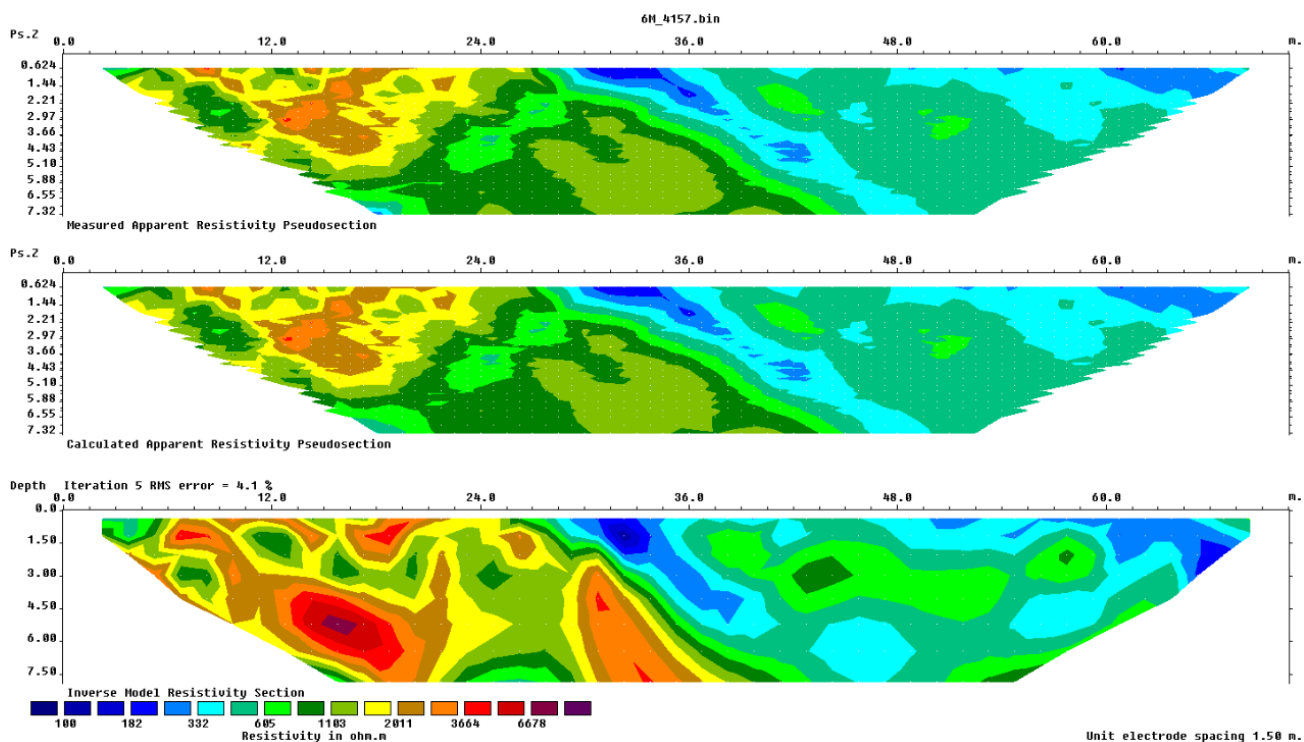
Σχήμα 1.2: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 2^{ης} γραμμής μελέτης συναρτήσει του βάθους στο 1,5m.



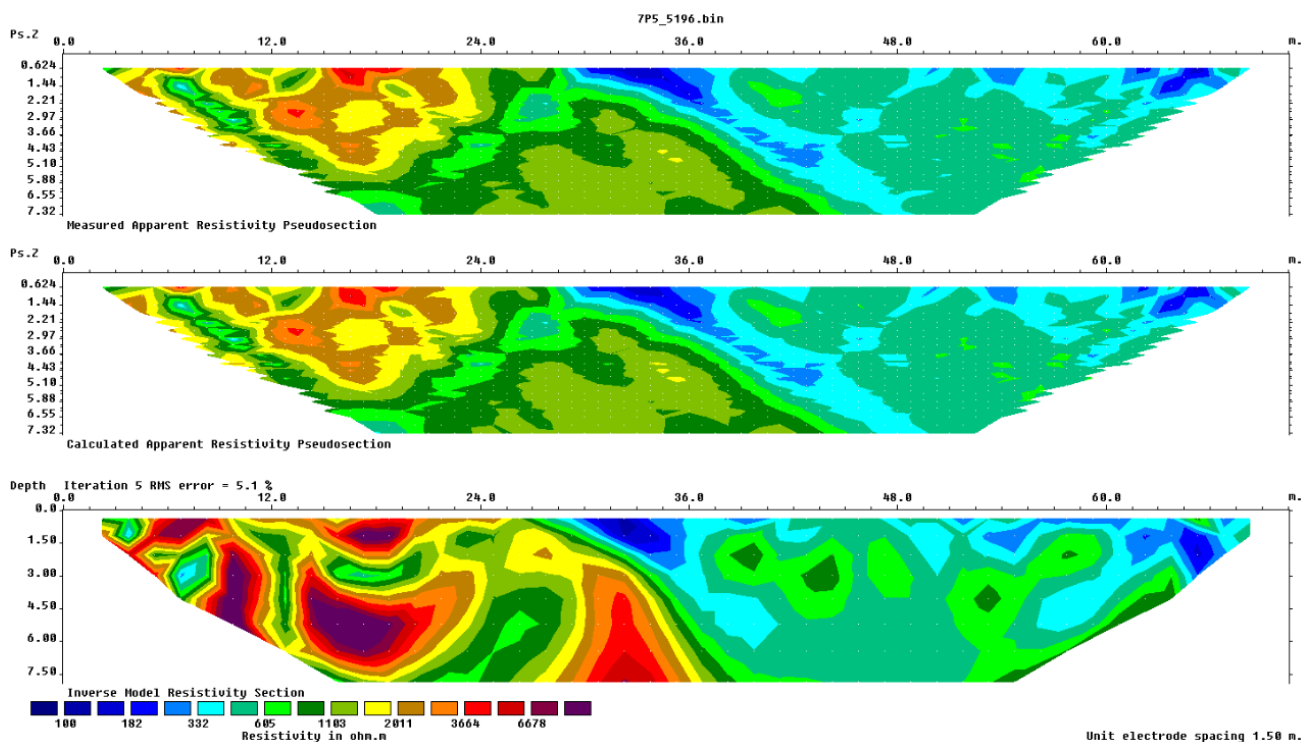
Σχήμα 1.3: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 3^{ης} γραμμής μελέτης συναρτήσει του βάθους στα 3m.



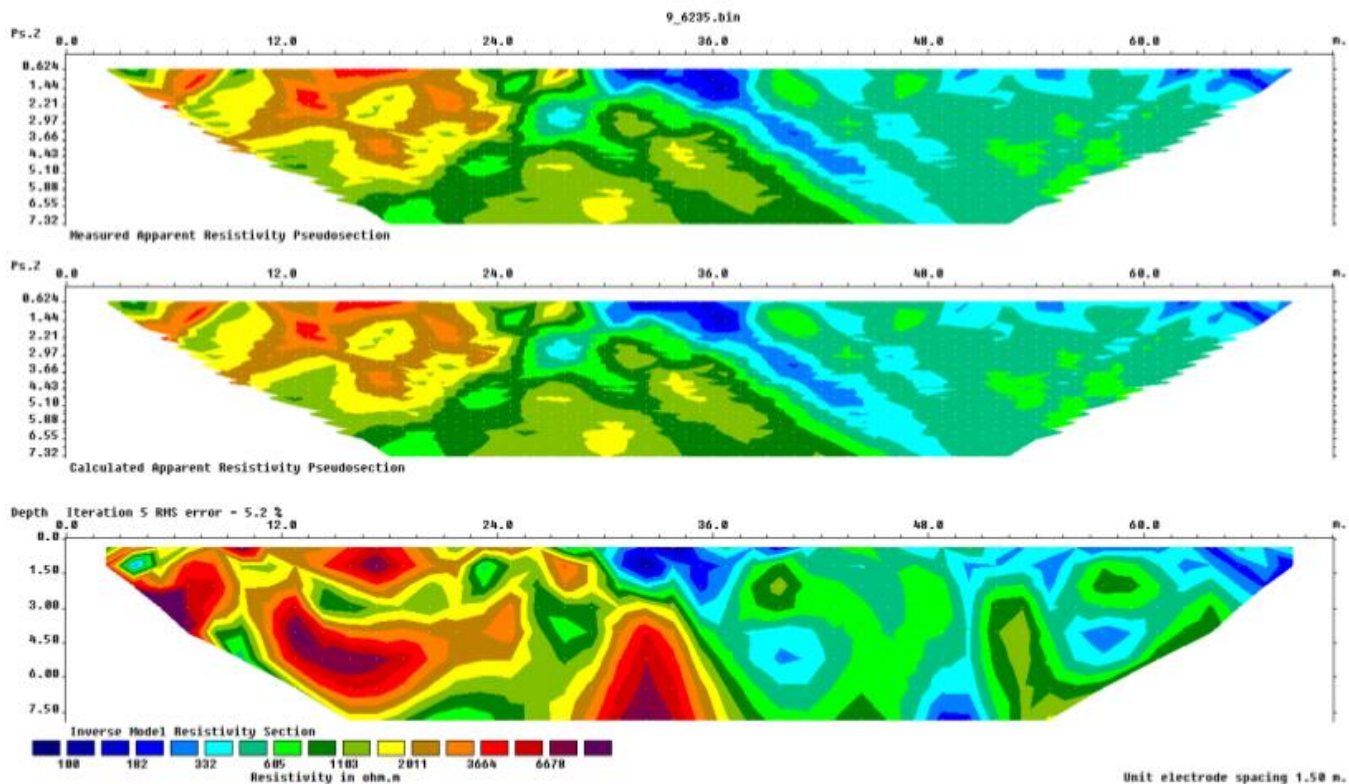
Σχήμα 1.4: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 4^{ης} γραμμής μελέτης συναρτήσει του βάθους στα 4,5m.



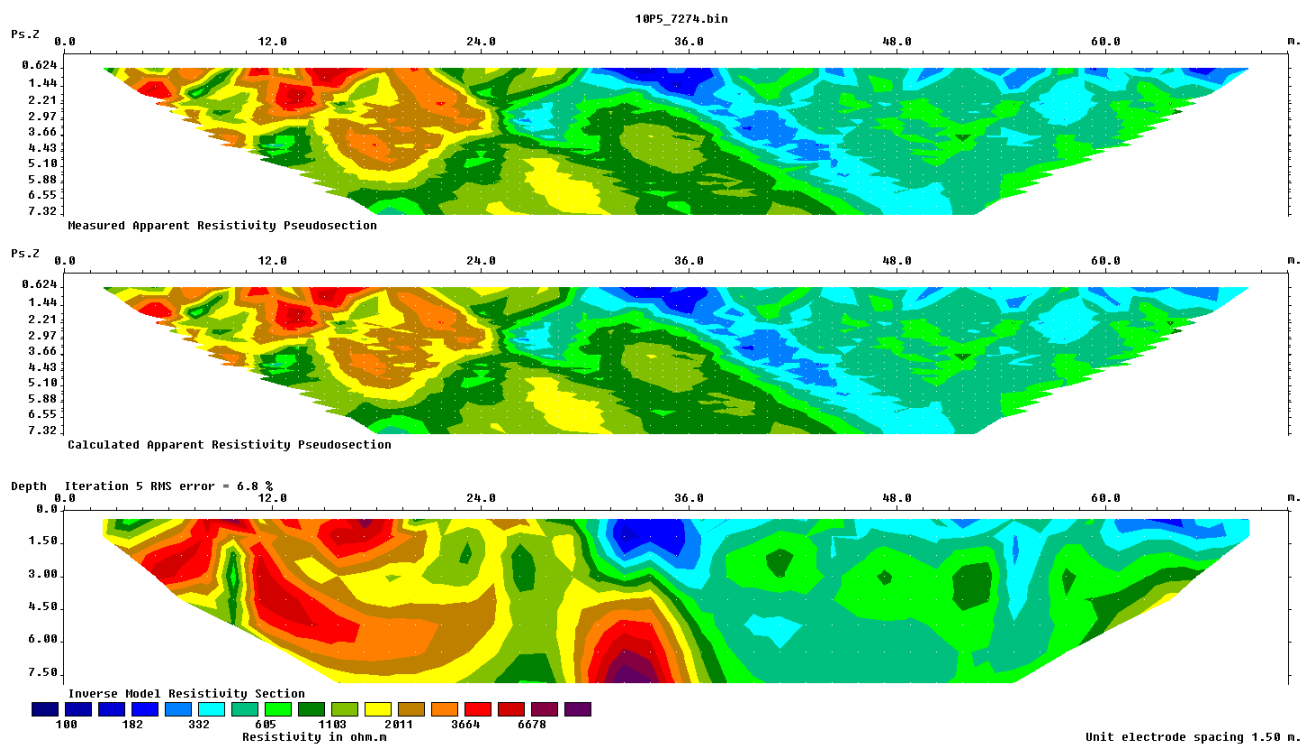
Σχήμα 1.5: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 5^{ης} γραμμής μελέτης συναρτήσει του βάθους στα 6m.



Σχήμα 1.6: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 6^{ης} γραμμής μελέτης συναρτήσει του βάθους στα 7,5m.

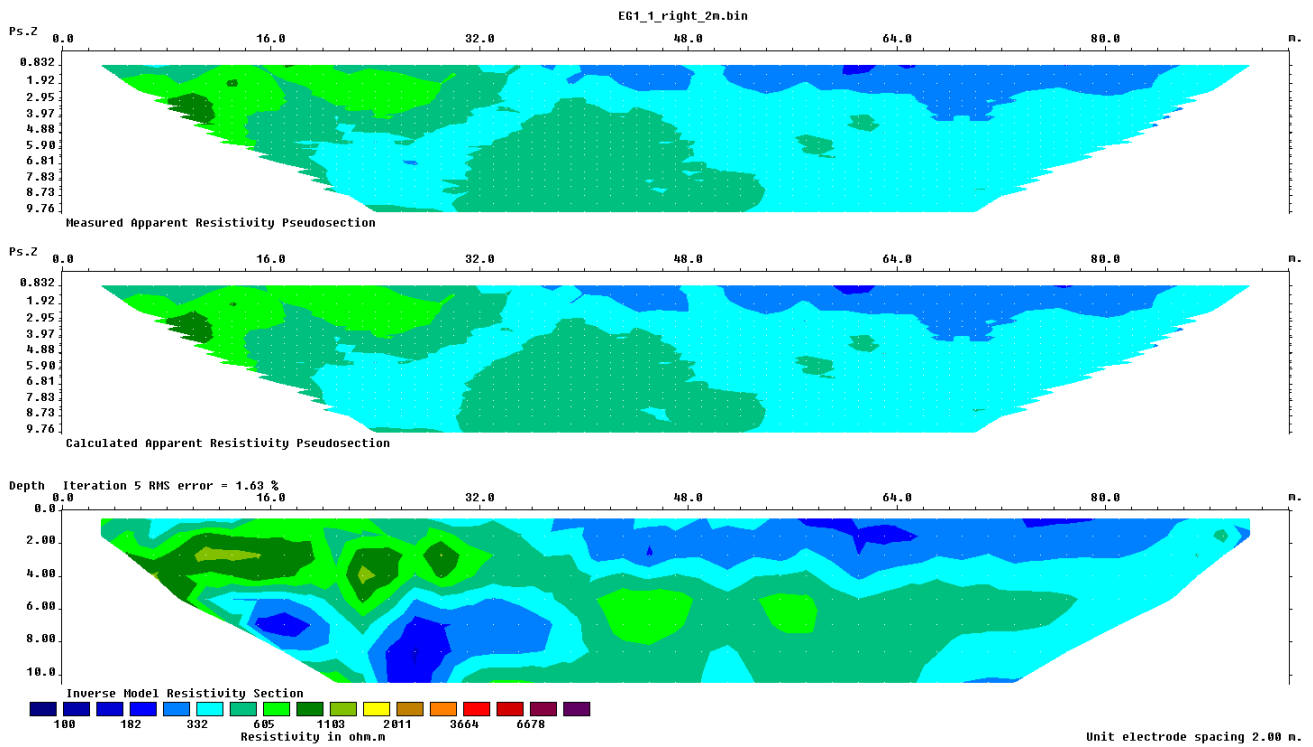


Σχήμα 1.7: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 7^{ης} γραμμής μελέτης συναρτήσει του βάθους στα 9m.



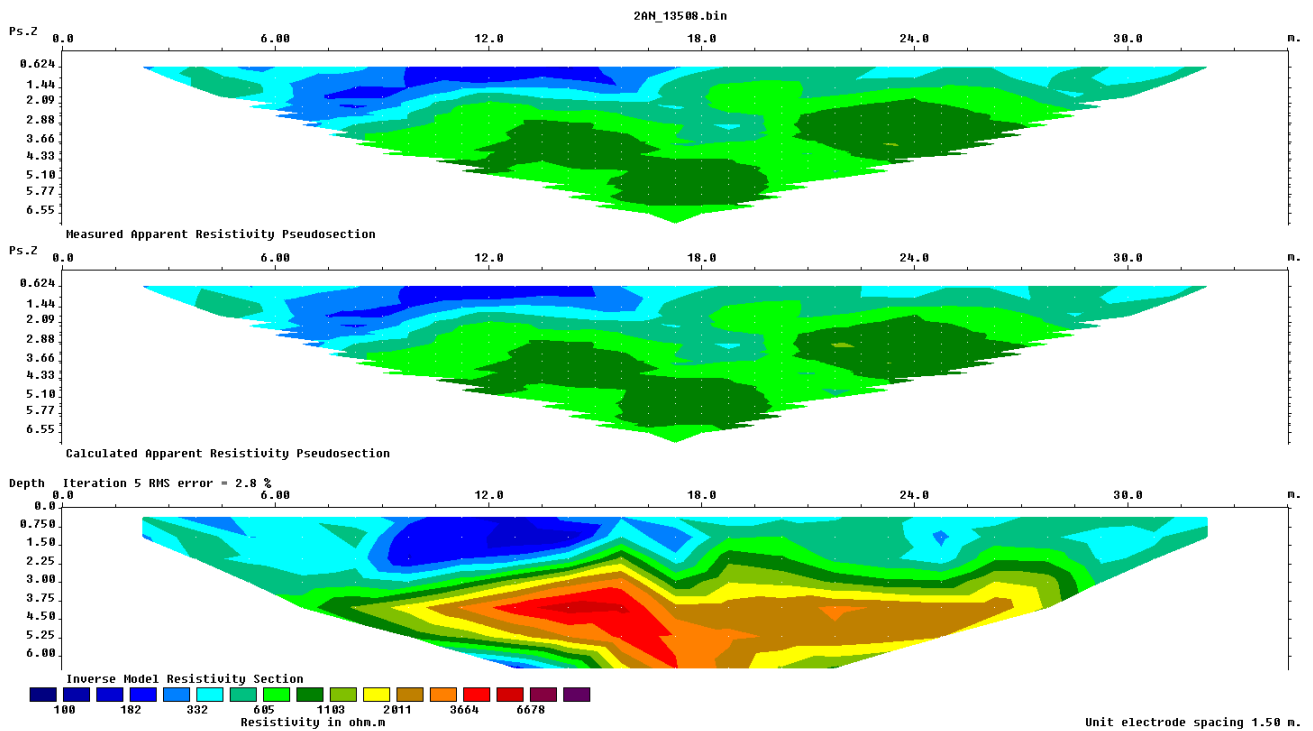
Σχήμα 1.8: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 8^{ης} γραμμής μελέτης συναρτήσει του βάθους στα 9m.

ΕΓΚΑΤ 1



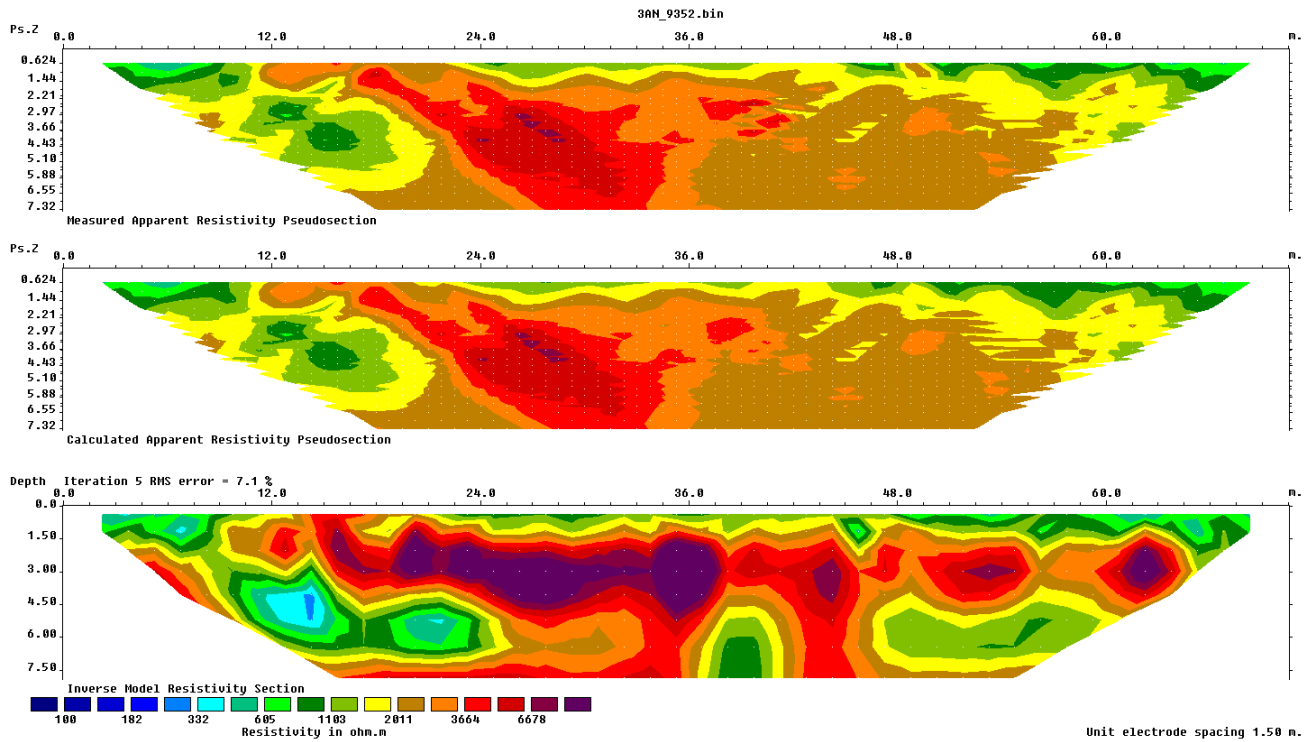
Σχήμα 1.9: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την θέση ΕΓΚΑΤ 1.

