ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Εφαρμογή υδρογεωλογικών & γεωφυσικών μεθόδων για τη μελέτη ευαίσθητου παράκτιου υδροφορέα, ευρύτερη περιοχή Γεροπόταμου, Νομού Ρεθύμνης"

ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΣΑΡΡΙΔΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:
Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη

ΧΑΝΙΑ 2011

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 hydrogeological and geophysical methods for studying sensitive coastal aquifer, region of Geropotamos, Rethymnon, Crete, Greece"

KANELLOPOULOS PANAYIOTIS
SARRIDOU PANAYIOTA

Supervisor
Dr. Despina Kalisperi

CHANIA 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Δρ. Παντελή Σουπιό για την πολύτιμη βοήθειά του και υποστήριξη του κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μας εργασίας.
Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την επιβλέπουσα καθηγήτρια Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη για την άψογη συνεργασία μας στο ύπαιθρο που χωρίς τη βοήθεια της δεν θα είχε υλοποιηθεί η διπλωματική εργασία.
Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την υπομονή που δείχνουν, την υλική και ψυχολογική υποστήριξή τους.
Η διπλωματική εργασία αποτελεί τμήμα της διδακτορικής διατριβής της Δέσποινας Καλησπέρη (Kalisperi, 2009).

Η παρούσα εργασία παρουσιάστηκε στην Αθήνα τον Οκτώβριο του 2008 στο διεθνές συνέδριο AQUA 2008 με τίτλο «IMPLEMENTATION OF HYDROGEOPHYSICAL (TEM) MEASUREMENTS IN A COMPLEX COASTAL AQUIFER, NORTHERN CRETE, GREECE» και το σύγγραμμα επισυνάπτεται στο παράρτημα Α.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

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

Επιβλέπουσα*: Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λεκάνη του Γεροποτάμου βρίσκεται στο βόρειο-κεντρικό τμήμα της Κρήτης όπου εκεί παρατηρείται διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφορέα (φαινόμενο υφαλμύρινσης), έχοντας ως αντίκτυπο την ρύπανση του υπόγειου νερού. Η γεωλογία της περιοχής χαρακτηρίζεται ως πολύπλοκη περιλαμβάνοντας τη φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά στα Βόρεια, η σειρά Plattenkalk (υπόβαθρο, Ταλέα Όρη) στα Ανατολικά, Δυτικά και κεντρικά καλύπτεται από σύγχρονα ιζήματα, ενώ τα ρήγματα έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Στην περιοχή μας εφαρμόσαμε την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (διεθνώς γνωστή ως TEM) και πραγματοποιήθηκαν 90 βυθοσκοπήσεις σε 30 θέσεις (μεταξύ τους απόσταση περίπου 200 μέτρα κατά χ άξονα). Μετά από επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων υπαίθρου, ακολούθησε μοντελοποίηση (με αντιστροφή), όπου προέκυψαν 1D μοντέλα και κατασκευάστηκαν 2D απεικονίσεις (προφίλ) των γεωηλεκτρικών δομών.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η υφαλμύρινση είναι όντως η κύρια αιτία ρύπανσης αυτής της ευαίσθητης περιοχής και οι ρηξιγενείς ζώνες στον φαινομενικά αδιαπέρατο σχηματισμό των Φυλλιτών-Χαλαζιτών φαίνεται να είναι η δίοδος του θαλασσινού νερού προς τον παράκτιο υδροφορέα.

ABSTRACT

The Geropotamos aquifer on the north-central coast of Crete, Greece, is invaded in some places by salt water, with impact on freshwater supplies. The geological setting of the study area is considered complex, as the phyllite-quartzite nappe lays on the northern part of Geropotamos basin, the Plattenkalk nappe (the bedrock) in the eastern part and Neogene and Miocene rocks in the western and central part of the study area. The local tectonic regime is characterized by faults of NW-SE and NE-SW directions. Investigation of the aquifer using Transient ElectroMagnetic method (known as TEM) and 90 TEM soundings in 30 sites have been carried out (about 200m in X dimension). After data processing and analysis, 1D models and 2D imaging (profiles) of geoelectric structures were resulted.

The interpretation showed that seawater intrusion is the most probable cause for groundwater salination and that saline intrusion is likely to occur along fractures in a fault zone through otherwise low-permeability phyllite-quartzite bedrock.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ……. 4

ABSTRACT …… 5

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ …… 6

ΠΡΟΛΟΓΟΣ …… 7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ …… 8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ……. 13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΕΜ…….. 20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΣΥΛΛΟΓΗ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ…… 32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ – ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ……. 36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ …… …….. 38

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ…… 40

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ…….. 42

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι πρόσφατες αλλαγές στο κλίμα προήλθαν τόσο από φυσικά όσο και από ανθρώπινα αίτια. Έρευνες δίνουν έμφαση στην ανάγκη να εξασφαλίσουν αξιόπιστες παροχές νερού ειδικά στις περιοχές που το νερό είναι λιγοστό. Η Μεσόγειος και ιδιαίτερα τα νησιά της επηρεάζονται περισσότερο λόγω της γεωγραφικής θέσης τους και του κλίματος. Ένα ιδιαίτερο πρόβλημα είναι η διείσδυση θαλασσινού νερού (Donta, 2005).

Το νησί της Κρήτης έχει υποβληθεί σε μια γρήγορη και ουσιαστική οικονομική ανάπτυξη κατά την διάρκεια των τελευταίων 35 ετών. Αυτό οφείλεται όχι μονό λόγω του τουρισμού αλλά και λόγω της αλλαγής του τρόπου καλλιέργειας (γεωργίας). Με την παρούσα γεωφυσική μελέτη γίνεται προσπάθεια αποτύπωσης της έκταση της διείσδυσης θαλασσινού νερού στον ευαίσθητο υδροφορέα της λεκάνης του Γεροπόταμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

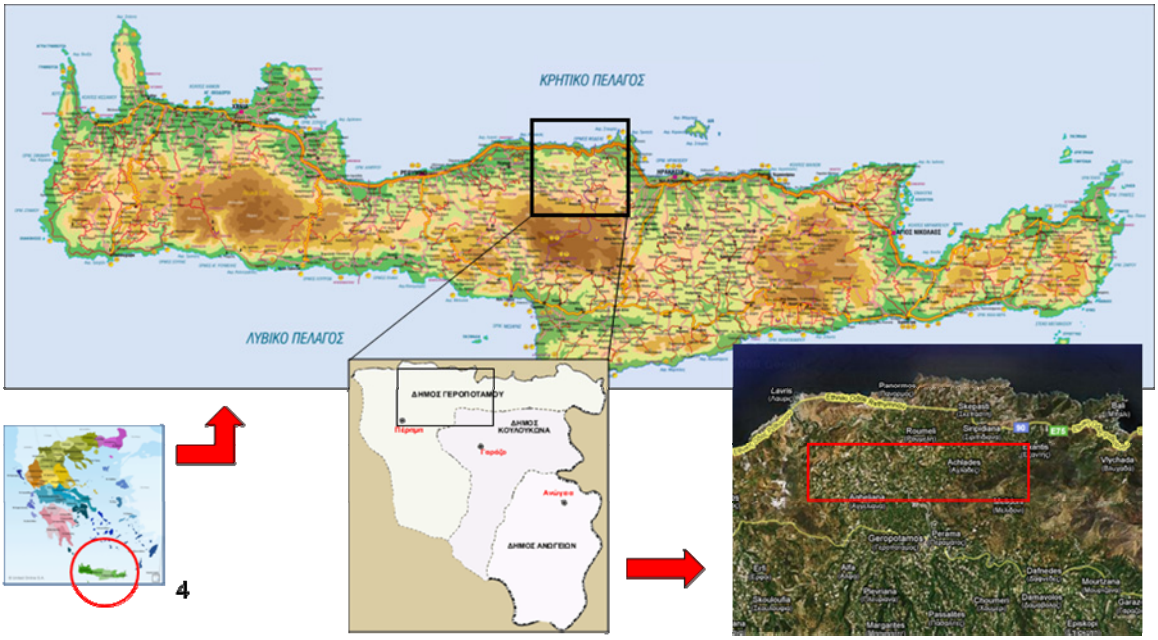
Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή υδρογεωλογικών και γεωφυσικών μεθόδων για τη μελέτη ευαίσθητου παράκτιου υδροφορέα, στην ευρύτερη περιοχή του Γεροπόταμου, βόρεια του Νομού Ρεθύμνης.

Για την επίτευξη του σκοπού, η έρευνα περιλαμβάνει δύο φάσεις. Αρχικά, συλλέξαμε πληροφορίες για την γεωλογία και υδρογεωλογία της περιοχής μελέτης από τους δημόσιους φορείς (ΙΓΜΕ, ΟΑΔΥΚ, Δήμο Γεροποτάμου, κτλ), για την κατανόηση του προβλήματος. Στη συνέχεια 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 όλων των δεδομένων.

1.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

1.2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ο Δήμος Γεροποταμου βρίσκεται βόρειο-κεντρικά της Κρήτης και συγκεκριμένα η περιοχή μελέτης είναι στο βόρειο τμήμα του δήμου. Απέχει 30 χιλιόμετρα ανατολικά από το Ρέθυμνο και μερικά χιλιόμετρα πριν από το Μπαλί και έχει έκταση 40 km^2 .Η περιοχή ερευνάς μας καλύπτει 4 δημοτικά διαμερίσματα (Αγγελιανά, Ρουμελή, Αχλαδές, Πέραμα) όπου περιέχονται 7 χωριά (Πέραμα, Αγγελιανά, Αχλαδές, Μελιδόνι, Εξάντης, Πάνορμος και Ρουμελή). Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή που έγινε από την Εθνική στατιστική υπηρεσία ο πληθυσμός που καταγράφηκε ανέρχεται σε 2961 άτομα.



Εικ.1 Γεωγραφική θέση περιοχής έρευνας

1.2.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η οικονομία της περιοχής βασίζεται στην κτηνοτροφία, στη γεωργία, στον τουρισμό και σε μικρές βιομηχανίες. Επειδή το καλοκαίρι ο πληθυσμός της περιοχής έχει μεγάλη αύξηση λόγω του τουρισμού και της γεωργίας, αυτό συνεπάγεται και σε μεγάλη αύξηση στη ζήτηση νερού.

1.2.3 ΧΡΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

Η αυξημένη ζήτηση σε νερό καλύπτεται κυρίως μέσω άντλησης από τις δημοτικές γεωτρήσεις ή από πηγαίες αναβλύσεις, ενώ σημαντικό πρόβλημα υπάρχει στην ορεινή ζώνη όπου για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών πολλές φορές γίνεται η μεταφορά του νερού μέσω υδροφόρων οχημάτων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η αστική χρήση είναι η κυριότερη ζήτηση , ενώ άλλοι μεγάλοι καταναλωτές είναι ο τουρισμός και κάποια μικρής κλίμακας βιοτεχνική δραστηριότητα.

