

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Εφαρμογή της Γεωφυσικής Μεθόδου Βυθοσκόπησης Παροδικών Κυμάτων (TEM) για τον προσδιορισμό γεωλογικής δομής: Μονή Γουβερνέτου, Ακρωτήρι, Χανιά, Κρήτη"

ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΒΛΑΧΑΪΤΗΣ

*Επιβλέπων καθηγητής
Ιωάννης Π. Μακρής*

ΧΑΝΙΑ 2013

TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE



BRANCH OF CHANIA



DEPT OF NATURAL RESOURCES & ENVIRONMENT
SECTION OF WATER RESOURCES & GEOENVIRONMENT
LAB OF GEOPHYSICS & SEISMOLOGY



THESIS

“Application of Transient Electromagnetic Method (TEM) for studying the geological structure: Gouverneto Monastery, Akrotiri, Chania, Crete, Greece”

EVAGGELOS VLAHAITIS

Supervisor
ASC. PROF. IOANNIS P. MAKRIS

CHANIA 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή **Ιωάννης Π. Μακρής** για την άψογη συνεργασία μας στο ύπαιθρο που χωρίς τη βοήθεια του δεν θα είχε υλοποιηθεί η διπλωματική εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υπομονή που δείχνουν, την υλική και ψυχολογική υποστήριξή τους.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- 1. Εξεταστής:** Δρ. Παντελής Σουπιός
- 2. Εξεταστής:** Δρ. Ηλίας Παπαδόπουλος

Επιβλέπων: Δρ. Ιωάννης Μακρής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια μελέτης της γεωηλεκτρικής δομής στη περιοχή Γουβερνέτο που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Ακρωτηρίου Χανίων, τον Φεβρουάριο του 2011 έλαβαν χώρα γεωφυσικές μετρήσεις και συγκεκριμένα εφαρμόστηκε η μέθοδος Βυθοσκόπησης Παροδικών Κυμάτων (TEM). Πραγματοποιήθηκαν τριάντα οχτώ (38) βυθοσκοπήσεις TEM σε δώδεκα (12) θέσεις στον προαύλιο χώρο της Μονής Γουβερνέτου. Παρόλη τη προσπάθεια να επιλεγούν οι σωστές θέσεις, τα περισσότερα από τα τελικά δεδομένα που αποκτήθηκαν είχαν επηρεαστεί από θόρυβο και τελικά, από τις 12 θέσεις χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δεδομένα από 3 θέσεις. Αυτά επεξεργάστηκαν διορθώνονται (smoothing, editing) πριν από την τελική μοντελοποίηση και την απεικόνιση τους. Σύμφωνα με τα μονοδιάστατα (1-D) μοντέλα που προκύπτουν από την αντιστροφή παρατηρείται ότι υπάρχει καθαρά η ένδειξη για την ύπαρξη υπόγειου νερού στη περιοχή μελέτης.

ABSTRACT

In the framework of the study of the geoelectrical structure of Gouverneto area located in the northern part of Akrotiri Chania, Crete, in February 2011 geophysical measurements took place and specifically the Transient Electromagnetic method was applied. Thirty-eight (38) TEM measurements were acquired in twelve (12) positions in the yard Gouvernetou. Despite the attempt to select the correct sites, most of the final data acquired were affected by noise and ultimately only the data of three out of twelve sites were used. These data were processed (smoothing, editing) before the final modelling. According to the one-dimensional (1-D) models resulting from the inversion is observed that there is a clear indication of the existence of underground water in the study area.

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τη γεωλογική δομή του υπεδάφους μιας περιοχής, έτσι ώστε να μπορούν να βγουν συμπεράσματα για τη τεκτονική, για την ύπαρξη του υπόγειου νερού, κλπ.

Πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα στον περίβολο χώρο της Μονής Γουβερνέτου τον Φεβρουάριο 2011 στο Ακρωτήρι Χανίων Κρήτης και βγήκαν κάποια πρώτα αποτελέσματα για την περιγραφή της γεωλογικής δομής της περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή της ηλεκτρομαγνητικής γεωφυσικής μεθόδου βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM-Transient electromagnetic method) για τη μελέτη της γεωλογικής δομής στη περιοχή της Μονής Γουβερνέτου, στο Ακρωτήρι Χανίων Κρήτης.

Για την επίτευξη του σκοπού εφαρμόστηκε η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος TEM, όπου πραγματοποιήθηκε η συλλογή των γεωφυσικών δεδομένων στην ύπαιθρο με το όργανο TEM-Fast 48 κι έπειτα ακολούθησε η ανάλυση, επεξεργασία και μοντελοποίηση των δεδομένων. Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων έγινε συσχέτιση των γεωφυσικών δεδομένων με τη γεωλογία.

1.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ**1.2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Η Μονή Γουβερνέτο, οχυρωμένο σταυροπηγιακό μοναστήρι, βρίσκεται 4 χλμ βόρεια από το μοναστήρι της Αγίας Τριάδας και 19 χλμ Ανατολικά από τα Χανιά. Είναι αφιερωμένη στα Εισόδια της Θεοτόκου ή όπως είναι ευρύτερα γνωστή στην Κυρά των Αγγέλων. Χτίστηκε επί Βενετοκρατίας, το 1548, και το καθολικό του, στην πρόσοψη, είναι διακοσμημένο με ενετικά γλυπτά. Στη δυτική πλευρά του είναι ο νάρθηκας με δυο παρεκκλήσια, αφιερωμένα στον Άγιο Ιωάννη τον Ερημίτη και τους Δέκα Μάρτυρες.

Η Μονή μοιάζει σαν κάστρο, με πύργους που χρησίμευαν για την προστασία από επιδρομείς. Ειδικά η εξωτερική όψη του μοναστηριού φανερώνει τις έντονες ενετικές επιδράσεις: μοιάζει με ενετικό φρούριο και έχει διαστάσεις 40 μ x 50 μ με 50 κελιά σε 2 ορόφους, πύργους στις τέσσερις γωνίες του και ειδικές θυρίδες – πολεμίστρες. Σήμερα σώζονται πλήρεις μόνο οι δυο πύργοι αλλά μπαίνοντας στον περίβολο μπορεί να δει κανείς τα υπολείμματα των άλλων δύο. Οι γεωφυσικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στον προαύλιο χώρο της Μονής.

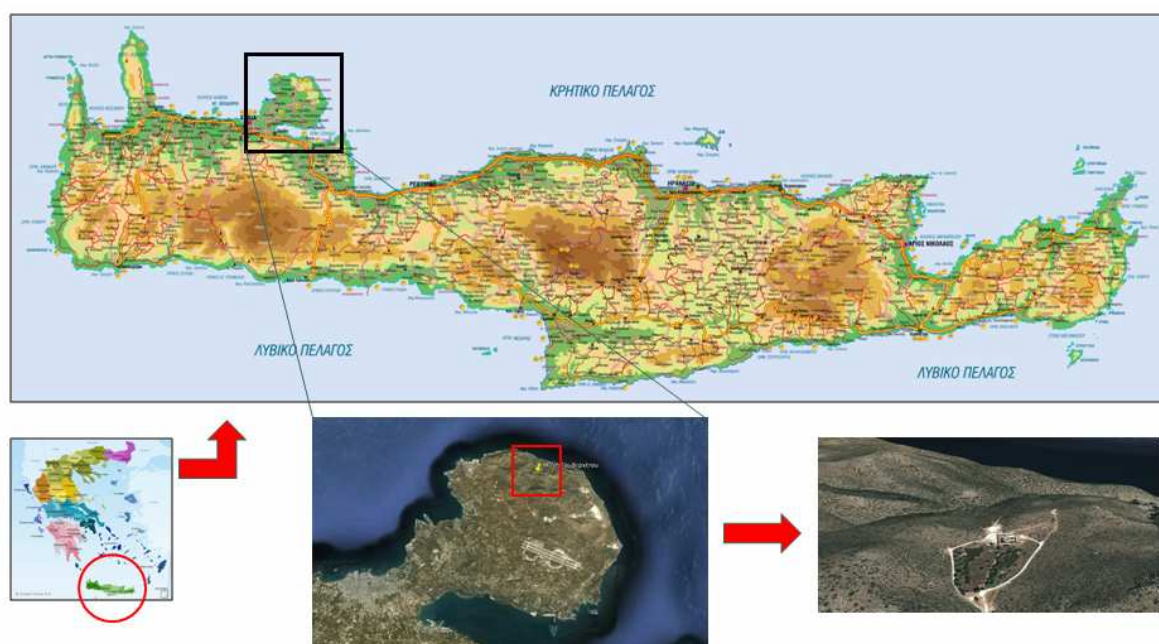
1.2.2 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΓΟΥΒΕΡΝΕΤΟΥ

Η Μονή Γουβερνέτου χτίστηκε το 1537 και άκμασε, αποκτώντας πολύ μεγάλη επιρροή στην περιοχή και πολύ μεγάλη περιουσία. Σε απογραφή του 1637, λίγο πριν την Τουρκική εισβολή το 1645, αναφέρεται ότι στη Μονή Γουβερνέτου ζούσαν 60 μοναχοί, ήταν δηλαδή από τα μεγαλύτερα μοναστήρια στην Κρήτη.

Η Τουρκοκρατία όμως σύντομα άρχισε να επηρεάζει και την πορεία της Μονής, η οποία λεηλατήθηκε και κάηκε από τους Τούρκους, όπως και τα άλλα γειτονικά μοναστήρια. Χάθηκαν έτσι εκκλησιαστικά και ιστορικά κειμήλια ανεκτίμητης αξίας, ενώ πολλοί από τους μοναχούς θανατώθηκαν. Οι Τούρκοι επίσης κατέστρεψαν και τα ιστορικά αρχεία της μονής, η οποία αναστηλώθηκε μερικώς τα επόμενα χρόνια.

