

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Γεωφυσική διασκόπηση με σκοπό τον εντοπισμό υφαλμύρωσης
στην περιοχή Τυμπακίου Κρήτης.**

**Περάκης Εμμανουήλ
Γουναροπούλου Αφροδίτη**

TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE



BRANCH OF CHANIA



DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL & NATURAL RESOURCES

ENGINEERING

LABORATORY OF GEOPHYSICS & SEISMOLOGY

DISSERTATION THESIS

Geophysical prospecting for the determination of salinity at Tympaki
Crete.

Perrakis Emmanouil

Gounaropoulou Afroditi

CHANIA 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Παπαδόπουλο Ηλία για την αμέριστη υποστήριξη του, την αδιάλειπτη καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μας εργασίας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Δρ. Παντελή Σουπιό και τον Καθ. Αντώνη Βαφείδη για την παραχώρηση των δεδομένων και την άδεια να πραγματοποιηθεί αυτή η πτυχιακή εργασία.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους ανθρώπους που μας βοήθησαν κατά την εξέλιξη της εργασίας αυτής αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια μελέτης της γεωηλεκτρικής δομής στη περιοχή του Τυμπακίου που βρίσκεται στο νότιο τμήμα του Ηρακλείου Κρήτης, τον Φεβρουάριο του 2013 έλαβαν χώρα γεωφυσικές μετρήσεις και συγκεκριμένα εφαρμόστηκε η μέθοδος Βυθοσκόπησης Παροδικών Κυμάτων (TEM). Στο χώρο μελέτης πραγματοποιήθηκαν 100 μετρήσεις μονοδιάστατης βυθοσκόπησης με τη μέθοδο των παροδικών κυματομορφών (TEM).

Σκοπός της έρευνας ήταν η διερεύνηση του φαινομένου της υφαλμύρωσης, της διείσδυσης δηλαδή του θαλασσινού αλμυρού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα.

Σύμφωνα με τα ψευδο-διδιάστατα (2-D) μοντέλα, τα οποία προέκυψαν από την μοντελοποίηση των δεδομένων με αντιστροφή, παρατηρείται διείσδυση αλμυρού νερού στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα στην περιοχή μελέτης.

ABSTRACT

In the frame of CLEARWATER project of the Technical University of Crete Transient Electromagnetic Measurements (TEM) have been carried out at the area of Tympaki, Crete. The purpose of this study is to define the geoelectrical structure of the area, possibly identifying low resistivity zones due to the intrusion of sea water into the shallow aquifer. The results indicate such low resistivity zones in the area, after data have been processed using an 1-D inversion algorithm and are being presented using a 2-D tomography software.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

1.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

3.2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

3.2.3 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

3.2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

3.2.5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ή ΜΕΘΟΔΟΣ TEM (Transient Electromagnetic Method)

3.2.6 ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ - TEM FAST 48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ

4.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ

4.4 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΛΛΟΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

5.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗΣ

5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗΣ

5.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ & ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τη γεωλογική δομή του υπεδάφους μιας περιοχής, έτσι ώστε να μπορούν να βγουν συμπεράσματα για την τεκτονική της, για την ύπαρξη υπόγειου νερού ή άλλων γεωλογικών συνθηκών. Σε παράκτιες περιοχές είναι συχνό το φαινόμενο της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στον “γλυκό” υδροφόρο ορίζοντα, με αποτέλεσμα το φαινόμενο της υφαλμύρωσης. Για το λόγο αυτό, η μελέτη των περιοχών που υφίστανται υφαλμύρωση των υπόγειων υδάτων τους έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού βάση των αποτελεσμάτων της καθορίζεται η καταλληλότητα και η χρήση του νερού για ύδρευση ή άρδευση.

Η γεωφυσική έρευνα που πραγματοποιήθηκε τον Φεβρουάριο 2013 στην περιοχή του Τυμπακίου στο Ηράκλειο Κρήτης είναι μέρος του προγράμματος CLEARWATER του Πολυτεχνείου Κρήτης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από τον Δρ. Παντελή Σουπιό. Στα πλαίσια της διπλωματικής μας εργασίας αναλάβαμε την επεξεργασία σημειακών δεδομένων Παροδικής Ηλεκτρομαγνητικής Μεθόδου (TEM-Transient electromagnetic method), με σκοπό τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της περιοχής σε μια ψευδοτομή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

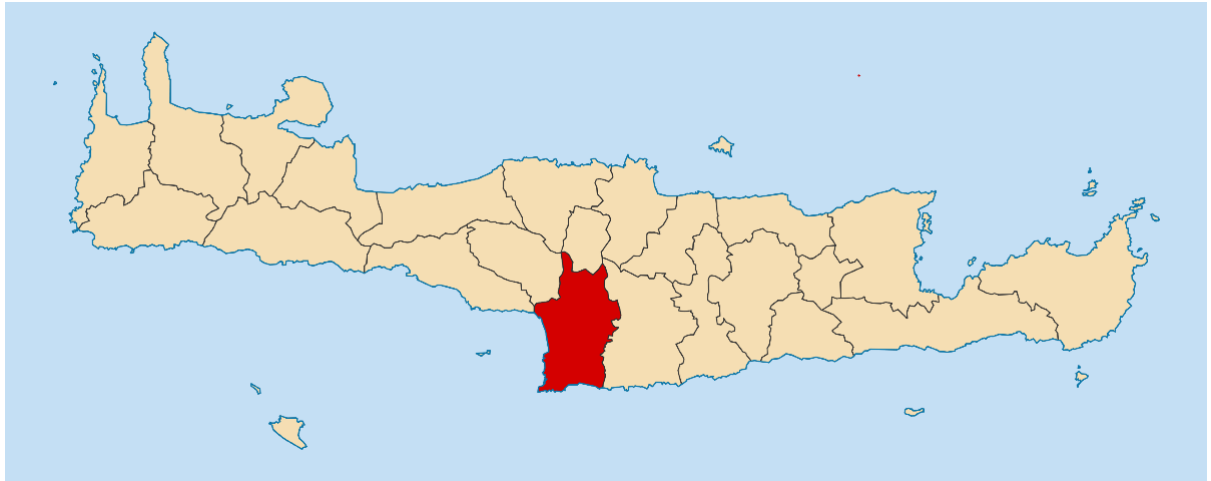
Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της γεωλογικής δομής της περιοχής «Τυμπάκι».

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού εφαρμόστηκε ηλεκτρομαγνητική μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM - Transient electromagnetic method), όπου πραγματοποιήθηκε συλλογή των γεωφυσικών δεδομένων στην ύπαιθρο με το όργανο TEM-Fast 48. Στη συνέχεια, ακολούθησε 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

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 δεν γνωρίζουμε πως προέκυψε. Η επικρατέστερη εικασία είναι ότι οφείλεται στη λέξη τύμβος, δηλαδή ταφικό μνημείο, το οποίο αποτελείται από τεχνιτό λοφίσκο φτιαγμένο, συνήθως, από χώμα. Η εικασία αυτή πηγάζει από τη θεωρία ότι ο οικισμός ιδρύθηκε από κατοίκους του οικισμού Άγιος Ανδρέας. Η ερμηνεία ότι ο οικισμός ονομάστηκε «Τυμπάκι» από τη λέξη τύμβος δεν ευσταθεί, εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν απαντώνται τύμβοι στην Κρήτη, ούτε χρησιμοποιήθηκαν ποτέ στο παρελθόν ως τρόπος ταφής.



Σχήμα 1.1 Περιοχή μελέτης

Παλαιότερα το Τυμπάκι μαστιζόταν από **ελονοσία**, αντίθετα στις μέρες μας οι κλιματικές και περιβαλλοντικές συνθήκες ευνοούν έναν υγιεινό τρόπο ζωής.

Στη θέση του οικισμού Κόκκινος Πύργος βρισκόταν παλαιότερα ένας πύργος κτισμένος με κοκκινόχωμα, εξ ου και η ονομασία του σημερινού οικισμού.

Η πόλη δεν έχει ιδιαίτερες παραδοσιακές ομορφιές, καθώς τα περισσότερα κτίσματα είναι σύγχρονα. Η σύγχρονη αρχιτεκτονική του Τυμπακίου οφείλεται στο γεγονός ότι κατά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η πόλη 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 εκβάλει 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 1.2. Πανοραμική άποψη της περιοχής του Τυμπακίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ****2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

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

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

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

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

Η ομάδα των φυλλιτών-χαλαζιτών, που αποτελείται από **φυλλίτες, σχιστόλιθους, χαλαζίτες** και **παλιά ηφαιστειακά πετρώματα** εμφανίζονται στη δυτική Κρήτη, σε ορισμένα σημεία της ενδοχώρας του Ρεθύμνου, στα βορειοδυτικά του Ηρακλείου και στην

περιοχή της Σητείας. Οι σχιστόλιθοι και οι φυλλίτες είναι κυρίως αργιλικής σύστασης, δε διαβρώνονται εύκολα και παράλληλα είναι πετρώματα αδιαπέρατα από το νερό. Για το λόγο αυτό στην επιφάνειά τους αναπτύσσονται τα περισσότερα ποτάμια μόνιμης επιφανειακής ροής.

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

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 είναι τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο και ανάλογα με την τεκτονομεταμορφική τους εξέλιξη και την τεκτονική τους θέση, κατατάσσονται σε δυο ομάδες:

i. Τα κατώτερα καλύμματα, στα οποία ανήκουν :

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

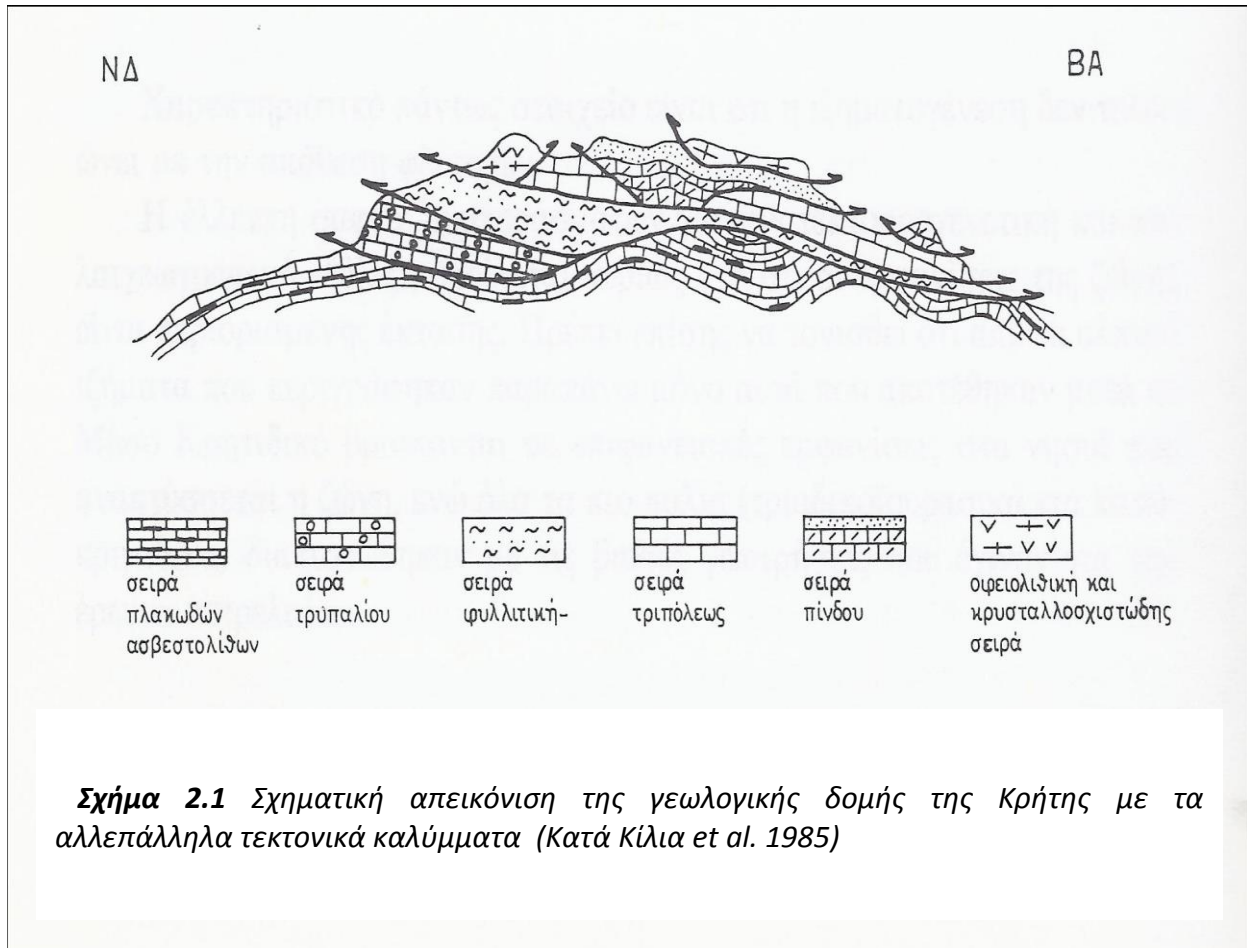
ii. Τα ανώτερα καλύμματα, τα οποία αποτελούνται από :

- αμεταμόρφωτα ανθρακικά καλύμματα στη βάση τους και
- προ-Ολιγοκαινικά μεταμορφωμένα στην κορυφή τους.