Α/Γ 2



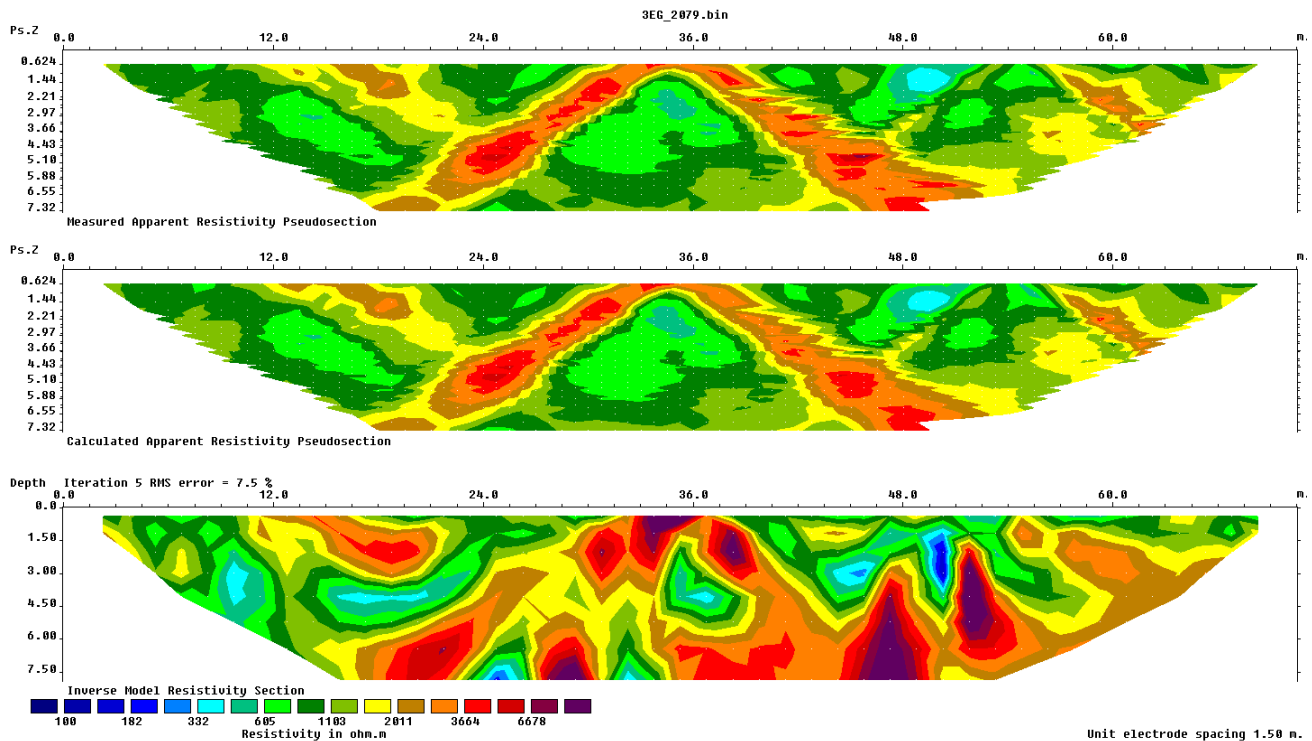
Σχήμα 1.10: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την θέση Α/Γ 2.

A/Γ 3

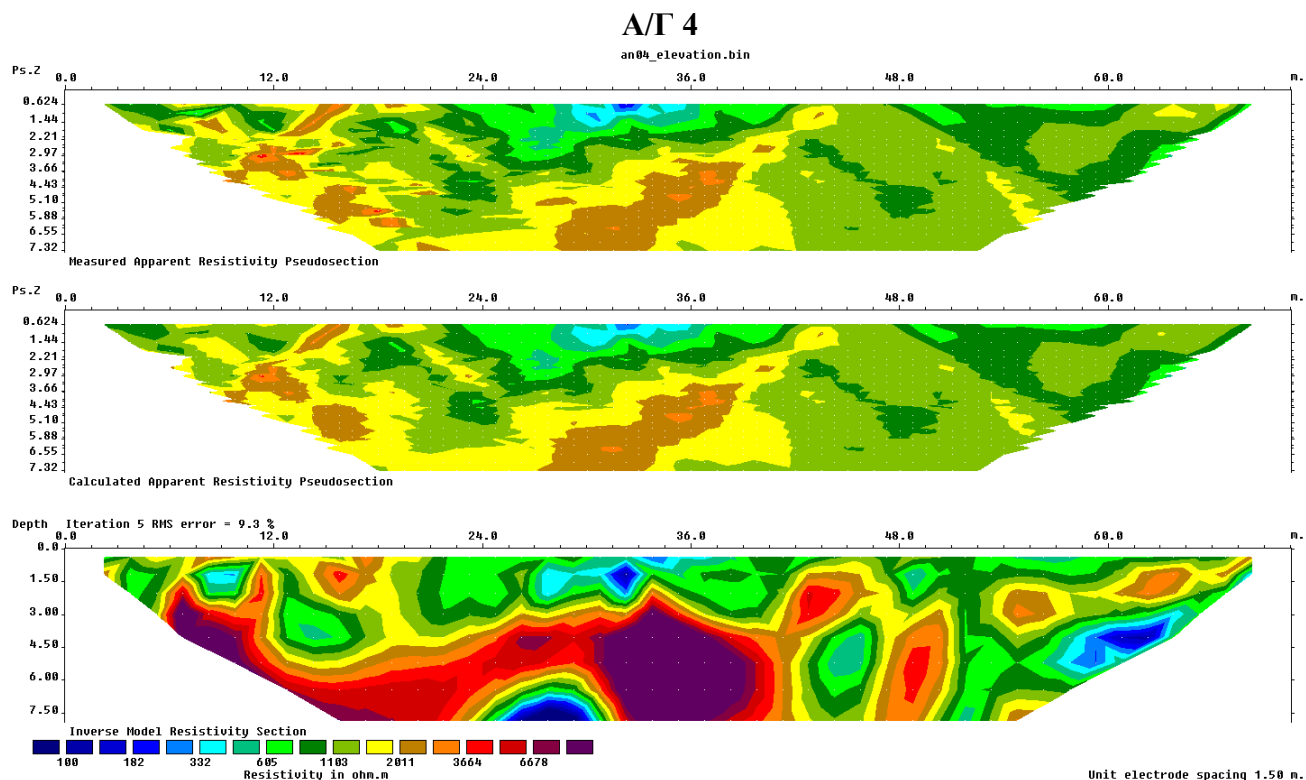


Σχήμα 1.11: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την θέση A/Γ 3.

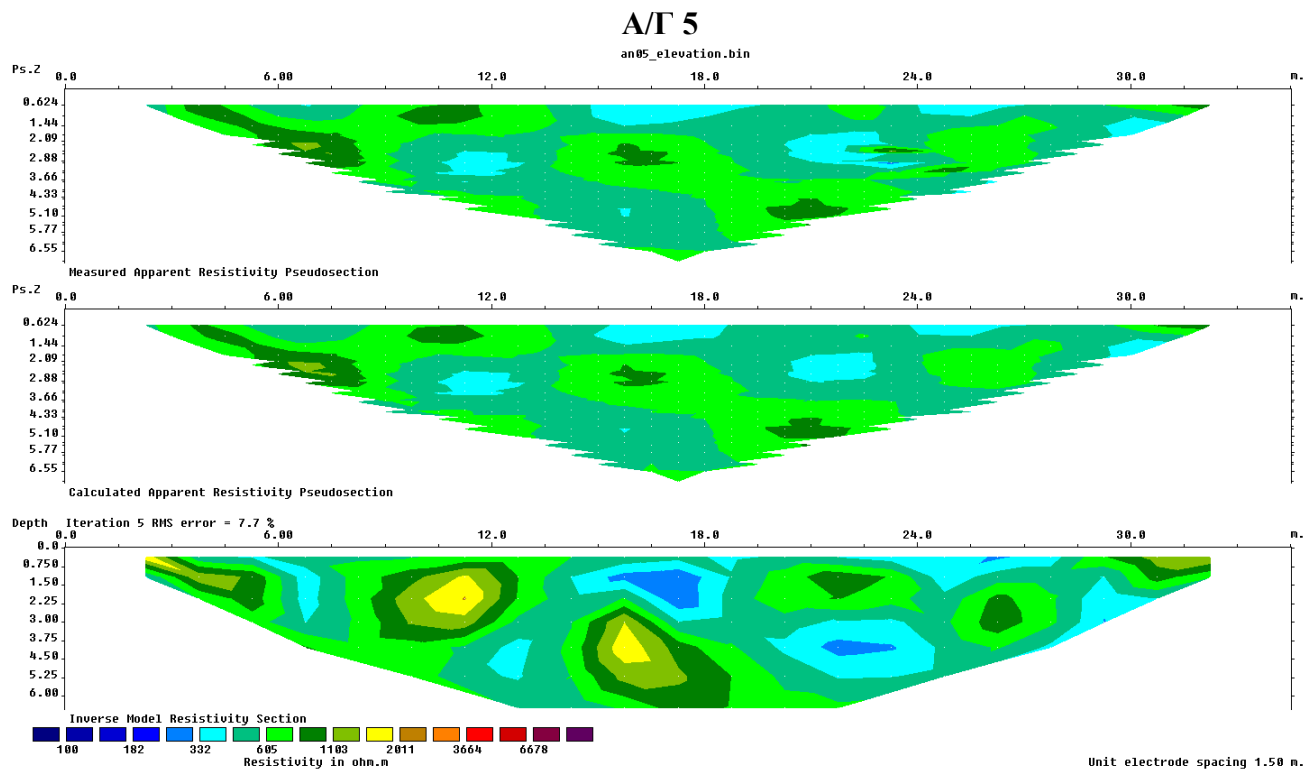
ΕΓΚΑΤ 2



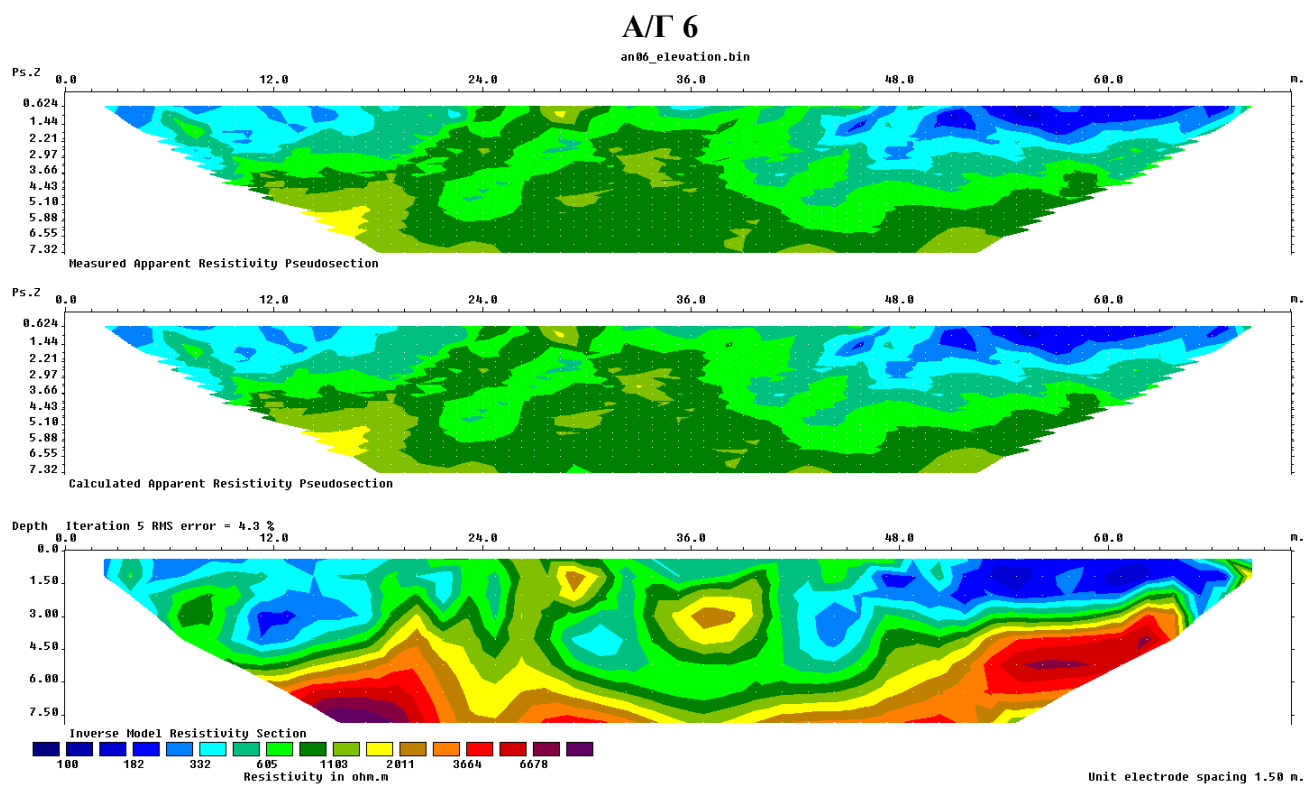
Σχήμα 1.12: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την θέση ΕΓΚΑΤ 2.



Σχήμα 1.13: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την θέση A/Γ 4.



Σχήμα 1.14: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την θέση A/Γ 5.



Σχήμα 1.15: Γεωηλεκτρικές τομές κατανομής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την θέση A/Γ 6 .

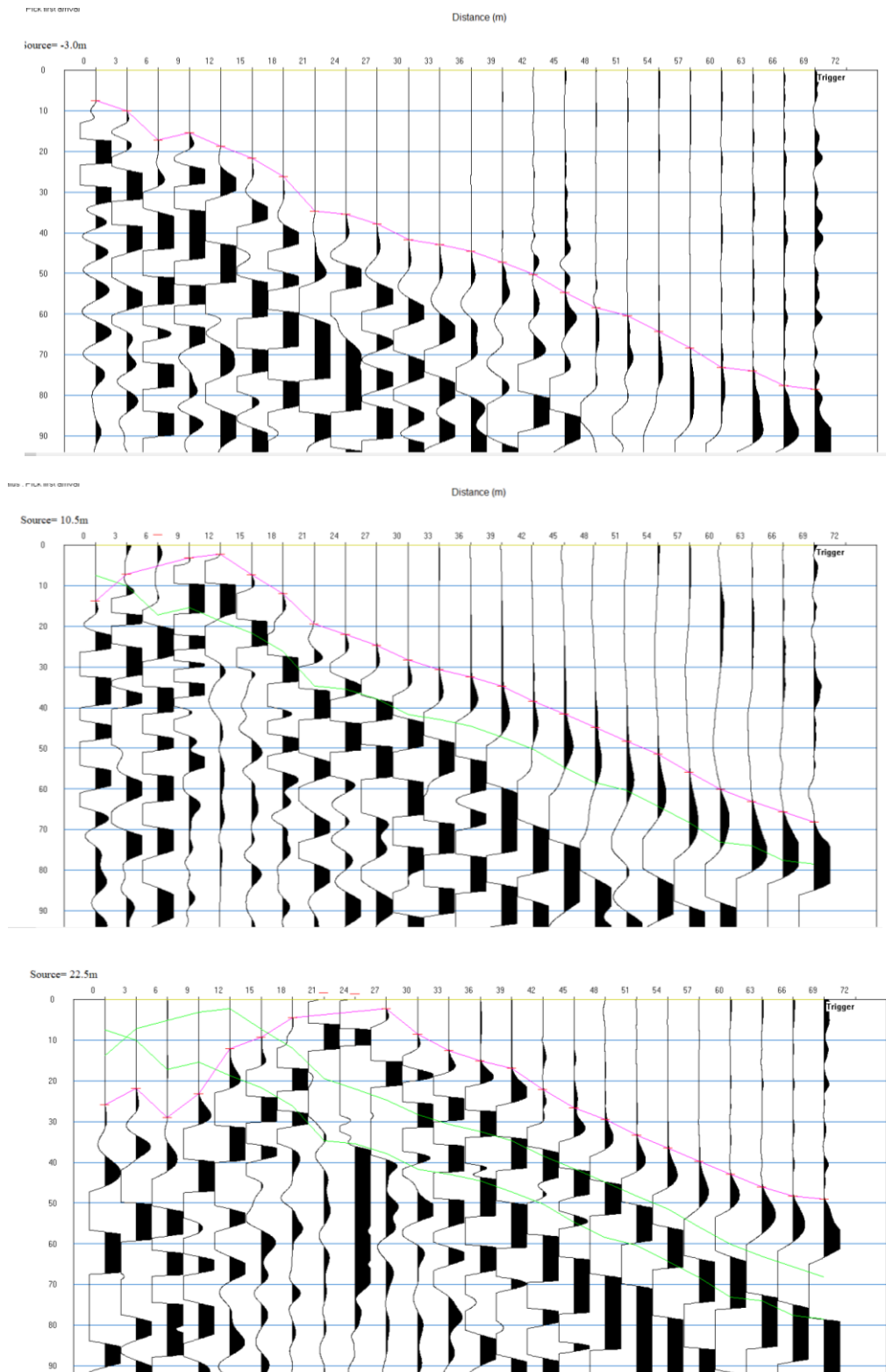
Συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ '87 όλων των επιλεγμένων θέσεων της σεισμικής τομογραφίας.

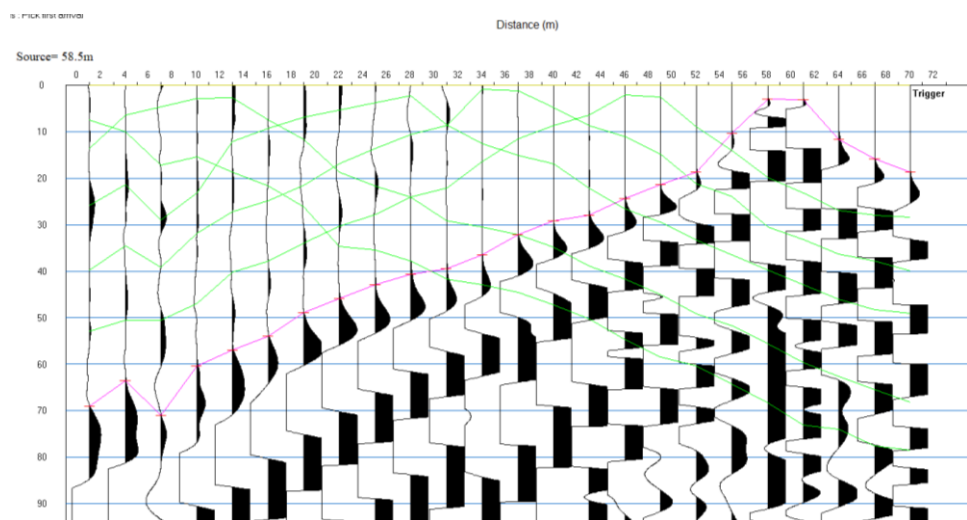
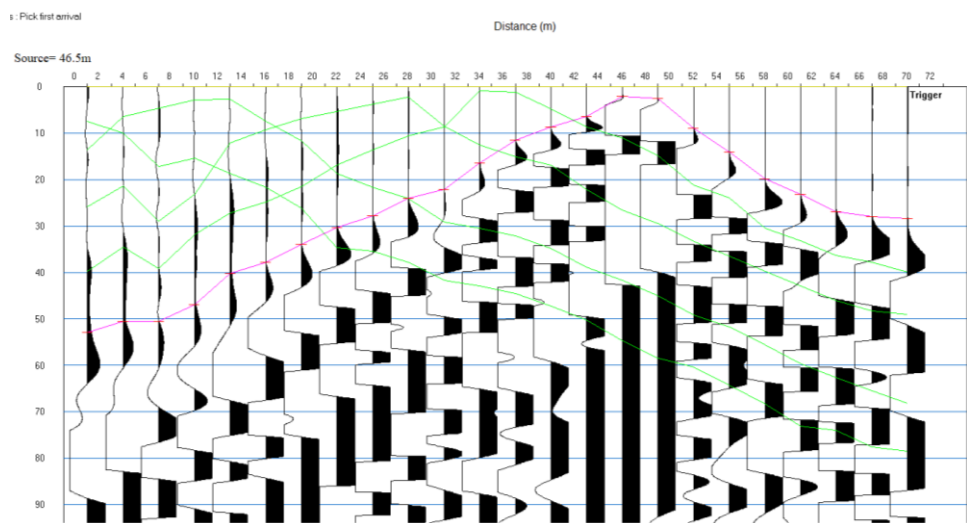
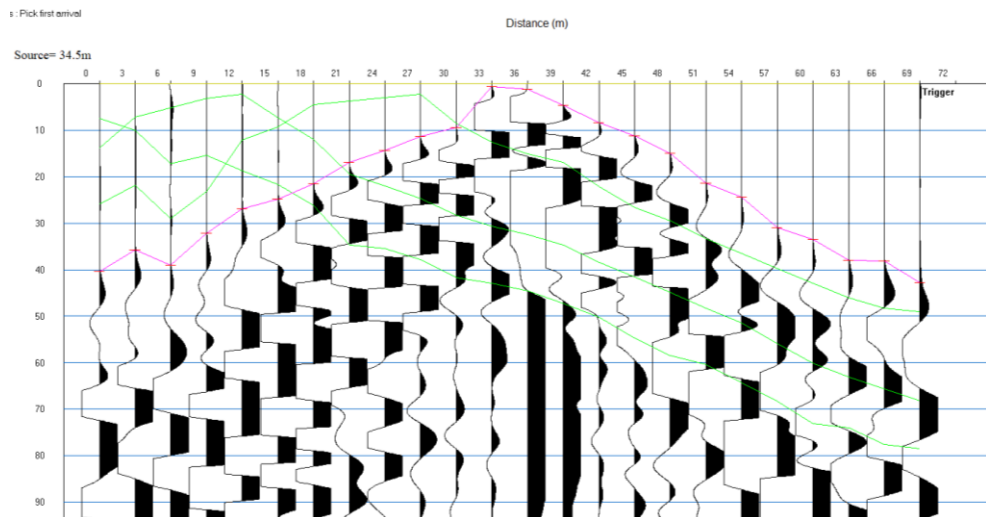
ΘΕΣΗ	Συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ '87		Υψόμετρο (m)
	X (m)	Y (m)	
Α/Γ 1	462278.690	3916635.726	623.777
	462280.413	3916641.307	623.083
	462287.025	3916662.997	615.527
	462294.071	3916684.852	608.580
	462298.649	3916699.568	604.941
Α/Γ 5	Ίδιες με της ηλεκτρικής. Τομογραφίας (βλέπε παραπάνω Πίνακα)		
Α/Γ 6	463608.962	3916107.953	697.351
	463621.185	3916107.591	698.155
	463634.629	3916107.037	698.828
	463654.787	3916105.550	699.833
ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 1	462356.547	916612.122	621.715
	462360.621	3916609.110	621.129
	462367.141	3916604.127	619.978
	462380.412	3916593.746	618.064
	462389.267	3916586.884	616.018
	462399.965	3916578.726	614.423
	462411.324	3916569.723	613.999
ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 2	462781.723	3916221.609	659.305
	462794.338	3916213.814	659.503
	462807.222	3916206.380	659.420
	462817.174	3916200.670	658.309
	462829.890	3916192.906	653.718
	462834.513	3916190.052	651.898
	462839.568	3916187.167	650.068

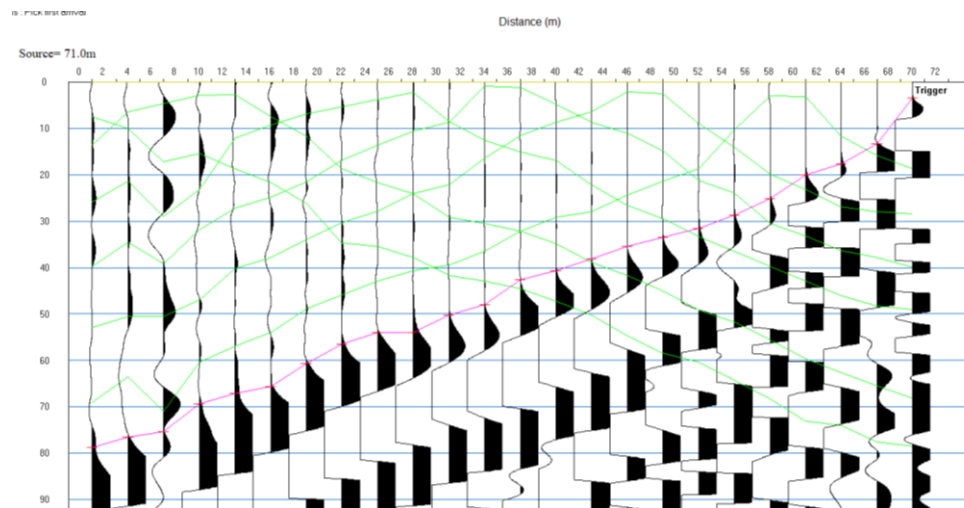
Σεισμική Διάθλαση

- Δρομοχρονικά διαγράμματα

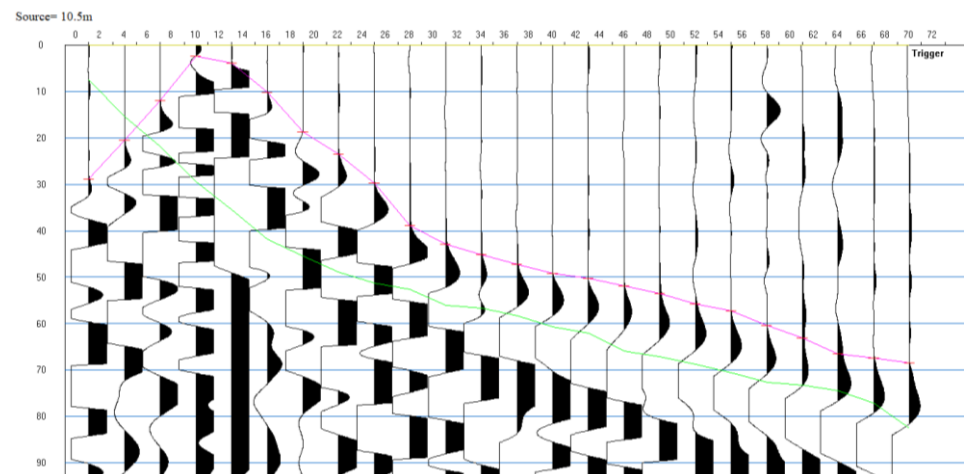
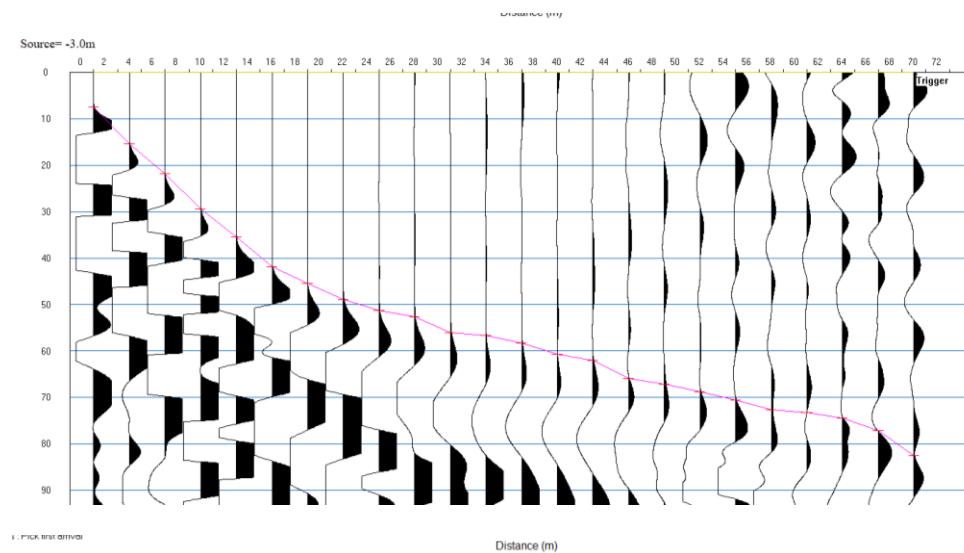
A/G 1 (Καταγραφές από 101 έως 107)

