



Τ.Ε.Ι. Κρήτης
Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος



**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΤΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ
ΜΕΣΣΑΡΑΣ**



Γιάννης Δημοσθένους
Σκαλούμπακας Αθανάσιος- Κωνσταντίνος

Επιβλέπων Καθηγητής
Σουπιός Παντελής

Χανιά
2014

ABSTRACT

This thesis negotiates the processing of geophysical results from measurements of transient electromagnetic field TEM, which are used systematically in recent years in various fields of geoscientific research. These measurements were taken in the region of the Tympaki in Heraklion in the framework of EU project Archimides III, AQUADAM. The purpose of the survey was to define the mechanism of the sea water intrusion into the basin.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική διαπραγματεύεται την επεξεργασία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων από μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικών παροδικών πεδίων TEM, οι οποίες χρησιμοποιούνται συστηματικά τα τελευταία χρόνια σε διάφορα πεδία της γεωεπιστημονικής έρευνας. Οι μετρήσεις αυτές πάρθηκαν στην ευρύτερη περιοχή του Τυμπακίου στο Ηράκλειο στα πλαίσια του ερευνητικού έργου Αρχιμήδης ΙΙΙ, AQUADAM. Σκοπός της έρευνας ήταν η διερεύνηση του φαινομένου της υφαλμύρωσης, της διείσδυσης δηλαδή του θαλασσινού αλμυρού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ	6
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	7
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ (TEM).....	11
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΙΣ	11
3.2.1 Βάθος Διασκόπησης.....	13
3.2.2 Διεξαγωγή των μετρήσεων	14
3.2.3 Όργανα Μετρήσεων	16
3.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	19
3.4 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	20
3.5 ΣΥΛΛΟΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	21
3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΔΙΟΥ	32
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ TEM	32
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ TEM	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Είναι γνωστό ότι τα χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά κύματα που παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο κοντά στην επιφάνεια της Γης επάγουν στο υπέδαφος εναλλασσόμενα ηλεκτρικά ρεύματα τα οποία παράγουν δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα κύματα αυτά έχουν την ίδια συχνότητα με τα αρχικά κύματα, αλλά οι άλλες ιδιότητές τους (διεύθυνση, πλάτος, φάση) είναι διαφορετικές, γιατί οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται και από τη γεωηλεκτρική δομή (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) των πάνω, κυρίως στρώματων του φλοιού. Έτσι, τα δευτερογενή κύματα συμβάλλουν με τα αρχικά για να δώσουν ένα συνιστάμενο κύμα το οποίο καταγράφεται και για αυτό γνωρίζουμε τις ιδιότητές του.

Η αρχή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης βασίζεται στον καθορισμό της γεωηλεκτρικής δομής (κατανομή ειδικής αγωγιμότητας) στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης με βάση τις ιδιότητες του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που παράγεται μέσα στα στρώματα αυτά, σε σχέση με τις ιδιότητες του αρχικού (πρωτογενούς) πεδίου τις οποίες γνωρίζουμε όχι μόνο όταν αυτό παράγεται με τεχνητό τρόπο, αλλά και όταν παράγεται από φυσικά αίτια.

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τις ηλεκτρικές ιδιότητες, 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 (παγωμένο σε μεγάλο βάθος) οπότε οι ηλεκτρικές μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν. Όμως, οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι δε μπορούν να εφαρμοστούν για τον εντοπισμό αγωγίμων σωμάτων σε μεγάλη βάθος όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγωγίμο.

Με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους μπορεί να γίνει διασκόπηση σε βάθη μεγαλύτερα από ότι με τις ηλεκτρικές. Όμως, και με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους, με εξαίρεση τη μαγνητοτελλουρική, τα βάθη αυτά είναι μικρά.

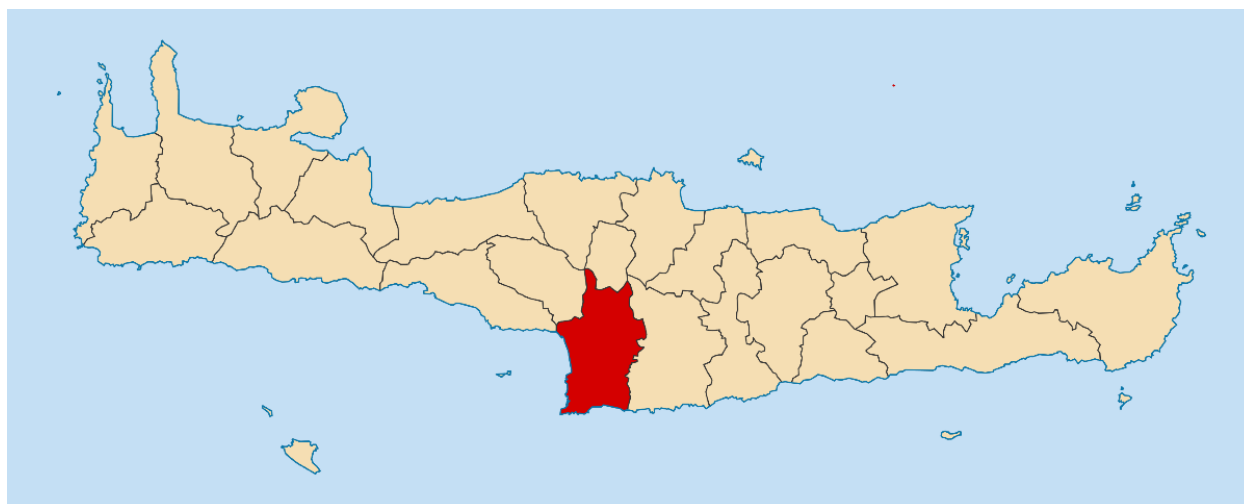
Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι η γεωφυσική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην ευρύτερη περιοχή του Τυμπακίου στο Ηράκλειο είναι μέρος AQUADAM στα πλαίσια του έργου Αρχιμήδης ΙΙΙ. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τον Δρ. Παντελή Σουπιό και από ομάδα του Εργαστηρίου Γεωφυσικής και Σεισμολογίας του Τ.Ε.Ι Κρήτης του τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

Στα πλαίσια της διπλωματικής μας εργασίας συμμετείχαμε στην επεξεργασία των δεδομένων υπαίθρου, στην ερμηνεία των δεδομένων και στη συσχέτιση τους με την περιοχή ενδιαφέροντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Το Τυμπάκι είναι κωμόπολη στην επαρχία Πυργιωτίσσης, στη δυτική άκρη της πεδιάδας της Μεσσαράς. Αποτελεί έδρα του ομώνυμο Δήμου και Δημοτικό διαμέρισμα με το ίδιο όνομα στο νομό Ηρακλείου, με 5.007 κατοίκους το 2001. Η απόστασή του από το Ηράκλειο είναι 65,5 χλμ. Κύριες ασχολίες είναι η ελαιοκομία και η καλλιέργεια οπωροκηπευτικών και ανθέων. Πολιούχος ναός είναι ο Άγιος Τίτος, ενώ υπάρχει και ναός του Αγίου Πνεύματος. Στις 25 Αυγούστου ο οικισμός πανηγυρίζει, ενώ την 1η Σεπτεμβρίου εορτάζεται η γεωργική Πρωτοχρονιά, με ομαδική έξοδο των κατοίκων στα περιβόλια που διημερεύουν. Στο Τυμπάκι βρίσκεται και ο οικισμός του Κόκκινου Πύργου. Στο Δήμο Τυμπακίου ανήκουν οι αρχαιολογικοί χώροι της Φαιστού και της Αγίας Τριάδας.

Το όνομα του οικισμού έχει άγνωστη προέλευση. Η εικασία ότι οφείλεται στη λέξη τύμβος, που πηγάζει από τη θεωρία ότι ο οικισμός ιδρύθηκε από κατοίκους του οικισμού Άγιος Ανδρέας. Η ερμηνεία από τη λέξη τύμβος δεν ευσταθεί και για έναν πρόσθετο λόγο: τύμβοι δεν απαντώνται στην Κρήτη, ούτε χρησιμοποιήθηκαν ποτέ στο παρελθόν ως τρόπος ταφής.



Σχήμα 2.1 Περιοχή ενδιαφέροντος.

Στα παλαιότερα χρόνια το Τυμπάκι μαστιζόταν από την ελονοσία, σε αντίθεση με σήμερα, που το κλίμα είναι υγιεινό. Στη θέση του οικισμού Κόκκινος Πύργος παλαιότερα βρισκόταν ένας πύργος, κτισμένος με κοκκινόχωμα, εξ ου και η ονομασία του σημερινού οικισμού.

Η πόλη δεν έχει ιδιαίτερες ομορφιές να επιδείξει, καθώς τα περισσότερα κτίσματα είναι σύγχρονα. Κύρια αιτία για την άσχημη σύγχρονη αρχιτεκτονική του Τυμπακίου είναι το γεγονός ότι ο Τυμπάκι κατά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο εκκενώθηκε και ισοπεδώθηκε από τους Γερμανούς και ξανακτίστηκε από την αρχή. Οι Γερμανοί κράτησαν λίγα κτίρια για να μένουν οι ίδιοι, αλλά με τα υλικά από τα κατεδαφισμένα σπίτια, κατασκεύασαν το διπλανό αεροδρόμιο του Τυμπακίου με το οποίο μπορούσαν να ελέγχουν την νοτιοανατολική Μεσόγειο.

Κοντά στο Τυμπάκι εκβάλλει ο Γεροπόταμος, ο μεγαλύτερος ποταμός της Μεσαράς, ενώ στην τοποθεσία Καταλυκή σχηματίζεται ένα μικρό έλος. Παλαιότερα, τα πολλά έλη προκαλούσαν την εξάπλωση της ελονοσίας στους λιγιστούς κατοίκους της περιοχής.



Σχήμα 2.2 Πανοραμική άποψη της περιοχής του Τυμπακίου.

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Η Κρήτη αποτελεί σε παγκόσμια κλίμακα ένα από τα νέα ενεργά ορογενή γεγονόσ που συνοδεύεται από αλληπάλληλα τεκτονικά γεγονότα που έχουν δράσει στην ευρύτερη σημερινή περιοχή του νησιού κατά τη διάρκεια των γεωλογικών χρόνων. Σήμερα, σύμφωνα με τις νεότερες και επικρατέστερες επιστημονικές απόψεις, η γεωλογική δομή της Κρήτης χαρακτηρίζεται από τη συσσώρευση μιας σειράς τεκτονικών καλυμμάτων κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης, που προέρχονται τόσο από τις εξωτερικές όσο και από τις εσωτερικές Ελληνικές ζώνες. Τα καλύμματα αυτά βρίσκονται σήμερα τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο και ανάλογα με την τεκτονομεταμορφική τους εξέλιξη και την τεκτονική τους θέση, κατατάσσονται σε δυο ομάδες, που είναι οι ακόλουθες,

- Τα κατώτερα καλύμματα, στα οποία ανήκουν :
 - ✓ η Ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων,
 - ✓ η Ενότητα του Τρυπαλίου και
 - ✓ το Τεκτονικό Κάλυμμα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών.

- Τα ανώτερα καλύμματα, τα οποία αποτελούνται από αμεταμόρφωτα ανθρακικά καλύμματα στη βάση τους και προ Ολιγοκαινικά μεταμορφωμένα στην κορυφή :
- ✓ τα αμεταμόρφωτα ανθρακικά καλύμματα αποτελούν το τεκτονικό κάλυμμα Γαβρόβου-Τριπόλεως και το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου και
- ✓ τα προ-Ολιγοκαινικά μεταμορφωμένα καλύμματα συνιστούν το κάλυμμα του Βάτου - Μιαμού - Άρβης (οφιολιθικό melange), των Αστερουσίων (κρυσταλλικά πετρώματα) και των Οφιολίθων.

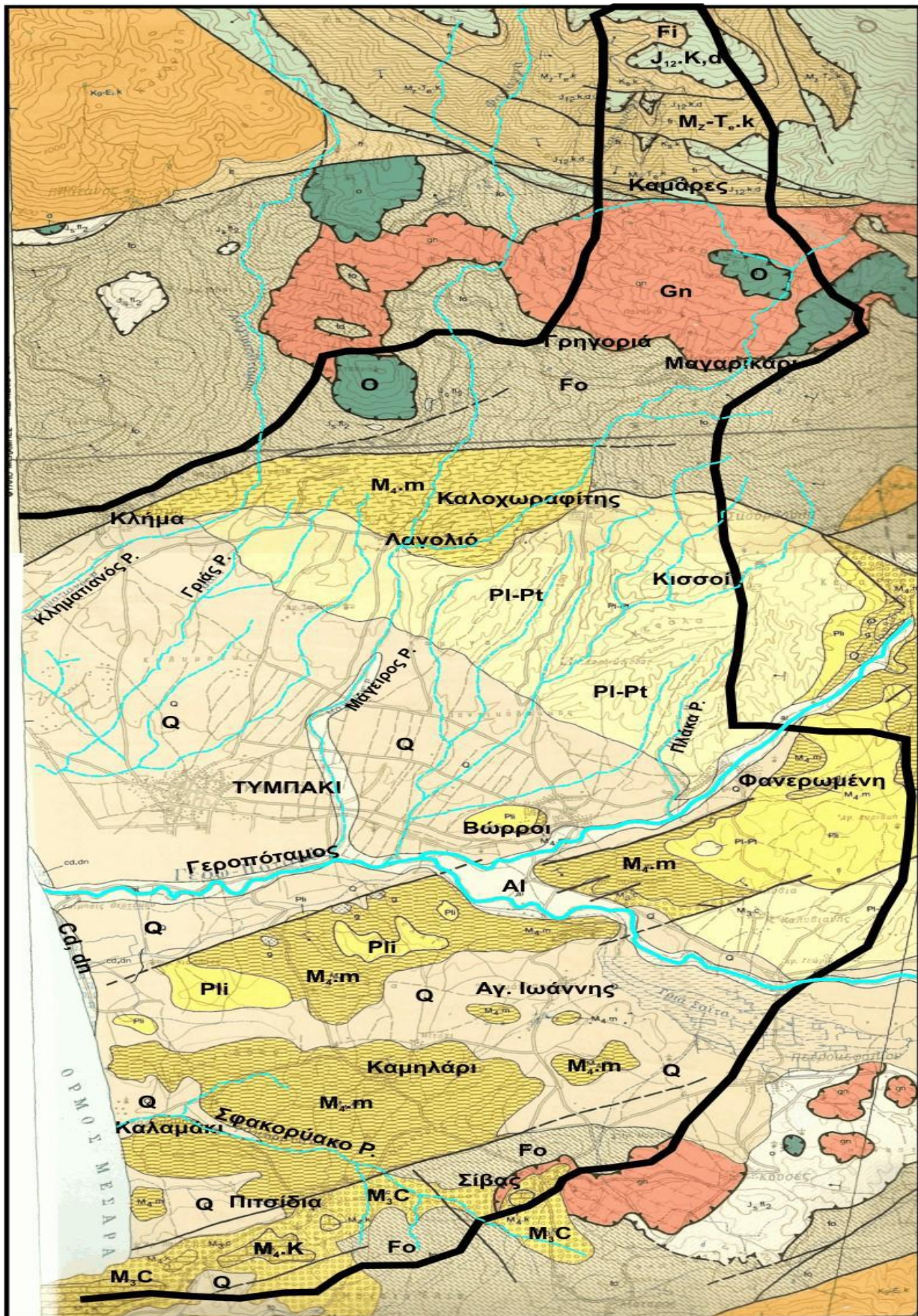
Τα ανώτερα καλύμματα διαχωρίζονται από τα κατώτερα καλύμματα μέσω ενός κύριου εφελκυστικού ρήγματος απόσπασης. Τέλος, πάνω από τα ανώτερα και τα κατώτερα καλύμματα, έχουν μεταμορφωμένα τοποθετηθεί με στρωματογραφική ασυμφωνία τα νεότερα ιζήματα Νεογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας (κροκαλολατυποπαγή, μάργες, ψαμμίτες κ.λ.π.).