1.2.4 ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ

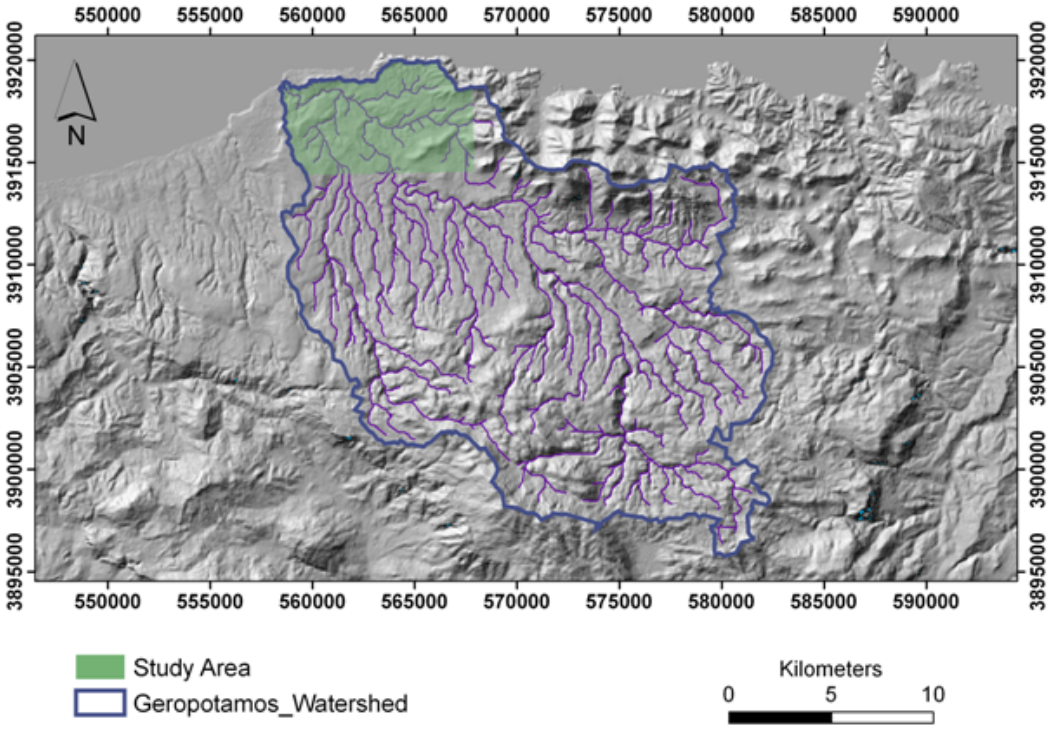
Στην περιοχή μας το μεγαλύτερο κομμάτι γης είναι καλλιεργήσιμο όπου το 70% καλλιεργείται από ελαιόδεντρα και το άλλο 30% από φρούτα λαχανικά και αμπέλια. Επίσης, υπάρχουν και φάρμες με πρόβατα και αίγες .Το νερό που χρειάζεται για την καλλιέργεια και την κτηνοτροφία σ ένα χρόνο συμφώνα με την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία είναι 18,000,000 m^3. Τέλος στην περιοχή βρίσκονται 4 μικρά ελαιουργεία και 1 τσιμεντοβιομηχανία.

1.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ & ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

1.3.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η λεκάνη του Γεροπόταμου έχει έκταση 375 km^2 και το υψόμετρο κυμαίνεται από 0-2.456 m με μέσο υψόμετρο 106,4 m.

Η περιοχή ερευνάς είναι στο βορειότερο τμήμα της λεκάνης και καλύπτει περίπου 40 km^2. Συνολικά, η περιοχή χαρακτηρίζεται από πεδιάδες και μικρά βουνά με το υψόμετρο να κυμαίνεται από 0-500 m με μέσο υψόμετρο 106,4 m.



ΕΙΚ 2: Λεκάνη Γεροποτάμου

1.3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η περιοχή ερευνάς μας παρουσιάζει σχεδόν όλους τους σχηματισμούς που βρίσκονται στην Κρήτη. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στο επόμενο κεφάλαιο με περισσότερες πληροφορίες.

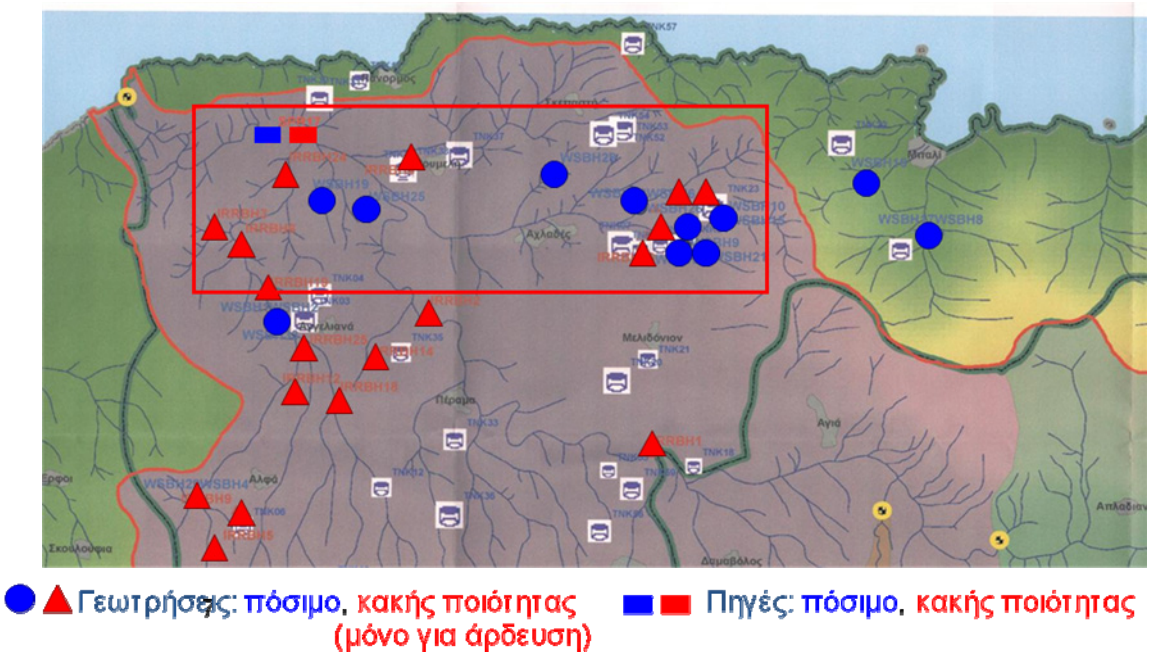
1.3.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η βόρεια περιοχή στην περιοχή ερευνάς μας (κατά μήκος της ακτής) αποτελείται από στεγανούς σχηματισμούς όπου ενεργεί ως εμπόδιο στη διείσδυση θαλασσινού νερού. Η επαναφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα αναμένεται να προσέλθει από α) το ανατολικό και νότιο μέρος της περιοχής η οποία αποτελείται από ιδιαίτερα διαπερατή στρωματογραφία β) από την επαναφόρτιση στις όχθες του ποταμού.

Τα υδρογεωλογικά στοιχειά είναι διαθέσιμα από τις τοπικές αρχές και περιλαμβάνουν 22 γεωτρήσεις από τις οποίες οι 9 είναι για πόσιμο νερό και οι άλλες 13 για άρδευση.

Οι δύο πηγές που βρίσκονται στην περιοχή ερευνάς (Γλυκιά και Αλμυρή Βρύση) αντιπροσωπεύουν ένα ασυνήθιστο υδρολογικό φαινόμενο. Η απόσταση τους είναι λιγότερο από 200 m αλλά η ποιότητα τους διαφέρει πολύ, καταδεικνύοντας την σύνθετη φύση των τοπικών υπόγειων σχηματισμών.

Περισσότερες λεπτομέρειες για την υδρογεωλογία της περιοχής θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.



ΕΙΚ 3 : διαχωρισμός γεωτρήσεων και πηγών σε σχέση με την ποιότητα νερού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Η Κρήτη αποτελεί σε παγκόσμια κλίμακα ένα από τα νέα ενεργά ορογενή γεγονός που συνοδεύεται από αλλεπάλληλα 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.

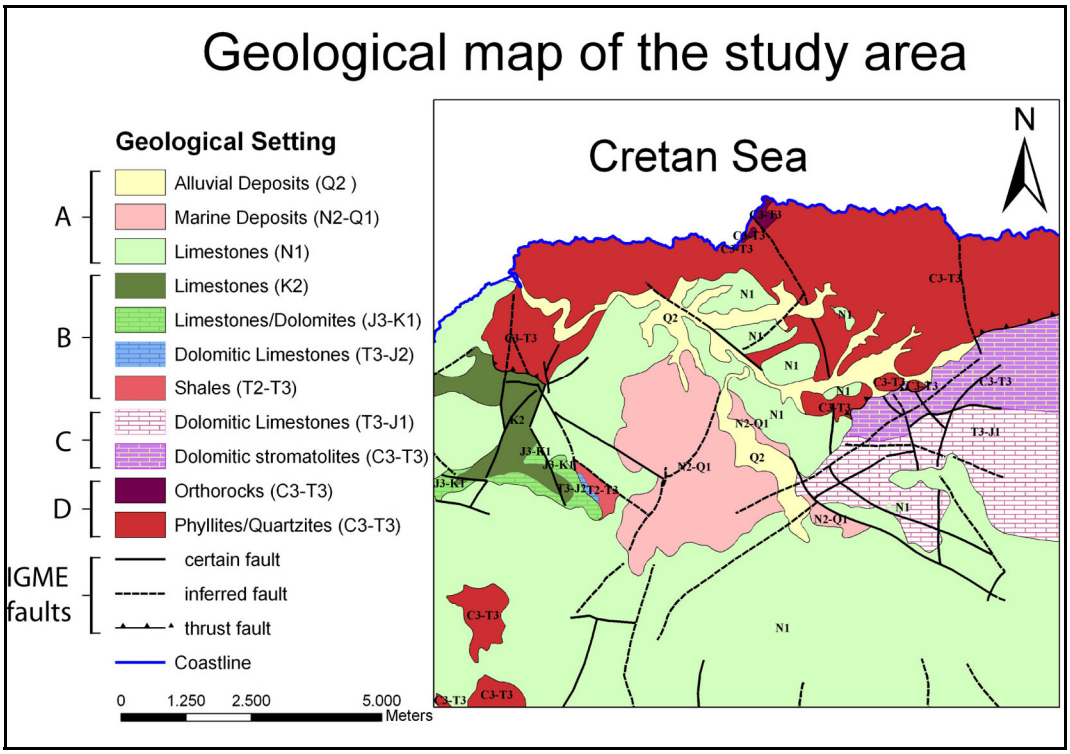
Τέλος, πάνω από τα ανώτερα και τα κατώτερα καλύμματα, έχουν μεταορογενιτικά τοποθετηθεί με στρωματογραφική ασυμφωνία τα νεότερα ιζήματα Νεογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας (κροκαλολατυποπαγή, μάργες, ψαμμίτες κ.λ.π.).

2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η γεωλογία της περιοχής (βόρειο μέρος της λεκάνης Γεροπόταμου) αποτελείται κυρίως από μερικά από τα παλαιότερα πετρώματα της Κρήτης (καλύμματα φυλλίτη/χαλαζίτη και Plattenkalk) όπου υπερκαλύπτονται από τις νεογενείς και τις τεταρτογενείς αποθέσεις.

Στο βόρειο μέρος της περιοχής μελέτης κοντά στην ακτή απλώνεται το κάλυμμα των φυλλιτών/χαλαζιτών. Αυτό αποτελείται από χαμηλής διαπερατότητας πετρώματα (φυλλίτες και χαλαζιτες) και θεωρείται ένας «φραγμός» για το νερό της θάλασσας από τις τοπικές αρχές. Σύμφωνα τον Δρ. Χαράλαμπο Φασουλά (Fassoulas, 2000), στο βόρειο-κεντρικό μέρος της Κρήτης το πάχος του καλύμματος αυτού είναι περίπου 500 m. Στο ανατολικό μέρος της περιοχής μελέτης βρίσκονται οι πρόποδες των Ταλέων Ορέων, όπου συναντάμε δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες στο νότιο μέρος, στο βόρειο μέρος στρωματολίτες από μάρμαρα και δολομιτικούς ασβεστόλιθους (Plattenkalk). Το κάλλυμα φυλλιτών/χαλαζιτών επικαλύπτει το κάλλυμα Plattenkalk με επώθηση (thrust fault). Πλειόκαινες/ πλειστόκαινες θαλάσσιες καταθέσεις και μειοκαινικοί βιογονικοί ασβεστόλιθοι, μάργες, άργιλοι και κροκαλοπαγή καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του κεντρικού και νότιου μέρους της περιοχής μελέτης. Τα νεογενή ιζήματα (N1) επικαλύπτονται από τα νεότερα ιζήματα, τα θαλάσσια (N2-Q1). Στην κορυφή της στρωματογραφίας οι αλλούβιες αποθέσεις (Q2) (Εικ.3).