Τα αμεταμόρφωτα ανθρακικά καλύμματα αποτελούν το τεκτονικό κάλυμμα Γαβρόβου-Τριπόλεως και το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου, ενώ 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.).



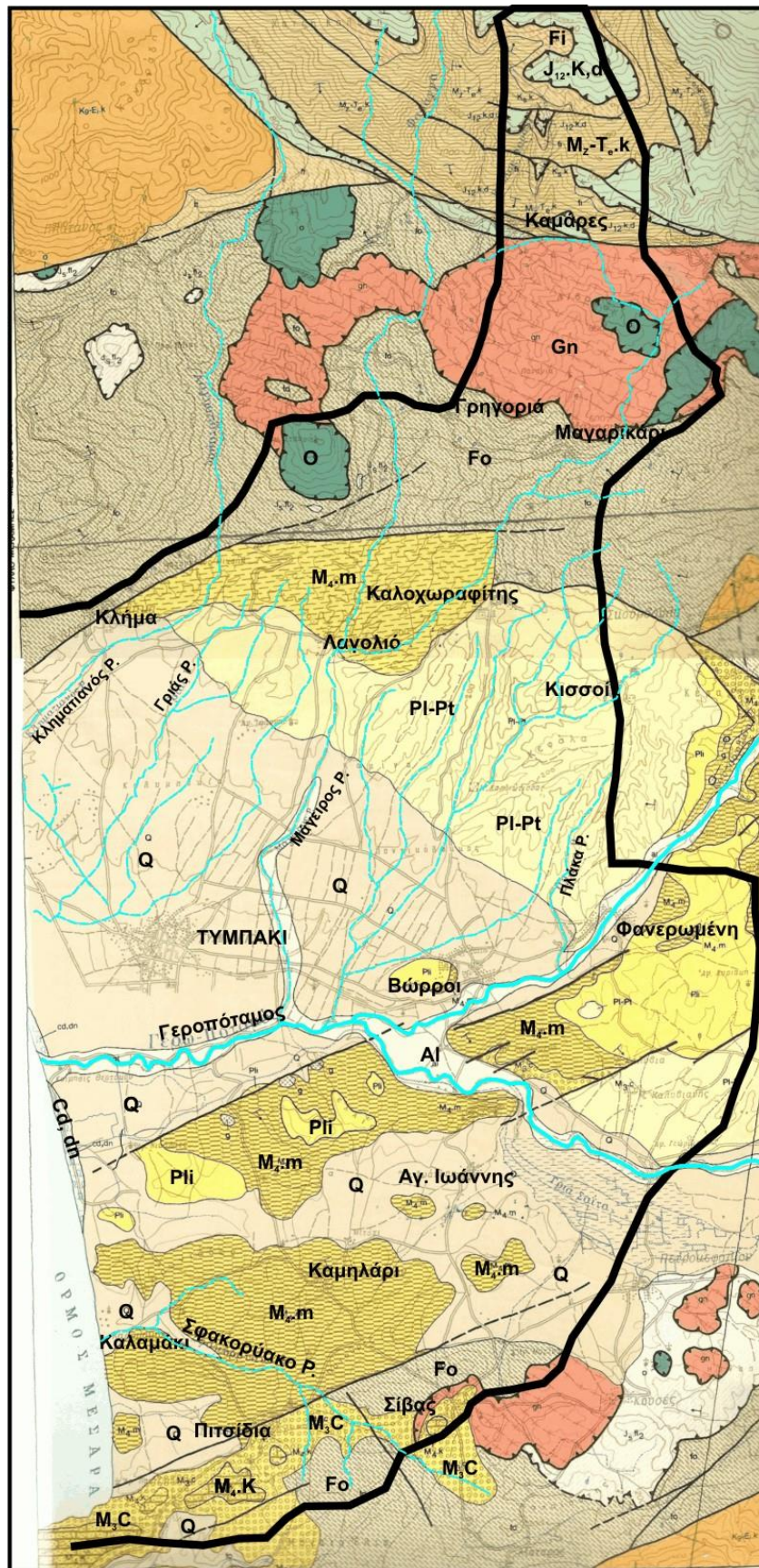
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ

Στρωματογραφικά στοιχεία

Από την μελέτη των γεωλογικών χαρτών (σχήμα 2.1) προκύπτει ότι η ευρύτερη περιοχή καλύπτεται κυρίως από Αλπικά και Μεταλπικά ιζήματα. Πιο αναλυτικά, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την εξεταζόμενη περιοχή (από τους νεότερους προς τους παλαιότερους) είναι:

1. **cd**: Παράκτιες αποθέσεις, άμμοι και συγκολλημένοι αιγιαλοί. Ηλικία: Τεταρτογενές – Ολόκαινο.
2. **al**: Αλλουβιακές αποθέσεις στις κοίτες των ποταμών. Ασύνδετα υλικά από χαλίκια, άμμους, ιλύ και λοιπά προϊόντα αποσάθρωσης. Ηλικία: Τεταρτογενές – Ολόκαινο
3. **Q**: Ερυθρά κροκαλοπαγή, άμμοι και άργιλοι, ποταμολιμναίας προέλευσης. Ηλικία: Τεταρτογενές αδιαίρετο.
4. **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.
5. **Pli**: Λευκές μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, καστανωπές φυλλώδεις μάργες, άμμοι, κροκαλοπαγή και κυρίως στα ανώτερα μέρη του σχηματισμού κλαστικοί ασβεστόλιθοι. Ηλικία: Κατώτερο Πλειόκαινο.
6. **M₄.m**: Εναλλαγές ομογενών μαργών και φυλλωδών μαργών. Ηλικία: Αν. Μειόκαινο (Μεσσήνιο).
7. **g**: Γύψοι, σελετινικές, σε λεπτές σαν ελάσματα στρώσεις τύπου “balatino”, και κροκαλοπαγή γύψου. Οι γύψοι είναι ενδιαστρωμένοι μέσα στις εναλλαγές των ομοιογενών και φυλλωδών μαργών. Ηλικία: Αν. Μειόκαινο (Μεσσήνιο).
8. **M₄.k**: Υφαλογενείς, κλαστικοί, τοπικά κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι. Ηλικία: Αν. Μειόκαινο (Μεσσήνιο).
9. **M₃.c**: Ανώμαλες εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, άμμων και μαργών ή αργίλων. Ηλικία: Αν. Μειόκαινο-Τορτόνιο.
10. **M.m**: Κανονικές εναλλαγές γκριζων – πρασινωπών λιμανίων αργίλων και καστανών άμμων. Ηλικία: Μέσο Μειόκαινο
11. **o**: οφιολιθικό σύμπλεγμα που ανήκει στις εσωτερικές ζώνες, αποτελούμενο από περιδοτίτες μερικώς σερπεντινωμένους, πυροξενίτες, γάββρους και δολερίτες. Ηλικία: Ανώτατο Ιουρασικό-Κατώτατο Κρητιδικό.

12. **gn**: αντιπροσωπεύει το κάλυμμα Αστερουσίων (εσωτερικές ζώνες) με γνεύσιους κυρίως μετα-ιλυολιθικούς, μάρμαρα, αμφιβολίτες και ορθογνεύσιους. Ηλικία: Ανώτατο Ιουρασικό-Κατώτατο Κρητιδικό.
13. **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
14. **Fo**: Φλύσχη της Ζ. Πίνδου-Εθιάς (εξωτερικές ζώνες), ψαμμιτοπηλιτικός, τοπικά πλούσιος σε ολισθόλιθους. Ηλικία: Μέσο-Ανώτερο Ηώκαινο.
15. **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.
16. **Ft**: Φλύσχη της Ζ. Τρίπολης, πηλιτο-ψαμμιτικός, με ενστρώσεις ασβεστολιθικών τουρβιδιτών. Ηλικία: Πριαμπόνιο; - Ολιγόκαινο
17. **Ks.k**: Ασβεστόλιθοι μαύροι με ρουδιστές, της Ζ. Τρίπολης. Ηλικία: Ανώτερο Κρητιδικό
18. **J₁₂.k,d**: Ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Ζ. Τρίπολης, σκοτεινότεφοι έως πολύ σκοτεινοί. Ηλικία: Αν. Ιουρασικό.
19. **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).
20. **M_z-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 2.2 Γεωλογικός χάρτης Τυμπακίου (1:150000, ΙΓΜΕ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ****3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Με τον όρο **Γεωφυσική Διασκόπηση** εννοείται η μελέτη της δομής των απρόσιτων επιφανειακών στρωμάτων του γήινου φλοιού, η οποία βασίζεται σε μετρήσεις γεωφυσικών μεγεθών και στην εφαρμογή θεμελιωδών νόμων της φυσικής.

Σκοπός της γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο εντοπισμός και κατ' επέκταση η εκμετάλλευση γεωλογικών συνθηκών (όπως πολύτιμα μεταλλεύματα ή κοιτάσματα πετρελαίου) ιδιαίτερης οικονομικής ή άλλης σημασίας.

Συγκεκριμένα, Γεωφυσική Διασκόπηση εφαρμόζεται με σκοπό τον προσδιορισμό πιθανών δομών που σχετίζονται με κοιτάσματα πετρελαίου, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα δημιουργίας-διάνοιξης γεωτρήσεων σε επιτυχή σημεία ή με σκοπό την ανεύρεση πολύτιμων μεταλλευμάτων. Επομένως, το οικονομικό όφελος από την εφαρμογή μεθόδων Γεωφυσικής Διασκόπησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό.

Επιπλέον, οι γεωφυσικές μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν σε συνδυασμό με γεωλογικές μεθόδους με σκοπό τον εντοπισμό υδροφόρου οριζόντων (όπως στην περίπτωση μας) ή γεωθερμικών πεδίων.

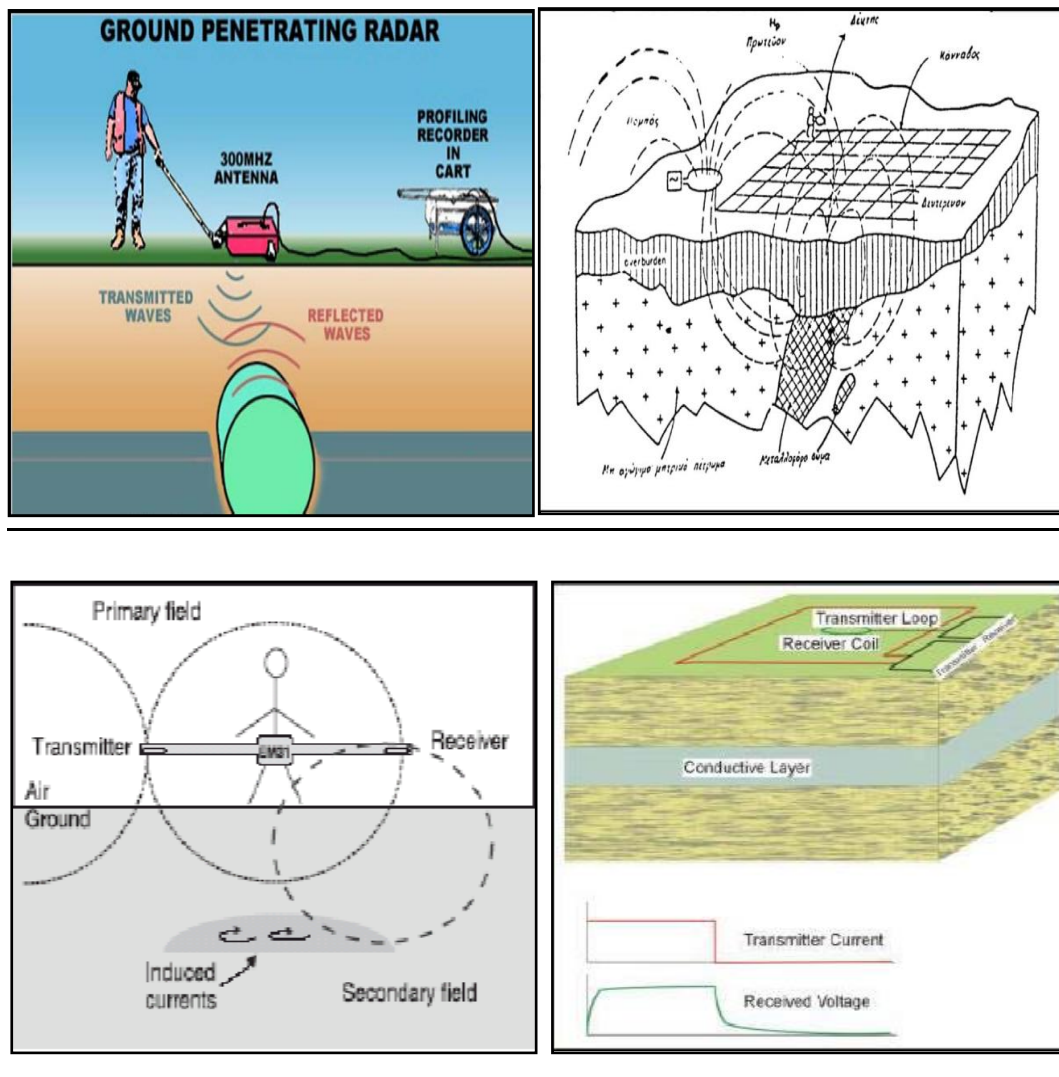
Συνοπτικά, οι μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εφαρμόζονται :

- ✓ Γεωλογική έρευνα
- ✓ Υδρογεωλογία
- ✓ Εντοπισμό κοιτασμάτων
- ✓ Γεωτεχνικές μελέτες
- ✓ Περιβαλλοντικές μελέτες
- ✓ Αρχαιομετρία

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.