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Από την μελέτη των γεωλογικών χαρτών (Σχήμα 2.3) Φύλλων Τυμπακίου, Μέλαμπες και Αντισκάρι έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50000 προκύπτει ότι η ευρύτερη περιοχή καλύπτεται κυρίως από Αλπικά και Μεταλπικά ιζήματα. Ειδικότερα οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την εξεταζόμενη περιοχή :από τους νεότερους προς τους παλαιότερους είναι:

- cd: Παράκτιες αποθέσεις, άμμοι και συγκολλημένοι αιγιαλοί. Ηλικία: Τεταρτογενές – Ολόκαινο.
- al: Αλλουβιακές αποθέσεις στις κοίτες των ποταμών. Ασύνδετα υλικά από χαλίκια, άμμους, ιλύ και λοιπά προϊόντα αποσάθρωσης. Ηλικία: Τεταρτογενές – Ολόκαινο
- Q: Ερυθρά κροκαλοπαγή, άμμοι και άργιλοι, ποταμολιμναίας προέλευσης. Ηλικία: Τεταρτογενές αδιαίρετο.
- P1-Pt: Κροκαλοπαγή, άμμοι και άργιλοι- γενικά αλλουβιακά ριπίδια και ποταμολιμναία ιζήματα ερυθρού, κίτρινου ή γκριζωπού χρώματος με παρεμβολές λιμναίων μαργαϊκών ασβεστολίθων. Ηλικία: Πλειο-Πλειστόκαινο.
- Pli: Λευκές μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, καστανωπές φυλλώδεις μάργες, άμμοι, κροκαλοπαγή και κυρίως στα ανώτερα μέρη του σχηματισμού κλαστικοί ασβεστόλιθοι. Ηλικία: Κατώτερο Πλειόκαινο.
- M4.m: Εναλλαγές ομογενών μαργών και φυλλωδών μαργών. Ηλικία: Αν. Μειόκαινο (Μεσσήνιο).
- g: Γύψοι, σελετινικές, σε λεπτές σαν ελάσματα στρώσεις τύπου “balatino”, και κροκαλοπαγή γύψου. Οι γύψοι είναι ενδιαστρωμένες μέσα στις εναλλαγές των των ομοιογενών και φυλλωδών μαργών. Ηλικία: Αν. Μειόκαινο (Μεσσήνιο).
- M4.k: Υφαλογενείς, κλαστικοί, τοπικά κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι. Ηλικία: Αν. Μειόκαινο (Μεσσήνιο).
- M3.c: Ανώμαλες εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, άμμων και μαργών ή αργίλων. Ηλικία: Αν. Μειόκαινο-Τορτόνιο.
- M.m: Κανονικές εναλλαγές γκριζων – πρασινωπών λιμανίων αργίλων και καστανών άμμων. Ηλικία: Μέσο Μειόκαινο .

- ο: οφιολιθικό σύμπλεγμα που ανήκει στις εσωτερικές ζώνες, αποτελούμενο από περιδοτίτες μερικώς σερπεντινωμένους, πυροξενίτες, γάββρους και δολερίτες. Ηλικία: Ανώτατο Ιουρασικό-Κατώτατο Κρητιδικό.
- gn: αντιπροσωπεύει το κάλυμμα Αστερουσίων (εσωτερικές ζώνες) με γενεύσιους κυρίως μετα-ιλυολιθικούς, μάρμαρα, αμφιβολίτες και ορθογνεύσιους. Ηλικία: Ανώτατο Ιουρασικό-Κατώτατο Κρητιδικό.
- Js.fl2: Σχιστόλιθοι Βάτου του καλύμματος Βάτου. Εναλλαγές τεφρών ιλυολίθων και πάγκων από ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους ή ψαμμίτες, που χαρακτηρίζονται από τον πλούτο τους σε ηφαιστειακά υλικά ή σε θραύσματα σερπεντίνη. Σχηματίζουν μεγάλους ολισθόλιθους στο εσωτερικό του φλύσχη της σειράς Εθιάς. Ηλικία: Ανώτερο Ιουρασικό
- Fo: Φλύσχη της Ζ. Πίνδου-Εθιάς (εξωτερικές ζώνες), ψαμμιτοπηλιτικός, τοπικά πλούσιος σε ολισθόλιθους. Ηλικία: Μέσο-Ανώτερο Ηώκαινο.
- K8-Ei.k: Πλακώδεις ασβεστόλιθοι της Ζ. Πίνδου-Εθιάς (εξωτερικές ζώνες), που περιλαμβάνουν από πάνω προς τα κάτω τα «στρώματα μετάβασης στον φλύσχη», με εναλλαγές ασβεστολίθων, λατυποπαγών και σπάνιους πάγκους ψαμμιτών. Ηλικία: Αν. Σενώνιο-Κατ. Ηώκαινο.
- Ft: Φλύσχη της Ζ. Τρίπολης, πηλιτο-ψαμμιτικός, με ενστρώσεις ασβεστολιθικών τουρβιδιτών. Ηλικία: Πριαμπόνιο; - Ολιγόκαινο
- Ks.k: Ασβεστόλιθοι μαύροι με ρουδιστές, της Ζ. Τρίπολης. Ηλικία: Ανώτερο Κρητιδικό
- J12.k,d: Ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Ζ. Τρίπολης, σκοτεινότεφροι έως πολύ σκοτεινοί Ηλικία: Αν. Ιουρασικό.
- fi: Στρώματα Κρουσώνα της Ιονίου Ζώνης. Κυρίως ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, πράσινοι και ερυθροί με λίγες ενστρώσεις μαρμάρων. Σπανίως επίκεινται σε αυτούς μερικά μέτρα μιας φλυσχοειδούς σειράς. Ηλικία: Ανώτερο Ηώκαινο – Κατ. Ολιγόκαινο (πιθανό).
- Mz-Te.K: Πλακώδεις ασβεστόλιθοι της Ιονίου Ζώνης, Αποτελούνται κυρίως από μάρμαρα, καλοστρωμένα, ανοιχτότεφρα έως μαύρα, κάποτε λεπτοκοκκώδη, συνήθως με μεγάλους κρυστάλλους ασβεστίτη και χαρακτηρίζονται από πάγκους και κονδύλους πυριτόλιθων, συχνά λευκών (χαλαζίτες). Μεταμορφωμένα σε συνθήκες υψηλής πίεσης- χαμηλής θερμοκρασίας. Ηλικία: Μεσοζωϊκό - Τριτογενές.



Σχήμα 2.3 Γεωλογικός χάρτης Τυμπακίου (1:150.000, ΙΓΜΕ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ (TEM)

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι Ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές ταξινομούνται γενικά στις κατά συχνότητα (FD) και κατά χρόνο (TD) (Παροδικών πεδίων) και έχουν σαν κοινό στοιχείο το γεγονός ότι η πληροφορία για την ύπαρξη υπόγειων αγωγών εμπεριέχεται στο δευτερεύον H/M πεδίο. Τα συστήματα FD είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να υφίσταται η μέγιστη δυνατή σύζευξη με το δευτερεύον και όχι με το πρωτεύον πεδίο, αλλά παρά ταύτα παρατηρείται ότι τα περισσότερα συστήματα εξακολουθούν να υπόκεινται σε επηρεασμό από το πρωτεύον πεδίο, που μπορεί να είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από την αναμενόμενη απόκριση του αγωγού. Κατά συνέπεια μικρά σφάλματα στον προσανατολισμό των πηνίων ή την απόσταση πομπού – δέκτη οδηγούν σε μεγάλα σφάλματα και υποβάθμιση της ακρίβειας της έρευνας. Οι τεχνικές TD ξεπερνούν το πρόβλημα αυτό μετρώντας το δευτερεύον πεδίο κατά την απουσία του πρωτεύοντος.

Η Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος διασκόπησης βασίζεται στο φαινόμενο της ΗΜ επαγωγής, κατά το οποίο μεταβαλλόμενο εξωτερικό (πρωτεύον) μαγνητικό πεδίο που εισέρχεται στο υπέδαφος έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού επαγωγικού ρεύματος και δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου.

3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΙΣ

Οι ηλεκτρομαγνητικές βυθοσκοπήσεις χρησιμοποιούνται συστηματικά τα τελευταία χρόνια σε διάφορα πεδία της γεωεπιστημονικής έρευνας, εναλλακτικά ή συμπληρωματικά με τις ηλεκτρικές DC βυθοσκοπήσεις. Λαμβάνουν χώρα συνήθως με τη χρήση μεγάλου βρόχου εκπομπής και πηνίου – δέκτη (ή βρόχου) συνδεδεμένα με την κεντρική μονάδα του H/M συστήματος (σχήμα 3.1). Ο βρόχος εκπομπής διαρρέεται από σταθερό ρεύμα και δημιουργεί πρωτογενές μαγνητικό πεδίο. Το ρεύμα διακόπτεται με ταχύ ρυθμό και ελεγχόμενο τρόπο που έχει τη μορφή ράμπας, διακόπτοντας το μαγνητικό πεδίο. Κατά τον Faraday επαγωγικά ρεύματα δημιουργούνται στο υπέδαφος, συντηρώντας το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο. Το σύστημα των επαγωγικών ρευμάτων κυκλοφορεί σε κλειστούς δρόμους κάτω από το βρόχο εκπομπής και φθίνοντας δημιουργεί με τη σειρά του δευτερεύον μαγνητικό πεδίο. Μεταβολές της τιμής του μαγνητικού πεδίου επάγουν δυναμικό στο πηνίο του δέκτη που βρίσκεται είτε στο κέντρο του βρόχου εκπομπής είτε είναι ο ίδιος βρόχος εκπομπής.

Η κατανομή και η ένταση των ρευμάτων του υπεδάφους εξαρτάται από την τιμή της ειδικής αντίστασης και σαν αποτέλεσμα οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού δίδουν πληροφορίες για την κατανομή και τιμή της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους.

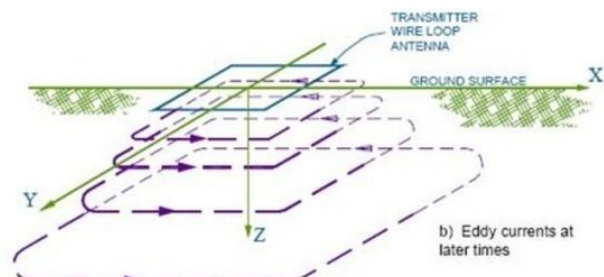
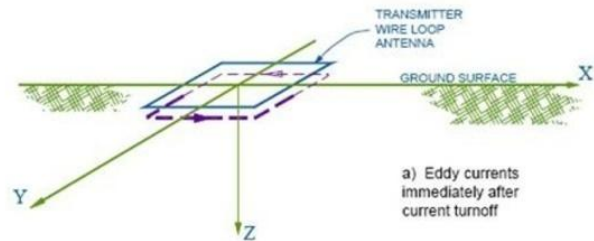
Με την πάροδο του χρόνου, η θέση της μέγιστης τιμής της έντασης των επαγωγικών ρευμάτων διαχέεται προς το βάθος και προς τα έξω του βρόχου εκπομπής, με τη μορφή δακτυλίων ρεύματος (Nabighian 1979).

Μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (Transient EM, TEM)

- Ηλεκτρομαγνητική Γεωφυσική Μέθοδος
- **Ενεργή** Γεωφυσική Μέθοδος (δηλ. με πηγή)

Εφαρμογή μεθόδου:

- Μεταλλευτική έρευνα
- Γεωθερμικά πεδία
- Περιβαλλοντικές έρευνες
- Γεωτεχνικές έρευνες
- **Εντοπισμός υδροφόρων**



Σχήμα 3.1. Στο σχήμα παρουσιάζεται τόσο η διάταξη των βρόγχων όσο και γενικά πληροφοριακά στοιχεία για τη μέθοδο και την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου.

Στην περίπτωση διαστρωματομένου ημιχώρου, αρχικά τα επαγωγικά ρεύματα είναι συγκεντρωμένα κοντά στην επιφάνεια και το επαγόμενο δυναμικό, μένει σταθερό με το χρόνο και είναι ανάλογο της ειδικής αντίστασης του πρώτου επιφανειακού στρώματος. Αυτή είναι η λεγόμενη πρώιμη κατάσταση (early stage) και αντιστοιχεί στην κατάσταση αντιστατικού ορίου, που είναι γνωστή στο πεδίο συχνοτήτων σαν επαγωγική ζώνη (inductive zone) ή εγγύς ζώνη (near zone). Αυτή στα συστήματα πεδίου συχνοτήτων ορίζεται σαν η περιοχή όπου η απόσταση πομπού-δέκτη είναι κατά πολύ μικρότερη του επιδερμικού βάθους και ο επαγωγικός αριθμός είναι μικρός. Στην περιοχή αυτή η φανταστική συνιστώσα του δευτερεύοντος πεδίου είναι πολύ μεγαλύτερη της πραγματικής και εμφανίζει γραμμική εξάρτηση με τον επαγωγικό αριθμό. Χρήση αυτού του χαρακτηριστικού κάνουν τα φορητά Η.Μ συστήματα που λειτουργούν στο πεδίο συχνοτήτων και τα οποία μετρούν την αγωγιμότητα του επιφανειακού στρώματος (Geonics EM 31), καθώς επίσης στους μεταλλικούς ανιχνευτές και είναι γνωστά σαν συστήματα μικρού επαγωγικού αριθμού (low induction number).

Με την πάροδο του χρόνου η θέση του μέγιστου της έντασης του ρεύματος διαχέεται προς το βάθος και το δυναμικό εμφανίζεται να είναι ανάλογο του $t^{-5/2}$ και του $\rho^{-3/2}$ όπου ρ η ειδική αντίσταση του βαθύτερου στρώματος. Αυτή είναι η λεγόμενη ύστερη κατάσταση (late stage).

Κατά τους πρώιμους χρόνους (early times), η TEM απόκριση ελέγχεται μόνον από την αγωγιμότητα του επιφανειακού στρώματος σ_1 . Το δεύτερο στρώμα αρχίζει να έχει επίδραση που είναι δυνατό να παρατηρηθεί, σε χρόνο που ορίζεται από την εξίσωση

$$t \approx 10^{-7} \sigma_1 d^2 \quad \text{Spies (1980).} \quad (3.1)$$

Έτσι ο μικρότερος χρόνος στον οποίο η επίδραση ενός σώματος, ή ενός αγωγίμου οριζόντα σε βάθος d , είναι δυνατό να μετρηθεί, είναι συνάρτηση του βάθους και της αγωγιμότητας του υπεδάφους, του υπερκείμενου στο σώμα. Η δυνατότητα όμως να ανιχνευθεί ένα σώμα σε αυτό το βάθος εξαρτάται από πολλούς άλλους παράγοντες, που εξετάζονται παρακάτω.

3.2.1 Βάθος Διασκόπησης

Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ένταση μαγνητικής ροής, ρεύματος, από το χρόνο καθυστέρησης του τελευταίου καναλιού, αλλά και από τη φύση της γεωηλεκτρικής δομής που ερευνάται. Κατά τη διάχυση του ΗΜ πεδίου σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρείται εξασθένηση του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου με το χρόνο, που ακολουθεί μια συμπεριφορά φθίνουσα εκθετική με συντελεστή $\left(-\frac{5}{2}\right)$ για την κατακόρυφη συνιστώσα και -3 για την οριζόντια συνιστώσα.

Θεωρητικά η καμπύλη εξασθένησης του μαγνητικού πεδίου, (ή ισοδύναμα του δυναμικού που μετράται στο πηνίο του δέκτη), συμπεριλαμβάνει πληροφορίες για διάφορα βάθη και ως εκ τούτου, αυξανόμενου του χρόνου καθυστέρησης, αυξάνεται και το βάθος διασκόπησης. Αυξανόμενου όμως του χρόνου, το φθίνον σήμα φθάνει σε τόσο μικρές τιμές που υπερκαλύπτονται από το θόρυβο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αξιοπιστία των λαμβανομένων μετρήσεων και να μην αυξάνεται ανάλογα το βάθος διασκόπησης.

Οι Spies – Frischknecht (1992), προτείνουν τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο για τον υπολογισμό του βάθους διασκόπησης

$$d \approx 0.5 \left(\frac{IA}{\sigma_1 \eta_v} \right)^{1/5} \quad (3.2)$$

όπου I το ρεύμα εκπομπής, A το εμβαδόν του βρόχου, σ_1 η αγωγιμότητα του υπερκείμενου στρώματος και η_v το μικρότερο δυνατό σήμα που είναι δυνατό να μετρηθεί πάνω από το επίπεδο θορύβου. Αναφέρουν τιμές για το η_v ίσες με 0.5 nV/m^2 τιμή που είναι κατά τη γνώμη μας υπερβολικά χαμηλή.