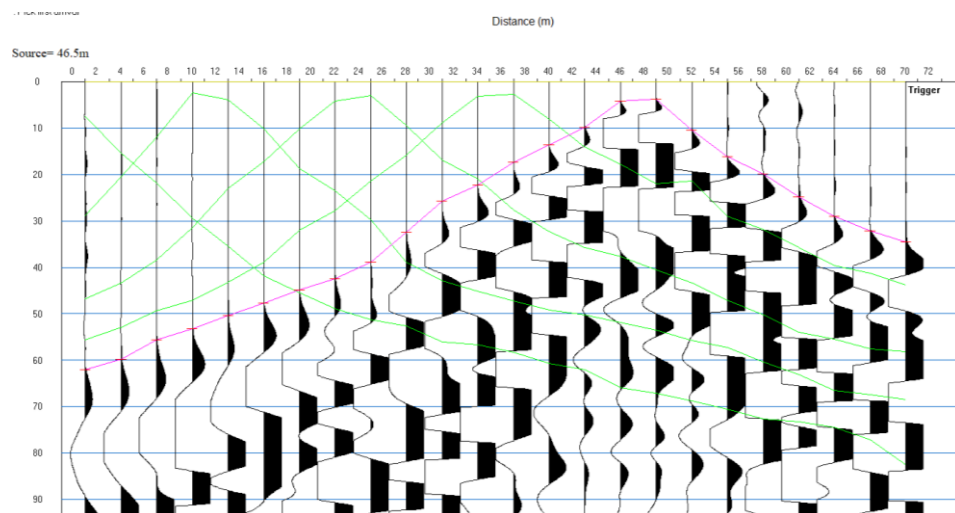
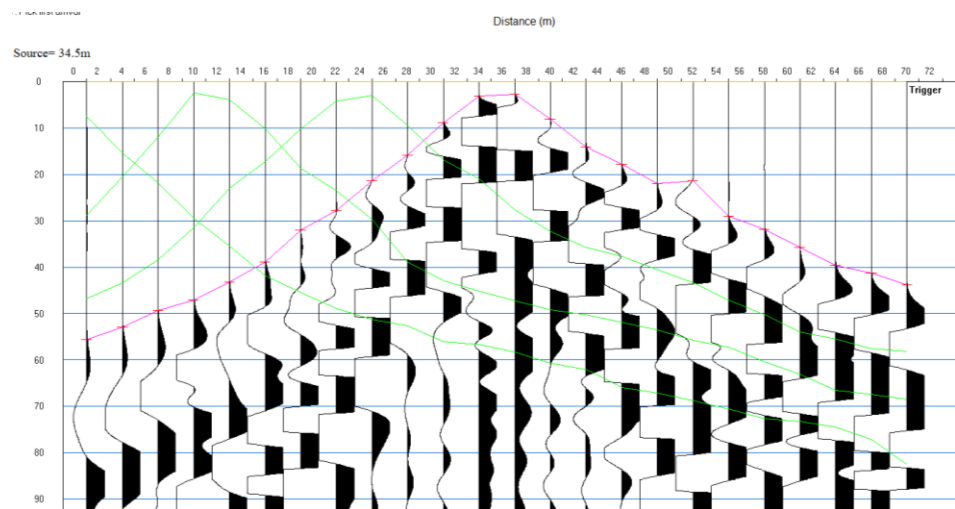
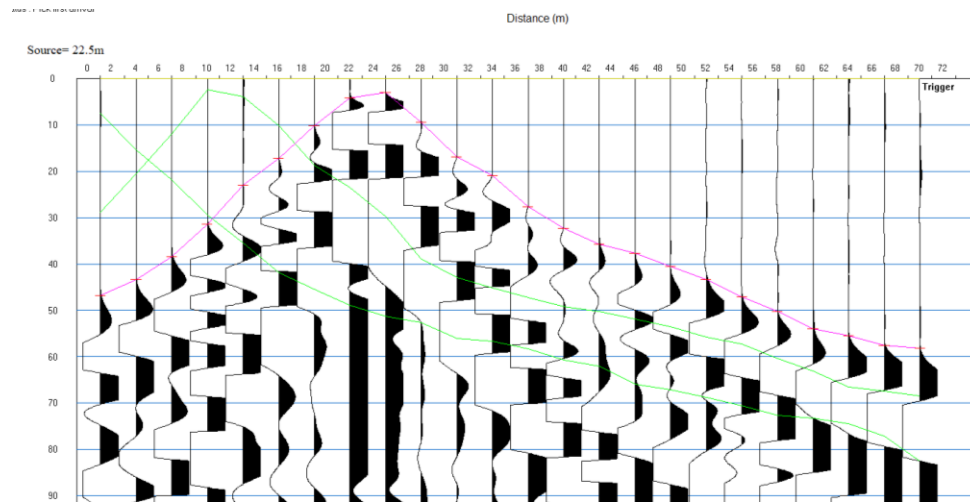


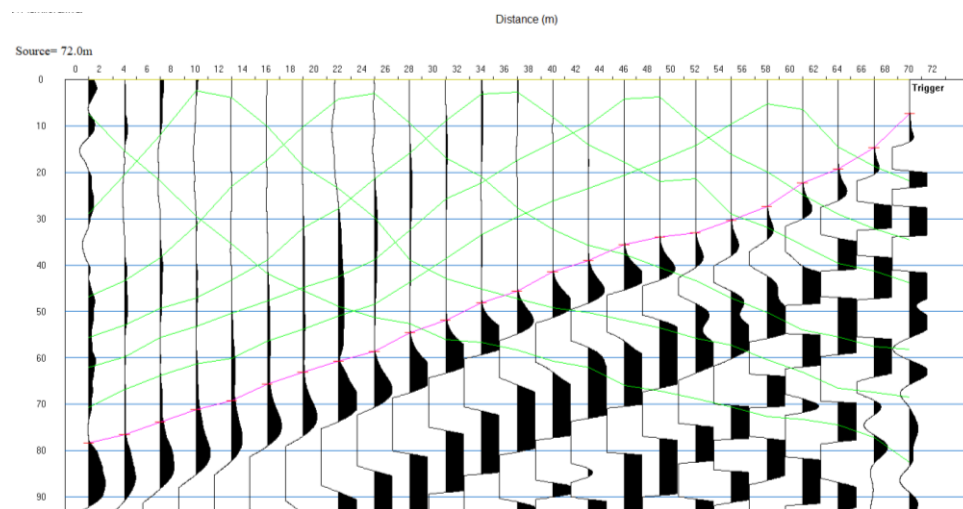
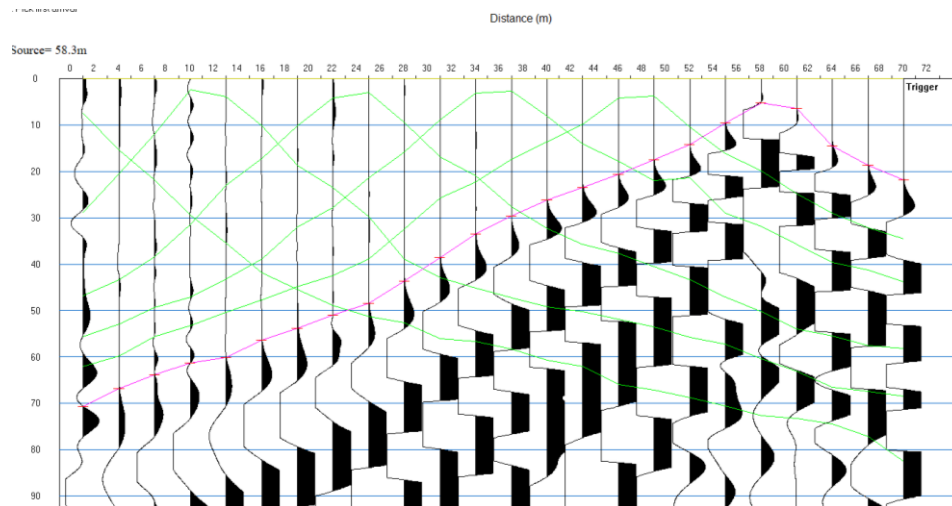




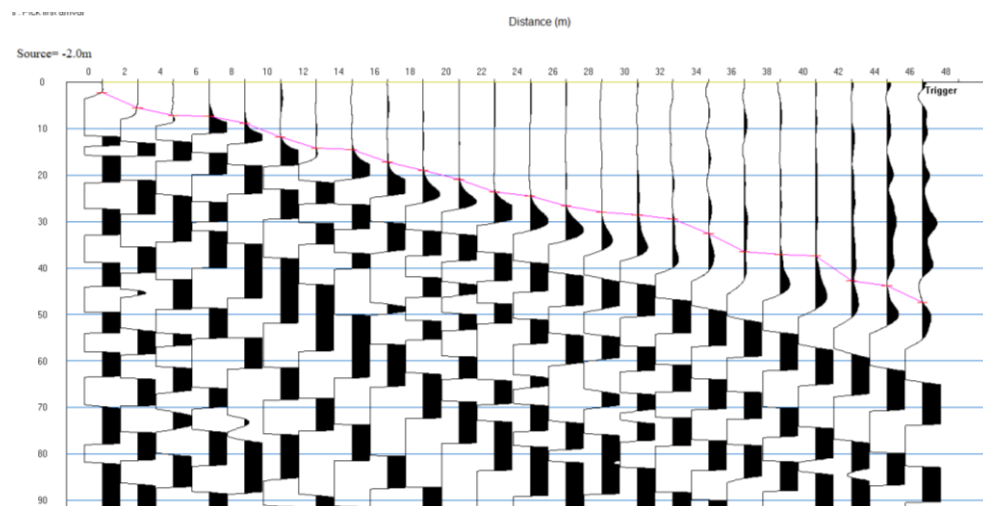
ΕΓΚΑΤ 1 (Καταγραφές από 201 έως 207)

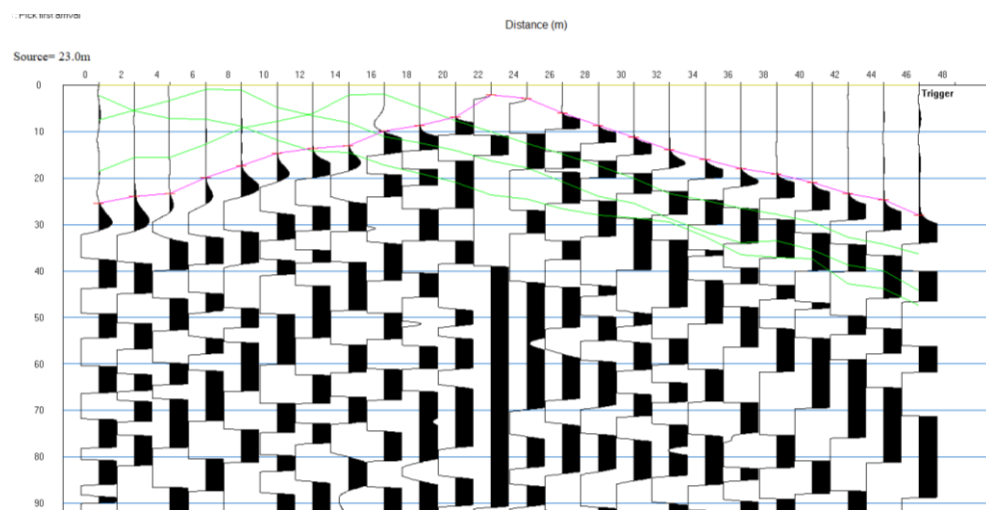
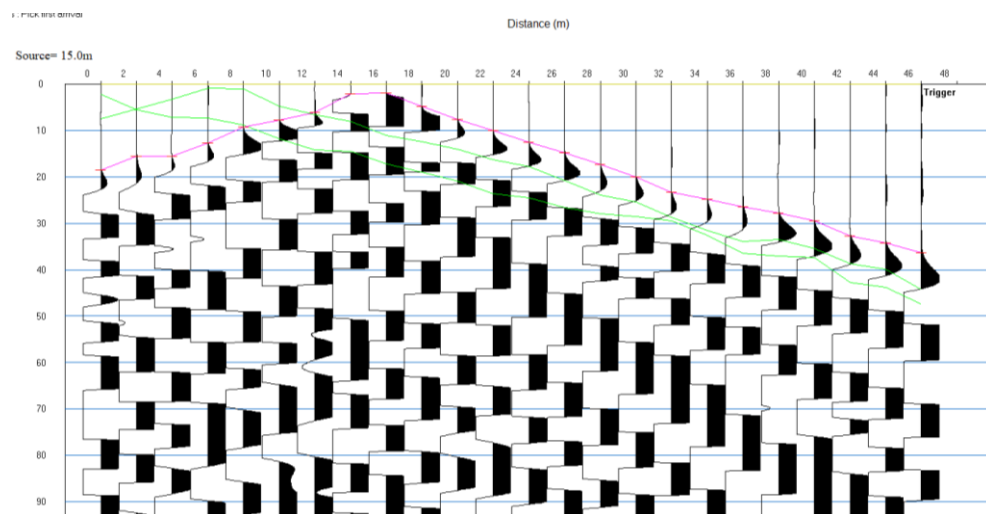
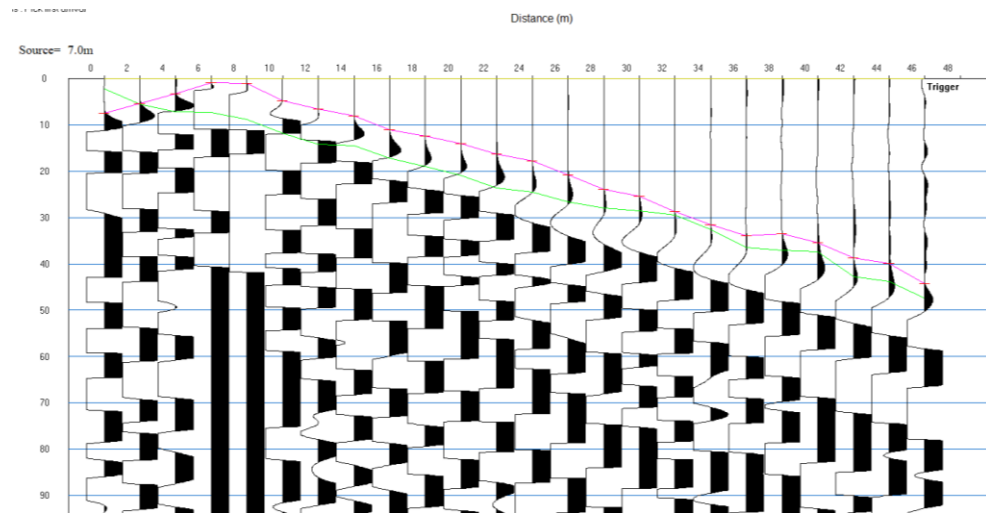


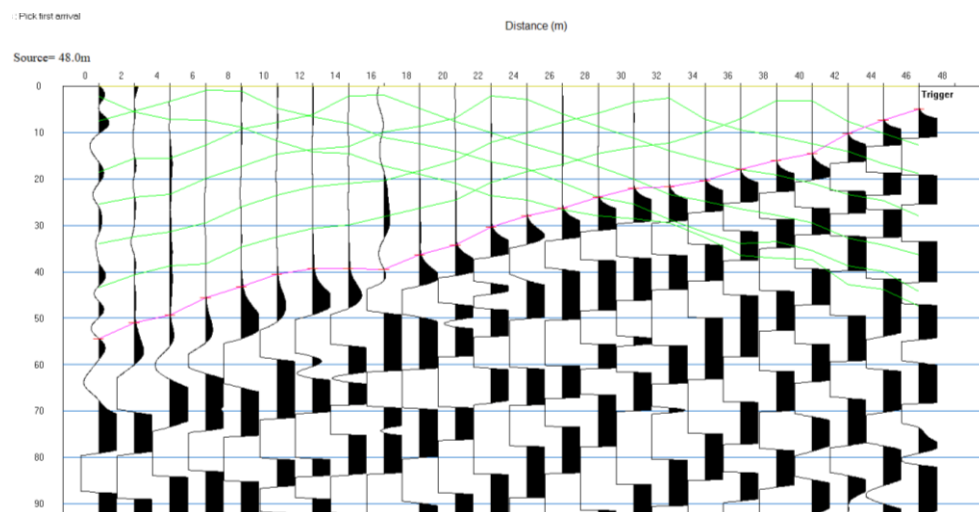
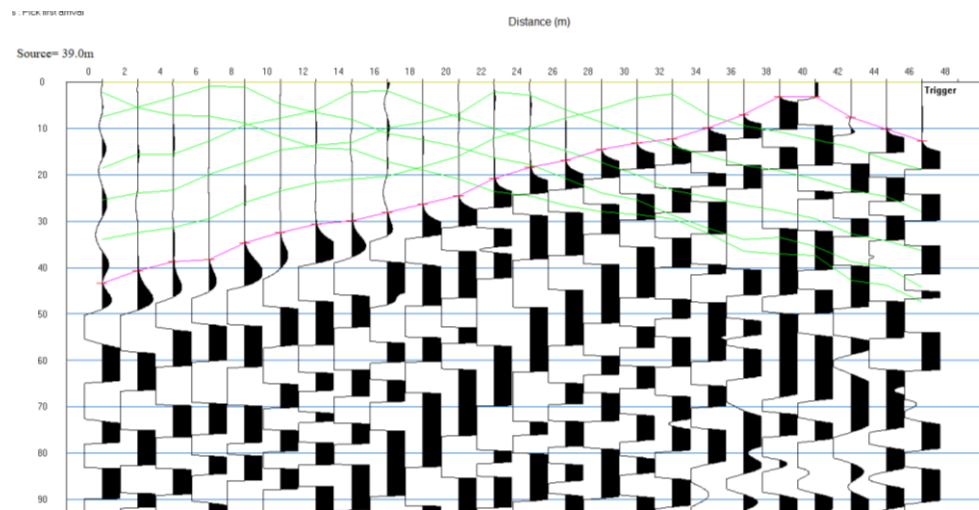
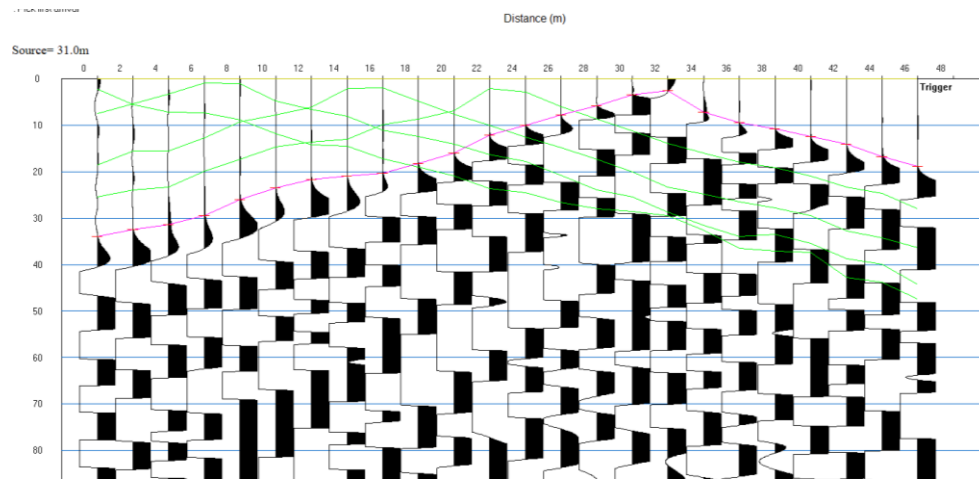