*Στην συγκεκριμένη έρευνα εφαρμόστηκε ηλεκτρομαγνητική μέθοδος, την οποία και θα αναλύσουμε παρακάτω.



Σχήμα 3.1 : Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης.

3.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

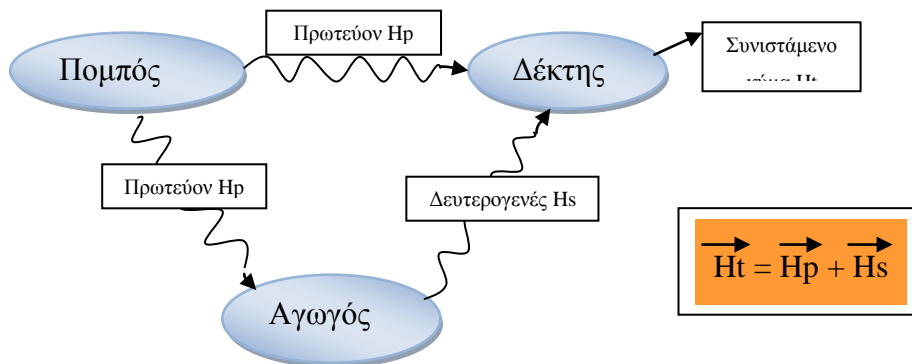
3.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

Κατά την εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης παράγεται, με φυσικό ή τεχνητό τρόπο (από έναν πομπό), ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, χαμηλής συχνότητας, πάνω στην επιφάνεια της γης. Το κύμα αυτό ονομάζεται **πρωτεύον** ηλεκτρομαγνητικό κύμα και έχει γνωστές-καθορισμένες ιδιότητες (διεύθυνση, πλάτος και φάση). Κατά τη διάδοσή του, ένα μέρος του κύματος φτάνει απευθείας και σχεδόν αμετάβλητο στον **δέκτη**, ο οποίος είναι και αυτός τοποθετημένος στην επιφάνεια της γης και σε απόσταση x από τον πομπό. Αντίθετα, ένα άλλο μέρος του πρωτεύοντος ηλ/μαγν κύματος διαδίδεται μέσα στο φλοιό της γης όπου, αν συναντήσει κάποιο ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό - σώμα (π.χ μετάλλευμα), επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο αγώγιμο αυτό υλικό και δημιουργείται ένα **δευτερογενές** ηλ/μαγνητικό κύμα, διαφορετικών ιδιοτήτων. Το δευτερογενές ηλ/μαγνητικό κύμα φτάνει επίσης στο δέκτη, όπου συμβάλλει με το αρχικό (πρωτεύον) και δημιουργείται ένα **συνιστάμενο κύμα**, το οποίο καταγράφεται, γι' αυτό οι ιδιότητές του είναι γνωστές.

Το δευτερογενές κύμα είναι ίδιας συχνότητας με το πρωτεύον, διαφέρει, όμως, στις υπόλοιπες ιδιότητές του (διεύθυνση, πλάτος και φάση) σε σχέση με το αρχικό (πρωτεύον). Συνήθως, έχει πολύ μικρότερο πλάτος από το πρωτεύον, φτάνει στο δέκτη από διαφορετική διεύθυνση (σχηματίζοντας γωνία) και παρουσιάζει μια διαφορά φάσης σε σχέση με το πρωτεύον.

Αυτό συμβαίνει διότι οι συγκεκριμένες ιδιότητες του δευτερογενούς κύματος εξαρτώνται και από τη γεωηλεκτρική δομή (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) των πάνω κυρίως στρωμάτων του φλοιού της γης.

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται η μέτρηση της απόκρισης του εδάφους σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα με σκοπό τον προσδιορισμό της γεωηλεκτρικής του δομής.



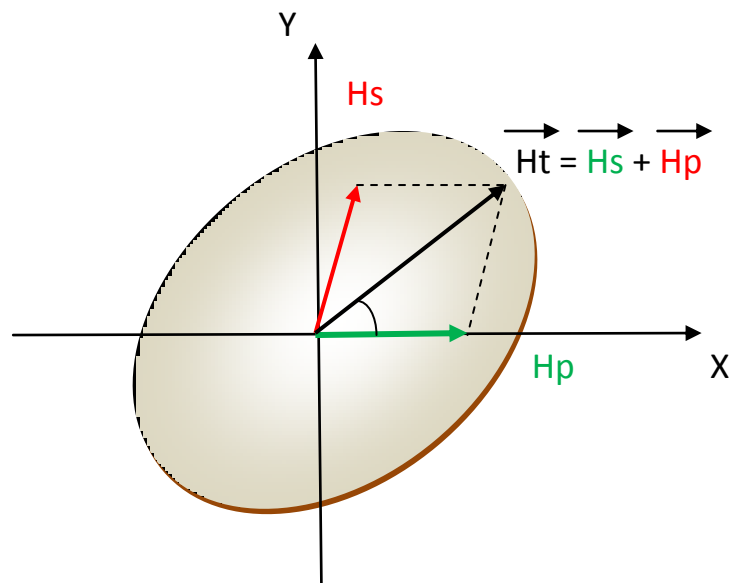
Σχήμα 3.2: Πρωτογενές και δευτερογενές πεδίο. Το ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα λειτουργεί ως πομπός ενός νέου (δευτερογενούς) κύματος. Οι δύο πομποί (αυτός του οργάνου και το αντικείμενο που εντοπίστηκε) και ο δέκτης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων θεωρούνται ως πηνία.

Ο πομπός των αρχικών (πρωτογενών) ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα μέσα στη γη το οποίο δημιουργεί το δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό κύμα και ο δέκτης των δύο κυμάτων μπορούν να θεωρηθούν ως πηνία.

Το πηνίο του πομπού του οργάνου διαρρέεται από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και παράγει το **πρωτεύον μαγνητικό πεδίο** εντάσεως **H_p**, ενώ στο πηνίο που παριστάνει το αγώγιμο σώμα-αντικείμενο μέσα στη γη επάγεται εναλλασσόμενο ρεύμα με συνέπεια τη γένεση του **δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου** εντάσεως **H_s**. Το πηνίο του δέκτη διαρρέεται από ρεύμα, το οποίο επάγεται από το **συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο** εντάσεως **H_t**, που δημιουργείται στη θέση του δέκτη από τη συμβολή του πρωτεύοντος και του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου. Το ρεύμα αυτό είναι μέγιστο όταν το επίπεδο του πηνίου είναι κάθετο στη διεύθυνση της συνισταμένης H_t των δύο διανυσμάτων H_p και H_s, ενώ μηδενίζεται όταν το επίπεδο του πηνίου είναι παράλληλο προς τη διεύθυνση της συνισταμένης H_t.

Η παραπάνω σχέση, μεταξύ διεύθυνσης συνισταμένης και έντασης ρεύματος στο δέκτη, μας βοηθάει στον προσδιορισμό της διεύθυνσης της συνισταμένης H_t :

- $H_t \perp$ επίπεδο πηνίου $\implies I_{\max}$ (μέγιστο σήμα στα ακουστικά)
- $H_t //$ επίπεδο πηνίου $\implies I = 0$ (μηδενικό σήμα στα ακουστικά)



Σχήμα 3.3: Πρωτογενές, δευτερογενές και συνισταμένο πεδίο, εντάσεων H_p , H_s και H_t , αντίστοιχα. Το πηνίο-δέκτης σχηματίζει γωνία με το επίπεδο ελλειπτικής πόλωσης.

3.2.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης βασίζονται σε ορισμένες αρχές της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Οι δυο βασικότεροι νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού είναι 1) ο νόμος του **Faraday** και 2) ο νόμος του **Ampere**.

- 1) Σύμφωνα με το νόμο του **Faraday**, χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο γεννά ηλεκτρικό πεδίο, τέτοιο ώστε η παραγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη να είναι ανάλογη αλλά αντίθετη με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής.

$$E = - d\Phi / dt$$

όπου :

E είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη (σε Volt) και
 Φ είναι η μαγνητική ροή (σε Weber)

- 2) Σύμφωνα με τον νόμο του **Ampere**, όταν ένας χώρος διαρρέεται από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα, τότε παράγεται μαγνητικό πεδίο με ένταση ανάλογη του ρεύματος και διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση ροής του ρεύματος.

3.2.3 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΩΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Η εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης στηρίζεται στην παραγωγή φυσικών ή τεχνητών πρωτογενών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, γνωστών ιδιοτήτων, κοντά στην επιφάνεια της γης. Τα κύματα αυτά επάγουν μέσα στο φλοιό της γης εναλλασσόμενα ηλεκτρικά ρεύματα, τα οποία αν συναντήσουν κάποιο εμπόδιο (ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα), παράγονται δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Τα δευτερογενή κύματα έχουν ίδια συχνότητα με τα πρωτεύοντα, αλλά διαφέρουν στις υπόλοιπες ιδιότητές (διεύθυνση, πλάτος και φάση) σε σχέση με τα αρχικά (πρωτεύοντα) κύματα. Συνήθως, έχουν πολύ μικρότερο πλάτος από τα πρωτεύοντα, φτάνουν στο δέκτη από διαφορετική διεύθυνση (σχηματίζοντας γωνία) και παρουσιάζουν μια διαφορά φάσης σε σχέση με το πρωτεύοντα.

Το γεγονός ότι κάποιες από τις ιδιότητες (διεύθυνση, πλάτος και φάση) των δύο κυμάτων είναι διαφορετικές συμβαίνει διότι τα δευτερογενή κύματα εξαρτώνται και από τη γεωηλεκτρική δομή (δηλ. από την κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) των πάνω κυρίως στρωμάτων του φλοιού της γης.

Η αρχή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης στηρίζεται στις διαφορές μεταξύ αυτών των ιδιοτήτων των δυο κυμάτων. Συγκεκριμένα, οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης στοχεύουν στον καθορισμό της γεωηλεκτρικής δομής (κατανομής της ειδικής αγωγιμότητας) των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης με βάση τις ιδιότητες του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, σε σχέση με αυτές του αρχικού (πρωτογενούς) πεδίου, οι οποίες είναι γνωστές.

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι, σύμφωνα με τον πιο συνηθισμένο τρόπο κατάταξής τους, διακρίνονται σε :

- Μεθόδους Συνεχών Κυμάτων
- Μεθόδους Παροδικών Κυμάτων (TEM)
- Μαγνητοτελλουρικές Μεθόδους

3.2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

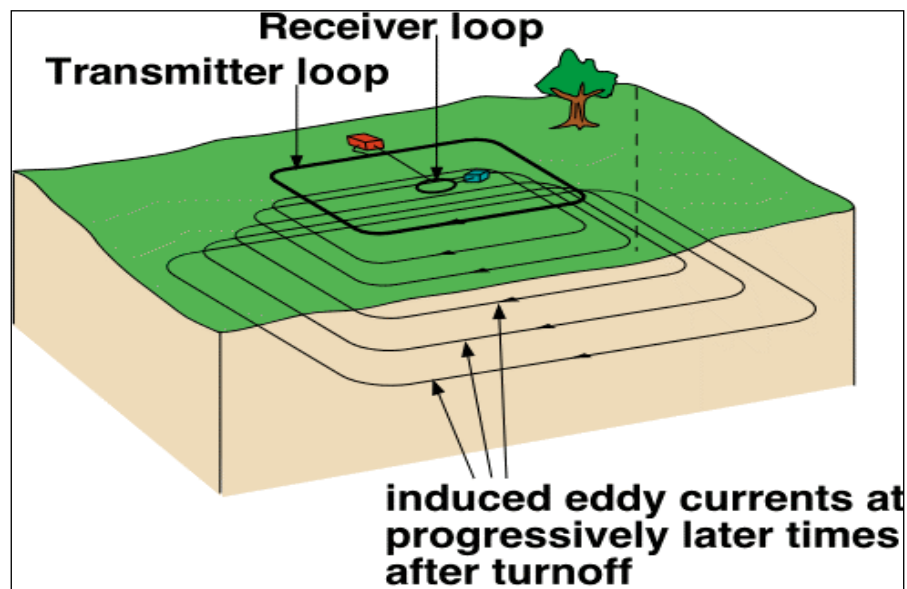
Ένα από τα **πλεονεκτήματα** των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων σε σχέση με τις ηλεκτρικές μεθόδους είναι ότι **1)** οι ηλεκτρομαγνητικές μπορούν να εφαρμοστούν και σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η ηλεκτρική σύνδεση με το έδαφος, εξαιτίας της πολύ μεγάλης ειδικής αντίστασης των επιφανειακών σχηματισμών (π.χ στις πολικές περιοχές όπου το έδαφος είναι παγωμένο ακόμα και σε σημαντικό βάθος). Επιπλέον, **2)** με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους μπορεί να γίνει διασκόπηση σε βάθη μεγαλύτερα από ότι με τις ηλεκτρικές.