Η τιμή αυτή συμφωνεί με τη τιμή της στάθμης θορύβου του κατασκευαστή του οργάνου, που είναι 12 nV/m^2 . Αντίστοιχα ο αργότερος χρόνος που μπορεί να μετρηθεί το σήμα αυτό είναι :

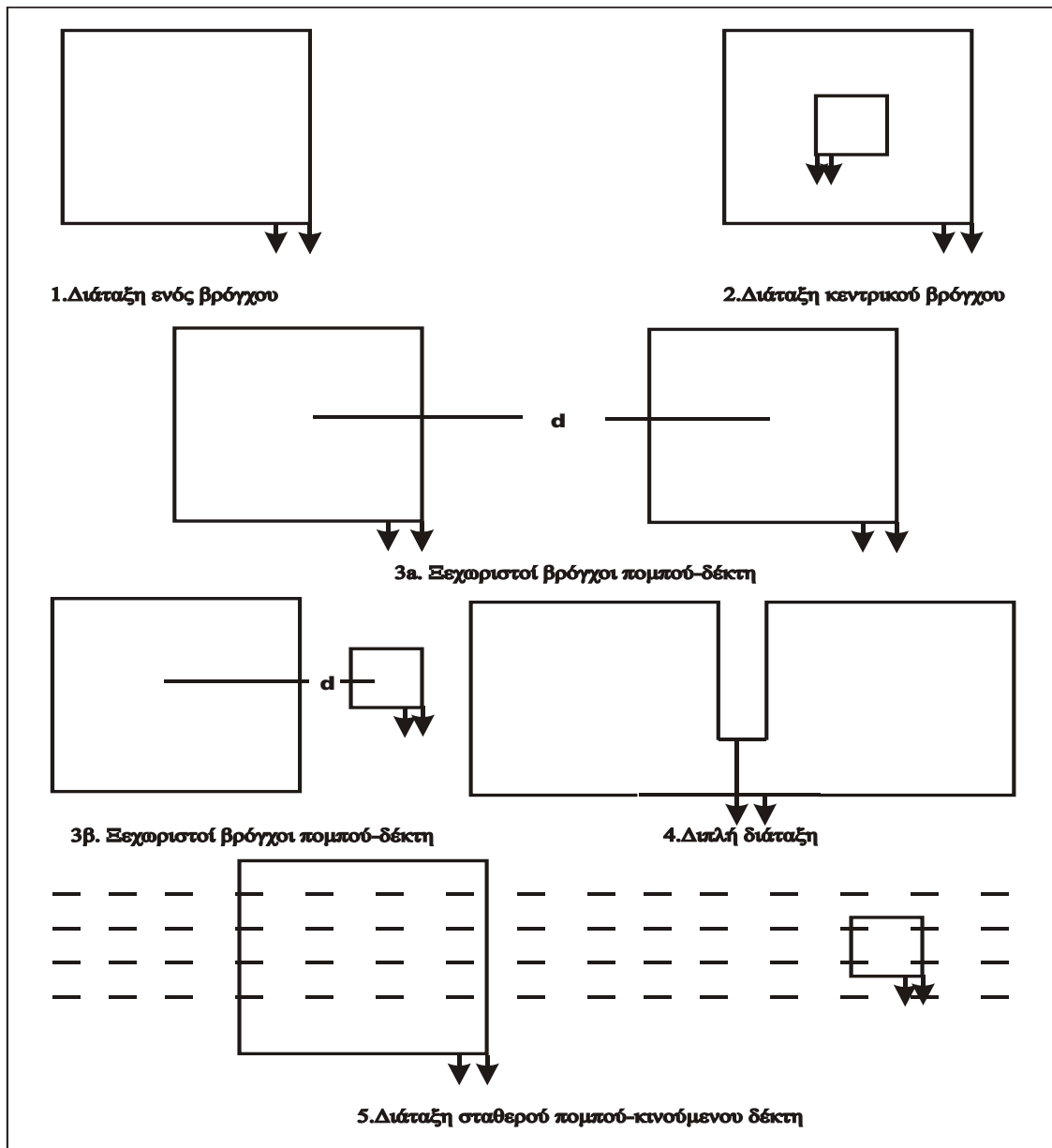
$$t_L \approx 1.9 \times 10^{-7} (IA)^{2/5} \sigma_v \eta_v^{2/5} \text{ (Spies – Frischknecht 1992)} \quad (3.3)$$

Τονίζεται ότι οι τιμές βαθών είναι προσεγγιστικές και μόνο η επίλυση του ευθέως προβλήματος για το συγκεκριμένο πρόβλημα δίδει τη δυνατότητα ρεαλιστικής εκτίμησης του βάθους διασκόπησης.

3.2.2 Διεξαγωγή των μετρήσεων

Ένας κοινός παράγοντας όλων των επαγωγικών παροδικά μεταβαλλόμενων τεχνικών είναι ότι για τη διασκόπηση χρησιμοποιούνται τετραγωνικοί ή ορθογώνιοι βρόχοι ως πομπόι και δέκτες. Ανάλογα με τη διάταξη πομπού-δέκτη οι περισσότεροι χρησιμοποιούμενες διατάξεις είναι (σχήμα 3.2):

- Διάταξη ενός βρόχου (Single-Loop or Coincident Loop Configuration). Αποτελείται από έναν μόνο βρόχο, ο οποίος λειτουργεί και ως πομπός και ως δέκτης. Κατά τη διάρκεια που το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το κύκλωμα, λειτουργεί ως πομπός. Μόλις διακοπεί η λειτουργία του κυκλώματος, οι ακροδέκτες του βρόχου συνδέονται αυτόματα με το δέκτη και οι μετρήσεις παίρνονται κατά τη διάρκεια που ο πομπός είναι κλειστός. Το μέγεθος της πλευράς του βρόχου ποικίλει από 5 μέχρι και 200 μέτρα και είναι συνήθως τετραγωνικός ή ορθογώνιος.
- Διάταξη κεντρικού βρόχου (In-Loop or Central Loop Configuration). Αυτή η διάταξη είναι παραλλαγή της προηγούμενης, με την διαφορά ότι ο βρόχος του δέκτη είναι πολύσπειρος, ισοδύναμης επιφάνειας με τον πομπό, και τοποθετείται στο κέντρο του βρόχου που συνδέεται με τον πομπό.
- Ξεχωριστοί βρόχοι πομπού-δέκτη (Separated Transmitter-Receiver Loop Configuration). Η διάταξη αυτή μοιάζει με την διάταξη Slingram, όπου πομπός και δέκτης βρίσκονται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους. Οι βρόχοι έχουν διαστάσεις μερικών δεκάδων μέτρων. Μια παραλλαγή αυτής της διάταξης είναι ο δέκτης να είναι πολύ μικρότερος από τον πομπό.
- Διπλή διάταξη (Dual-Loop Configuration). Σε αυτή τη διάταξη, διαμορφώνονται δύο παρακείμενοι βρόχοι που συνδέονται παράλληλα για καλύτερη σύζευξη με κάθετους αγωγούς (Spies 1975).



Σχήμα 3.2. Διατάξεις μετρήσεων TEM (Παπαδόπουλος, 2000).

Επιπλέον, επειδή ο θόρυβος που επάγεται λόγω κινούμενων πηγών που προκαλούν παράσιτα στο σήμα είναι αντίθετος στους δύο βρόχους στην διάταξη αυτή, μειώνεται σημαντικά το επίπεδο του.

- Μεγάλος σταθερός βρόχος πομπού-κινούμενος δέκτης (Large Fixed Transmitter, Roving Receiver). Σε αυτή την διάταξη, υλοποιείται ένας πολύ μεγάλος βρόχος-πομπός που παραμένει σταθερός και ένας πολύ μικρότερος βρόχος-δέκτης χρησιμοποιείται κατά μήκος οδούσεων που είναι παράλληλες προς μια πλευρά του πομπού. Το μήκος της πλευράς του πομπού είναι της τάξης μερικών εκατοντάδων μέτρων (σε πολλές περιπτώσεις φτάνει μέχρι και πέντε χιλιόμετρα).
- Εναέριες διατάξεις (Airborne TDEM). Η μέθοδος των TEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από αέρος για έρευνα και μάλιστα καλύπτοντας πολύ μεγάλη έκταση σε μικρό χρονικό διάστημα (Smith και Keating 1996).

3.2.3 Όργανα Μετρήσεων

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για διασκοπήσεις με την μέθοδο των TDEM (σχήμα 3.3), αποτελούνται από ένα πομπό που συνδέεται με τον βρόχο προς υλοποίηση, και παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως μέχρι και 12 A, χρησιμοποιώντας δωδεκάβολτους συσσωρευτές ή γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος.

Το καταγραφικό του δέκτη βρίσκεται στο ίδιο όργανο με τον πομπό, και χρησιμοποιεί την ίδια έξοδο με αυτόν. Με ηλεκτρονικό κύκλωμα (στην περίπτωση της διάταξης μονού βρόχου) συνδέεται με τον βρόχο κατά την διακοπή του κυκλώματος.

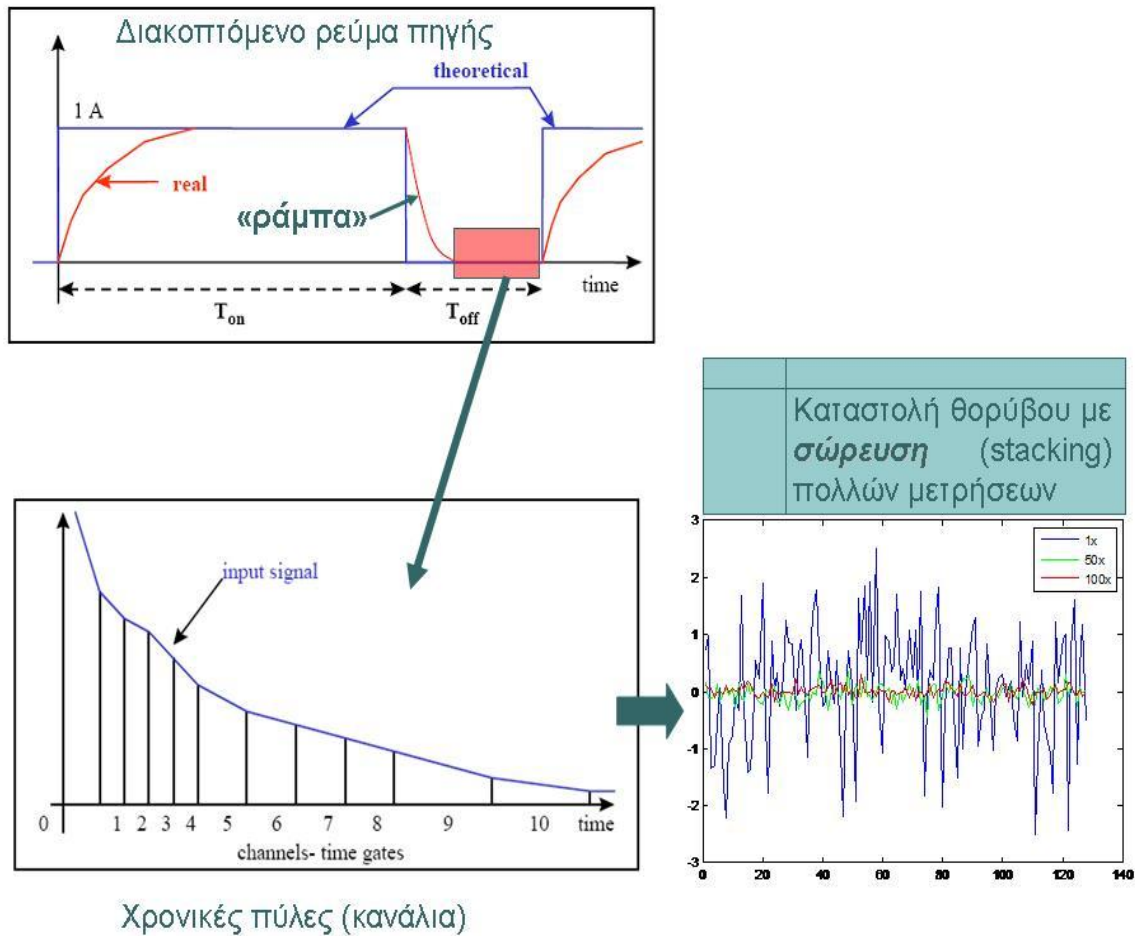
Ο βρόχος διαρρέεται από συνεχές ρεύμα εντάσεως I_0 και τη στιγμή $t=0$ διακόπτεται απότομα η λειτουργία του κυκλώματος. Σύμφωνα με τον νόμο της αυτεπαγωγής, η μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος από την αρχική τιμή I_0 στην τιμή μηδέν δεν είναι ακαριαία, αλλά διαρκεί χρόνο τ και είναι εκθετική.



Σχήμα 3.3. Στη σχήμα παρουσιάζεται το TEM Fast 48 HPC, του οίκου AEMR. Το όργανο αποτελείται από τους βρόγχους (κόκκινα καλώδια υψηλής αγωγιμότητας), τη κεντρική μονάδα παραγωγής και διάθεσης των παλμών (συσκευή σε μαύρο χρώμα) και το μονάδα καταγραφής και αποθήκευσης (palmtop – υπολογιστής χειρός).

Δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο επαγωγικά ρεύματα σε κοντινούς αγωγίμους στόχους που βρίσκονται στο υπέδαφος, και η δημιουργία δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, το οποίο ανιχνεύεται από το δέκτη.

Στο σχήμα 3.4 φαίνεται ενδεικτικά η διπολική κυματομορφή του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον πομπό, κατά τον χρόνο t . Οι κατασκευαστές των οργάνων δεν δίνουν ακριβείς πληροφορίες, αλλά τα παρακάτω στοιχεία είναι διαθέσιμα ή μπορούν να εξαχθούν (Asten 1987).



Σχήμα 3.4. Ενδεικτικό παράδειγμα κυματομορφής του πομπού. Κατά το διάστημα παύσης της πομπού υπάρχει βαθμιαία μείωση η οποία φαίνεται στο διάγραμμα για τις διάφορες χρονικές πύλες. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της μέτρησης η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές με σκοπό την άθροιση του σήματος και τη μείωση του θορύβου.

Το τμήμα της διέγερσης της κυματομορφής είναι εκθετικής μορφής ανάλογο της σταθεράς χρόνου τ του κυκλώματος, και εξαρτάται από την εμπέδηση του (μέγεθος βρόχου, αντίσταση καλωδίου, αντίσταση εδάφους) και τον σχεδιασμό του οργάνου. Η τιμή του τ κινείται μεταξύ 0.3 και 0.6 μικρών του δευτερολέπτου.

Το τμήμα της κυματομορφής που αντιστοιχεί στην μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος από I_0 σε μηδέν, είναι περίπου γραμμικής μορφής και αντιστοιχεί σε χρόνο t_r . Η τιμή του t_r κινείται μεταξύ των 30 και 350 μικρών του δευτερολέπτου, και εξαρτάται από το μέγεθος του βρόχου και το ρεύμα του πομπού. Η παροδική εξασθένιση που μετράται στον δέκτη γίνεται με πυκνή δειγματοληψία στο χρονικό παράθυρο μεταξύ t_r και $T/4$.

Time=5 ή 6
Διάρκεια $\Delta t=128\mu s$

Stack=5
(1stack=13cycles)

Αναφορά για τις
μετρήσεις
υπαίθρου

TEM Survey Report
s/n: _____

Date (DD/MM/YY)

Operator's name and participants

Name of Survey Names of soundings

1.
2.
3.
4.
5.
6.

STACK (each number corresponds 13 complete cycles):

1.
2.
3.
4.
5.
6.

 TIME (1-9)

1.
2.
3.
4.
5.
6.

Type of configuration (tick):
 Single-loop Configuration
 Two-loop Configuration Battery (V)

Amount of cables Cable Resistivity (totally) (Ω):

TR (size of transmitting loop) REC (size of receiving loop)
[$\sqrt{L_1 \times L_2}$] if not square: [$\sqrt{L_1 \times L_2}$] if not square:

TURN ($n_{REC} \times n_{TR}$) Amplifier (Y,N): Filter:

Position (X/Y/Z)

Longitude X:
Latitude Y:
Elevation Z:

Amplitude of current's pulses (choose 1,4A):

Remarks: _____

Σχήμα 3.5. Όπως φαίνεται και από τη φόρμα καταγραφής των δεδομένων υπαίθρου, συνήθως λαμβάνονται μετρήσεις για Time=5 ή 6 και εφαμόζοντας περί τις 5 αθροίσεις.