Στα χρόνια του Β Παγκοσμίου Πολέμου εγκαταστάθηκε στη μονή φυλάκιο των Γερμανών για να ελέγχουν την περιοχή, όπου δόθηκαν πολλές μάχες με ομάδες της αντίστασης.

Από το 2005 οι μοναχοί της Μονής Γουβερνέτου έχουν αρχίσει έργα αναστήλωσης του ναού και του περιβάλλοντος χώρου προσπαθώντας να διατηρήσουν σε άριστη κατάσταση το ιστορικό αυτό μοναστήρι της Κρήτης.



Εικ.1 Γεωγραφική θέση περιοχής έρευνας



Εικ.2 Τοπογραφικός Χάρτης περιοχής έρευνας (ΓΥΣ 1994)



Εικ.3 Άποψη της Μονής Γουβερνέτου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Η Κρήτη αποτελεί σε παγκόσμια κλίμακα ένα από τα νέα ενεργά ορογενή γεγονότα 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,

i. Τα κατώτερα καλύμματα, στα οποία ανήκουν :

- η Ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων,
- η Ενότητα του Τρυπαλίου και
- το Τεκτονικό Κάλυμμα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών.

ii. 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 μεταορογενετικά τοποθετηθεί με στρωματογραφική ασυμφωνία τα νεότερα ιζήματα Νεογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας (κροκαλολατυποπαγή, μάργες, ψαμμίτες κ.λ.π.).

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Η αναφορά στη γεωλογία του Νομού Χανίων ακολουθεί τη στρωματογραφική σειρά και την τεκτονική τοποθέτηση από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη των σχηματισμών. Η Κρήτη έχει μια ιδιαίτερα σύνθετη και πολύπλοκη γεωλογική δομή, λόγω της άμεσης γειτονίας με το χώρο υποβύθισης της αφρικανικής πλάκας κάτω από την ευρασιατική. Η δομή της χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τεκτονικών καλυμμάτων προαλπικών και αλπικών πετρωμάτων, αλλά και μετααλπικών νεογενών λεκανών με διεύθυνση Α-Δ ή Β-Ν με ιζήματα που ενώνουν τους ορεινούς όγκους και σχηματίζουν το νησί. Τα προαλπικά-αλπικά καλύμματα της Δυτικής Κρήτης είναι:

- Πλακώδεις ασβεστόλιθοι
- Το κάλυμμα του Τρυπαλίου
- Το κάλυμμα της Φυλλιτικής-Χαλαζιτικής
- Τα τεκτονικά καλύμματα της Ζώνης Τρίπολης και της Ζώνης Πίνδου

Η Ζώνη Τρίπολης αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα Μεσοζωικής κυρίως ηλικίας, ασβεστολίθους και δολομίτες νηριτικής ιζηματογένεσης, και «κλείνει» με το φλύσχη (πηλίτες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή) Ανω-Ηωκαινικής ηλικίας (30 εκατομ. χρόνια). Στο Νομό Χανίων η ανθρακική σειρά εμφανίζεται στην περιοχή του Ακρωτηρίου.

Η Ζώνη Πίνδου αποτελείται από πελαγικά ιζήματα (ραδιολαρίτες, κερατολίθους, ασβεστολίθους) Τριαδικού-Ιουρασικού (230-145 εκατομ. χρόνια), ακολουθεί ο πρώτος φλύσχος του Ανώτερου Κρητιδικού (65 εκατομ. χρόνια), στη συνέχεια πελαγικά ανθρακικά ιζήματα Παλαιοκαινικής ηλικίας (65-55 εκατομ. χρόνια) και η σειρά «κλείνει» με φλύσχη (πηλίτες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή) Παλαιοκαινικής-Ηωκαινικής ηλικίας (55-35 εκατομ. χρόνια). Δεν παρουσιάζει μεγάλη εξάπλωση στη Δ. Κρήτη.

Τα μετααλπικά πετρώματα της Κρήτης είναι: Νεογενείς – Τεταρτογενείς αποθέσεις. Το περιβάλλον απόθεσης κατά το Σεραβάλλιο (Νεογενές, 13 εκατομ. χρόνια) είναι ρηχής θάλασσας ή υφάλμυρης φάσης, με σχηματισμούς από κλαστικά ιζήματα, όπως κροκαλοπαγή, άμμοι και άργιλοι. Τέτοιος σχηματισμός είναι τα κροκαλολατυποπαγή Τοπολίων (Δ. Κρήτη), που συνίστανται από ανθρακικές κροκάλες και λατύπες, προερχόμενες από τη διάβρωση των αλπικών ζωνών Τρίπολης και Πίνδου, ισχυρά συγκολλημένες ασβεστιτικό υλικό. Ο σχηματισμός Τοπολίων παρουσιάζει μεγάλο πάχος(>350 μ.). Τον χαρακτηρίζουν

απότομα ανάγλυφα, σπηλαιώδεις μορφές και χαραδρώσεις . Στη συνέχεια προς τα κάτω έχουμε ιζήματα βαθύτερης θάλασσας (Τορτόνιο-Κάτω Μεσσήνιο, 11-7 εκατομ. Χρόνια) με απόθεση βιοκλαστικών υφαλογενών ασβεστόλιθων που εναλλάσσονται με μάργες και έπονται ιζήματα ανοιχτής θάλασσας (π.χ λευκές μάργες και άργιλοι).

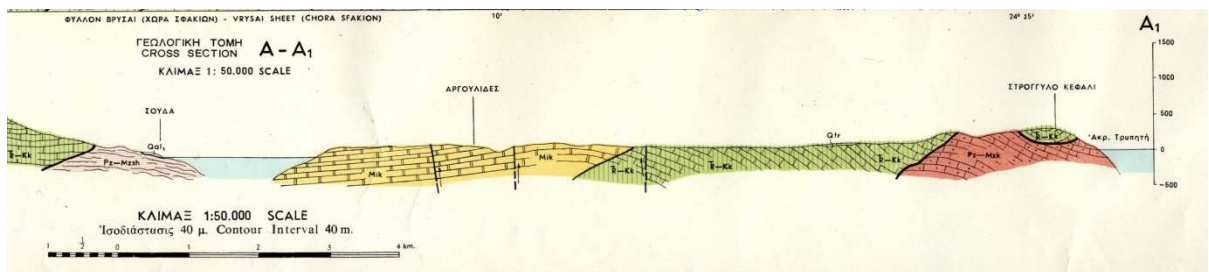
Στο τέλος του Μεσσηνίου (5,3 εκατομ. χρόνια), με την κρίση αλατότητας και την απόσυρση της θάλασσας, έχουμε εκ νέου αποθέσεις χερσαίων, ποταμολιμναίων και λιμνοθαλάσσιων ιζημάτων με γύψους και εβαπορίτες. Στο Πλειόκαινο (5-2 εκατομ. χρόνια) έχουμε πάλι αύξηση του βάθους της θάλασσας και κατά συνέπεια ιζηματογένεση προοδευτικά βαθύτερης θάλασσας, όπως λευκές μάργες και αργίλους με εναλλαγές κατά θέσεις διατομιτών (ειδικά στην περιοχή Ηρακλείου, Χανίων). Στο Νομό Χανίων συγκεκριμένα, πέραν των ήδη αναφερθέντων σημείων, οι νεογενείς σχηματισμοί καλύπτουν μεγάλο μέρος της λεκάνης του Καστελίου, την περιοχή του κάμπου Χανίων και την πόλη, την περιοχή Φραγκοκάστελου και τη νήσο Γαύδο. Στο Πλειστόκαινο (2 εκατομ. χρόνια), τέλος, έχουμε έντονες τεκτονικές ανυψώσεις και μεγάλες διακυμάνσεις του επιπέδου της θάλασσας, με συνέπεια την απόθεση τεταρτογενών χερσαίων ή θαλάσσιων σχηματισμών, όπως π.χ. αναβαθμίδων από άμμους, αργίλους και κροκαλοπαγή, με κυριότερη ανάπτυξη αυτών στις νότιες ακτές της νήσου.

2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η γεωλογία της περιοχής (βόρειο μέρος του Ακρωτηρίου Χανίων) επιφανειακά αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικά πετρώματα (R-κκ) της Ζώνης Τρίπολης. Είναι συμπαγείς λευκόφαιοι έως υποκύανοι, μικροκρυσταλλικοί έως στιφροί, συνήθως με θραύσματα ρουδιστών, ενίοτε λατυποπαγείς, κατά τόπους δολομιτωμένοι, ισχυρώς αποκαρτιωμένοι. Ενδεχομένως να περιλαμβάνουν και κατώτερα μέλη ιουρασιακής έως τριαδικής ηλικίας χωρίς να έχει αποδειχτεί παλαιοντολογικώς (βλ. Εικόνα 4). Το υπόβαθρο της περιοχής (Pz-Mzk) όπως φαίνεται και στη γεωλογική τομή της Εικόνας 5 αποτελείται από ασβεστόλιθους συμπαγείς, κρυσταλλικοί, λευκοί έως λευκόφαιοι κατά τόπους υπομέλανες, κυανόφαιοι, λεπτοπλακώδεις ενίοτε δολομιτικοί ή και κατά τόπους δολομίτες του αυτόχθονου συστήματος της Νήσου Κρήτης (δεν έχει προσδιοριστεί η ακριβής ηλικία - πιθανώς παλαιοζωικής ή μεσοζωικής) (ΙΓΜΕ, 1971).



