

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

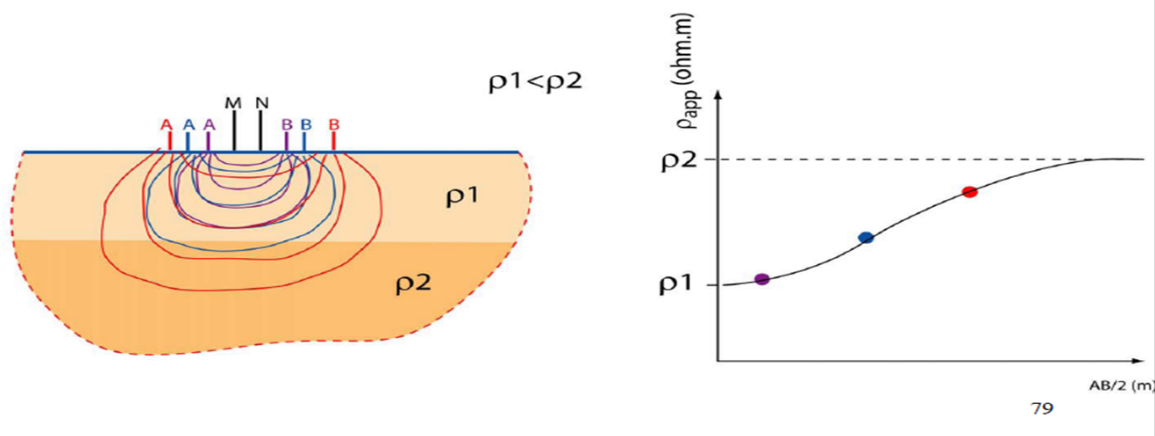


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ



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

Vertical electrical sounding (VES)



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Εφαρμογή ηλεκτρικής μεθόδου γεωφυσικής διασκόπησης στη
λεκάνη του Γεροποτάμου, Νομού Ρεθύμνου*

Σταθάκης Γεώργιος-Μπαμπούρη Βασιλική

Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη

ΧΑΝΙΑ 2010

TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE



BRANCH OF CHANIA



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

THESIS

Application of the electrical geophysical survey method in the Geropotamos basin, Rethymno

Stathakis George-Babouri Vasiliki

supervisor

Dr. Despina Kalisperi

CHANIA 2010

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπουσα: Δρ. Καλησπέρη Δέσποινα

Επιτροπή αξιολόγησης: Δρ. Παντελής Σουπιός, αναπληρωτής καθηγητής
Δρ. Ηλίας Παπαδόπουλος, καθηγητής εφαρμογών

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της προσπάθειας αυτής. Ευχαριστώ καταρχήν την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Δρ. Καλησπέρη Δέσποινα για την ανάθεση και την επίβλεψη αυτής της εργασίας καθώς και για τη σημαντική προσφορά στην υλοποίηση της, καθ' όλη τη διάρκεια αυτής. Χωρίς την υπομονή, την κατανόηση, τη μεταδοτικότητα και τη διάθεση της να μοιράζεται τις γνώσεις της η εργασία αυτή δε θα είχε φτάσει στην έγκαιρη ολοκλήρωσή της. Θερμές ευχαριστίες στον καθηγητή κ. Σουπιό Παντελή για την παραχώρηση δεδομένων και χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία αυτή. Επίσης θερμές ευχαριστίες οφείλουμε στους φίλους μας και την οικογένειά μας για την υποστήριξη που μας προσέφεραν στη διάρκεια της προσπάθειας μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή του Γεροποτάμου βρίσκεται στη βόρειο-κεντρική ακτή της Κρήτης. Η γεωλογική σύσταση της περιοχής μελέτης θεωρείται περίπλοκη, καθώς μειόκαινοι βιογενείς ασβεστόλιθοι, μάργες, άργιλοι και κροκαλοπαγή εμφανίζονται στο κεντρικό και το δυτικό μέρος, κλαστικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες Τρίπολης και plattenkalk εμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, ενώ το κάλυμμα φυλλιτών/χαλαζιτών βρίσκεται στο βορειότερο τμήμα της λεκάνης του Γεροποτάμου. Η τοπική τεκτονική της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από την παρουσία ρηγμάτων με κατευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ:-ΝΔ. Η διερεύνηση της γεωλογίας με χρήση της μεθόδου ηλεκτρικής βυθοσκόπησης (μέθοδος VES) έχει ως αποτέλεσμα την απεικόνιση μονοδιάστατων μοντέλων των γεωλογικών δομών, ενώ με τη χρήση της μεθόδου παροδικών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (μεθοδος TEM) έγινε επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων. Τρεις μετρήσεις VES πραγματοποιήθηκαν σε τρεις διαφορετικές τοποθεσίες (διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες), ενώ σε δύο περιπτώσεις πάρθηκαν παράλληλα TEM μετρήσεις.

ABSTRACT

The Geropotamos area is located on the north-central coast of Crete, Greece. The geological setting of the study area is considered complex, as Miocene biogenic limestones, marls, clays and conglomerates crop out in the central and the western part and clastic limestones and dolomites of the Tripolis and Plattenkalk nappe in the eastern part of the study area. The phyllite/quartzite nappe lays on the northern part of Geropotamos basin. The local tectonic regime of the study area is characterized by faults of NW-SE and NE-SW directions. Investigation of the geological status of the area using Vertical Electrical Resistivity (VES) measurement technique has resulted geological 1D models, while the use of Transient ElectroMagnetic method (TEM) confirmed our results. Three VES soundings took place. For the 2 of them, TEM measurements were also acquired.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
1.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	10
1.2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	10
1.2.2 ΤΟΠΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	11
1.2.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	12
1.2.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	12
1.2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΑ-ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	13
1.2.6 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	13
1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	15
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ	15
2.2.1 ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	15
2.2.2 ΤΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΛΥΜΜΑΤΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	16
2.2.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ	16
2.2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	18
2.2.4.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	19
2.2.5 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	25
2.3 ΠΕΡΙΛΗΨΗ	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	26
3.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	26
3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ VES-ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	26
3.1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	26
3.1.3 ΚΑΘΕΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΙΣ	28
3.1.3.1 ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	30
3.2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	30
3.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ TEM	31
3.2.3 TEM FAST 48	37
3.3 ΠΕΡΙΛΗΨΗ	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΑΝΑΛΥΣΗ- ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	40

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	40
4.2 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	40
4.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ-VES	41
4.2.1.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ	41
4.2.1.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ- ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	52
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	52
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	62

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η γεωλογική απεικόνιση μιας περιοχής με τη βοήθεια γεωφυσικών μεθοδολογιών εφαρμόζεται εδώ και πολλές δεκαετίες με μεγάλη επιτυχία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μία προσπάθεια εφαρμογής δύο πολύ γνωστών μεθόδων στην Βορειο-κεντρική Κρήτη, σε τρεις διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, δίνοντας πολύ καλά αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

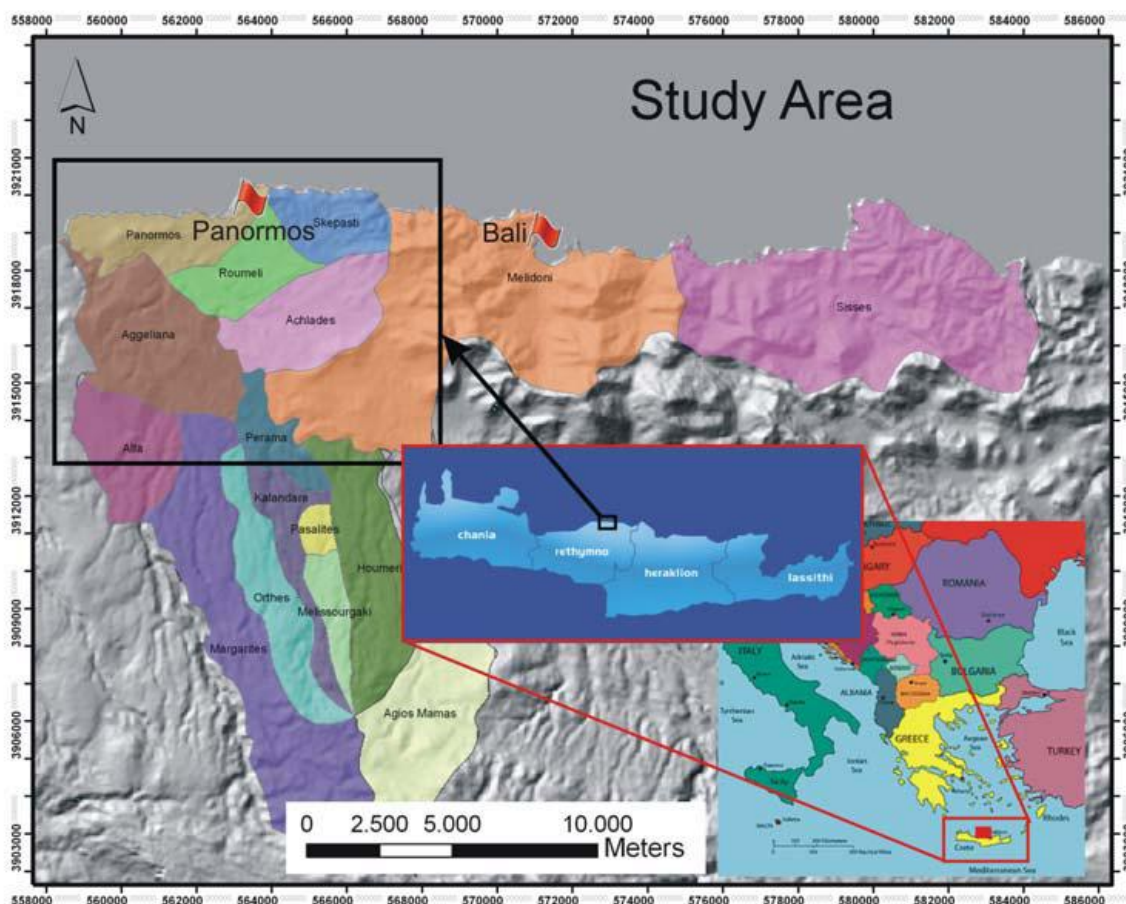
1.1 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Ο σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της γεωλογικής δομής ενός τμήματος της περιοχής του Γεροποτάμου. Τα εργαλεία για να φέρουμε σε πέρας αυτό το σκοπό ήταν η ευρέως διαδεδομένες γεωφυσικές μέθοδοι ηλεκτρικής αγωγιμότητας (VES) και η μέθοδος παροδικών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (TEM). Όλα τα στοιχεία και τις μετρήσεις τα προμηθευτήκαμε από την Δρ. Καλησπέρη Δέσποινα (επιβλέπουσα καθηγήτρια) μέρος της διδακτορικής της διατριβής (Kalisperi, 2009) και θα τις χρησιμοποιήσουμε για την περαίωση του σκοπού μας.