Η ηλεκτρεγερτική Δύναμη που αναπτύσσεται στον βρόχο κατά τον χρόνο t_r μπορεί γενικά να περιγραφεί από την εξίσωση

$$E(p, h) = \frac{\rho \mu_0 a I}{2} \int_0^{\infty} \left[\frac{\lambda - s}{\lambda + s} e^{-2\lambda h} + 1 \right] J_1^2(\lambda a) d\lambda,$$

για την περίπτωση κυκλικού βρόχου ακτίνας a , όπου:

h = το ύψος πάνω από το υπέδαφος που βρίσκεται ο βρόχος.

ρ = η μεταβλητή του μετασχηματισμού Laplace που αντιστοιχεί στον παράγοντα $(-i\omega)$ για μεταβολή του χρόνου $(-i\omega t)$.

I = το ρεύμα του πομπού.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, η μαγνητική διαπερατότητα στο κενό.

λ = η μεταβλητή του μετασχηματισμού.

$J_1(\lambda a)$ = συνάρτηση Bessel πρώτης τάξης.

$$s = \sqrt{\lambda^2 + \mu \sigma}.$$

Η γενική αυτή εξίσωση αποδεικνύεται πως ισχύει και για την περίπτωση που ο βρόχος είναι τετραγωνικής μορφής, πλευράς a (Raiche και Spies 1981).

Λόγω της μεγάλης ακρίβειας στον χρόνο καταγραφής που απαιτείται, τα όργανα των TDEM διαθέτουν πολλά ακόμα ηλεκτρονικά όργανα, γεγονός που τα καθιστά και σχετικά ακριβότερα από άλλα γεωφυσικά όργανα μέτρησης. Τα περισσότερα όργανα μετρούν με ακρίβεια 0.1 μικρών του δευτερολέπτου (10^{-6}), και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στο χρονικό παράθυρο από 4 μικρά μέχρι και 164 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Τα πλέον σύγχρονα όργανα δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να προγραμματίσει τη διάρκεια κατά την οποία παίρνονται οι μετρήσεις.

Η ανάπτυξη όλο και ακριβέστερων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, οδηγεί στην συνεχή εξέλιξη των οργάνων μέτρησης και στην μείωση του όγκου τους. Τα σημερινά όργανα είναι συμπαγή, εύχρηστα και διαθέτουν μικροεπεξεργαστές για την καταγραφή και αποθήκευση των μετρήσεων.

3.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Πριν από κάθε γεωφυσική έρευνα, γίνεται ένας αρχικός σχεδιασμός για τον τρόπο που θα διεξαχθεί, στον οποίο λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά των πιθανών στόχων (βάθος, σχήμα, ιδιότητες), η μορφολογία του εδάφους, η επιθυμητή ανάλυση των αποτελεσμάτων, ο χρόνος που θα απαιτηθεί κλπ.

Στην περίπτωση των TDEM, πρωταρχικό ρόλο στη γεωφυσική έρευνα παίζουν η διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί και το μέγεθος του βρόχου που θα υλοποιηθεί (MacNae 1984). Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των πιθανών στόχων, λαμβάνονται και οι κατάλληλες αποφάσεις.

Ένας γενικός κανόνας για την διάταξη μονού βρόχου, είναι πως το μέγεθος του βρόχου πρέπει να είναι περίπου της ίδιας τάξης μεγέθους με το βάθος του στόχου προς εξερεύνηση. Αν π.χ. ο στόχος αναμένεται να είναι στα 100 μέτρα βάθος, το μέγεθος της πλευράς του βρόχου που θα πραγματοποιηθεί θα πρέπει να είναι μεταξύ 80 και 120 μέτρων.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως η ισχύς του πομπού και η συνοδούμενη ενέργεια του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου που παράγεται, αυξάνονται με το μέγεθος του βρόχου ή, για να είμαστε απόλυτα ακριβείς, με την συνολική επιφάνεια που αντιστοιχεί στον βρόχο. Αν π.χ. ο βρόχος είναι τετραγωνικός πλευράς a και αποτελείται από 2 σπείρες, τότε η επιφάνεια του βρόχου είναι $2a^2$.

Η απόσταση μεταξύ των σταθμών μετρήσεων και των γραμμών οδεύσεως, εξαρτάται από τον τύπο της έρευνας (λεπτομερής ή αναγνωριστικός). Για αναγνωριστική έρευνα και με τη διάταξη μονού βρόχου, η απόσταση μεταξύ διαδοχικών βυθοσκοπήσεων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον τέτοια ώστε ανά δύο να βρίσκονται πάνω από τον γεωλογικό στόχο που ερευνάται. Όσον αφορά την απόσταση μεταξύ διαδοχικών οδεύσεων, θα πρέπει να είναι ανάλογη του μήκους που εκτείνεται ο στόχος. Για τη διεξαγωγή λεπτομερούς έρευνας, το βήμα δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι αρκετά μικρότερο.

3.4 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Τα σφάλματα που μπορεί να υπεισέλθουν στις μετρήσεις TDEM μπορεί να οφείλονται σε διάφορους λόγους, όπως είναι ο γεωλογικός θόρυβος, η ημερήσια μεταβολή του μαγνητικού πεδίου της Γης κ.α. Οι σημαντικότεροι λόγοι είναι:

- Γεωμετρικός θόρυβος. Σε αυτόν συμπεριλαμβάνονται όλες οι πηγές θορύβου που πηγάζουν εξαιτίας της γεωμετρίας της κάθε διάταξης. Σε αντίθεση με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους που λειτουργούν στην περιοχή των συχνοτήτων, όπου είναι δύσκολο να απομονωθεί η συμφοσική συνιστώσα του δευτερεύοντος πεδίου από το γεωμετρικά εξαρτώμενο πρωτεύον πεδίο, τα γεωμετρικά λάθη είναι αμελητέα σε μέγεθος γιατί οι μετρήσεις λαμβάνονται κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Η τοπογραφία είναι άλλη μια πηγή σφαλμάτων στις μετρήσεις. Και αυτή όμως είναι αμελητέα, καθώς μετά το πρώιμο στάδιο η διάδοση των κυμάτων έχει τέτοια συμπεριφορά ως να ήταν η επιφάνεια του εδάφους απολύτως επίπεδη.
- Ανθρωπογενής θόρυβος. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται όλοι οι μεταλλικοί αγωγοί που μπορεί να επάγουν ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκονται στην περιοχή έρευνας, όπως είναι οι γραμμές του τηλεφωνικού δικτύου, υπόγειοι αγωγοί, μεταλλικοί φράχτες κλπ. Εξαιτίας όμως της μικρής διατομής που έχουν συνήθως, οι σταθερές χρόνου τ για την απευθείας επαγωγή τους είναι συνήθως αμελητέες. Η κύρια συνεισφορά τους στα σφάλματα προέρχεται από την ικανότητα τους να διοχετεύουν επαγόμενα ρεύματα στα περιβάλλοντα πετρώματα.
- Ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος. Υπάρχουν πολλές πηγές που επηρεάζουν τις μετρήσεις των TDEM και οφείλονται σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Γεωμαγνητικά σήματα κάτω από 1 Hz προέρχονται κυρίως από μέσα και πάνω από την Ιονόσφαιρα. Πάνω από 1 Hz το φάσμα του φυσικού θορύβου προέρχεται κυρίως από ατμοσφαιρικά παράσιτα, που είναι όλες οι φυσικές παροδικές ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές που δημιουργούνται από εκκενώσεις κεραυνών.

Ο ανθρωπογενής θόρυβος αυτής της κατηγορίας προέρχεται από της γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου (με συχνότητα 50 ή 60 Hz), ενώ οι σταθμοί πολύ χαμηλών συχνοτήτων (VLF) παράγουν μεγαλύτερης συχνότητας θόρυβο (10 με 25 kHz). Είναι η κυριότερη πηγή σφαλμάτων, όμως είναι εύκολο να εντοπιστεί καθώς η πηγή από όπου προέρχεται είναι εμφανής.

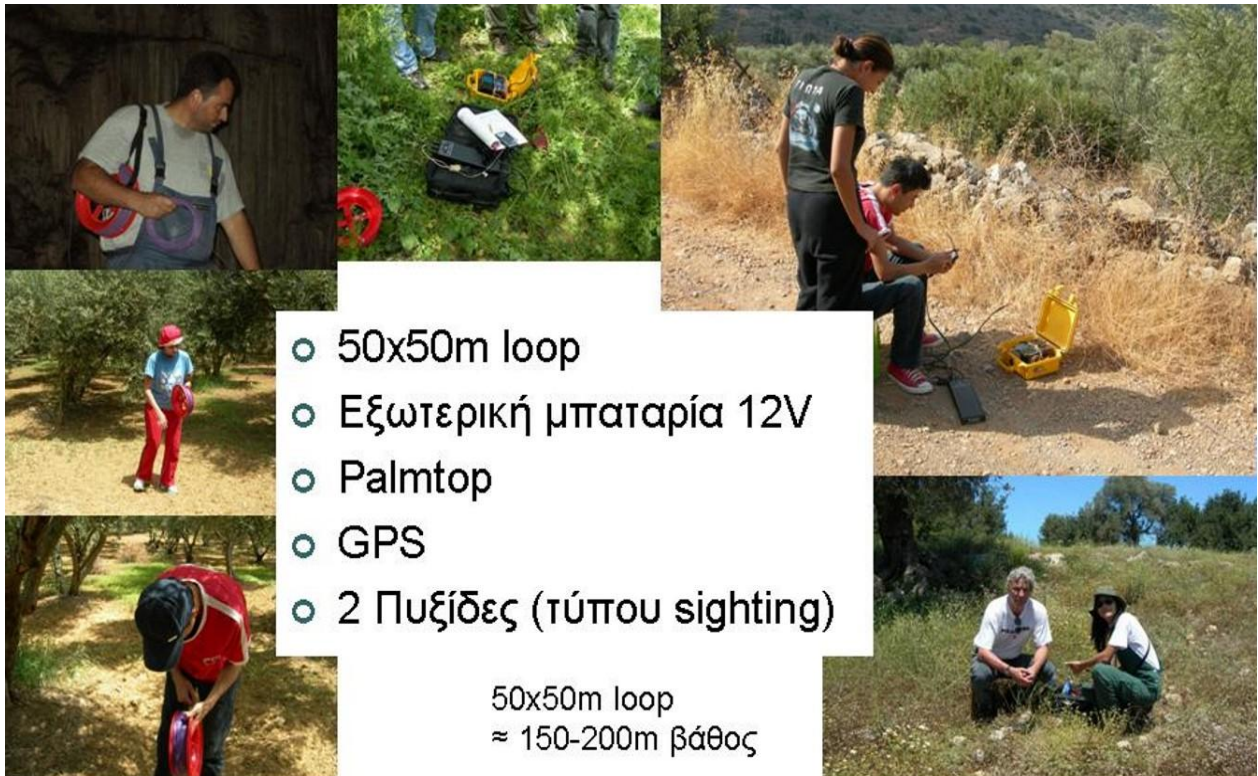
Ο επαγωγικός θόρυβος λόγω της κίνησης της Γης μπορεί να είναι πολύ σημαντικός, καθώς το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι 100.000 φορές μεγαλύτερο από το πεδίο που δημιουργεί ο πομπός. Προβλήματα από τέτοιου είδους θόρυβο αντιμετωπίζονται όταν οι μετρήσεις απαιτούν πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθούν, και η διόρθωση των μετρήσεων γίνεται με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιείται στις μαγνητικές μεθόδους.

Η αφαίρεση του θορύβου από τις μετρήσεις δεν είναι εύκολη διαδικασία. Συνήθως περιλαμβάνει αποσυνέλιξη της απόκρισης του συστήματος για τον δέκτη, την αφαίρεση του θορύβου εξαιτίας των γραμμών μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος, κανονικοποίηση για την γεωμετρία του συστήματος και (αν είναι απαραίτητο) αναγνώριση και αφαίρεση του θορύβου χαμηλής συχνότητας που προέρχεται από τους μικροπαλμούς του μαγνητικού πεδίου της Γης (Keller 1997, MacNae et al. 1984, McCracken et al. 1986, Spies 1988).

3.5 ΣΥΛΛΟΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, το σημαντικότερο τμήμα μιας έρευνας είναι η επιλογή των θέσεων μέτρησης και η χωροθέτηση των μετρήσεων με κριτήρια κάλυψης, εντοπισμού του στόχου, μείωσης του θορύβου και βελτιστοποίησης του χρόνου και του τελικού αποτελέσματος.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση και ολοκλήρωση του έργου ήταν το TEM Fast 48 HPC (σχήμα 3.6). Πρόκειται για ένα πλήρως φορητό, εύχρηστο και αποτελεσματικό όργανο το οποίο μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί σε περισσότερες από 400 έρευνες ανά το κόσμο με σκοπό την εύρεση υπόγειας υδροφορίας.



Σχήμα 3.6. Στην εικόνα εικονίζονται οι διάφορες φάσεις της έρευνας όπως και τα διάφορα περιβάλλοντα στα οποία έχει εφαρμοστεί η εν λόγω μεθοδολογία.

Για τη συλλογή των μετρήσεων ακολουθούνται τα εξής στάδια εργασίας,

- Επιλέγεται η θέση της μέτρησης,
- Με πυξίδες τύπου sighting επιλέγονται οι διευθύνσεις στις οποίες θα κινηθούν αυτοί που θα εγκαταστήσουν το βρόγχο (50X50 ή 100X100) των μετρήσεων.
- Όση ώρα πραγματοποιείται η εγκατάσταση του βρόγχου, λαμβάνονται με GPS ακριβείας οι συντεταγμένες του κέντρου του βρόγχου το οποίο αποτελεί και τη θέση της βυθοσκόπησης.
- Εισάγονται συντεταγμένες και στοιχεία της θέσης μέτρησης στον υπολογιστή χειρός ενώ επιπλέον, ορίζονται οι παράμετροι (time=5, stack 5) (σχήμα 3.5) με τις οποίες θα γίνει η συλλογή των δεδομένων. Τέλος επιλέγεται το μέγιστο ρεύμα (4A).
- Ξεκινούν οι μετρήσεις και με το πέρας των μετρήσεων γίνεται ένας πρώτος έλεγχος της ποιότητας/αξιοπιστίας των μετρήσεων καθώς και του υπολογιζόμενου μοντέλου αντίστασης με το βάθος.
- Αλλάζουμε τις παραμέτρους συλλογής των δεδομένων (time = 6, stack 5) (σχήμα 3.5) και ξαναπέρνουμε μέτρηση με σκοπό να δούμε τη διαφοροποίηση του υπολογιζόμενου μοντέλου. Εάν δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων, πέραν της μεγαλύτερης διείδυσης του σήματος, τότε γίνεται αποσυναρμολόγηση του συστήματος και προχωράμε στην επόμενη θέση μέτρησης.
- Εάν υπάρχει διαφορά μεταξύ των μετρήσεων με διαφορετικές παραμέτρους εισαγωγής τότε χωρίς να αλλάζουμε τις παραμέτρους επαναλαμβάνουμε την ίδια μέτρηση για να δούμε την επαναληψιμότητα των μετρήσεων.

Name	Tr	Rec	Stc	Time	HVP	F (Hz)	I (A)	dT (ns)
△ PP02	100	100	5	8	12	50	2.40	1720
+ PP03	100	100	5	8	12	50	2.40	1720
□ PP05	100	100	5	8	12	50	2.40	1720
○ PP07	100	100	5	8	12	50	2.30	1720

Σχήμα 3.7. Στοιχεία λήψης των μετρήσεων ανά θέση.