Εικ.4: Γεωλογικός Χάρτης περιοχής έρευνας



Εικ.5: Γεωλογική Τομή A-A1 όπου φαίνεται το υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής μελέτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 **ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ TEM**

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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. 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. Πέρα από αυτά γεωφυσικές μέθοδοι σε συνδυασμό με γεωλογικές μεθόδους εφαρμόζονται για τον εντοπισμό υδροφόρων οριζόντων, γεωθερμικών πεδίων. Στην συγκεκριμένη έρευνα χρησιμοποιήσαμε ηλεκτρομαγνητική μέθοδο. 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.

3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο κοντά στην επιφάνεια της γης τα οποία επάγουν μέσα στο φλοιό της γης εναλλασσόμενα 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 πάνω κυρίως στρωμάτων του φλοιού. Επομένως τα δευτερογενή αυτά κύματα συμβάλλουν με τα αρχικά κύματα για να δώσουν ένα συνιστάμενο κύμα το οποίο καταγράφεται και γι αυτό γνωρίζουμε τις ιδιότητες του.

3.2.2 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 δεν μπορούν να εφαρμοστούν. Το μειονέκτημα των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων είναι ότι δεν 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 στη διασκόπηση πετρελαίου.

3.2.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης βασίζονται σε ορισμένες αρχές της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Οι δυο βασικότεροι νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού είναι ο νόμος του Faraday σύμφωνα με τον οποίο η χρονική μεταβολή του μαγνητικού πεδίου σε ένα χώρο έχει ως συνέπεια τη γένεση στο χώρο αυτό ηλεκτρικού πεδίου, τέτοιου ώστε η παραγόμενη ηλεκτρεργετική δύναμη να είναι ανάλογη αλλά αντίθετη προς το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής. Ο δεύτερος βασικός νόμος του ηλεκτρομαγνητισμού είναι του Ampere σύμφωνα με τον οποίο όταν ένας χώρος διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται μαγνητικό πεδίο του οποίου η ένταση είναι ανάλογη του ολικού ρεύματος που διαρρέει το χώρο και έχει διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση ροής του ρεύματος.

3.2.4 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΩΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Κατά την εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης παράγεται φυσικά ή τεχνητά στην επιφάνεια της γης ένα πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο φθάνει απευθείας και σχεδόν αμετάβλητο σε ένα δέκτη στην επιφάνεια της γης διαδίδεται και μέσα στη γη όπου αν συναντήσει ένα ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα (μετάλλευμα) επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο αγώγιμο αυτό σώμα με συνέπεια τη γένεση ενός δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος το οποίο επίσης φθάνει στο δέκτη και συμβάλλει με το πρωτεύον κύμα. Το δευτερογενές αυτό κύμα είναι της ίδιας συχνότητας με το πρωτεύον, έχει συνήθως πλάτος πολύ μικρότερο από το πρωτεύον, φθάνει στον δέκτη από διαφορετική διεύθυνση και παρουσιάζει μια διαφορά φάσης σε σχέση με το πρωτεύον.

Τον πομπό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το αγώγιμο ηλεκτρικό σώμα μέσα στη γη και τον δέκτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα θεωρούμε ως πηνία. Το πηνίο του πομπού διαρρέεται από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και παράγει το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο του οποίου η ένταση στη θέση του πομπού έχει μια ορισμένη τιμή, ενώ στο πηνίο που παριστάνει το αγώγιμο σώμα μέσα στη γη επάγεται εναλλασσόμενο ρεύμα με συνέπεια τη γένεση του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου κάποιας έντασης.

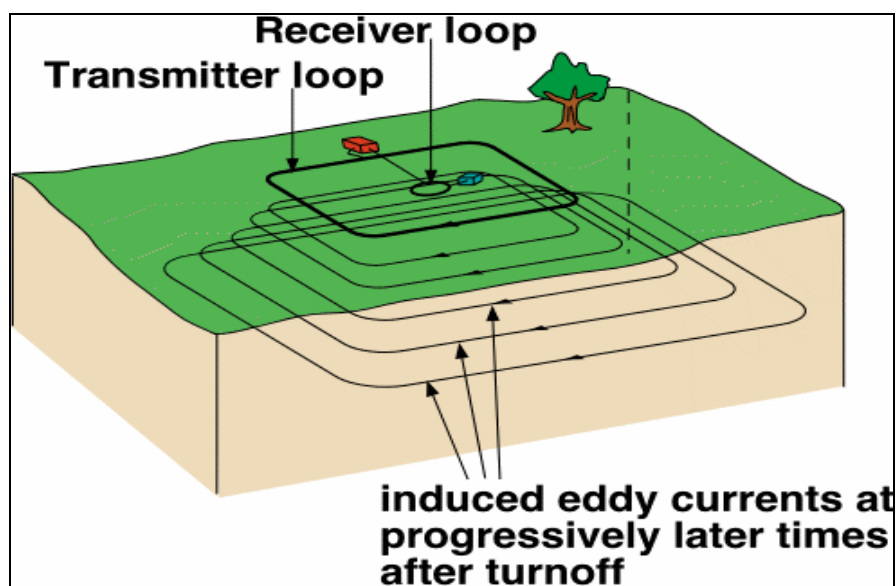
3.2.4.1 Μέθοδος TEM

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 I_0 μέχρι 0 και διαρκεί χρόνο t_r .

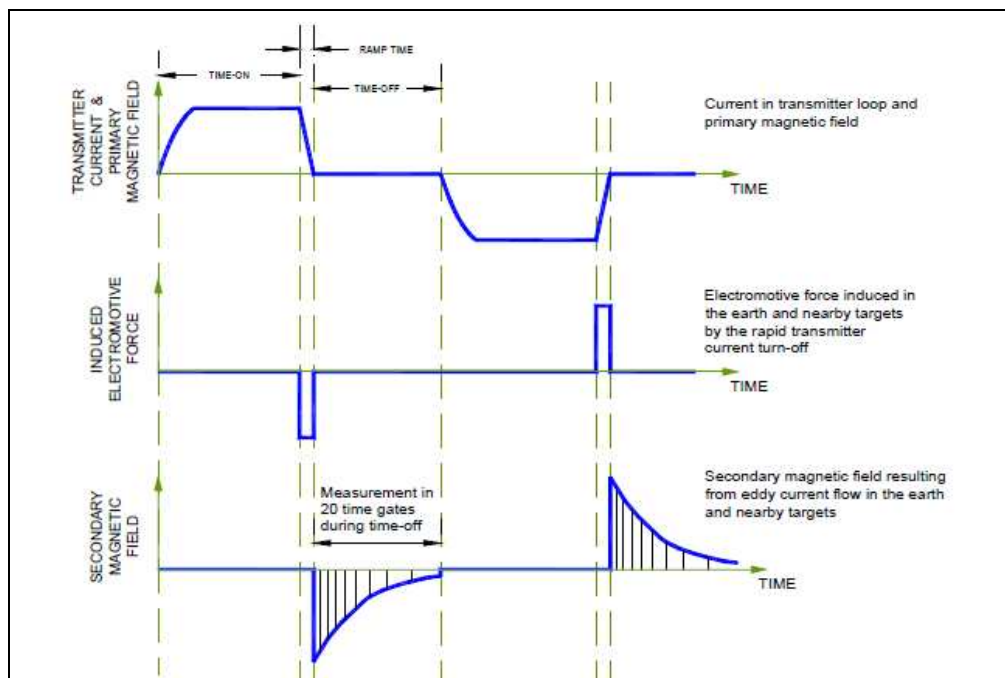


ΕΙΚ 6: Διάταξη της μεθόδου TEM (Kalisperi, 2009)

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 αντίστροφη.

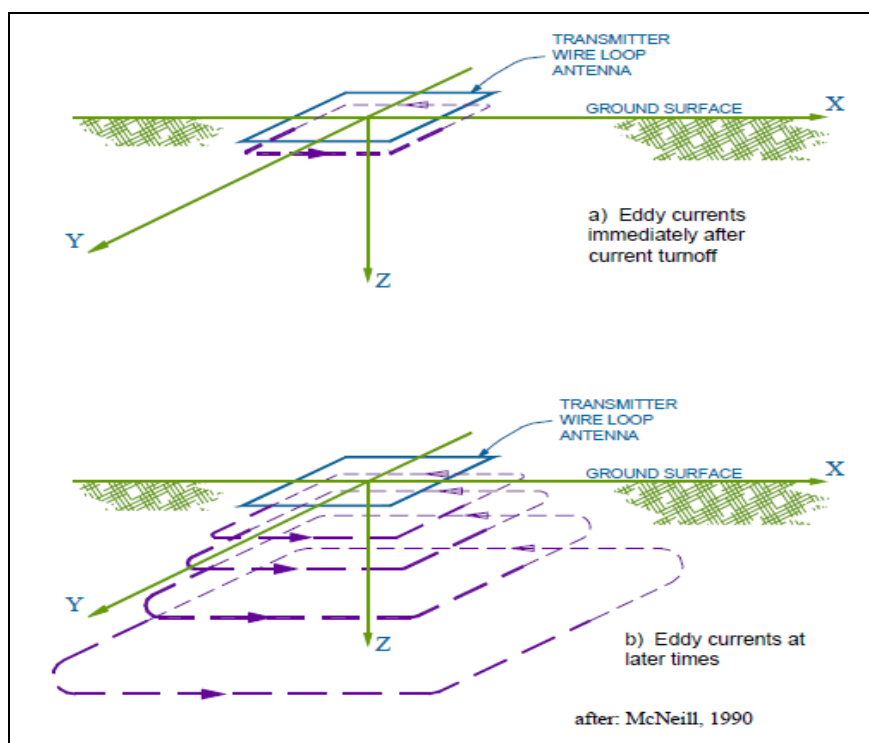
Γενικά, δεδομένου ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους συσχετίζεται έντονα με τις ιδιότητές του, η TEM είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την χαρτογράφηση των εδαφών και των αλλαγών στους διαφόρους τύπους τους σε συγκεκριμένο εύρος βάθους. Είναι χρήσιμη στην άμμο και σε χαλίκι, για χαρτογράφηση υδροφόρων, για αργιλώδη στρώματα

με περιορισμό της ροής των υπογείων υδάτων, για αγώγιμα στραγγίσματα στα υπόγεια ύδατα, για διείσδυση θαλασσινού νερού, καθώς και για το βάθος στο βραχώδες υπόστρωμα.