1.2 Γενικές πληροφορίες της περιοχής μελέτης

1.2.1 Γεωγραφικές πληροφορίες περιοχής και πληθυσμός

Ο Δήμος Γεροποτάμου βρίσκεται στην βόρειο-κεντρική ακτή της Κρήτης. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται βόρεια του δήμου, 30 χλμ ανατολικά της πόλης του Ρεθύμνου. Η περιοχή μελέτης καλύπτει 7 δημοτικά διαμερίσματα (Πέραμα, Αγγελιανά, Αχλάδες, Μελιδони, Πάνορμος, Ρούμελη, Σκεπαστή) και συμπεριλαμβάνει 14 χωριά: Πέραμα, Δάφνη, Αγγελινά, Αλεξάνδρου Χάνι, Χανοθιανά, Αχλάδες, Συριπιδιανά, Σολοχιανά, Μελιδόνι, Εξάδης, Πάνορμος, Λάβρης, Ρούμελη, Σκεπαστή. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη απογραφή στην Ελλάδα το 2001 4.665 άνθρωποι ζουν στην περιοχή αυτή.



Εικόνα 1.1. Γεωγραφικός προσδιορισμός της περιοχής μελέτης. Βόρειο-κεντρική ακτή της Κρήτης. Καλύπτει περίπου 40 km². (μαύρο πλαίσιο) (Kalisperi, 2009)

1.2.2 Τοπική οικονομία

Τα επαγγέλματα τα οποία ακμάζουν στην περιοχή είναι η γεωργία η κτηνοτροφία και ο τουρισμός. Ελαιόδεντρα είναι το πιο συνηθισμένο που βλέπει κανείς σε όλες τις αγροτικές εκτάσεις του δήμου Γεροποτάμου. Η κτηνοτροφία αποτελείται κυρίως από πρόβατα και αίγες. Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν 9 μικρά ελαιουργεία, 2 μικρές τσιμεντοβιομηχανίες και 1 εργοστάσιο που παράγει ζωτροφές. Αυτά αποτελούν το βιομηχανικό δυναμικό της περιοχής. Ο τουρισμός είναι σημαντικό κομμάτι της τοπικής οικονομίας. Το χωριό Πάνορμος είναι τόπος έλξης για πολλούς Έλληνες και ξένους τουρίστες. Τέλος υπάρχουν περισσότερα από 5 πολυτελή ξενοδοχεία τα οποία έχουν κτιστεί πάνω στην παραλία αλλά και διαμερίσματα και βίλλες κοντά στο χωριό. Το σπήλαιο του Μελιδονίου είναι μια επιλογή για τους τουρίστες λόγω της μεγάλης σημασίας των αρχαιολογικών ευρημάτων που βρίσκονται στο αρχαιολογικό μουσείο Ρεθύμνου.

1.2.3 Γεωμορφολογία περιοχής

Η λεκάνη του Γεροποτάμου έχει έκταση περίπου 375 km². Η περιοχή μελέτης αφορά τη βόρεια περιοχή της λεκάνης και καλύπτει 66,4 km². Γενικά η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως πεδινή και ημιορεινή με μέση υψόμετρο 106,4 m.

1.2.4 Υδρολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής

Το κλίμα της Κρήτης επηρεάζεται από τα μεσογειακά καιρικά συστήματα. Τα χαρακτηριστικά του καιρού της Κρήτης είναι τα ξηρά, ζεστά καλοκαίρια και οι υγροί ήπιοι χειμώνες. Το ύψος των βροχοπτώσεων κυμαίνεται από 300-700 mm στις πεδιάδες του νησιού ενώ στα βουνά φτάνει μέχρι τα 2000 mm. Το καλοκαίρι οι βροχοπτώσεις κυμαίνονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα. Διαφορές επίσης υπάρχουν μεταξύ της Δυτικής και της ανατολικής πλευράς του νησιού. Η ανατολική πλευρά της Κρήτης είναι ξηρότερη και θερμότερη από τη δυτική. Η ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 17 και 20°C και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ξεπερνά τους 40 βαθμούς κελσίου.



Εικόνα 1.2. Το κόκκινο πλαίσιο ορίζει την περιοχή μελέτης συμπεριλαμβανομένων των 9 μεγαλύτερων χωριών της περιοχής μελέτης. (εικόνα από Google earth, 7/3/2009)

1.2.5 Γεωλογία, Λιθολογία και δομή περιοχής έρευνας

Η γεωλογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από πλειόκαινες/πλειστόκαινες θαλάσσιες αποθέσεις που αποτίθενται στο υπόβαθρο. Μειόκαινοι βιογονικοί ασβεστόλιθοι, άργιλοι και κροκαλοπαγή εμφανίζονται στο κεντρικό και δυτικό μέρος της περιοχής μελέτης καθώς και κλαστικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες του καλύματος Τρίπολης και plattenkalk στην ανατολική πλευρά της περιοχής. Το κάλυμα φυλλίτες-χαλαζίτες (παλαιότερο πέτρωμα της περιοχής) βρίσκεται στο βορειότερο μέρος της λεκάνης του Γεροποτάμου.

Το τοπικό τεκτονικό καθεστώς της περιοχής χαρακτηρίζεται από ρήγματα με κατευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ, που κόβουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς καθώς και τη ροή των υπόγειων νερών, με αποτέλεσμα την πιθανή ρύπανση τους από την εισχώρηση του θαλασσινού νερού.

1.2.6 Υδρογεωλογία

Το βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο αποτελείται από στεγανούς σχηματισμούς(φυλλίτες-χαλαζίτες) όπου αναμένεται να ενεργήσει ως φράγμα των υπόγειων νερών για πιθανή απαλλαγή εισχώρησης θαλασσινού νερού η διαφυγής του νερού του υδροφόρου ορίζοντα προς τη θάλασσα. Η κύρια επαναφόρτιση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα αναμένεται να προέλθει από το ανατολικότερο και νοτιότερο τμήμα της περιοχής (ορεινό τμήμα) το οποίο αποτελείται από διαπερατούς σχηματισμούς.

1.3 Περίγραμμα πτυχιακής

Στην εισαγωγή στο κεφάλαιο 1 αναφέρεται ο σκοπός και πληροφορίες για την περιοχή μελέτης όπως, γεωγραφικές πληροφορίες, γεωμορφολογία, υδρολογικά, υδρο-μετεωρολογικά στοιχεία και γεωλογία περιοχής έρευνας.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 2 γίνεται μία επισκόπηση της βιβλιογραφίας (γεωλογία ευρύτερης περιοχής και πιο συγκεκριμένα γεωλογία περιοχής έρευνας).

Στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζονται οι μέθοδοι προσέγγισης της μελέτης. Γεωφυσική μελέτη-εφαρμογή γεωφυσικής μεθόδου βυθοσκόπησης παροδικών

ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (TEM) και γεωφυσική μελέτη-εφαρμογή της γεωφυσικής μεθόδου ηλεκτρικής αντίστασης (VES).

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται παρουσίαση, επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων και στη συνέχεια μοντελοποίηση αυτών.

Στο κεφάλαιο 5, γίνεται σχολιασμός και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τη μελέτη αυτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 **ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ**

2.1 Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τη γεωφυσική μελέτη του βόρειου τμήματος της λεκάνης του Γεροποτάμου για την κατανόηση της γεωλογίας της περιοχής. Μια σύντομη περιγραφή των εν λόγω θεμάτων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

2.2 Γεωλογία

Η Κρήτη γενικά ως περιοχή έχει μεγάλο ενδιαφέρον ως προς την γεωλογία της. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην γεωλογική της θέση. Η Κρήτη βρίσκεται στην σύγκλιση της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας. Όπου κάτω από την Κρήτη η αφρικανική πλάκα εισχωρεί κάτω από την ευρασιατική. Η γεωλογική αυτή ιστορία έχει γίνει αντικείμενο μελετών. Το 1848 ο V. Raulin εξέδωσε τις πρώτες μελέτες (1848, 1856, 1860, 1867, 1869) για τη γεωλογία του νησιού και από τότε έχουν εκδοθεί πάνω από 1000 επιστημονικές μελέτες για αυτό το θέμα.

2.2.1 Γεωδυναμική εξέλιξη του αιγαίου

Η καινοζωική εξέλιξη της Κρήτης χαρακτηρίζεται από την καταβύθιση της Αφρικανικής πλάκας η οποία βυθίζεται προς το βορά κάτω από τη λιθόσφαιρα του αιγαίου (Μακρής 1977, McKenzie 1978, Παπαζάχος κ Κομνηνάκης 1978, Le Pichon & Angelier 1979). Η Αφρικανική πλάκα κινούμενη προς τα βόρεια δημιουργεί πιέσεις ανάμεσα στην Αραβική και την ευρασιατική πλάκα (Molnar & Tapponier 1975). Έχει παρατηρηθεί ότι λόγω αυτών των κινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών η κίνηση της Κρήτης είναι 3-4 cm/έτος νότια-νοτιοδυτικά (Jackson 1994, Le pichon 1995, Cocard 1999, Noomen 1999 Bohnoff 2001). Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι και η Αφρική κινείται Βόρεια προς την Ευρασία (McKenzie 1970, Le Pichon 1995, Taymaz 1990, Bohnhoff 2001). Συνολικά έχουμε μετακίνηση γύρω στα 5 cm/έτος. Όλη η παραπάνω διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών του Αιγαίου και της Ανατολίας προς τα δυτικά. (Mckenzie 1972, Mckenzie 1978, Le Pichon & Angelier 1979, Angelier 1981.)