Η τεκτονική του Γεροπόταμου χαρακτηρίζεται από κανονικά ρήγματα διευθύνσεων ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Αυτά τα ρήγματα καθορίζουν την κατεύθυνση ροής των υπόγειων νερών και την πιθανή ρύπανση από την εισχώρηση θαλασσινού. Σε μερικές περιπτώσεις αυτές οι τεκτονικές δομές μπορούν να ενεργήσουν ως υπόγεια εμπόδια που οριοθετούν την μετακίνηση υπόγειων νερών (Εικ.4).



ΕΙΚ 4 : Γεωλογικός Χάρτης περιοχής έρευνας

2.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Ένας μεγάλος αριθμός υδρογεωλογικών μελετών έχει γραφτεί για την Κρήτη και μερικές από αυτές αποκλειστικά για την περιοχή Ρεθύμνου. Αυτές οι έρευνες βεβαιώνουν περισσότερο την απέραντη αξία του πόσιμου νερού. Έχουν γραφτεί αρκετές αναφορές σχετικά με την υδρογεωλογία της περιοχής, όπου αναφέρουν ερευνητικές γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί και χημικές αναλύσεις νερού (ΙΓΜΕ, ΟΑΔΥΚ), όμως γενικά η υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας παραμένουν σχεδόν άγνωστες.

Η πρώτη μελέτη σχετικά με την υδρογεωλογία του Νομού Ρεθύμνης είναι αυτή του 1995 από το ΙΓΜΕ (παράρτημα Ρεθύμνης, Κνιθάκης 1995) που ορίστηκε από το 1983 από το Υπουργείο Περιβάλλοντος. Εκείνη η μελέτη περιλαμβάνει 6 τόμους γεωλογική/ υδρογεωλογική περιγραφή, διερευνητικές γεωτρήσεις, υδρο-μετεωρολογικά στοιχεία γεωχημικές αναλύσεις, χάρτες και συμπεράσματα. Η βόρεια περιοχή της λεκάνης του Γεροπόταμου έχει μελετηθεί σε αυτή την έρευνα και επίσης πρώτη φορά μελετάται το πρόβλημα της υφαλμύρινσης. Μετά από μερικές χημικές αναλύσεις υποθέτουν ότι υπάρχουν νεογενείς εβαπόριτες στα Νεογενή πετρώματα. Στην μελέτη αυτή αποκλείεται το

γεγονός η ρύπανση του νερού να οφείλεται στην υφαλμύρινση λόγω της ύπαρξης του καλλύματος φυλλίτη-χαλαζίτη κοντά στην ακτή. Ένας άλλος λόγος είναι ο γύψος που έχει βρεθεί στην περιοχή Πηγή δυτικά της περιοχής μελέτης.

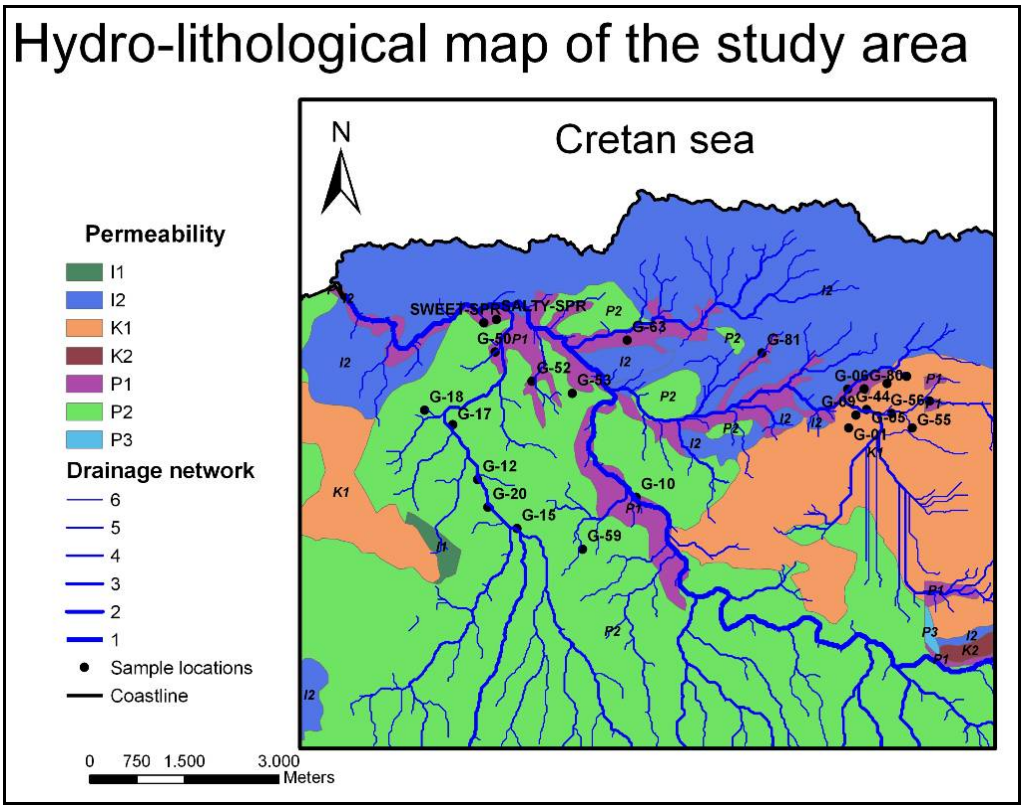
Δεν υπάρχει καμία περαιτέρω μελέτη γι' αυτό το πρόβλημα μέχρι πρόσφατα και δεν βρεθήκαν ποτέ εβαπόριτες στην λεκάνη του Γεροπόταμου.

Η μελέτη της Κρήτης από την Περιφέρεια Κρήτης που πραγματοποιήθηκε το 1999 είναι μια πλήρης και λεπτομερής μελέτη για τον υδρογεωλογικό καθορισμό της Κρήτης (τα στοιχεία συλλέχτηκαν από τον ΙΓΜΕ & ΟΑΔΥΚ) η οποία διαιρείται σε 3 φάσεις. Η πρώτη περιλαμβάνει την συλλογή δεδομένων και οι άλλες 2 φάσεις αποτελούνται κυρίως από τη διαχείριση και το σχέδιο ανάπτυξης. Σχετικά με την περιοχή μελέτης και το πρόβλημα της μόλυνσης αυτό το πρόγραμμα δεν κάνει περεταίρω έρευνα αλλά αναθεωρεί την μελέτη του ΙΓΜΕ 1995. Έτσι φτάνουν στο ίδιο συμπέρασμα για την ρύπανση.

Το 2000 η Περιφέρεια Κρήτης άρχισε την εγκατάσταση τηλεμετρικών υδρογεωλογικών σταθμών και μέχρι τώρα έχει εγκαταστήσει 21. Οι παράμετροι που ελέγχονται από τους 21 σταθμούς είναι βάθος, ηλεκτρική αγωγιμότητα και θερμοκρασία. Ο πιο κοντινός σταθμός στην περιοχή μελέτης έχει εγκατασταθεί το 2004 αλλά είναι πολύ μακριά με αποτέλεσμα κανένα στοιχειό που προέρχεται από αυτή την γεώτρηση να μην έχει χρησιμοποιηθεί.

Ένα άλλο πρόγραμμα που επιδοτήθηκε και από την Ε.Ε. ονομάστηκε Medis. Ο γενικός στόχος του ήταν να συμβάλει στην βιώσιμη χρήση του νερού στα νησιά της Μεσόγειου, όπου η απαίτηση σε νερό συνδυάζεται με ένα ευρύ φάσμα κοινωνικών και οικονομικών καταστάσεων.

Το σχήμα και ο πινάκας από κάτω δείχνουν κάποιες πληροφορίες για την υδρογεωλογική κατάσταση της περιοχής. Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, η βόρεια περιοχή της λεκάνης αποτελείται από στεγανούς σχηματισμούς που αναμένεται να ενεργήσει ως εμπόδιο για την οποιαδήποτε διείσδυση θαλασσινού νερού. Η επαναφόρτιση αναμένεται να γίνει από τα Ταλέα Όρη όπου αποτελείται από πολύ διαπερατούς σχηματισμούς και από τις όχθες του Γεροπόταμου.



ΕΙΚ 5 : Υδρογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας και οι δημοτικές γεωτρήσεις

2.4 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ ΣΕ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ

Στην Ελλάδα, η κύρια πηγή κάλυψης των αναγκών σε γλυκό νερό είναι τα υπόγεια νερά. Η χρήση του νερού γίνεται κυρίως για πόση και άρδευση καθώς επίσης και για κάλυψη των τουριστικών και βιομηχανικών αναγκών. Στις περισσότερες παράκτιες περιοχές η οικονομία βασίζεται κυρίως στον τουρισμό και τη γεωργία. Ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες οι απαιτήσεις σε νερό είναι ιδιαίτερα υψηλές με αποτέλεσμα την υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια την υφαλμύρινση των υδροφόρων στρωμάτων και την υποβάθμιση της ποιότητας του γλυκού νερού, με αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλο για κάθε χρήση. Είναι λοιπόν φανερό, ότι η μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρινσης των παράκτιων υδροφορέων είναι πολύ σημαντική για την Ελλάδα λόγω της μεγάλης ακτογραμμής και των κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων στις παράκτιες περιοχές Η διείσδυση του αλμυρού νερού στους παράκτιους υδροφορείς, αποτελεί την κύρια αιτία εμφάνισης του φαινομένου της υφαλμύρινσης.