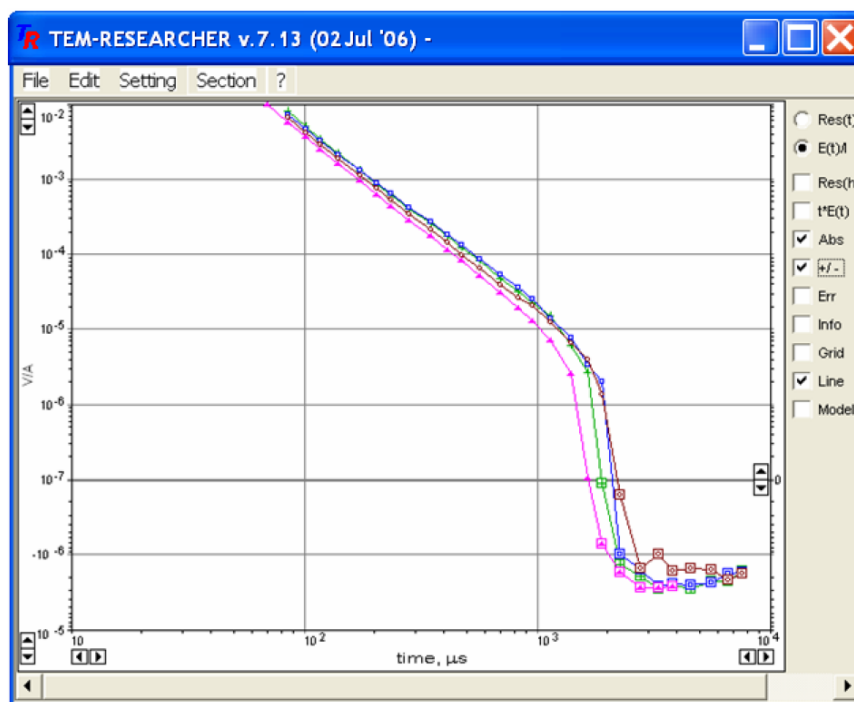
Με τη συνεχής λήψη των μετρήσεων, δημιουργείται μια βάση δεδομένων (σχήμα 7) στην οποία καταγράφονται στοιχεία όπως, το όνομα της θέσης (name), οι διαστάσεις του πομπού (Tr), οι διαστάσεις του δέκτη (Rec), το πλήθος των σωρεύσεων (Stc), ο χρόνος – χρονικά παράθυρα που επειλέχθηκαν (Time), η επιλογή της προστασίας από υπερφόρτωση του συστήματος (High Voltage Protection-HVP), το εφαρμοζόμενο συχνοτικό φίλτρο απομάκρυνσης βιομηχανικού θορύβου (F), η εφαρμοζόμενη ένταση του ρεύματος (I) και οι διορθωτικοί χρόνοι στην απόσβεση του ρεύματος για το βρόγχο εκπομπής (dT).

Στην πράξη, όλα τα συστήματα της μεθόδου TDEM καταγράφουν τις παροδικές τάσεις σε έναν αριθμό καναλιών χρόνου. Τις περισσότερες φορές η επεξεργασία των σημάτων γίνεται σε πραγματικό χρόνο, σε αντίθεση π.χ. με τη σεισμική μέθοδο. Καθώς για κάθε κανάλι χρόνου τα όργανα μέτρησης λαμβάνουν πολλές μετρήσεις τις οποίες μετά σφραγίζουν, τα περισσότερα συστήματα είναι εφοδιασμένα με κάποιο ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής. Στη συνέχεια, τα δεδομένα ελέγχονται για την ακρίβεια τους και κανονικοποιούνται διαιρώντας τις μετρήσεις με το ρεύμα του πομπού. Επειδή τα δεδομένα όμως στη συνέχεια μετατρέπονται από μετρήσεις μεταβολής της μετρούμενης συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου σε φαινόμενες αντιστάσεις, είναι δύσκολο να γίνει γρήγορη εκτίμηση της ποιότητας τους (Spies και Eggers 1986).

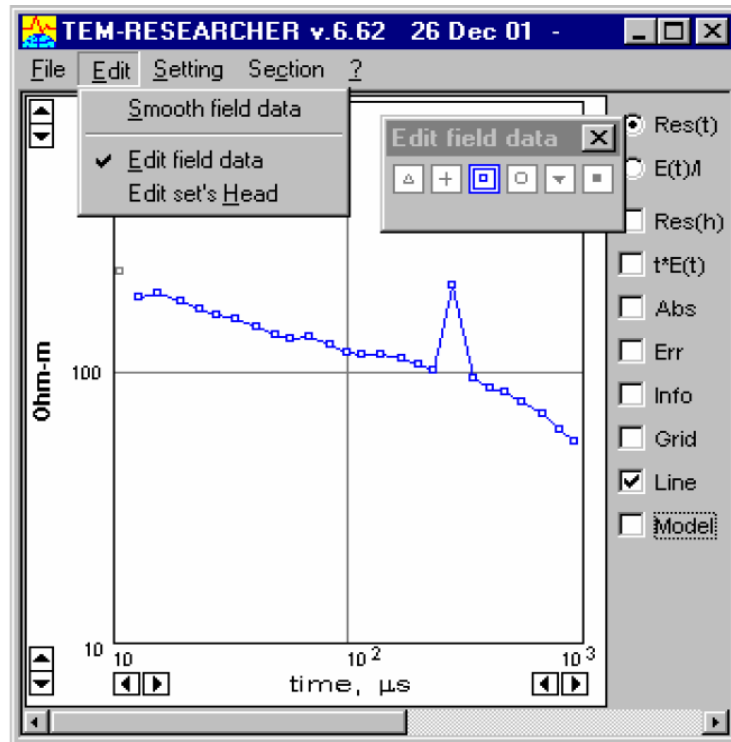
Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν τη μορφή του σχήματος (3.8) όπου στο κατακόρυφο άξονα παρουσιάζεται η μεταβολή του λόγου V/A σε συνάρτηση των χρονικών παραθύρων. Στο σχήμα 8 παρουσιάζονται 4 καμπύλες οι οποίες αντιστοιχούν στη λήψη για την ίδια θέση τεσσάρων (4) μετρήσεων διαφορετικές παραμέτρους λήψης.

Στην περίπτωση βυθοσκοπήσεων, χαρτογραφούνται οι φαινόμενες αντιστάσεις με το χρόνο, ώστε να υπάρχει μια πρώτη ποιοτική εκτίμηση των μετρήσεων, όπως συμβαίνει με τις ηλεκτρικές μεθόδους συνεχούς ρεύματος.

Όταν τα δεδομένα προέρχονται από οδεύσεις, δημιουργούνται γραφικές παραστάσεις σε γραμμική κλίμακα, όπου χαρτογραφούνται οι μετρήσεις σε συγκεκριμένα κανάλια χρόνου κατά μήκος μιας όδευσης ώστε να ελεγχθούν τα δεδομένα για την περίπτωση σφαλμάτων σε κάποια συγκεκριμένη θέση, και για μια πρώτη ποιοτική εκτίμηση της περιοχής που δίνει τις ανωμαλίες κατά μήκος της όδευσης.

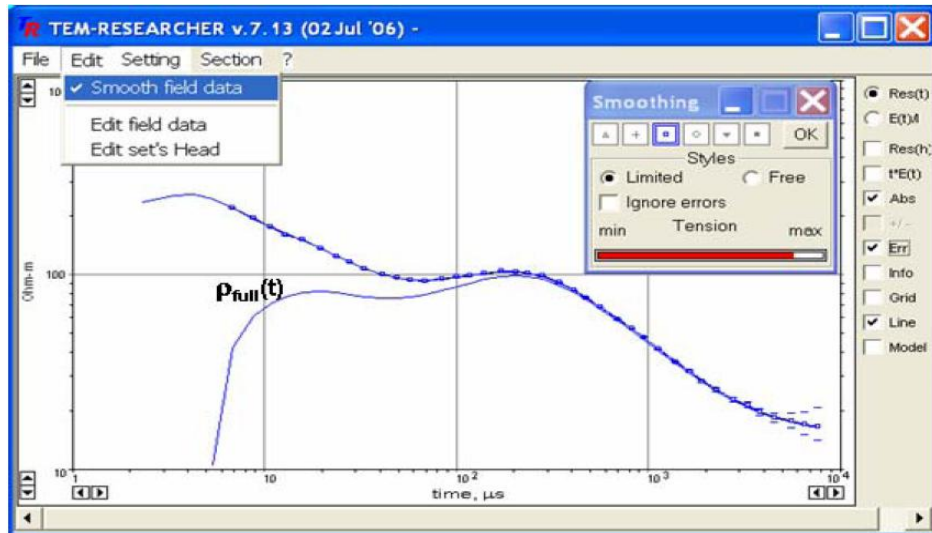


Σχήμα 3.9. Τα πρωτογενή δεδομένα πολλές φορές χρήζουν διόρθωσης λόγω του θορύβου που κατέγραψαν. Έτσι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει τα πρωτογενή δεδομένα και να παρέμβει είτε αλλάζοντας/διαγράφοντας τιμές είτε εφαρμόζοντας φίλτρα εξομάλυνσης.



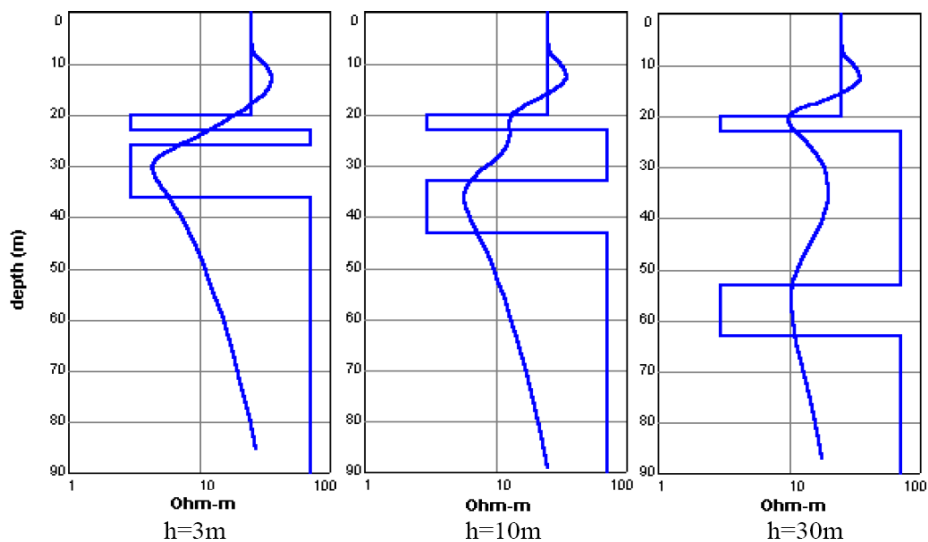
Σχήμα 3.10. Διαχείριση των πρωτογενών δεδομένων είτε με επέμβαση (διαγραφή ή τροποποίηση των δεδομένων).

Πολλές απαιτείται η εφαρμογή φίλτρων εξομάλυνσης (σχήμα 3.11) με σκοπό η καμπύλη να αποκτήσει μια πιο «πραγματική» μορφή και τα αποτελέσματα αυτής να είναι πιο αξιόπιστα. Η αναγκαιότητα της χρήσης των φίλτρων εξομάλυνσης πηγάζει από το γεγονός ότι το όργανο καταγράφει πολλές φορές θόρυβο ο οποίος αλλοιώνει την ποιότητα του σήματος και επιπλέον οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται είναι μονοδιάστατες γεγονός που αντιτίθεται με τη τρισδιάστατη και ανομοιογενής υπεδάφεια δομή.



Σχήμα 3.11. Εφαρμογή των φίλτρων εξομάλυνσης στα δεδομένα.

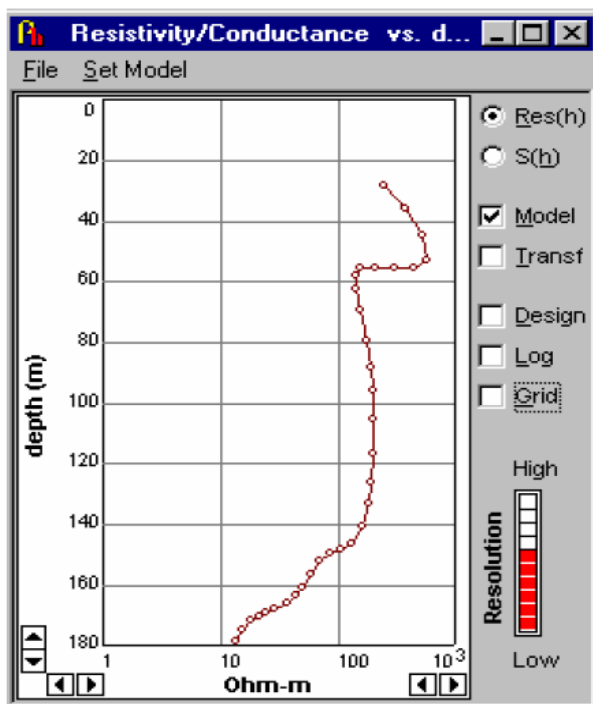
Ο τρόπος με τον οποίο δρα η εξομάλυνση στα πρωτογενή δεδομένα φαίνεται στο σχήμα 3.12. Έγινε μια προσπάθεια εφαρμογή 3^{ων} διαφορετικών φίλτρων εξομάλυνσης και παρουσιάζεται η επίδραση των φίλτρων στα δεδομένα. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η εφαρμοζόμενη εξομάλυνση τόσο το υπολογιζόμενο μοντέλο ομαλοποιείται/ ομογενοποιείται και χάνονται λεπτομέρειες του μοντέλου. Για τους παραπάνω λόγους, προτείνεται η εφαρμογή των φίλτρων εξομάλυνσης αλλά σε επίπεδο που δεν θα «σκιάσει» το φίλτρο, πληροφορίες που κρύβονται στο σήμα.



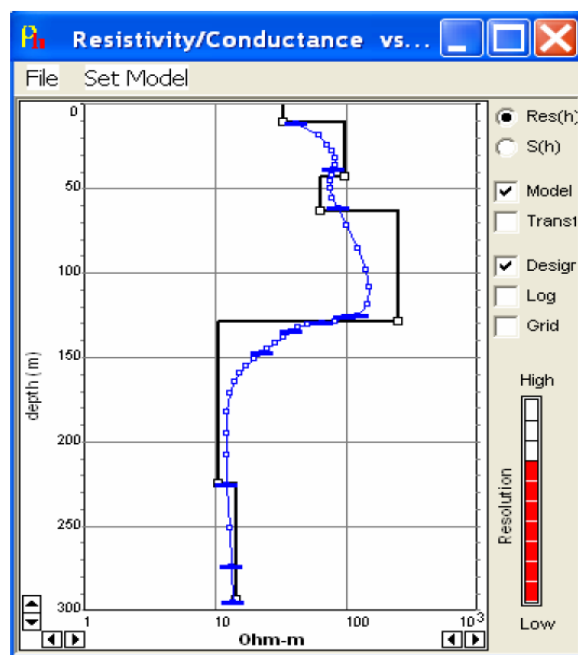
Σχήμα 3.12. Εφαρμογή φίλτρων εξομάλυνσης σε πρωτογενή δεδομένα.

Με το πέρας της εφαρμογής όποιων φίλτρων στα πρωτογενή δεδομένα, το λογισμικό μπορεί να υπολογίσει το μονοδιάστατο μοντέλο αντίστασης με το βάθος (σχήμα 3.13). Όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα, το τελικό μοντέλο απεικονίζει την αντίσταση με το βάθος ορίζοντας με αυτό τον τρόπο τη διαστρωμάτωση στη θέση μέτρησης. Ειδικότερα, στα 55 μέτρα η αντίσταση από τα 800 Ohm μεταβάλλεται στα 200 Ohm μέχρι το βάθος των 140

μέτρων οπότε και ξεκινάει η αντίσταση να πέφτει μέχρι και τα 10 Ohm στα 180 μέτρα. Συνήθως αντιστάσεις περί τα 10-30 Ohm αποτελούν ενδείξεις υπόγειας υδροφορίας.



Σχήμα 3.13. Τελικό μοντέλο κατανομής της αντίστασης με το βάθος.



Σχήμα 3.14. Δυνατότητα σχεδιασμού του μοντέλου βαθών με βάση την ερμηνεία των πρωτογενών δεδομένων.