2.2.2 Τα τεκτονικά καλύμματα της Κρήτης και τα ιζήματα

Όπως αναφέρθηκε η γεωλογική ρύθμιση του νησιού της Κρήτης είναι πολύ σύνθετη και χαρακτηρίζεται από τα προαλπικά, αλπικά και μεταλπικά πετρώματα, δηλαδή πετρώματα που διαμορφώθηκαν πριν, κατά τη διάρκεια ή μετά την Αλπική ορογένεση.

Προαλπικά και Αλπικά πετρώματα

Τα κατώτερα καλύμματα περιλαμβάνουν 3 επί μέρους καλύμματα. Το κατώτερο κάλυμμα των πλακωδών ασβεστόλιθων αποτελείται από νιτρικά ανθρακικά πετρώματα. Στη βάση εμφανίζονται Περμικής ηλικίας σχιστόλιθοι και κλαστικά ιζήματα, ακολουθούν νιτρικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες. Το κάλυμμα των φυλλιτών-χαλαζιτών βρίσκεται στην ανώτερη τεκτονικά, θέση των κατώτερων καλυμμάτων. Αποτελείται από 2 επιμέρους τμήματα, το ανώτερο με φιλλίτες, σχιστόλιθους, χαλαζίτες, μάρμαρα και μετα-υφαιστιακά πετρώματα και το κατώτερο με μεταγραουβάκες, χαλαζίτες, σχιστόλιθους, δολομίτες και εβαπορίτες. Τα ανώτερα καλύμματα αποτελούνται από τεκτονικές ενότητες που μπορούν να συσχετιστούν με τις λιθοτεκτονικές ενότητες της κεντρικής Ελλάδας και των κυκλάδων. Πάνω από την κύρια ζώνη απόσπασσης βρίσκονται τα αμεταμόρφωτα, αλπικά ιζήματα των καλυμμάτων της Τρίπολης και Πίνδου. (Φασούλας,2000).

Μεταλπικά

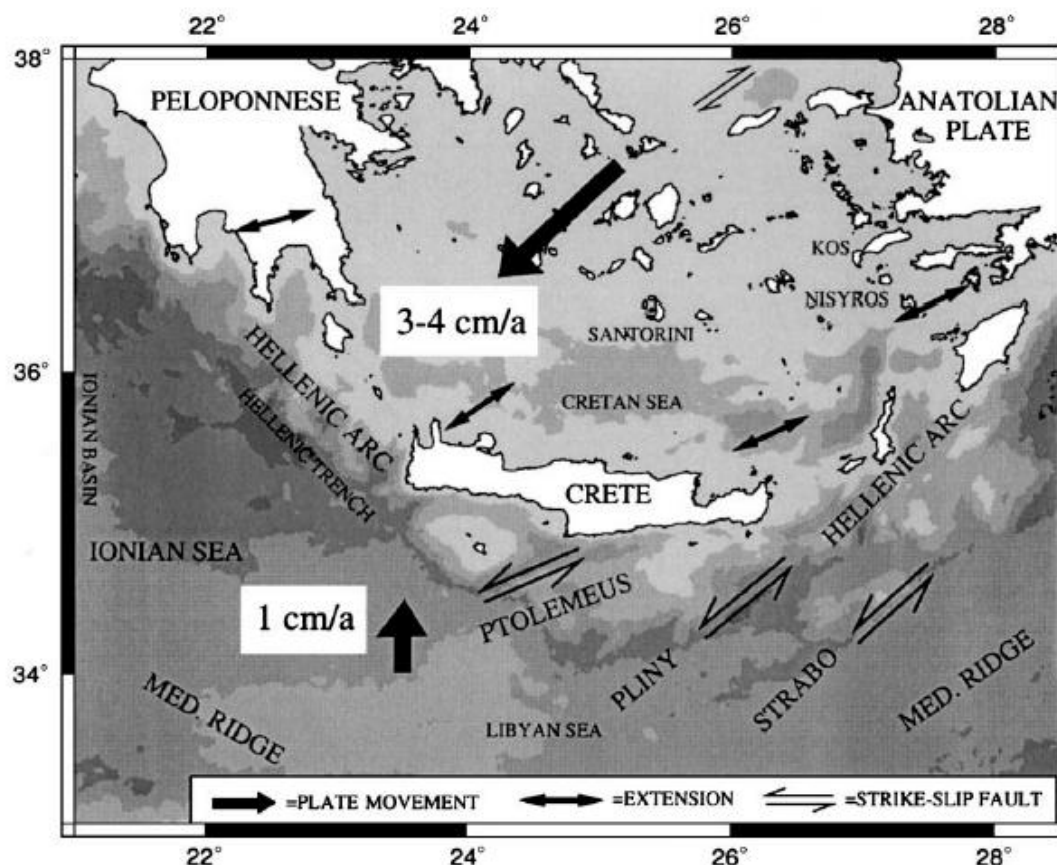
Τα μεταλπικά πετρώματα της Κρήτης αποτελούνται από τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα που εμφανίζονται ασύμφωνα πάνω στα κατώτερα και ανώτερα καλύμματα, μέσα σε λεκάνες με ανατολή-δύση ή βορρά-νότου διεύθυνση. Η ενότητα της Πρίνας αποτελείται από παλαιότερα νεογενή ιζήματα, σκουρόχρωμα ασβεστολιθικά κορήματα και κροκάλες που είναι συνήθως πολύ καλά συγκολλημένα με ασβεστιπικό υλικό (Φασούλας,2000).

2.2.3 Τεκτονική Κρήτης

Κατά τη διάρκεια του Νεογενούς η Κρήτη επηρεάστηκε κυρίως από εφελκιστική εκτατική τεκτονική με πιθανά διαλειμματα συμπιεστικών φάσεων. Η γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα είναι αποτέλεσμα δύο κύριων γεωδυναμικών διεργασιών: την συνεχούς σύγκλισης των πλακών της Αφρικής και Ευρασίας με την ταυτόχρονη οπισθοχώρηση της ζώνης υποβύθισης και της

τεκτονικής διαφυγής προς τα νοτιοδυτικά της μικρ-πλάκας της Ανατολίας. Στην περιοχή της κεντρικής Κρήτης η τεκτονική εξέλιξη ήταν αποτέλεσμα διαδοχικών εφελκυστικών περιόδων που δημιούργησαν τρεις γενεές ρηγμάτων. Η πρώτη γενεά αποτελείται από ρήγματα με διεύθυνση ανατολής-δύσης. Κατά τη διάρκεια του τέλους του Μεσηνίου με μέσο του Πλειοκαίνου δημιουργήθηκαν τα δεύτερης γενεάς ρήγματα με διεύθυνση βορρά-νότου τα οποία προκάλεσαν ανύψωση ορισμένων περιοχών και ταυτόχρονα τη δημιουργία των λεκανών του Ηρακλείου της Ιεράπετρας και του Καστελίου Χανίων. Στο τέλος του Πλειόκαινου η σταθεροποίηση του πεδίου των τάσεων στην Κρήτη που δημιούργησε το σημερινό ενεργό γεωδυναμικά καθεστώς προκάλεσε τα ρήγματα της τρίτης γενεάς τα οποία αναπτύχθηκαν κάθετα μεταξύ τους διότι οι εφελκυστικοί άξονες του πεδίου των τάσεων βρίσκονται οριζόντιοι και με ίδιο μέγεθος.

Αντίθετα, τα πρότυπα για την Πελοπόννησο δείχνουν ότι η ανάδυση των πετρωμάτων που δημιουργήθηκαν σε συνθήκες υψηλής πίεσης ήταν αποτέλεσμα ενός συμπιεστικού μηχανισμού (Ξυπόλιας & Δούτσος, 2000). Μια πολύ πρόσφατη μελέτη στην κεντρική Κρήτη από τον Χατζάρα (2006) προτείνει ένα μοντέλο ορογένεσης για Hellenides στην Κρήτη, που μοιάζει με εκείνο της Πελοποννήσου.

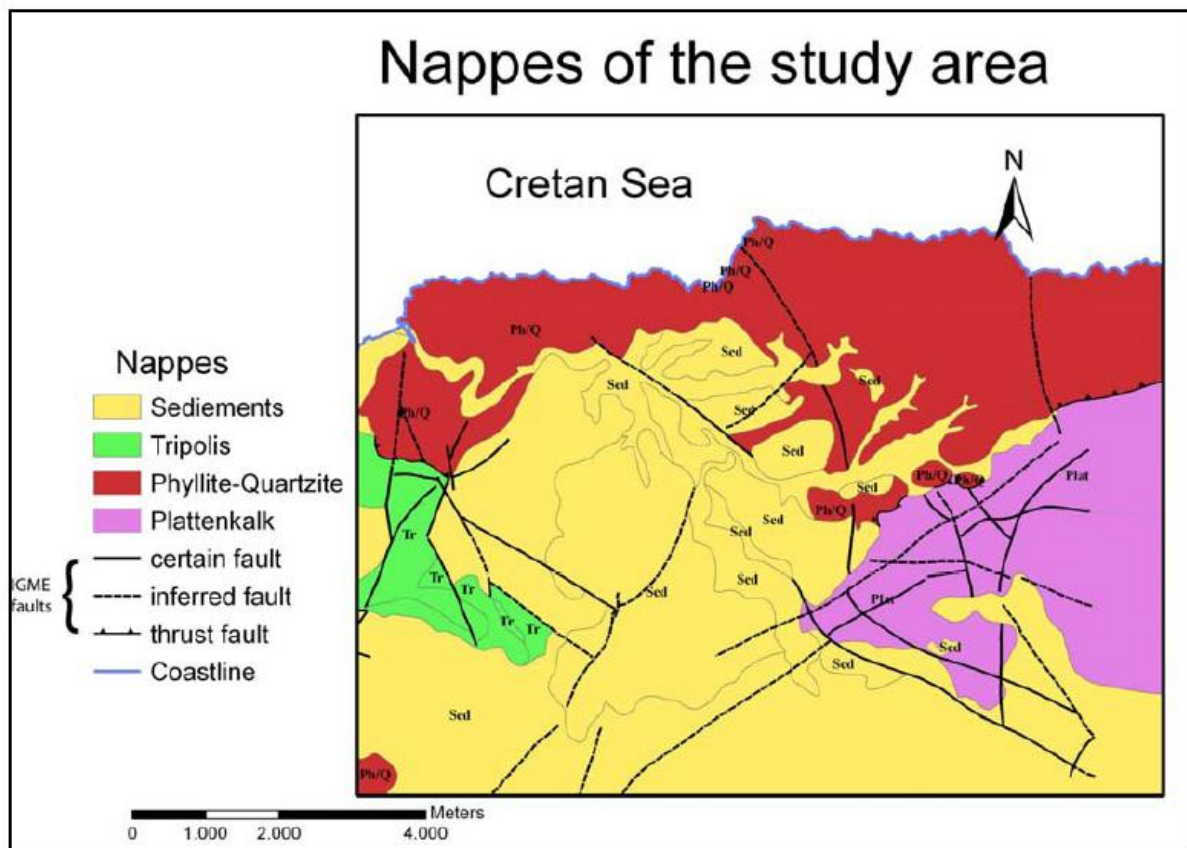


Εικόνα 2.1. Γενικευμένος χάρτης των κύριων τεκτονικών στοιχείων του Νότιου Αιγαίου.(πηγή Bohnhoff, 2001).