Στους παράκτιους υδροφορείς η υδραυλική κλίση του υπόγειου νερού έχει συνήθως κατεύθυνση προς τη θάλασσα. Λόγω της παρουσίας του αλμυρού νερού, στο τμήμα του υδροφορέα που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας σχηματίζεται μια ζώνη επαφής μεταξύ του ελαφρύτερου γλυκού νερού του υδροφορέα και του υποκείμενου βαρύτερου αλμυρού νερού. Ο όγκος του αλμυρού νερού κάτω από το γλυκό λόγω της χαρακτηριστικής του μορφής ονομάζεται σφήνα. Το αλμυρό και το γλυκό νερό είναι αναμίξιμα με αποτέλεσμα η μεταξύ τους ζώνη επαφής να παίρνει τη μορφή μιας μεταβατικής ζώνης λόγω του φαινομένου της διάχυσης. Το φαινόμενο της υφαλμύρινσης εμφανίζεται όταν η υδραυλική κλίση του παράκτιου υδροφορέα προς τη θάλασσα είναι μικρή και ακόμα περισσότερο όταν αλλάζει διεύθυνση εξαιτίας των έντονων αντλήσεων. Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για τη μετακίνηση της αλμυρής σφήνας προς το εσωτερικό του υδροφορέα με αποτέλεσμα την υφαλμύρινση του, την αύξηση δηλαδή της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου, μαγνησίου και ασβεστίου στα υπόγεια νερά. Καρστικοποιημένοι υδροφορείς Στους παράκτιους καρστικοποιημένους υδροφορείς οι συνθήκες για την εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρινσης είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται με την παρουσία πετρωμάτων τα οποία είναι ευδιάλυτα και αφήνουν ελάχιστο υπόλειμμα με αποτέλεσμα να διευρύνονται τα διάκενα με τη διάλυση τους οπότε είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσο αυτών στο υπέδαφος. Τέτοια πετρώματα είναι οι εβαπορίτες, τα ανθρακικά, οι ηφαιστίτες, οι χαλαζίτες και οι υπερβασίτες. Τα καρστικά πετρώματα που έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο είναι κυρίως τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, καρστικοποιημένος υδροφορέας ονομάζεται ένας όγκος διαλυτού πετρώματος στον οποίο η ροή γίνεται κυρίως μέσα στα κανάλια διάλυσης, των οποίων το μέγεθος και η κατεύθυνση είναι ακανόνιστη. Η ροή μπορεί να είναι γραμμική, τυρβώδης ή/και να έχει τα χαρακτηριστικά ροής σε ανοιχτό αγωγό. Η κίνηση του υπόγειου νερού μπορεί να προκαλέσει διάλυση του ασβεστόλιθου γύρω από τα υπάρχοντα κενά, με αποτέλεσμα την αύξηση του ανοίγματος τους και της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφορέα. Όσον αφορά τα ρήγματα, λόγω της καρστικοποίησης αρκετά από αυτά μεγεθύνονται και μετατρέπονται σε κανάλια. Μέσω της διαδικασίας της διάλυσης, η δομή του καρστικοποιημένου υδροφορέα και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται

τόσο χωρικά όσο και χρονικά, με συνέπεια οι υδροφορείς αυτοί να χαρακτηρίζονται από μεγάλη ετερογένεια και ανισοτροπία. Το κύριο χαρακτηριστικό των παράκτιων καρστικοποιημένων υδροφορέων είναι η στενή υδραυλική τους σχέση με το αλμυρό νερό και η άμεση επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό. Η εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρινσης είναι δυνατόν να προκληθεί από κανάλια που καταλήγουν στον πυθμένα της θάλασσας ακόμα και σε μεγάλη απόσταση από την ακτή. Η άμεση σύνδεση του καρστικού συστήματος και της θάλασσας, οδηγεί σε μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας των χλωριόντων στην υφάλμυρη ζώνη.

2.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ ΝΕΡΟΥ

Γενικά το πρόβλημα της υφαλμύρινσης έχει μελετηθεί από όλο τον κόσμο με διάφορες μεθοδολογίες συμπεριλαμβανομένης και της γεωφυσικής μεθόδου. Αυτή η παράγραφος παρουσιάζει μερικές από τις σημαντικότερες εργασίες όπου έχει μελετηθεί επιτυχώς το ζήτημα της υφαλμύρινσης.

Έχουν δημοσιευθεί πολλές έρευνες με χρήση της γεωφυσικής μεθόδου των ηλεκτρομαγνητικών βυθοσκοπήσεων για υδρογεωλογική μελέτη (π.χ Fitteman & Stewart 1986, Eddy-Dilek,1997; Richards et al, 1998; Meju et al, 2000; Guérin et al, 2001; Danielsen et al, 2003; Young et al., 2004; Lepper and Elmore, 2005; Barrett et al, 2006; MacNeil et al, 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΕΜ

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. Με τις μεθόδους σεισμικής διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός των μεταβολών των ταχυτήτων διάδοσης των ελαστικών (σεισμικών) κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης, με μετρήσεις των χρόνων διαδρομής τους μέσα στα στρώματα αυτά και εφαρμογή φυσικών νόμων στους οποίους υπακούει η διάδοση αυτή (νόμοι ανάκλασης , διάθλασης).
2) Βαρυτομετρικές Μέθοδοι Διασκόπησης. Σκοπός των βαρυτομετρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο καθορισμός των οριζόντιων μεταβολών της πυκνότητας των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης με μέτρηση των μεταβολών της έντασης του πεδίου βαρύτητας και των χωρικών παραγώγων αυτής. Οι μέθοδοι αυτοί βασίζονται στο νόμο της βαρύτητας του Νεύτωνα.
3) Μαγνητικές Μέθοδοι Διασκόπησης . Η αρχή των μαγνητικών μεθόδων διασκόπησης βασίζεται στον εντοπισμό μεταβολών της μαγνήτισης των πετρωμάτων μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης, με μετρήσεις στην επιφάνεια της γης μαγνητικών ανωμαλιών μικρής κλίμακας, δηλαδή , τοπικών μεταβολών της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου.

4) Ηλεκτρικές Μέθοδοι Διασκόπησης. Με τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης με μετρήσεις ηλεκτρικών ποσοτήτων στην επιφάνεια της γης. Η ποσότητα που μετράμε είναι η ηλεκτρική τάση , ενώ η ποσότητα που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση.
5) Ηλεκτρομαγνητικοί Μέθοδοι Διασκόπησης. Η αρχή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης βασίζεται στον καθορισμό της γεωηλεκτρικής δομής στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης με βάση τις ιδιότητες του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που παράγεται μέσα στα στρώματα αυτά.
6) Ραδιομετρικές Μέθοδοι Διασκόπησης. Οι ραδιομετρικές μέθοδοι διασκόπησης βασίζονται σε μετρήσεις της ραδιοακτινοβολίας που εκπέμπεται από πυρήνες στοιχείων μεγάλου ατομικού αριθμού, τα οποία αποτελούν συστατικά ορισμένων ορυκτών.

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.

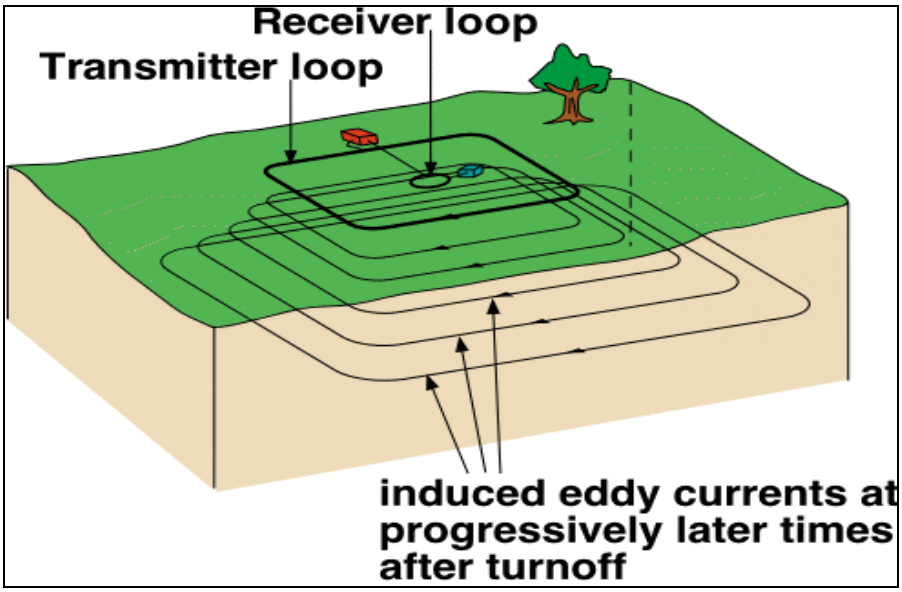
Τον πομπό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το αγώγιμο ηλεκτρικό σώμα μέσα στη γη και τον δέκτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα θεωρούμε ως πηνία. Το πηνίο του πομπού διαρρέεται από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και παράγει το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο του οποίου η ένταση στη θέση του πομπού έχει μια ορισμένη 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 ηλεκτρομανητικών κυμάτων.

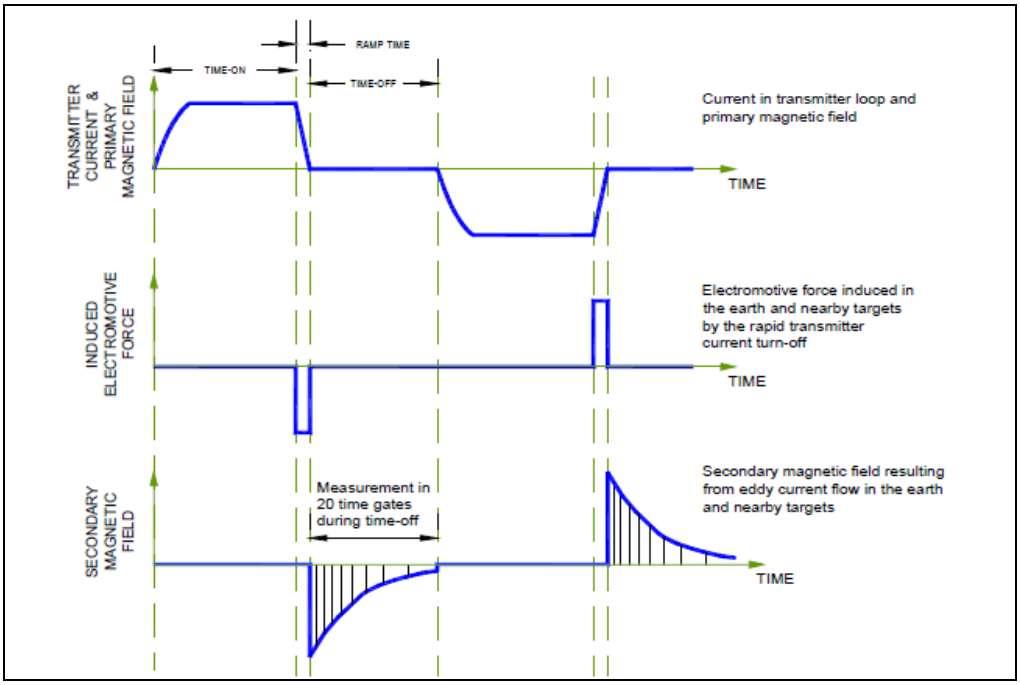
Ύστερα από κάποιο ικανό χρονικό διάστημα ώστε να μην παρατηρούνται ταλαντώσεις στο πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, το συνεχές ρεύμα διακόπτεται απότομα (t=0). Με χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στη συνέχεια, η πτώση του ρεύματος γίνεται γραμμικά από I_0 μέχρι 0 και διαρκεί χρόνο t_r.