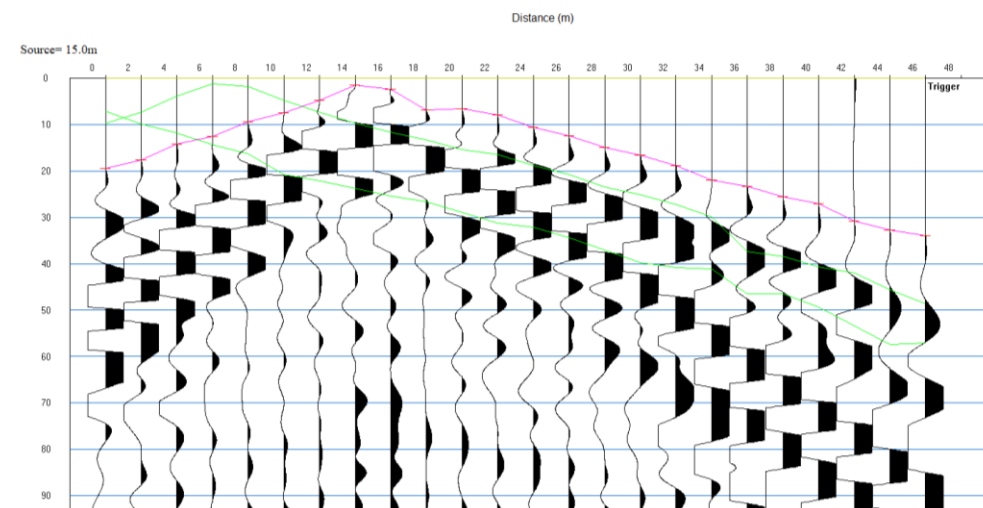
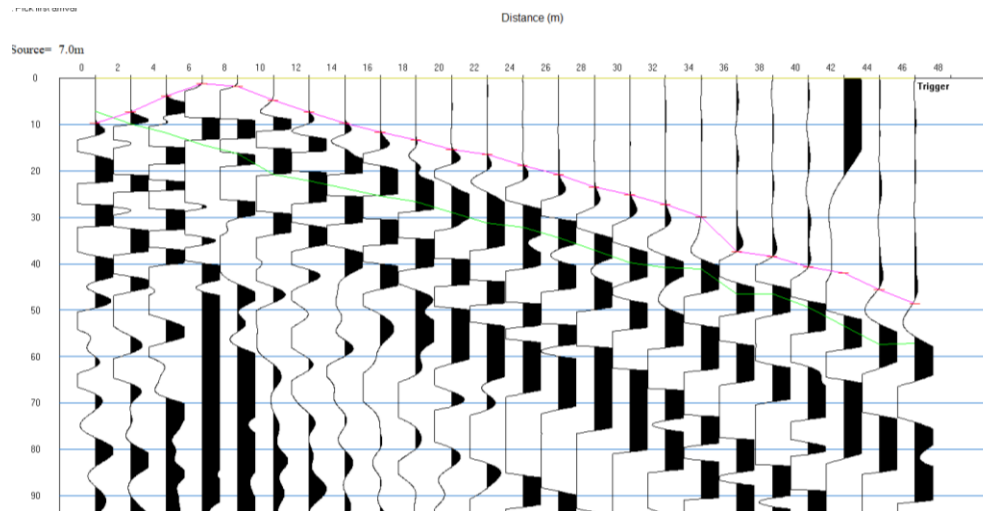
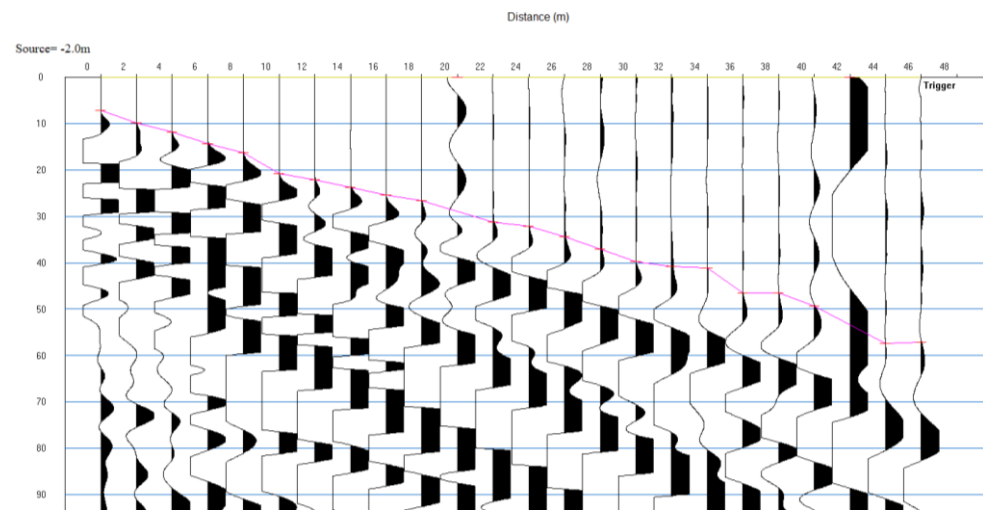
A/G 5 (Καταγραφές από 301 έως 307)

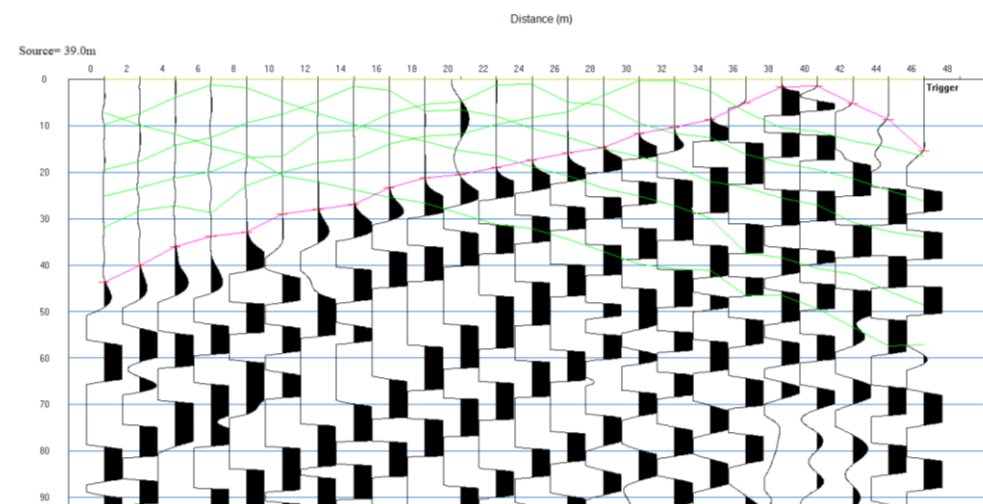
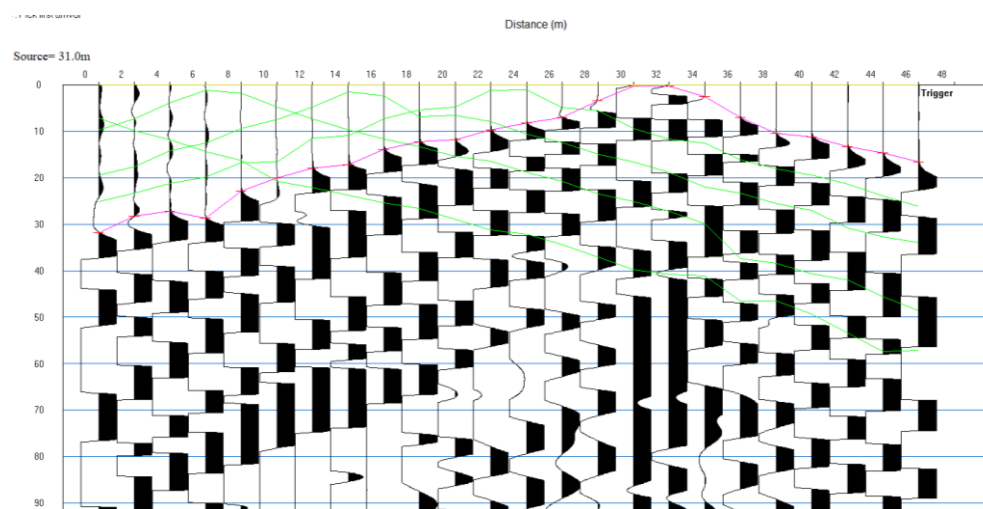
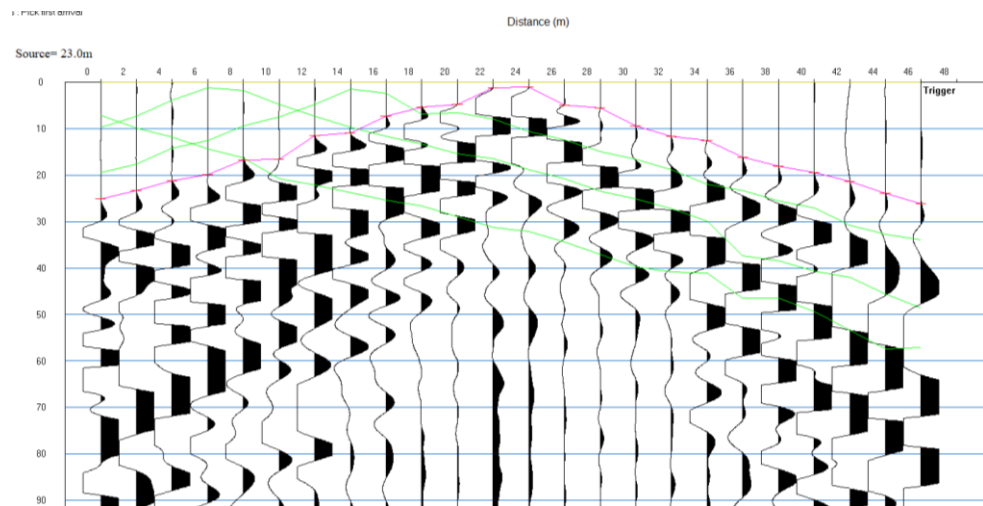


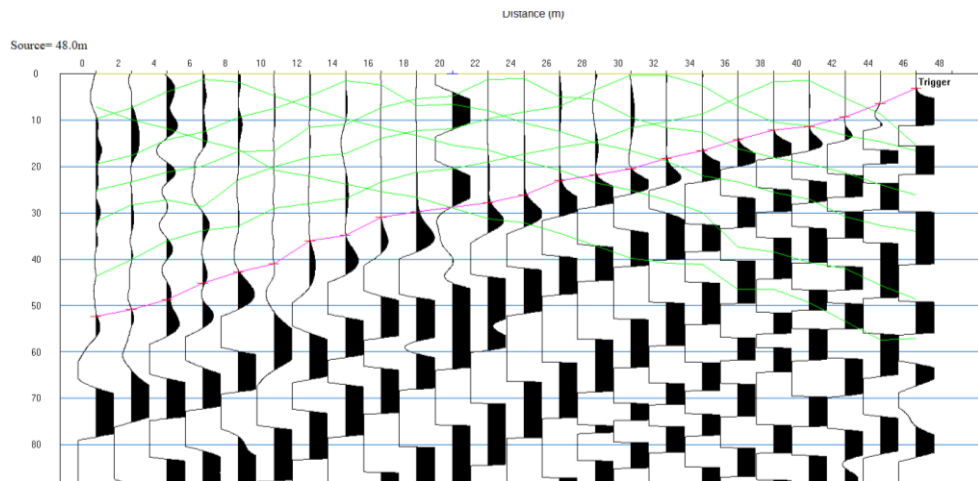




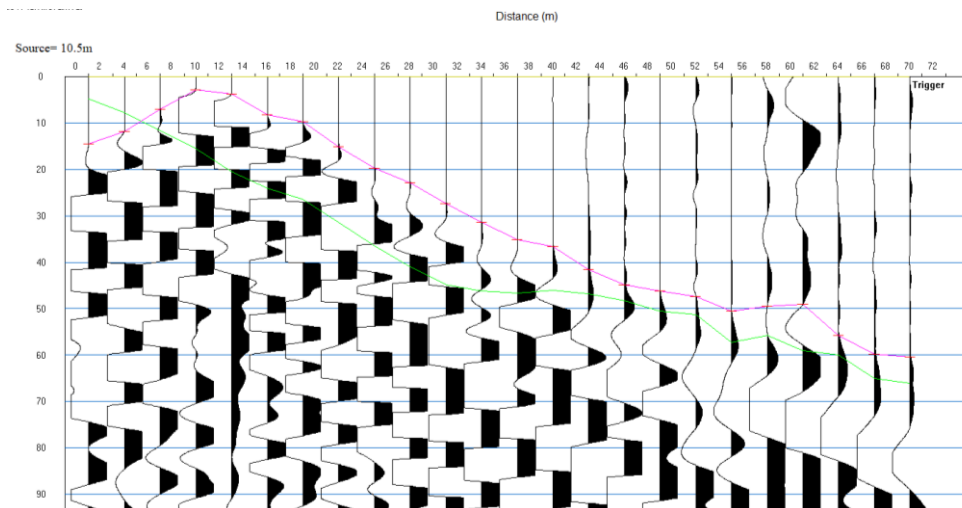
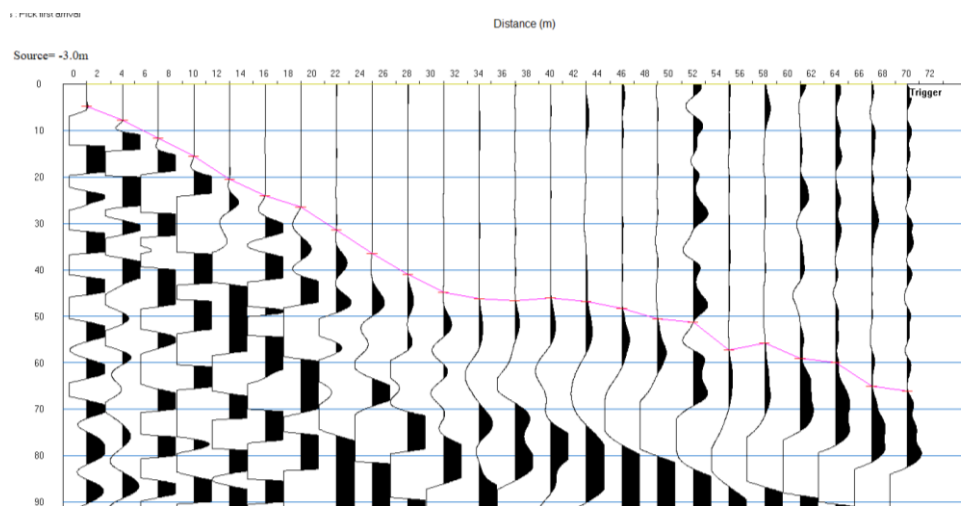
A/G 6 (Καταγραφές από 401 έως 407)

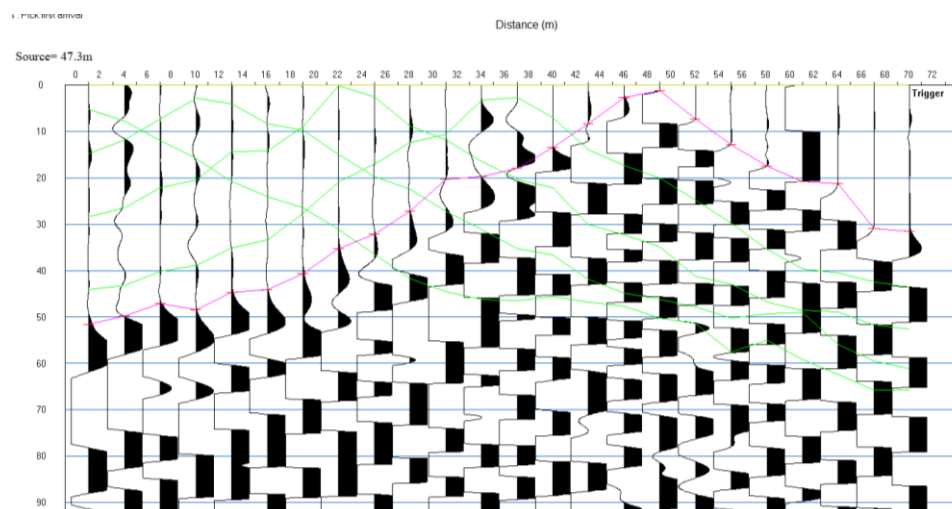
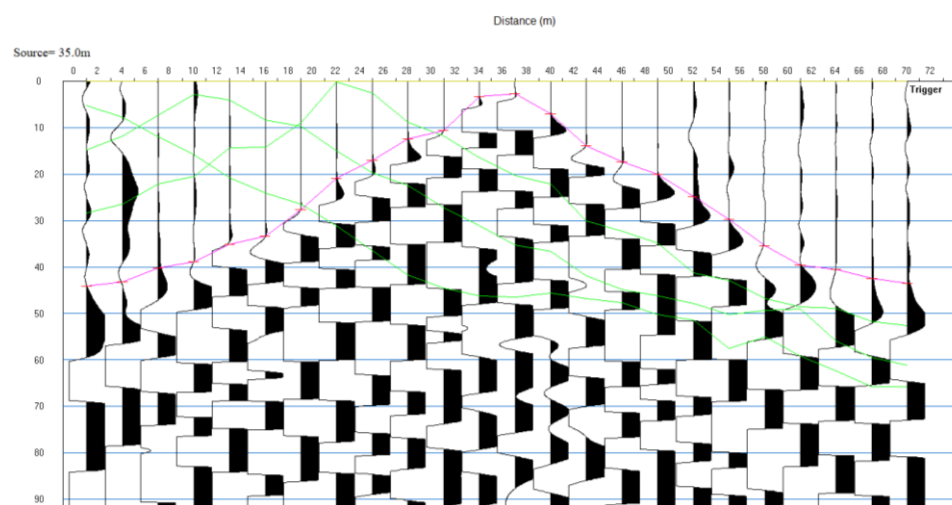
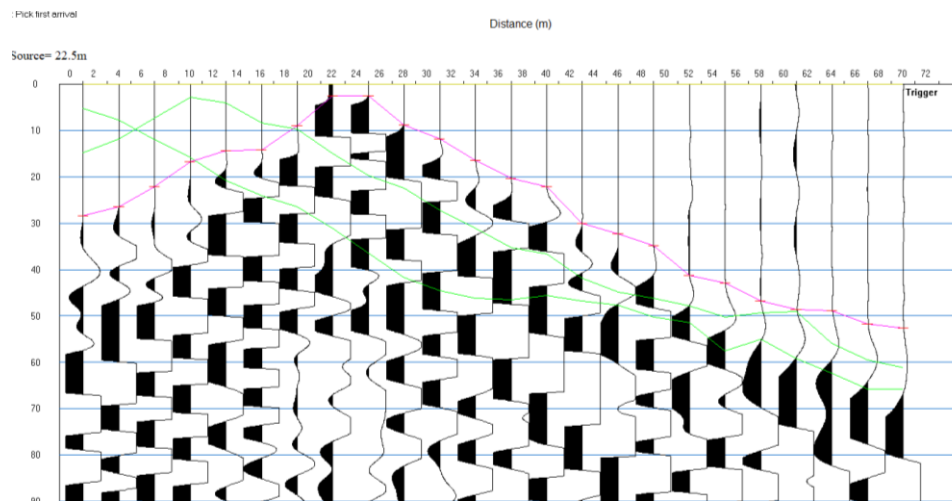


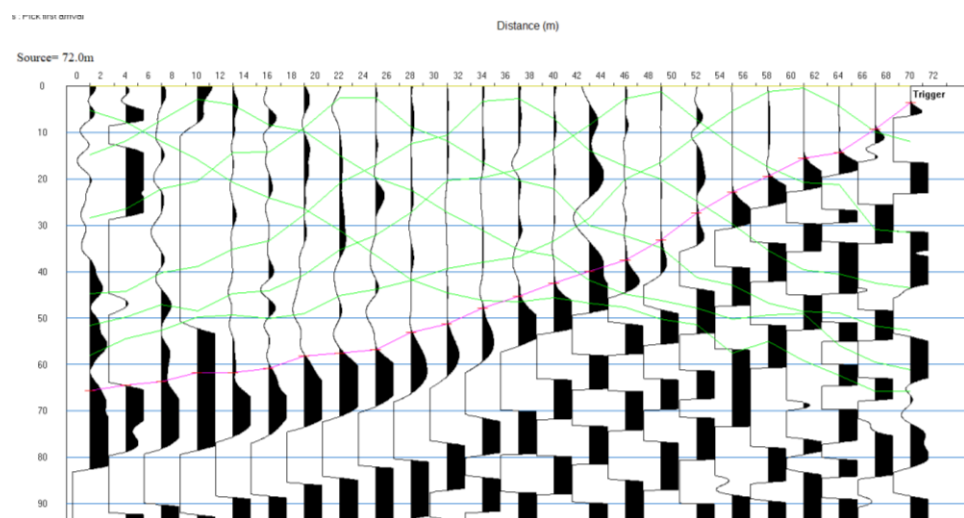
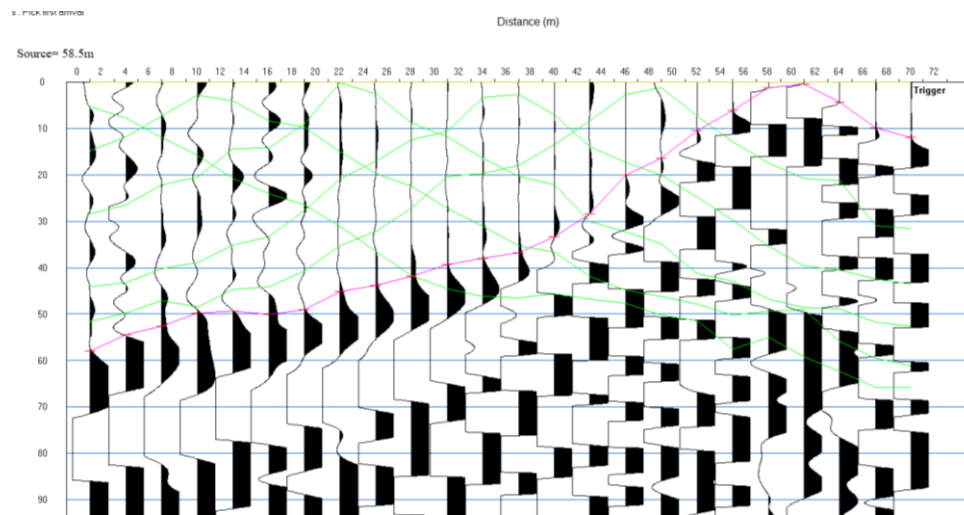




ΕΓΚΑΤ 2 (Καταγραφές από 501 έως 507)

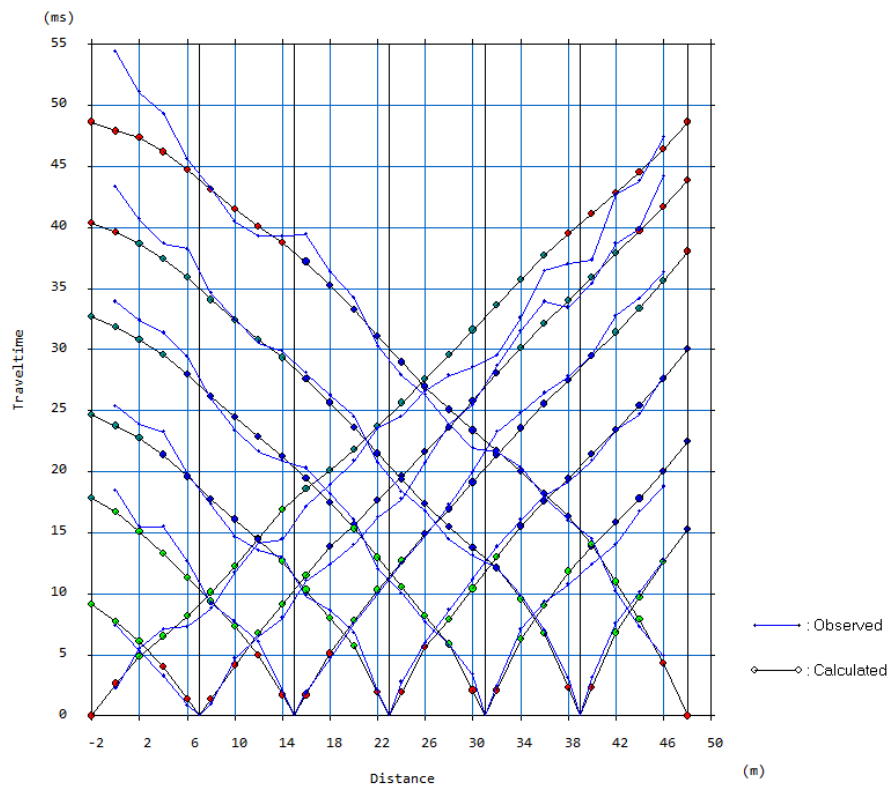




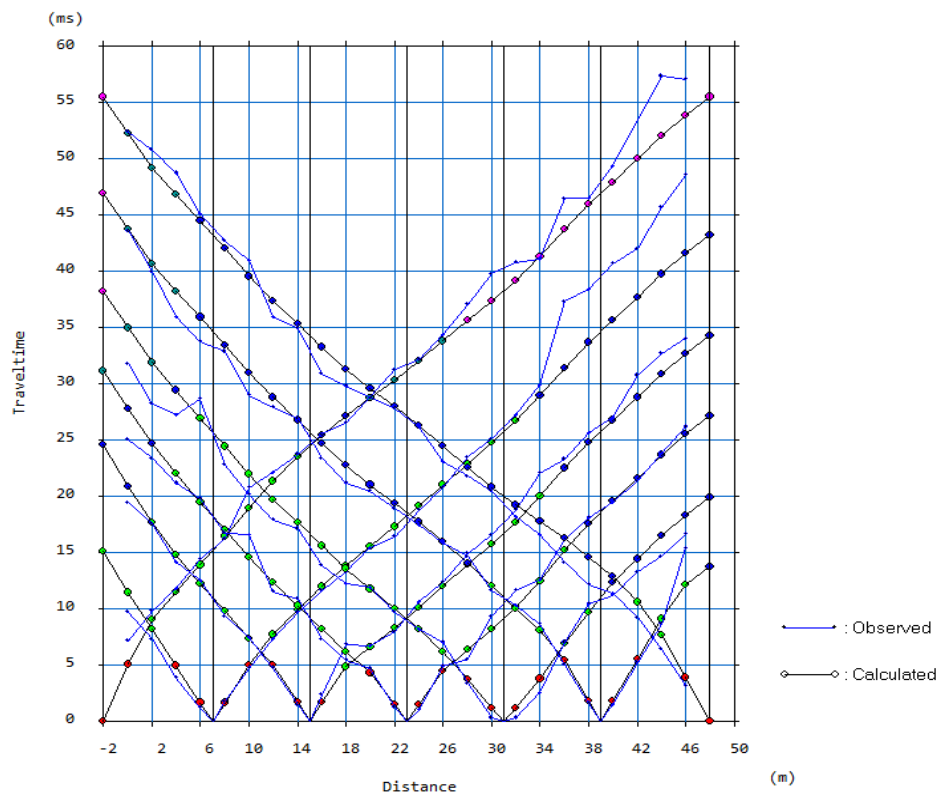


- Δρομοχρονικά διαγράμματα πειραματικών και υπολογισμένων χρόνων πρώτων αφίξεων

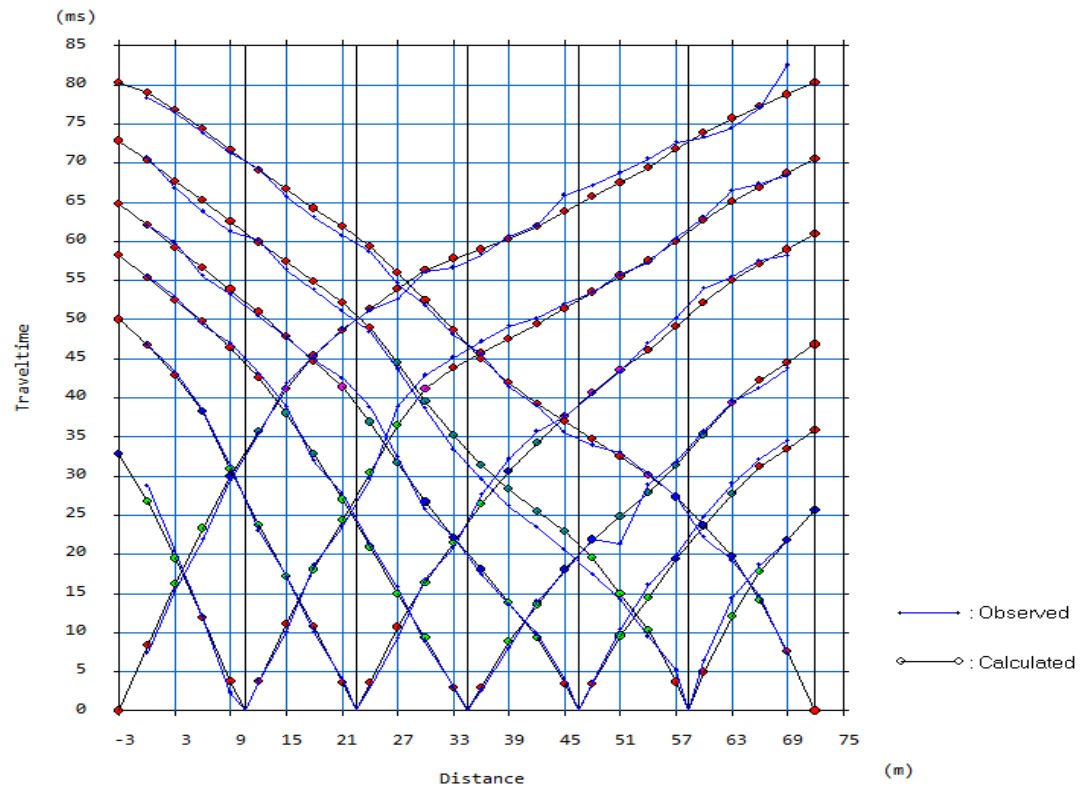
Για τη θέση A/G 5:



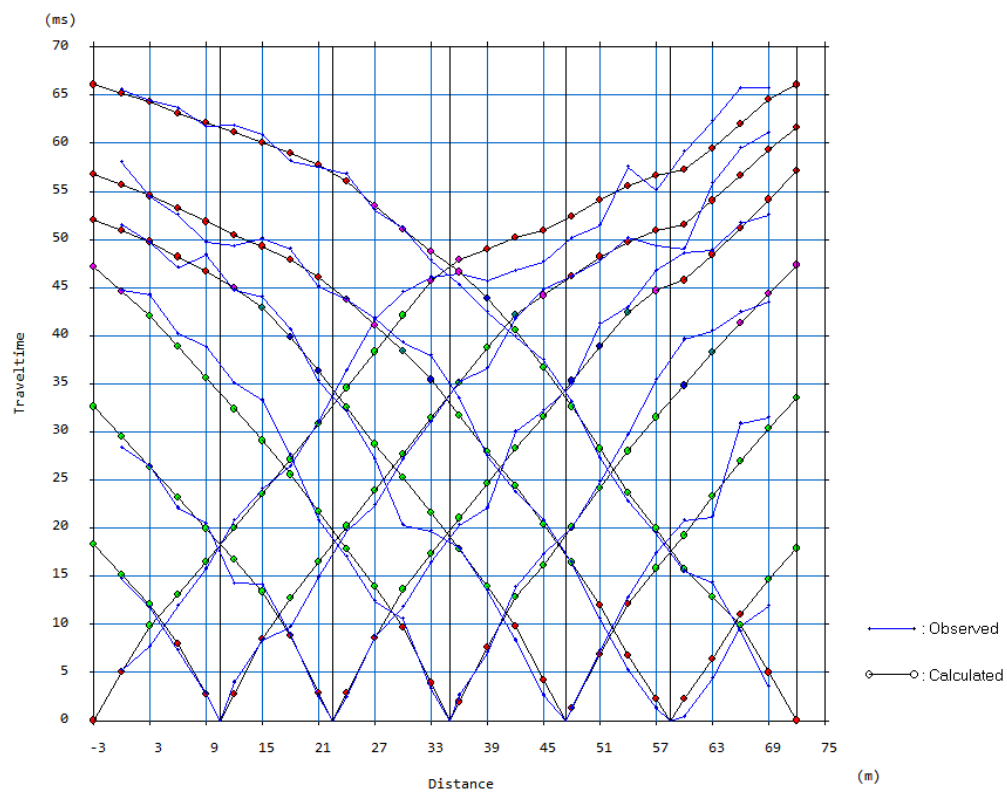
Για την A/G 6:



Για την θέση ΕΓΚΑΤ 1:



Για την θέση ΕΓΚΑΤ 2:

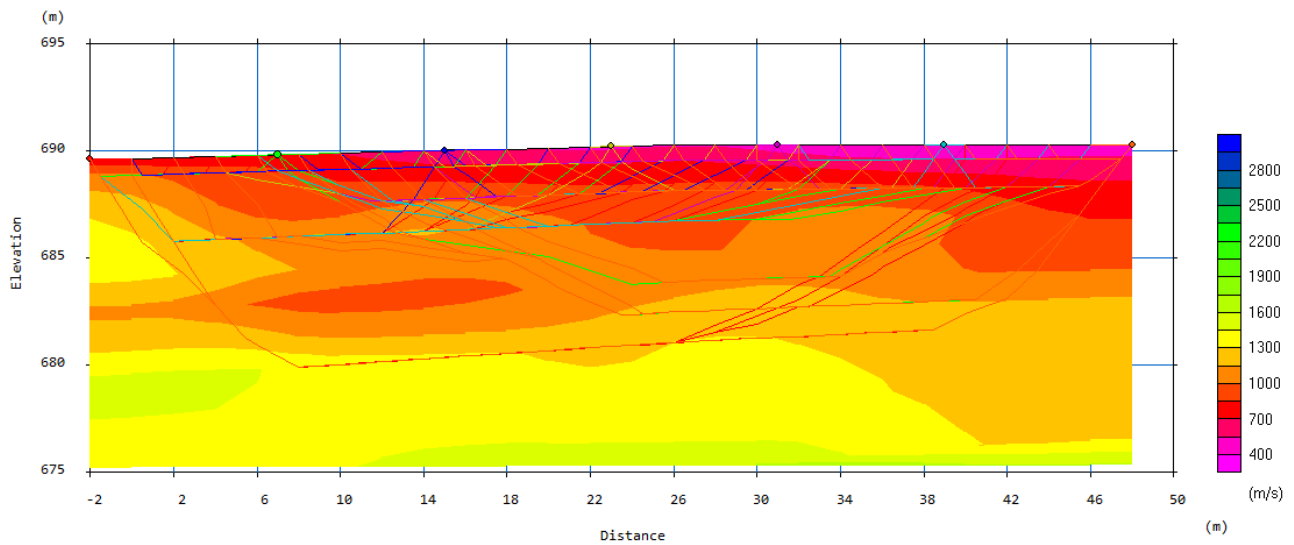


- Εξομαλυσμένα μοντέλα βάθους με απεικόνιση των σεισμικών ακτινών

Για την A/G 5:

s : set model bottom

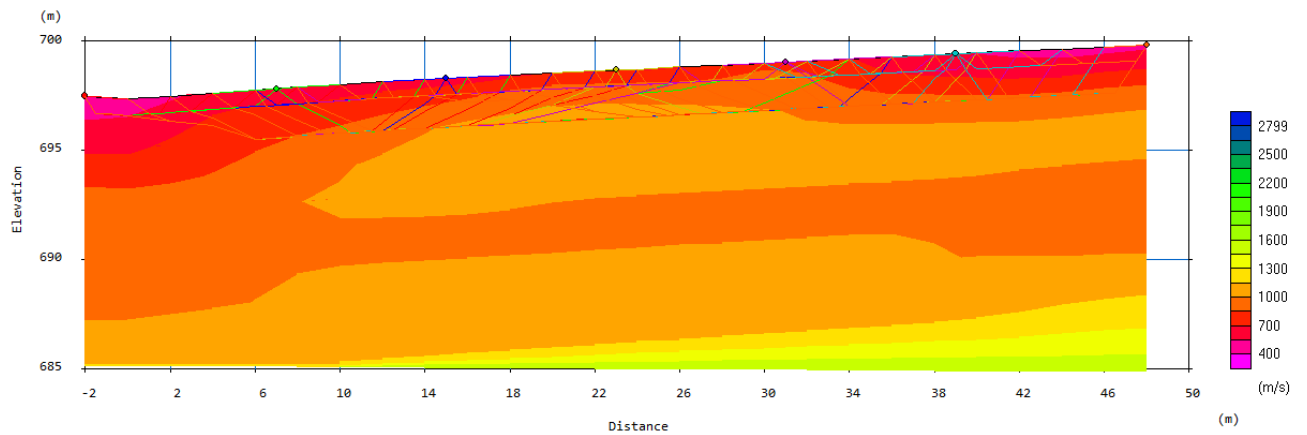
Smooth model : # of layers = 18



Για την A/G 6:

s : set model bottom

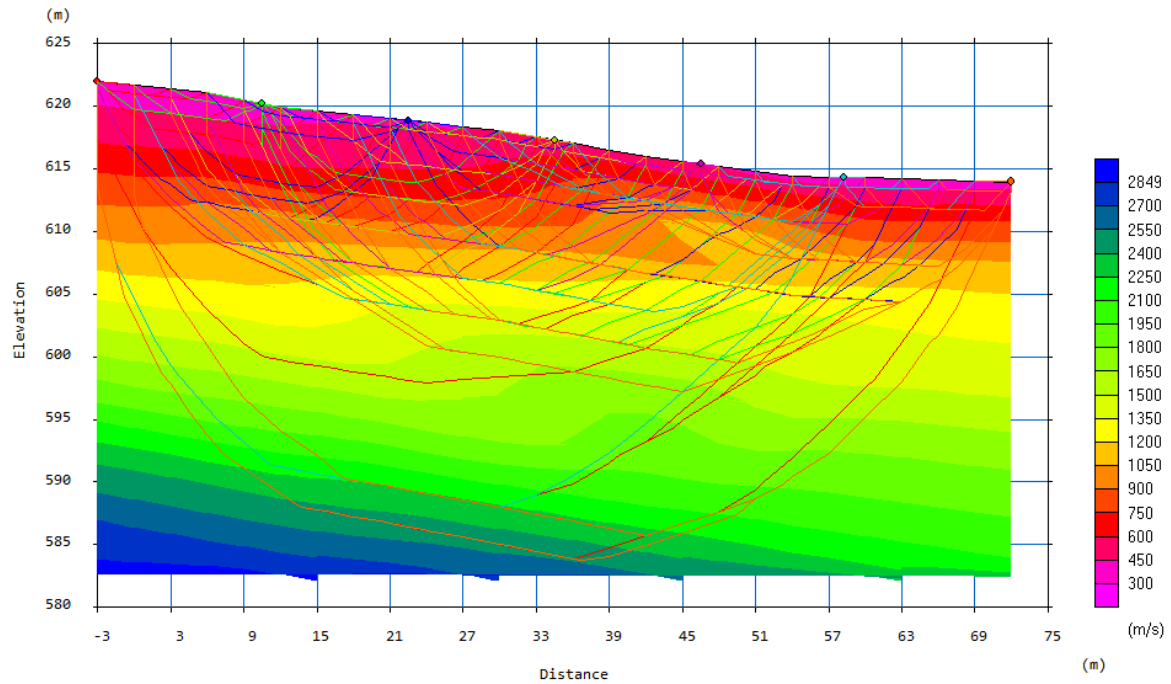
Smooth model : # of layers = 18



Για την θέση ΕΓΚΑΤ 1:

s : set model bottom

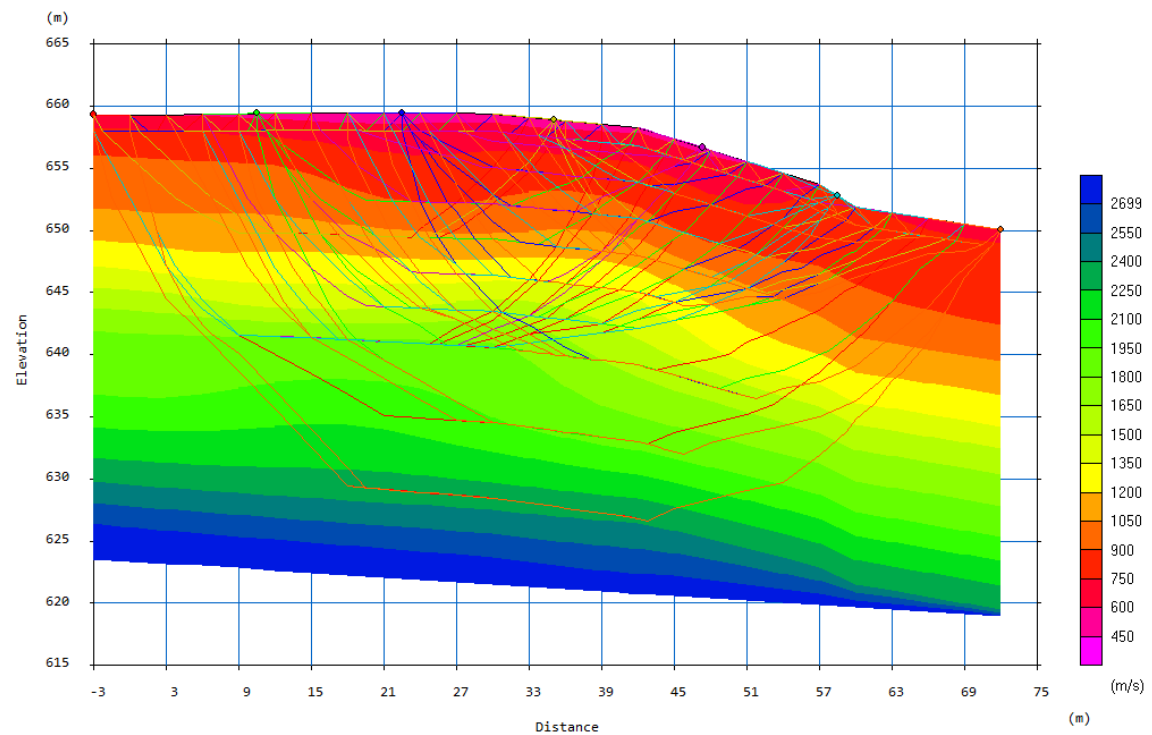
Smooth model : # of layers = 18



Για την θέση ΕΓΚΑΤ 2:

s : set model bottom

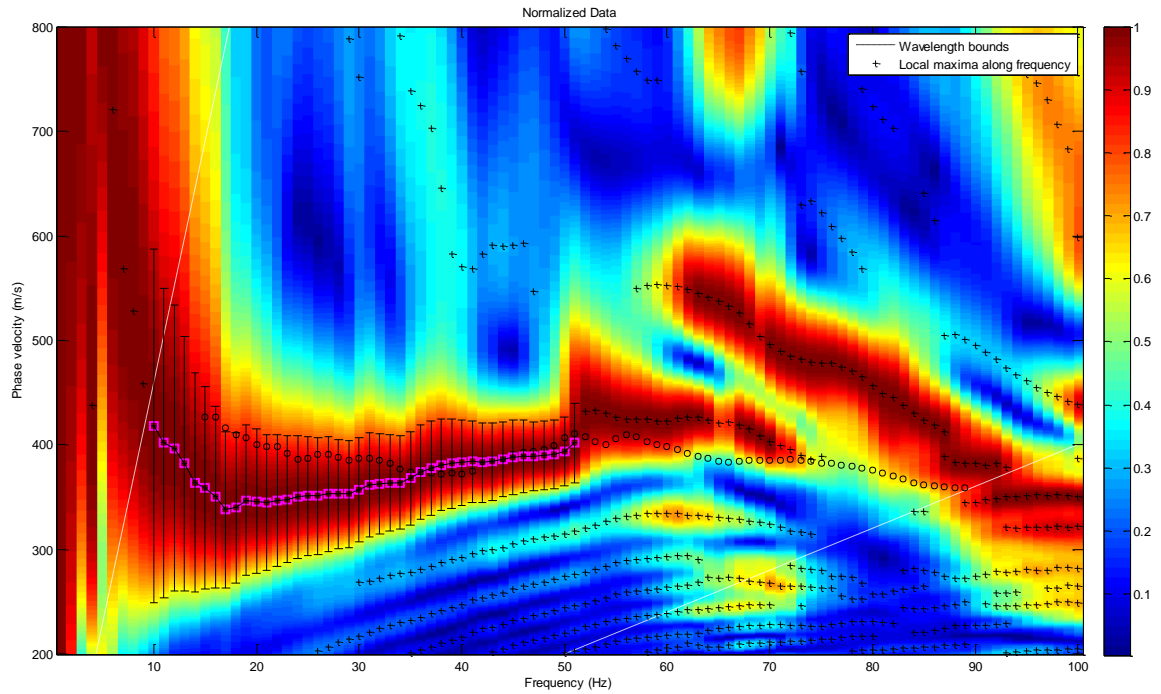
Smooth model : # of layers = 18



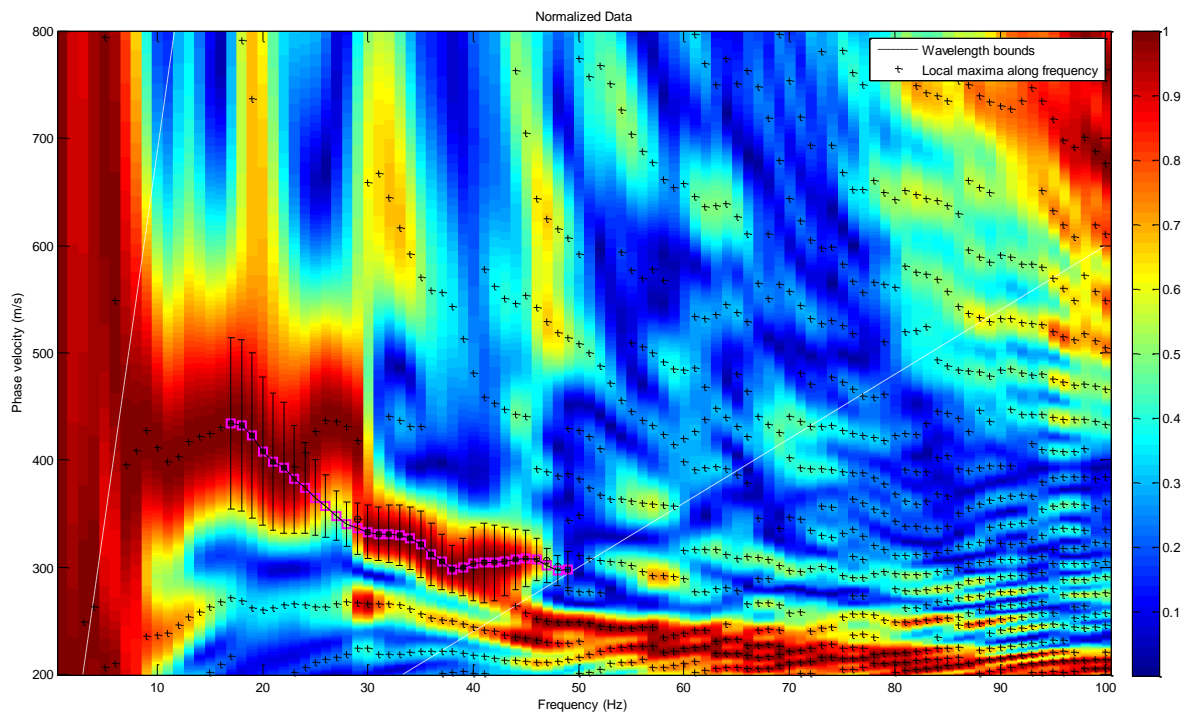
- **Πολυκάναλη μέθοδος ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (MASW)**

Πειραματικές καμπύλες διασποράς στο πεδίο φάσης ταχύτητας – συχνότητας.