ΕΙΚ 7: 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 παράγει 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.

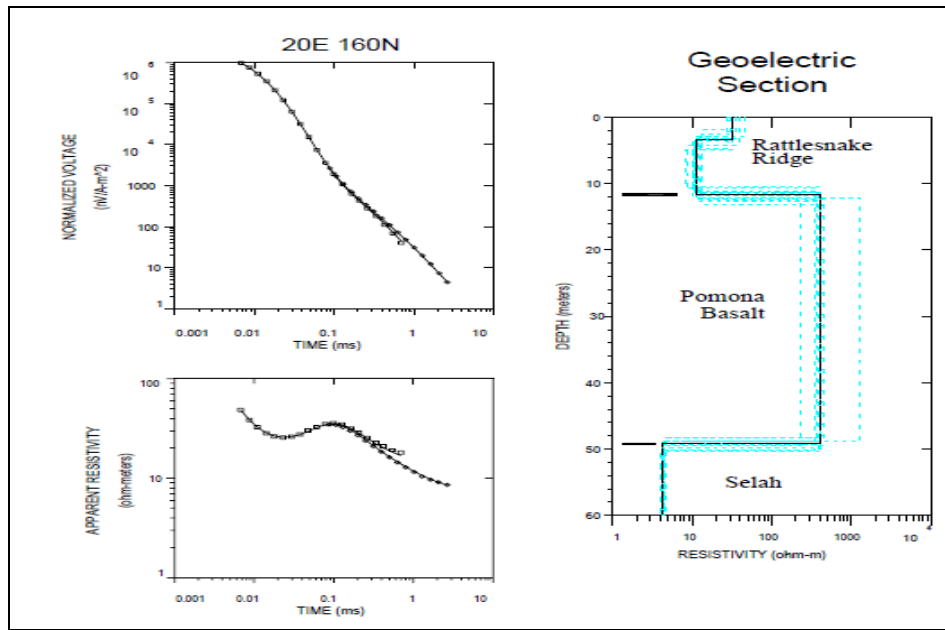


ΕΙΚ 8: Ροή ρευμάτων στροβίλου α) πρώτοι χρόνοι, β) ύστεροι χρόνοι (French, 2002; after McNeil, 1990)

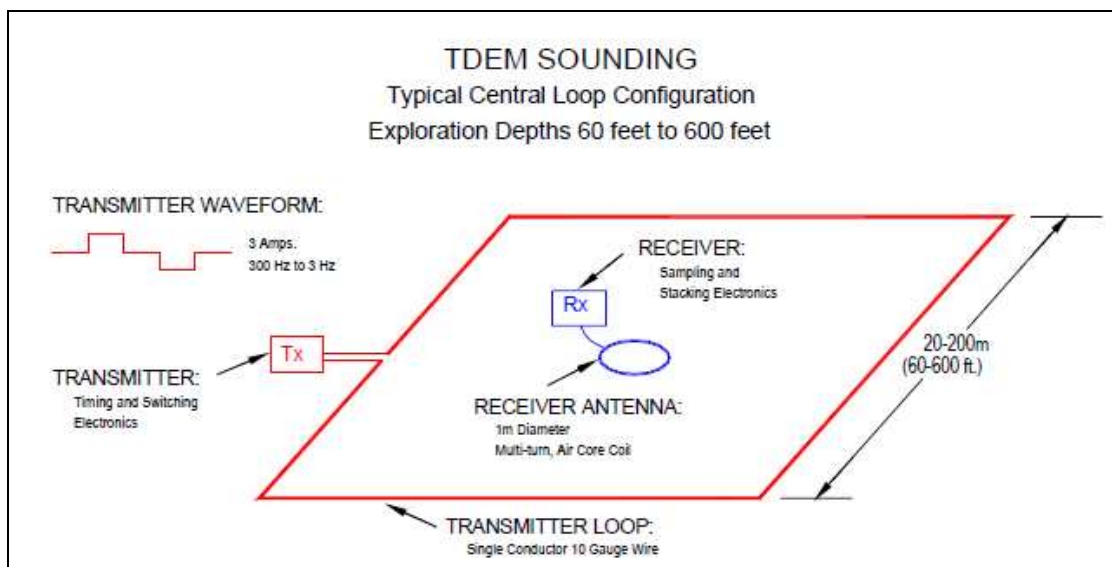
Το μέγεθος και το ποσοστό αποσύνθεσης των δευτεροβάθμιων ρευμάτων εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου και τη γεωμετρία των αγωγίμων στρωμάτων. Ο δέκτης TEM μετρά μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα δευτεροβάθμια ρεύματα. Στις ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές χρόνου-περιοχής το προκαλούμενο σήμα είναι 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 δαχτυλίδι 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 αγωγίμα μέσα τα ρεύματα θα διασκορπίζονταν πιο αργά. Ένα αγωγίμο 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.



ΕΙΚ 9: TEM βυθοσκόπηση και μοντελοποίηση



Εικόνα 10: 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 αγώγιμο 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.

3.1.3 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 οποιοσδήποτε 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.

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

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



ΕΙΚ 11: 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 TEM όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Παρουσιάζεται η διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων καθώς και η ανάλυση και μοντελοποίηση τους.

4.2 TEM-Τεχνικές μέθοδοι

4.3 Μετρήσεις TEM στην περιοχή μελέτης της Μονής Γουβερνέτου

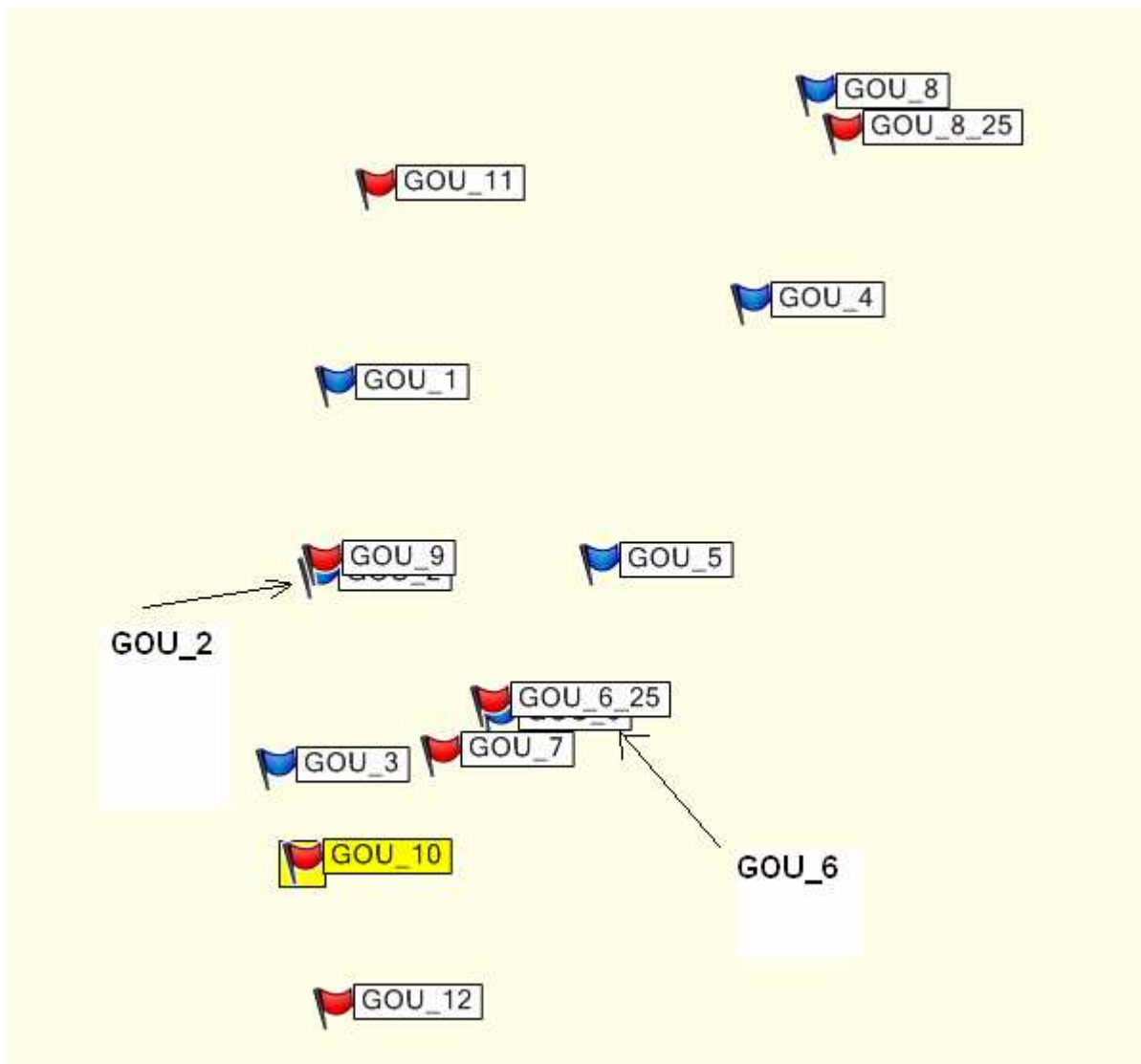
Όλα τα δεδομένα συλλέχθηκαν τον Φεβρουάριο του 2011. Συνολικά, πάρθηκαν τριάντα οχτώ (38) βυθοσκοπήσεις TEM σε δώδεκα (12) θέσεις, με βρόγχο 50 x 50m και 25 x 25m, Stack 5 (65 πλήρεις κύκλοι) και time 5 ή 6 (δηλαδή 32 ή 36 πύλες χρόνου). Ο μεγάλος αριθμός βυθοσκοπήσεων του TEM αντικατοπτρίζει το γεγονός 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, τα περισσότερα από τα τελικά δεδομένα που αποκτήθηκαν είχαν επηρεαστεί από θόρυβο και τελικά, από τις 12 θέσεις χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δεδομένα από 3 θέσεις. Αυτά επεξεργάστηκαν διορθώνονται (smoothing, editing) πριν από την τελική μοντελοποίηση και την απεικόνιση τους.