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

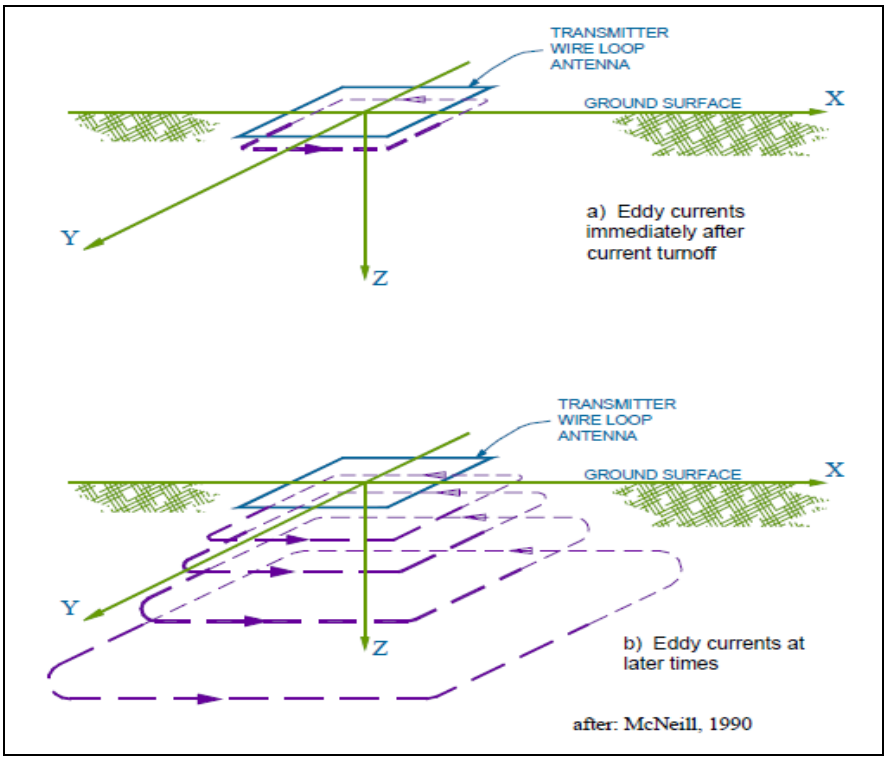
Με τη χρήση της μεθόδου TEM παρατηρούμε ότι παίρνουμε μετρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών ρεύματος και κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Τα παροδικά επαγωγικά ρεύματα διοχετεύονται μέσα στη γη και διαχέονται με μορφή μετώπου. Η ένταση των ρευμάτων αυτών φθίνει με το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

Γενικά, δεδομένου ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους συσχετίζεται έντονα με τις ιδιότητές του, η TEM είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την χαρτογράφηση των εδαφών και των αλλαγών στους διαφόρους τύπους τους σε συγκεκριμένο εύρος βάθους. Είναι χρήσιμη στην άμμο και σε χαλίκι, για χαρτογράφηση υδροφόρων, για αργιλώδη στρώματα με περιορισμό της ροής των υπογείων υδάτων, για 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 παραγάγει ένα ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο στη συνέχεια θα δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Κατά συνέπεια, το αρχικό μαγνητικό πεδίο από το βρόχο συσκευών αποστολής σημάτων θα δημιουργήσει ένα δευτεροβάθμιο ηλεκτρικό ρεύμα στη γη. Τελικά, μετράμε το δευτεροβάθμιο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από εκείνα τα δευτεροβάθμια ηλεκτρικά ρεύματα στη γη. Η **εικόνα 7** παρουσιάζει μία κυματομορφή του αρχικού μαγνητικού πεδίου που παράγεται από τη συσκευή αποστολής σημάτων και του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου (ηλεκτρεγερτική δύναμη) που συνοδεύει εκείνο το μαγνητικό πεδίο.



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

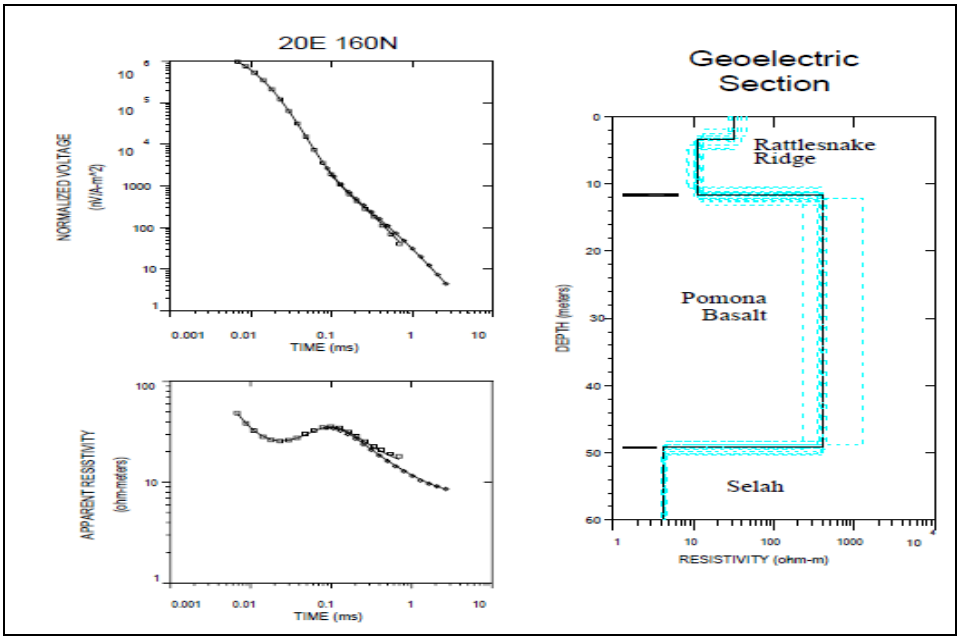
Το μέγεθος και το ποσοστό αποσύνθεσης των δευτεροβάθμιων ρευμάτων εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου και τη γεωμετρία των αγώγιμων στρωμάτων. Ο δέκτης TEM μετρά μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα δευτεροβάθμια ρεύματα. Στις ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές χρόνου-περιοχής το προκαλούμενο σήμα είναι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

αργά. Ένα αγώγιμο στρώμα μπορεί σε βάθος «να παγιδέψει» ρεύματα σε εκείνο το στρώμα, ενώ τα ρεύματα αποσυντίθενται αλλού γρηγορότερα.

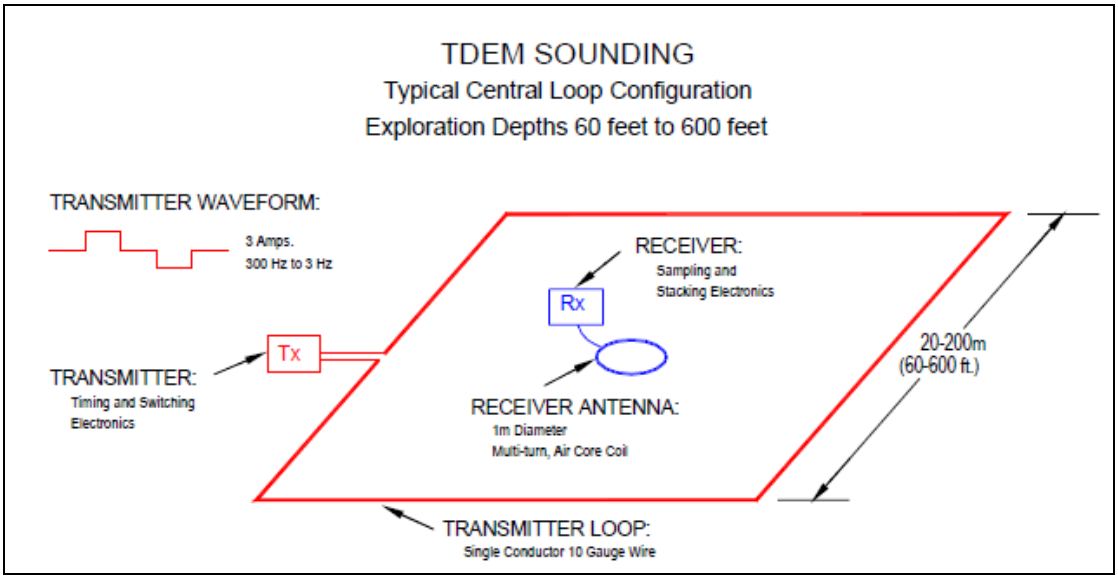
Οι δευτεροβάθμιες μετρήσεις γίνονται χαρακτηριστικά στη χρονική σειρά από 10 μs σε 10 ms μετά από τη 'διακοπή' του πρωτογενούς πεδίου. Μετρήσεις γίνονται σε 20 έως 30 ιδιαίτερες «χρονικές πύλες», ή χρονικά διαστήματα, μετά από τον αρχικό προκαλούμενο παλμό. Για βαθύτερη εξερεύνηση σε αγώγιμα τμήματα, 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 μοντέλο προσαρμογής. Μια από τις σημαντικότερες αδυναμίες της ΤΕΜ 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 οποιεσδήποτε συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών ζωνών της πόλης με περιορισμένο διάστημα, ερήμους, βουνά, και κάθε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές. TEM FAST 48HPC μπορούν να εφαρμοστούν για την επίλυση πολύ δύσκολων προβλημάτων,

συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών ερευνών, υδρογεωλογικών ερευνών, αρχαιολογικών, μεταλλευτικών ερευνών, MT στατική διόρθωση στροφής και άλλων. Το TEM-FAST TEM FAST 48HPC μπορεί να λειτουργήσει με οποιοδήποτε επιτραπέζιο υπολογιστή της IBM, σημειωματάριο ή τον υπολογιστή χειρός μέσω πρότυπο διεπαφής RS 232. Το TEM FAST 48HPC δημιουργεί και στέλνει σύντομους παλμούς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στη γη και η απάντησή της, εξαρτάται από το ηλεκτρικό τμήμα του εδάφους.

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

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 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όλες τις γεωφυσικές μετρήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκαν μέσα σε ένα χρονικό διάστημα 3 μηνών (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος 2008). Οι μετρήσεις αυτές ήταν συνολικά 90 σε 30 διαφορετικές θέσεις, με απόσταση περίπου 200 m στον άξονα χ. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις αυτές αποτελούν τμήμα των μετρήσεων που έλαβαν χώρα στην περιοχή του Γεροποτάμου και αφορούσαν τη διδακτορική διατριβή της Δρ. Δέσποινας Καλησπέρη (συνολικά 1179 βυθοσκοπήσεις σε 372 θέσεις).

Η διαδικασία συλλογής μετρήσεων TEM σε κάθε θέση περιλάμβανε τα εξής:

Στο σημείο που επιλέγαμε να πάρουμε μέτρηση, με την βοήθεια των πυξίδων τύπου sighting (για να είμαστε κάθετοι ο ένας στον άλλον) φτιάχναμε με 200m καλώδιο ένα τετράγωνο βρόγχο (50 X 50 m). Στη συνέχεια συνδέαμε την μπαταρία, το Palmtop και τον βρόγχο στο TEM-Fast 48. Για κάθε θέση παίρναμε τουλάχιστον 3 μετρήσεις για να μειώσουμε όσο μπορούσαμε το σφάλμα και τον θόρυβο. Υψηλός θόρυβος παρουσιαζόταν όταν οι βυθοσκοπήσεις μας ήταν κοντά σε καλώδια υψηλής τάσης της ΔΕΗ, ή όταν ο βρόγχος μας ακουμπούσε μεταλλικούς φράκτες και σωληνώσεις ή είμασταν κοντά σε κεντρικό δρόμο.

ΕΙΚ 12 α,β,γ: Διαδικασια συλλογής μετρήσεων. Στις φωτογραφίες απεικονίζονται οι Παναγιώτης Κανελλόπουλος και Παναγιώτα Σαρρίδου, συγγραφείς της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το TEM FAST 48HPC σύστημα είναι εξοπλισμένο με λογισμικό βάσης που προβλέπει τον έλεγχο, την προβολή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων σε ψηφιακή μορφή, καθώς 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 αναστροφή, 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.

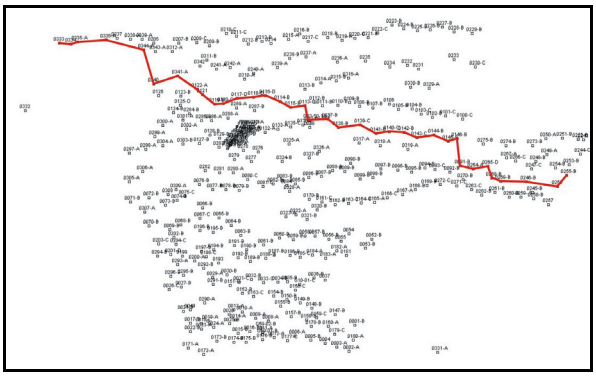
Το TEM-RES-WIN έχει ειδικά εργαλεία για τη μαζική επεξεργασία των δεδομένων και την κατασκευή των 2D και 3D εικόνων των γεωηλεκτρικών τμημάτων.

