



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***Γεωηλεκτρική Δομή Υπεδάφους με συνδυασμό Γεωφυσικών
Μεθόδων. Εφαρμογή στην Ανατολική Κρήτη.***

ΛΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ

ΑΜ: 1183

Επιβλέπων Καθηγητής: ΙΩΑΝΝΗΣ Π. ΜΑΚΡΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2016



TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE
SCHOOL OF APPLIED SCIENCES
DEPT OF NATURAL RESOURCES & ENVIRONMENT



SECTION OF WATER RESOURCES & GEOENVIRONMENT
LAB OF GEOPHYSICS & SEISMOLOGY

BACHELOR'S THESIS

***Geoelectrical Structure of Subsoil with combination of
Geophysical Methods. Application in Eastern Crete.***

LOULOS VASILAKIS

Reg: 1183

Supervisor: JOHN P. MAKRIS

CHANIA 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή για την πρόταση, την επίβλεψη και την καθοδήγηση, την ερευνήτρια Δρ Δέσποινα Καλησπέρη για την άψογη και ουσιαστική συνεργασία μας σε κάθε στάδιο της πτυχιακής αυτής εργασίας και τον κ. Αντώνιο Κοκολογιαννάκη για την καταλυτική βοήθειά του στις μετρήσεις πεδίου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΤ και TEM.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΣΥΛΛΟΓΗ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ – ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	38
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	39

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία αφορά στην συνδυασμένη εφαρμογή της Μαγνητοτελλουρικής Μεθόδου (MT), μία από τις πιο εδραιωμένες ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης, και της Μεθόδου Παροδικού Ηλεκτρομαγνητικού Πεδίου (TEM) στη διερεύνηση και μελέτη της γεωηλεκτρικής δομής θέσεων στην Ανατολική Κρήτη (Ν. Λασιθίου) που γειτνιάζουν σε σεισμολογικούς σταθμούς του Τηλεμετρικού Σεισμολογικού Δικτύου Κρήτης (HSNC), καθώς και σε θέσεις υποψήφιας για την εγκατάσταση σεισμοηλεκτρομαγνητικών σταθμών στα πλαίσια της ερευνητικής δράσης του Εργαστηρίου Γεωφυσικής και Σεισμολογίας του Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Η εργασία αυτή, βασικό αντικείμενο τη συνδυασμένη εφαρμογή στο πεδίο της μαγνητοτελλουρικής μεθόδου, αξιοποιώντας την προηγμένη μαγνητοτελλουρική διάταξη μέτρησης MT24/LF του οίκου EMI που περιλαμβάνει και τους αισθητήρες ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, και της μεθόδου παροδικού ηλεκτρομαγνητικού (EM) πεδίου, αξιοποιώντας το εξελιγμένο σύστημα TEM-FAST 48 HPC του οίκου AEMR. Οι συνδυασμένες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε πέντε (5) επιλεγμένες θέσεις στην Ανατολική Κρήτη (Ν. Λασιθίου) που διέπονται από διαφοροποιημένη γεωλογία.

Τα μαγνητοτελλουρικά δεδομένα, όπως και τα TEM δεδομένα έτυχαν προκαταρκτικής ανάλυσης και επεξεργασίας και προέκυψαν οι καμπύλες φαινόμενης αντίστασης και φάσης συναρτήσει της συχνότητας, ενώ προσδιορίστηκαν παράμετροι που συσχετίζονται με την συμμετρία της δομής σε κάθε θέση μέτρησης. Τέλος, όσον αφορά τα TEM δεδομένα έγινε μονοδιάστατη αντιστροφή για την εξαγωγή 1D προτύπου της επιφανειακής γεωηλεκτρικής δομής.

ABSTRACT

The thesis involves the combined application of Magnetotelluric Method (MT), one of the more consolidated electromagnetic methods of geophysical prospection, and of the method of transient electromagnetic field (TEM) in investigating and studying the geoelectrical structure at selected sites in Eastern Crete (Lassithi Prefecture) that are in the vicinity of seismological stations of the Telemetric Seismological Network of Crete (HSNC) and that are neighboring to candidate sites for installing seismoelectromagnetic stations, within the framework of the research activities of the Laboratory of Geophysics and Seismology of the Technological Educational Institute of Crete.

The main subject of this work was the combined application in the field of the magnetotelluric method utilizing the advanced MT system MT24/LF from EMI, which also includes the sensors of the electric and magnetic field with the method of transient electromagnetic (EM) field, utilising the sophisticated system TEM-fast 48 HPC from AEMR. The combined measurements were carried out in five (5) selected locations in Eastern Crete (Lassithi Prefecture) governed by differentiated geology.

The magnetotelluric data, as well as the TEM data experienced a preliminary analysis and processing and revealed the curves of apparent resistivity and phase versus frequency, while parameters that are associated with the symmetry of the structure in each measurement site were identified. Finally, the TEM data were subjected to inversion, to extract 1D model of the near-surface geoelectrical structure.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της γεωηλεκτρικής δομής με τη συνδυασμένη διενέργεια γεωφυσικών ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων: Μαγνητοτουλλουρική μέθοδος (MT) και μέθοδος Παροδικού Ηλεκτρομαγνητικού Πεδίου (TEM) στην Ανατολική Κρήτη.

1.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ο νομός Λασιθίου είναι ο ανατολικότερος νομός της Κρήτης και στις τρεις πλευρές του (βόρεια, ανατολικά και νότια) βρέχεται από το Κρητικό, το Καρπάθιο και το Λιβυκό Πέλαγος αντίστοιχα. Δυτικά συνορεύει με το νομό Ηρακλείου, με φυσικό όριο την οροσειρά Δίκτη (ή αλλιώς Λασιθιώτικα όρη) η οποία και κυριαρχεί στην επαρχία Λασιθίου, με το έδαφός της να είναι κατά βάση ορεινό. Στα ανατολικά του νομού βρίσκεται άλλη μία οροσειρά, τα Σητειακά όρη. Πρωτεύουσά του είναι ο Άγιος Νικόλαος.

Οι μέσες συντεταγμένες του νομού είναι N 35° 05', E 25° 50' και η έκτασή του 1.818 τ. χλμ., από τα οποία 23,58 τ. χλμ. αποτελούν τα γύρω νησιά του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Η Κρήτη δημιουργήθηκε ως ξηρά πριν από 23 εκατομμύρια χρόνια. Πριν από αυτήν την περίοδο, όλος ο ελλαδικός χώρος ήταν τμήμα ενός μεγάλου ωκεανού που χώριζε την Ευρώπη από την Αφρική. Στο βυθό του ωκεανού και για εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια, κατακάθιζαν πολλαπλά ιζήματα που συναντάμε σήμερα σε όλες τις οροσειρές της χώρας μας. Τα περισσότερα από αυτά τα ιζήματα ήταν ανθρακικής σύστασης και έτσι τα πετρώματα που δημιουργήθηκαν ήταν ασβεστόλιθοι και δολομίτες. Αργότερα, κάποια από αυτά τα πετρώματα μεταμορφώθηκαν σε μάρμαρα.

Όταν η Αφρική άρχισε να πλησιάζει την Ευρώπη, ο ωκεάνιος χώρος συρρικνώθηκε, αφήνοντας ως υπόλειμμα τη σημερινή Μεσόγειο θάλασσα. Τα πετρώματα που είχαν σχηματιστεί παραμορφώθηκαν, ανυψώθηκαν και αναδύθηκαν από τη θάλασσα σχηματίζοντας τη σημερινή ξηρά της Ελλάδας.

Στην Κρήτη μπορεί να αναγνωρίσει κάποιος τρεις μεγάλες ομάδες πετρωμάτων που σχηματίστηκαν μέσα σε αυτόν τον ωκεανό και που σήμερα σχηματίζουν τα κρητικά βουνά. Τους πλακώδεις ασβεστόλιθους και τα πετρώματα της Τρίπολης, που είναι στην πλειοψηφία τους ανθρακικής σύστασης, και την ομάδα των φυλλιτών-χαλαζιτών που συνήθως παρεμβάλλεται ανάμεσα στις προηγούμενες δύο.

Τη ραχοκοκαλιά του νησιού αποτελούν οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι ή μάρμαρα. Το πάχος τους ξεπερνά τα πέντε χιλιόμετρα και, παρόλο που είναι η ομάδα βάσης, συναντώνται στις ψηλότερες κορυφές της Κρήτης. Είναι σκληρά και συμπαγή πετρώματα με μικρή υδροπερατότητα, εντούτοις διαβρώνονται πολύ εύκολα και έτσι αποκτούν ρωγμές και κοιλότητες μέσα στις οποίες το νερό μπορεί εύκολα να εισχωρήσει. Λαμβάνοντας ακόμη υπόψη ότι τα ψηλά βουνά του νησιού δέχονται μεγάλες ποσότητες βροχοπτώσεων και χιονιού, τα πετρώματα αυτά λειτουργούν ως υδατοσυλλέκτες και αξιόλογες αποθήκες υπόγειου νερού.

Η ομάδα των φυλλιτών-χαλαζιτών, που αποτελείται από φυλλίτες, σχιστόλιθους, χαλαζίτες και παλιά ηφαιστειακά πετρώματα εμφανίζονται στη δυτική Κρήτη, σε ορισμένα σημεία της ενδοχώρας του Ρεθύμνου, στα βορειοδυτικά του Ηρακλείου και στην περιοχή της Σητείας. Οι σχιστόλιθοι και οι φυλλίτες είναι κυρίως αργλικής σύστασης, δε διαβρώνονται εύκολα και παράλληλα είναι πετρώματα αδιαπέρατα από το νερό. Για το λόγο αυτό στην επιφάνειά τους αναπτύσσονται τα περισσότερα ποτάμια μόνιμης επιφανειακής ροής.

Πάνω από τα πετρώματα αυτά υπάρχει, σε πολλές περιοχές της Κρήτης, μια άλλη ομάδα ασβεστολιθικών και δολομιτικών πετρωμάτων που ονομάζονται πετρώματα της Τρίπολης. Αυτά έχουν ένα πάχος μερικών εκατοντάδων μέτρων και είναι πετρώματα μεγάλης υδροπερατότητας. Πολλές φορές συναντώνται σε άμεση επαφή με τους πλακώδεις ασβεστόλιθους χωρίς την παρεμβολή των φυλλιτών-χαλαζιτών.

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Σύμφωνα με τον Κάρολο Μπεζέ, η γεωλογία της περιοχής Λασιθίου Κρήτης αναλύεται ως εξής:

Α) Το φυλλιτικό σύστημα αποτελεί το γενικό υπόβαθρο της Κρήτης. Στο σύστημα αυτό πρέπει να συμπεριλάβουμε και τον φλύσχη, ο οποίος δεν ήταν δυνατόν να υπαχθεί με βεβαιότητα σε κάποια ζώνη. Το φυλλιτικό σύστημα έχει πολυγενή χαρακτήρα, δηλαδή συγκροτείται από διαφορετικά πετρώματα, πάντοτε, όμως, ωκεάνιας προέλευσης. Αυτό, αποδεικνύεται και από το ότι ουδέποτε εντός του συμπλέγματος αυτού παρατηρούνται ασβεστολιθικά πετρώματα.

Β) Το φυλλιτικό σύστημα είναι μεν γενικώς μεταμορφωμένο, όμως παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία βαθμών μεταμόρφωσης. Μπορούμε να συναντήσουμε από έντονα μεταμορφωμένα μέλη, όπως χαλαζίτες και γνεύσιους, μέχρι αργιλικούς σχιστόλιθους ελάχιστα μεταμορφωμένους ή φλυσχοειδή. Επομένως, ο βαθμός μεταμόρφωσης αυτών των πετρωμάτων, αβυσσικής ή ωκεάνιας προελεύσεως, δεν πρέπει να μας παρασύρει σε επιμέρους κατατάξεις. Το σύνολο πρέπει να εκλαμβάνεται ως μια ενότητα, που αποτελεί το γενικό υπόβαθρο της Κρήτης.

Γ) Στην ηπειρωτική Ελλάδα, ο αντίστοιχος σχηματισμός του φυλλιτικού συστήματος της Κρήτης είναι το Λιθανθρακοπέρμιο και η Σχιστοκερατολιθική Διάπλαση της ζώνης Ανατολικής Ελλάδας. Αμφότερες οι ενότητες αυτές εμπεριέχουν οφιολιθικά σώματα και συγκροτούνται εν γένει από πετρώματα αβυσσικής - ωκεάνιας προέλευσης. Επομένως, υπάρχει, ως προς το σημείο αυτό, ομοιότητα μεταξύ της γεωλογίας της Κρήτης και της γεωλογίας της ηπειρωτικής Ελλάδας.

Δ) Επάνω στο φυλλιτικό υπόβαθρο έχουν επωθηθεί οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι (Plattenkalk). Η επιφάνεια της επώθησης μπορεί να παρατηρηθεί ευκρινώς στην περιοχή βορείως της Νεάπολης Λασιθίου.

Ε) Επάνω από το φυλλιτικό υπόβαθρο έχει επωθηθεί και η ασβεστολιθική σειρά της Τρίπολης. Αυτό, σε συνδυασμό με όσα αναφέραμε πριν, σημαίνει ότι οι φυλλίτες καλύπτονται ταυτόχρονα και ισότιμα και από τις δύο ασβεστολιθικές σειρές, Plattenkalk και Τρίπολης.

ΣΤ) Οι ασβεστολιθικές σειρές των Plattenkalk και της Τρίπολης διατάσσονται η μία δίπλα στην άλλη και όχι η μία επάνω από την άλλη, σε μια στοίβα, όπως δέχονταν οι παλαιότερες θεωρίες. Αυτό σημαίνει ότι επωθήθηκαν επάνω στους φυλλίτες ταυτόχρονα, ωθώντας η μία την άλλη, με την μορφή καλυμμάτων.

Ζ) Η επώθηση των δύο ενοτήτων, Τρίπολης και πλακωδών ασβεστόλιθων, επί του φυλλιτικού υποβάθρου έγινε αρχικά σε οριζόντια θέση. Η κλίση της επιφάνειας επώθησης, που παρατηρείται σήμερα σε πολλές περιοχές, οφείλεται σε πτυχώσεις που έλαβαν χώρα σε μεταγενέστερο των επωθήσεων στάδιο.

Η) Η εποχή της τοποθέτησης των καλυμμάτων της Τρίπολης και των πλακωδών ασβεστόλιθων επί των φυλλιτών αντιστοιχεί στο Μεσσήνιο (τέλος Μειοκαίνου) ή λίγο αργότερα. Αυτό πιστοποιείται από την παρατήρηση της επώθησης των πλακωδών

ασβεστόλιθων επί νεογενών στρωμάτων του Μεσσηνίου στην περιοχή Σελλών, βορείως της Ελούντας.

Θ) Η επώθηση των Plattenkalk επί νεογενών σχηματισμών παρατηρείται και στον δρόμο από Λατσίδα προς Μίλατο. Μεταξύ των υποκείμενων νεογενών σχηματισμών και των επωθημένων Plattenkalk, παρεμβάλλεται χαρακτηριστικό πολύμεικτο λατυποπαγές επώθησης.

Ι) Οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι τα καλύμματα Τρίπολης και Plattenkalk, τοποθετήθηκαν είτε απευθείας επί των φυλλιτών, είτε επί του Μειοκαίνου, το οποίο είχε ήδη αποτεθεί επί των φυλλιτών πριν από την φάση των επωθήσεων. Η επωθήσεις συνοδεύθηκαν από τον κατακερματισμό των πετρωμάτων, τόσο του υποβάθρου, όσο και των επωθούμενων σειρών.

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό μιας παχιάς ζώνης επώθησης συγκροτούμενης από πολύμεικτα λατυποπαγή. Τα λατυποπαγή αυτά έχουν συχνά μια χαοτική διάταξη στον χώρο και το πάχος τους μπορεί να ξεπερνά τα 200 m. Πάντοτε, όμως, παρεμβάλλονται μεταξύ υποβάθρου και επωθημένων σειρών. Στη διεθνή βιβλιογραφία, τα χαοτικά αυτά λατυποπαγή ονομάζονται Καρνεόλες (Cargneules). Μέσα στην μάζα τους μπορεί να περιέχουν και ασβεστολιθικούς ογκόλιθους μεγέθους αρκετών μέτρων. Διακρίνονται εύκολα από τα μητρικά ασβεστολιθικά πετρώματα από το γεγονός ότι είναι καταθρυμματισμένοι σχηματισμοί, συχνά δολομιτιωμένοι, και μέσα στις διακλάσεις τους περιέχεται αρκετή κίτρινη ή ερυθρά άργιλος, που δίνει στο πέτρωμα πορτοκαλί χρώμα. Φυσικά, το κίτρινο χρώμα οφείλεται στην συμμετοχή μέσα στο πέτρωμα των μαργών του Νεογενούς, που κατά κανόνα, έχουν κίτρινο χρώμα. Καρνεόλες, σε μεγάλη ποικιλία τύπων και μορφών, μπορεί να παρατηρήσει κανείς μέσα στην πόλη του Αγίου Νικολάου, καθόσον όλοι οι λοφίσκοι της πόλης αποτελούνται από τέτοια πετρώματα. Μεγάλες εμφανίσεις καρνεολών υπάρχουν και στην περιοχή των Λακωνίων, δυτικά του Αγ. Νικολάου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΑΓΝΗΤΟΤΕΛΛΟΥΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ

Γεωφυσική διασκόπηση είναι η μελέτη της δομής των απρόσιτων στην άμεση παρατήρηση επιφανειακών στρωμάτων του γήινου φλοιού, με βάση τις μετρήσεις γεωφυσικών μεγεθών και με την εφαρμογή θεμελιωδών νόμων της φυσικής. Βασικός σκοπός της γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο εντοπισμός γεωλογικών συνθηκών οικονομικής σημασίας.