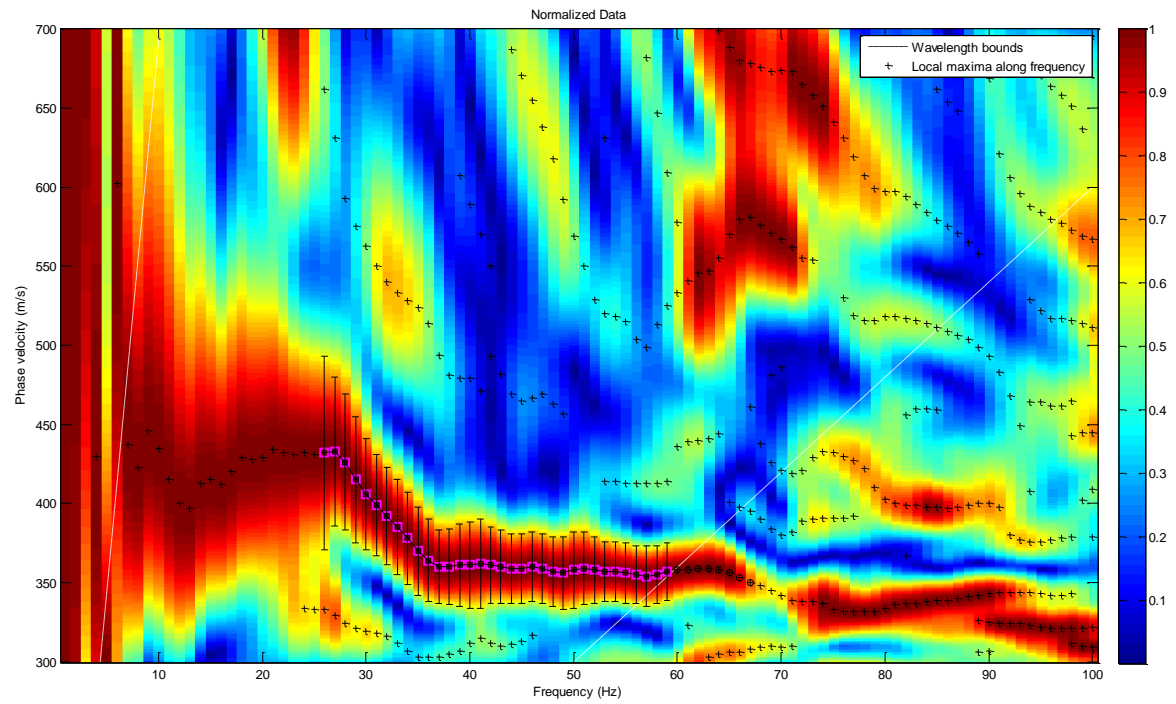
A/Γ 6



ΕΓΚΑΤ 1



EFKAT 2



II) ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών

A/A δοκιμής: 1

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ2-1

Δείγμα: No.2

Τοποθεσία: Κισσός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Ανεμπόδιστη θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 9.4

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 5.0

Λόγος L/D: 1.88

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.992

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

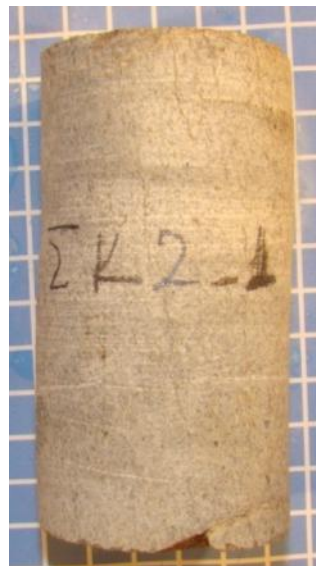
Λίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 0

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, δυναμοκυψέλη, ένα LVDT 25mm, δύο strain gages με μέτρηση σε δύο διευθύνσεις έκαστο (σταυροί) εκατέρωθεν του δοκιμίου

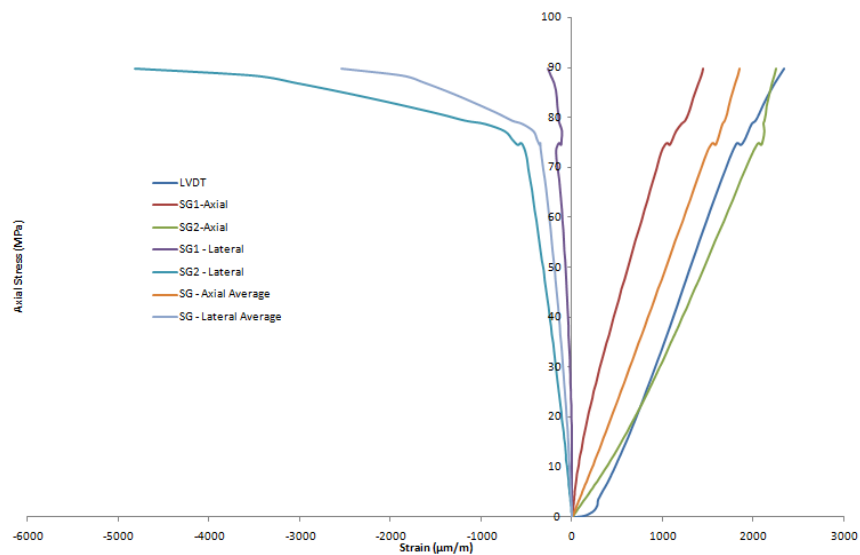
Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Διακρίνονται αμυδρές αλληλοτεμνόμενες ρωγμές κατά τη φορά του άξονα πολλές εκ των οποίων διασχίζουν το δοκίμιο από έδρα σε έδρα. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης παρατηρήθηκε μερική αστοχία περί τα 75MPa όπως αποτυπώνεται και στο διάγραμμα φόρτισης. Στο σημείο αυτό η εγκάρσια μέτρηση του δεύτερου μηχανισιόμετρου σταμάτησε να δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Η αστοχία ήταν εκρηκτικού τύπου με δημιουργία αζονικών/εφελκυστικών ρωγμών κλίσης άνω των 75° ως προς τον οριζόντιο άξονα.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 89.9



Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 50

Λόγος Poisson: 0.24



A/A δοκιμής: 2

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ3-2

Δείγμα: No.3

Τοποθεσία: Κισσός, Σφηνάρι Χανίων

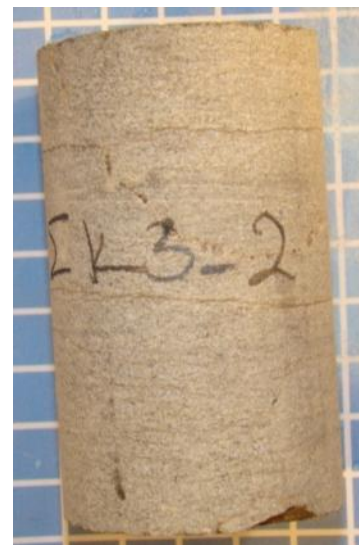
Είδος δοκιμής: Ανεμπόδιστη θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 7.4

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.66

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.976



Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

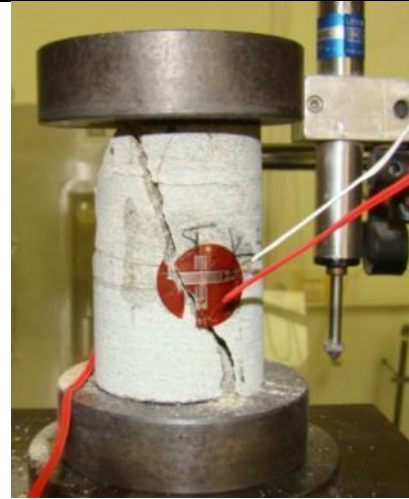
Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Λίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 0

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, δυναμοκυψέλη, ένα LVDT 25mm, δύο strain gages με μέτρηση σε δύο διευθύνσεις έκαστο (σταυροί) εκατέρωθεν του δοκιμίου

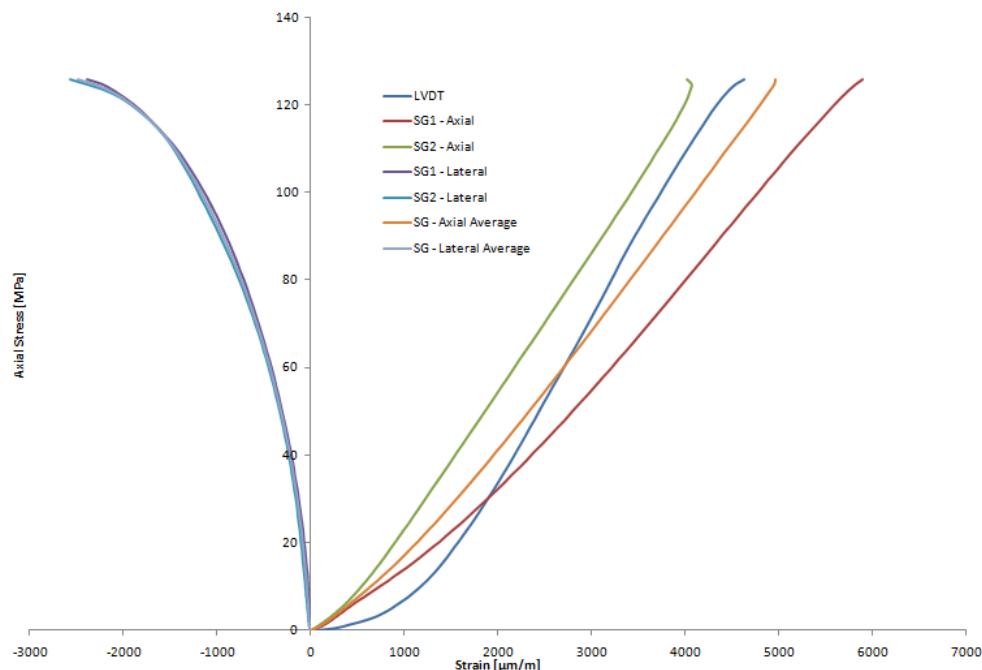
Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχει εμφανής ρωγμή 45° που διασχίζει τη μια έδρα ενώ μια δεύτερη ρωγμή λιγότερο εμφανής τέμνει σχεδόν κάθετα την πρώτη λίγο πριν την μια έδρα. Η αστοχία ήταν **εκρηκτικού τύπου** με δημιουργία ρωγμών κλίσης άνω των 70° ως προς τον οριζόντιο άξονα. Δεν είναι ξεκάθαρο αν οι ρωγμές είναι διατμητικές ή εφελκυστικού τύπου. Το δοκίμιο δεν αστόχησε στις εμφανείς ρωγμές. Για τον υπολογισμό του λόγου Poisson χρησιμοποιήθηκε το αρχικό γραμμικό τμήμα της καμπύλης πλευρικής παραμόρφωσης.



Μέγιστη αντοχή [MPa]: 125.9

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 28

Λόγος Poisson: 0.27



A/A δοκιμής: 3

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ4-2

Δείγμα: No.4

Τοποθεσία: Κισσός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Ανεμπόδιστη θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 8.5

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.90

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.994

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 0

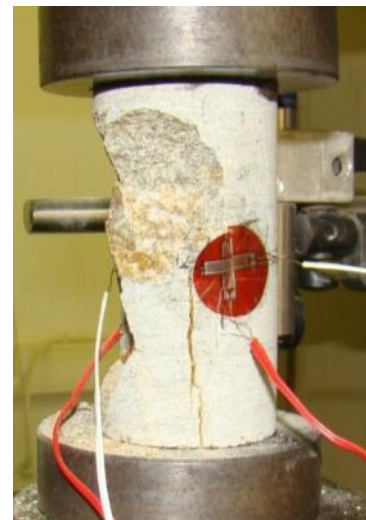
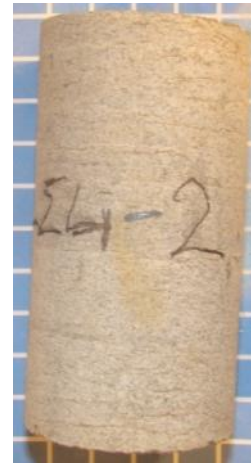
Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, δυναμοκυψέλη, ένα LVDT 25mm, δύο strain gages με μέτρηση σε δύο διευθύνσεις έκαστο (σταυροί) εκατέρωθεν του δοκιμίου

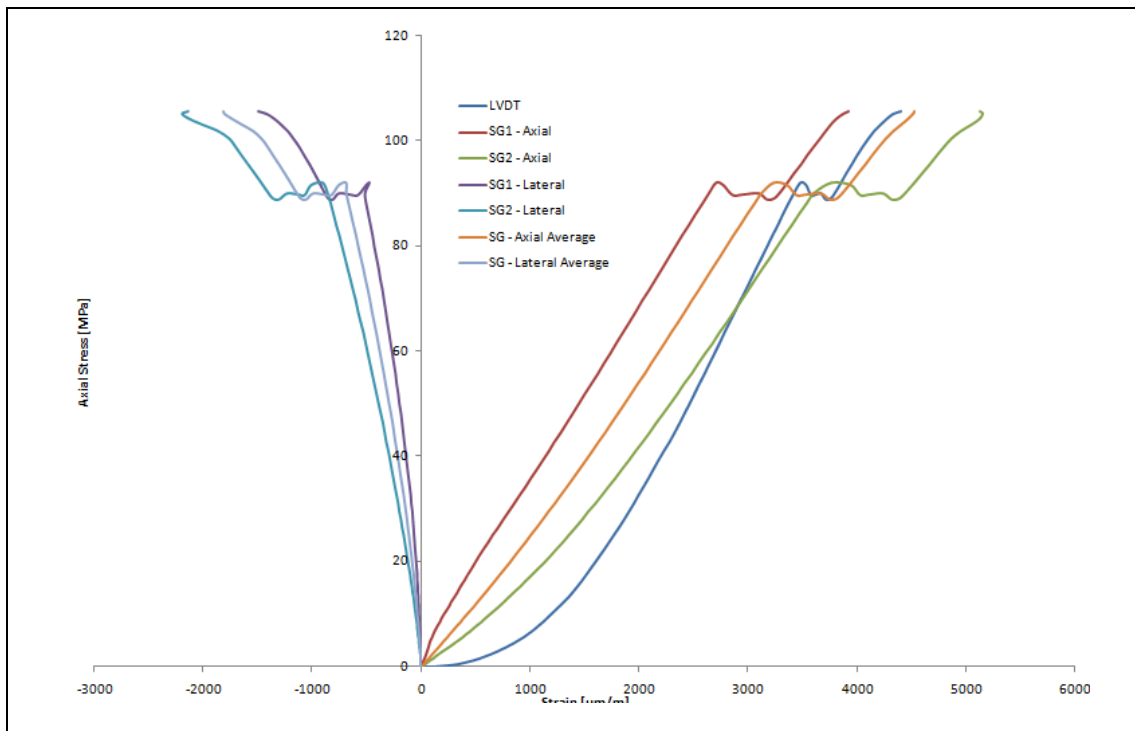
Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Η αστοχία ήταν εκρηκτικού τύπου με δημιουργία αξονικών/εφελκυστικών ρωγμών κλίσης άνω των 80° ως προς τον οριζόντιο άξονα. Παρατηρήθηκε μερική αστοχία περί τα 90MPa η οποία αποτυπώνεται στις καμπύλες φόρτισης.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 105.8

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 31

Λόγος Poisson: 0.28





A/A δοκιμής: 4

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ5-2

Δείγμα: No.5

Τοποθεσία: Κισσός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Ανεμπόδιστη θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 9.5

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 2.10

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 1.006

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 0

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, δυναμοκυψέλη, ένα LVDT 25mm, δύο strain gages με μέτρηση σε δύο διευθύνσεις έκαστο (σταυροί) εκατέρωθεν του δοκιμίου

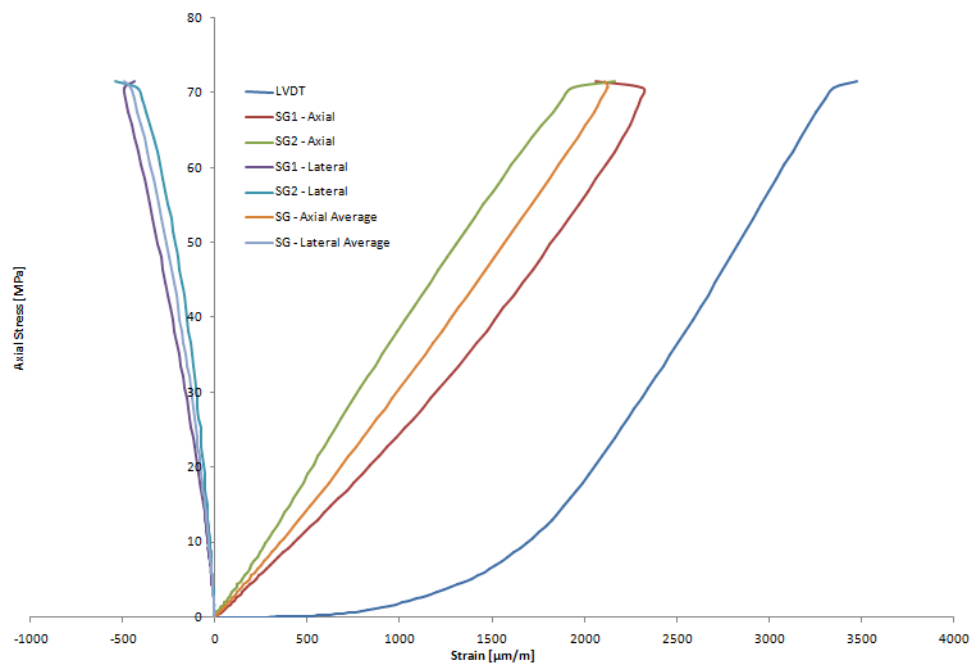


Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχει έντονη πληρωμένη ρωγμή με κλίση 40° ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Υπάρχουν, επίσης, δευτερεύουσες αμυδρές ρωγμές κατά τη φορά του άξονα. Το δοκίμιο αστόχησε στην πληρωμένη ρωγμή σε διάτμηση.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 71.6

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 34

Λόγος Poisson: 0.24



A/A δοκιμής: 5

Κωδικός δοκιμίου: ΣΣ3-1

Δείγμα: No.3

Τοποθεσία: Σταυρός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Ανεμπόδιστη θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 7.9

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.76

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.984

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 0

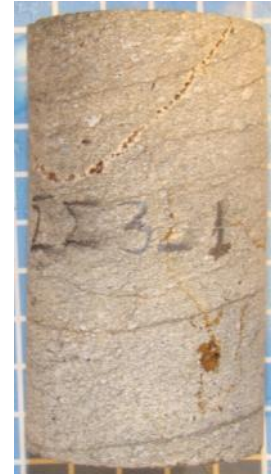
Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, δυναμοκουψέλη, ένα LVDT 25mm, δύο strain gages με μέτρηση σε δύο διευθύνσεις έκαστο (σταυροί) εκατέρωθεν του δοκιμίου

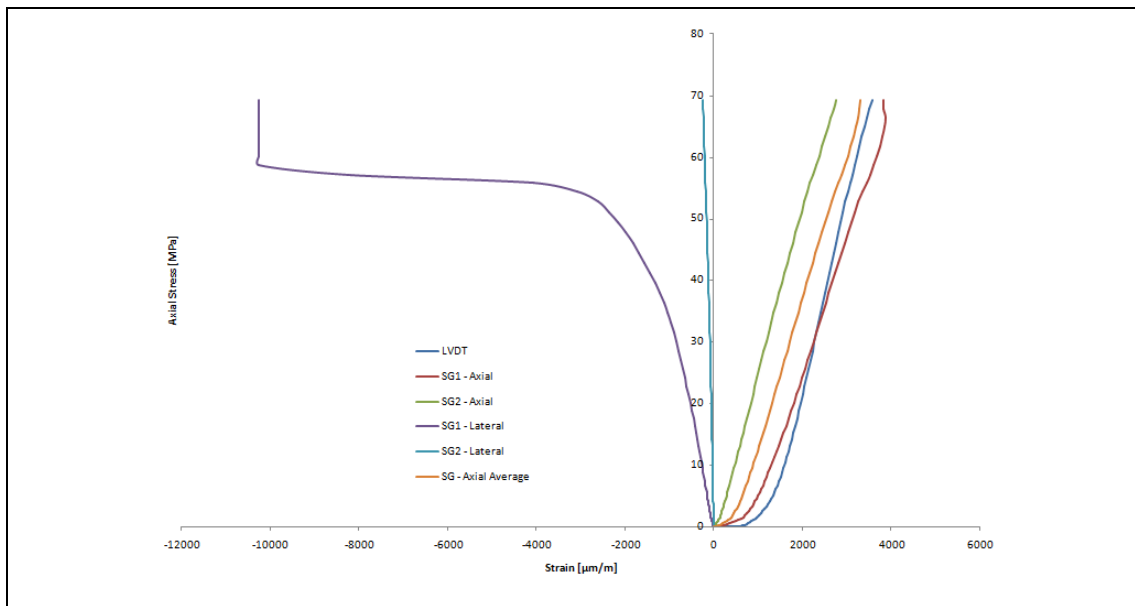
Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση με μικρή κλίση 5-10° ως προς το οριζόντιο επίπεδο, δηλαδή σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχει έντονη ρωγμή με κλίση 50° ως προς το οριζόντιο επίπεδο που διασχίζει τη μια έδρα και δεύτερη ρωγμή λιγότερο έντονη η οποία είναι σχεδόν αξονική (περίπου 70°). Υπάρχουν, επίσης, δευτερεύουσες αμυδρές ρωγμές κατά τη φορά του άξονα που ενίοτε τέμνουν τις έδρες. Το δοκίμιο αστόχησε με δημιουργία αξονικών/εφελκυστικών ρωγμών χωρίς να αστοχήσουν οι προϋπάρχουσες έντονες ρωγμές. Η αστοχία ήταν ήπια εκρηκτική. Κατά την διάρκεια του πειράματος το πρώτο strain gage κατέγραψε ασυνήθιστα μεγάλες τιμές στην εγκάρσια διεύθυνση, οι οποίες και απορρίφθηκαν, ενώ το δεύτερο strain gage κατέγραψε πού μικρές τιμές στην ίδια διεύθυνση. Ο λόγος του Poisson που υπολογίστηκε με βάση τις μετρήσεις του δεύτερου strain gage δίδεται με επιφύλαξη.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 69.2

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 24

Λόγος Poisson: 0.09





A/A δοκιμής: 6

Κωδικός δοκιμίου: ΣΣ3-2

Δείγμα: No.3

Τοποθεσία: Σταυρός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Ανεμπόδιστη θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 5.4

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.20

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.926

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

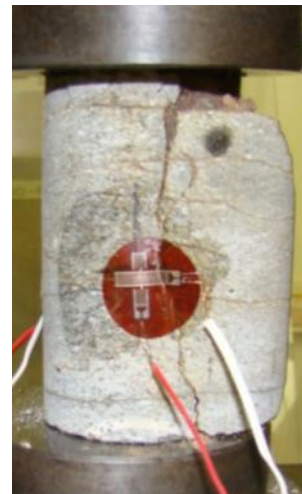
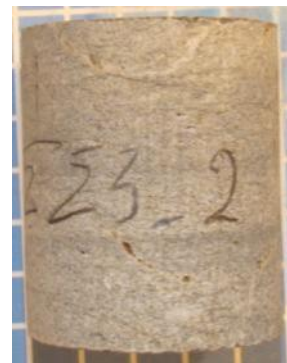
Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 0

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, δυναμοκουψέλη, ένα LVDT 25mm, δύο strain gages με μέτρηση σε δύο διευθύνσεις έκαστο (σταυροί) εκατέρωθεν του δοκιμίου

Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχει ρωγμή στη μέση με κλίση 40° ως προς το οριζόντιο επίπεδο που δεν

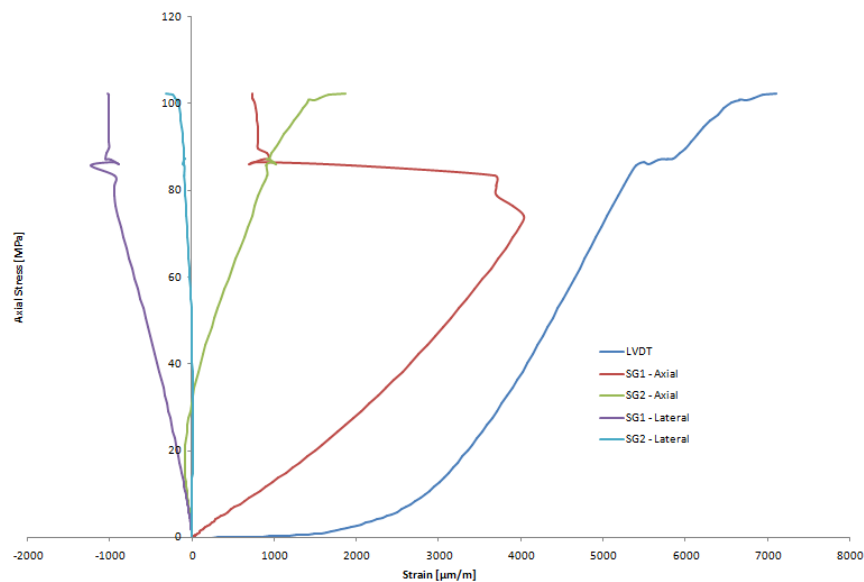


διασχίζει καμία έδρα. Υπάρχουν, επίσης, δευτερεύουσες αμυδρές ρωγμές κατά τη φορά του άξονα που ενίοτε τέμνουν τις έδρες. Το δοκίμιο αστόχησε με δημιουργία αξονικών/εφελκυστικών ρωγμών χωρίς να αστοχήσει η προϋπάρχουσα ρωγμή. Η αστοχία ήταν εκρηκτικού τύπου. Πριν επιτευχθεί η μέγιστη αντοχή υπήρξε μερική αστοχία περί τα 80 MPa η οποία καταγράφηκε στις καμπύλες φόρτισης. Κατά την διάρκεια του πειράματος το δεύτερο strain gage κατέγραψε ασυνήθιστες τιμές οι οποίες απορρίφθηκαν. Η ελαστικές σταθερές υπολογίστηκαν από το γραμμικό τμήμα του πρώτου strain gage.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 102.4

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 20

Λόγος Poisson: 0.27



A/A δοκιμής: 7

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ1-2

Δείγμα: No.1

Τοποθεσία: Κισσός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 7.2

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.61

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.972

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 1.0

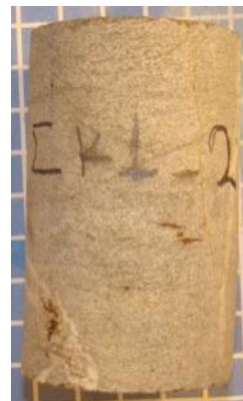
Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