Αντίθετα, ένα βασικό **μειονέκτημα** των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων είναι ότι **1)** δεν μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση αγώγιμων σωμάτων σε μεγάλα βάθη όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγώγιμο. Επιπλέον, **2)** αν και με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους μπορεί να γίνει διασκόπηση σε μεγαλύτερα βάθη απ' ότι με τις ηλεκτρικές, δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε διασκόπηση ιδιαίτερα μεγάλων αποστάσεων από την επιφάνεια της γης, όπως για παράδειγμα στον εντοπισμό πετρελαίου, αλλά κυρίως σε διασκόπηση μεταλλευμάτων.

3.2.5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ή ΜΕΘΟΔΟΣ TEM (Transient Electromagnetic Method)

Η μέθοδος TEM έχει εφαρμογή σε μεταλλευτικές, περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές έρευνες, καθώς επίσης στον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων και τον εντοπισμό υδροφόρων και υφάλμυρων οριζόντων. Η μέθοδος αυτή μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες γεωφυσικές μεθόδους.

Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην υλοποίηση ενός ορθογώνιου βρόγχου στην επιφάνεια του εδάφους, δημιουργώντας έτσι ένα κλειστό κύκλωμα το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης ($I_0 > 0$). Το κύκλωμα αυτό αποτελεί τον πομπό εκπομπής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ύστερα από κάποιο ικανό χρονικό διάστημα t_r , (ώστε να μην παρατηρούνται ταλαντώσεις στο πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα), το συνεχές ρεύμα διακόπτεται απότομα ($I=0$). Στη συνέχεια, με χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, η πτώση αυτή του ρεύματος γίνεται γραμμικά από $I_0 > 0$ μέχρι $I_0 = 0$ και διαρκεί χρόνο t_r .



Σχήμα 3.4: 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 τη 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, το οποίο ανιχνεύεται με κατάλληλο πηνίο-δέκτη και είναι ανάλογο της έντασης του πηνίου. Κατά τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων της διαδικασίας μέτρησης, γίνεται διαχωρισμός των δεδομένων σε χρονικές πύλες (κανάλια). Στη συνέχεια, γίνεται προσαρμογή των δεδομένων, δηλαδή επεξεργασία με σκοπό την αναγνώριση και την απομάκρυνση του θορύβου, καθώς και μοντελοποίηση με προσεγγιστική αντίστροφη απεικόνιση και γραμμικοποιημένη αντίστροφη.

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 των διαφόρων τύπων-στρωμάτων 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 αγωγίμα στραγγίσματα στα υπόγεια ύδατα, για διείδυση θαλασσινού νερού, καθώς και για το βάθος στο βραχώδες υπόστρωμα.

Γενικά, οι μέθοδοι TEM βρίσκουν εφαρμογή :

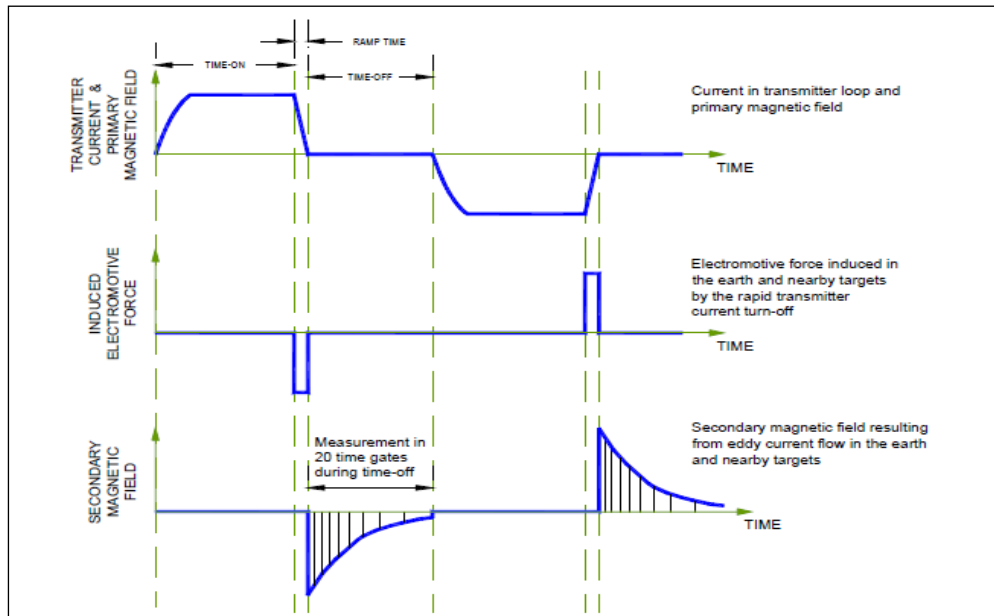
- Μεταλλευτική έρευνα
- Γεωθερμικά πεδία
- Περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές έρευνες
- Εντοπισμό υδροφόρων και υφάλμυρων οριζόντων,

ενώ έχουν τη δυνατότητα συνδυασμού και με άλλες γεωφυσικές μεθόδους.

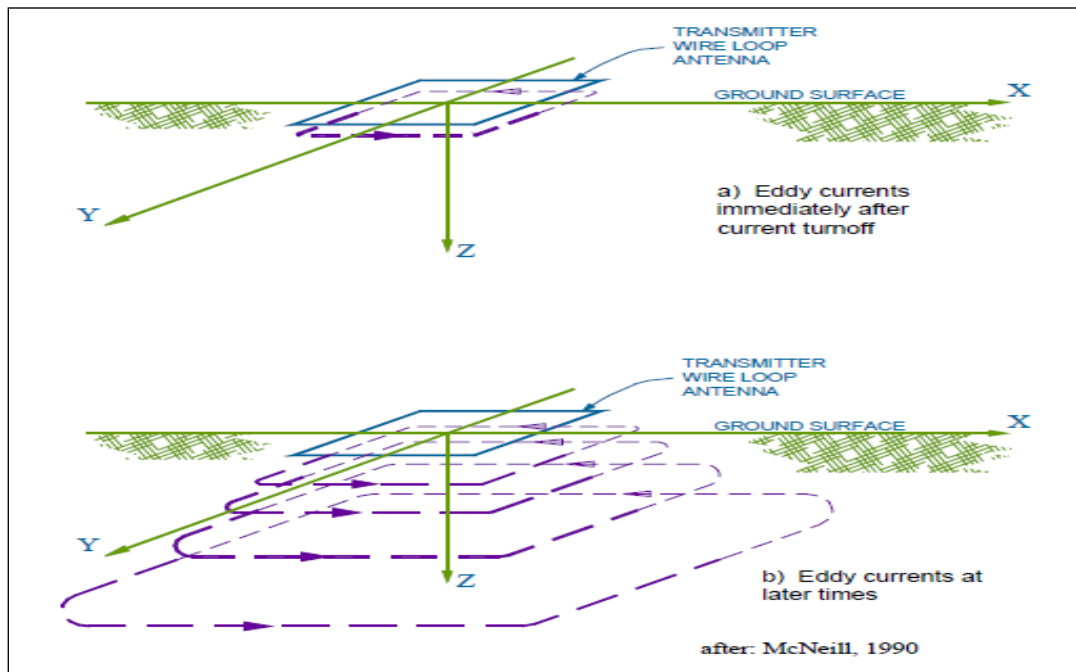
Μια από τις σημαντικότερες αδυναμίες της ηλ/μαγνητικής μεθόδου παροδικών κυμάτων (TEM) είναι η δυσκολία που εμφανίζει στην ερμηνεία των στοιχείων, πέρα από τις τρισδιάστατες γεωλογικές δομές. Τα περισσότερα προγράμματα διαμόρφωσης υποθέτουν μια οριζόντια γη βαλμένη σε στρώσεις.

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 αναφέρει ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο παραγάγει ένα ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο στη συνέχεια θα δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Κατά συνέπεια, το αρχικό μαγνητικό πεδίο από το βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων θα δημιουργήσει ένα δευτεροβάθμιο ηλεκτρικό ρεύμα στη γη. Τελικά, μετράμε το δευτεροβάθμιο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από εκείνα τα δευτεροβάθμια ηλεκτρικά ρεύματα στη γη.

Στο **σχήμα 3.5** που ακολουθεί, απεικονίζεται η κυματομορφή του αρχικού μαγνητικού πεδίου που παράγεται από τη συσκευή αποστολής σημάτων σε συνάρτηση με το χρόνο καθώς και αυτή του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου (ηλεκτρεγερτική δύναμη) που συνοδεύει το μαγνητικό πεδίο.



Σχήμα 3.5: Κυματομορφές TEM

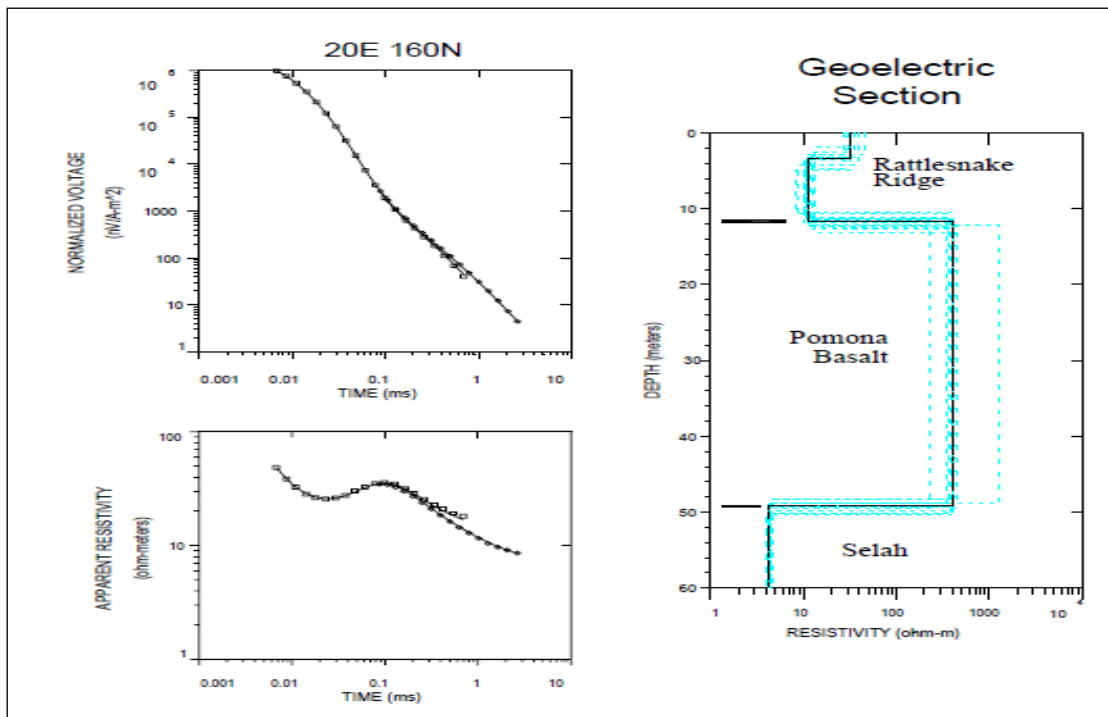


Σχήμα 3.6: Ροή ρευμάτων στροβίλου α) πρώιμοι χρόνοι, β) ύστεροι χρόνοι (French, 2002; after McNeil, 1990)

Το μέγεθος και το ποσοστό αποσύνθεσης των δευτεροβάθμιων ρευμάτων εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου και τη γεωμετρία των αγώγιμων στρωμάτων. Ο δέκτης TEM μετρά μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα δευτεροβάθμια ρεύματα. Στις ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές χρόνου-περιοχής το προκαλούμενο σήμα είναι ένας δυνατός παλμός ή ένα παροδικό σήμα. Τα ρεύματα που προκαλούνται στη γη είναι, αρχικά, συγκεντρωμένα ακριβώς κάτω από το βρόχο της συσκευής αποστολής σημάτων, (όπως παρουσιάζεται στο **σχήμα 3.6.α**). Μετά από κάποιο χρόνο, τα ρεύματα αυτά θα διασκορπιστούν σε μεγαλύτερο βάθος και μακριά από τη συσκευή αποστολής σημάτων, (όπως φαίνεται στο **σχήμα 3.6.β**). Η συμπεριφορά των ρευμάτων στο έδαφος συχνά παρομοιάζεται με αυτήν των δαχτυλιδιών που σχηματίζει ο καπνός.