4.4 Επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων TEM

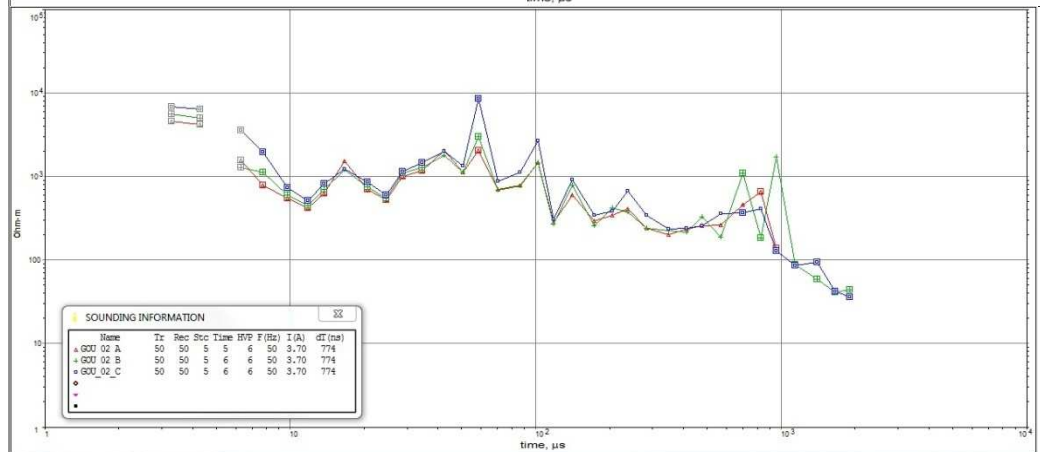
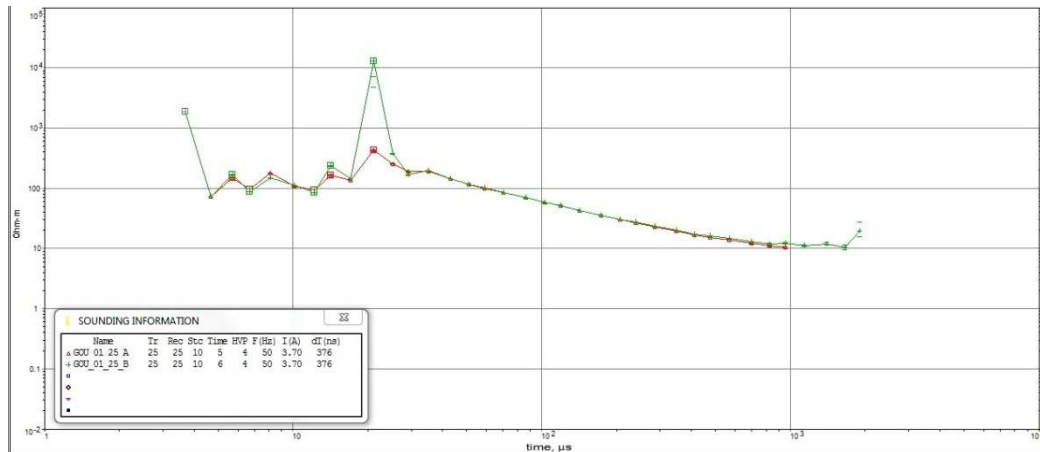
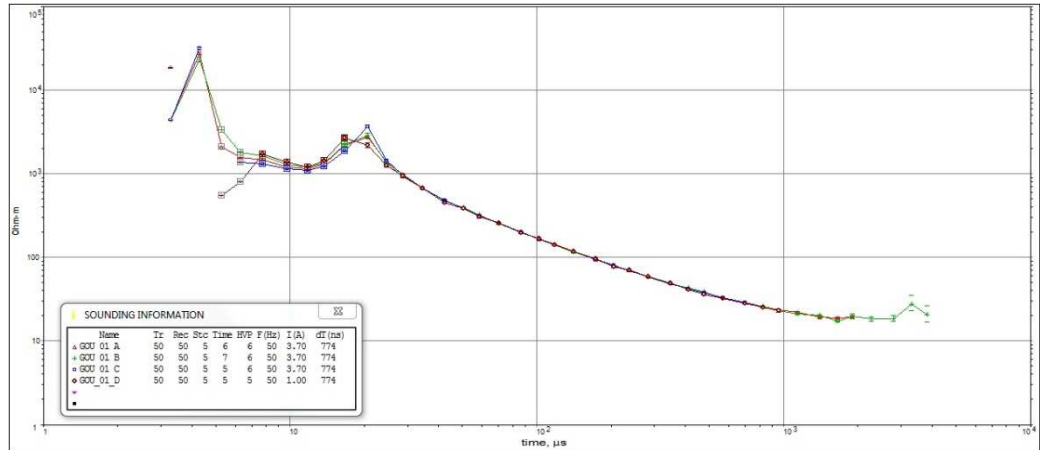
Το TEM FAST 48HPC σύστημα είναι εξοπλισμένο με λογισμικό βάσης που προβλέπει τον έλεγχο, την προβολή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σε ψηφιακή μορφή. Επίσης προκύπτουν και καμπύλες ειδικής αντίστασης και ορισμένα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος θορύβου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Υπάρχει δυνατότητα 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