Η βασική σημασία της γεωφυσικής διασκόπησης, οφείλεται στο ότι, με προσδιορισμό πιθανών δομών που σχετίζονται με κοιτάσματα πετρελαίου, αυξάνεται η πιθανότητα επιτυχών γεωτρήσεων. Σημαντικό είναι επίσης το οικονομικό όφελος από την εφαρμογή των μεθόδων Γεωφυσικής Διασκόπησης στην ανεύρεση μεταλλευμάτων. Επιπλέον αυτών, γεωφυσικές μέθοδοι σε συνδυασμό με γεωλογικές μεθόδους εφαρμόζονται για τον εντοπισμό υδροφόρων οριζόντων, γεωθερμικών πεδίων. Οι κύριες κατηγορίες γεωφυσικών μεθόδων διασκόπησης είναι:

- 1) Σεισμικές Μέθοδοι Διασκόπησης,
- 2) Βαρυτομετρικές Μέθοδοι Διασκόπησης,
- 3) Μαγνητικές Μέθοδοι Διασκόπησης,
- 4) Ηλεκτρικές Μέθοδοι Διασκόπησης,
- 5) Ηλεκτρομαγνητικοί Μέθοδοι Διασκόπησης,
- 6) Ραδιομετρικές Μέθοδοι Διασκόπησης.

Στη συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήσαμε ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους.

3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο κοντά στην επιφάνεια της Γης, τα οποία επάγουν μέσα στο γήινο φλοιό μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά ρεύματα τα οποία παράγουν δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Τα δευτερογενή αυτά κύματα έχουν την ίδια συχνότητα με τα αρχικά κύματα αλλά οι υπόλοιπες ιδιότητές τους διαφέρουν (διεύθυνση, πλάτος, φάση) γιατί οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται και από τη γεωηλεκτρική δομή (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) των ανώτερων κυρίως στρωμάτων του φλοιού. Τα δευτερογενή κύματα συμβάλλουν με τα αρχικά κύματα για να δώσουν ένα συνιστάμενο κύμα το οποίο καταγράφεται και γι' αυτό γνωρίζουμε τις ιδιότητες του.

3.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Το πλεονέκτημα των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων σε σχέση με τις ηλεκτρικές μεθόδους είναι ότι αυτές μπορούν να εφαρμοστούν και σε περιπτώσεις κατά τις οποίες δε μπορεί να γίνει ηλεκτρική σύνδεση με το έδαφος επειδή αυτό έχει μεγάλη ειδική αντίσταση οπότε οι ηλεκτρικές μέθοδοι δε μπορούν να εφαρμοστούν. Το μειονέκτημα των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων είναι ότι δε μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση αγώγιμων σωμάτων σε μεγάλα βάθη όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγώγιμο. Με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους μπορεί να γίνει διασκόπηση σε βάθη μεγαλύτερα από ότι με τις ηλεκτρικές. Όμως και με τις μεθόδους αυτές, με εξαίρεση τη μαγνητοτελλουρική, τα βάθη αυτά είναι μικρά και για το λόγο αυτό οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται στη διασκόπηση των μεταλλευμάτων και όχι π.χ., στη διασκόπηση πετρελαίου.

3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΜΑΓΝΗΤΟΤΕΛΛΟΥΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ

Η ΜαγνητοΤελλουρική (MT) μέθοδος, παραδοσιακά εφαρμόζεται για τη διασκόπηση βαθέων δομών με ULF φυσικά πεδία. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες όμως, η πρόοδος της τεχνολογίας επέτρεψε την κατασκευή μαγνητομέτρων υπερευαίσθητων σε ασθενή φυσικά πεδία υψηλότερων συχνοτήτων (ELF) και εισήγαγε την ψηφιακή ανάλυση σήματος, οδηγώντας την εφαρμογή της MT μεθόδου στις διασκοπήσεις και ρηχών δομών.

Αν και εν γένει απλές, οι μετρήσεις πεδίου απαιτούν αρκετό σχεδιασμό και προσοχή, αφού αποτελούν και το πλέον δαπανηρό και ουσιαστικό μέρος της έρευνας. Η χαμηλή ένταση των φυσικών πεδίων και η ευαισθησία των οργάνων καθιστούν τις μετρήσεις ευάλωτες σε θόρυβο και εξωτερικές παρεμβολές, και οι διαδικασίες μετρήσεων οφείλουν να ελαχιστοποιούν τέτοια προβλήματα. Σε κάθε σταθμό μέτρησης εγκαθίστανται δύο οριζόντια, αμοιβαίως ορθογώνια ζεύγη ηλεκτροδίων (ηλεκτρικά δίπολα) και τρία αμοιβαίως ορθογώνια επαγωγικά πηνία (μαγνητόμετρα) διατεταγμένα στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων μέτρησης, συνήθως $x \rightarrow NS$ και $y \rightarrow EW$.

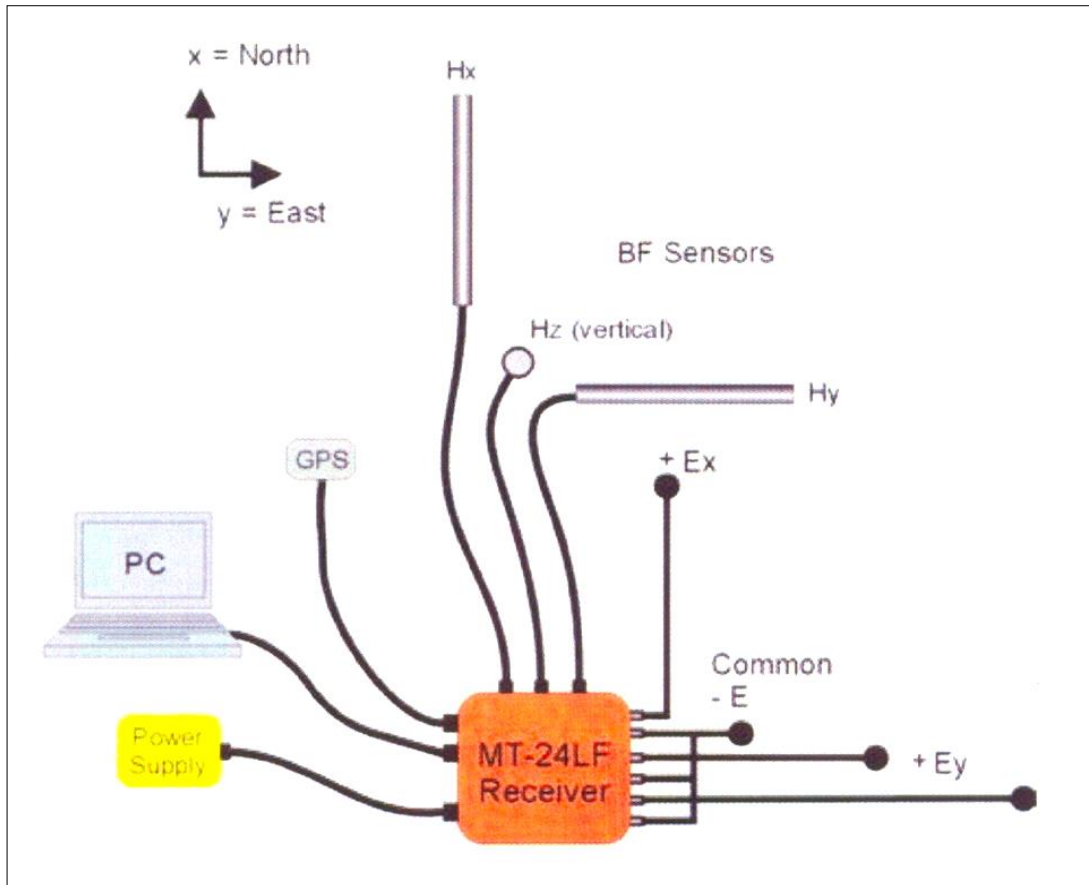
Τα ηλεκτρόδια οφείλουν να προσφέρουν καλή αγώγιμη επαφή χαμηλού θορύβου με το έδαφος. Όσο πιο απομακρυσμένα τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια μεταξύ τους, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μετρούμενη διαφορά δυναμικού, γεγονός που είναι ζητούμενο, δεδομένων φυσικά των συνθηκών της περιοχής μετρήσεων (πιθανά εμπόδια, τοπογραφία, διαθέσιμος χρόνος εγκατάστασης, ελάχιστη ανεκτή απόσταση μεταξύ διαδοχικών σταθμών μέτρησης κλπ). Το ανάπτυγμα των ηλεκτρικών διπόλων για μελέτες βαθιάς δομής κυμαίνεται από 70m έως 100m περίπου, ενώ πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε τα καλώδια διασύνδεσης να μη δονούνται, διότι έτσι επάγεται θόρυβος. Έτσι, για να προστατεύονται από τέτοιου είδους διαταραχές, είτε θάβονται, είτε σταθεροποιούνται ανά λίγα μέτρα.

Τα επαγωγικά πηνία είναι ακόμη πιο ευαίσθητα σε δονήσεις (άνεμος, δέντρα, θαλάσσια κύματα κλπ) γι' αυτό επιβάλλεται να θάβονται σε ρηχά ορύγματα, οπότε προστατεύονται και από το θερμικό θόρυβο του περιβάλλοντος. Τα πηνία με φερριτικό πυρήνα πρέπει να απέχουν αλλήλων μερικές φορές το μήκος τους, για να αποφεύγονται οι αλληλεπιδράσεις (αμοιβαία

σύζευξη). Η τήρηση της γεωμετρίας της διάταξης μετρήσεων είναι σημαντικότερος παράγων και κάθε απόκλιση της διάταξης των πηνίων ή/και των διπόλων από την αμοιβαία ορθογωνιότητα παραμορφώνει τις ιδιότητες των μετρούμενων συναρτήσεων απόκρισης της Γης. Συνεπώς, τα πηνία οριζοντιώνονται και προσανατολίζονται (ορθογωνιοποιούνται) και μεταξύ τους και ως προς τα ηλεκτρόδια, με ευαίσθητες πυξίδες ή άλλες τοπογραφικές τεχνικές.

Για τη συλλογή ποιοτικών MT δεδομένων, οι θέσεις μέτρησης πρέπει να επιλέγονται με προσοχή, ώστε να αποφεύγονται, όπου αυτό είναι δυνατό, πιθανές πηγές θορύβου, όπως για παράδειγμα κυκλώματα καθοδικής προστασίας, γραμμές μεταφοράς ενέργειας, ηλεκτρικοί φράχτες, ηλεκτρικές μηχανές, γειωμένοι σωλήνες, σιδηροδρομικές γραμμές κ.α. Στις περιπτώσεις που αυτό δεν επιτυγχάνεται, συνιστάται η υποχρεωτική εφαρμογή της τεχνικής απομακρυσμένης αναφοράς (Remote Reference, RR) όπου η MT μέτρηση πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την ύπαρξη μίας δεύτερης συγχρονισμένης διάταξης μέτρησης μόνο με επαγωγικά πηνία, εγκατεστημένα σε απομακρυσμένη θέση χαμηλού (μαγνητικού) θορύβου. Τέλος, η τοπογραφία είναι δυνατόν να προκαλέσει παραμορφώσεις όμοιες με αυτές που θα έδιναν πλευρικές μεταβολές της αγωγιμότητας, οι οποίες αν και είναι δυνατόν να διορθωθούν, καλό θα ήταν να αποφεύγονται, ιδίως δε όταν η τοπική μεταβολή υψομέτρου υπερβαίνει το 10% του αναπτύγματος των ηλεκτροδίων.

Περαιτέρω, είναι σκόπιμο να συμπληρώνεται για κάθε μέτρηση μία τεχνική αναφορά έρευνας (survey report) με πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία των μετρήσεων (ονομασία, γεωγραφικές συντεταγμένες, υψόμετρο), τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων (θερμοκρασία, υγρασία κλπ), το χρονικό διάστημα στο οποίο έλαβαν χώρα, τους συμμετέχοντες ερευνητές, ένα σχέδιο όλων των συνδέσεων και της διευθέτησης των αισθητήρων, όπως επίσης και των σειριακών αριθμών των μαγνητομέτρων που χρησιμοποιήθηκαν (καθώς κατά την ανάλυση συνοδεύονται από τα αντίστοιχα αρχεία βαθμονόμησης). Επίσης, η ορθή και πλήρης εγκατάσταση και απεγκατάσταση της MT διάταξης εξασφαλίζεται με την ύπαρξη οδηγού εγκατάστασης που περιλαμβάνει τις απαραίτητες διαδικασίες και ελέγχους και συνοδεύεται από λίστα ελέγχου (check list) της οργανολογίας και των παρελκόμενων. Τέλος, πριν την «επίσημη» έναρξη κάθε μέτρησης επιβάλλεται η διενέργεια μιας δοκιμαστικής. Τυπικό δείγμα διαμόρφωσης ενός μαγνητοτελλουρικού συστήματος μέτρησης αποδίδεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 1. Μαγνητοτελλουρικό Σύστημα μέτρησης (EMI MT manual)

3.4 ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΤ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.4.1 ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Πριν την εγκατάσταση στο πεδίο, βεβαιωνόμαστε ότι ο κάθε μαγνητικός αισθητήρας λειτουργεί κανονικά. Συνδέοντας τα μαγνητόμετρα στο σύστημα τα «παρενοχλούμε» με κάποιο κινούμενο μεταλλικό (μαγνητιζόμενο) αντικείμενο. Μπορούν επίσης δύο αισθητήρες να τοποθετηθούν παράλληλα ο ένας με τον άλλο για να επιβεβαιώσουμε ότι και οι δύο ανιχνεύουν τα ίδια σήματα.

Για τη μείωση του κινδύνου φθοράς των διεπαφών από την υγρασία και τη σκόνη, τα καλώδια θα πρέπει να είναι συνδεδεμένα στους αισθητήρες καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας. Συνιστάται επίσης η καταγραφή του σειριακού αριθμού κάθε αισθητήρα καθώς και του επιλεγέντος προσανατολισμού του. Ο κάθε αισθητήρας έχει το δικό του αρχείο διακρίβωσης το οποίο εντοπίζεται από τον σειριακό αριθμό του.

Κατά την εγκατάσταση των αισθητήρων, κάνουμε σχέδιο όλων των συνδέσεων που έχουν γίνει, το οποίο μπορεί να μας βοηθήσει σε τυχόν επόμενες μετρήσεις. Στη συνέχεια πραγματοποιούμε μία αρχική παρατήρηση των σημάτων κάθε αισθητήρα με μία

δειγματοληπτική συχνότητα 20Hz. Με τον τρόπο αυτό θα εξακριβώσουμε πιθανά προβλήματα που έχουν να κάνουν με την εγκατάσταση του συστήματος και τη χωροθέτηση. Σε αυτή τη συχνότητα, τα δευτερεύοντα μαγνητικά πεδία είναι εν γένει ασθενή με αποτέλεσμα τα παραμορφωμένα κύματα να γίνονται εύκολα αντιληπτά. Στην εικόνα του δέκτη (Σχήμα 1) φαίνονται οι σύνδεσμοι των μαγνητικών αισθητήρων. Παρατηρούμε ότι οι σύνδεσμοι έχουν μαρκαριστεί ως Hx, Hy, Hz για μεγαλύτερη ευκολία κατά την εγκατάσταση.