Δεδομένου ότι όποια μεταβολή στη καμπύλη συνδέεται με μεταβολή στη λιθολογία, μπορεί ο χρήστης κατά την επεξεργασία και ερμηνεία των μετρήσεων να ορίσει τη γεωλογική και

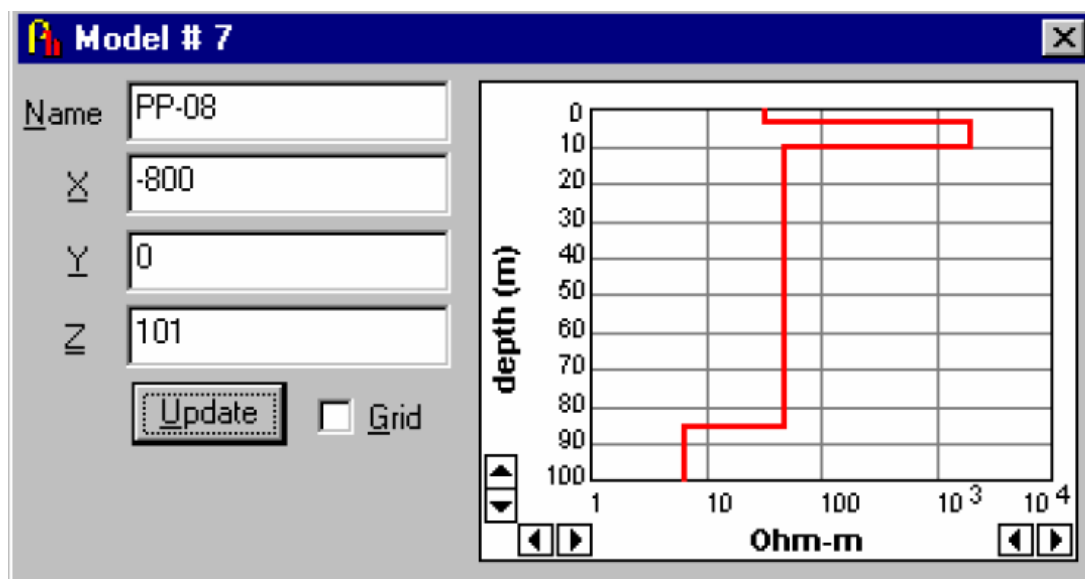
λιθολογική διαστρωμάτωση. Με αυτό το τρόπο με εύκολο τρόπο προκύπτει το μοντέλο πάχους και αντιστάσεων των στρωμάτων (σχήμα 3.14).

#	Name	X(m)	Y(m)	Z(m)	IP	SPM
1	PP-14	-1550.0	0.0	105.6	No	No
2	PP-13	-1450.0	0.0	104.0	No	No
3	PP-12	-1350.0	0.0	104.0	No	No
4	PP-11	-1250.0	0.0	107.0	No	No
5	PP-10	-1100.0	0.0	103.0	No	No
6	PP-09	-750.0	0.0	101.0	No	No
7	PP-08	-800.0	0.0	101.0	No	No
8	PP-07	-700.0	0.0	101.0	No	No
9	PP-06	-600.0	0.0	101.0	No	No
10	PP-05	-500.0	0.0	101.0	No	No
11	PP-04	-400.0	0.0	103.0	No	No
12	PP-03	-300.0	0.0	103.0	No	No
13	PP-02	-200.0	0.0	103.0	No	No
14	PP-01	-100.0	0.0	105.0	No	No
15	P00	0.0	0.0	115.5	No	No
16	P03	50.0	0.0	115.5	No	No
17	P04	100.0	0.0	116.5	No	No
18	P07	150.0	0.0	116.5	No	No
19	P08	200.0	0.0	116.5	No	No

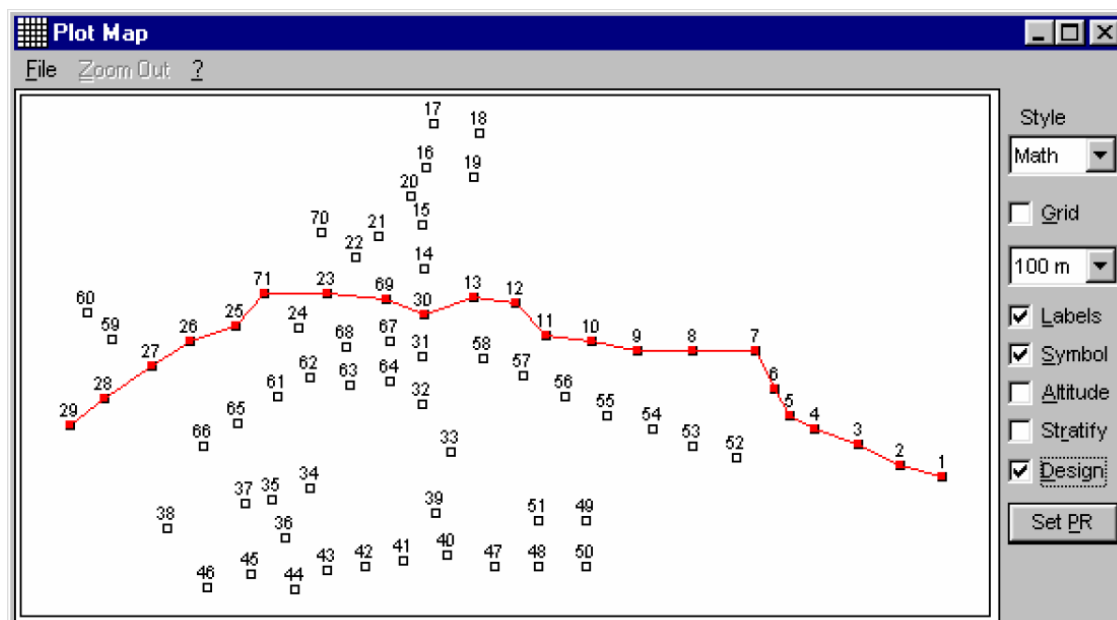
Σχήμα 3.15. Συνολική παρουσίαση όλων των δεδομένων που ελήφθησαν σε μια περιοχή έρευνας. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει το όνομα της θέσης μέτρησης, τις χωρικές συντεταγμένες των θέσεων μέτρησης, το υψόμετρο κάθε θέσης μέτρησης και στοιχεία για φαινόμενα επαγόμενης πολικότητας και καταγραφής παραμαγνητικών δεδομένων.

Ανάλογα με το σκοπό του έργου, επιλέγεται η χωροθέτηση των μετρήσεων η οποία είναι είτε μετρήσεις σε κάρναβο με σκοπό τη τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου, είτε μετρήσεις κατά μήκος οδύσεων με σκοπό την αποτύπωση και παρακολούθηση της συνέχειας δομών ενδιαφέροντος (σχήμα 3.15).

Σε κάθε περίπτωση ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει όλες τις διαθέσιμες μετρήσεις και για κάθε μία από αυτές να δει τα στοιχεία της και την ερμηνεία της (σχήμα 3.15).

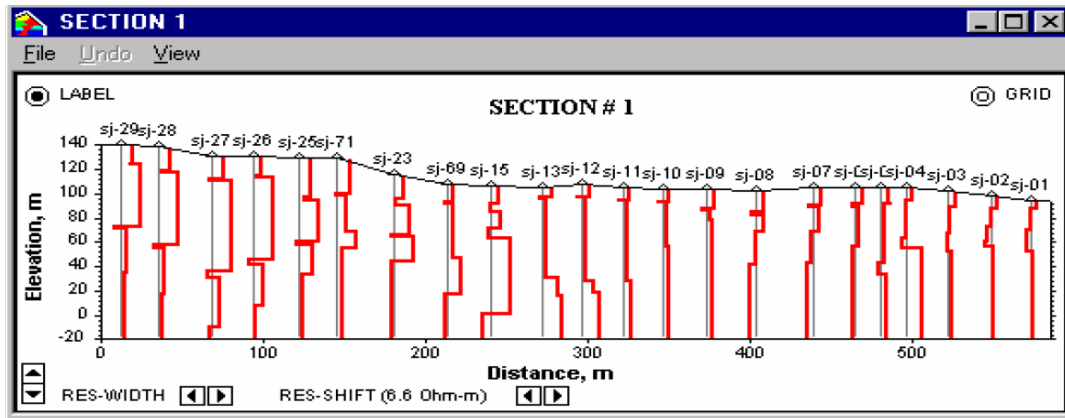


Σχήμα 3.16. Παρουσίαση των στοιχείων για μια από τις βυθοσκοπήσεις.



Σχήμα 3.17. Επιλογή βυθοσκοπήσεων η μονοδιάστατη ερμηνεία των οποίων θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός διδιάστατου μοντέλου κατανομή των αντιστάσεων με το βάθος.

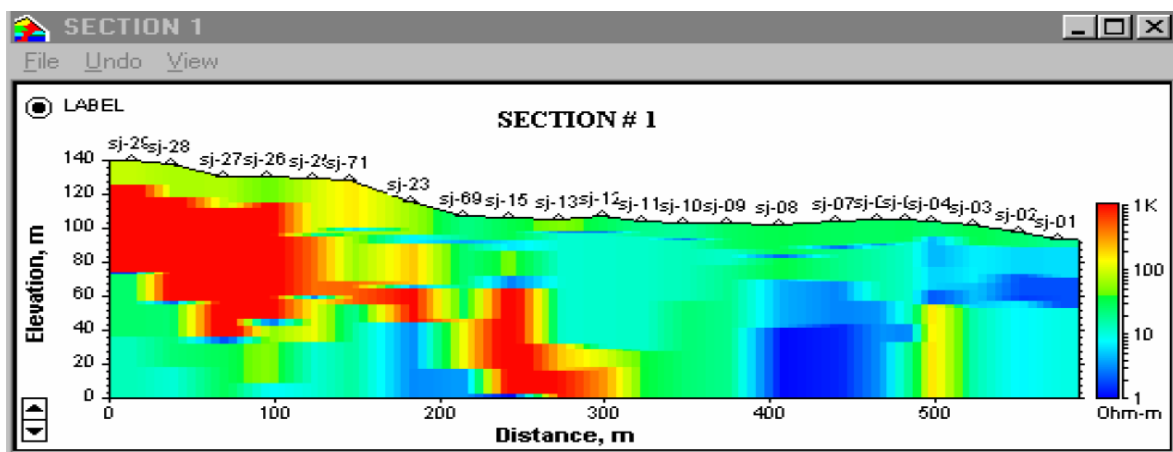
Στην περίπτωση κατά την οποία οι μετρήσεις σε μια περιοχή έρευνας είναι χωρικά κατανομημένες (σχήμα 3.16, 3.17), τότε ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιες βυθοσκοπήσεις η ερμηνεία των οποίων θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός διδιάστατου μοντέλου κατανομής των αντιστάσεων με το βάθος. Η παραγωγή του μοντέλου γίνεται με παρεμβολή των μονοδιάστατων ερμηνειών των επιμέρους βυθοσκοπήσεων.



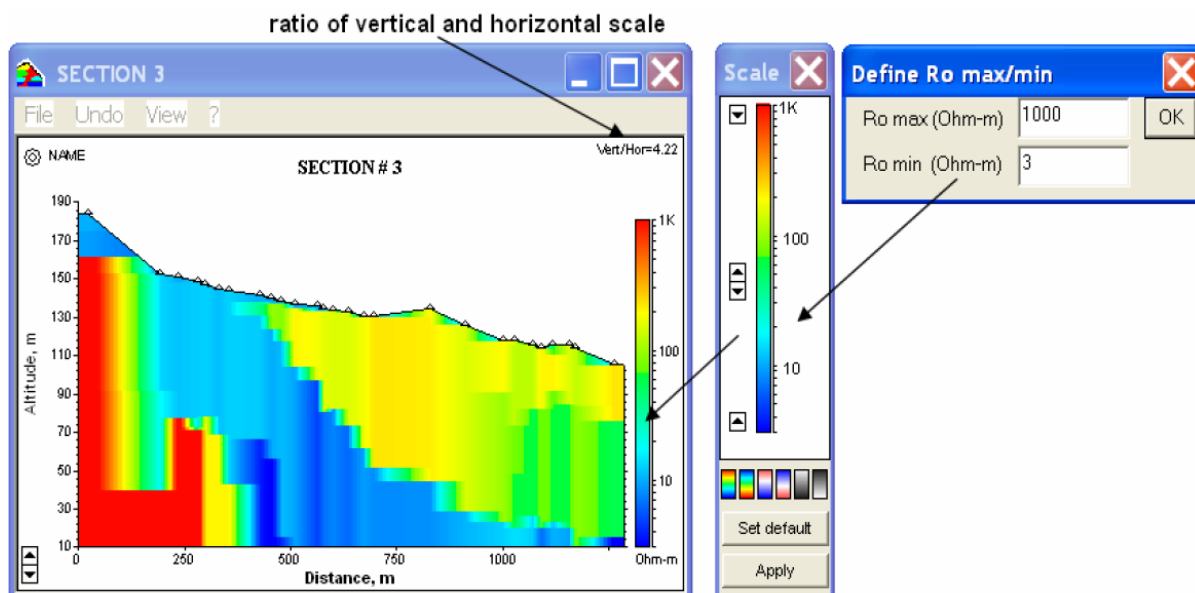
Σχήμα 3.18. Διδιάστατη παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τη μορφή διαγραφιών αγωγιμότητας με το βάθος.

Τα διδιάστατα μοντέλα μπορούν να απεικονιστούν με διάφορους τρόπους. Στο σχήμα 18 τα μοντέλα παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραφιών αγωγιμότητας με το βάθος. Στην περίπτωση αυτή ορίζεται ένα όριο αντίστασης και οι καμπύλες (κόκκινες γραμμές) μεταβάλλονται εκατέρωθεν αυτής της τιμής. Αυτός ο τρόπος παρουσίασης των δεδομένων δεν είναι ο πλέον «εντυπωσιακός» αλλά σίγουρα είναι κατατοπιστικός διότι μπορεί να χρήστης να ορίσει π.χ. όριο τα 10 Ohm.m (παρουσία υπόγειας υδροφορίας) και σε όσες θέσεις οι βυθοσκοπήσεις έχουν τιμές μικρότερες του ορίου αυτόματα αποτελεί για τον ερμηνευτή ένδειξη υδροφορίας.

Ένας άλλος τρόπος παρουσίασης των δεδομένων είναι με τη χρήση χρωματικής κλίμακας. Στη περίπτωση αυτή, η τομή στην περιοχή έρευνας χωρίζεται σε εικονοστοιχεία το χρώμα του οποίου εξαρτάται από τη τιμή αντίστασης του συγκεκριμένου σημείου απεικόνισης (Σχήμα 3.19). Στη περίπτωση αυτή τα ψυχρά χρώματα (μπλε) αναφέρονται σε μικρές αντιστάσεις (υψηλές αγωγιμότητες) ενώ τα θερμά χρώματα (κόκκινα) αναφέρονται σε υψηλές αντιστάσεις (χαμηλές αγωγιμότητες).



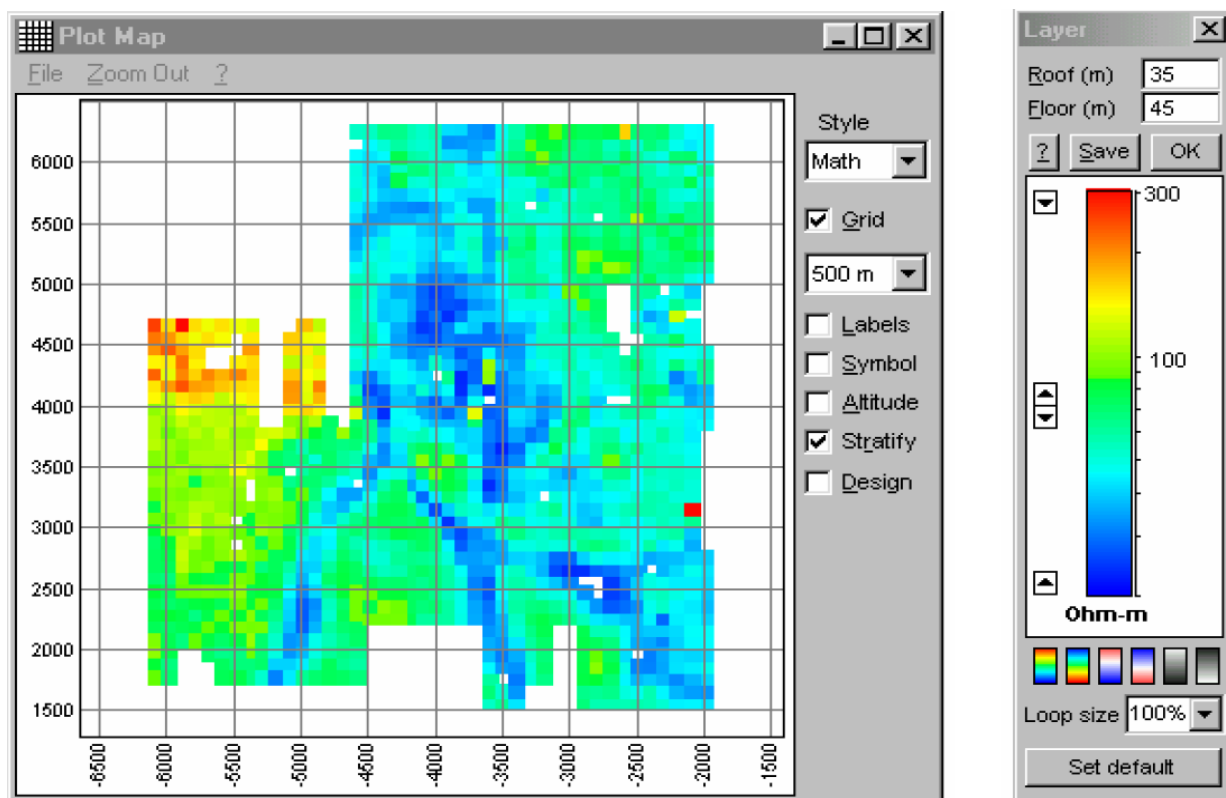
Σχήμα 3.19. Διδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος.