4.3 Δημιουργία προφίλ

Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν υποβλήθηκαν σε επεξεργασία μετά την απόκτηση που παρέχει η μονοδιάστατη (1D) διανομή της ειδικής αντίστασης με το βάθος. Το TEM-RESearcher, ένα σύστημα λογισμικού των Windows ήταν το εργαλείο για την επεξεργασία των στοιχείων των TEM δεδομένων και της αντίστροφης λύσης του προβλήματος (TEM-RESearcher manual, 2007).

Τα ακατέργαστα στοιχεία πέρασαν από editing και smoothing πριν τη διαμόρφωση, όπως προτείνει ο κατασκευαστής (Barsukov et al. 2007). Το λογισμικό TEM- RES παρέχει δύο τρόπους κατασκευής ενός τμήματος, του μετασχηματισμού και της αντιστροφής.

Όταν η 1D αντιστροφή είναι ανεπαρκής να αναδημιουργήσει και να περιγράψει το υπέδαφος, απαιτείται η 2D απεικόνιση. Ακολουθεί η τομή AB, όπου έχει μήκος 9 Km και περιλαμβάνει 30 σημεία μέτρησης (30 1D μοντέλα).



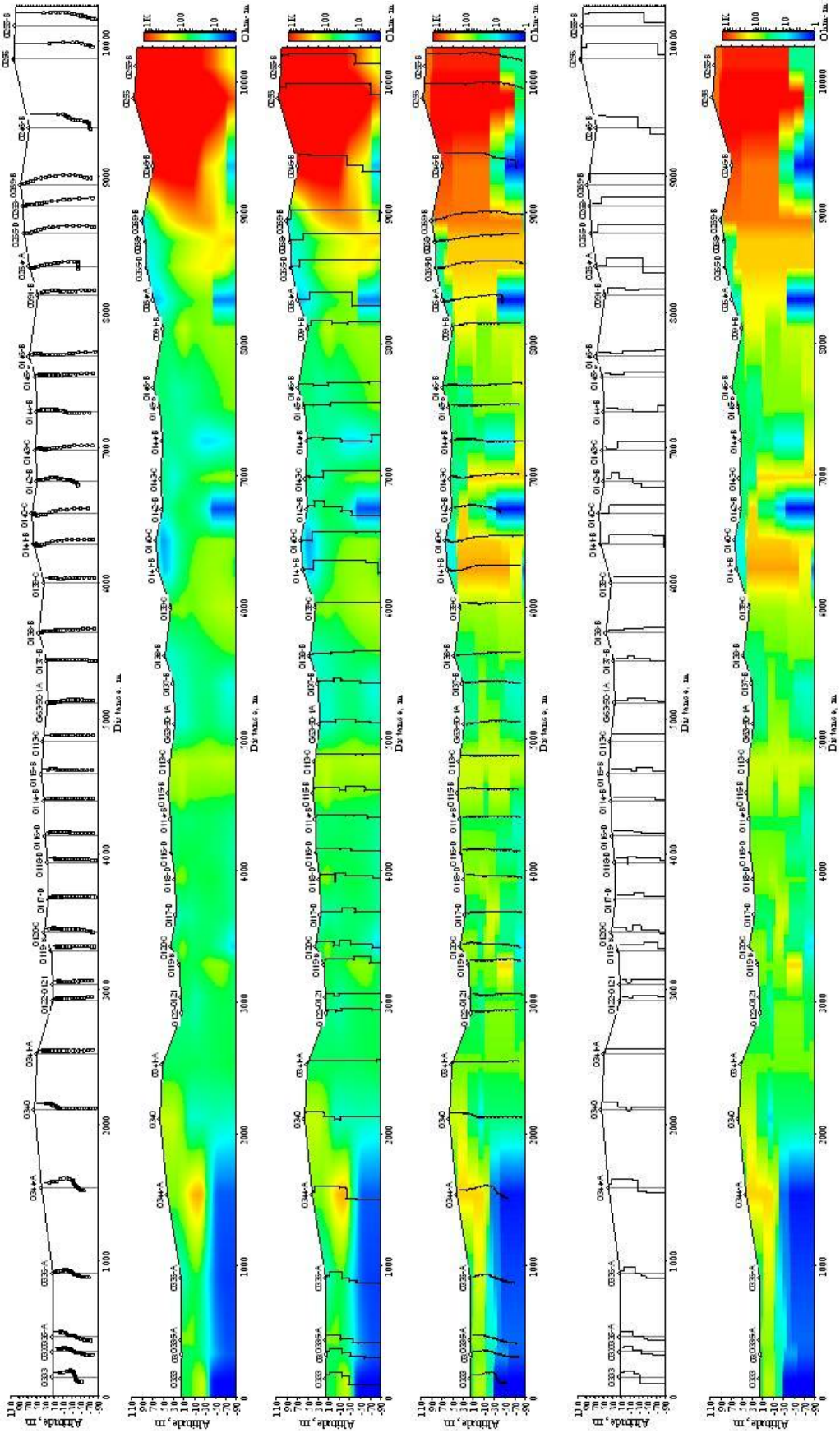


Fig. 13: 2D απεικόνιση της τομής AB: 1) transformation loggings, 2) transformation as tomography, 3) transformation as tomography with 1D inversion loggings, 4) 1D inversion as tomography and transformation loggings, 5) 1D inversion loggings, and

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ-ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν 3 πιθανά σενάρια για να εξηγήσουν την εύρεση μεγάλης ποσότητας αλάτων στο υπόγειο νερό στην περιοχή ερευνάς μας

Σενάριο 1: Παρουσία του φαινομένου της υφαλμύρινσης

Σενάριο 2: Παρουσία εβαποριτών

Σενάριο 3: Συνδυασμός υφαλμύρινσης και παρουσίας εβαποριτών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, το πιο πιθανό σενάριο είναι το πρώτο. Οι εβαπορίτες (αλίτες) δεν έχουν ποτέ εντοπιστεί στην Κρήτη και είναι μία υπόθεση των Κνιθάκη (1995) και Λαμπράκη & Μαρίνο (2003).

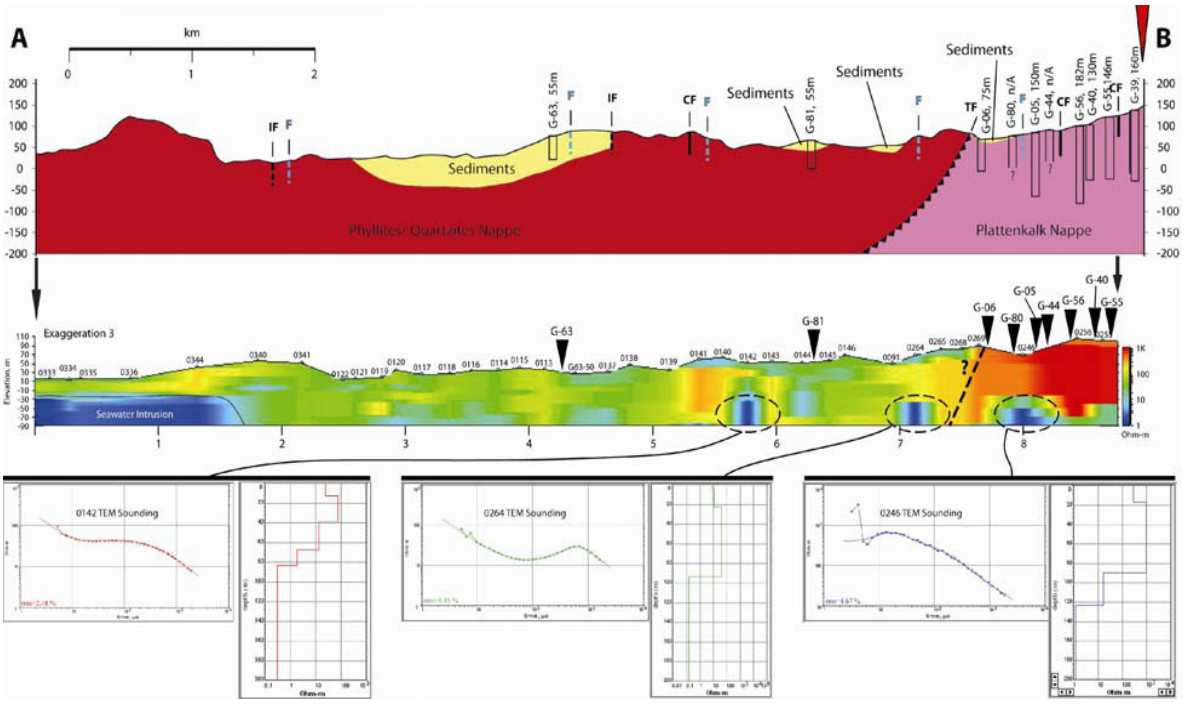
Η πλειοψηφία των στοιχείων μας οδηγεί ότι στην ερμηνεία ότι η διείσδυση του θαλασσινού νερού στο βόρειο τμήμα ρυπαίνει τα υπόγεια νερά της περιοχής του Γεροποτάμου.

Το προφίλ ΑΒ είναι μήκους 9 Km, έχει διεύθυνση ΒΔ- ΝΑ περιλαμβάνει 2 βασικές ενότητες, το Plattenkalk και το κάλυμμα Φυλλιτών-Χαλαζιτών, που καλύπτονται από νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα. Το Plattenkalk (που φαίνεται με μωβ χρώμα) αναγνωρίζεται στο νοτιο-ανατολικό τμήμα της τομής (εικόνα 14) με ειδικές αντιστάσεις πάνω από 1000 Ohm.m (όπως ήταν αναμενόμενο). Το κάλυμμα Φυλλιτών-Χαλαζιτών φαίνεται καθαρά στο βόρειο-δυτικό και κεντρικό τμήμα του προφίλ με τις ειδικές αντιστάσεις να είναι γύρω στα 100 ohm.m και μερικές φορές γύρω στα 300 ohm.m, όταν το κάλυμμα είναι πλούσιο σε χαλαζία. Τα ιζήματα αποτελούνται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, θαλάσσιες και αλλουβιακές αποθέσεις, μάργες κτλ. και έχουν ειδικές αντιστάσεις που κυμαίνονται από 100 έως 500 ohm.m και περιστασιακά, όταν οι νεογενείς ασβεστόλιθοι είναι πιο συμπαγείς, ξεπερνούν τα 1000 ohm.m. Γενικά, τα ιζήματα δεν αναγνωρίζονται καθαρά σε

σχέση με το κάλυμμα Φυλλιτών-Χαλαζιτών, διότι οι ειδικές τους αντιστάσεις έχουν παρόμοιες τιμές.

Η επώθηση (thrust fault) μεταξύ του καλύμματος Φυλλιτών-Χαλαζιτών και του Plattenkalk παρατηρείται στην τομή ΑΒ, ειδικά σε αντιπαράθεση με την γεωλογική τομή (Εικόνα 14α).