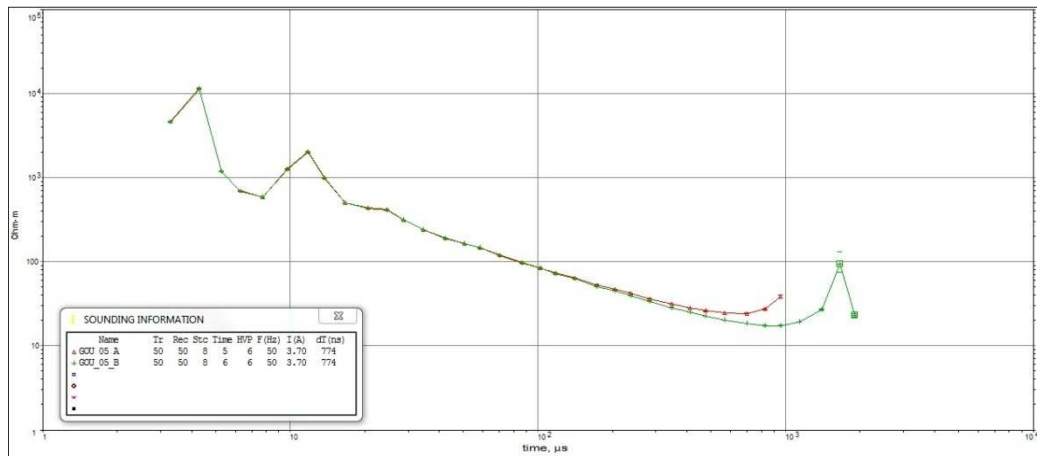
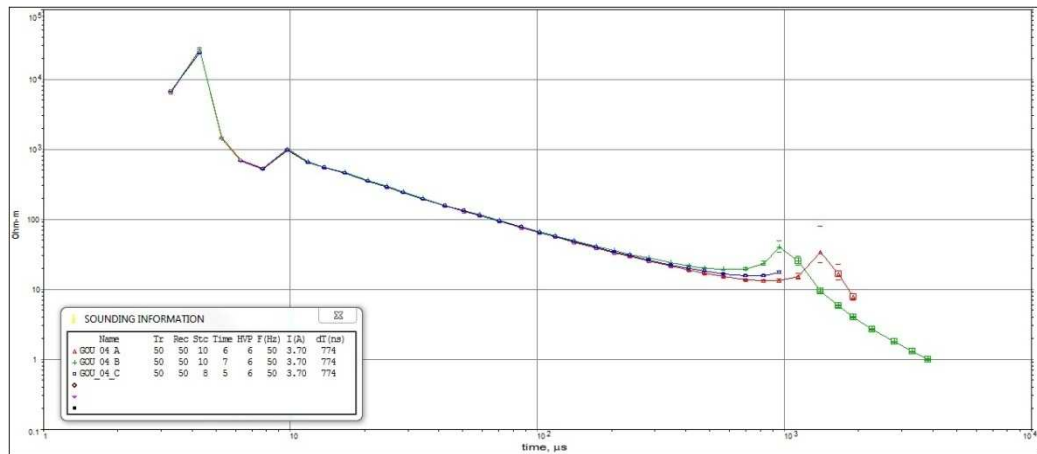
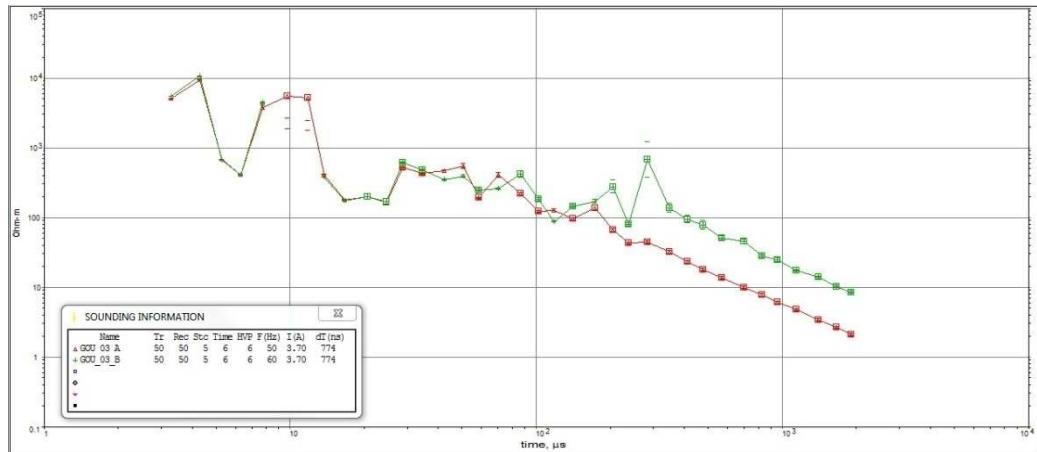
manual, 2007) για γρήγορη λύση αντίστροφου προβλήματος ανάλογα την τάξη της κλίσης και τα τμήματα των στρώσεων στις απευθείας συνθήκες. Το TEM-RES-WIN δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να κάνει αντιστροφή, ακόμη και αν η προκαλούμενη πόλωση (IP) και ο υπερμαγνητισμός (SPM) έχουν σαν αποτέλεσμα να περιπλέξουν τα πειραματικά δεδομένα. Επιπλέον, η πρωτοποριακή τεχνολογία επιτρέπει τη χρήση αυτών των επιπτώσεων για την επέκταση των συμβατικών δυνατοτήτων της μεθόδου TEM.

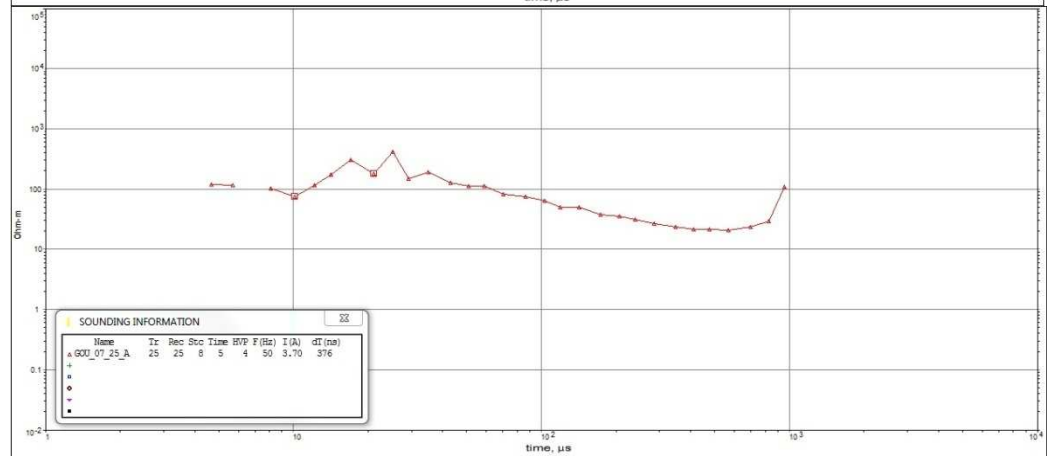
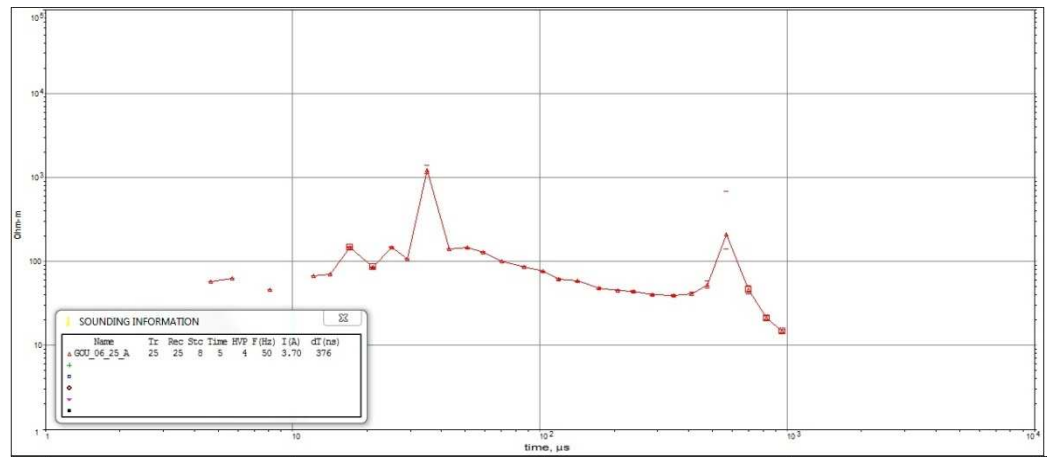
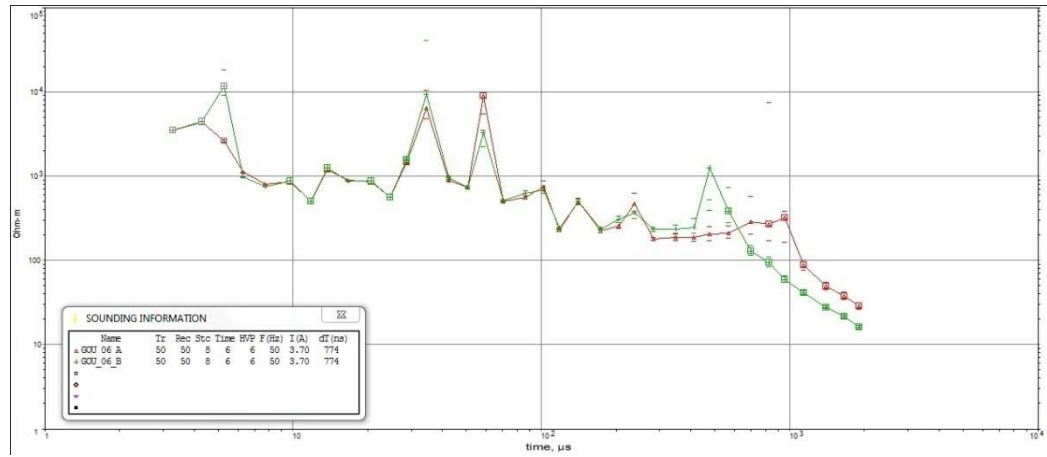