Σχήμα 3.20. Δισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επέμβει στη χρωματική κλίμακα και να αλλάξει επίσης τα όρια των αντιστάσεων.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τόσο τη χρωματική κλίμακα όσο και τα όρια των αντιστάσεων τα οποία θα χαρτογραφούνται (σχήμα 3.20).

Τέλος, ο χρήστης μπορεί στην περίπτωση που τα δεδομένα του έχουν ληφθεί με πολύ πυκνή χωρική κατανομή, να δημιουργήσει δισδιάστατες απεικονίσεις στους άξονες X και Y για διαφορετικά βάθη. Έτσι εμμέσως δημιουργείται ένας τρισδιάστατος όγκος με τον οποίο παρουσιάζονται οι αντιστάσεις στις τρεις διαστάσεις (σχήμα 3.21).



Σχήμα 3.21. Χωρική απεικόνιση των αντιστάσεων για το βάθος από 35-45 μέτρα.

3.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η μέθοδος των παροδικών ηλεκτρομαγνητικών κυματομορφών αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την μεταλλευτική έρευνα, κυρίως στην Σοβιετική Ένωση και στην Αυστραλία.

Τα τελευταία χρόνια όμως, γίνεται μεγάλη χρήση της μεθόδου σε πολλούς τομείς γεωλογικών εφαρμογών.

- Μεταλλευτική έρευνα (Kooپر και Swift 1994, Withers et al. 1994, Sinha 1990, Maher 1992, Buselli et al. 1986).
- Γεωθερμικά πεδία (Pellerin et al. 1996).
- Περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές έρευνες (Chen 1998, Fitterman et al. 1986, Hoekstra και Blohm 1985).
- Ανακάλυψη υδροφόρων και υφάλμυρων οριζόντων (Taylor et al. 1992, McNeil 1986).
- Συνδυασμός των TDEM με άλλες γεωφυσικές μεθόδους (Sternberg et al. 1988, Raiche et al. 1985, Meju 1996).

Εξαιτίας του μεγάλου πλεονεκτήματος της μεθόδου να μπορεί να λειτουργήσει σε μικρές εκτάσεις σε σχέση με το βάθος διασκόπησης η χρήση της είναι ολοένα και αυξανόμενη, ενώ και σε ερευνητικό στάδιο γίνονται πολλές μελέτες για την περαιτέρω εκμετάλλευση της μεθόδου και σε άλλους τομείς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΔΙΟΥ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 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 υπαρχόντων 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.

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 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.

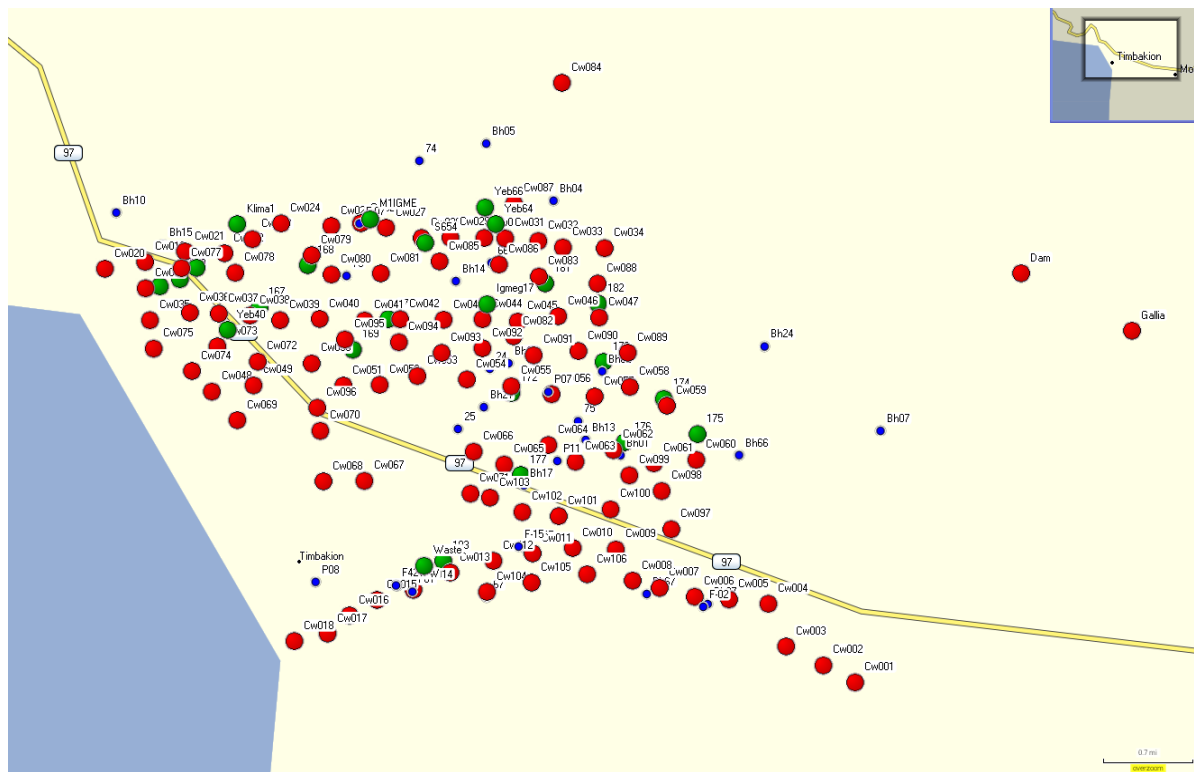
Η θεωρία της αντιστροφής περιγράφεται από τους D.W. Oldenburg και F.H.M. Jones (2007). "Σε μια τυπική γεωφυσική έρευνα, βάλουμε την ενέργεια στο έδαφος για να καταγραφεί η αντίδραση, την οποία αναφέρουμε ως δεδομένα ή παρατηρήσεις. Οι τιμές των δεδομένων εξαρτώνται από την κατανομή των φυσικών ιδιοτήτων στο υπέδαφος. Ο στόχος του αντίστροφου 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".

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.

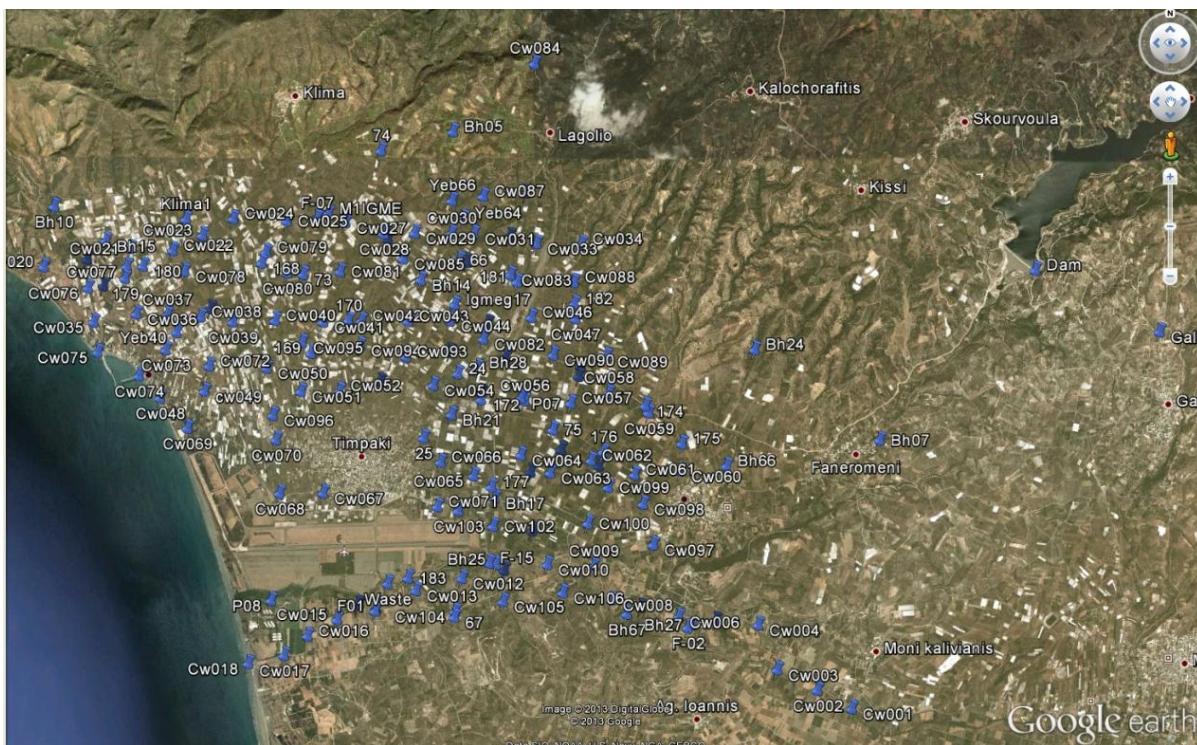
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος ελήφθησαν 367 βυθοσκοπήσεις σε 107 θέσεις.



Σχήμα 5.1 Στο σχήμα εικονίζονται όλες οι βυθοσκοπήσεις που ελήφθησαν στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.

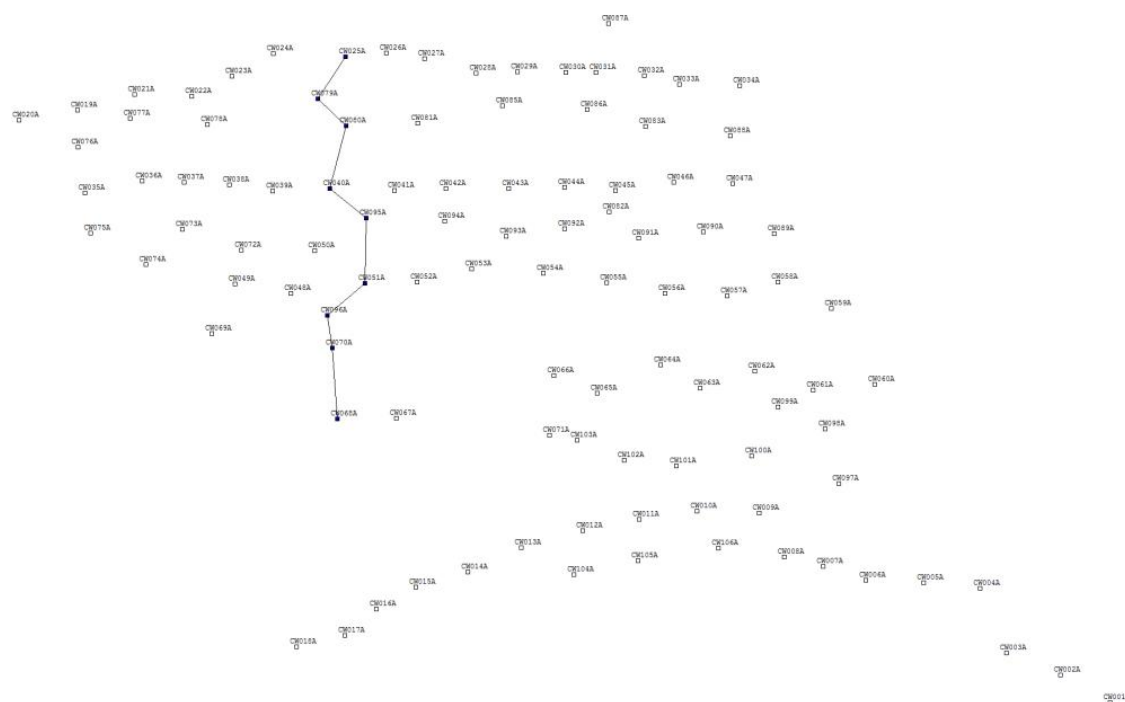
Στη συνέχεια φαίνεται η χωροθέτηση των μετρήσεων στο χάρτη Google Earth.



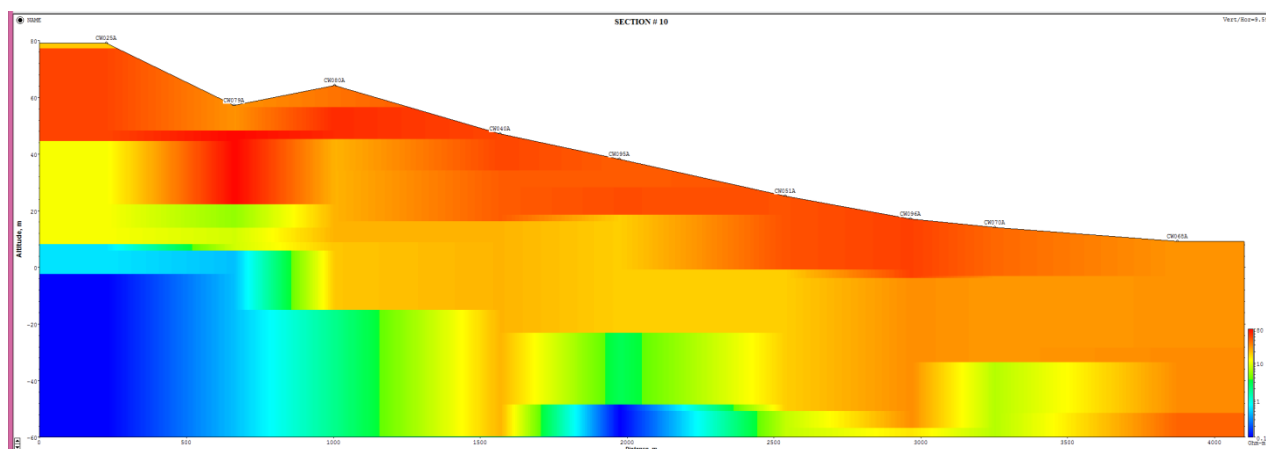
Σχήμα 5.2. Στο σχήμα εικονίζονται όλες οι βυθοσκοπήσεις που ελήφθησαν στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι διατομές 2 διατομές σε διεύθυνση Δύση - Ανατολή και 2 διατομές με διεύθυνση Βορράς - Νότος με σημεία τα οποία ελήφθησαν.