Πηνία οριζόντιας διεύθεσης



Τα επαγωγικά πηνία (μαγνητόμετρα) οριζόντιας διεύθεσης τοποθετούνται πάντοτε κατά τις ορθογώνιες διευθύνσεις μέτρησης για όλους τους αισθητήρες. Κατά τη διαδικασία της εγκατάστασης των πηνίων αρχικά σημειώνεται ο επιθυμητός προσανατολισμός με τη χρήση γεωλογικής πυξίδας και την τοποθέτηση μικρών ξύλων στις άκρες των υπό κατασκευή ορυγμάτων ως σημάδια. Έπειτα σκάβονται τα ορύγματα (αυλάκια) σε βάθος που δεν υπερβαίνει τα 40 cm και τοποθετούνται εντός τους οι αισθητήρες σταθμίζοντάς τους προσεκτικά με αλφάδι και προσανατολίζοντάς τους με τη βοήθεια της πυξίδας. Η απόσταση μεταξύ των αισθητήρων θα πρέπει να κυμαίνεται από 3m έως 5m για την αποφυγή αλληλεπίδρασης μεταξύ τους.

Βεβαιωνόμαστε ότι η μη-συνδεόμενη άκρη του αισθητήρα έχει την ορθή κατεύθυνση. Αυτό θα διασφαλίσει

το ορθό πρόσημο της φάσης κατά την επεξεργασία των δεδομένων πεδίου. Για την ευθυγράμμιση του αισθητήρα, στεκόμαστε πίσω του και χρησιμοποιώντας την πυξίδα ελέγχουμε τη γωνία του προσανατολισμού. Στην ενέργεια αυτή απαιτείται προσοχή, καθώς δεν πρέπει να τοποθετούμε την πυξίδα πολύ κοντά στο μαγνητόμετρο, διότι ο πυρήνας του πηνίου είναι κατασκευασμένος από υλικό υψηλής μαγνητικής διαπερατότητας και μπορεί να προκαλέσει λανθασμένη ένδειξη της πυξίδας. Μόλις ευθυγραμμιστούν οι αισθητήρες, συνδέουμε στην άλλη άκρη τους τα καλώδια που τους συνδέουν με τον MT δέκτη. Πρέπει να επιβεβαιώσουμε ότι όλες οι επαφές είναι στεγνές και καθαρές.

Σκεπάζουμε το όρυγμα τοποθετώντας μέσα το χώμα απαλά, σκεπάζοντας τον αισθητήρα και το καλώδιο σύνδεσης. Αφήνουμε την επιφάνεια όσο πιο επίπεδη γίνεται ώστε να αποφεύγονται οι διαταραχές λόγω του ανέμου. Βεβαιωνόμαστε ότι η επιφάνεια είναι ομαλή και συμπαγής, χωρίς να προεξέχουν καλώδια. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι μία προσεκτική εγκατάσταση θα διασφαλίσει έναν χαμηλού επιπέδου θόρυβο από τις διάφορες μικρομετακινήσεις.

Πηνία κατακόρυφης τοποθέτησης

Χρησιμοποιώντας ένα τρυπάνι, ανοίγουμε μία τρύπα αρκετά βαθιά ούτως ώστε να θάψουμε εν μέρει τον μαγνητικό αισθητήρα κατακόρυφα. Η κορυφή του αισθητήρα θα πρέπει να βρίσκεται τουλάχιστον 10 cm κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και το καλώδιο συνδέσεως δεν θα πρέπει να είναι εκτεθειμένο στις ριπές του ανέμου. Σε περιοχές με πολύ ισχυρούς ανέμους, οι αισθητήρες μπορούν να θαφτούν ακόμη βαθύτερα. Για να τοποθετήσουμε τον αισθητήρα κατακόρυφα χρησιμοποιούμε αλφάδι.

3.3.2 Ηλεκτρόδια



Οι Μαγνητοτελλουρικές

διατάξεις εγκαθίστανται με τη βοήθεια ενός δεξιόστροφου συστήματος συντεταγμένων, και ως συνήθως η εγκατάσταση των ηλεκτροδίων βασίζεται στον προσανατολισμό των μαγνητικών αισθητήρων. Το θετικό E_x εγκαθίσταται στην ίδια διεύθυνση με το Ηκ. Κοιτώντας προς την κατεύθυνση του ηλεκτροδίου E_x , η κατεύθυνση γ είναι προς την πλευρά του δεξιού χεριού. Το δίπολο εκτείνεται τυπικά από 50 έως 200 m.

Για την ευθυγράμμιση των ηλεκτροδίων χρησιμοποιούμε πυξίδα. Μαρκάρουμε την κάθε τοποθεσία με έναν πόλο και σημειώνουμε την γωνία με βάση τον προσανατολισμό των μαγνητικών αισθητήρων. Στην περίπτωση που τα δίπολα απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από 100 m ή υπάρχει παρεμπόδιση στη γραμμή θέασης, συνίσταται η χρήση χαρτών για την τοποθέτησή τους. Τα δίπολα θα πρέπει να είναι ακριβώς ορθογώνια και η τοποθέτησή τους πού καλά γνωστή ούτως ώστε οι υπολογισμοί να παραμένουν σταθεροί από τοποθεσία σε τοποθεσία.

Εγκατάσταση

Τα ηλεκτρόδια χαμηλής συχνότητας εγκαθίστανται σκάβοντας ρηχές τρύπες στο έδαφος, προσθέτοντας λίγο νερό για τη δημιουργία λάσπης, και έπειτα στερεώνοντας τα ηλεκτρόδια πάνω στην λάσπη. Το επάνω μέρος της τρύπας καλύπτεται για την προστασία του ηλεκτροδίου από τον ήλιο ενώ ορισμένες φορές συνίσταται και η προσθήκη αργίλου στην λάσπη για τη διατήρηση της υγρασίας και την ελάττωση της αντίστασης επαφής. Κάποιοι ερευνητές προσθέτουν επιπλέον αλάτι στο μίγμα αργίλου για την περεταίρω μείωση της αντίστασης επαφής και την αύξηση της αγωγιμότητας.

Βεβαιωνόμαστε ότι η τοποθεσία που επιλέγουμε για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων είναι μακριά από μεγάλους θάμνους ή δέντρα και είναι προστατευμένη από ισχυρούς ανέμους. Κατά την εγκατάσταση των διπολικών καλωδίων, βεβαιωνόμαστε ότι τα τελευταία είναι τοποθετημένα ακριβώς επάνω στο έδαφος και δεν υπάρχει κίνδυνος μετακίνησής τους από τον άνεμο. Η κίνηση των καλωδίων μπορεί ως γνωστόν να είναι αιτία σημαντικού θορύβου.

Τα καλώδια μεταξύ των απομακρυσμένων ηλεκτροδίων θα πρέπει να τοποθετούνται σε ευθεία γραμμή, καθώς μεγάλες αποκλίσεις μπορούν να προκαλέσουν σφάλματα ειδικά στις μεγάλες συχνότητες. Ελέγχουμε εάν τα καλώδια είναι σωστά συνδεδεμένα και αν όλοι οι σύνδεσμοι είναι στεγνοί και καθαροί.

Αντίσταση επαφής

Αφού τα ηλεκτρόδια τοποθετηθούν στο έδαφος, μετράμε την αντίσταση επαφής ανάμεσά τους συνδέοντας ένα τυπικό βολτόμετρο στους συνδέσμους των καλωδίων κάθε ζεύγους ηλεκτροδίων. Τιμές μικρότερες των 10 kohms αντιπροσωπεύουν καλή επαφή με την Γη. Τιμές πάνω από 10 kohms υποδηλώνουν εσφαλμένη εγκατάσταση των ηλεκτροδίων, φτωχή ηλεκτρική σύνδεση, ή εξαιρετικά στεγνή κατάσταση του εδάφους.

Σε περίπτωση που η αντίσταση επαφής είναι πάρα πολύ υψηλή, ελέγχουμε τις ηλεκτρικές συνδέσεις. Αν η σύνδεση είναι καλή, τότε είναι πιθανό τα ηλεκτρόδια να είναι πολύ στεγνά. Είναι σημαντικό οι τιμές της αντίστασης επαφής να είναι σχετικά χαμηλές αφού σε διαφορετική περίπτωση οι μετρήσεις μπορεί να είναι πολύ θορυβώδεις.

Αφού τα ηλεκτρόδια ελεγχθούν, συνδέουμε τα διπολικά καλώδια στον δέκτη. Τα καλώδια αυτά είναι διαθέσιμα σε μήκη από 50 έως 300 μέτρα. Μπορούμε να φτιάξουμε ακόμα μεγαλύτερα καλώδια, ενώνοντας μικρότερα καλώδια μεταξύ τους.

3.3.3 GPS, Φορητός Υπολογιστής, Τροφοδοτικό και Software

Συνδέουμε την μονάδα GPS και τον φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή (Laptop PC) στις αντίστοιχες θύρες του δέκτη MT24/LF. Είναι σημαντικό η μονάδα GPS να τοποθετείται σε ανοιχτή περιοχή ούτως ώστε να υπάρχει καθαρό πεδίο για τον καλύτερο δυνατό εντοπισμό των δορυφόρων.

Πριν εκκινήσουμε τον φορητό υπολογιστή, βεβαιωνόμαστε ότι το καλώδιο επικοινωνίας είναι ορθά συνδεδεμένο στην θύρα RS232 του MT24/LF και στον υπολογιστή (Serial Port ή USB) και ότι το καλώδιο τροφοδοσίας δεν είναι συνδεδεμένο στον δέκτη.

Θέτουμε σε λειτουργία τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και εκκινούμε το τερματικό πρόγραμμα ανάκτησης δεδομένων XACQ. Κατά την εκκίνηση του προγράμματος ενεργοποιείται η διαγνωστική δυνατότητα. Κάνοντας κλικ επάνω στα κουμπιά Test 500Hz, Test 50Hz και Test 6.25Hz ξεκινά η διαδικασία ανάκτησης στις συχνότητες αυτές. Εάν κάνουμε κλικ στο κουμπί Test STOP τότε η ανάκτηση των διαγνωστικών δεδομένων σταματά και η εγκατάσταση του σταθμού μπορεί να αποτιμηθεί από τον έλεγχο των φασματικών αποτελεσμάτων (Spectral Tab). Αφού τρέξουμε τα διάφορα διαγνωστικά τεστ, πηγαίνουμε στο παράθυρο Acq.Control όπου προσδιορίζουμε τα κανάλια και εισάγουμε τις απαραίτητες πληροφορίες της έρευνας.

- CH-1=Hx, CH-2=Ex, CH-3=Hy, CH-4=Ey, CH-5=Hz, CH-6= Ez
- Site ID, Survey ID
- Header Info (Client, Contractor, Operator, Survey Area, ID for Remote Reference, Site Weather description, Comments)
- Dipole Length (in meters), Rotation (0 is North), Response Files

Συνδέουμε τη μονάδα τροφοδοσίας στον δέκτη MT24/LF (Power) και συγχρονίζουμε το σύστημα πατώντας το κουμπί GPS. Το τεστ των 10 δευτερολέπτων θα πρέπει αναφέρει PASSED. Επιλέγουμε το Scheduled Batch Mode και εισάγουμε τις απαραίτητες πληροφορίες.

- Ενεργοποιούμε την ανάκτηση δεδομένων χαμηλών συχνοτήτων (LF) για 6.25 Hz σε συνεχούς ανάκτησης (τουλάχιστον 24 ώρες) και θέτουμε την ώρα έναρξης αυτής
- Ενεργοποιούμε την ανάκτηση δεδομένων υψηλών συχνοτήτων (HF) και ορίζουμε το πόσο συχνά θα πραγματοποιείται αυτή καθώς και την χρονική περίοδο που θα διαρκεί για κάθε μία από τις συχνότητες των 500 και των 50 Hz.

Κάνουμε κλικ στο κουμπί START για να εκκινήσουμε την διαδικασία ανάκτησης και κατόπιν στο Sys.Status tab για να ελέγξουμε την κατάσταση ανάκτησης των HF και LF συχνοτήτων. Μιας και η διαδικασία ανάκτησης βρίσκεται πλέον εν εξελίξει, μπορούμε να κλείσουμε το πρόγραμμα XACQ κάνοντας κλικ στο κουμπί x στο άνω δεξιό άκρο του παραθύρου. Στη συνέχεια αποσυνδέουμε το Laptop PC και το GPS από τον δέκτη MT24/LF και αφήνουμε το σύστημα μόνο του έως ότου να ολοκληρωθεί η ανάκτηση των δεδομένων καταγραφής.

Ανάκτηση των Δεδομένων και Απεγκατάσταση του Συστήματος

Την επόμενη μέρα επισκεπτόμαστε και πάλι την τοποθεσία για να συλλέξουμε τα δεδομένα και να απεγκαταστήσουμε το σύστημα. Όταν η ανάκτηση των δεδομένων έχει ολοκληρωθεί, επανασυνδέουμε το Laptop και το GPS στον δέκτη του συστήματος (για έναν γενικό έλεγχο του συγχρονισμού) και κάνουμε κλικ στο κουμπί STOP στο αριστερό άκρο του πίνακα. Ο έλεγχος του GPS θα πραγματοποιηθεί αυτόματα και θα εμφανιστεί στην οθόνη. Κλείνουμε το σύστημα αποσυνδέοντας την μονάδα τροφοδοσίας και πλέον μπορούμε να ελέγξουμε εάν τα δεδομένα έχουν καταγραφεί και όλα πηγαν καλά. Αφαιρούμε την κάρτα μνήμης flash από τον δέκτη και την εισάγουμε στην συσκευή ανάγνωσης καρτών μνήμης του υπολογιστή για download των δεδομένων.

Αφού διαπιστώσουμε ότι όλα είναι εντάξει, μπορούμε να προχωρήσουμε στην απεγκατάσταση του συστήματος. Πριν ξεθάψουμε τα ηλεκτρόδια μετράμε εκ νέου την

αντίσταση επαφής ανάμεσά τους (Rfinal) και την καταγράφουμε. Ξεθάβουμε επίσης τα μαγνητόμετρα και συγκεντρώνουμε όλο τον εξοπλισμό και τα εργαλεία που βρίσκονται διάσπαρτα στην περιοχή. Καθαρίζουμε όλες τις μονάδες και τα εργαλεία (με νερό αν αυτό υπάρχει) και βεβαιωνόμαστε ότι όλοι οι σύνδεσμοι είναι καλυμμένοι με τα ειδικά καπάκια και προστατευμένοι από σκόνες και βρομιά. Τυλίγουμε τα καλώδια, ελέγχουμε την ειδική λίστα απεγκατάστασης που έχουμε δημιουργήσει και φορτώνουμε τα πάντα στο όχημα. Σημειώνουμε στο τέλος της αναφοράς έρευνας οτιδήποτε αξιοσημείωτο έχει λάβει χώρα κατά την διάρκεια της μέτρησης (π.χ κάποιο πρόβλημα), ελέγχουμε για μια τελευταία φορά την περιοχή για τυχόν ξεχασμένα αντικείμενα και αναχωρούμε. Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι τα ηλεκτρόδια διατηρούνται εμποτισμένα μέσα στο ειδικό υγρό που συνιστά ο κατασκευαστής. Τώρα μπορούμε είτε να συνεχίσουμε τις μετρήσεις στην επόμενη τοποθεσία είτε να επιστρέψουμε πίσω στο εργαστήριο για την επισκόπηση και επεξεργασία των δεδομένων καταγραφής.

Το μετρητικό σύστημα MT24/LF

Το μετρητικό σύστημα με το οποίο διενεργήθηκαν οι μαγνητοτελλουρικές μετρήσεις στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας ήταν το MT24/LF του οίκου EMI Inc. Το σύστημα αυτό είναι ένας μαγνητοτελλουρικός δέκτης που χρησιμοποιεί έναν ισχυρό επεξεργαστή και έναν διπλό δέκτη A/D υψηλών και χαμηλών ταχυτήτων 24-bits. Χρησιμοποιεί CompactFlash μνήμη για το firmware και τη συλλογή των MT-δεδομένων, ενώ συνδέεται με φορητό Η/Υ για τη ρύθμιση, την παραμετροποίησή του και την ανάκτηση των δεδομένων. Ο συνδυασμός του εσωτερικού ταλαντωτή υψηλής ακρίβειας μαζί με τον συγχρονισμό του GPS επιτρέπει τον τέλειο χρονισμό των μετρήσεων.

Η δομή της αγωγιμότητας του υπεδάφους είναι δυνατό να υπολογιστεί πρωταρχικά στο πεδίο από τις μετρήσεις των επιφανειακών ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, μέσω συνοδευτικού λογισμικού ανάλυσης στον φορητό Η/Υ, οπότε και επιβεβαιώνεται η ποιότητα των μετρήσεων. Ένα πλήρες σύστημα MT24/LF περιλαμβάνει τον δέκτη, την μονάδα τροφοδοσίας με τον φορτιστή, τους μαγνητικούς αισθητήρες (μαγνητόμετρα) BF, τα ηλεκτρόδια με τα διπολικά καλώδια, ένα σύστημα GPS, έναν φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή καθώς και όλα τα υπόλοιπα καλώδια με τους απαραίτητους συνδέσμους (βλ. ακόλουθη εικόνα).