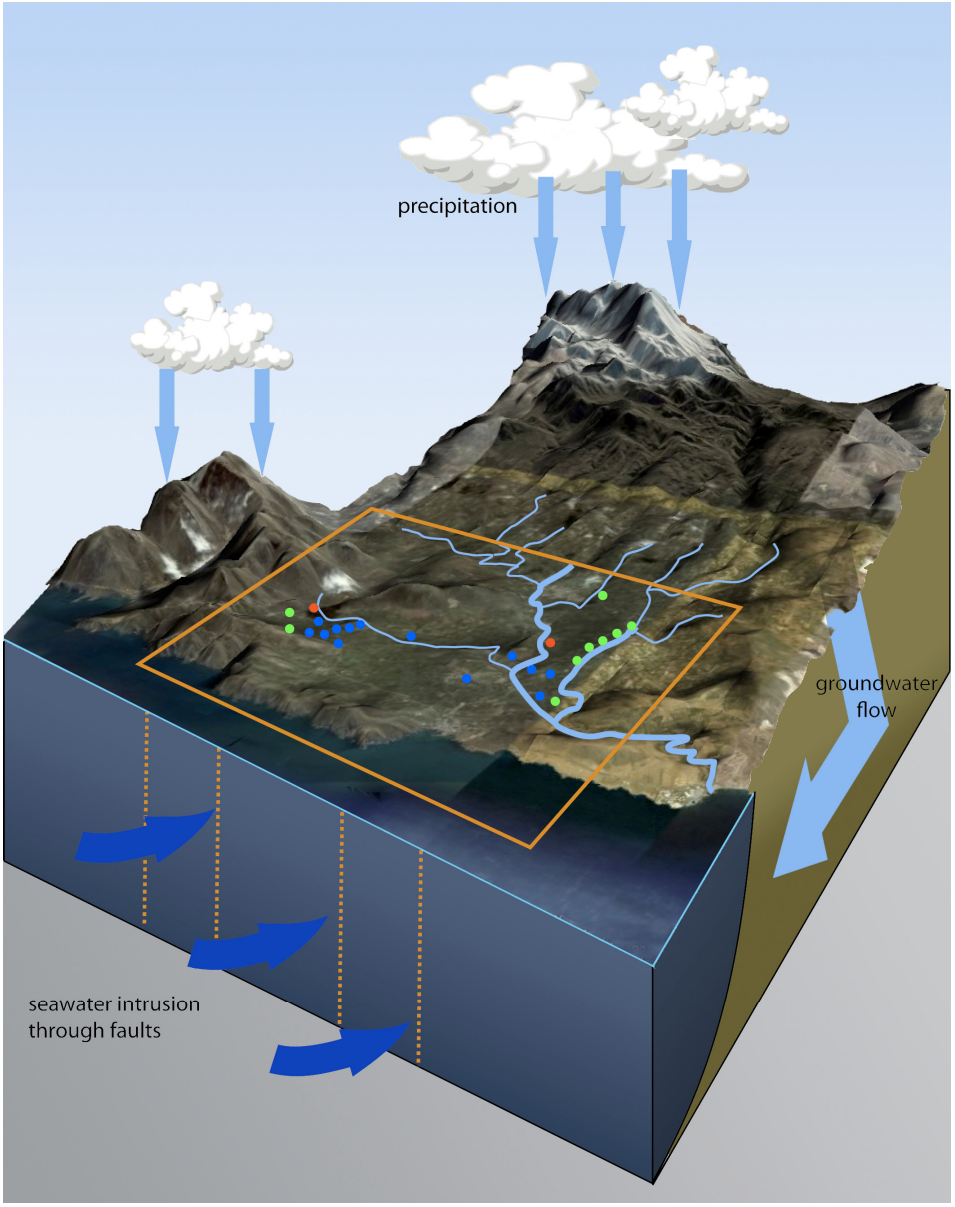
Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, το κάλυμμα Φυλλιτών-Χαλαζιτών θεωρείται αδιαπέρατο, εκτός και αν το θαλασσινό νερό ρέει μέσω των ρηγμάτων προς την ενδοχώρα. Το βορειο-δυτικό τμήμα της γεωηλεκτρικής τομής απεικονίζει αναμφισβήτητα την εισροή θαλασσινού νερού και κάνει το σενάριο 1 ακόμη πιο πιθανό, αφού οι χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης (μπλε χρώμα) μέσα στο κάλυμμα των φυλλιτών-Χαλαζιτών φαίνονται μέχρι σε βάθος 20m.



ΕΙΚ 14: Δισδιάστατη απεικόνιση - Τομή ΑΒ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1 Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στα προηγούμενα κεφάλαια ερμηνεύουν ότι η ρύπανση του υπόγειου νερού του βόρειου τμήματος της λεκάνης του Γεροποτάμου οφείλεται στην διείσδυση θαλασσινού νερού. Το σχήμα της εικόνας 15 παρουσιάζει τον υδρολογικό κύκλο.



ΕΙΚ 15: Τρισδιάστατη απεικόνιση της δυναμικής της περιοχής μελέτης

2 Αυτή η εργασία υπογραμμίζει ότι η εφαρμογή της τεχνικής TEM είναι επιτυχής στην αξιολόγηση των υπόγειων νερών. Η αξιοπιστία των στοιχείων, η εύκολη μετακίνηση του εξοπλισμού, η γρήγορη συλλογή στοιχείων, οι ελάχιστοι συμμετέχοντες που απαιτούνται για την λειτουργία (το πολύ 3 άνθρωποι) κάνουν αυτή την ηλεκτρομαγνητική τεχνική ένα άριστο εργαλείο για την υδρογεωλογία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Barrett, B., Heinson, G., Hatch, M. & Telfer, A. (2006). River sediment salt-load detection using a water-borne transient electromagnetic system. *Journal of Applied Geophysics, 58*, 29-44.

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.

Donta, A. A., Lange, M. A. & Herrmann, A. (Eds.). (2005). *Water on Mediterranean Islands: Current conditions and prospects for sustainable management* (MEDIS EU Project, ZUFO-Reports, Volume 5). Muenster: Centre for Environmental Research (CER), University of Muenster.

Eddy-Dilek, C.A., Looney, B.B., Hoekstra, P., Harthill, N., Blohm, M., Phillips, D.R. (1997). Definition of a critical confining zone using surface geophysical methods. *Ground Water, 35 (3)*, 451-462.

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

Fitterman, D.V., & Stewart, M.T. (1986). Transient electromagnetic sounding for groundwater. Geophysics, 51 (4), 995-1005.

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

Knithakis, M. (1995*). Hydrogeological Investigation of Rethymnon Region (Prefecture of Rethymnon)*. Rethymnon: Institute of Geological and Mineralogical Investigations (IGME).

Lambrakis N. & Marinos P. (2003). The salinisation of coastal aquifers in Greece; A general review. Serie: *Hydrogeologia Y Aguas Subterraneas, (8)*, 251-263.

Lepper, E. & Elmore, A.C. (2005). Groundwater development in Lemoa, *Guatemala. Environmental Geology, 48 (1)*, 49-56.

MacNeil, R.E., Sanford, W.E., Connor, C.B., Sandberg, S.K. & Diez M. (2007). Investigation of the groundwater system at Masaya Caldera, Nicaragua, using transient electromagnetics and numerical simulation, *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 166 (3-4)*, 217-232.

McNeil, J.D. (1990). Use of electromagnetic methods for groundwater studies. *Geotechnical and Environmental Geophysics, 1 (5)*, 191-218.

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.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ακολουθεί το σύγγραμμα από το συνέδριο AQUA 2008. Η διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε τον Οκτώβριο του 2008 στην Αθήνα και το σύγγραμμα περιλαμβάνεται στα πρακτικά του συνεδρίου.

IMPLEMENTATION OF HYDROGEOPHYSICAL (TEM) MEASUREMENTS IN A COMPLEX COASTAL AQUIFER, NORTHERN CRETE, GREECE

Despina Kalisperi[1,2], Panayiotis Kanellopoulos[2], and Panayiota Sarridou[2]

[1]*Institute for the Environment, Brunel University, Uxbridge, UK*
[2]*Department of Natural Resources & Environment, Technological Educational Institute of Crete, Greece, tel: 2821023039, email: dkalisperi@chania.teicrete.gr*

ABSTRACT

This research investigates the coastal aquifer of central-northern Crete (Geropotamos aquifer), situated in an important area for human activities and agriculture. One part of the aquifer is of particular interest because of severe contamination. The techniques used to achieve this study involve electromagnetic (TEM) measurements, as well as remote sensing (recognition of possible fracture zones), GIS techniques and geochemical groundwater analyses. The results of the present work contributes to a) the construction of a GIS database with hydrogeological thematic layers, and b) 1D models, and 2D/3D imaging of geoelectrical structure, depicting the potential of the groundwater of the area under investigation.

1. INTRODUCTION

The recent changes in climate patterns highlight the need to secure reliable water supplies especially in areas where water is scarce. A place where this problem is of importance is the island of Crete, Greece. In Crete, important aquifers are located in limestones in coastal locations, where salt water from the sea may intrude into the aquifer. This research investigates the extent of this problem for the Geropotamos aquifer, on the coast of central-northern Crete (Zarris, 2008). One part of the aquifer in the catchment of the Geropotamos River is of particular interest because of severe contamination of water in some places, from seawater intrusion and/or from Miocene Evaporites. The research also makes recommendations for action to ensure good water supplies. The study area is situated along the northern coastline of Crete and it is lying before Geropotamos river to some km before Bali, viz from 35° 25´N 24° 40´19˝E west to 35° 24´N 24° 44´ 25˝E at East, i.e. it covers about 40Km^2 (Fig.1).

Due to the development of the area, many hydrowells have been constructed. The excessive extraction of groundwater is leading to a fall in the aquifer level and as a result the saltwater intrusion into the study areas. Consequently, there is an urgent need to monitor the changes taking place within the aquifer, and assess the threat to the drinking water supply. For that reason a detailed survey integrating several geoenvironmental methods (geophysical, hydrochemical survey, etc) has been applied.

Geophysical techniques have been carried out many times in the past for aquifer study giving very good results (Chalikakis, 2006). The Transient ElectroMagnetic (TEM) method has been selected for our study since it has found increasing application in saline-freshwater interfaces mapping in coastal regions (Nielsen et al, 2007; Land et al., 2004; Descloitres et al, 2000; Goldman, M., and Kafri, U., 2006). The expected results from the application of TEM method are the recognition of the main tectonic structures that govern the hydrogeological status of the area. This information could be safely used as prior info for the masterplan of the water management of the area.

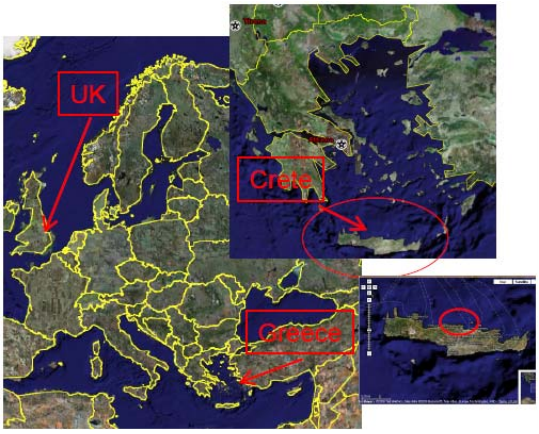


Fig. 1: Geographic overview: Satellite images defining the area of interest (Google Earth & Google Maps, 2008)

2. STUDY AREA

2.1 Geology of Geropotamos basin

The surficial geology of the area is composed of Pliocene/Pleistocene marine deposits laid down on the older bedrock. Miocene biogenic limestones, marls, clays and conglomerates crop out in the central and the eastern part of the study area and clastic limestones and dolomites of the Tripolis nappe (Fig.2) in the north-western part of the study area.

The local tectonic regime of the study area is characterized by faults of NW-SE and NE-SW directions, which define the boundaries between the existing geological formations (Mylonakis et al., 1991) as well as the groundwater flow direction. In some cases, these tectonic structures may act as underground dams bounding the underground water movement.