Αρχικά, ισχυρές μορφές ρεύματα διαβιβάζονται στο έδαφος δίπλα στο βρόχο. Κατόπιν, επεκτείνονται, σαν «δαχτυλίδια καπνού», αποδυναμώνονται και ταξιδεύουν σε μεγαλύτερα βάθη μέσα στη γη. Το ποσοστό διάχυσης εξαρτάται από την αγωγιμότητα του εδάφους. Στα ανθεκτικά μέσα, τα ρεύματα θα διασκορπίζονταν πολύ γρήγορα. Αντίθετα, στα αγώγιμα μέσα, τα ρεύματα θα διασκορπίζονταν πιο αργά. Ένα αγώγιμο στρώμα μπορεί σε βάθος «να παγιδέψει» ρεύματα, ενώ αλλού αποσυντίθενται γρηγορότερα.

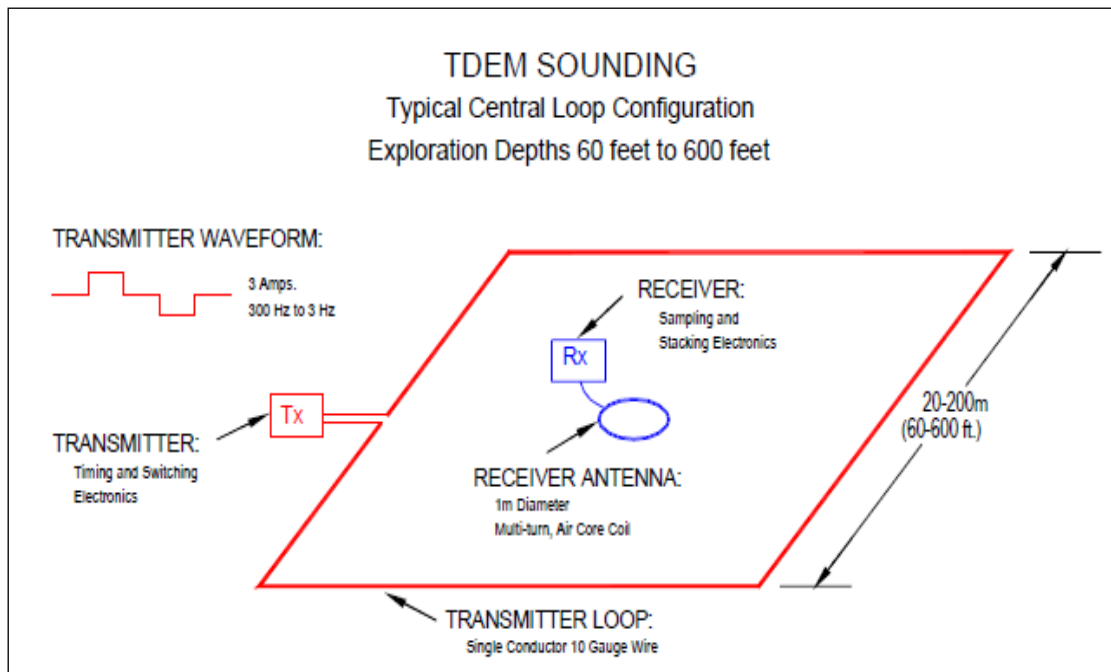
Οι δευτεροβάθμιες μετρήσεις γίνονται με χρονική σειρά και συγκεκριμένα από 10 μs σε 10 ms μετά από τη “διακοπή” του πρωτογενούς πεδίου. Οι μετρήσεις λαμβάνονται σε 20 έως 30 ιδιαίτερες «χρονικές πύλες», ή χρονικά διαστήματα, μετά από τον αρχικό προκαλούμενο παλμό. Για μελέτη βαθύτερων αγώγιμα τμημάτων, οι χρόνοι μέτρησης μπορεί να φτάσουν έως και ένα 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”.



Σχήμα 3.7: TEM βυθοσκόπηση και μοντελοποίηση

Στο **σχήμα 3.7** απεικονίζεται μία καμπύλη βυθοσκοπήσεων, όπου στην πάνω αριστερά καμπύλη παρουσιάζεται η εξασθένιση του μαγνητικού πεδίου σε συνάρτηση με το χρόνο. Η ηλεκτρική δυνατότητα που προκαλείται στη σείρα δεκτών αναφέρεται ως «ομαλοποιημένη τάση». Η καμπύλη κάτω αριστερά στο **σχήμα 3.7** παρουσιάζει μια πλοκή από τα ίδια δεδομένα που μετατρέπονται σε “πρόσφατη – σκηνή” ειδικής αντίστασης. Η καμπύλη ειδικής αντίστασης δίνει μία πιο καθαρή εικόνα για το γεωηλεκτρικό τμήμα έρευνας.

Στο δεξί μέρος του **σχήματος 3.7** παρουσιάζεται το μοντέλο του γεωηλεκτρικού τμήματος που χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την απάντηση του μοντέλου που παρουσιάζεται ως στερεά γραμμή στο αριστερό κομμάτι του **σχήματος 3.7**. Οι διακεκομμένες γραμμές στο γεωηλεκτρικό τμήμα του **σχήματος 3.7** παρουσιάζουν “ισοδύναμα” μοντέλα, δηλαδή μοντέλα των οποίων η απάντηση θα προσαρμόσει την παρατηρούμενη απάντηση με μια «απροσάρμοστη» παράμετρο μέσα σε 20% του καλύτερου μοντέλο προσαρμογής.



Σχήμα 3.8: Διαμόρφωση TDEM πεδίου

Στο **σχήμα 3.8** παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό σχεδιάγραμμα για ένα «κεντρικό βρόχο» βυθοσκόπησης TEM. Η διαδικασία περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός τετραγωνικού βρόχου του καλωδίου στην επιφάνεια του εδάφους, το οποίο περέχει ρεύμα. Το σταθερό ρεύμα στο βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων κλείνει απότομα, με αποτέλεσμα να 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 να τοποθετηθεί 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.

Τα **πλεονεκτήματα** της μεθόδου TEM είναι **1)** η ευαισθησία της σε αγωγούς που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη και **2)** ο ελαφρύς εξοπλισμός έναντι άλλων γεωφυσικών μεθόδων. Τα **μειονεκτήματα** της μεθόδου TEM είναι **1)** η χαμηλή ανάλυση των σκληρών στρωμάτων και **2)** ο υψηλός βαθμός δυσκολίας της σύγκρισης αποτελεσμάτων με τους προκαλούμενους από τον άνθρωπο αγωγούς.

3.2.6 ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ - 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. Η τεχνολογία αυτή παρέχει υψηλής ανάλυσης δεδομένα, εξαιτίας της αποτελεσματικής λειτουργίας του οργάνου υπό οποιαδήποτε συνθήκη, όπως μέτρηση σε περιοχή με έντονο θόρυβο (π.χ βιομηχανική ζώνη) ή σε δύσβατη περιοχή. Η τεχνολογία των TEM FAST 48HPC μπορεί να εφαρμοστεί με σκοπό την επίλυση πολύ δύσκολων προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών, των υδρογεωλογικών, των αρχαιολογικών και των μεταλλευτικών ερευνών, καθώς και στην MT στατική διόρθωση στροφής και άλλων. Το TEM FAST 48HPC μπορεί να λειτουργήσει-συνδεθεί με οποιοδήποτε επιτραπέζιο υπολογιστή της IBM, σημειωματάριο ή τον υπολογιστή χειρός μέσω προτύπου διεπαφής RS 232.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, το TEM FAST 48HPC δημιουργεί και στέλνει σύντομους παλμούς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στη γη, όπου η απόκριση 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. Οι αλγόριθμοι επεξεργασίας δεδομένων (μετρήσεων) που εφαρμόζονται στο TEM FAST 48HPC επιτρέπουν τον αποκλεισμό των συστηματικών σφαλμάτων που προέρχονται από τις μπαταρίες των οργάνων ή τη μεταβολή της θερμοκρασίας, ενώ αυξάνουν το σήμα του θορύβου αν το επίπεδο του σήματος είναι μικρό.



Εικόνα 3.9: Δείγμα οργάνου TEM- FAST 48 (APPLIED ELECTROMAGNETIC RESEARCH (AEMR) TEM - FAST 48HPC, aemr.net, 2010)

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

Γενικά, το TEM FAST 48HPC είναι ένα βολικό και υψηλής αποτελεσματικότητας εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιείται:

- 1) για αναζήτηση, έλεγχο και παρακολούθηση υπόγειων υδάτων
- 2) για διαρροές και υπάρχουσα ρύπανση
- 3) για ιζηματολογικές έρευνες
- 4) καθώς και για πολλές άλλες εφαρμογές

Σημειώνεται ότι το βάθος των ερευνών κυμαίνεται από ορισμένα εκατοστά, για την αναζήτηση των μικρών στόχων, έως και 100 μέτρα (και πιο ευνοϊκές συνθήκες).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ

4.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

Η εκμετάλλευση και διαχείριση των υπόγειων νερών παράκτιων υδροφόρων είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φαινόμενο της διείσδυσης της θάλασσας σε αυτούς, δηλαδή της εισροής θαλάσσιου νερού στο σύστημα των εν λόγω υδροφόρων. Η εισροή αυτή μπορεί να είναι **μόνιμη** ή συνθηθέστερα **μη μόνιμη**. Έτσι το αλμυρό νερό αντικαθιστά ίσες ποσότητες γλυκού νερού μέσα στον υδροφόρο. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η υφαλμύρωση του νερού του υδροφορέα.

Με τον όρο «υφαλμύρωση υπόγειων υδροφόρων» εννοείται η ύπαρξη, όχι μόνο γλυκού, αλλά και υφάλμυρου νερού στους υδροφορείς. Είναι το φυσικό φαινόμενο που προσβάλλει όλους τους παράκτιους υπόγειους υδροφορείς. Αυτό συμβαίνει διότι, στις παράκτιες περιοχές το γλυκό νερό των υδροφόρων έρχεται σε επαφή με το θαλασσινό, όπου αρχικά δεν αναμειγνύονται, καθώς το αλμυρό είναι βαρύτερο λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας. Όταν μειωθεί η στάθμη του γλυκού νερού, εισρέει στον υδροφόρο αλμυρό, με αποτέλεσμα να εμπλουτίζεται με χλωριούχα ιόντα που το καθιστούν ακατάλληλο για κάθε χρήση.

Η διείσδυση αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς μπορεί να οφείλεται τόσο σε **φυσικούς** παράγοντες (πχ. ανύψωση της στάθμης της θάλασσας), όσο και σε **ανθρωπογενείς** (π.χ υπεράντληση) ή ακόμα και σε συνδυασμό των δύο προηγούμενων. Η υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων αποτελεί ειδική περίπτωση υπόγειας ροής και αφορά συγκεκριμένους υδροφορείς, με γνωστά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Όταν ο ρυθμός άντλησης σε φρέατα κοντά στη θάλασσα υπερβεί το ρυθμό φυσικής ή τεχνητής επαναφόρτισης του υδροφορέα, τότε θαλάσσιο νερό εισρέει στους υδροφορείς, καταστρέφοντάς τους από πηγή πόσιμου νερού.