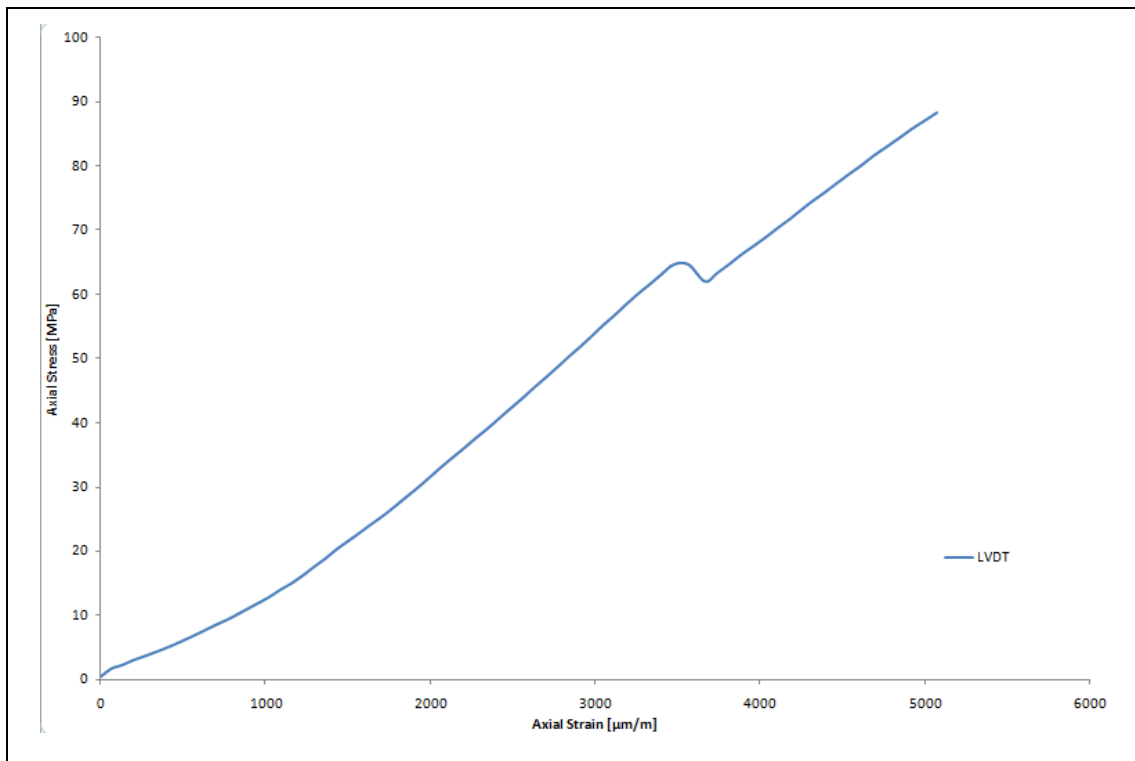
Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Παρατηρούνται δύο αξονικές ρωγμές εκ των οποίων η μία είναι πληρωμένη δευτερογενώς. Το δοκίμιο αστόχησε σε διάτμηση με τη δημιουργία δύο συζυγών ρωγμών με κλίσεις 75° και 110° αντίστοιχα. Είναι πιθανό να αστόχησαν προϋπάρχουσες ρωγμές. Πριν επιτευχθεί η μέγιστη αντοχή υπήρξε μερική αστοχία περί τα 65 MPa η οποία καταγράφηκε στις καμπύλες φόρτισης.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 88.4

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 22 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί





A/A δοκιμής: 8

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ2-3

Δείγμα: No.2

Τοποθεσία: Κισσός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 5.4

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.21

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.927

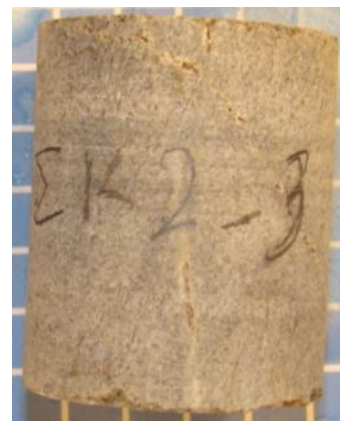
Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Λίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 1.0

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

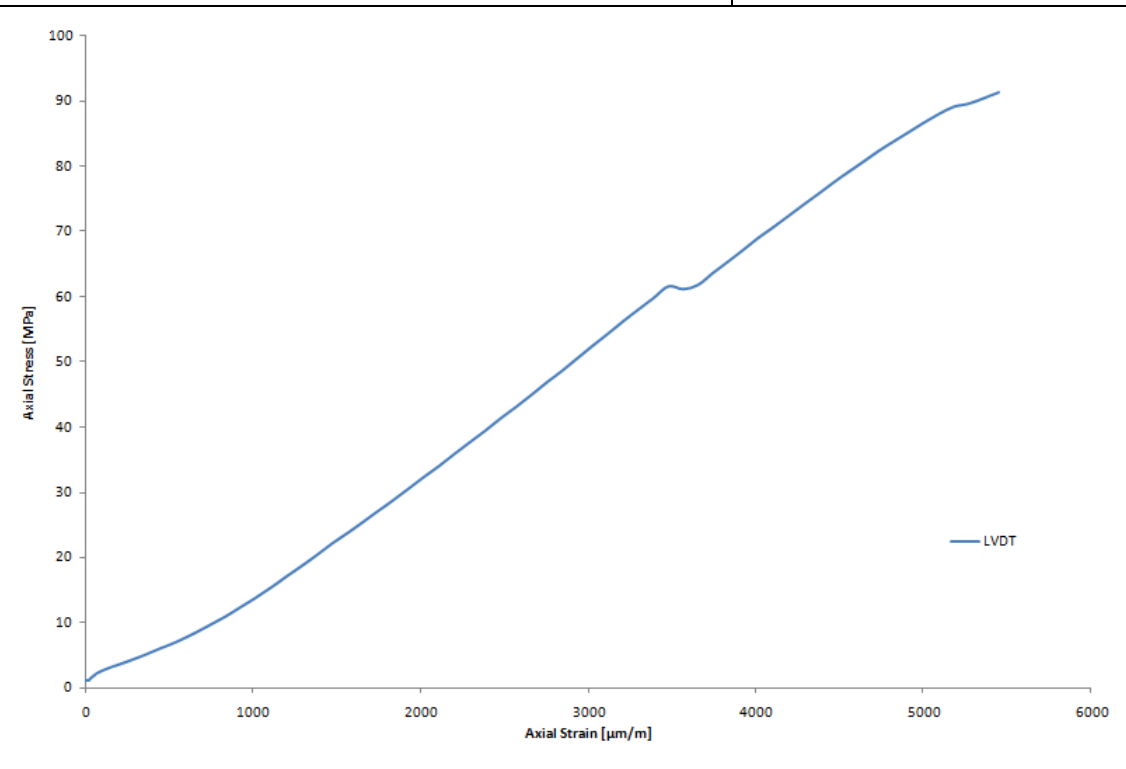


Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχει, επίσης, ρωγμή κλίσης 40° ως προς το οριζόντιο επίπεδο η οποία διασχίζει το δοκίμιο. Παρατηρούνται δευτερεύουσες ρωγμές σχεδόν αξονικές οι οποίες είναι δύσκολα διακριτές. Το δοκίμιο αστόχησε εκρηκτικά με τη δημιουργία αξονικών/εφελκυστικών ρωγμών. Πριν επιτευχθεί η μέγιστη αντοχή υπήρξε μερική αστοχία περί τα 60 MPa η οποία καταγράφηκε στις καμπύλες φόρτισης.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 91.4

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 19 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί



A/A δοκιμής: 9

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ3-3

Δείγμα: Νο.3

Τοποθεσία: Κισσός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 6.5

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.46

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.958

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 1.0

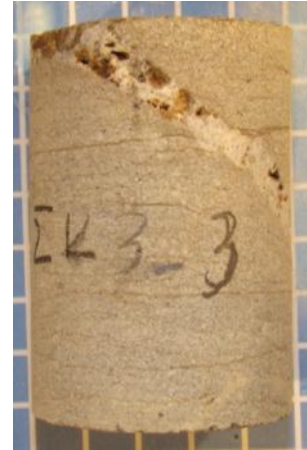
Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

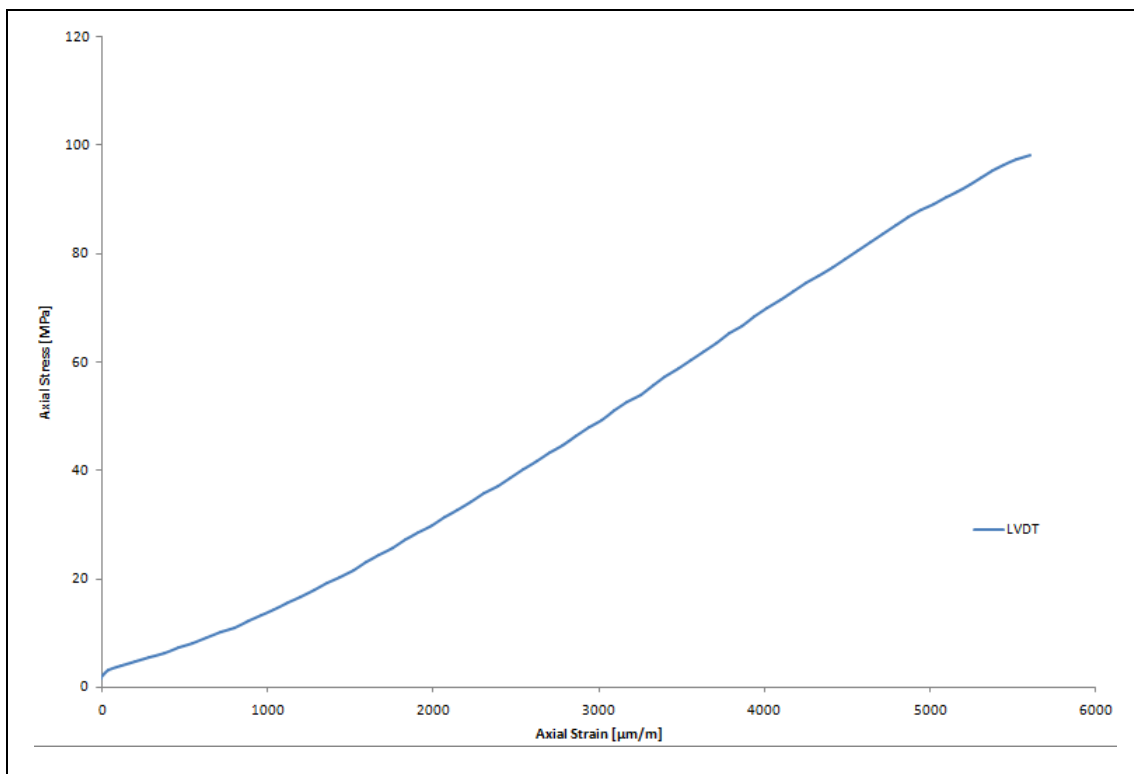
Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει έντονη στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχει πληρωμένη ρωγμή κλίσης 40° ως προς το οριζόντιο επίπεδο η οποία διασχίζει το δοκίμιο. Το δοκίμιο αστόχησε εκρηκτικά ενώ δεν είναι ξεκάθαρο αν η αστοχία ήταν διατμητική ή/και εφελκυστική. Το επίπεδο αστοχίας που δημιουργήθηκε ήταν περίπου 60° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και δεν φαίνεται να αποτελεί ενεργοποίηση παλαιότερης ρωγμής.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 98.1

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 19 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί





A/A δοκιμής: 10

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ4-3

Δείγμα: No.4

Τοποθεσία: Κισσός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 6.7

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.50

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.962

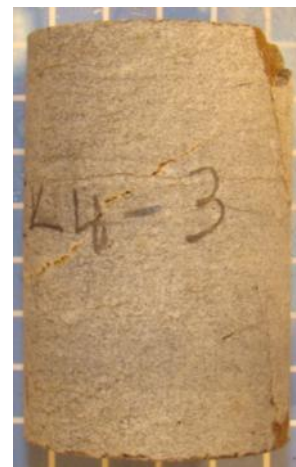
Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Λίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 2.1

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

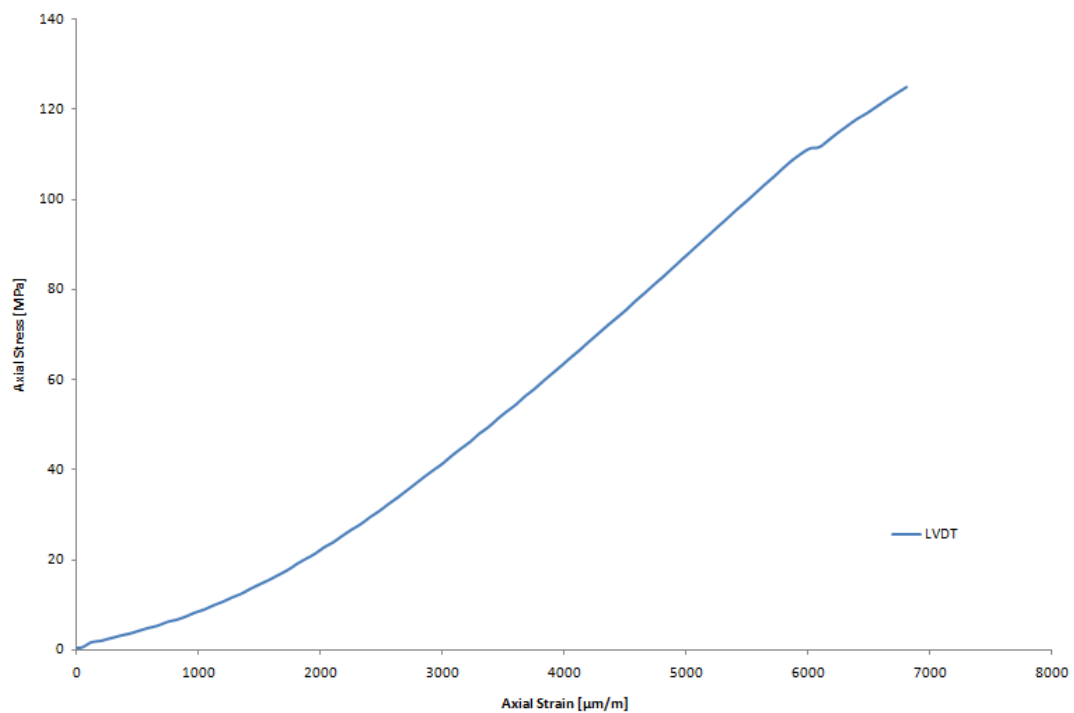


Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχει ρωγμή κλίσης 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο η οποία διασχίζει το δοκίμιο. Δεύτερη αμυδρή ρωγμή κλίσης 60° τέμνει την πρώτη. Επιπλέον, δύο μικρές, σχεδόν αξονικές, ρωγμές εντοπίζονται στην άκρη του δοκιμίου. Από την άκρη της μίας έδρας λείπει μικρό κομμάτι υλικού. Το δοκίμιο αστόχησε εκρηκτικά ενώ δεν είναι ξεκάθαρο αν η αστοχία ήταν διατμητική ή/και εφελκυστική. Το επίπεδο αστοχίας που δημιουργήθηκε ήταν περίπου 70° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και δεν φαίνεται να αποτελεί ενεργοποίηση παλαιότερης ρωγμής.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 125.1

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 23 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελλιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί



A/A δοκιμής: 11

Κωδικός δοκιμίου: ΣΣ1-2

Δείγμα: No.1

Τοποθεσία: Σταυρός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 6.1

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.36

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.946

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 2.1

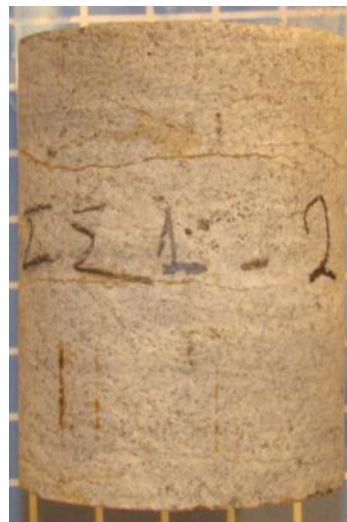
Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

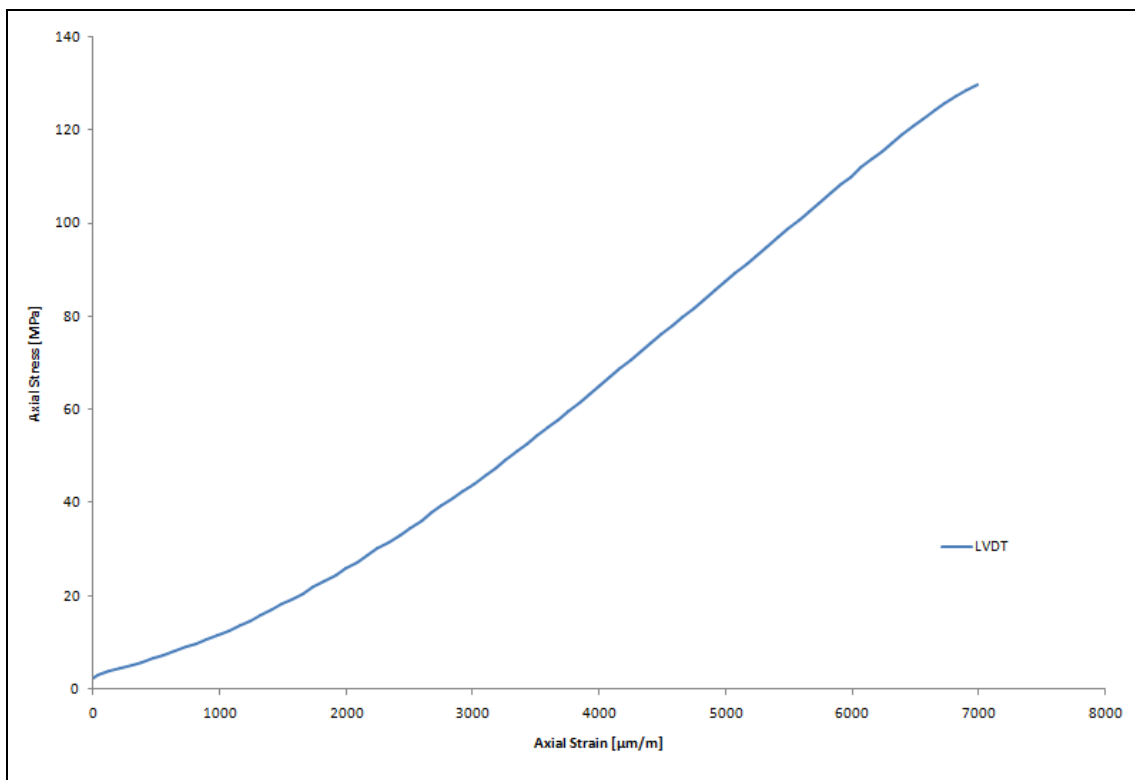
Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει έντονη στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχει αμυδρή ρωγμή κλίσης 50° ως προς το οριζόντιο επίπεδο η οποία διασχίζει το δοκίμιο. Το δοκίμιο αστόχησε (ήπια) εκρηκτικά με τη δημιουργία αξονικών/εφελκυστικών ρωγμών άνω των 80°.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 129.9

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 21 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί





A/A δοκιμής: 12

Κωδικός δοκιμίου: ΣΣ1-3

Δείγμα: No.1

Τοποθεσία: Σταυρός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 5.8

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.30

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.939

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

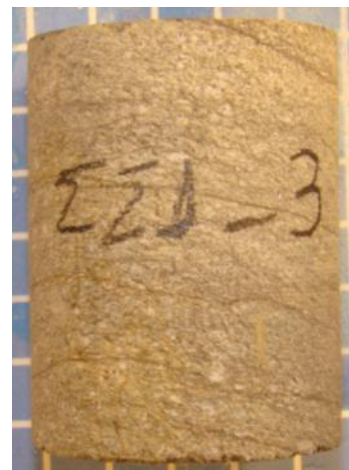
Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Λίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 2.1

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει

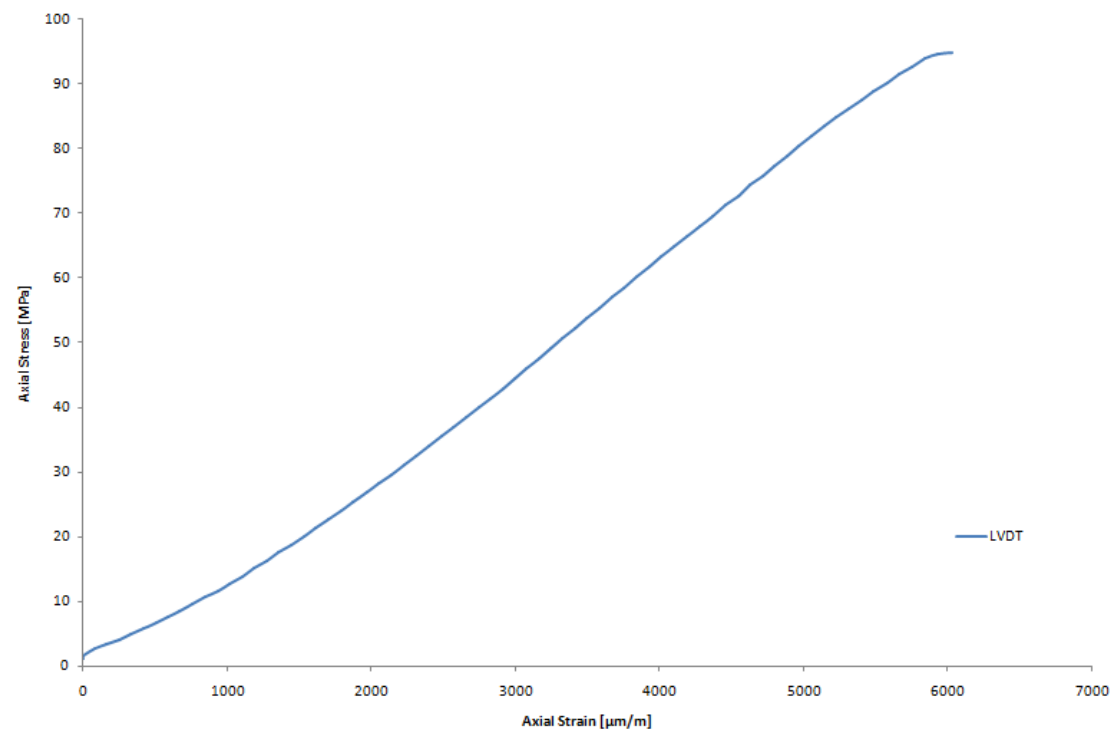


έντονη στρώση με μικρή κλίση ως προς τον άξονα φόρτισης (15° ως προς το οριζόντιο επίπεδο). Υπάρχει ρωγμή κλίσης 40° ως προς το οριζόντιο επίπεδο η οποία διασχίζει τη μία έδρα. Το δοκίμιο αστόχησε (ήπια) εκρηκτικά με τη δημιουργία ρωγμής κλίσης 65° η οποία τείνει να στραφεί προς αξονική.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 94.9

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 17 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί



A/A δοκιμής: 13

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ1-1

Δείγμα: No.1

Τοποθεσία: Κισσος, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 7.3

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 5.0

Λόγος L/D: 1.45

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.956

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 4.0

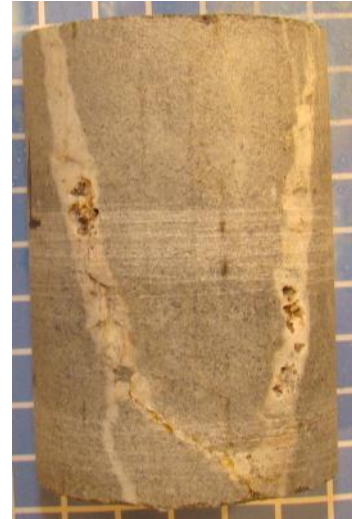
Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