2.2. Prior hydrogeological information

A priori hydro-geological data from hydrowells, which were available from the local authorities, were collected and were integrated in a GIS-based environment (Rockworks software) (Fig.3). In the study area data from 23 public drills were used and sorted in two parts (Western and Eastern) [9 drills=potable water, 14= water only for irrigation, bad quality]. The ground-water of the drills, which are used only for irrigation, is characterized by high salinity and conductivity. Note that at the area under investigation many exploratory drills have been taken place, especially at the central part, but then they were abandoned due to bad quality of the groundwater sample.

The increasing density of those drills (mostly the private ones) which influences adversely the environment (the quantitative and qualitative characteristics of the coastal aquifers) is also investigated. Finally, the logs from available boreholes are the only reliable geological information, so they are used for calibration and confirmation of the resulted geophysical modelling.

3. GEOPHYSICAL SURVEY

3.1 TEM theory

The TEM method is a controlled source electromagnetic (EM) method that uses large loops laid on the ground as a transmitter/receiver. For a comprehensive review of the TEM method and theory (Nabighian and MacNae, 1991; system may be used in many different configurations, no direct electrical contact with the ground is required, can be used to investigate the top few meters of ground till hundreds of meters in depth,

it is a fast and cost effective method, but it does not work properly in high resistive region and is susceptible to interference from nearby metal pipes, cables, fences, vehicles and induced noise from power lines.

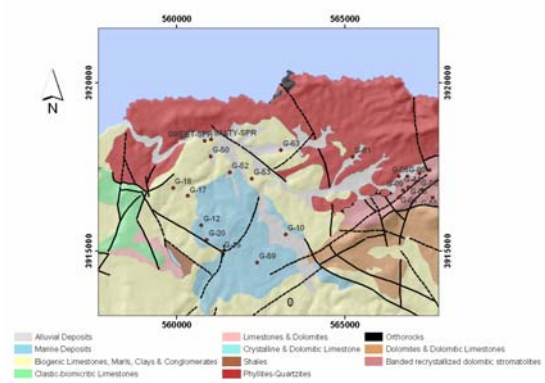


Fig. 2: Geological status of the study area

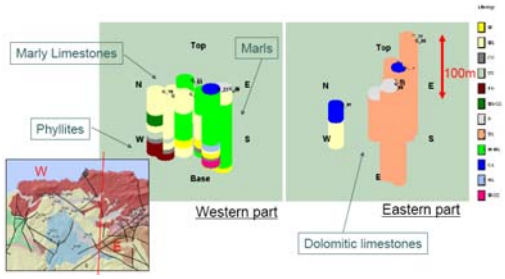


Fig. 3: 23 public drills were sorted in two parts (Western and Eastern)

The processed raw data produce a 1D model of apparent resistivity vs. depth, similar to borehole logging. Resistivities greater than 10 Ohm-m usually result from the presence of fresh water in the subsurface and when resistivity is less than 10 Ohm-meters indicate the existence of salty water.

3.2 DATA ACQUISITION - DATA PROCESSING

The acquisition of the TEM data took place using the TEM-Fast 48 system from AEMR Ltd. It is a new portable, fast and robust geophysical instrument providing efficient operation in any geoenvironmental conditions, giving solution in several geoenvironmental problems.

A careful field procedure is crucial to obtaining successful results, so site selection and receiver-transmitter installation were two major factors governing data quality. Until now, 275 soundings have been carried out in a detailed survey grid (about 200m in X and Y dimension) using single loop 50x50m, Stack 5 and Time 5 or 6.

The data processing and analysis started immediately after the acquisition of the first datasets (before the completion of raw data). The processing gives the estimation and presentation of 1D models of the conductivity structure of the study area. TEM-RESearcher, a Windows integrated software system, was the tool for data processing of TDEM data and inverse problem solution. The program reads the field data, makes the processing and presents the results in cross-sections in the class of gradient or layered structures (TEM-RESearcher manual, 2007).

4. RESULTS - DISCUSSION

4.1 1-D modelling

TEM soundings are often used to define aquifer properties and other subsurface characteristics. While these structures are inherently multidimensional, 1D inversion codes are commonly used to interpret the data. As interpretation of 1D inversions are used to determine geologic structure for groundwater flow models, an interpretation that is incorrect due to unrecognized 2D or 3D effects can have serious implications. A study was conducted to determine how well 2D geological structure could be imaged

using 1-D inversion and the errors associated with such an interpretation. Figures 4 & 5 show an example for 0071 sounding.

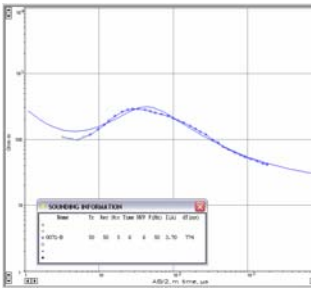


Fig. 4: Curve of apparent resistivity (example of sounding 0071)

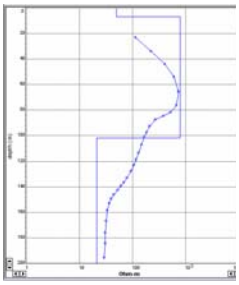


Fig. 5: transformation (example of sounding 0071)

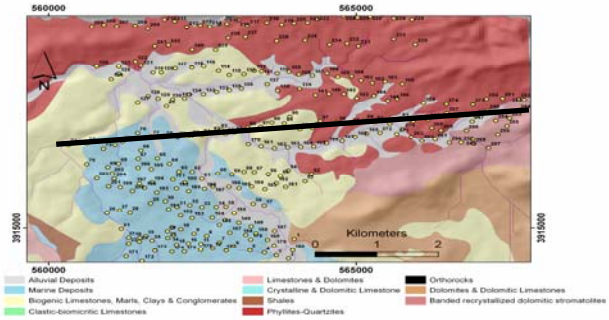


Fig. 6: Geological map overlaid with the location of TEM soundings. The thick continuous black line represents the geological section given in Fig. 7.

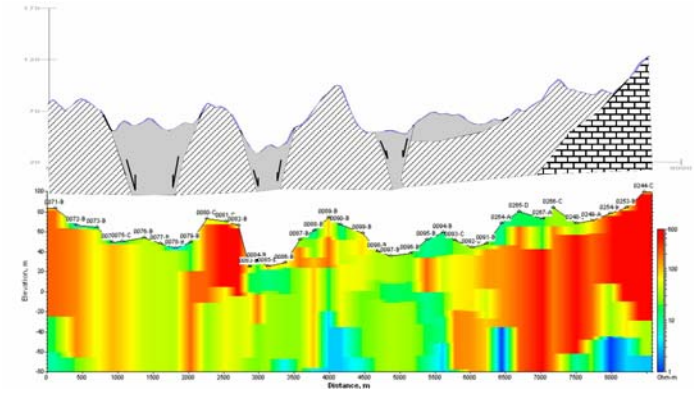


Fig. 7: Geological/tectonic layout of the WE profile (Fig. 6) in comparison with the TEM geoelectrical section in the same profile. 3 fracture zones are determined two of them were known by previous research (Mylonakis, 1991). The geophysical results are in good agreement with real geology. Warm colors represent the high resistivities (bedrock) and cold colors depict the low resistivity formations (allouvial, saturated sediments).

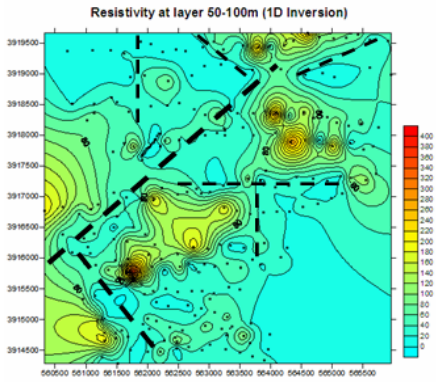


Fig. 8: The spatial distribution of the resistivity at the depth of 50-100 meters is presented. This image is based on the inversion instead of transformation of the collected TEM measurements. Thick dashed lines show the possible tectonic lines as interpreted from the resulted geophysical images.

4.2 2-D/3-D Imaging

Since the 1D modelling is inadequate to reconstruct and describe the subsurface, 2D modelling in comparison with geological sections is demanded. Figure 7 shows the validation of the geophysical 2D model by the known geological information. Three fracture zones are determined throughout the geophysical survey. The first two tectonic features are already recorded by the local geologists. TEM method is also capable to image the geological contact (thrust zone) between the dolomites/limestone with phyllites/quartzites. Due to geological complexity 3D imaging was also applied combining by interpolation all the acquired 1D models of study area. The 3D imaging is presented in depth slices as is shown in figure 8. Some possible tectonic structures are depicted in figure 8 and should be evaluated and confirmed by the prior geological information (geological maps, boreholes, other previous studies).

5. CONCLUSIONS

By the quantitative interpretation of the TEM data it has been possible to delineate the subsurface characteristics and to enhance areas of groundwater potential in the study area. With the additional information obtained from the available geological maps, boreholes and previous hydrogeological studies, the boundaries of the geological formations and a reliable hydrogeological model could be assumed. Most of the resulted geophysical images have already been confirmed by other geoenvironmental data (hydrochemical analyses).

Beyond the results concerning the main objectives of the study, the survey has shown that TEM method is a practical cost-effective technique for the geometry delineation of watersheds, and that high-quality TEM data could be recorded near complex geological areas, when the subsurface is conductive.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Prof. F. Vallianatos, Dr. P. Barsukov, Dr. P. Soupios, and Dr. M. Kouli for their support. DK wishes to thank the Region of Crete, the Municipality of Geropotamos, and the Organisation for the Development of Western Crete for the data provision. DK express gratitude at the Greek State Scholarship Foundation (IKY) for the financial support.

BIBLIOGRAPHY

Chalikakis, K. (2006). Application de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans les milieux karstiques, PhD thesis (in French).

Descloitres, M., Guérin, R., Albouy, Y., Tabbagh, A., Ritz, M. (2000). Improvement in TDEM sounding interpretation in presence of induced polarization. A case study in resistive rocks of the Fogo volcano, Cape Verde Islands. Journal of Applied Geophysics 45: 1-18

Goldman, M., and Kafri, U. (2006) Hydrogeophysical Applications in Coastal Aquifers, Vereecken, H. et al. (eds.), Applied Hydrogeophysics, Chapt. 8, 233-254.

McNeill, D.J., 1994. Principles and applications of time domain electromagnetic techniques for resistivity soundings. Geonics, technical note TN 27.

Mylonakis, I., Skourtsi-Koroneou, V., and Papazeti, E. (1991) IGME map, “Perama” sheet (geological mapping during the years 1982-1987), Institute of Geology and Mineral Exploration

Land, L., Lautier, J., Wilson N., Chianese, G., and Webb, S. (2004). Geophysical Monitoring and Evaluation of Coastal Plain Aquifers, GROUNDWATER, 42: 59-67

Nabighian, M.N. and Macnae, J.C. (1991) Time domain electromagnetic prospecting methods. In: Nabighian, M.N., Editor, 1991. Electromagnetic Methods in Applied GeophysicsApplications vol. 2, SEG publication, pp. 427–520 Chap. 6.

Nielsen, L., Jørgensen, N., Gelting, P. (2007) Mapping of the freshwater lens in a coastal aquifer on the Keta Barrier (Ghana) by transient electromagnetic soundings, Journal of Applied Geophysics 62: 1-15

TEM-RESearcher manual, Version 7 (2007) Applied Electromagnetic Research (AEMR), the Netherlands

Zarris, D. (2008) Masterplan for the water supply of Municipality of Geropotamos, Region of Crete (in Greek)