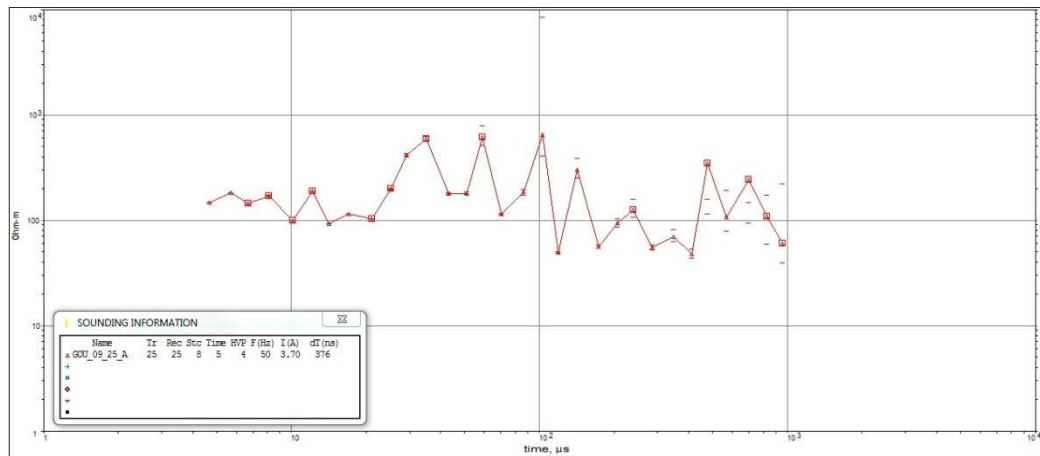
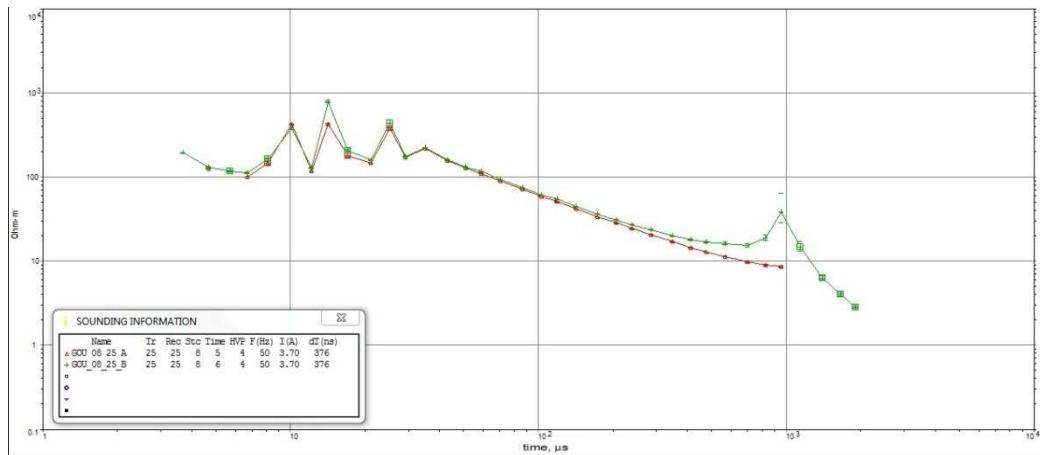
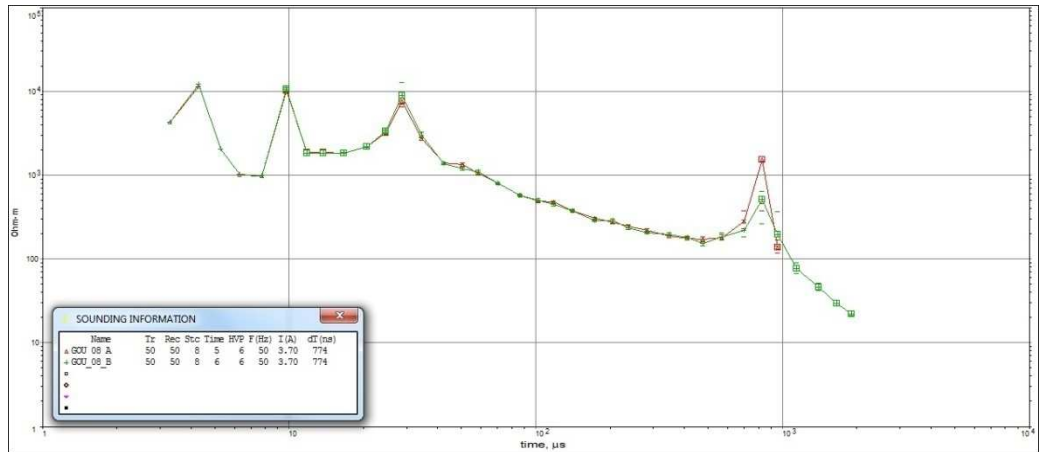
Εικ.12: Θέσεις TEM μετρήσεων

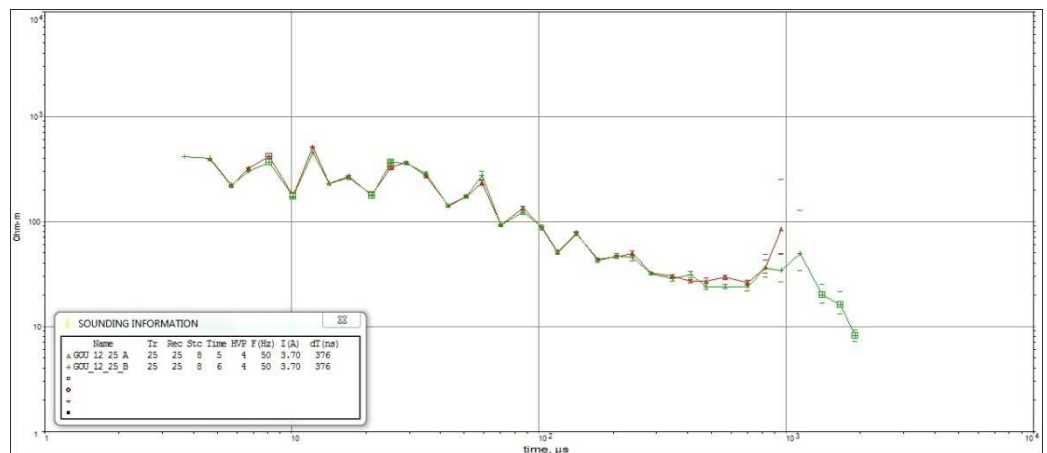
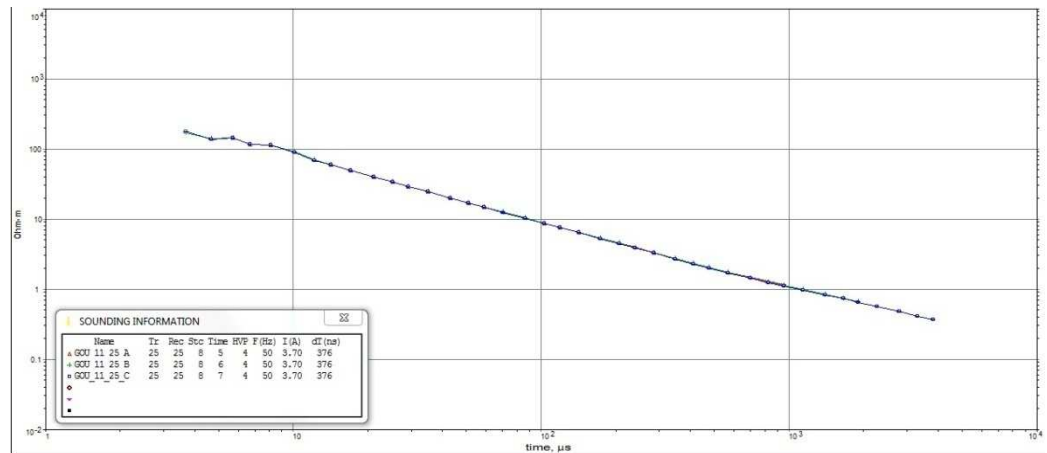
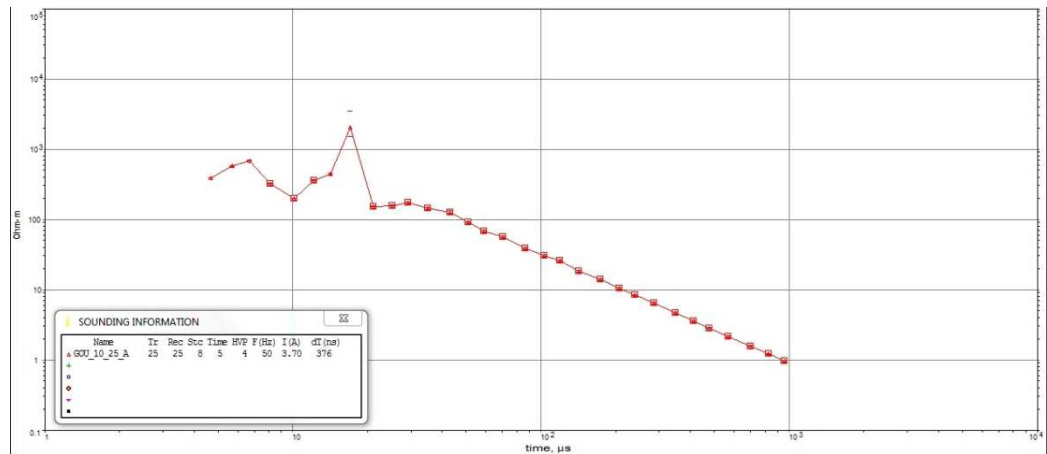
Παρακάτω παρουσιάζονται όλες οι καμπύλες και για τις 12 θέσεις.











Εικ.13 (1 έως 15): οι καμπύλες και για τις 12 TEM θέσεις μέτρησης

Όπως προαναφέρθηκε, από τις 12 θέσεις μόνο 3 είχαν αξιόπιστα αποτελέσματα. Επομένως, μοντελοποιήθηκαν μόνο τρεις θέσεις(GOY-01, GOY-04, GOY-05) όπου τα I-D μοντέλα παρουσιάζονται στη συνέχεια.

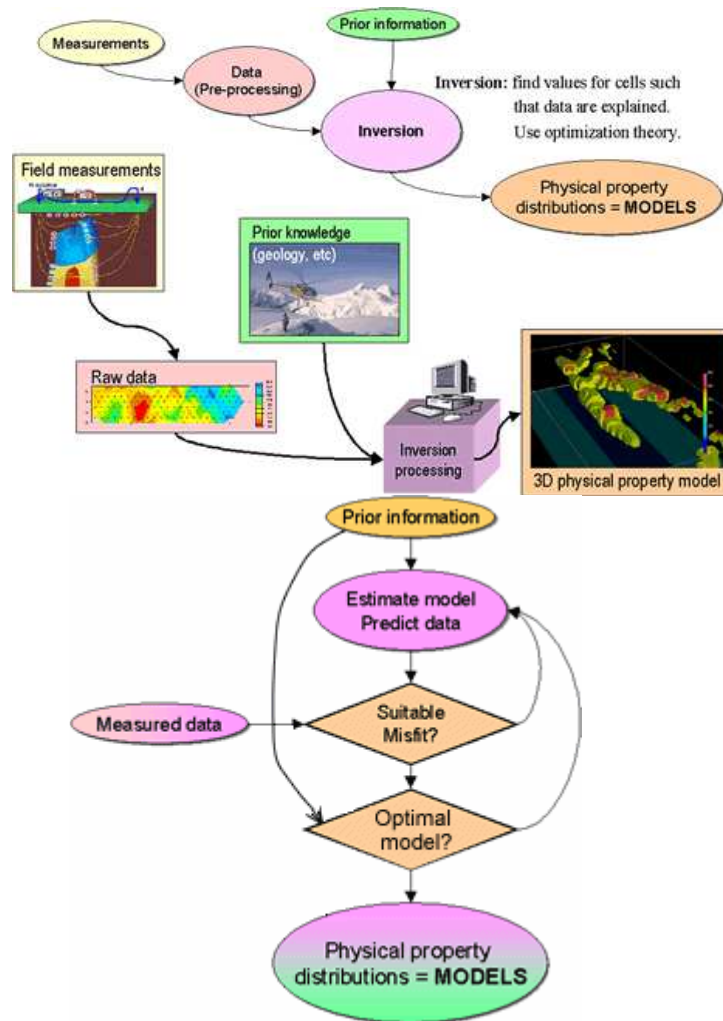
4.5 Μοντελοποίηση δεδομένων TEM

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 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", (Oldenburg και Jones, 2007).