2.2.4 Γεωλογία της περιοχής του Γεροποτάμου

Ο γεωλογικός καθορισμός της περιοχής μελέτης δεν έχει εξεταστεί εκτενώς στο παρελθόν, κυρίως από τις τοπικές αρχές. Οι έρευνες βασίστηκαν στη βιβλιογραφία και σε γεωτρήσεις από τοπικούς γεωλόγους. Στην έκθεση του 1995 «Γεωλογική και υδρογεωλογική μελέτη Ρεθύμνου» ο Μ. Κνιθάκης δίνει μια λεπτομερή περιγραφή της γεωλογίας του Ρεθύμνου. Οι πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για εκείνο το τμήμα, προκειμένου να περιγραφεί η γεωλογία της περιοχής λαμβάνονται από το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (1:50000). Η γεωλογία της περιοχής μελέτης (βόρεια περιοχή της λεκάνης Γεροποτάμου) αποτελείται από μερικά από τα παλαιότερα πετρώματα στην Κρήτη (Φιλλίτες, χαλαζίτες και plattenkalk,) καλυμμένα από τις νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις. Το Δυτικό μέρος της περιοχής μελέτης καλύπτεται από το κάλυμμα της Τρίπολης. Τα Ταλέα όρη αποτελούνται από δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες στο νότιο μέρος του και στρωματολίτες

των μαρμάρων και των δολομιτικών ασβεστόλιθων στο βόρειο μέρος. Οι φιλλίτες/χαλαζίτες επικαλύπτουν το βραχώδες υπόβαθρο σε επαφή ώθησης. Το τοπικό τεκτονικό καθεστώς της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από τα κανονικά ρήγματα με διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Αυτά τα ρήγματα καθορίζουν την κατεύθυνση ροής υπόγειων νερών και την πιθανή ρύπανση από την εισχώρηση θαλασσινού νερού.



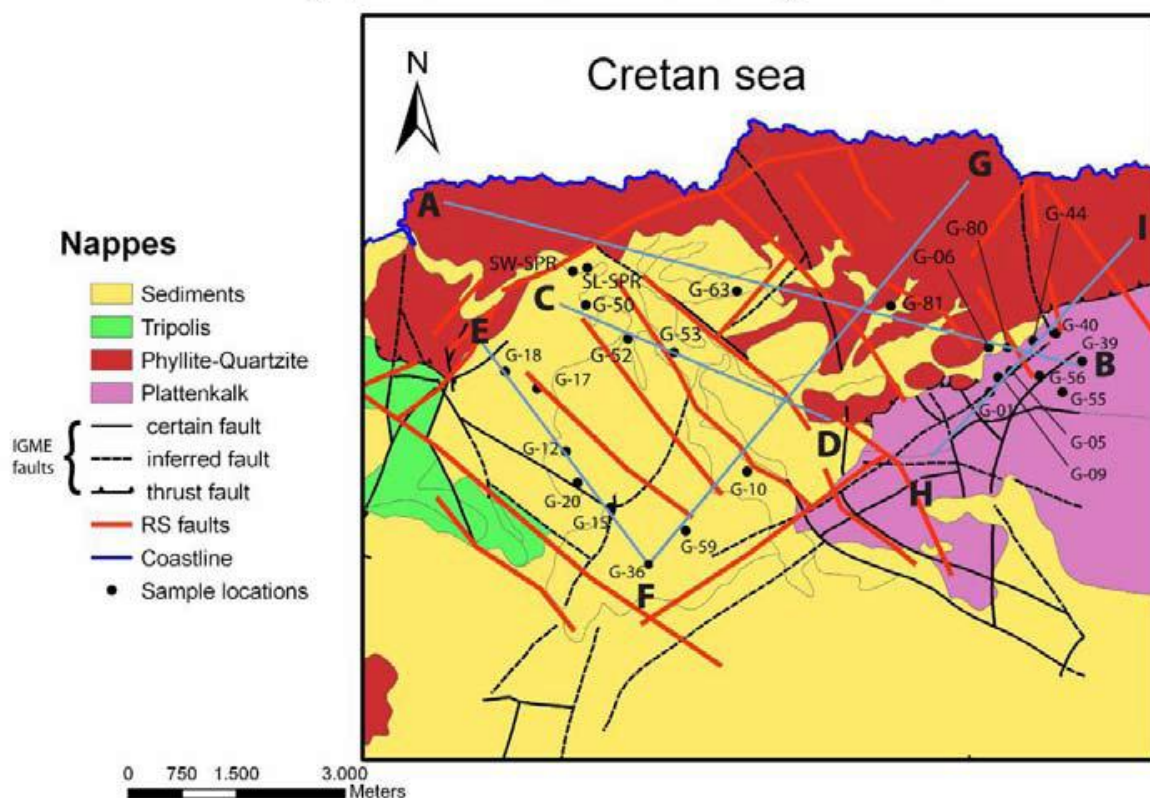
Εικόνα 2.2 Κύρια τεκτονικά καλύμματα και ρήγματα της περιοχής μελέτης. (Kalisperi, 2009).

2.2.4.1 Γεωλογικές Τομές από την περιοχή μελέτης

Πέντε απλές γεωλογικές τομές δημιουργήθηκαν από τη Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη για την καλύτερη κατανόηση της γεωλογικής δομής της περιοχής μελέτης (AB, CD, EF, FG και HI) στα πλαίσια της διδακτορικής της διατριβής.

Οι τομές αυτές επιλέχθηκαν βάση των εξής κριτηρίων: α) οι γραμμές θα πρέπει να περνούν μέσα από όλα τα στρώματα. β) θα πρέπει να περνούν κοντά από τις τρεις VES διασκοπήσεις. Οι πηγές δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τους ήταν: α) ένας χάρτης 1:50.000 του ΙΓΜΕ, β) πληροφορίες από γεωτρήσεις που ήταν διαθέσιμες, γ) δεδομένα από τη χαρτογράφηση που έλαβε χώρα τον Φεβρουάριο του 2008 από την Δρ. Καλησπέρη Δέσποινα και τον Δρ. Stephen Kershow.

Nappes of the study area



Εικόνα 2.3: Καλύμματα της περιοχής μελέτης με τις 5 γεωλογικές τομές της περιοχής έρευνας (AB, CD, EF, FG και HI), ii) Τα ρήγματα που προέρχονται από δορυφορική εικόνα. Η πηγή χαρτογράφησης των ρηγμάτων προέρχεται από το ΙΓΜΕ.