Δέκτης MT24/LF

Ο δέκτης MT24/LF ο οποίος φαίνεται στη παρακάτω εικόνα. Δέχεται είσοδο από τους αισθητήρες και πραγματοποιεί ενίσχυση, φιλτράρισμα, διανομή ρεύματος, μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D) και αποθήκευση των χρονοσειρών. Επικοινωνεί με τον φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή για ρύθμιση και ανάκτηση δεδομένων.

Ο δέκτης χρησιμοποιεί έναν 32-bit επεξεργαστή CMOS με πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Έχει έξι ελεγχόμενους επεξεργαστές υψηλών ταχυτήτων 24-bit A/D για δειγματοληψίες σε υψηλές συχνότητες, και οκτώ χαμηλών ταχυτήτων 24-bit A/D για δειγματοληψίες σε χαμηλές συχνότητες. Αυτό το χαρακτηριστικό απλοποιεί τις εργασίες στο

ύπαιθρο επιτρέποντας ταυτόχρονη συλλογή δεδομένων τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές τιμές συχνοτήτων. Το σύστημα χρησιμοποιεί μία CompactFlash κάρτα μνήμης (συνήθως 256 Mb) για την αποθήκευση δεδομένων. Το περίβλημά του είναι συμπαγές και ανθεκτικό λόγω της προστατευτικής θήκης Pelican.

Τεχνικά χαρακτηριστικά του δέκτη MT24/LF

Συγχρονισμός GPS:	±1 microsecond
Αριθμός καναλιών	6
Αναλογικό σε Ψηφιακό:	24bit
Μέγιστη δειγματοληπτική συχνότητα:	1000 Hz
Κατανάλωση Ισχύος (με αισθητήρες):	<2W
Τάση	±12V, +6V

Μονάδα Τροφοδοσίας και Φορτιστής

Μία μονάδα τροφοδοσίας χρησιμοποιείται για την παροχή ενέργειας σε όλες τις μονάδες του συστήματος. Δεν υπάρχει διακόπτης και έτσι η ενέργεια παρέχεται στους αισθητήρες απλώς συνδέοντας τα καλώδια CCAB-5P.

Η μονάδα τροφοδοσίας (μπαταρία) του MT24/LF μπορεί να τροφοδοτεί το σύστημα έως και 60 ώρες συνεχόμενα. Περιέχει τρεις αεροστεγώς κλεισμένες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες με τρεις τάσεις εξόδου: +/-12 και +6V οι οποίες είναι κατάλληλα τοποθετημένες μέσα σε μία προστατευτική θήκη Pelican. Οι σύνδεσμοι για την φόρτιση των μπαταριών (6V και 12V) είναι τοποθετημένοι και αυτοί μέσα στην θήκη η οποία πρέπει να κρατείται ανοιχτή κατά διάρκεια της φόρτισης.

Αισθητήρες Μαγνητικού Πεδίου (Μαγνητόμετρα)

Οι επαγωγικοί αισθητήρες είναι οι BF αισθητήρες μαγνητικής ανάδρασης της EMI που χρησιμοποιούνται κυρίως σε γεωφυσικές έρευνες. Οι αισθητήρες έχουν κατασκευαστεί με

μεγάλης μαγνητικής διαπερατότητας πυρήνα, μ -metal, πυρήνα με κατάλληλα τυλίγματα. Τα τυλίγματα του πηνίου είναι καλυμμένα και εποξικά διατηρημένα μέσα σε προστατευτικό κάλυμα από φάιμπεργκλας.

Κάθε αισθητήρας περιέχει έναν ειδικό προενισχυτή χαμηλού θορύβου τοποθετημένο στο ένα άκρο του κυλινδρικού πηνίου. Ο αισθητήρας είναι ρυθμισμένος έτσι ώστε να μεγιστοποιεί την απόδοση χαμηλού θορύβου.

Ο αισθητήρας BF-4 είναι ιδανικός για συλλογή δεδομένων στις συχνότητες από 0.0001 Hz έως 700 Hz. Είναι ελαφρύς (7.9Kg), χρησιμοποιεί χαμηλή ισχύ της τάξης των 225 mW, ενώ προσφέρει εξαιρετική απόδοση χαμηλού θορύβου, σταθερότητα και ανθεκτικότητα.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Μαγνητομέτρων BF-4

Εύρος συχνοτήτων:	0.0001 έως 1000 Hz
Γωνίες συχνοτήτων 3 dB:	0.2 Hz, 500 Hz
Ευαισθησία (Flat Region)	0.3 V/nT (standard)
Κατανάλωση Ισχύος:	12 mA στα $\pm 12V$

Αισθητήρες Τελλουρικού Πεδίου (Ηλεκτρόδια)

Επειδή δεν είναι δυνατό να μετρηθεί απ' ευθείας η πυκνότητα ρεύματος στη Γη, μετρούνται οι διαφορές δυναμικού μεταξύ ηλεκτροδίων τοποθετημένων εντός του εδάφους. Η χρήση απλών μεταλλικών ράβδων καρφωμένων στο έδαφος ως ηλεκτροδίων, συνήθως οδηγεί σε ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που παράγουν δυναμικά επαφής μεταξύ ηλεκτροδίου και εδάφους (συνεπώς και μεταξύ ηλεκτροδίων), τα οποία πολλές φορές είναι αρκετά ισχυρότερα από τα ανιχνεύσιμα τελλουρικά πεδία (πόλωση ηλεκτροδίων). Επιπλέον, το πλάτος των δυναμικών επαφής εξαρτάται από τις εδαφικές συνθήκες και μεταβάλλεται με τη θέση μέτρησης αλλά και συναρτήσει του χρόνου, οπότε είναι αδύνατη η εκ των υστέρων διόρθωσή τους.

Δεδομένου ότι ο μόλυβδος είναι σχετικά χημικά αδρανής, η χρήση μολύβδινων πλακών είναι μία μερική απάντηση στο πρόβλημα αυτό. Πραγματική λύση, όμως, προσφέρει μόνον η χρήση αντιπολωτικών ηλεκτροδίων. Αυτά αποτελούνται από σύστημα μετάλλου εμβάπτισμένου σε (υγρό ή στερεό) κεκορεσμένο διάλυμα ενός εκ των αλάτων του, όπως για παράδειγμα Cu σε $CuSO_4$, Ag σε $AgCl$, Pb σε $PbCl_2$, το οποίο περιέχεται σε πορώδες κεραμικό που επιτρέπει στο διάλυμα να διαρρέει με βραδείς ρυθμούς και να δημιουργεί καλή αγώγιμη επαφή χαμηλού θορύβου με το έδαφος. Εξ όλων των ανωτέρω, τα ηλεκτρόδια Pb/ $PbCl_2$ είναι τα σταθερότερα και τα πλέον αξιόπιστα.

Ο τύπος των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούμε με το MT24/LF είναι το χαμηλής συχνότητας ELF-2 (βλ. σχετική εικόνα). Εγκαθίστανται σε ρηχές τρύπες στο έδαφος, προσθέτοντας λίγο νερό για τη δημιουργία λάσπης και έπειτα στερεώνοντας τα ηλεκτρόδια πάνω στην λάσπη. Το επάνω μέρος της τρύπας καλύπτεται για την προστασία του ηλεκτροδίου από τον ήλιο, ενώ συνίσταται και η προσθήκη αργίλου για τη διατήρηση της υγρασίας ή/και αλατιού στη λάσπη για την ελάττωση της αντίστασης επαφής. Η αντίσταση επαφής ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ενός δίπολου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10KΩ.

Μονάδα GPS

Η μονάδα GPS είναι το μοντέλο GPS 35-LVS της Garmin. Είναι ένας πλήρης 12-κάναλος δέκτης GPS με εσωτερική κεραία που εντοπίζει μέχρι και δώδεκα δορυφόρους την στιγμή ενώ παρέχει ανανέωση ανά 1 sec και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το GPS 35-LVS είναι καλά προφυλαγμένο μέσα σε ένα μαύρο, αδιάβροχο πλαστικό κουτί σχεδιασμένο ούτως ώστε να αντέχει σε σκληρές επιχειρησιακές συνθήκες. Έχει ένα συνδεδεμένο καλώδιο ρεύματος/δεδομένων 10 μέτρων με έναν σύνδεσμο Tajimi 7-pin.

Το σύστημα επικοινωνεί με τον δέκτη δια μέσου δύο RS232 συμβατών καναλιών επικοινωνίας δύο κατευθύνσεων. Η αποθήκευση των δεδομένων στην εσωτερική μνήμη επιτρέπει στην μονάδα την διατήρηση κρίσιμων δεδομένων όπως είναι οι τροχιακές παράμετροι των δορυφόρων, η τελευταία θέση, η ημερομηνία και η ώρα.

Επεξεργασία MT δεδομένων με τον κώδικα του Egbert

Η επεξεργασία των μαγνητοτελλουρικών δεδομένων συντελείται στο πεδίο των συχνοτήτων διότι οι μαθηματικοί υπολογισμοί είναι ευχερέστεροι από εκείνους στο πεδίο του χρόνου. Συνεπώς, η επεξεργασία ξεκινά με το μετασχηματισμό Fourier, από όπου στην συνέχεια υπολογίζεται η εμπέδηση της Γης για το προσπίπτον κύμα σε σχέση με τη συχνότητα, τη διεύθυνση και τη θέση.

Η ανάλυση, επεξεργασία και ερμηνεία των μαγνητοτελλουρικών δεδομένων στα πλαίσια της έρευνας πραγματοποιήθηκε με τη χρησιμοποίηση του εξελιγμένου και διαδεδομένου λογισμικού πακέτου.

Η λειτουργία του προγράμματος είναι αρκετά αυτοματοποιημένη ενώ το περιβάλλον εργασίας είναι φιλικό προς τον χρήστη. Εξάλλου το εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος παρέχει σημαντική υποστήριξη όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας και την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων.

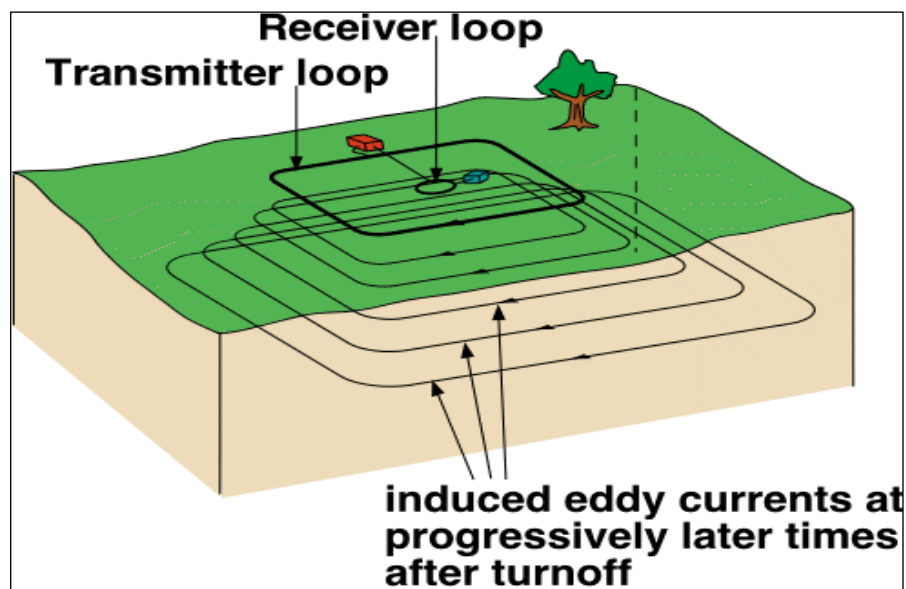
Το πρόγραμμα δέχεται στην είσοδό του δεδομένα καταγραφής που έχουν ανακτηθεί με τη βοήθεια του συστήματος MT24/LF της EMI και έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία λαμβάνουμε τα αποτελέσματα στην έξοδο υπό τη μορφή ειδικών διαγραμμάτων (Data Quality, Resistivity Phase & Strike, Polar Diagrams ect).

4.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ TEM

Η μέθοδος TEM έχει εφαρμοστεί πάνω σε μεταλλευτική έρευνα, γεωθερμικά πεδία, περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές έρευνες, εντοπισμό υδροφόρων και υφάλμυρων οριζόντων, καθώς επίσης έχει συνδυαστεί και με άλλες γεωφυσικές μεθόδους.

Όσον αφορά στο θεωρητικό μέρος της μεθόδου, υλοποιώντας έναν ορθογώνιο βρόγχο στην επιφάνεια του εδάφους, δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης. Το κύκλωμα αυτό αποτελεί τον πομπό εκπομπής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Ύστερα από κάποιο ικανό χρονικό διάστημα ώστε να μην παρατηρούνται ταλαντώσεις στο πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, το συνεχές ρεύμα διακόπτεται απότομα ($t=0$). Με χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στη συνέχεια, η πτώση του ρεύματος γίνεται γραμμικά από 10 μέχρι 0 και διαρκεί χρόνο t_r .

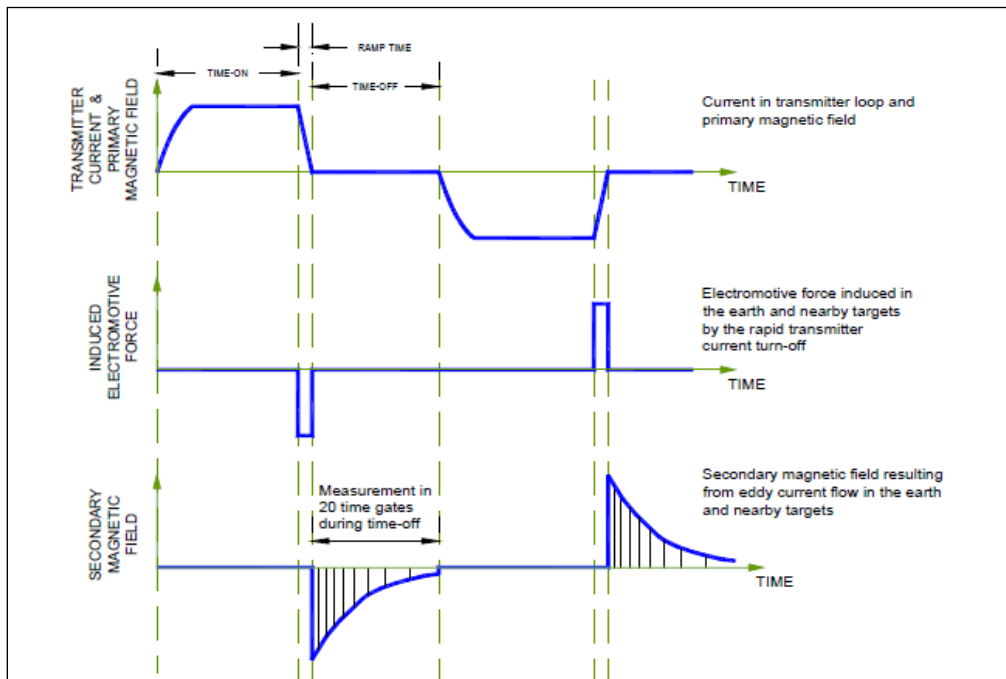


Εικ. Διάταξη της μεθόδου TEM (Kalisperi, 2009)

Με τη χρήση της μεθόδου TEM παρατηρούμε ότι παίρνουμε μετρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών ρεύματος και κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Τα παροδικά επαγωγικά ρεύματα διοχετεύονται μέσα στη γη και διαχέονται με μορφή

μετώπου. Η ένταση των ρευμάτων αυτών φθίνει με το βάθος και ανάλογα με τις γεωηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους. Στη συνέχεια, τα ρεύματα αυτά δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που ανιχνεύεται με κατάλληλο πηνίο- δέκτη και το μετρούμενο δυναμικό στο πηνίο είναι ανάλογο της έντασης του πηνίου. Κατά τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων της διαδικασίας μέτρησης, γίνεται ο διαχωρισμός σε χρονικές πύλες (κανάλια). Στη συνέχεια της προσαρμογής των δεδομένων, γίνεται μία επεξεργασία για αναγνώριση- απομάκρυνση θορύβου, προσεγγιστική αντίστροφη απεικόνιση και γραμμικοποιημένη αντιστροφή.