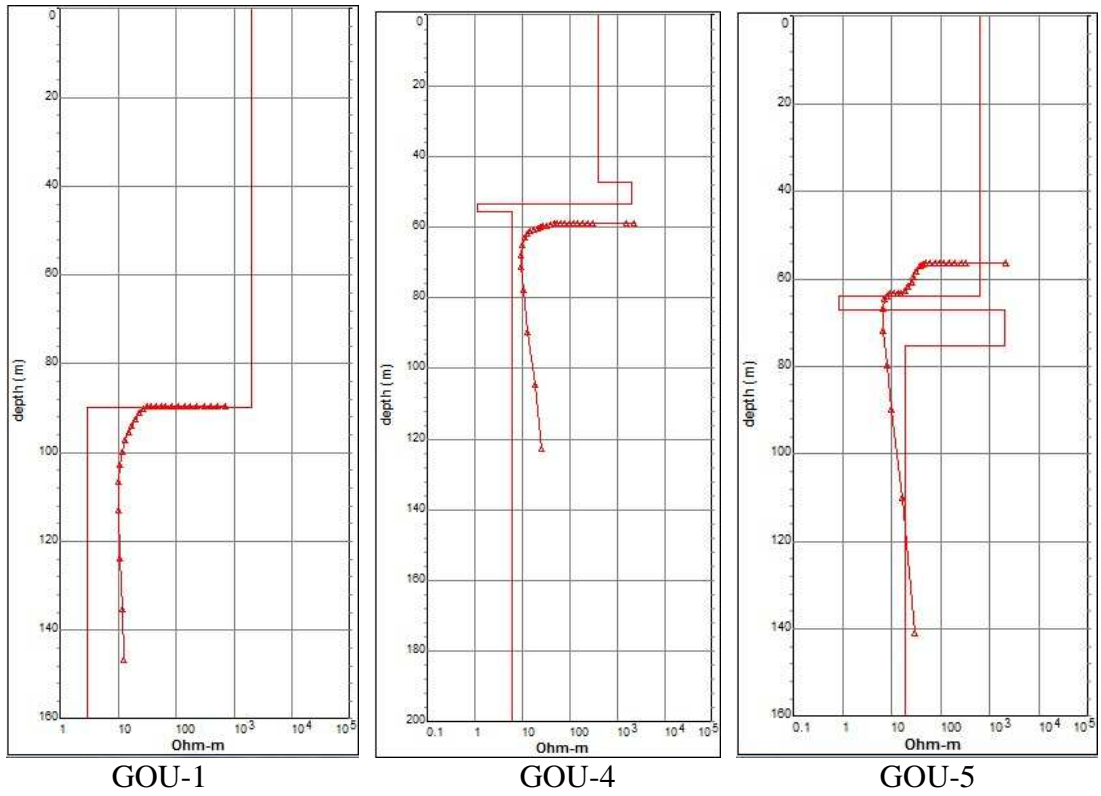
Αντιστροφή είναι μια μαθηματική διαδικασία που μπορεί να πάρει πολλές μορφές. Προκειμένου να κατανοήσουμε το υπέδαφος, χωρίς σκάψιμο ή γεώτρηση, οι μετρήσεις πρέπει να συγκεντρωθούν, τα δεδομένα πρέπει να προέρχονται από τις μετρήσεις αυτές, και σε κάποιο βαθμό κατανόηση σχετικά με το τι αποτελεί αντικείμενο 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 (Εικόνα 14) (Oldenburg και Jones, 2007).



Εικόνα 14: α), β) διαγράμματα ροής που δείχνουν τα βασικά βήματα της αντιστροφής, β) Τα βέλη δείχνουν τον τρόπο που οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται και που εμφανίζεται επανάληψη (feedback). (Oldenburg and Jones, 2007).

4.6 1D μοντέλο

Παρακάτω παρουσιάζονται τα 3 μοντέλα από τις 3 θέσεις όπου είχαμε καλής ποιότητας δεδομένα. Οι θέσεις είναι GOU-1, GOU-4 και GOU-5.



Εικόνα 15: Ο μετασχηματισμός ($\rho(h)$) παρουσιάζεται με τη μορφή ομαλής καμπύλης και η αναστροφή με τη μορφή τετραγωνοειδούς διαγράμματος).

<p style="text-align: center;"><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</u> ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ-ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</p>
--

Σύμφωνα με τα μονοδιάστατα (1-D) μοντέλα που προκύπτουν από την αντιστροφή (Εικ.15) παρατηρείται ότι υπάρχει καθαρά η ένδειξη για την ύπαρξη υπόγειου νερού στη περιοχή μελέτης.

Συγκεκριμένα, στη θέση GOU-01 παρατηρείται στα 90 περίπου μέτρα βάθος μια αλλαγή στις τιμές της ειδικής αντίστασης. Από τα 2000 Ωm που αντιστοιχεί στη τιμή των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, γίνεται μια απότομη μετάβαση σε τιμή κάτω από 10 Ωm, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι υπάρχει πιθανότητα υπόγειο νερό.

Ίδια ακριβώς μορφή παρουσιάζουν τα μοντέλα για τις θέσεις GOU-04 και GOU-05, σε διαφορετικά βάθη. Όσον αφορά τη θέση GOU-04 η αλλαγή φαίνεται περίπου 45 m, ενώ για τη θέση GOU-05 σε 70 m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η ηλεκτρομαγνητική γεωφυσική μέθοδος TEM είναι γενικά μια πολύ καλή μέθοδος για την μελέτη της δομής του υπεδάφους και ειδικά υδρογεωλογικούς σκοπούς. Είναι μια εύκολη και γρήγορη μέθοδος που όμως επηρεάζεται από την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικού θορύβου. Λόγω αυτού του γεγονότος, για την παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι 3 από τις 12 συνολικά θέσεις που είχαν αρχικά συλλεχθεί δεδομένα.

Παρόλα αυτά, από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως πιθανότατα υπάρχει υδροφορία στην περιοχή μελέτης σε βάθος 60-90 μέτρα, που όμως πρέπει να γίνει μια πιο επισταμένη μελέτη στο μέλλον για να βεβαιωθεί μια τέτοια ένδειξη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

I.G.M.E., 1971. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας. Κλίμακα 1:500.000. Έκδοση I.G.M.E., Αθήνα

Barsukov, P.O., Fainberg, E.B. & Khabensky, E.O. (2007). *Shallow Investigations by TEM-FAST Technique: Methodology and examples*. In: Electromagnetic Sounding of the Earth's Interior, Spichak, V.V. (Ed.), Holland: Elsevier, 55-77.

Danielsen J.E., Auken E., Jorgensen F., Sondergaard V., & Sorensen K.I. (2003). The application of the transient electromagnetic method in hydrogeophysical surveys, *Journal of Applied Geophysics*, 53 (4), 181-198.

Fassoulas, C. (2000). *Field Guide to the Geology of Crete*. Heraklio: Natural History Museum of Crete Publ.

Guerin, R., Descloitres, M., Coudrain, A., Talbi, A., & Gallaire, R. (2001). Geophysical surveys for identifying saline groundwater in the semi-arid region of the central Altiplano, Bolivia *Hydrological Processes*, 15 (17), 3287-3301.

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

Meju M.A., Fenning P.J. & Hawkins T.R.W. (2000). Evaluation of small-loop transient electromagnetic soundings to locate the Sherwood Sandstone aquifer and confining formations at well sites in the Vale of York, England. *Journal of Applied Geophysics*, 44 (2-3), 217-236.

Nabighian, M.N. & Macnae, J.C. (1991). Time domain electromagnetic methods. Electromagnetic methods in applied geophysics 2: Applications, chapter 6, Nabighian, M.N. (Ed.), SEG Publ., 427-520.

Richards, R.T., Troester, J.W., & Martinez M.I. (1998). An electromagnetic geophysical survey of the freshwater lens of Isla de Mona, Puerto Rico. *Journal of Cave and Karst Studies*, 60 (2), 115-120.

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.

Young, M.E., Macumber, P.G., Watts, M.D., & Al-Toqy N. (2004). Electromagnetic detection of deep freshwater lenses in a hyper-arid limestone terrain, *Journal of Applied Geophysics*, 5 (1), 43-61.

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

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παράρτημα περιλαμβάνονται τα πρωτογενή δεδομένα και από τις 12 θέσεις μέτρησης TEM (GOU-01 έως GOU-12).