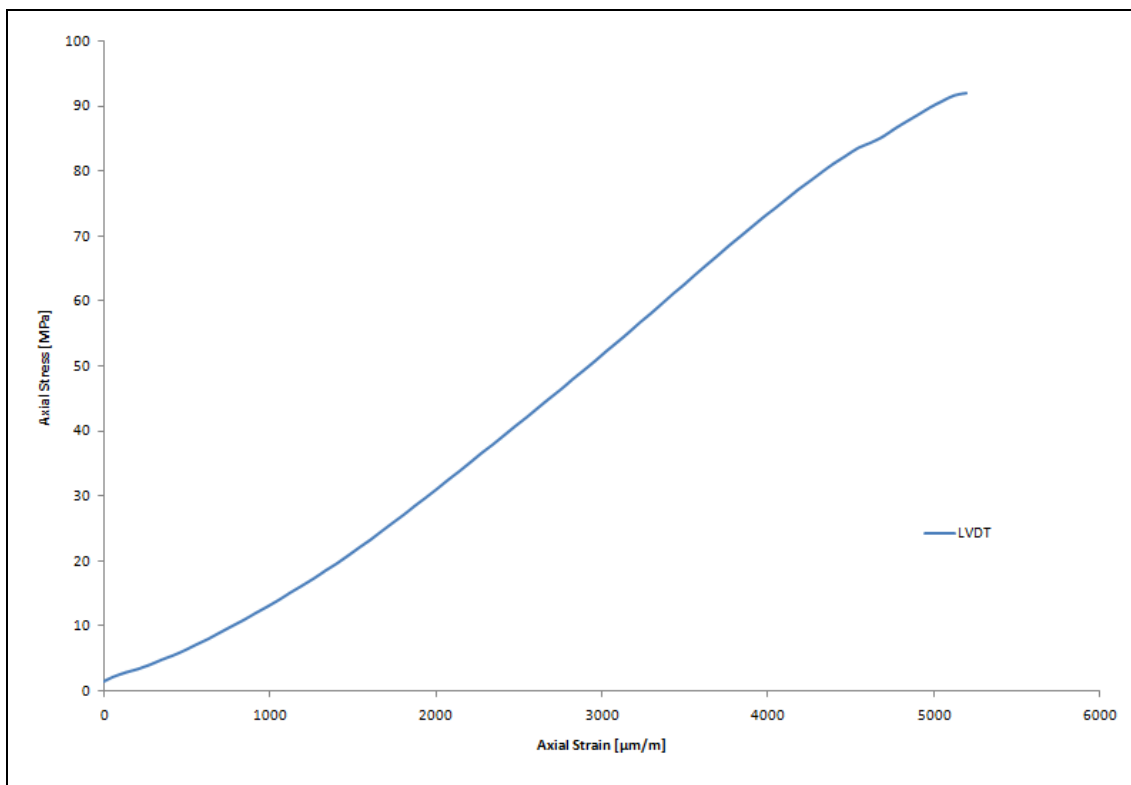
Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη ως προς τον άξονα φόρτισης. Υπάρχουν πληρωμένες ρωγμές σχεδόν παράλληλες με τον άξονα του δοκιμίου οι οποίες αλληλοτέμνονται. Το δοκίμιο αστόχησε σε χαμηλό σχετικά φορτίο αρχικά με τη μορφή διάτμησης η οποία μετατράπηκε σε εφελκυστική ρωγμή. Το επίπεδο διάτμησης σχηματίζει γωνία 65° και εκκίνησε από προϋπάρχουσα ρωγμή.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 75.9

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 21 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί





A/A δοκιμή: 14

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ2-2

Δείγμα: No.2

Τοποθεσία: Κισσος, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 5.6

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.25

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.933

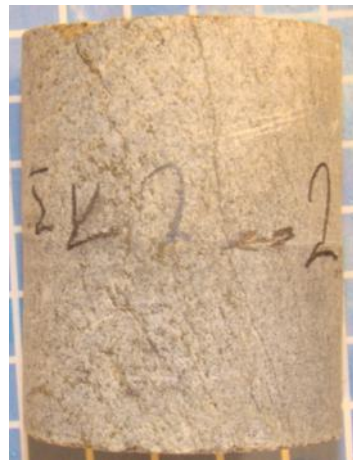
Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 4.0

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

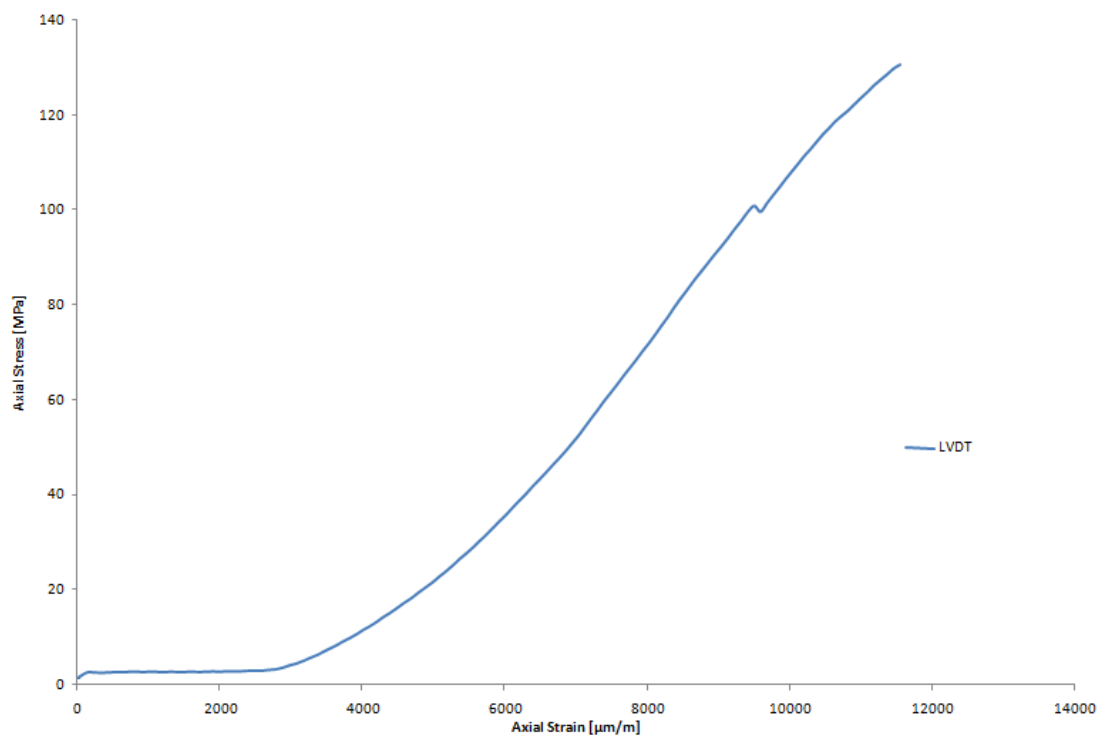


Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη ως προς τον άξονα φόρτισης. Υπάρχουν αμυδρές ρωγμές μεγάλης κλίσης ($>75^\circ$) σχεδόν παράλληλες με τον άξονα του δοκιμίου οι οποίες αλληλοτέμνονται. Το δοκίμιο αστόχησε με τη μορφή αξονικών.εφελκυστικών ρωγμών.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 130.7

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 18 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί



A/A δοκιμής: 15

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ3-1

Δείγμα: No.3

Τοποθεσία: Κισσος, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 6.5

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.45

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.956

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 4.0

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

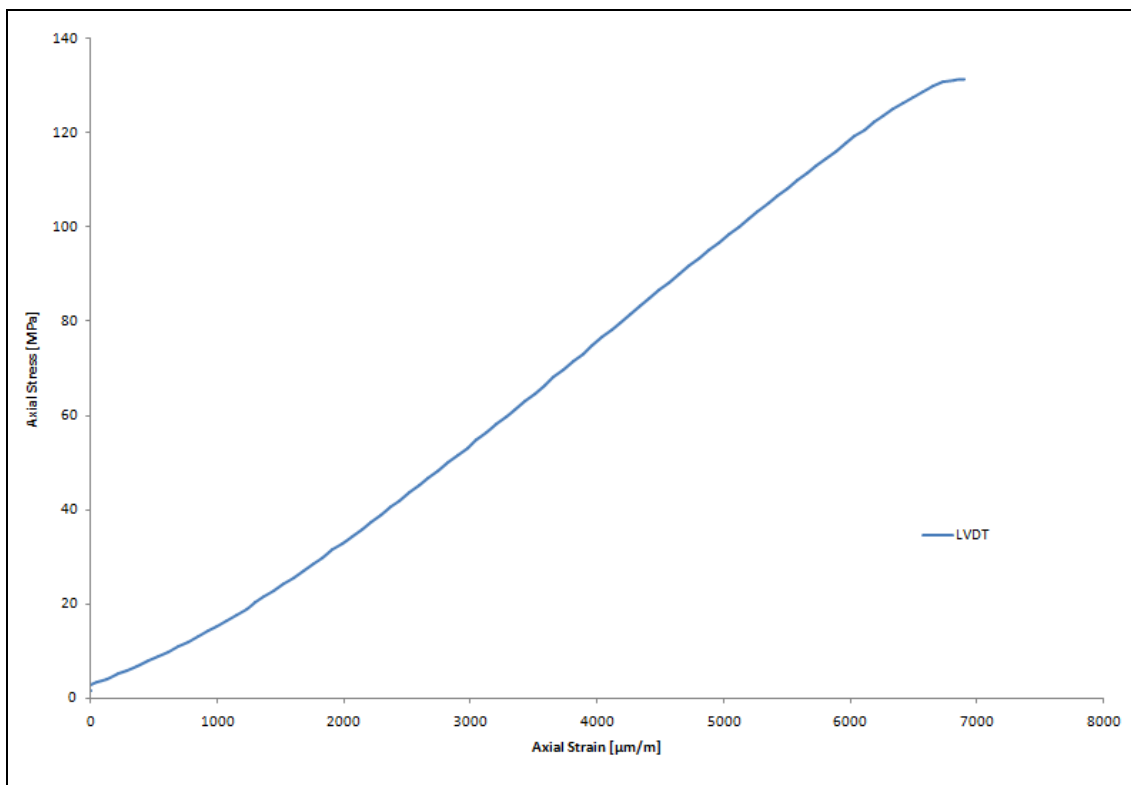
Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει έντονη στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχουν διάφορες ρωγμές, τουλάχιστον μία εκ των οποίων πληρωμένη, μεταβλητής κλίσης οι οποίες αλληλοτέμνονται. Το δοκίμιο κατακερματίστηκε κατά την αστοχία σχηματίζοντας επίπεδο αστοχίας 70° ακολουθώντας κατά πάσα πιθανότητα προϋπάρχουσα ρωγμή.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 131.4

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 21 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί





A/A δοκιμής: 16

Κωδικός δοκιμίου: ΣΚ4-1

Δείγμα: No.4

Τοποθεσία: Κισσος, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 10.6

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 2.38

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 1.020

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Λίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 4.0

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

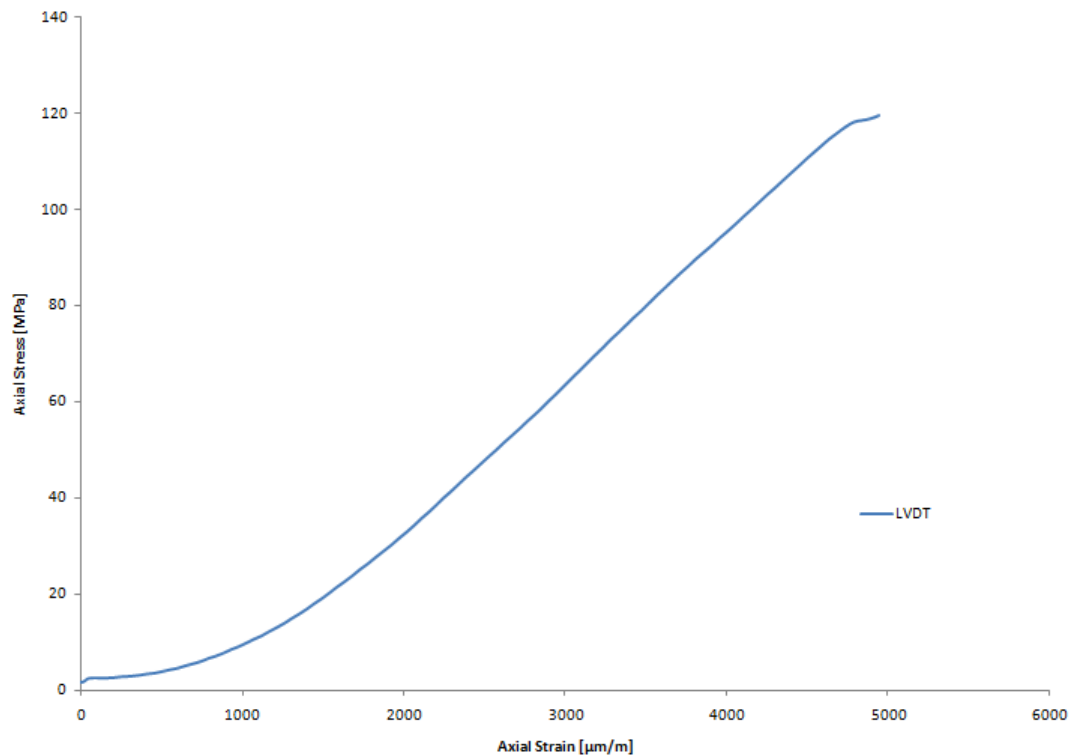


Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχουν ρωγμές που διασχίζουν το δοκίμιο, μία εκ των οποίων διασχίζει την μία έδρα. Το δοκίμιο αστόχησε διατμητικά σχηματίζοντας επίπεδο αστοχίας 60° χωρίς να φαίνεται να έχει εκκινήσει από προϋπάρχουσα ρωγμή.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 119.7

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 31 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί



A/A δοκιμής: 17

Κωδικός δοκιμίου: ΣΣ1-1

Δείγμα: No.1

Τοποθεσία: Σταυρός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 6.1

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.36

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.946

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Αίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 4.0

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

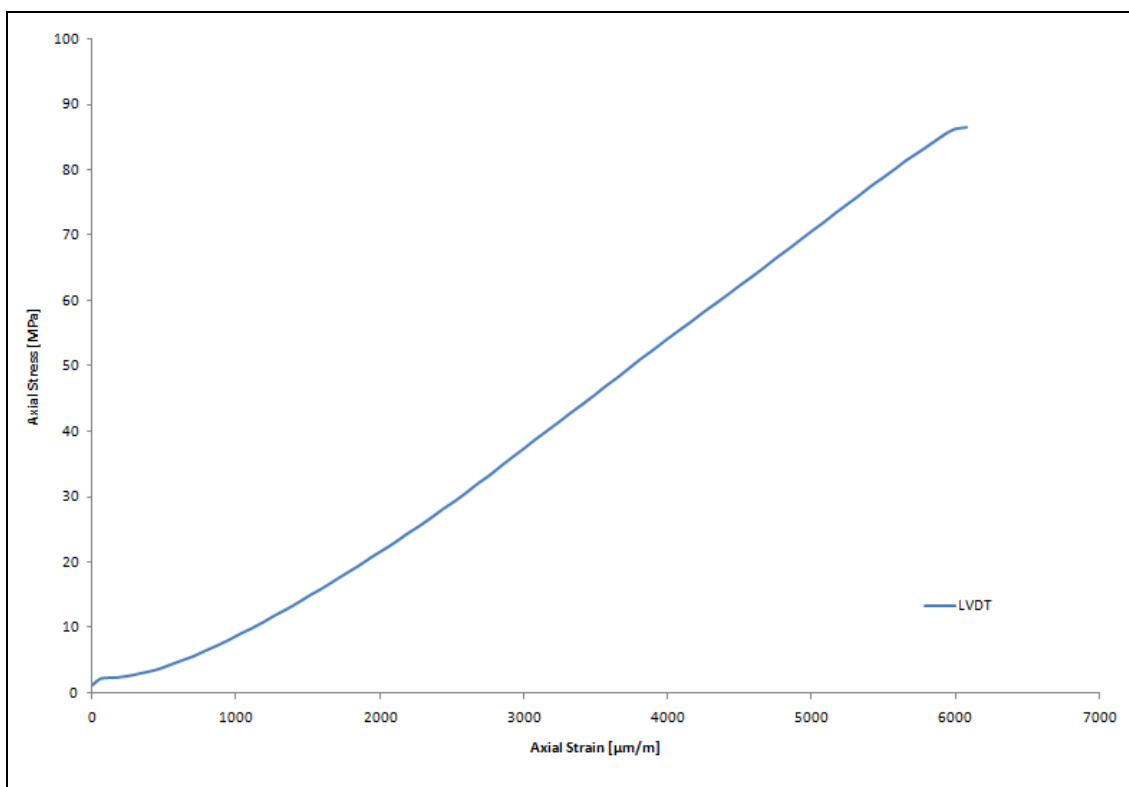
Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχουν ρωγμές σχεδόν παράλληλες που διασχίζουν υπό δυσμενή κλίση ($>50^\circ$) το δοκίμιο, μία εκ των οποίων είναι πληρωμένη. Το δοκίμιο αστόχησε διατμητικά σχηματίζοντας επίπεδο αστοχίας 50° πάνω σε προϋπάρχουσα ρωγμή.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 86.5

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 16 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί





A/A δοκιμή: 18

Κωδικός δοκιμίου: ΣΣ3-3

Δείγμα: No.3

Τοποθεσία: Σταυρός, Σφηνάρι Χανίων

Είδος δοκιμής: Τριαξονική θλίψη

Μήκος δοκιμίου L [cm]: 7.0

Διάμετρος δοκιμίου D [cm]: 4.5

Λόγος L/D: 1.56

Γεωμ. συντ. διόρθωσης κατά ASTM: 0.967

Τρόπος φόρτισης: Έλεγχος μετατόπισης

Ρυθμός φόρτισης [mm/sec]: 0.01

Λίπανση εδρών: Ναι

Πλευρική πίεση [MPa]: 4.0

Συσκευές μέτρησης: Μετατόπιση και φορτίο MTS, ένα LVDT 25mm τοποθετημένο εξωτερικά του τριαξονικού κελιού

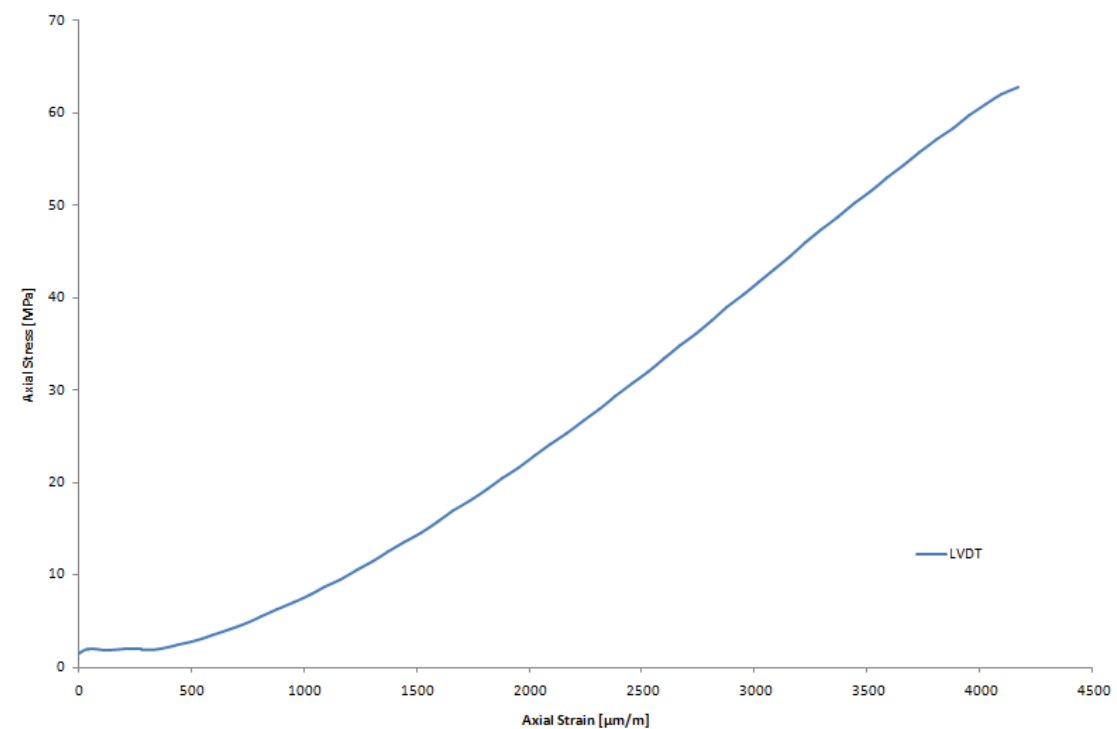


Παρατηρήσεις πειράματος: Το δοκίμιο εμφανίζει στρώση σχεδόν κάθετη στον άξονα φόρτισης. Υπάρχει σύστημα παράλληλων πληρωμένων ρωγμών που διασχίζει το υπό κλίση το δοκίμιο. Το δοκίμιο αστόχησε διατμητικά σχηματίζοντας επίπεδο αστοχίας 50° πάνω σε προϋπάρχουσα ρωγμή.

Μέγιστη αντοχή [MPa]: 62.8

Μέτρο ελαστικότητας E [GPa]: 19 (με επιφύλαξη λόγω μέτρησης της παραμόρφωσης εξωτερικά του κελιού)

Λόγος Poisson: Δεν μπορεί να υπολογιστεί



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγιουτάντης Ζ. Στοιχεία Γεωμηχανικής – Μηχανική Πετρωμάτων.
- Βαφείδης Α. (2001). Εφαρμοσμένη Γεωφυσική II, Χανιά.
- Βαφείδης Α. (2011). Εφαρμοσμένη Γεωφυσική I - Σεισμικές Μέθοδοι, Χανιά
- Βαφείδης Α. (2019). Τεχνική έκθεση - “Γεωφυσική και Γεωτεχνική έρευνα στην θέση Σταυρός, Σφηνάρι, Ν. Χανίων”, Χανιά 2019
- Βαφείδης Α. (2019). Τεχνική έκθεση - “Γεωφυσική και Γεωτεχνική έρευνα στην θέση Κισός, Σφηνάρι, Ν. Χανίων”, Χανιά.
- Γανταδάκη Α. (2012). Γεωφυσική διασκόπηση με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας σε χώρο ανέγερσης των κτιριακών εγκαταστάσεων του τμήματος ΜΗ.ΠΕΡ του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
- Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός (2018). Εθνικό Σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Αθήνα
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) – Φύλλο Χάρτη ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ – Γεωλογικός Χάρτης.
- Κεχαγιάς Κ. (2014) Διπλωματική Εργασία «Σύγκριση αποτελεσμάτων συμβατικής τριαξονικής δοκιμής και πολυεπίπεδης τριαξονικής δοκιμής σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο», Χανιά.
- Κρητικάκης Γ. (2010). Επιφανειακά Κύματα: Εφαρμογές σε Περιβαλλοντικά και Γεωτεχνικά Προβλήματα, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Σταθοπούλου Μ. (2017). «Τεχνικογεωλογικές-γεωτεχνικές συνθήκες και διαστασιολόγηση θεμελιώσεων ειδικών τεχνικών έργων: η περίπτωση των αιολικών πάρκων», Πάτρα.
- Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως. (2006) «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργεια και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις» (ΦΕΚ 129/27-06-2006, Ν. υπ’ αριθ. 3468)
- Χρησταράς Β. (2005). Συνοπτική περιγραφή των συνηθέστερων εργαστηριακών δοκιμών Βραχομηχανικής – Εδαφομηχανικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας – Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

Διαδικτυακοί ιστότοποι

- Αιολική Ενέργεια: Είδη ανεμογεννητριών
<https://medilab.pme.duth.gr/invonio/turbine-tyhpes.html>
- Εφιαλτικό σενάριο για ρύπους στα 40 ευρώ από φέτος
http://www.capital.gr/epixeiriseis/3340494/bofa-efialtiko-senario-gia-rupous-sta-40-euro-apo-fetos?utm_term=Autofeed&utm_medium=Social&utm_source=Facebook#Echobox=1548662193
- Γεωηλεκτρική μέθοδος - Διατάξεις ηλεκτροδίων
<http://users.uoa.gr/~jalexopoulos/electrical.pdf>
- Γεωλογία της Ελλάδος - <https://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/geologia-elladas>
- Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών - <http://emeric.ims.forth.gr/#cre4> -
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) - http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm
- Μέθοδος πολυκάναλης ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (MASW) - <http://www.masw.com/>
- Όργανο μέτρησης <http://www.iris-instruments.com/syscal-prosw.html>
- Σεισμικά κύματα - <http://www.meteo-news.gr/2017/01/seismika-kymata.html>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας – Ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας - <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=285>