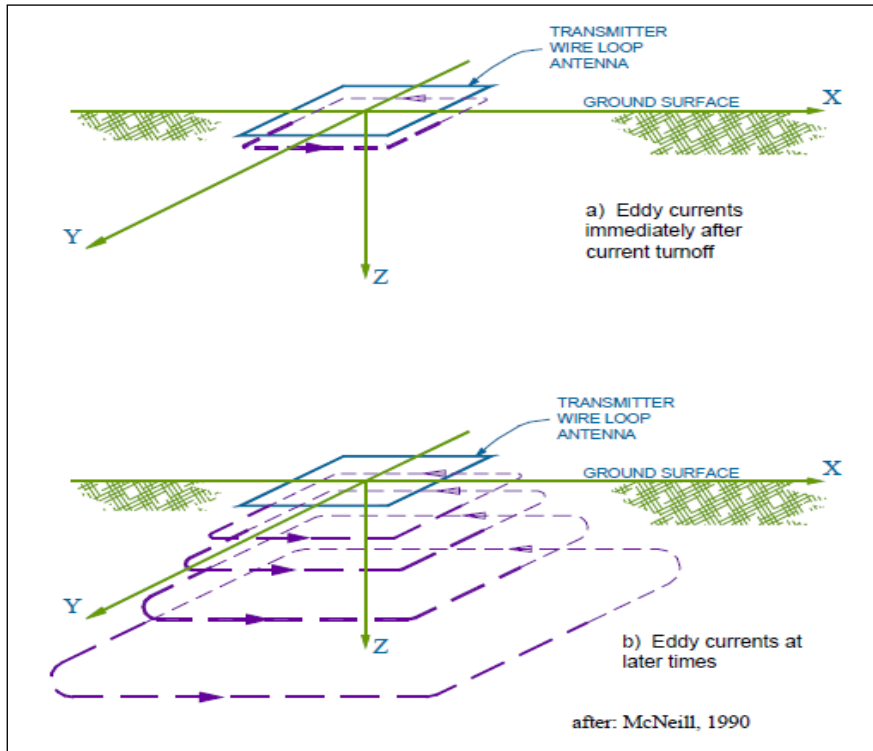
Γενικά, δεδομένου ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους συσχετίζεται έντονα με τις ιδιότητές του, η TEM είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την χαρτογράφηση των εδαφών και των αλλαγών στους διαφόρους τύπους τους σε συγκεκριμένο εύρος βάθους. Είναι χρήσιμη στην άμμο και σε χαλίκι, για χαρτογράφηση υδροφόρων, για αργιλώδη στρώματα με περιορισμό της ροής των υπογείων υδάτων, για αγωγή στραγγίσματα στα υπόγεια ύδατα, για διεύθυνση θαλασσινού νερού, καθώς και για το βάθος στο βραχώδες υπόστρωμα.



Κυματομορφές TEM

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τη θεωρία της λειτουργίας της TEM, οι ηλεκτρομαγνητικές (EM) γεωφυσικές τεχνικές προκαλούν ηλεκτρικά ρεύματα στη γη χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Μια χρονική ποικιλία μαγνητικού πεδίου δημιουργείται χρησιμοποιώντας μια σπείρα ή έναν βρόχο καλωδίου στη γήινη επιφάνεια. Ο νόμος του Faraday για την επαγωγή μας λέει ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο θα παραγάγει ένα ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο στη συνέχεια θα δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Κατά συνέπεια, το αρχικό μαγνητικό πεδίο από το βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων θα δημιουργήσει ένα δευτεροβάθμιο ηλεκτρικό ρεύμα στη γη. Τελικά, μετράμε το

δευτεροβάθμιο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από εκείνα τα δευτεροβάθμια ηλεκτρικά ρεύματα στη γη. Η εικόνα 7 παρουσιάζει μία κυματομορφή του αρχικού μαγνητικού πεδίου που παράγεται από τη συσκευή αποστολής σημάτων και του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου (ηλεκτρεγερτική δύναμη) που συνοδεύει εκείνο το μαγνητικό πεδίο.



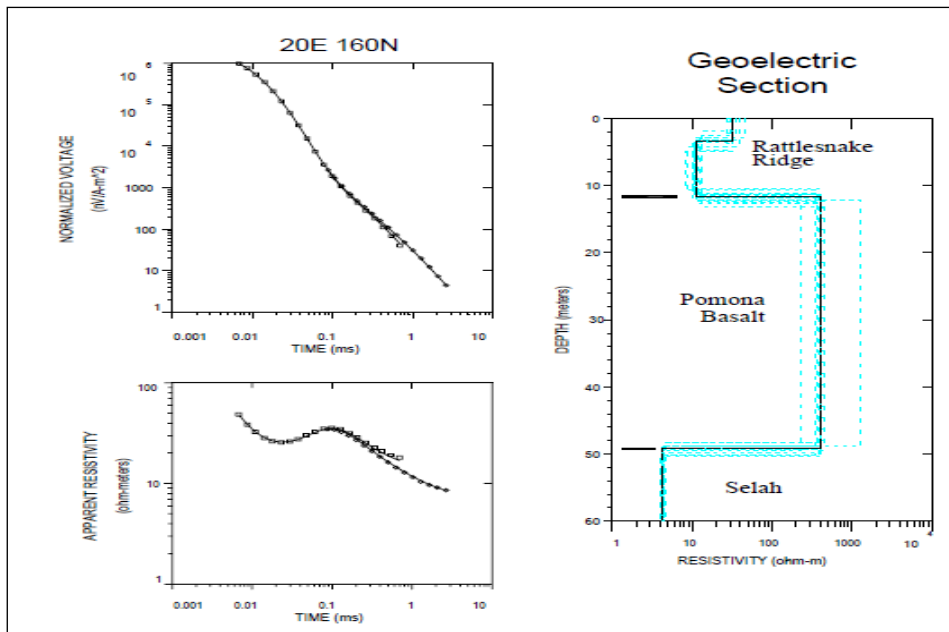
Ροή ρευμάτων στροβίλου α) πρώιμοι χρόνοι, β) ύστεροι χρόνοι (French, 2002; after McNeil, 1990)

Το μέγεθος και το ποσοστό αποσύνθεσης των δευτεροβάθμιων ρευμάτων εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου και τη γεωμετρία των αγώγιμων στρωμάτων. Ο δέκτης TEM μετρά μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα δευτεροβάθμια ρεύματα. Στις ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές χρόνου-περιοχής το προκαλούμενο σήμα είναι ένας δυνατός παλμός, ή παροδικό σήμα. Τα ρεύματα που προκαλούνται στη γη είναι αρχικά συγκεντρωμένα απευθείας κάτω από το βρόχο συσκευής αποστολής σημάτων. Αυτό παρουσιάζεται σχηματικά στην εικόνα 8 α). Με το χρόνο, τα ρεύματα αυτά θα διασκορπιστούν κάτω και μακριά από τη συσκευή αποστολής σημάτων όπως επίσης φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 8 β). Μια αναλογία με καπνό από δαχτυλίδια χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει τη συμπεριφορά των ρευμάτων στο έδαφος. Αρχικά ισχυρή μορφή ρευμάτων στο έδαφος διαβιβάζεται δίπλα στο βρόχο. Το «δαχτυλίδι καπνού» κατόπιν επεκτείνεται, αποδυναμώνει, και ταξιδεύει κάτω μέσω της γης. Το ποσοστό διάχυσης εξαρτάται από τη γήινη αγωγιμότητα. Στα ανθεκτικά μέσα τα ρεύματα θα διασκορπίζονταν πολύ γρήγορα. Στα αγώγιμα μέσα τα ρεύματα θα διασκορπίζονταν πιο αργά. Ένα αγώγιμο στρώμα μπορεί σε βάθος «να

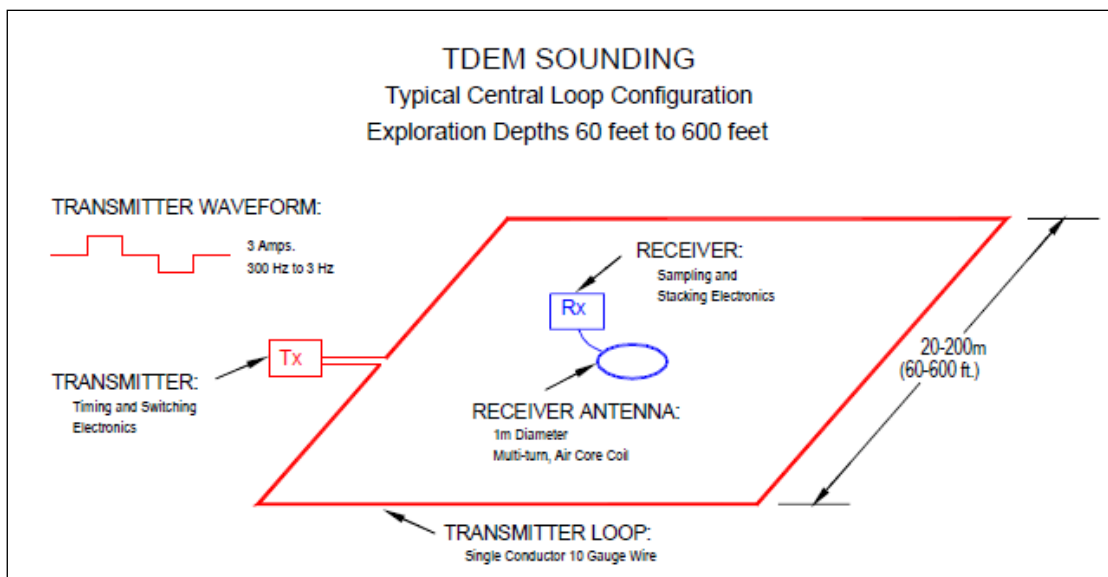
παγιδέψει» ρεύματα σε εκείνο το στρώμα, ενώ τα ρεύματα αποσυντίθενται αλλού γρηγορότερα.

Οι δευτεροβάθμιες μετρήσεις γίνονται χαρακτηριστικά στη χρονική σειρά από 10 μ s σε 10 ms μετά από τη 'διακοπή' του πρωτογενούς πεδίου. Μετρήσεις γίνονται σε 20 έως 30 ιδιαίτερες «χρονικές πύλες», ή χρονικά διαστήματα, μετά από τον αρχικό προκαλούμενο παλμό. Για βαθύτερη εξερεύνηση σε αγώγιμα τμήματα, οι χρόνοι μέτρησης μπορούν να επεκταθούν μέχρι το λεπτό. Επειδή οι μετρήσεις γίνονται ενώ το ρεύμα της συσκευής αποστολής σημάτων είναι κλειστό, μπορούν να γίνουν πιο ευαίσθητες μετρήσεις από το δευτεροβάθμιο πεδίο. Όσον αφορά στην ερμηνεία, παράγεται ένα υποθετικό βαλμένο σε στρώσεις γήινο μοντέλο και στη συνέχεια η θεωρητική απάντηση για εκείνο το μοντέλο υπολογίζεται. Το μοντέλο έπειτα καθαρίζεται μέχρι η υπολογισμένη απάντηση να ταιριάζει με την παρατηρούμενη ή μετρημένη απάντηση. Οι πρότυποι καθαρισμοί μπορούν να γίνουν με τη χρήση μιας αυτοματοποιημένης επαναληπτικής διαδικασίας ή μιας 'αντιστροφής'. Στην εικόνα 9 φαίνεται μία καμπύλη βυθοσκοπήσεων. Πάνω αριστερά παρουσιάζεται η εξασθένιση του μαγνητικού πεδίου. Η ηλεκτρική δυνατότητα που προκαλείται στη σπείρα δεκτών αναφέρεται ως «ομαλοποιημένη τάση». Το δεύτερο κομμάτι αριστερά της εικόνας 9 παρουσιάζει μια πλοκή από τα ίδια δεδομένα που μετατρέπονται σε 'πρόσφατη- σκηνή' ειδικής αντίστασης. Η καμπύλη ειδικής αντίστασης δίνει κάπως μία πιο καθαρή εικόνα για το γεωηλεκτρικό τμήμα.

Στο δεξί μέρος της εικόνας 9 παρουσιάζεται το μοντέλο του γεωηλεκτρικού τμήματος που χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την απάντηση του μοντέλου που παρουσιάζεται ως στερεά γραμμή στο αριστερό κομμάτι της εικόνας 9. Οι διακεκομμένες γραμμές στο γεωηλεκτρικό τμήμα της εικόνας 9 παρουσιάζουν 'ισοδύναμα' μοντέλα, δηλαδή μοντέλα των οποίων η απάντηση θα προσαρμόσει την παρατηρούμενη απάντηση με μια «απροσάρμοστη» παράμετρο μέσα σε 20% του καλύτερου μοντέλου προσαρμογής. Μια από τις σημαντικότερες αδυναμίες της TEM είναι η δυσκολία στην ερμηνεία των στοιχείων πέρα από τις τρισδιάστατες γεωλογικές δομές. Τα περισσότερα προγράμματα διαμόρφωσης υποθέτουν μια οριζόντια γη βαλμένη σε στρώσεις. Στην εικόνα 10 παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό σχεδιάγραμμα για ένα «κεντρικό βρόχο» βυθοσκόπησης TEM. Η διαδικασία περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός τετραγωνικού βρόχου του καλωδίου στην επιφάνεια του εδάφους.



TEM βυθοσκόπηση και μοντελοποίηση



Διαμόρφωση TDEM πεδίου

Ένα σταθερό ρεύμα στο βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων κλείνει απότομα. Αυτό δημιουργεί ένα μαγνητικό παλμό στο έδαφος. Οι μετρήσεις γίνονται με μια μικρή σπείρα δεκτών στο κέντρο του βρόχου συσκευών αποστολής σημάτων, δεδομένου ότι τα προκαλούμενα ηλεκτρικά ρεύματα διαπερνούν και διασκορπίζονται μέσα στη γη. Ο δέκτης μπορεί επίσης τοποθετείται έξω από το βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων σε μια διαμόρφωση 'offset'.

Γενικά, η μέθοδος TEM (γνωστή και ως Time- Domain Electromagnetic, TDEM μέθοδος) είναι σχετικά νέα μέθοδος δεδομένου ότι έχει χρησιμοποιηθεί σε περιβαλλοντικές και υδρογεωλογικές μελέτες τα τελευταία 15- 20 χρόνια. Μια αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου φαίνεται από τους McNeill (1990), Nabighian και Macnae (1991), παρέχοντας μία συνοπτική περιγραφή της μεθόδου.

Η μέθοδος TEM χρησιμοποιεί ένα συνεχές ρεύμα που διαβιβάζεται στο βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων που βρίσκεται στο έδαφος. Το ρεύμα δημιουργεί ένα αρχικό, στάσιμο μαγνητικό πεδίο. Το συνεχές ρεύμα είναι κλειστό, προκαλώντας ένα σύστημα στροβιλοειδών ρευμάτων στο έδαφος. Λόγω της ωμικής αντίστασης του υπεδάφους, το τρέχον σύστημα αποσυντίθεται και προκαλεί στη συνέχεια ένα δευτεροβάθμιο μαγνητικό πεδίο που μετράται σε μια σπείρα επαγωγής (σπείρα δεκτών). Το ποσοστό αποσύνθεσης του ηλεκτρομαγνητικού τομέα εξαρτάται από την κατανομή ειδικής αντίστασης του υπεδάφους. Οι αποσυνθέσεις τομέων είναι πιο αργές σε ένα αγωγίμο από ότι σε ένα πιο σκληρό μέσο. Πλεονεκτήματα της μεθόδου TEM είναι η ευαισθησία της σε αγωγούς σε μεγάλα βάθη και ο ελαφρύς εξοπλισμός έναντι άλλων γεωφυσικών μεθόδων. Μειονεκτήματα της μεθόδου TEM είναι η χαμηλή ανάλυση των σκληρών στρωμάτων και ο υψηλός βαθμός της σύγκρισης αποτελεσμάτων με τους προκαλούμενους από τον άνθρωπο αγωγούς.

TEM FAST 48

Όπως περιγράφεται και στο εγχειρίδιο του οργάνου (TEM-Fast 48 manual, 2007), το TEM FAST 48HPC είναι ένα φορητό γεωφυσικό σύστημα που βασίζεται στην προηγμένη τεχνολογία FAST-TEM με παροχή υψηλής ανάλυσης, την αποτελεσματική λειτουργία υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών ζωνών της πόλης με περιορισμένο διάστημα, ερήμους, βουνά, και κάθε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές. TEM FAST 48HPC μπορούν να εφαρμοστούν για την επίλυση πολύ δύσκολων προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών ερευνών, υδρογεωλογικών ερευνών, αρχαιολογικών, μεταλλευτικών ερευνών, MT στατική διόρθωση στροφής και άλλων. Το TEM-FAST TEM FAST 48HPC μπορεί να λειτουργήσει με οποιοδήποτε επιτραπέζιο υπολογιστή της IBM, σημειωματάριο ή τον υπολογιστή χειρός μέσω πρότυπο διεπαφής RS 232. Το TEM FAST 48HPC δημιουργεί και στέλνει σύντομους παλμούς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στη γη και η απάντησή της, εξαρτάται από το ηλεκτρικό τμήμα του εδάφους.