A



B



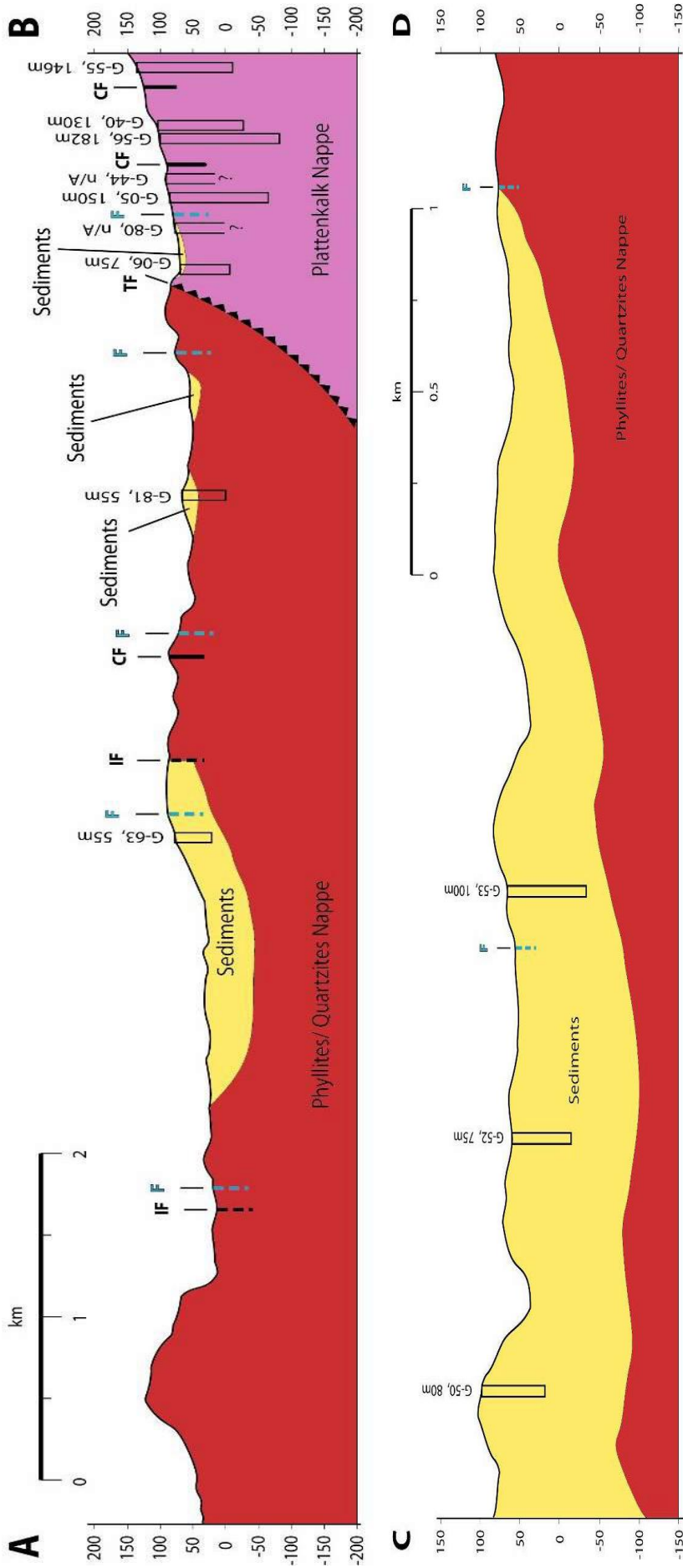
Γ

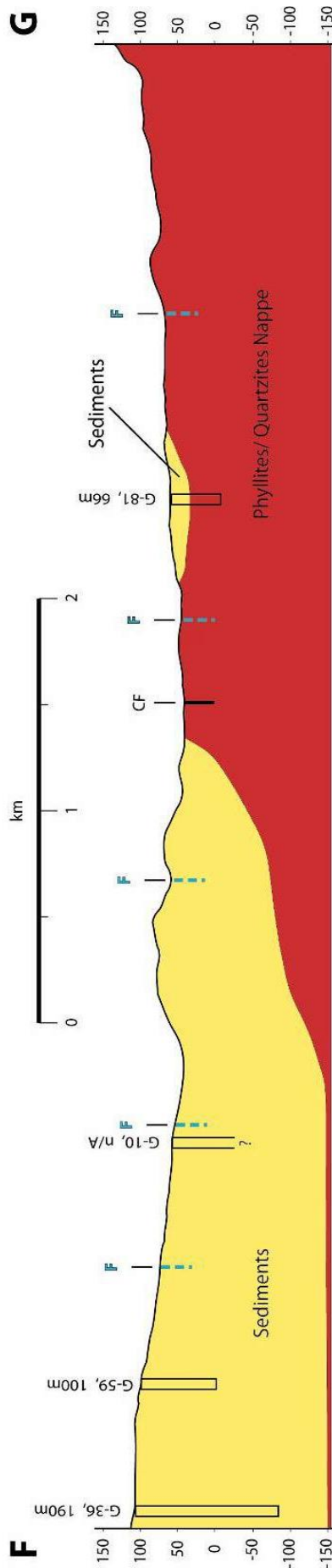
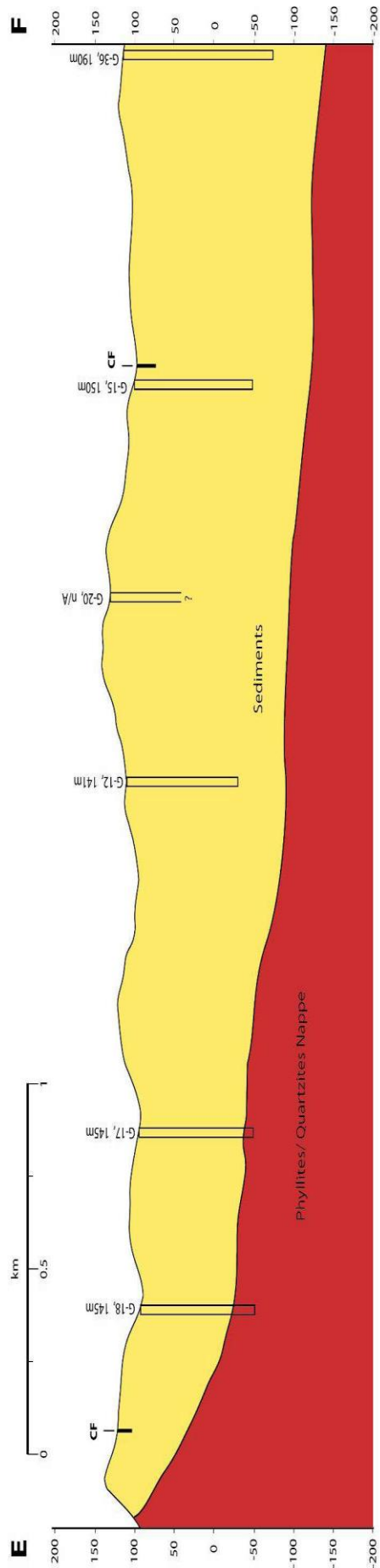
Δ

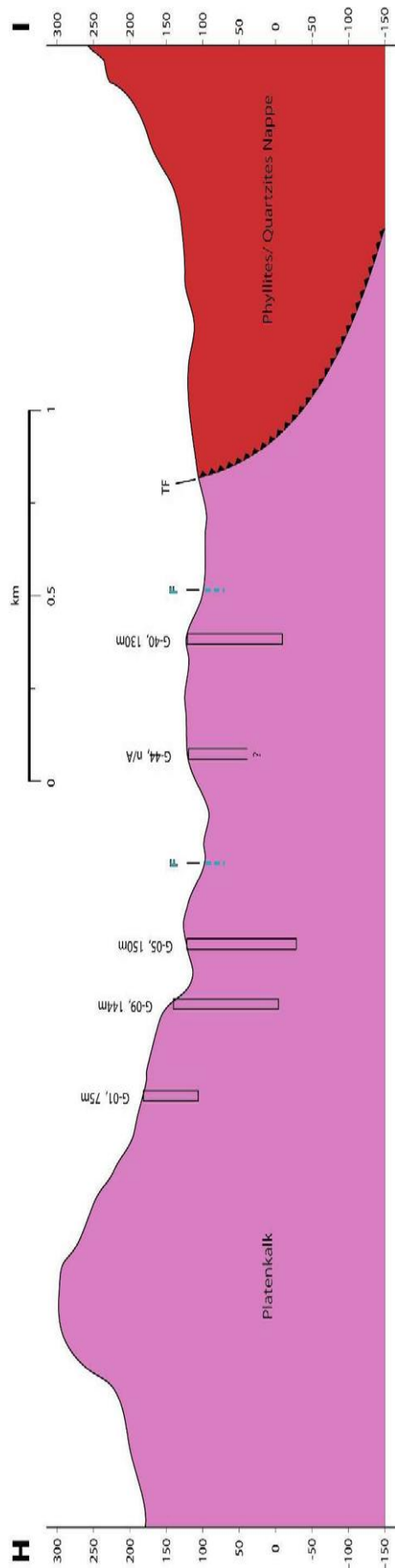
Εικόνα 2.4: Α. Είναι το κάλυμμα των φυλλιών/χαλαζιτών που είναι υπερκείμενοι των ασβεστόλιθων του plattenkalk. Β. Δείχνει την ίδια περιοχή όπου η εφίππευση φαίνεται καθαρά στο κέντρο της εικόνας. Γ. Οι φυλλίτες κοντά στην εφίππευση. Δ. Οι δολομίτες, ασβεστόλιθοι, (Plattenkalk) κάτω από τη ζώνη εφίππευσης.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό είναι η επαφή μεταξύ φυλλιών-χαλαζιτών και του παλαιού υποστρώματος στη βόρεια-ανατολική πλευρά της περιοχής (εικόνα 4.2 Α, 4.2 Β, 4.2 Γ, 4.2 Δ).

Μεταξύ 16 και 19 Φεβρουαρίου η Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη με την καθοδήγηση του επιβλέποντα Δρ Stephen Kershow, ολοκλήρωσε τη γεωλογική παρατήρηση. Όλα τα πετρώματα της περιοχής μελέτης αναγνωρίστηκαν, βρέθηκαν από το GPS, και συλλέχθηκαν τα δείγματα των πετρωμάτων. Ένα βασικό χαρακτηριστικό είναι η επαφή μεταξύ φυλλιών/χαλαζιτών και του plattenkalk στο βόρειο- ανατολικό τμήμα της περιοχής.







Εικόνα 2.5. Απλά γεωλογικά τμήματα

2.2.5 Γεωφυσικές μέθοδοι

Ανάμεσα σε όλες τις γεωφυσικές μεθόδους, η μέθοδος ηλεκτρικής αγωγιμότητας (VES) και η μέθοδος παροδικών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων θεωρούνται οι κορυφαίες για την διερεύνηση των υπόγειων υδάτων. Πολλές επιτυχημένες εφαρμογές των μεθόδων αυτών έχουν να κάνουν με την ανίχνευση υπαλμύρισης των υπόγειων υδάτων.

Η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης (VES), χρησιμοποιείται συχνά για τη διερεύνηση των υπόγειων υδάτων (Yadav and Abolfazli 1998, Salem 2001, Dhakate and Singh, 2005, Sourpios, 2007). και τη χαρτογράφηση της υπαλμύρισης (Shaaban 2001, Frohlich and Urish, 2002). Επίσης πολλές επιτυχείς εφαρμογές συνδυάζουν και τις δύο μεθόδους (Al-Sayed and El-Qady, 2007), ενώ έχει επιτευχθεί η κοινή αναστροφή των μετρήσεων συνεχούς ρεύματος και παροδικών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Πολλά έχουν δημοσιευθεί σχετικά με τη μέθοδο των παροδικών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (TEM), συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών σε υδρογεωλογικές έρευνες. (Fitterman and Stewart 1986, Eddy-Dilek 1997, Richards 1998, Meju 2000, Guerin 2001, Danielsen 2003, Young 2004, Lepper and Elmor 2005, Metwaly 2006, Barret 2006, MacNeil 2007)

2.3 Περίληψη

Αυτό το κεφάλαιο ήταν μια επισκόπηση της βιβλιογραφίας προηγούμενων γεωλογικών μελετών. Επίσης αναφέρθηκαν κάποιες γεωφυσικές μελέτες από τη διεθνή βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