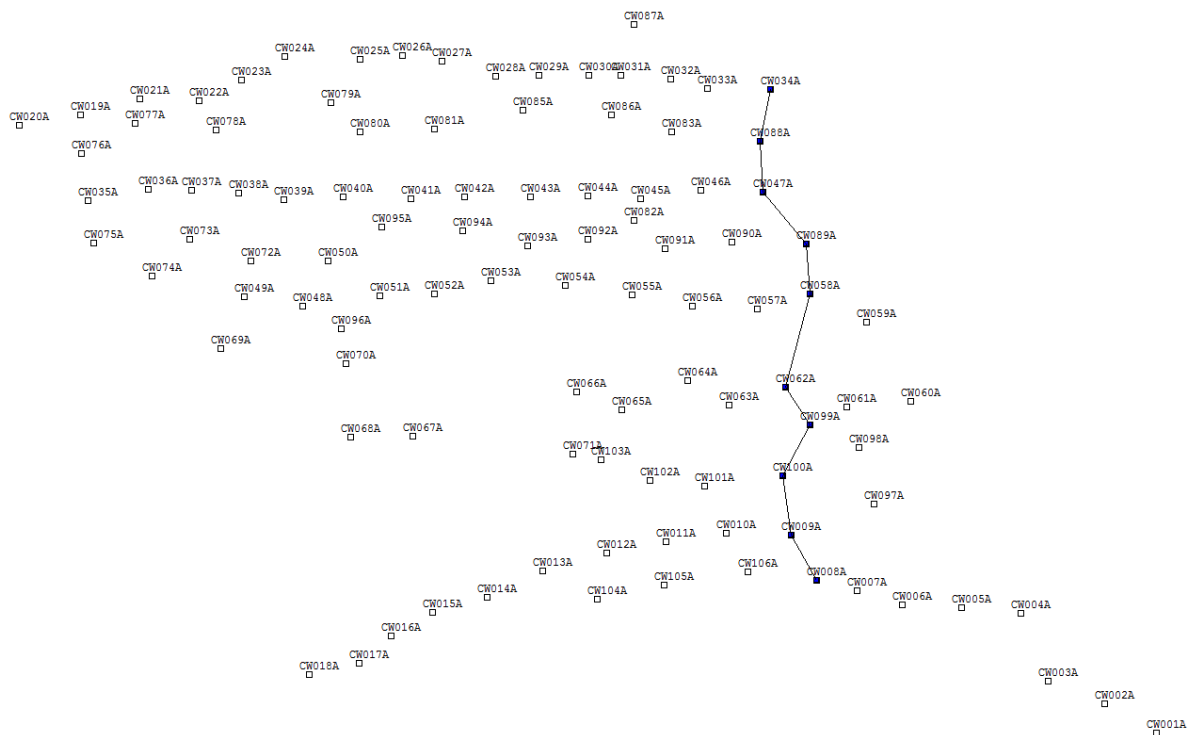
Διατομές με διεύθυνση Βορράς - Νότος



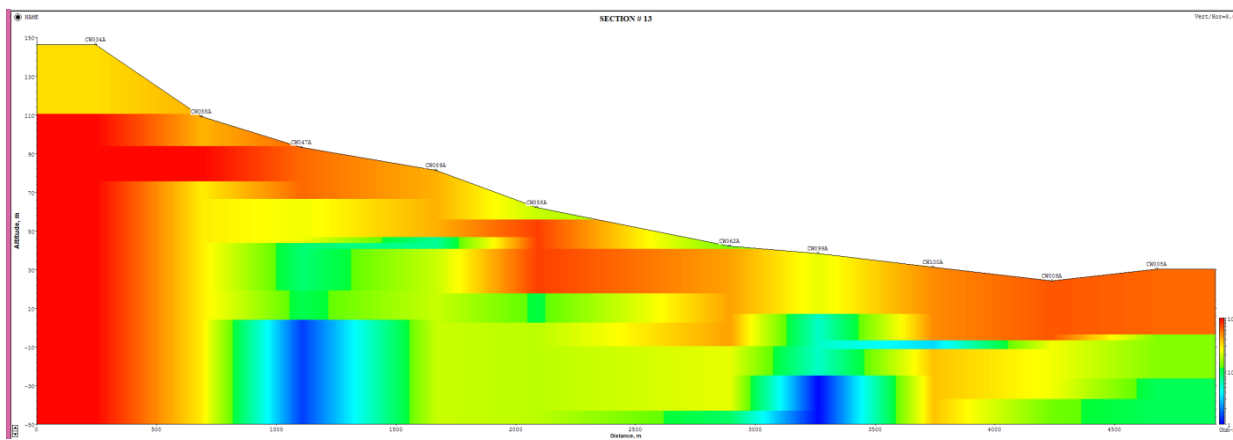
Σχήμα 5.3. Διατομή με διεύθυνση Βορρά-Νότο στο δυτικό μέρος της περιοχής υπό μελέτη.



Σχήμα 5.4. Διδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της γεωηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος.

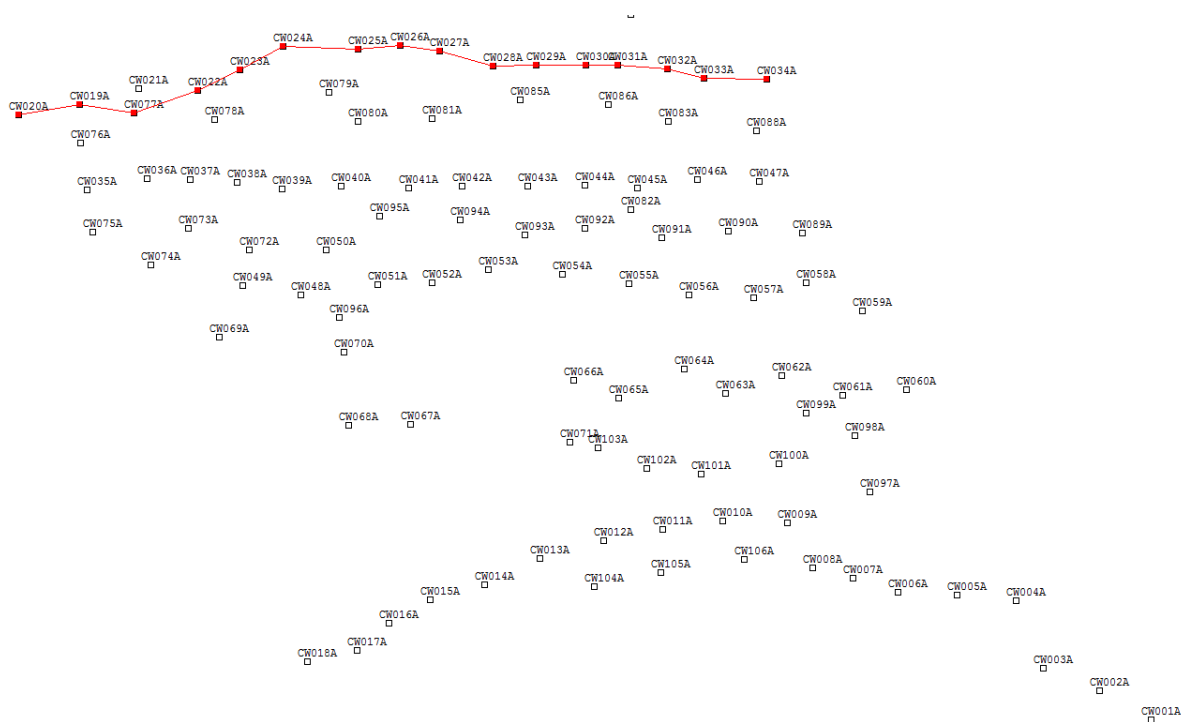


Σχήμα 5.5. Διατομή με διεύθυνση Βορρά-Νότο στο ανατολικό μέρος της περιοχής υπό μελέτη.

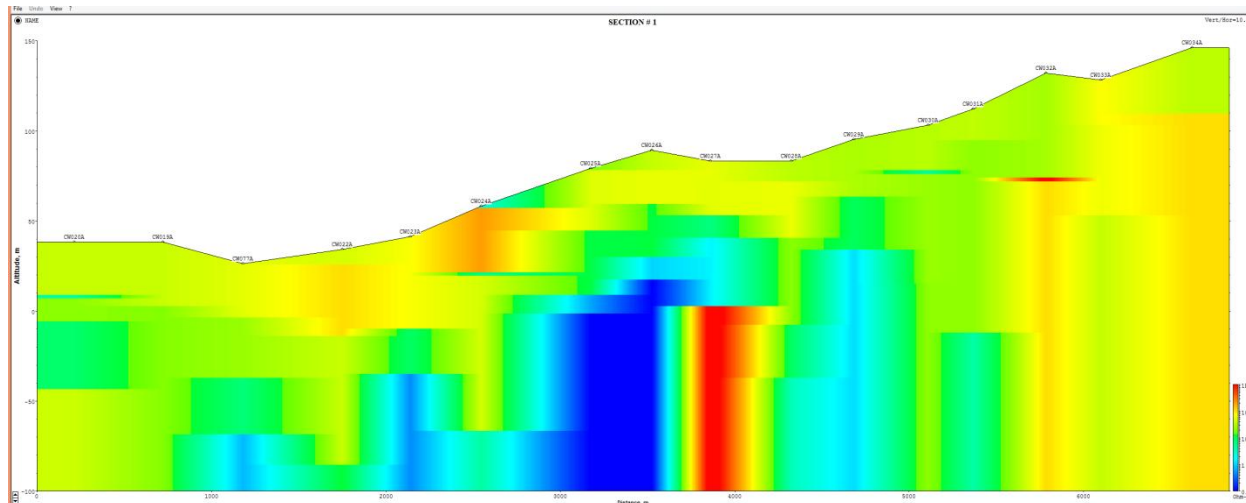


Σχήμα 5.6 Διδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της γεωηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος.

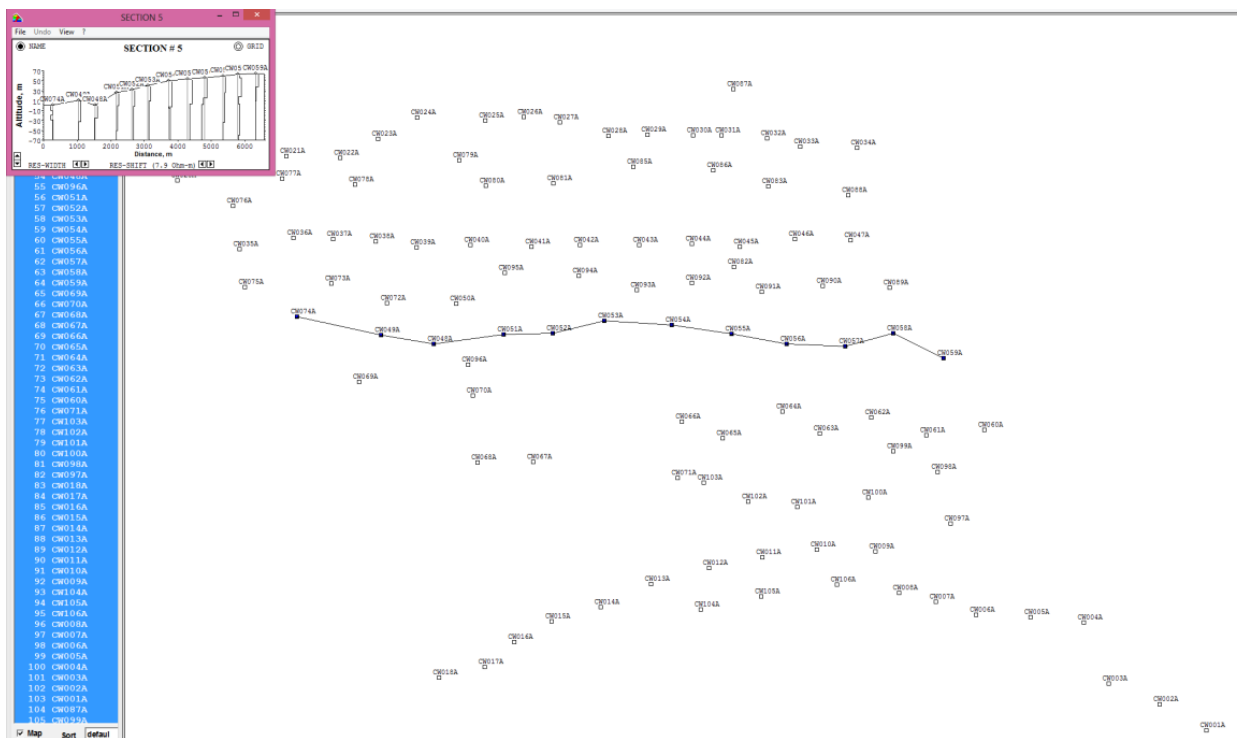
Διατομές με διεύθυνση Δύση προς Ανατολή



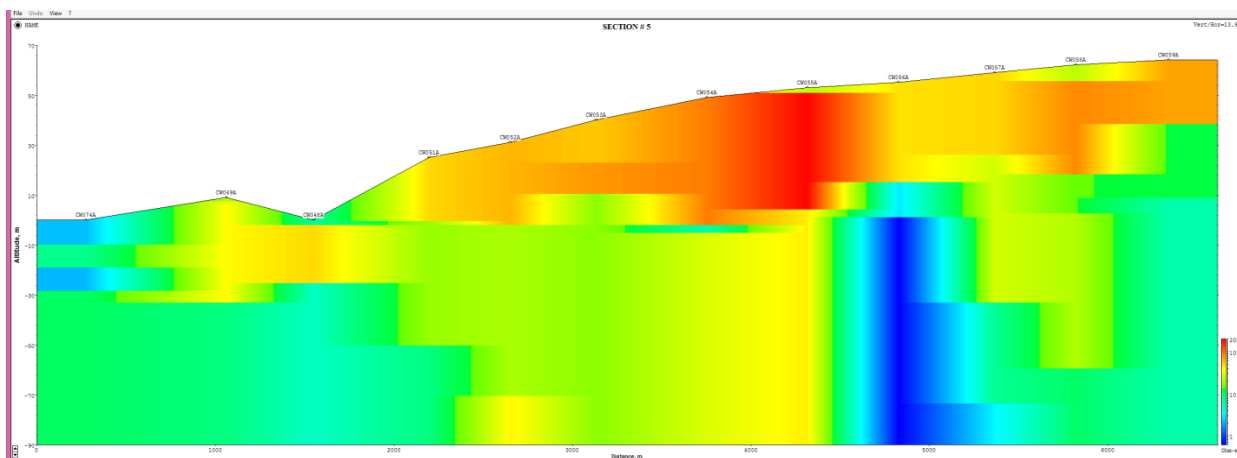
Σχήμα 5.7. Διατομή με διεύθυνση Δύση-Ανατολή στο βόρειο μέρος της περιοχής υπό μελέτη.



Σχήμα 5.8 Διδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της γεωηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος.

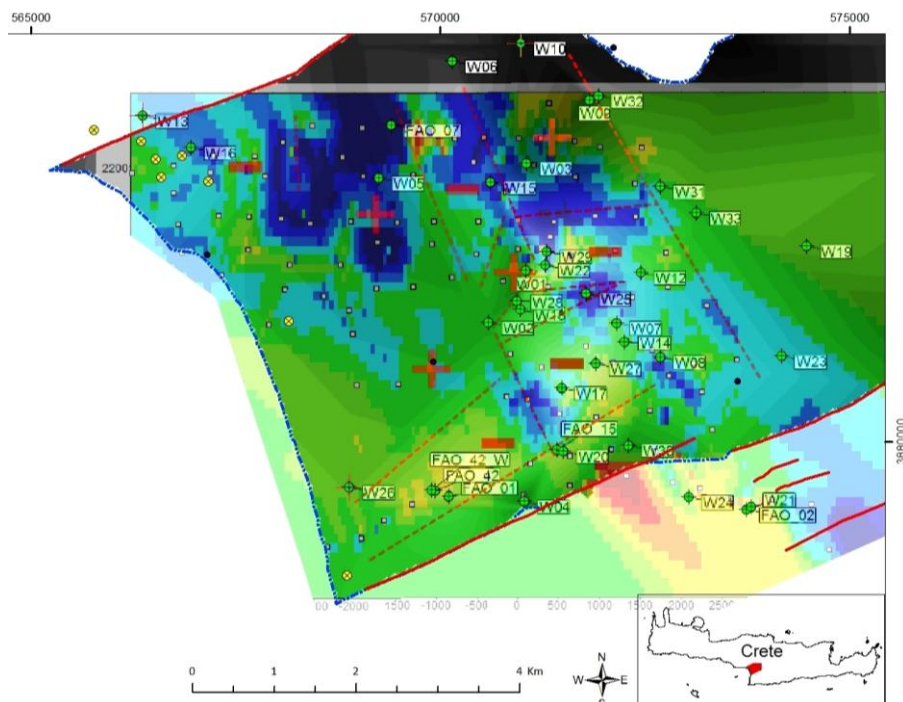


Σχήμα 5.9. Διατομή με διεύθυνση Δύση-Ανατολή στο κεντρικό τμήμα της υπό μελέτη περιοχής.



Σχήμα 5.10 Διδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της γεωηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος.

Τρισδιάστατη απεικόνιση της χωρικής κατανομής των αντιστάσεων για το βάθος των 50 μέτρων βάθος από την επιφάνεια του εδάφους



Σχήμα 5.11. Χωρική κατανομή με το βάθος (50 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους) της γεωηλεκτρικής δομής της περιοχής ενδιαφέροντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βασίλης Κ. Παπαζάχος, Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 1996

Ινστιτούτο Γεωλογικών και μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Τόμος 5, Τεύχος 13, Μάιος-Αύγουστος 2011

Ι.Γ.Μ.Ε., 1971. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας. Κλίμακα 1:500.000. Έκδοση Ι.Γ.Μ.Ε, Αθήνα.

Παπανικολιουδάκη Χριστίνα, Ρεβύθης Ανδριανός, Γεωφυσική διασκόπηση με σκοπό τον εντοπισμό υφαλμύρωσης στην περιοχή Τυμπακίου Κρήτης, Πτυχιακή Εργασία Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος Τ.Ε.Ι Κρήτης, Χανιά 2013

Kalisperi Despina (2009). Assessment of groundwater resources in the north-central coast of Crete, Greece using geophysical and geochemical methods, PhD Thesis

TEM-RES manual. (2007). The Netherlands: Applied Electromagnetic Research (AEMR) Version 7.