Χρησιμοποιώντας τερματικό υπολογιστή και λαμβάνοντας υπόψη το σήμα και το επίπεδο θορύβου, ο χειριστής μπορεί να ορίζει τον αριθμό των παλμών που απαιτούνται για την ακριβή επεξεργασία των δεδομένων. Μετά τη συσσώρευση του σήματος, ο υπολογιστής γυρνάει το σύστημα σε κατάσταση με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και κάνει υπολογισμούς για εξομάλυνση της τάσης και της ανακρίβειας των μετρήσεων. Αλγόριθμοι των μετρήσεων και επεξεργασίας δεδομένων που εφαρμόζονται σε TEM FAST 48HPC επιτρέπουν τον

αποκλεισμό των συστηματικών σφαλμάτων που συνδέονται με μπαταρίες, μεταβολή της θερμοκρασίας και αυξάνουν το σήμα του θορύβου αν το επίπεδο του σήματος είναι μικρό.

Παράμετρος	TEM-FAST 48HPC
Χρόνος πυλών	48 γεωμετρικά διάστιχα
Χρονικό φάσμα	4 - 16000 μ s
Τρέχων πομπός	1 A ή 4 A
Μέγεθος βρόγχου	5cm \times 5cm - 500m \times 500m
Εύρος βάθους θορύβου	1m - 300m
Αδιάβροχο κουτί	IP65
Διαστάσεις (mm)	330 \times 35 \times 110
Βάρος (kg)	1.5
Εσωτερική μπαταρία	12 V, 2 A·h
Ευαισθησία	\sim 0.1 μ V
Επίδειξη	Σημειωματάριο ή φορητό υπολογιστή
Θερμοκρασία λειτουργίας	-20°C + 65°C



Δείγμα οργάνου TEM- FAST 48 (APPLIED ELECTROMAGNETIC RESEARCH (AEMR) TEM – FAST 48HPC, aemr.net, 2010)

Γενικά, το TEM FAST 48HPC είναι ένα βολικό και υψηλής αποτελεσματικότητας εργαλείο για την αναζήτηση, τον έλεγχο και την παρακολούθηση των υπόγειων υδάτων, για διαρροές και υπάρχουσα ρύπανση καθώς και για πολλές άλλες εφαρμογές, όπως και για ιζηματολογικές έρευνες. Σημειώνεται ότι το βάθος των ερευνών είναι από ορισμένα εκατοστά για την αναζήτηση των μικρών στόχων μέχρι 100 μέτρα (και πιο ευνοϊκές συνθήκες).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΛΛΟΓΗ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

4.1. Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει όλα τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μέθοδο ΜΤ και ΤΕΜ όπως περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Παρουσιάζεται η διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων καθώς και η ανάλυση και μοντελοποίηση τους.

4.2. Μετρήσεις ΤΕΜ-ΜΤ στην περιοχή μελέτης

Όλα τα δεδομένα συλλέχθηκαν στα τέλη Μαρτίου και αρχές Απριλίου 2013. Συνολικά, πάρθηκαν πέντε (5) βυθοσκοπήσεις ΜΤ και δεκαοκτώ (18) βυθοσκοπήσεις ΤΕΜ σε πέντε (5) θέσεις (Εικ...).



Εικ.12: Θέσεις γεωφυσικών μετρήσεων



















Οι μετρήσεις TEM πραγματοποιήθηκαν με βρόγχο 50 x 50m και 25 x 25m, Stack 5 (65 πλήρεις κύκλοι) και time 5 ή 6 (δηλαδή 32 ή 36 πύλες χρόνου). Ο μεγάλος αριθμός βυθοσκοπήσεων του TEM αντικατοπτρίζει το γεγονός ότι οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν πολλές φορές σε κάθε θέση, προκειμένου να καθοριστούν και να αποφευχθούν επιδράσεις θορύβου και γενικά για τη βελτιστοποίηση των δεδομένων.

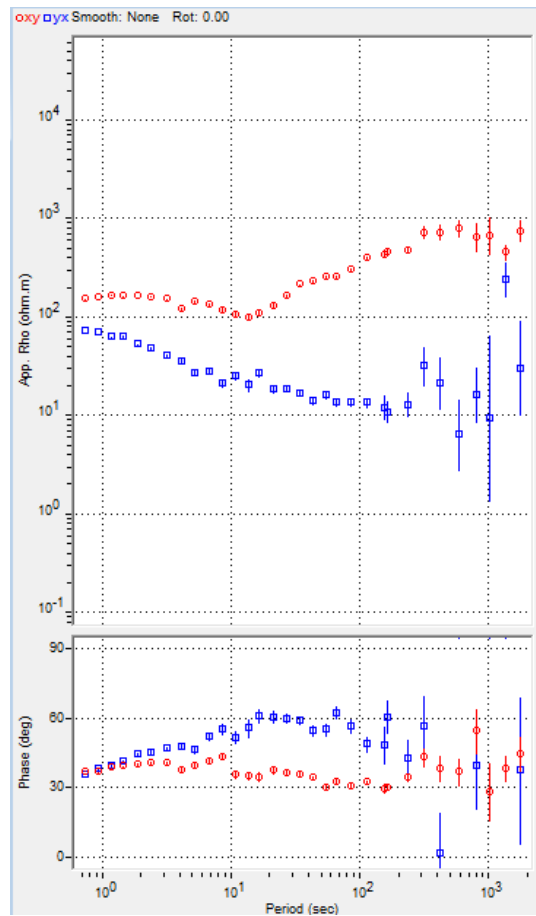
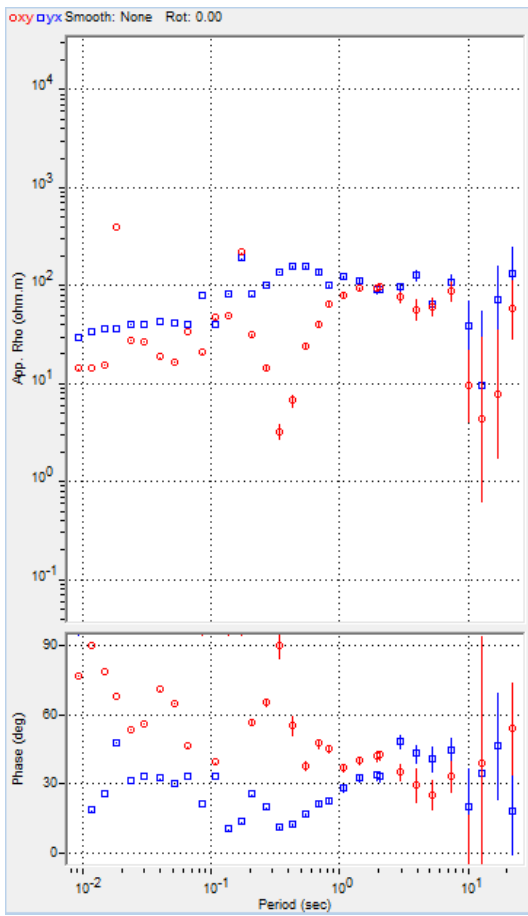
Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων TEM ήταν σημαντικό η σωστή επιλογή των θέσεων, η ορθή τοποθέτηση του βρόχου, καθώς και άλλες προϋποθέσεις που εξασφαλίζουν την αποφυγή θορύβου. Παρόλα αυτά, κάποια από τα τελικά δεδομένα που αποκτήθηκαν είχαν επηρεαστεί από θόρυβο. Αυτά επεξεργάστηκαν και διορθώθηκαν (smoothing, editing) πριν από την τελική μοντελοποίηση και την απεικόνιση τους.

4.3. Επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων TEM – TM

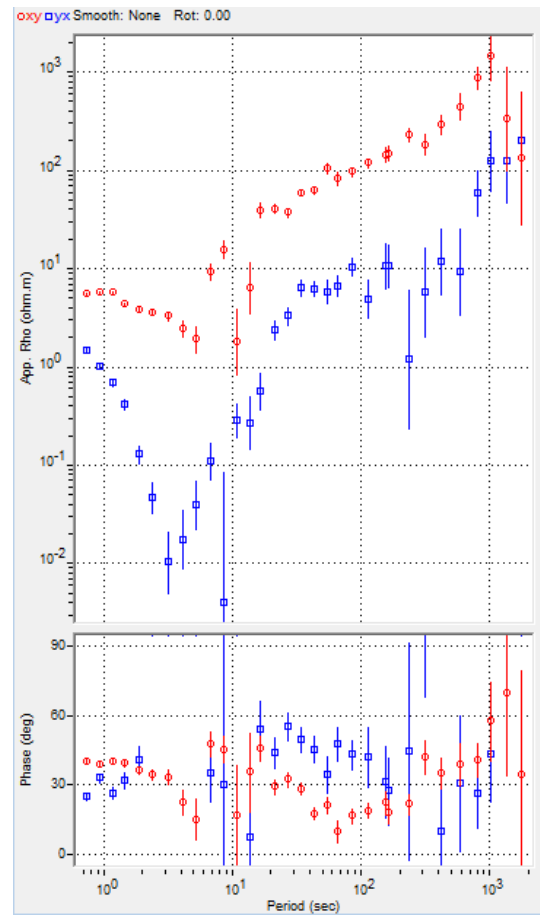
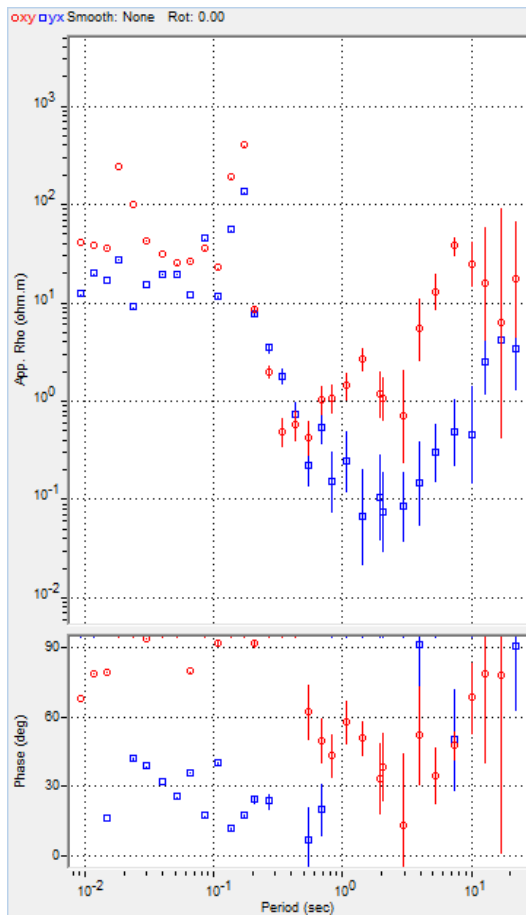
4.3.1. MT

Η επεξεργασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του κώδικα του Egbert. Παρακάτω απεικονίζονται οι καμπύλες φαινόμενης ειδικής αντίστασης με την περίοδο καθώς και οι φάσεις με την περίοδο και για τις πέντε θέσεις.

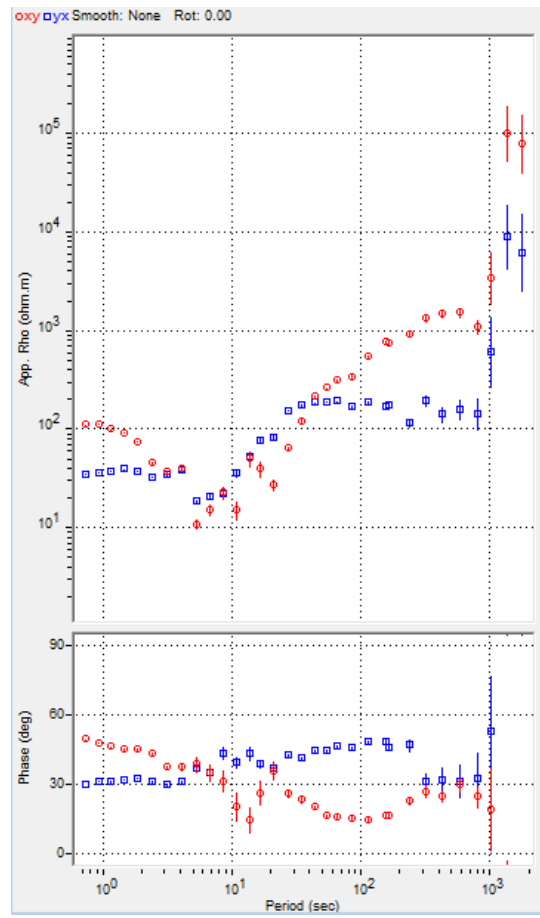
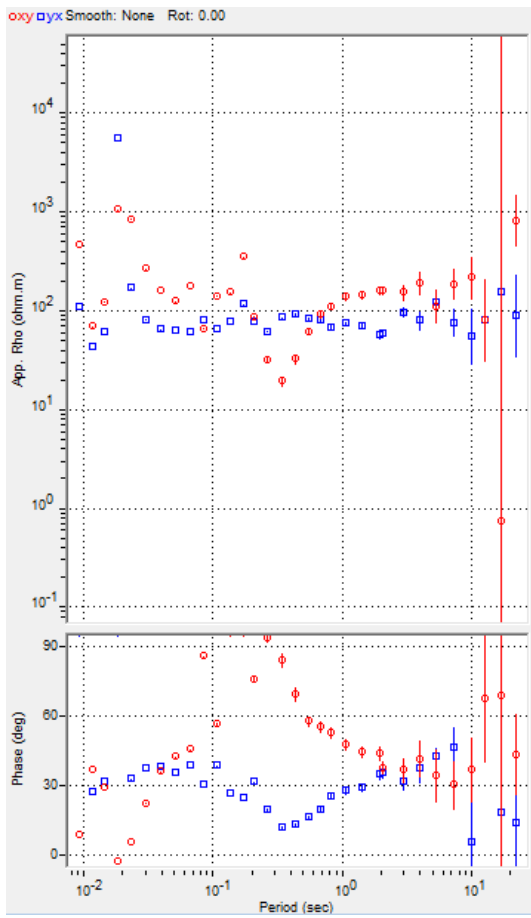
Site 01



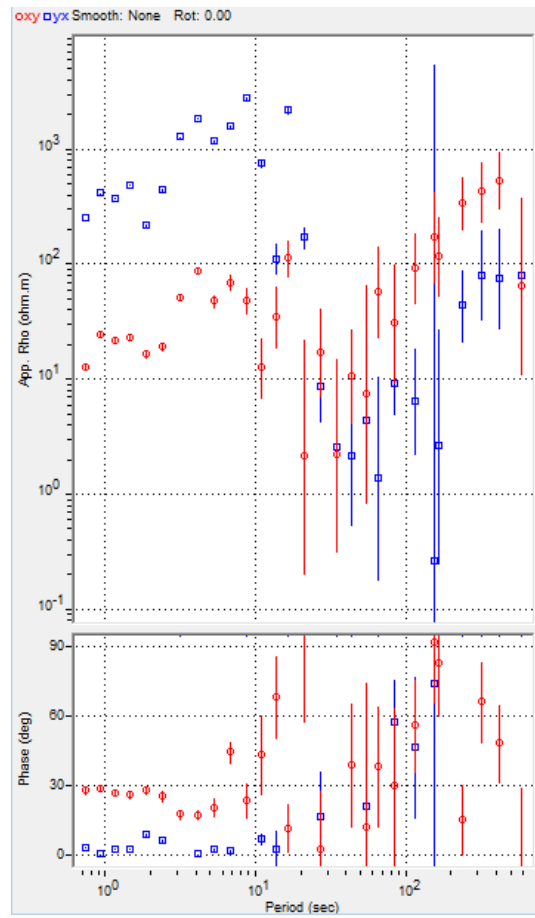
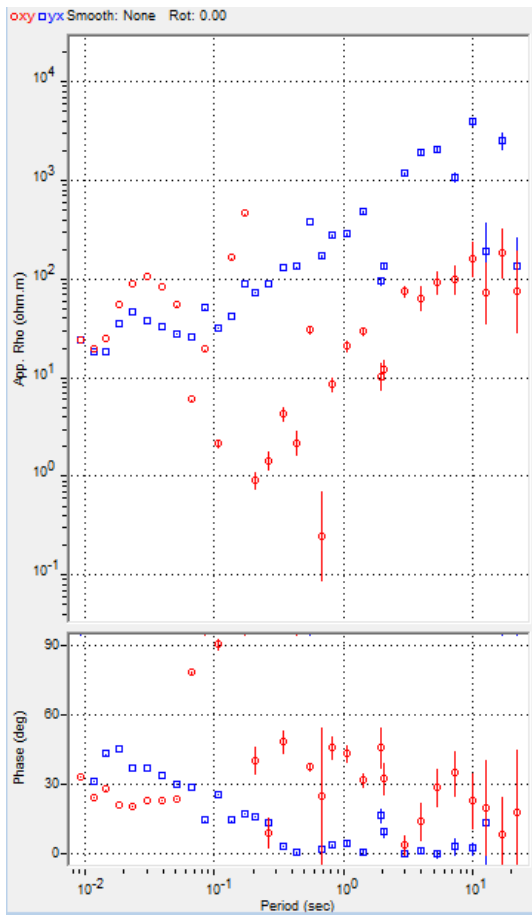
Site 02