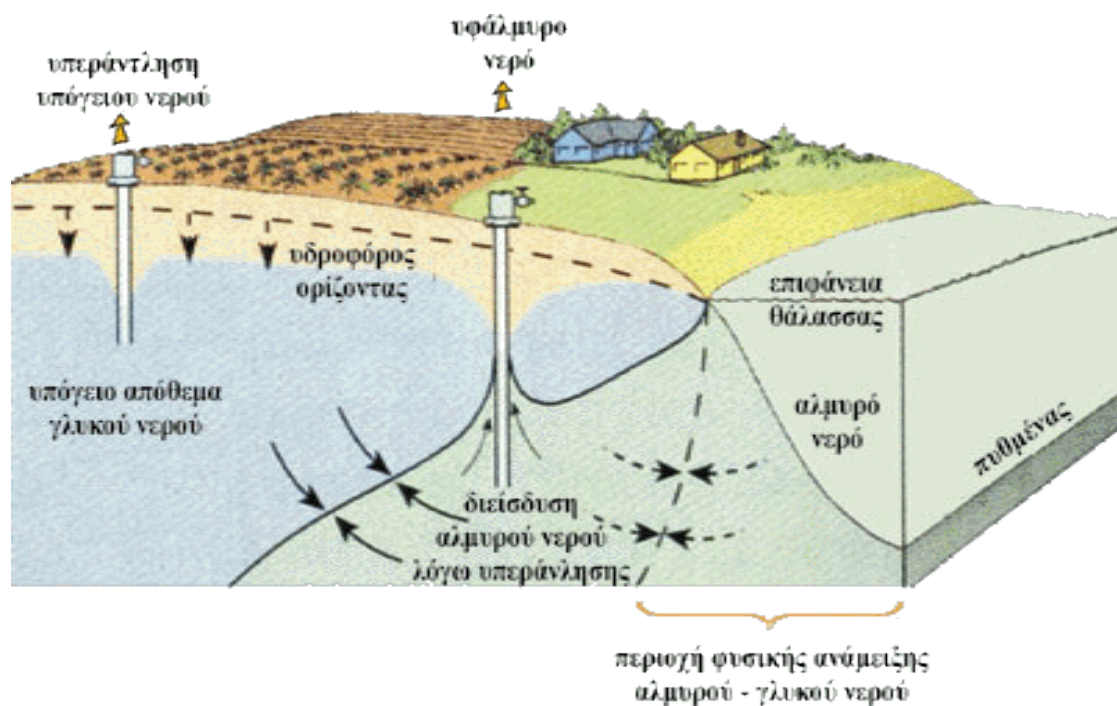
Πρέπει να τονισθεί ότι το φαινόμενο της υφαλμύρωσης θεωρείται **μη αναστρέψιμο**, γι' αυτό πρακτικά η αντιμετώπισή του συνδέεται με την πρόβλεψη και την ορθή διαχείριση.

Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης μπορεί να παρατηρηθεί, είτε σε μικρή-τοπική κλίμακα, είτε σε μεγάλη-περιφερειακή κλίμακα. Στην πρώτη περίπτωση (μικρή-τοπική κλίμακα) το πρόβλημα εμφανίζεται στην περιοχή γύρω και κάτω από ένα φρέαρ άντλησης (urconing), ενώ στη δεύτερη περίπτωση (μεγάλη-περιφερειακή κλίμακα) επηρεάζονται μεγαλύτερες

εκτάσεις, κυρίως από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως πχ. από εγχειοβελτιωτικά έργα.

Η υφαλμύρωση έχει αρνητικές επιπτώσεις στις περιοχές στις οποίες εμφανίζεται. Η ρύπανση των υδάτων τα καθιστά ακατάλληλα για χρήση από τον άνθρωπο με συνέπεια, κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα, όπως την πλήξη του τουρισμού, της γεωργίας και της βιομηχανίας, με αποτέλεσμα τον μαρασμό των περιοχών αυτών.

Ως φυσικό επακόλουθο της υφαλμύρωσης των υπόγειων υδάτων είναι, εκτός των άλλων, και το φαινόμενο της ερημοποίησης, το οποίο καθιστά τις περιοχές ακατάλληλες για διαβίωση. Να σημειωθεί ότι για την πλήρη απορρύπανση του γλυκού νερού, δηλαδή για την οριστική αντιστροφή του φαινομένου της υφαλμύρωσης απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλο χρονικό διάστημα.



Σχήμα 4.1: Αναπαράσταση του φαινομένου της υφαλμύρωσης

4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ

Το πρόβλημα της υφαλμύρωσης είναι ιδιαίτερα σύνθετο και δεν είναι απλός ο τρόπος προσέγγισής του. Μία τεχνική, η οποία ακολουθείται, είναι η εφαρμογή μεθόδων μαθηματικής προσομοίωσης με σκοπό τη διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων. Επομένως, για την αντιμετώπισή του προβλήματος απαιτούνται, αφενός εξειδικευμένες γνώσεις για ένα ιδιαίτερα δυσχερές φαινόμενο, όπως είναι η υφαλμύρωση, αφετέρου δυνατότητα

χρήσης μεθόδων εφαρμοσμένων μαθηματικών προσομοιώσεων και προσαρμογής των τεχνικών αυτών στις απαιτήσεις του υπό εξέταση προβλήματος.

Η μαθηματική προσομοίωση αποτελεί για τον μελετητή ένα δυναμικό εργαλείο που διευκολύνει την διεξαγωγή συμπερασμάτων για την ορθή διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων και επιτρέπει την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους για διάφορες υποθετικές καταστάσεις (σενάρια). Οι εφαρμοσμένες αυτές μαθηματικές προσομοιώσεις είναι χρήσιμες επίσης στις αναγνωριστικές έρευνες, σε φάσεις προκαταρκτικής μελέτης ή προμελέτης ενός έργου, για την ερμηνεία της συμπεριφοράς υδροφορέα μετά από μετρήσεις πεδίου.

Βασική προϋπόθεση για τη σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος είναι τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μαθηματική προσομοίωση και την εφαρμογή του συγκεκριμένου υπολογιστικού προγράμματος να είναι “σωστά”, δηλαδή να αντιπροσωπεύουν ακριβώς τον υπό μελέτη υδροφορέα. Συνεπώς, η εκπόνηση αξιόπιστων εφαρμοσμένων μαθηματικών προσομοιώσεων είναι αναγκαία.

Οι Badon-Ghyben (1888) και Herzberg (1901) είναι οι πρώτοι ερευνητές που ασχολήθηκαν με το φαινόμενο της υφαλμύρωσης, όπου διαπίστωσαν ότι :

«Η στάθμη του θαλάσσιου νερού στο έδαφος δεν βρίσκεται στο επίπεδο της θάλασσας, αλλά κάτω από αυτό, 40 περίπου φορές τη διαφορά στάθμης του γλυκού νερού από το επίπεδο της θάλασσας».

Η σχέση αυτή, γνωστή με το όνομα Ghyben-Herzberg, προκύπτει από την υδροστατική ισορροπία μεταξύ αλμυρού και γλυκού νερού, λόγω των διαφορετικών πυκνοτήτων που χαρακτηρίζουν τα δυο αυτά υγρά.

Η εισροή του υφάλμυρου θαλασσινού νερού θεωρείται ακίνητη, η πίεση στη διεπιφάνεια είναι ίδια και για τις δύο περιοχές, ενώ θεωρείται ότι ισχύει η γνωστή παραδοχή Dupuit.

Ορίζοντας ως:

- h_f : το ύψος του γλυκού νερού πάνω από τη στάθμη της θάλασσας
- h_s : τη θέση της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού κάτω από αυτήν
- γ_f, γ_s : τα ειδικά βάρη γλυκού και αλμυρού νερού, αντίστοιχα.
- δ : ο λόγος $\frac{\gamma_f}{(\gamma_s - \gamma_f)}$

ισχύει ότι $h_s \times \gamma_s = (h_f + h_s) \times \gamma_f$

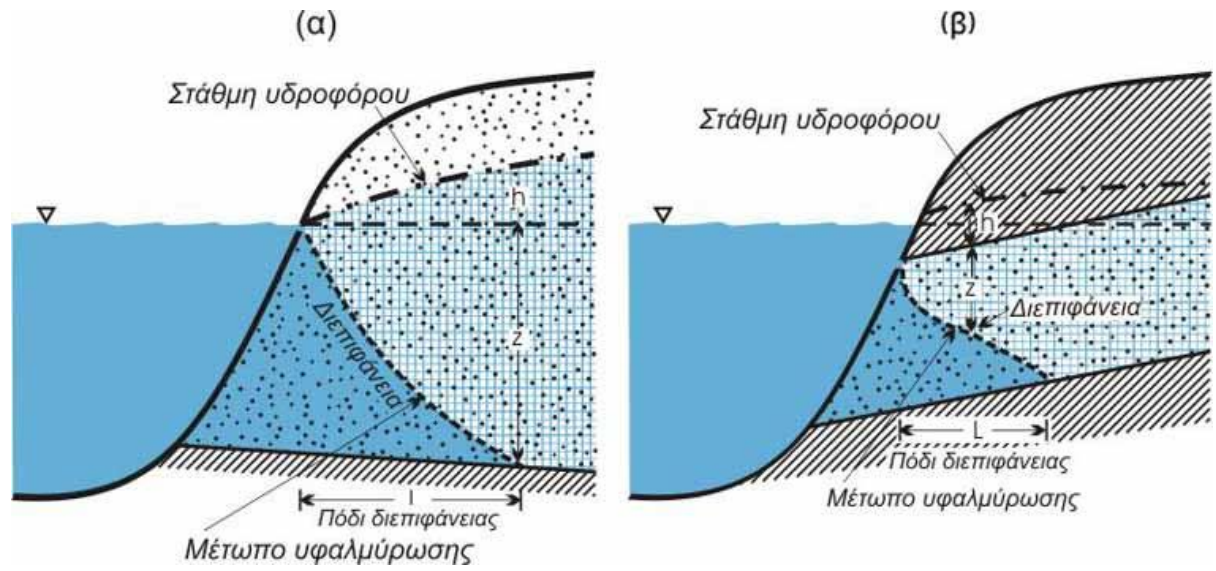
$$\Rightarrow h_s = \frac{\gamma_f}{\gamma_s - \gamma_f} \times h_f = \delta \times h_f$$

Η σχέση αυτή επιτρέπει τον υπολογισμό της θέσης της διεπιφάνειας μόνο από τη στάθμη του γλυκού νερού στα φρέατα παρατήρησης.

Η χρήση της εξίσωσης Ghyben-Herzberg επιτρέπει την εύρεση της θέσης της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού, ως εξής:

- Με βάση παρατηρήσεις από φρέατα της περιοχής, κατασκευάζεται ο πιεζομετρικός χάρτης του υδροφορέα για το γλυκό νερό.
- Τα πιθανά βάθη της διεπιφάνειας υπολογίζονται από την προαναφερθείσα εξίσωση, άρα ισχύει ο ίδιος πιεζομετρικός χάρτης πολλαπλασιασμένος με διαφορετικό συντελεστή.
- Από τη γεωλογική μελέτη είναι γνωστή η θέση του πυθμένα του υδροφορέα.
- Η τομή των δύο επιφανειών, της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού και της βάσης του υδροφορέα, αποτελεί τον πόδα της αλάτινης σφήνας.
- Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί για περιοσμένους και φρεάτιους υδροφορείς.
- Δεν ισχύει η παραδοχή της οριζόντιας ροής. Υπάρχουν σημαντικές κατακόρυφες συνιστώσες ταχυτήτων.
- Η προσέγγιση Ghyben-Herzberg δεν επιτρέπει τον υπολογισμό επιφάνειας από την οποία πραγματοποιείται διέξοδος γλυκού νερού προς τη θάλασσα.
- Η διεπιφάνεια αλμυρού-γλυκού νερού συνήθως δεν είναι ακίνητη, αλλά κινείται προς το εσωτερικό του υδροφορέα.

- Η προσέγγιση Ghyben-Herzberg δεν μπορεί να προβλέψει στην περίπτωση φρεατίων υδροφόρων την επιφάνεια διήθησης.



Σχήμα 4.2: Πλάγια όψη περιοχής υφαλμύρωσης.

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ

Με τον όρο «τεχνητός εμπλουτισμός» εννοείται η προσθήκη από τον άνθρωπο, επιπλέον υδατικών αποθεμάτων στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ποσότητα του γλυκού νερού στον υδροφόρο και βελτιώνεται η ποιότητα του. Χρειάζεται, βεβαίως, ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα του νερού που διοχετεύεται, καθώς προσθήκη ρυπασμένου νερού είναι δυνατό να μολύνει σε μεγάλο βαθμό τον υδροφόρο και να μετατρέψει τις διαθέσιμες ποσότητες του νερού σε ακατάλληλες για χρήση.

Η μέθοδος του τεχνητού εμπλουτισμού χρησιμοποιείται και στην αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης, εφόσον το θαλασσινό νερό που διυσδύει στον υδροφόρο, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, θεωρείται μια μορφή ρύπανσης για το υπόγειο νερό. Έτσι λοιπόν, με την προσθήκη περίσσειας ποσότητας νερού στον υδροφόρο, διατηρείται η στάθμη του γλυκού νερού πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και τελικά αποτρέπεται η διείσδυση του θαλασσινού νερού σε αυτόν.

Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί για τον εμπλουτισμό μπορεί να προέρχεται από επεξεργασμένα λύματα, υπό τον όρο ότι αυτά θα έχουν αποστειρωθεί, σύμφωνα με τους κανονισμούς και τις προδιαγραφές που ορίζει ο νόμος.