3.1 Γεωφυσικές μέθοδοι

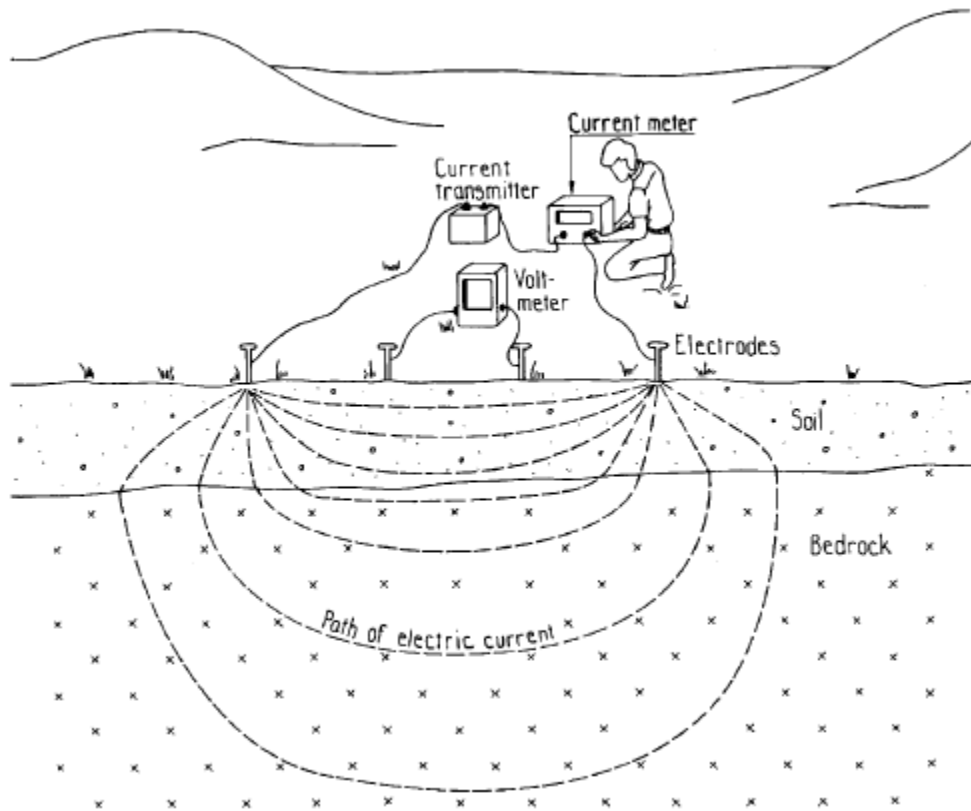
Στην περιοχή εφαρμόστηκε η γεωφυσική μέθοδος των κατακόρυφων ηλεκτρικών διασκοπήσεων (VES) και η μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM) με σκοπό τη λεπτομερή έρευνα του στόχου.

3.1.1. Μέθοδος VES-ειδικής αντίστασης.

Η μέθοδος ειδικής αντίστασης έχει ένα ευρύ φάσμα των εφαρμογών στα περιβαλλοντικά και εφαρμοσμένης μηχανικής προβλήματα. Η τεχνική της ειδικής αντίστασης προέρχεται από το 1912 και αναπτύχθηκε από τον Conrad Schlumberger ο οποίος πραγματοποίησε τα πρώτα πειράματα στην Νορμανδία. Αυτό το τμήμα περιγράφει εν συντομία τις θεωρητικές αρχές της μεθόδου ειδικής αντίστασης και ασχολείται με περισσότερες λεπτομέρειες με την καθετή ηλεκτρική διασκόπηση (VES).

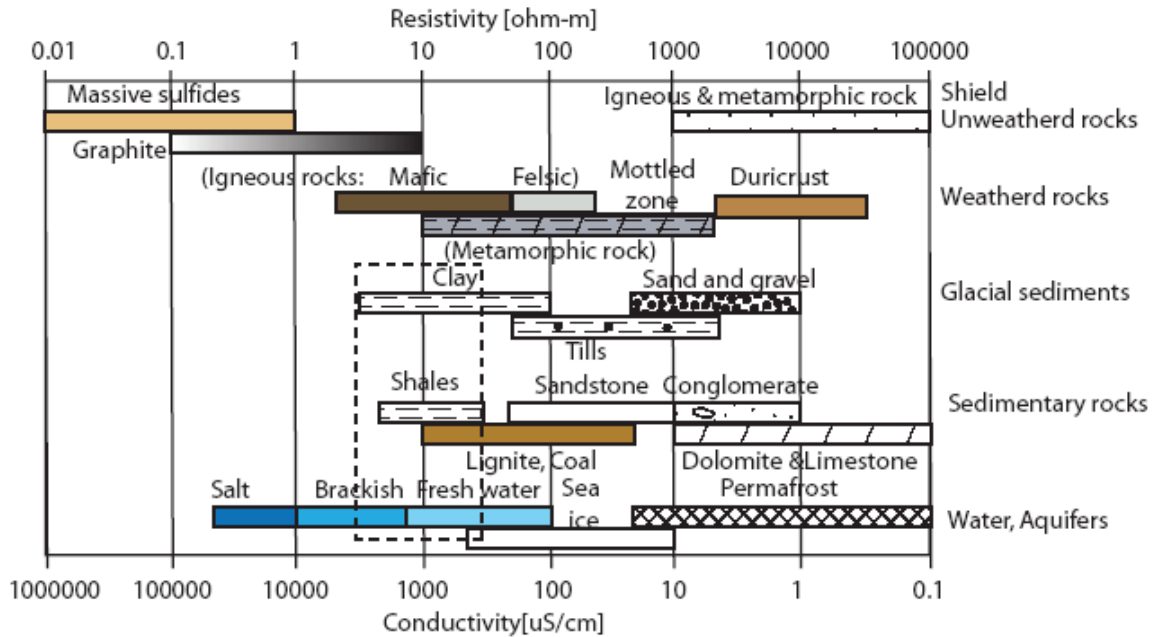
3.1.2. Βασικές αρχές

Η αρχή των γεω-ηλεκτρικών μεθόδων είναι: Οι «Ηλεκτρικές μετρήσεις των διάφορων τύπων γίνονται στην επιφάνεια της γης για να ερευνηθούν τις συνθήκες κάτω από την επιφάνεια. Ένα ηλεκτρικό ρεύμα οδηγείται μέσω του εδάφους και οι προκύπτουσες πιθανές διάφορες μετριοούνται στην επιφάνεια. Οι ανομοιογένειες μέσα στο έδαφος προκύπτουν από το γεγονός ότι εκτρέπουν το ρεύμα και διαστρεβλώνουν τις κανονικές δυνατότητες (Sharma, 1997).



Εικόνα 3.1 Σκίτσο που παρουσιάζει την αρχή της συνεχούς ειδικής αντίστασης (Dahlin 2001, τροποποιημένο από Robinson και Coruh, 1988)

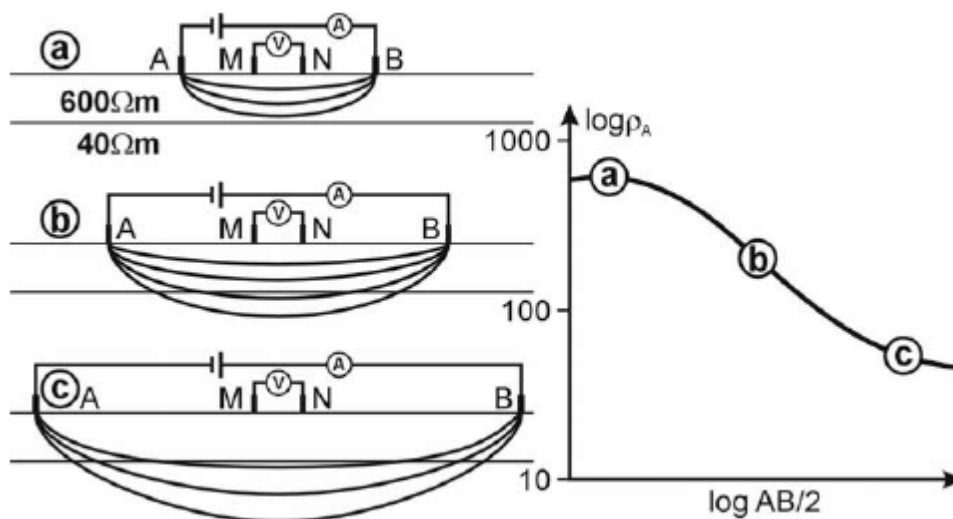
Η ειδική αντίσταση είναι η ιδιότητα ενός υλικού και περιγράφει πόσο καλά το υλικό εμποδίζει την τρέχουσα ροή. Ο σκοπός των κάθετων ηλεκτρικών διασκοπήσεων VES είναι να καθοριστούν οι παραλλαγές στην ειδική αντίσταση σε σχέση με το βάθος. Το σχήμα 3.2 περιγράφει την ειδική αντίσταση του κάθε υλικού του γήινου φλοιού.



Εικόνα 3.2 Χαρακτηριστικές σειρές των ηλεκτρικών ειδικών αντιστάσεων των γήινων υλικών (Perttu, 2008 μετά από Palacky 1987).

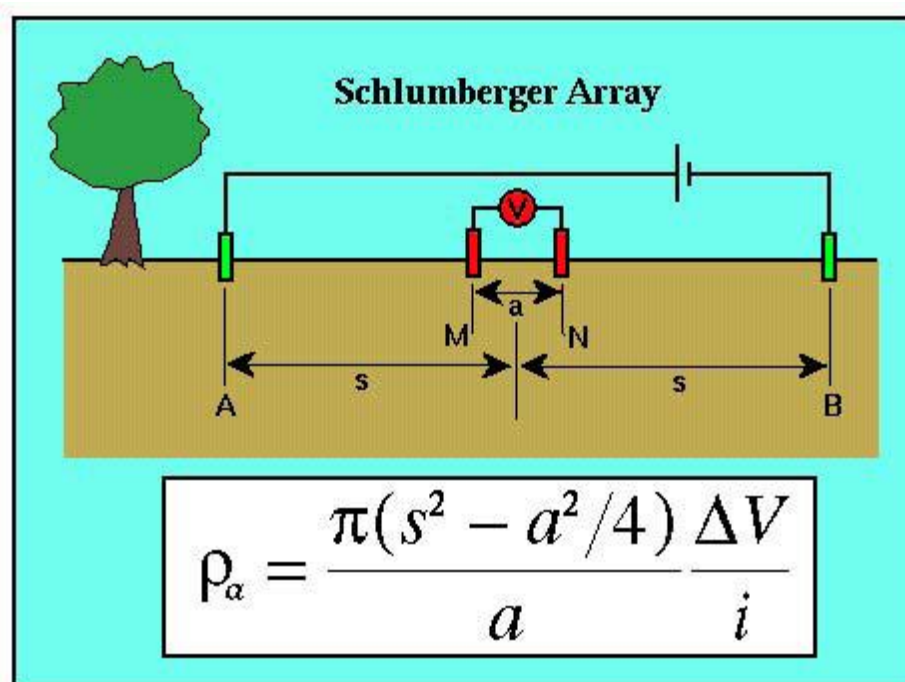
3.1.3 Κάθετες ηλεκτρικές διασκοπήσεις (VES)

Οι μετρήσεις ειδικής αντίστασης γίνονται με κοινά ηλεκτρόδια (Α και Β) και μετρούν τη διαφορά τάσης (ΔV) μεταξύ δυο ηλεκτροδίων (Μ και Ν) τα οποία βρίσκονται ανάμεσα στα Α και Β. Όπως περιγράφεται από τον Kirsch (2006): η βασική ιδέα της επίλυσης της κάθετης διάταξης σε στρώματα ειδικής αντίστασης είναι να αυξηθεί σταδιακά το διάστημα των ηλεκτροδίων Α-Β (συνήθως με μια λογαριθμική διανομή χωρισμού ηλεκτροδίων), το οποίο οδηγεί σε μια αυξανόμενη διείδυση των τρεχουσών γραμμών και κατά τον τρόπο αυτόν σε μία αυξανόμενη επιρροή των βαθύτερων στρωμάτων στην προφανή ειδική αντίσταση ρ_a . Η φαινόμενη ειδική αντίσταση (ρ_a) δεν είναι η πραγματική αντίσταση του υπεδάφους, αλλά μια φαινόμενη τιμή η οποία είναι η αντίσταση που θα είχε το έδαφος εάν ήταν γεωηλεκτρικά ομογενές. Στην πράξη αποτελεί ένα είδος μέσου όρου των ηλεκτρικών αντιστάσεων του ανομοιογενούς υπεδάφους. Άρα, δεν δίνει ακριβώς την πραγματική αλλά μια “παραμορφωμένη” εικόνα της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους.