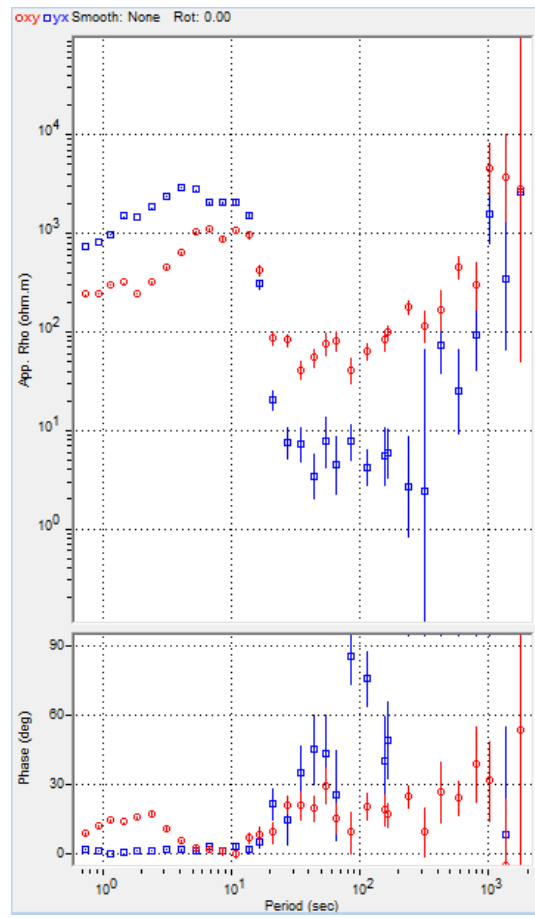
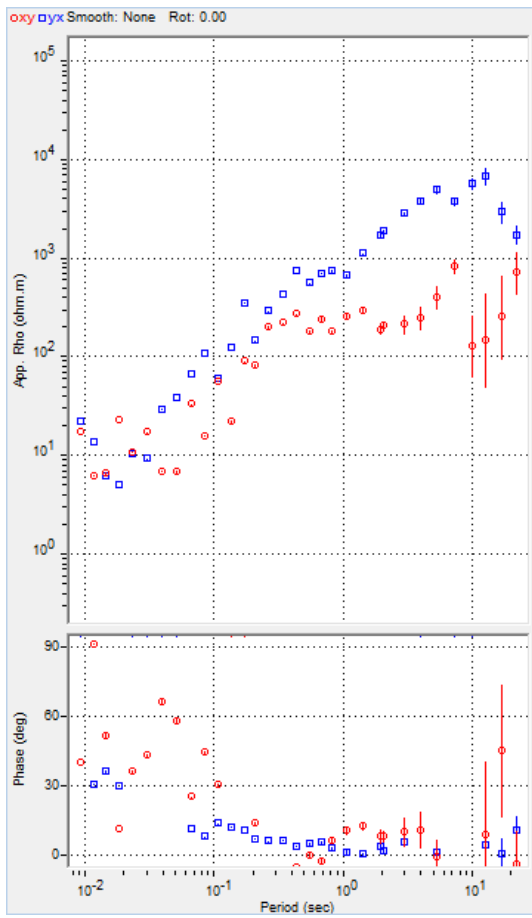
Site 03



Site 04



Site 05

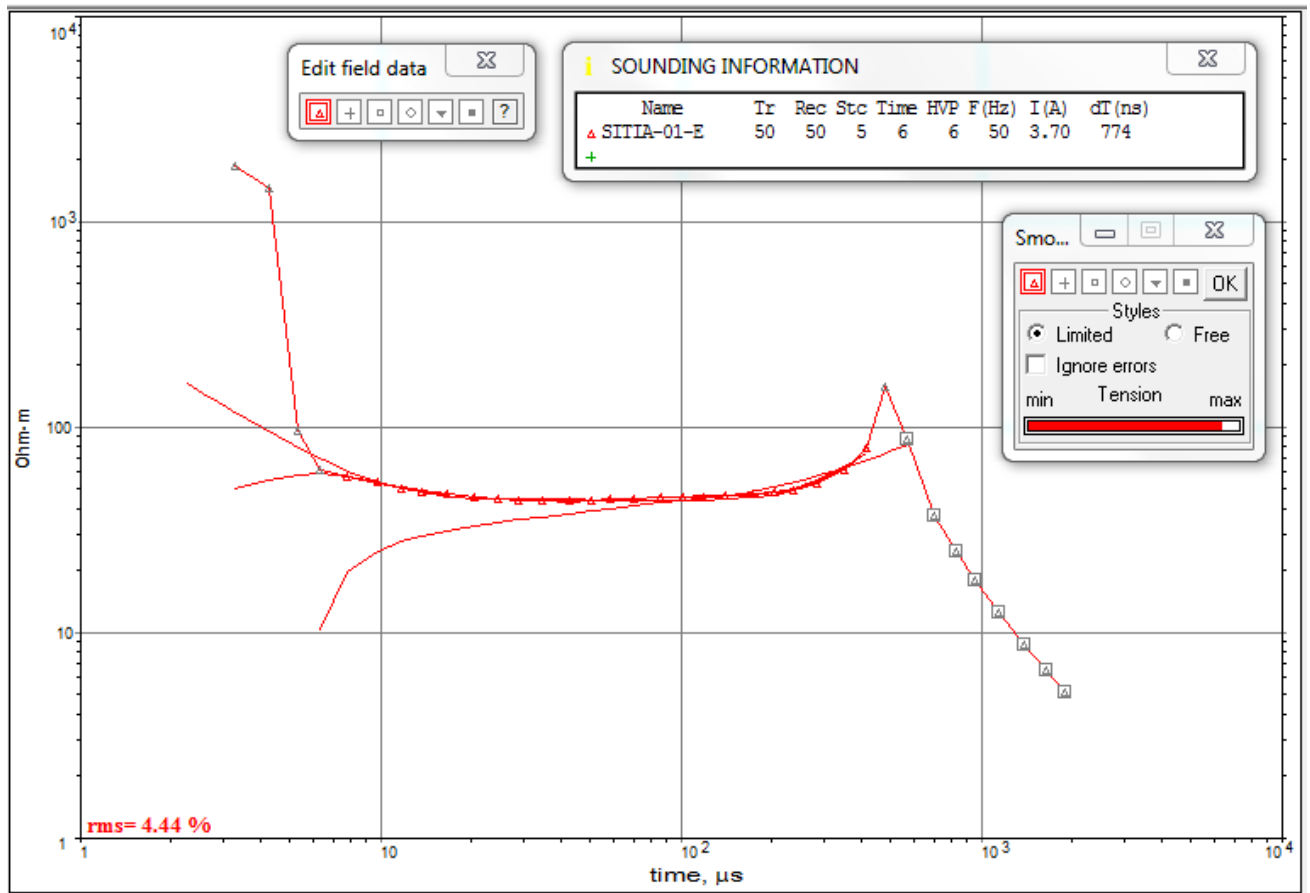


4.3.2. TEM

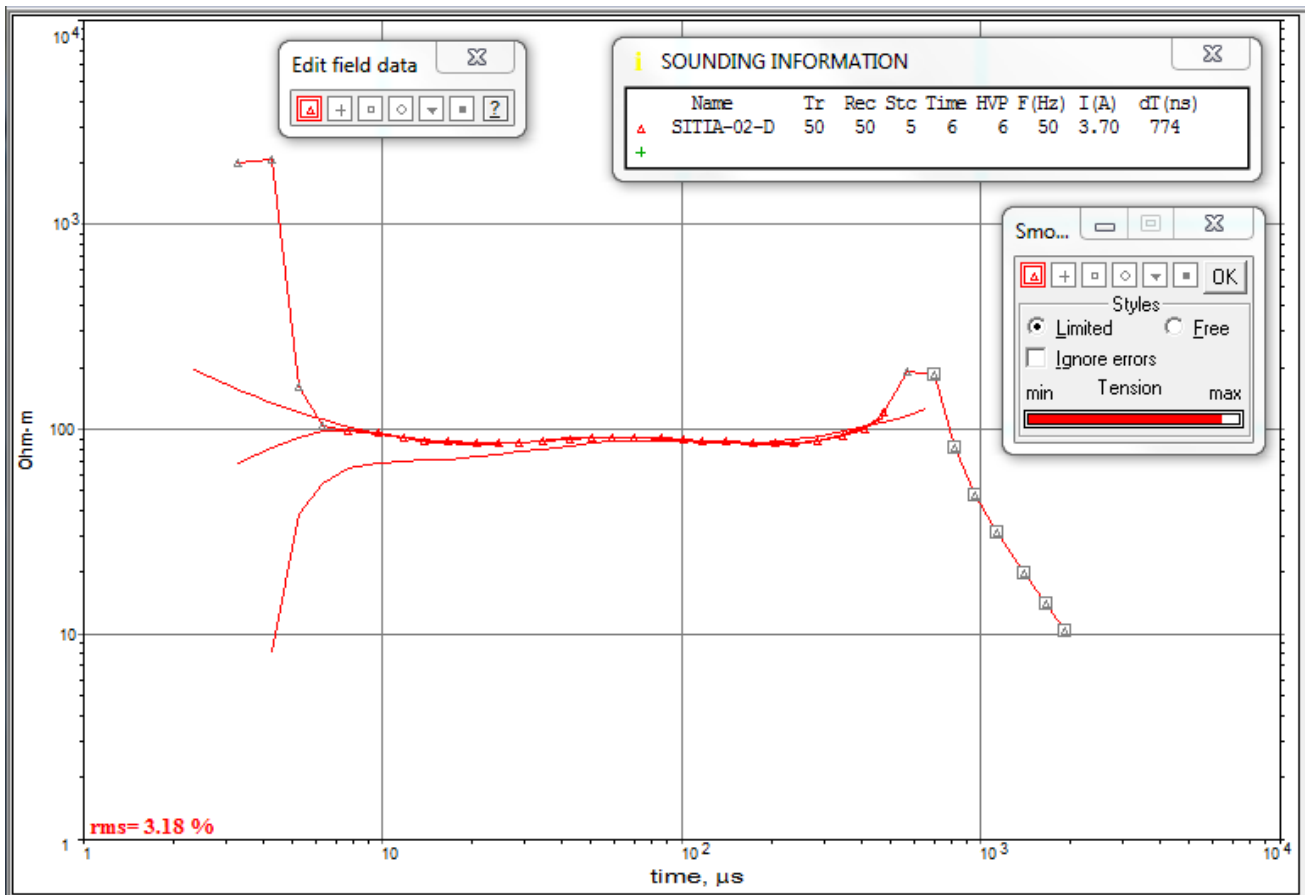
Το TEM FAST 48HPC σύστημα είναι εξοπλισμένο με λογισμικό βάσης που προβλέπει τον έλεγχο, την προβολή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σε ψηφιακή μορφή. Επίσης προκύπτουν και καμπύλες ειδικής αντίστασης και ορισμένα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος θορύβου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Υπάρχει δυνατότητα να δει κανείς τα διάφορα χαρακτηριστικά των υπάρχοντων θορύβων κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Το TEM FAST 48HPC σύστημα έχει επίσης πακέτο λογισμικού TEM-RESEARCHER (TEM-RES manual, 2007) για γρήγορη λύση αντίστροφου προβλήματος ανάλογα την τάξη της κλίσης και τα τμήματα των στρώσεων στις απευθείας συνθήκες. Το TEM-RES-WIN δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να κάνει αντιστροφή, ακόμη και αν η προκαλούμενη πόλωση (IP) και ο υπερμαγνητισμός (SPM) έχουν σαν αποτέλεσμα να περιπλέξουν τα πειραματικά δεδομένα. Επιπλέον, η πρωτοποριακή τεχνολογία επιτρέπει τη χρήση αυτών των επιπτώσεων για την επέκταση των συμβατικών δυνατοτήτων της μεθόδου TEM.

Παρακάτω απεικονίζονται οι καμπύλες της φαινόμενης αντίστασης με τον χρόνο και για τις πέντε θέσεις.