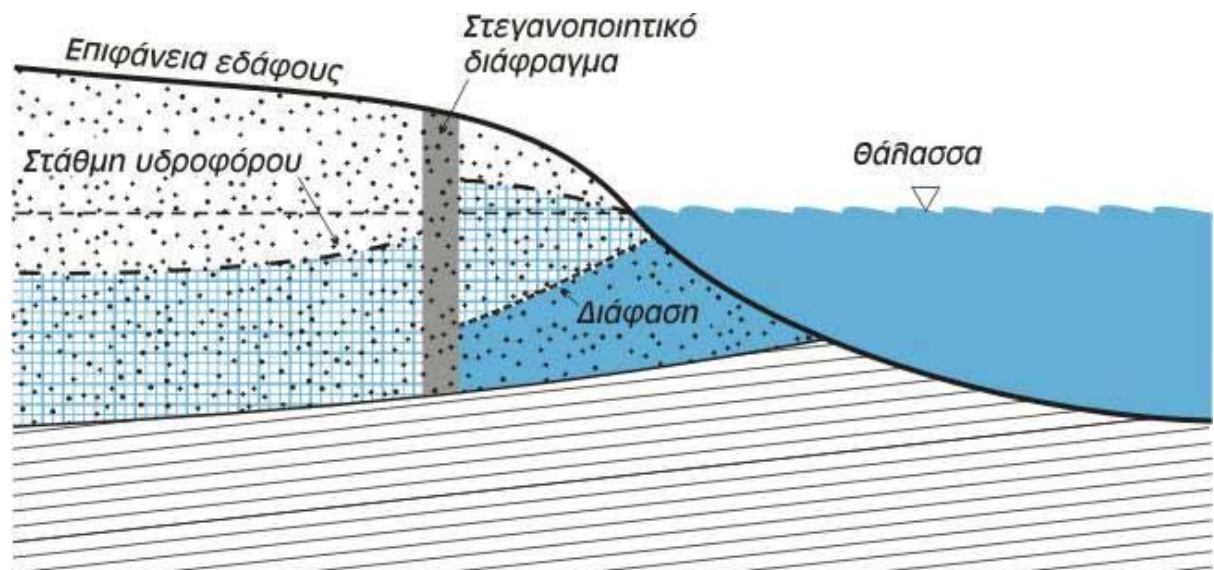
Πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην τακτική παρακολούθηση της διαδικασίας καθώς και μια ελάχιστη ποσότητα μολυσμένου νερού μπορεί να καταστρέψει τον υδροφόρο. Οπότε, πρέπει να ελέγχεται συνέχεια η ποιότητα των υδάτων πριν αυτά χρησιμοποιηθούν από τον άνθρωπο.

Γενικά, συμπεραίνουμε ότι με τον τεχνητό εμπλουτισμό μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ένα βαθμό το πρόβλημα της διαχείρισης υδατικών πόρων.

4.4 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΗΣΗ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα η αντιμετώπιση του φαινομένου της υφαλμύρωσης βρίσκεται ακόμη σε αρχικά στάδια. Η έλλειψη πρωτογενών δεδομένων για την ποιότητα των υδάτων στην χώρα, η μη σύσταση ενιαίου φορέα για την διαχείριση των υδατικών πόρων και η μη έγκαιρη συμμόρφωση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι μόνο μερικές από τις αιτίες που η αντιμετώπιση του φαινομένου δεν έχει άμεση εφαρμογή. Η μόνη ουσιαστική προσπάθεια διαχείρισης και αντιμετώπισης του φαινομένου έγινε στο Αργολικό πεδίο, καθώς εκεί εμφανίστηκε πρόβλημα υφαλμύρωσης για πρώτη φορά και από τότε υπάρχει μεγάλο πλήθος μετρήσεων για την ποιότητα του νερού. Παρόμοια προσπάθεια με αυτή έχει γίνει και στην βιομηχανική περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης.

Η υφαλμύρωση στην Ελλάδα έχει αντιμετωπιστεί κυρίως με την χρήση της μεθόδου τεχνητού εμπλουτισμού. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε κάποιες περιοχές έχουν γίνει έρευνες και προσπάθειες για την αντιμετώπιση του φαινομένου, κυρίως με εφαρμογή πειραματικών μεθόδων ή με δημιουργία φραγμάτων για συγκράτηση των επιφανειακών υδάτων (έμμεση αντιμετώπιση). Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζεται η κατασκευή ενός τέτοιου φράγματος.



Σχήμα 4.3: Κατασκευή φράγματος με σκοπό την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης.

Η έλλειψη πρωτογενών δεδομένων και στοιχείων από τις υφάλμυρες περιοχές της Ελλάδας αποτελεί τον αρχικό ανασταλτικό παράγοντα για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Σημαντικό είναι, επίσης, το γεγονός της έλλειψης ενός ενιαίου φορέα διαχείρισης υδατικών πόρων, κάτι το οποίο έχει αρνητικές συνέπειες στην καταγραφή και συγκέντρωση πληροφοριών που αφορούν τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα της χώρας.

Οι μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί κατά καιρούς στην Ελλάδα με σκοπό την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης δεν σχετίζονται με την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, όπως, για παράδειγμα, την μείωση της υπεράντλησης. Συνήθως, εφαρμόζονται εκ των υστέρων μέθοδοι, οι οποίες είναι χρονοβόρες και οικονομικά ασύμφορες, ενώ ενέχουν μεγάλους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Η μη ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων θα έχει στο άμεσο μέλλον σοβαρό αντίκτυπο στην ποιότητα και την ποσότητα του διαθέσιμου νερού.

Ο κυριότερος, όμως, λόγος είναι η έλλειψη ενός νομοθετικού πλαισίου που θα καλύπτει το πρόβλημα της υφαλμύρωσης, θεωρώντας το ως πρόβλημα ρύπανσης των υπογείων υδάτων. Είναι επιτακτική η ανάγκη να εφαρμοστεί η Οδηγία 2000/60/ΕΚ σύμφωνα με τον Ελληνικό Νόμο που εναρμονίζεται με αυτή, αλλά και να υπάρχουν αυστηρότατοι έλεγχοι που να αφορούν την περιβαλλοντική αδειοδότηση για την παραχώρηση άδειας γεώτρησης. Η αδιαφορία της κυβέρνησης και των πολιτών ίσως αποβεί, αν δεν έχει ήδη συμβεί αυτό, καταστρεπτική για το πολυτιμότερο φυσικό αγαθό, το νερό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΛΛΟΓΗ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων, τα οποία προέκυψαν από την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο παροδικών κυμάτων - TEM (Transient Electromagnetic Method) που εφαρμόστηκε στην περιοχή «Τυμπάκι». Για την διεξαγωγή συμπερασμάτων απαιτείται η απεικόνιση των δεδομένων αυτών σε χάρτη.

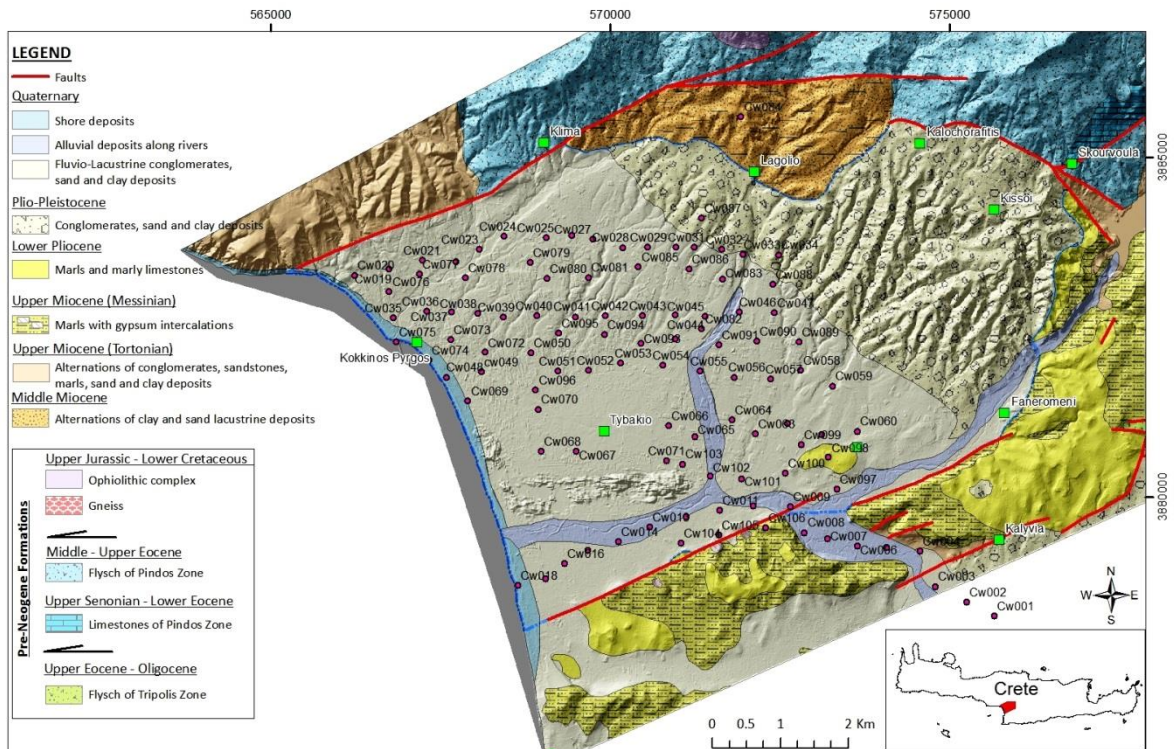
Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η διαδικασία της επεξεργασίας, της ανάλυσης και τελικά της μοντελοποίησης των δεδομένων που συλλέχτηκαν.

5.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗΣ

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν τον Φεβρουάριο του 2013. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 100 μετρήσεις μονοδιάστατης βυθοσκόπησης με τη μέθοδο των παροδικών κυμάτων – TEM, 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). Σε κάθε σημείο της περιοχής πραγματοποιήθηκε μια σειρά μετρήσεων, προκειμένου να καθοριστούν και να αποφευχθούν οι επιδράσεις του θορύβου και να επιτευχθεί βελτιστοποίηση των δεδομένων.

Η σωστή επιλογή κατάλληλων σημείων, ο μεγάλος αριθμός μετρήσεων καθώς και η ορθή τοποθέτηση του βρόχου, κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της μεθόδου, είναι μερικές βασικές προϋποθέσεις που εξασφαλίζουν την αποφυγή θορύβου.

Στο **σχήμα 5.1** που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι θέσεις που πραγματοποιήθηκαν σημειακές μετρήσεις της ειδικής αντίστασης του εδάφους με τη μέθοδο παροδικών κυμάτων.



Σχήμα 5.1: Σημεία που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με τη μέθοδο TEM.

5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗΣ

Το TEM FAST 48HPC σύστημα είναι εξοπλισμένο με ένα λογισμικό βάσης δεδομένων που εξασφαλίζει τον έλεγχο και την προβολή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σε ψηφιακή μορφή. Επίσης, προκύπτουν καμπύλες ειδικής αντίστασης και ορισμένα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος θορύβου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Υπάρχει η δυνατότητα προβολής των χαρακτηριστικών του θορύβου κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Το TEM FAST 48HPC σύστημα διαθέτει, επίσης, πακέτο λογισμικού TEM-RESEARCHER (TEM-RES manual, 2007) για γρήγορη λύση αντίστροφου προβλήματος, ανάλογα με 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.

5.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗΣ

Η μοντελοποίηση των δεδομένων μπορεί να γίνει από το λογισμικό TEM-RES, είτε **1)** με **μετασχηματισμό** (transformation), είτε **2)** με **αντιστροφή** (inversion) των δεδομένων.

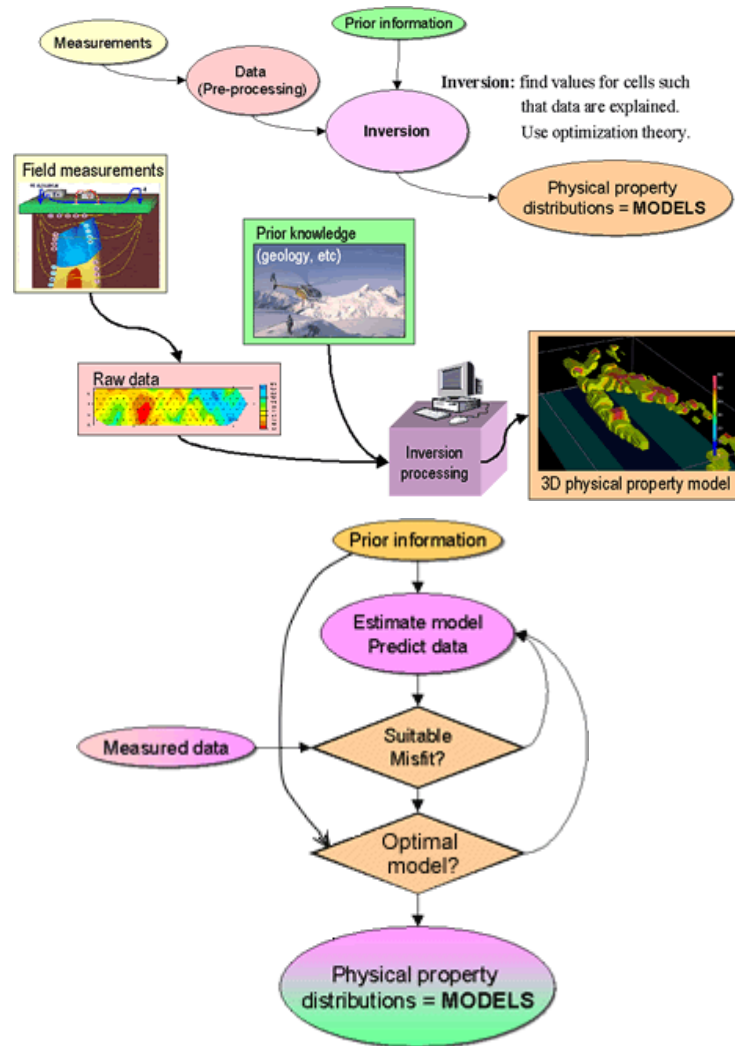
Η μοντελοποίηση με βάση τον μετασχηματισμό των δεδομένων είναι μια γρήγορη και απλή προσέγγιση στην ερμηνεία EM, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί επί τόπου ή μετά την απόκτηση των στοιχείων TEM.