Εικόνα 3.3: Μετρήσεις ειδικής αντίστασης με αυξανόμενο τρέχον διάστημα ηλεκτροδίων που οδηγεί στα αυξανόμενα βάθη διείσδυσης. (Kirsch 2006).

Οι διαφορετικοί τύποι διαμόρφωσης των ηλεκτροδίων χρησιμοποιούνται, ανάλογα με τον τύπο έρευνας, την κατάσταση του τομέα και την ευαισθησία του μετρητή ειδικής αντίστασης. Λόγω των πρακτικών και μεθοδικών πλεονεκτημάτων η μέθοδος VES χρησιμοποιείται συνήθως με την συμμετρική διαμόρφωση Schlumberger. Η διασκόπηση πραγματοποιείται διατηρώντας τα κεντρικά ηλεκτρόδια M και N στο κέντρο της περιοχής μελέτης και αυξάνοντας την απόσταση των ηλεκτροδίων A και B. Με αυτό τον τρόπο καταφέρνουμε μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης. Αυτή η εργασία έχει εκτελεστεί χρησιμοποιώντας την διαμόρφωση Schlumberger.



Εικόνα 3.4: Σχεδιάγραμμα της διάταξης Schlumberger για κάθετες ηλεκτρικές διασκοπήσεις VES.

3.1.3.1 Οργανολογία για τις μετρήσεις συνεχούς ρεύματος

Στην εργασία μας, τα στοιχεία ειδικής αντίστασης ελήφθησαν με το SYSCAL R1 PLUS Switch-48 από την IRIS. Είναι ένα «όλα σε ένα» σύστημα το οποίο περιέχει ένα εσωτερικό σύστημα μετατροπής για 48 ηλεκτρόδια και η τάση του μπορεί να φτάσει και τα 600V. Η αυτόματη έκταση είναι επίσης διαθέσιμη, όπου το ρεύμα ρυθμίζεται αυτόματα προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι τιμές τάσης και επομένως να πάρουμε την καλύτερη ποιότητα μέτρησης. Το όργανο αυτό είναι ιδανικό για περιβαλλοντικές και ειδικότερα για υδρογεωλογικές εφαρμογές όπως ο έλεγχος αλατότητας και η ρηχή εξερεύνηση υπόγειων νερών (βάθος και πάχος των υδροφόρων στρωμάτων) (όργανα IRIS, 2009).

3.2.1 Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι βασίζονται στη θεωρία του Maxwell για τον ηλεκτρομαγνητισμό. Υπάρχει διαχωρισμός των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων, χωρίζοντάς τες σε παθητικές και ενεργητικές.

Οι παθητικές ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία της Γης (π.χ. Magneto Telluric (MT)).

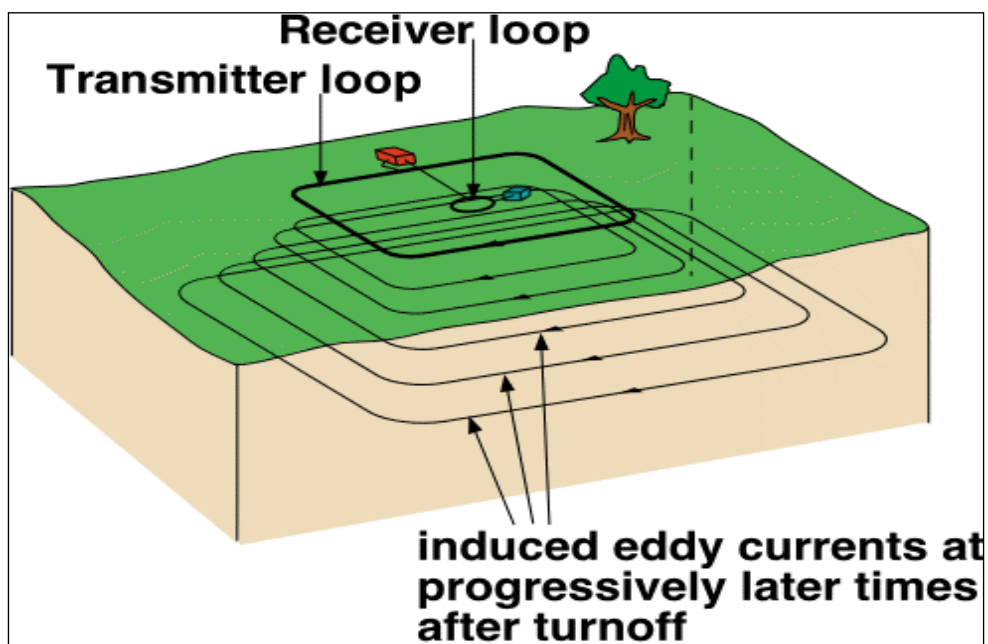
Οι ενεργητικές ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι χρησιμοποιούν μία ελεγχόμενη τεχνητή ηλεκτρομαγνητική πηγή ως πρωτογενές πεδίο, το οποίο στη συνέχεια επάγει ένα δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (π.χ. Transient-EM (TEM), Controlled Source Audio- frequency Magneto Tellurics (CSAMT), Frequency Domain EM (FDEM), Ground Penetrating Radar (GPR)).

3.2.2 Μέθοδος TEM

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

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

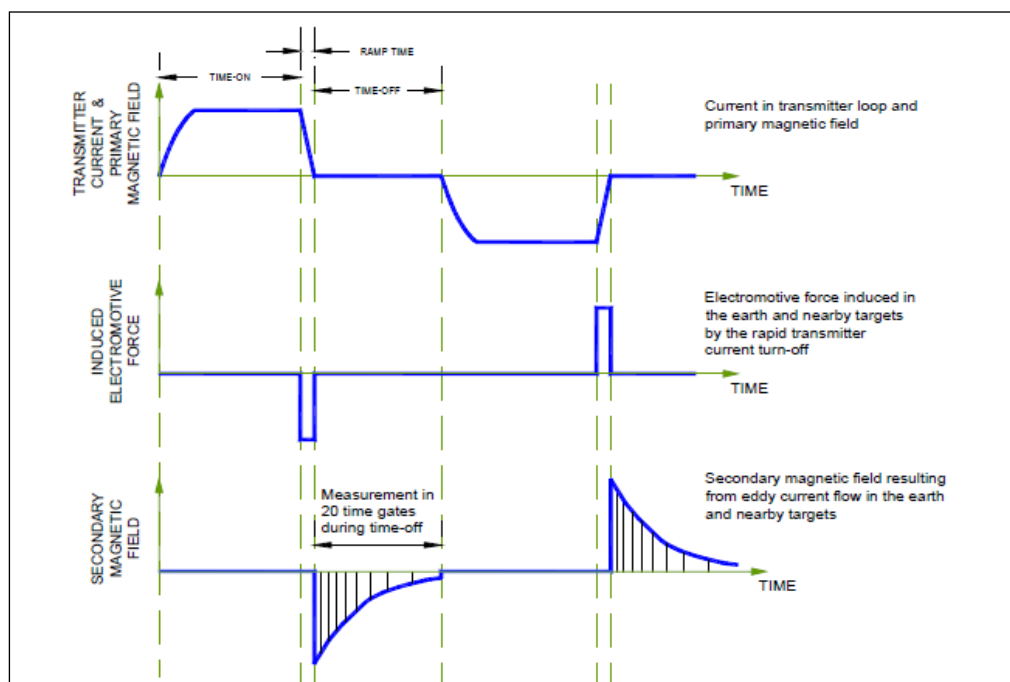
Ύστερα από κάποιο ικανό χρονικό διάστημα ώστε να μην παρατηρούνται ταλαντώσεις στο πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, το συνεχές ρεύμα διακόπτεται απότομα ($t=0$). Με χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στη συνέχεια, η πτώση του ρεύματος γίνεται γραμμικά από I_0 μέχρι 0 και διαρκεί χρόνο t_r .