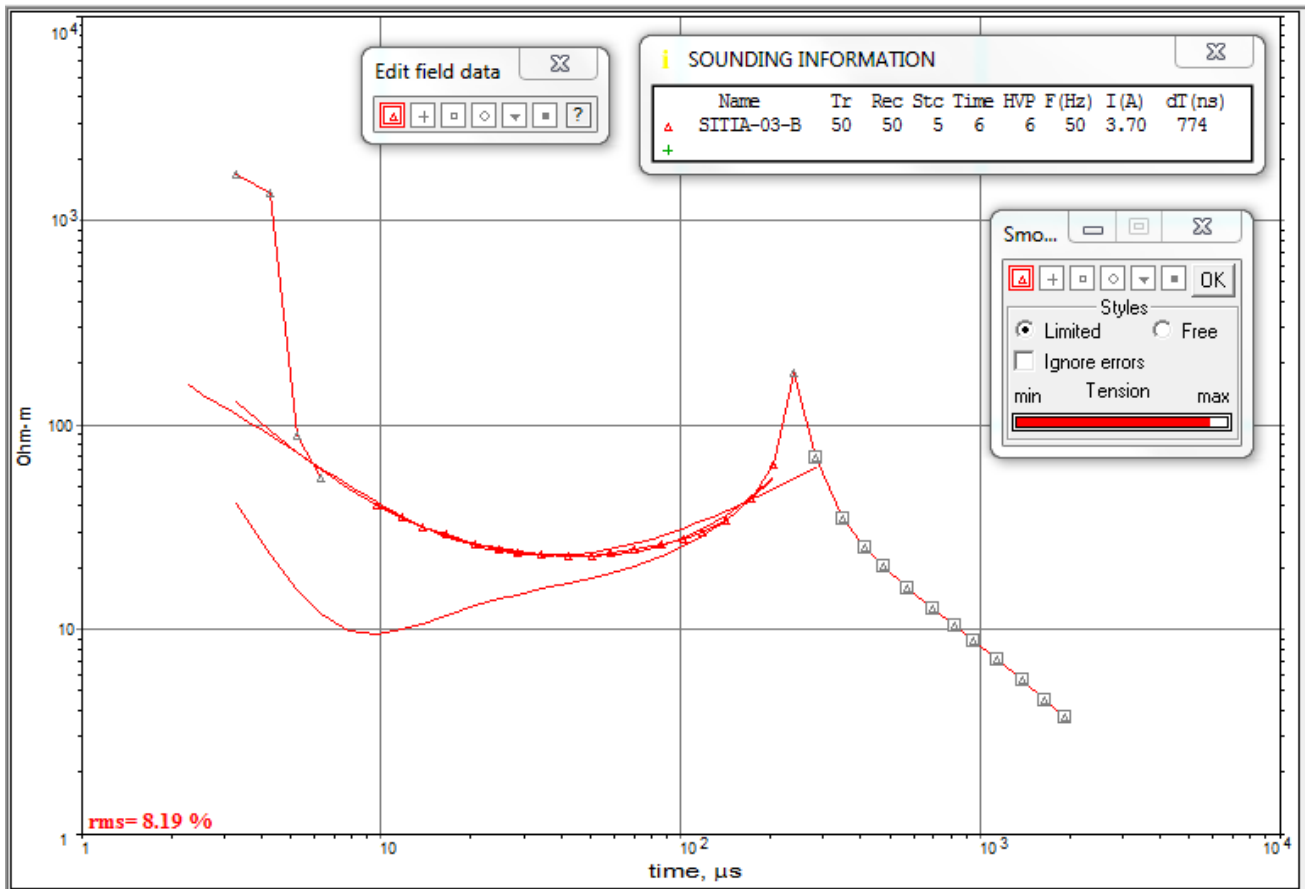
Site 01



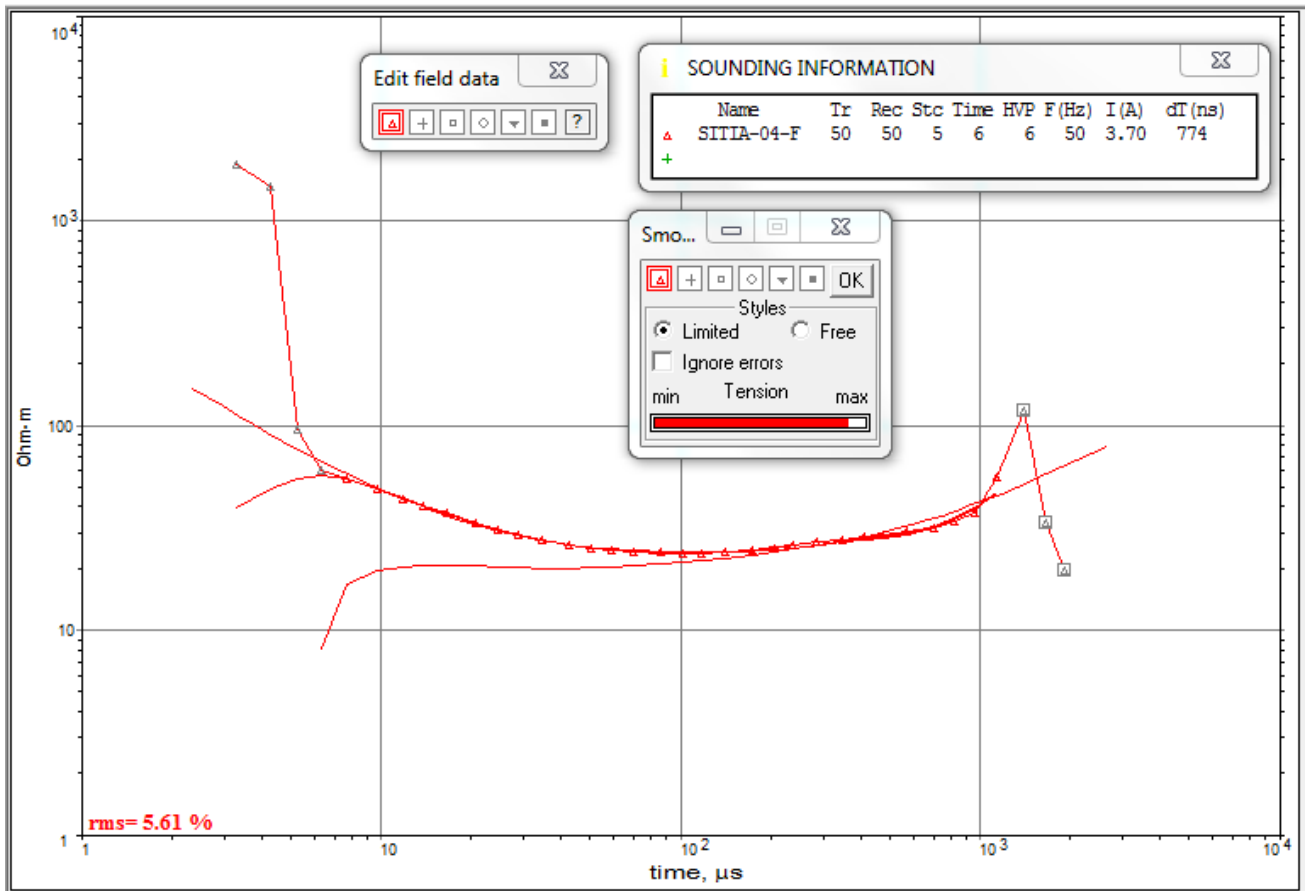
Site 02



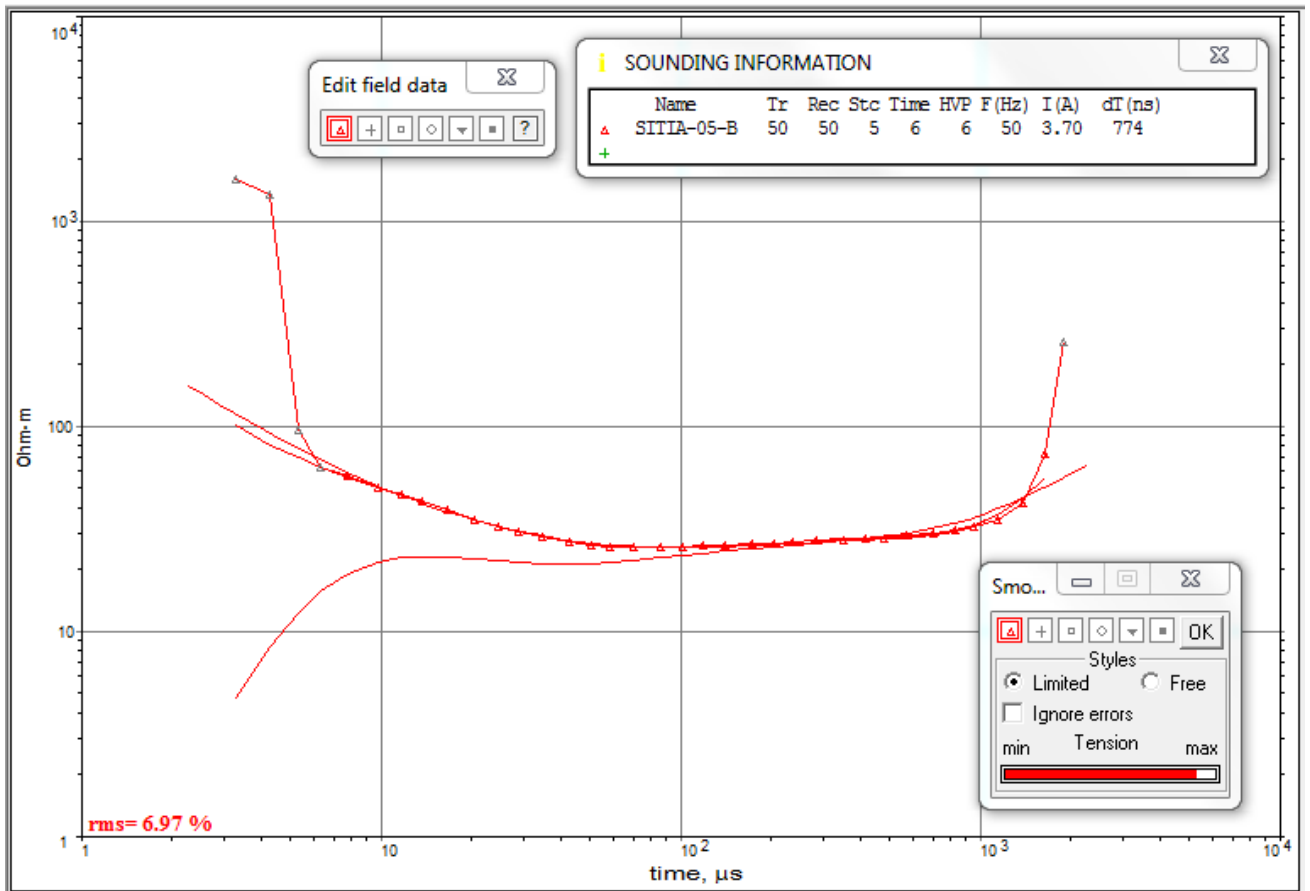
Site 03



Site 04



Site 05



4.4. Μοντελοποίηση δεδομένων

MT

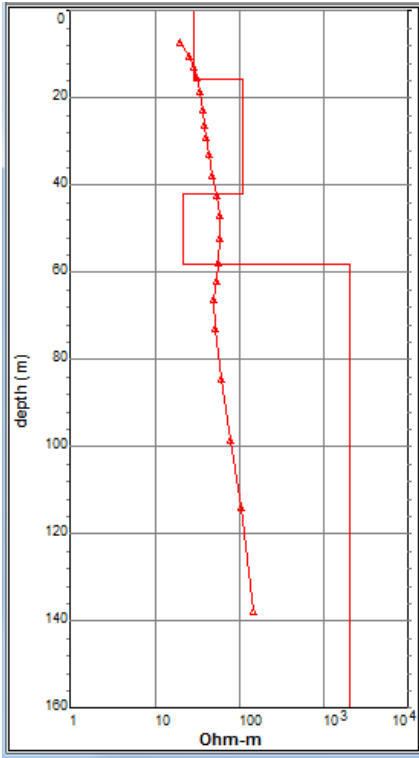
TEM

Η μοντελοποίηση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους από το λογισμικό TEM-RES: είτε με μετασχηματισμό (transformation) είτε με αντιστροφή (inversion).

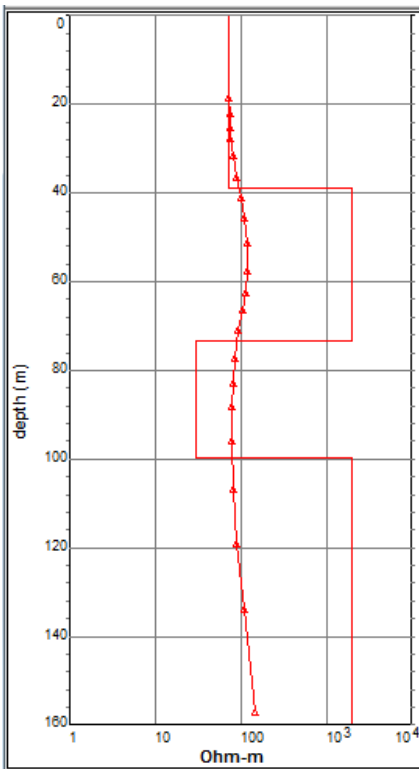
Ο πρώτος είναι μια γρήγορη και απλή προσέγγιση στην ερμηνεία EM, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επί τόπου καθώς και μετά την απόκτηση των στοιχείων TEM.

Τη θεωρία της αντιστροφής περιγράφεται από τους D.W. Oldenburg και F.H.M. Jones (2007). "Σε μια τυπική γεωφυσική έρευνα, βάλουμε την ενέργεια στο έδαφος για να καταγραφεί η αντίδραση, την οποία αναφέρουμε ως δεδομένα ή παρατηρήσεις. Οι τιμές των δεδομένων εξαρτώνται από την κατανομή των φυσικών ιδιοτήτων στο υπέδαφος. Ο στόχος του αντιστροφικού προβλήματος είναι ο προσδιορισμός της διανομής του φυσικού ακινήτου ή ακινήτων που προκάλεσαν τα δεδομένα. Δυστυχώς, αυτό δεν είναι αυστηρά δυνατό στην πράξη γιατί έρευνες έδειξαν ότι μόνο ένας περιορισμένος αριθμός δεδομένων δεν μπορεί πάντα να καταγράφεται και τα στοιχεία είναι επίσης ανακριβείς. Παρ' όλα αυτά, κατά προσέγγιση, λύσεις μπορούν να βρεθούν, καθώς και η μεθοδολογία που έχει σχεδιαστεί για να συμπεριληφθούν και άλλες πληροφορίες σχετικά με το πρόβλημα, έτσι ώστε η υπολογιζόμενη λύση είναι πιο πιθανό να αντιπροσωπεύει την πραγματική δομή της γης", (Oldenburg και Jones, 2007).

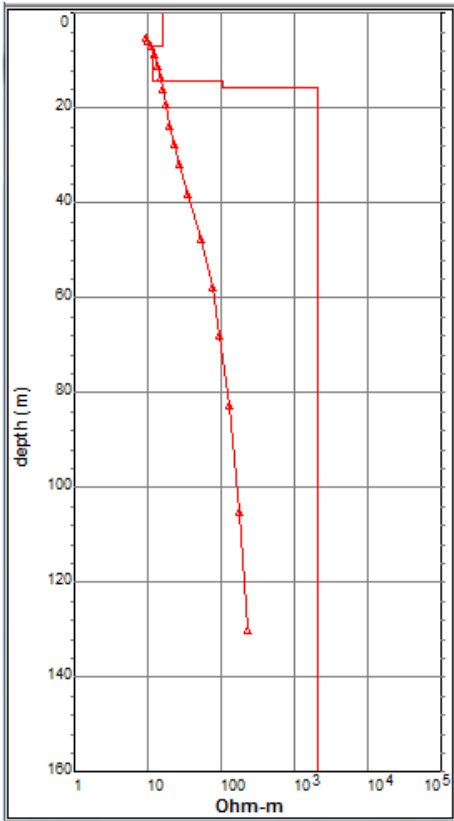
Αντιστροφή είναι μια μαθηματική διαδικασία που μπορεί να πάρει πολλές μορφές. Προκειμένου να κατανοήσουμε το υπέδαφος, χωρίς σκάψιμο ή γεώτρηση, οι μετρήσεις πρέπει να συγκεντρωθούν, τα δεδομένα πρέπει να προέρχονται από τις μετρήσεις αυτές, και σε κάποιο βαθμό κατανόηση σχετικά με το τι αποτελεί αντικείμενο έρευνας θα πρέπει να υπάρχει («εκ των προτέρων γνώση»). Τότε αντιστροφή μπορεί να πραγματοποιηθεί, με την χρήση των δεδομένων και με την εκ των προτέρων γνώση ως είσοδο. Το αποτέλεσμα θα είναι μια σειρά από "μοντέλα" που χαρακτηρίζει τον τρόπο όπου οι σχετικές φυσικές ιδιότητες είναι διανεμημένες στο έδαφος. Αυτά τα μοντέλα θα έχουν χαρακτηριστικά καθορισμένα από την μέθοδο αντιστροφής που χρησιμοποιείται, από τα δεδομένα και από την εκ των προτέρων γνώση (Oldenburg και Jones, 2007).



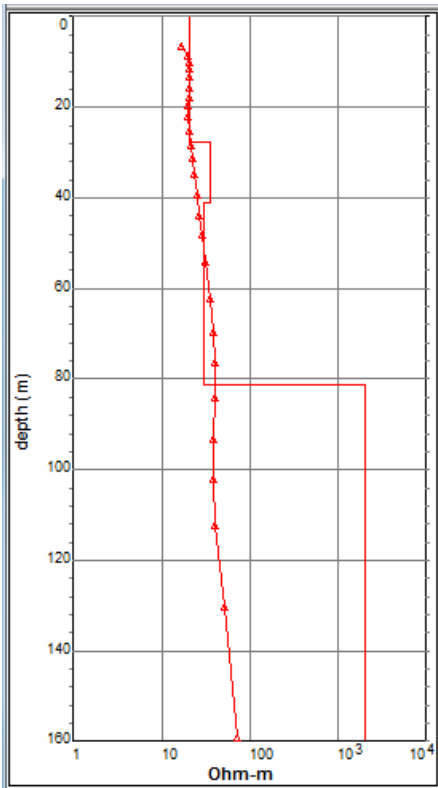
Site 02



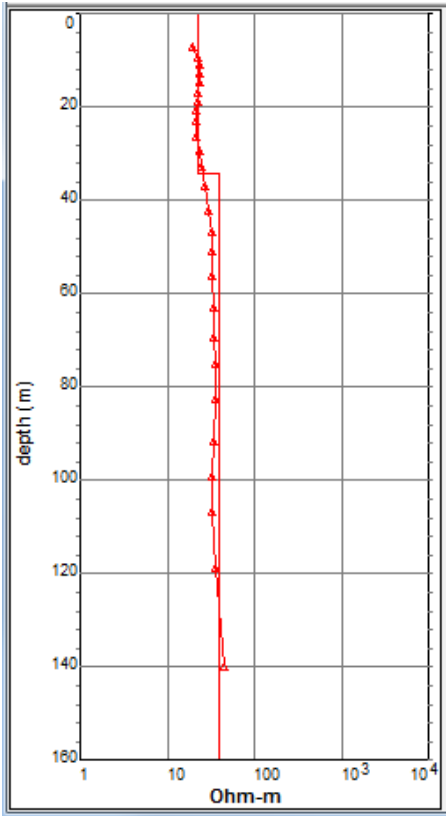
Site 03



Site 04



Site 05



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bezes K., 2012. “Γεωλογία της περιοχής Αγίου Νικολάου Λασιθίου Κρήτης” (http://geologiaelladas.blogspot.gr/2015_01_01_archive.html)
- Kalisperi D., 2009. “Assessment of groundwater resources in the north-central coast of Crete, Greece using geophysical and geochemical methods”, PhD thesis, Brunel University (<http://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/4241>)
- Makris J.P., 1997. “Ηλεκτρομαγνητική Μελέτη της Γεωηλεκτρικής Δομής Περιοχής Ευαίσθητης στην Ανίχνευση Προσεισμικών Ηλεκτρικών Σημάτων”, PhD thesis, University of Athens (doi:10.12681/eadd/12847)
- Makris J., Bogris N., and Eftaxias K., 1997. “Geoelectric Structure of the VAN-Station at Ioannina Sensitive to the Detection of Seismic Electric Signals (SES)”, Proceedings of Academy of Athens, 72, pp. 303-421.
- EMI (ElectroMagnetic Instruments, Inc.) MT24/LF System. Operation and Maintenance Manual.
- WinGLink Geophysical Processing and Interpretation Software, A guide to using WinGLink (Version ‘2.07.05’) (2005). Geosystem SRL
- TEM-Fast 48 manual. (2007). The Netherlands: Applied Electromagnetic Research (AEMR) Version 7.3
- TEM-RES manual. (2007). The Netherlands: Applied Electromagnetic Research (AEMR) Version 7