Η μοντελοποίηση με βάση την αντιστροφή των δεδομένων είναι μια μαθηματική διαδικασία που μπορεί να πάρει πολλές μορφές.

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", (Oldenburg και Jones, 2007).

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 4.2) (Oldenburg και Jones, 2007).

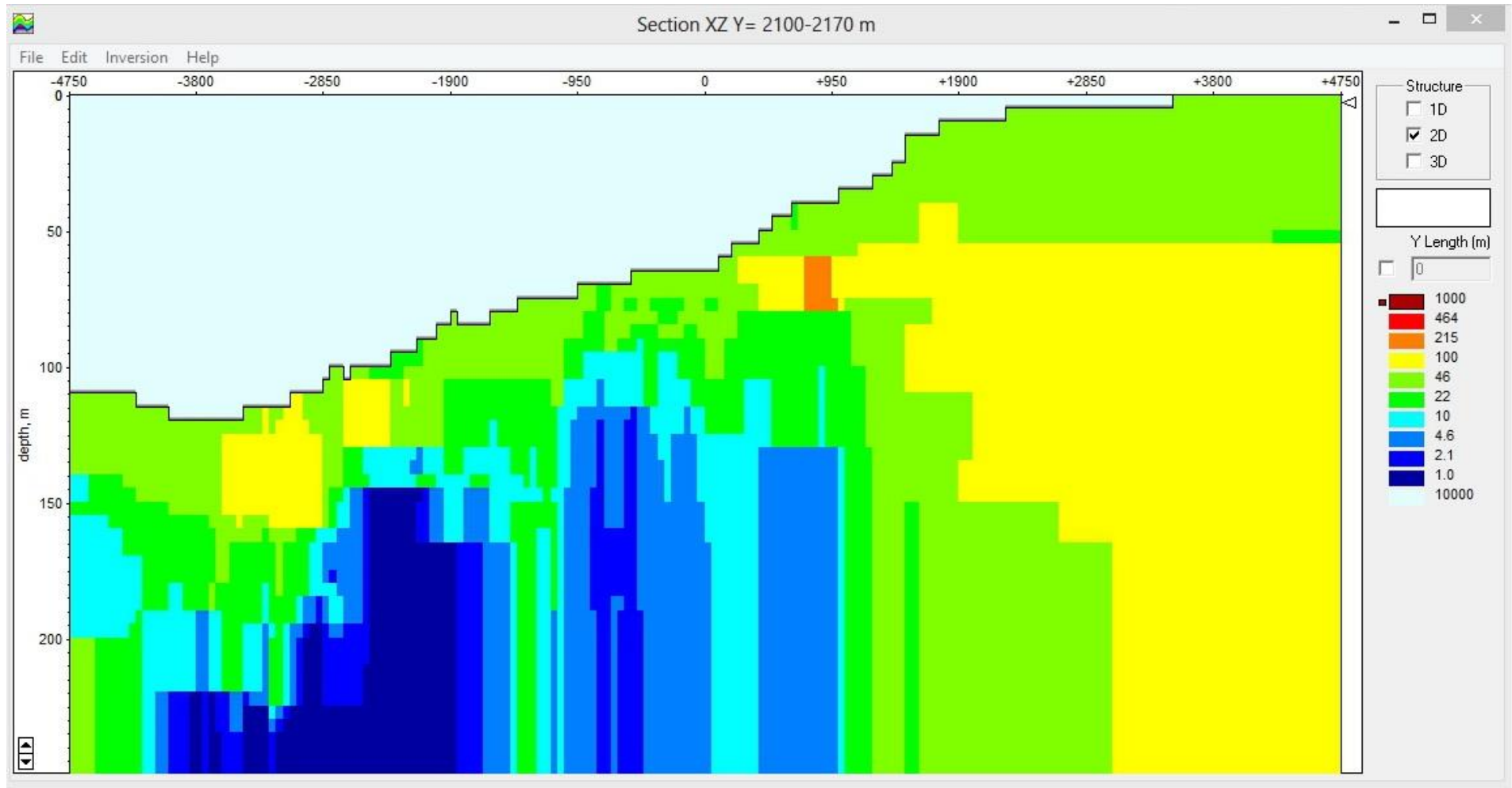


Σχήμα 5.2 Διαγράμματα ροής που δείχνουν τα βασικά βήματα της αντιστροφής. Τα βέλη δείχνουν τον τρόπο που οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται και που εμφανίζεται επανάληψη (feedback). (Oldenburg and Jones, 2007).

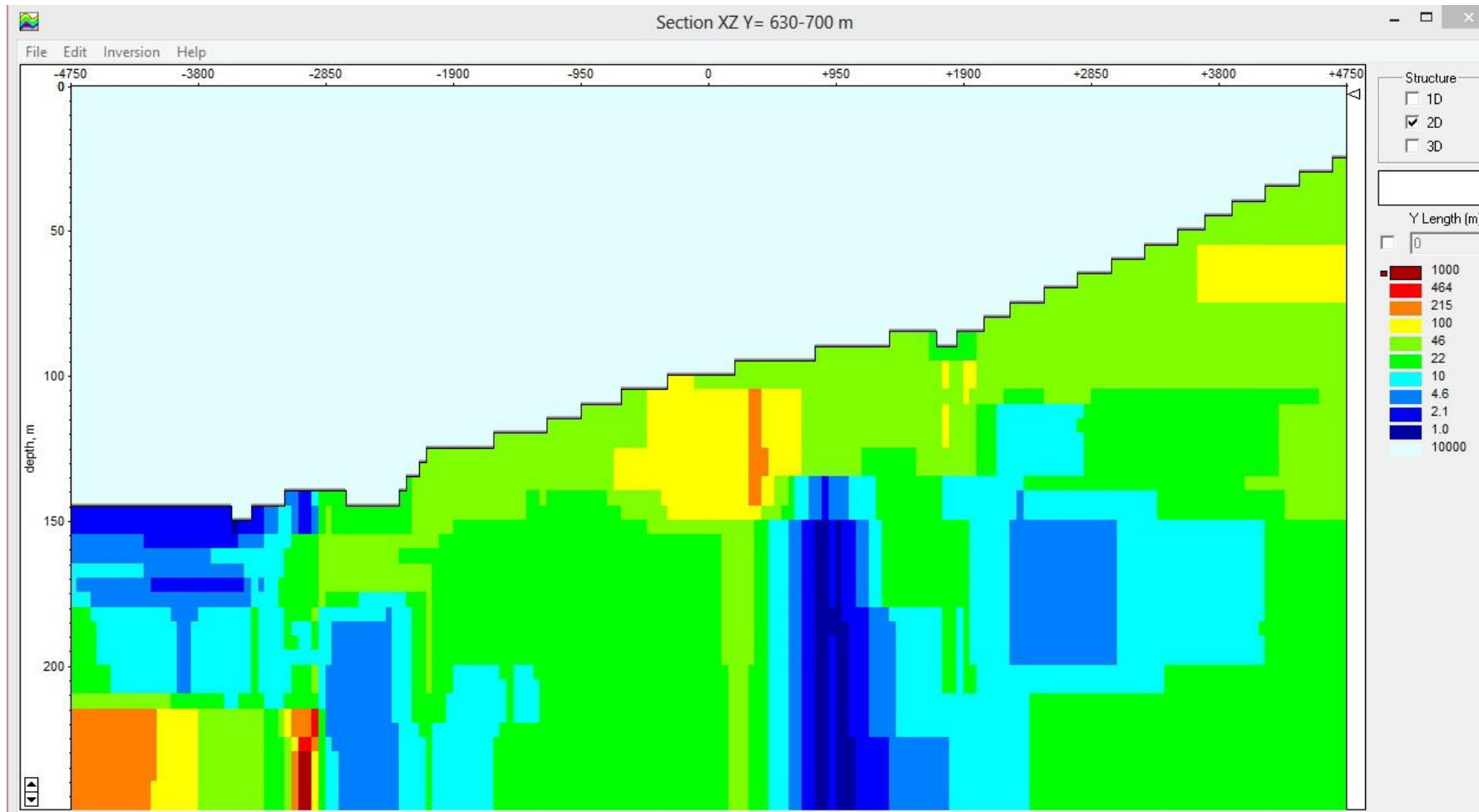
Παρακάτω, (σχήμα 5.3) παρουσιάζεται το διδιάστατο (2-D) μοντέλο που προέκυψε από την επεξεργασία των μετρήσεων με τομή τη διεύθυνση Β-Ν στο μέσο τους. Στο σχήμα 5.4 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της τομογραφίας με διεύθυνση Α-Δ στο Νότιο τμήμα της περιοχής, ενώ στο σχήμα 5.5 το αντίστοιχο αποτέλεσμα για την τομογραφία με την ίδια διεύθυνση στο Βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 5.3 : Σκαρίφημα των μετρήσεων στην περιοχή μελέτης. Η συνεχόμενη απαλή γραμμή ορίζει την τομή της περιοχής με διεύθυνση B-N. Οι μαύρες παιές γραμμές ορίζουν τομογραφίες.



Σχήμα 5.4: Αποτέλεσμα ψευδοτομής στη διεύθυνση Α-Δ στο Νότιο τμήμα. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αναπαριστά τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.



Σχήμα 5.5: Αποτέλεσμα ψευδοτομής στη διεύθυνση Α-Δ στο βόρειο τμήμα. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αναπαριστά τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ & ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σύμφωνα με το διδιάστατο (2-D) μοντέλο που προκύπτει από την μοντελοποίηση με αντιστροφή (σχήματα 5.4 και 5.5), παρατηρούμε ότι στο Νότιο τμήμα της περιοχής οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μειώνονται σημαντικά. Η μείωση αυτή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης υποδηλώνει την διείσδυση θαλασσινού νερού στο ηπειρωτικό μέρος, με αποτέλεσμα την υφαλμύρωση των υδάτων του υπόγειου υδροφορέα.

Αυτό συμβαίνει διότι, στις παράκτιες περιοχές το γλυκό νερό των υδροφόρων έρχεται σε επαφή με το θαλασσινό, όπου δεν αναμειγνύονται καθώς το αλμυρό είναι βαρύτερο, λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας.

Η υφαλμύρωση έχει αρνητικές επιπτώσεις στις περιοχές στις οποίες εμφανίζεται. Η ρύπανση των υδάτων τα καθιστά ακατάλληλα για χρήση από τον άνθρωπο με συνέπεια, κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα, όπως την πλήξη του τουρισμού, της γεωργίας και της βιομηχανίας, με αποτέλεσμα τον μαρασμό των περιοχών αυτών.

Ως φυσικό επακόλουθο της υφαλμύρωσης των υπόγειων υδάτων είναι, εκτός των άλλων, και το φαινόμενο της ερημοποίησης, το οποίο καθιστά τις περιοχές ακατάλληλες για διαβίωση. Να σημειωθεί ότι για την πλήρη απορρύπανση του γλυκού νερού, δηλαδή για την οριστική αντιστροφή του φαινομένου της υφαλμύρωσης απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλο χρονικό διάστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ηλεκτρομαγνητική γεωφυσική μέθοδος TEM που εφαρμόστηκε στην περιοχή, είναι χρήσιμη για την μελέτη της δομής του υπεδάφους και ειδικά για υδρογεωλογικούς σκοπούς. Είναι μια εύκολη και γρήγορη μέθοδος που, όμως, επηρεάζεται από την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικού θορύβου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι, στο νότιο τμήμα της περιοχής που μελετήσαμε, εμφανίζεται το φαινόμενο υφαλμύρωσης. Το φαινόμενο παρατηρείται σε σχετικά μεγάλο βάθος (>150 μέτρων) και ενδέχεται να επηρεάζει την άρδευση της περιοχής, αν γίνεται άντληση νερού από βάθη ίσα ή μεγαλύτερα από αυτό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ι.Γ.Μ.Ε., 1971. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας. Κλίμακα 1:500.000. Έκδοση Ι.Γ.Μ.Ε., 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, Μάιος-Αύγουστος 2011.