Εικόνα 3.5: Διάταξη της μεθόδου TEM (Kalisperi, 2009)

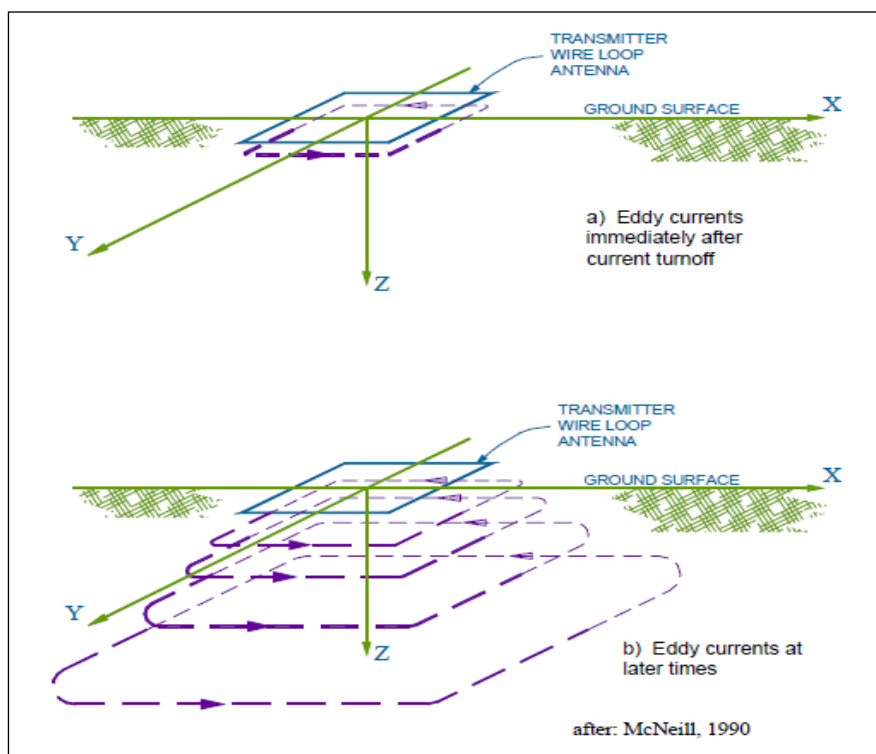
Με τη χρήση της μεθόδου TEM παρατηρούμε ότι παίρνουμε μετρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών ρεύματος και κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Τα παροδικά επαγωγικά ρεύματα διοχετεύονται μέσα στη γη και διαχέονται με μορφή μετώπου. Η ένταση των ρευμάτων αυτών φθίνει με το βάθος και ανάλογα με τις γεωηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους. Στη συνέχεια, τα ρεύματα αυτά δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που ανιχνεύεται με κατάλληλο πηνίο-δέκτη και το μετρούμενο δυναμικό στο πηνίο είναι ανάλογο της έντασης του πηνίου. Κατά τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων της διαδικασίας μέτρησης, γίνεται ο διαχωρισμός σε χρονικές πύλες (κανάλια). Στη συνέχεια της προσαρμογής των δεδομένων, γίνεται μία επεξεργασία για αναγνώριση- απομάκρυνση θορύβου, προσεγγιστική αντίστροφη απεικόνιση και γραμμικοποιημένη αντιστροφή.

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



Εικόνα 3.6: Κυματομορφές TEM (Rowland B. French, Ph.D, R.G., Time-Domain Electromagnetic Exploration, nga.com/Flyers 2010)

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 3.6** 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.



Εικόνα 3.7: Ροή ρευμάτων στροβίλου α) πρώιμοι χρόνοι, β) ύστεροι χρόνοι (French, 2002; after McNeil, 1990)

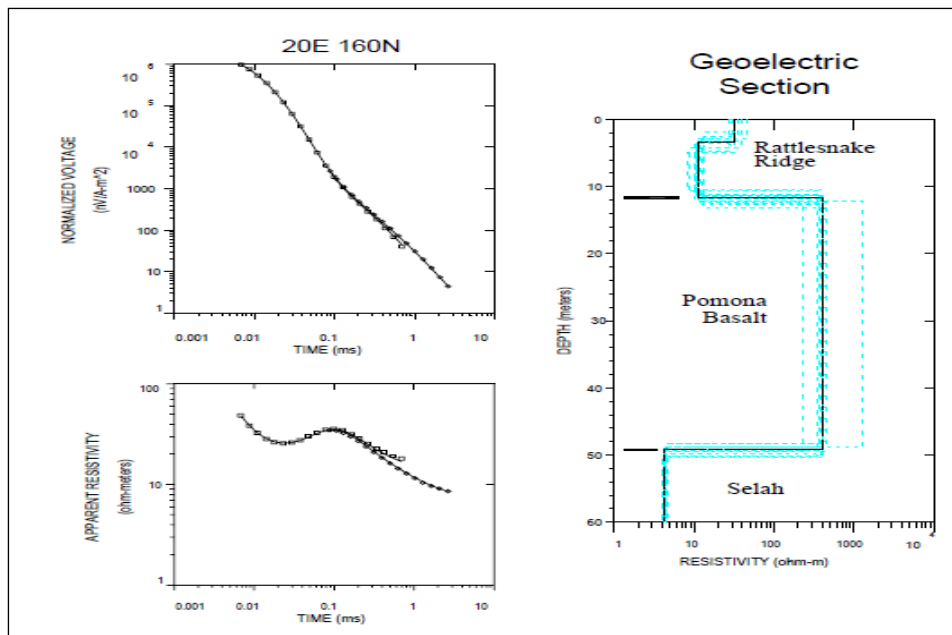
Το μέγεθος και το ποσοστό αποσύνθεσης των δευτεροβάθμιων ρευμάτων εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου και τη γεωμετρία των αγωγίμων στρωμάτων. Ο δέκτης TEM μετρά μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα δευτεροβάθμια ρεύματα. Στις ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές χρόνου-περιοχής το προκαλούμενο σήμα είναι ένας δυνατός παλμός, ή παροδικό σήμα. Τα ρεύματα που προκαλούνται στη γη είναι αρχικά συγκεντρωμένα απευθείας κάτω από το βρόχο συσκευής αποστολής σημάτων. Αυτό παρουσιάζεται σχηματικά στην **εικόνα 3.7 α)**. Με το χρόνο, τα ρεύματα αυτά θα διασκορπιστούν κάτω και μακριά από τη συσκευή αποστολής σημάτων όπως επίσης φαίνεται σχηματικά στην **εικόνα 3.7 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 αγωγή μέσα τα ρεύματα θα διασκορπίζονταν πιο αργά. Ένα

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

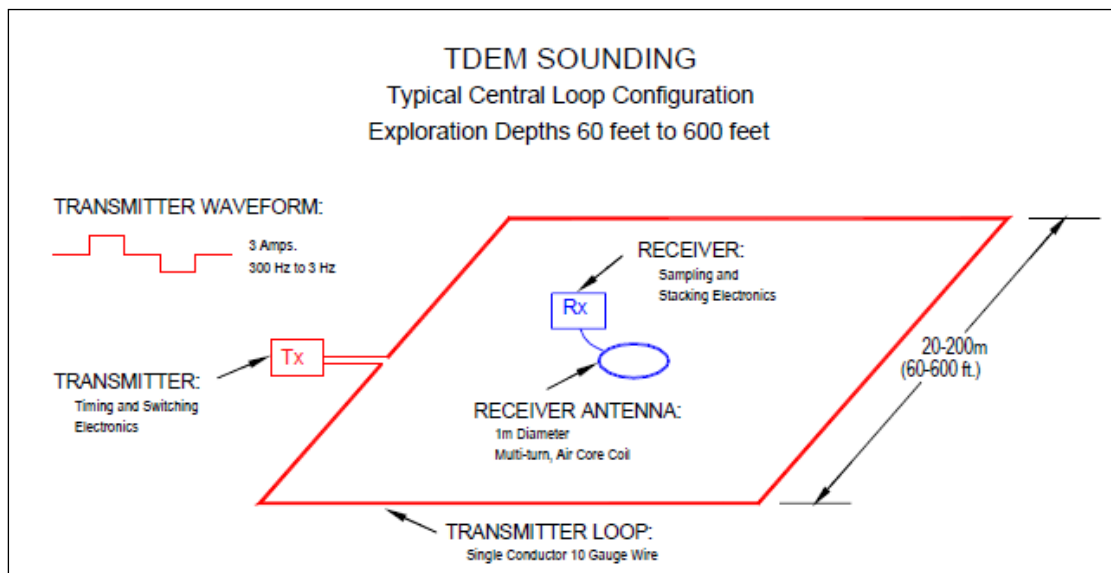
Οι δευτεροβάθμιες μετρήσεις γίνονται χαρακτηριστικά στη χρονική σειρά από 10 μ s σε 10 ms μετά από τη 'διακοπή' του πρωτογενούς πεδίου. Μετρήσεις γίνονται σε 20 έως 30 ιδιαίτερες «χρονικές πύλες», ή χρονικά διαστήματα, μετά από τον αρχικό προκαλούμενο παλμό. Για βαθύτερη εξερεύνηση σε αγώγιμα τμήματα, οι χρόνοι μέτρησης μπορούν να επεκταθούν μέχρι το λεπτό. Επειδή οι μετρήσεις γίνονται ενώ το ρεύμα της συσκευής αποστολής σημάτων είναι κλειστό, μπορούν να γίνουν πιο ευαίσθητες μετρήσεις από το δευτεροβάθμιο πεδίο. Όσον αφορά στην ερμηνεία, παράγεται ένα υποθετικό βαλμένο σε στρώσεις γήινο μοντέλο και στη συνέχεια η θεωρητική απάντηση για εκείνο το μοντέλο υπολογίζεται. Το μοντέλο έπειτα καθαρίζεται μέχρι η υπολογισμένη απάντηση να ταιριάζει με την παρατηρούμενη ή μετρημένη απάντηση. Οι πρότυποι καθαρισμοί μπορούν να γίνουν με τη χρήση μιας αυτοματοποιημένης επαναληπτικής διαδικασίας ή μιας 'αντιστροφής'. Στην **εικόνα 3.8** 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 3.8** 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 3.8** 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 3.8**. Οι διακεκομμένες γραμμές στο γεωηλεκτρικό τμήμα της **εικόνας 3.8** παρουσιάζουν 'ισοδύναμα' μοντέλα, δηλαδή μοντέλα των οποίων η απάντηση θα προσαρμόσει την παρατηρούμενη απάντηση με μια «απροσάρμοστη» παράμετρο μέσα σε 20% του καλύτερου μοντέλου προσαρμογής. Μια από τις σημαντικότερες αδυναμίες της TEM είναι η δυσκολία στην ερμηνεία των στοιχείων πέρα από τις τρισδιάστατες γεωλογικές δομές. Τα περισσότερα προγράμματα διαμόρφωσης υποθέτουν μια οριζόντια γη βαλμένη σε στρώσεις. Στην **εικόνα 3.9** παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό σχεδιάγραμμα για ένα «κεντρικό βρόχο» βυθοσκόπησης TEM. Η

διαδικασία περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός τετραγωνικού βρόχου του καλωδίου στην επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 3.8: TEM βυθοσκόπηση και μοντελοποίηση (Rowland B. French, Ph.D, R.G., Time-Domain Electromagnetic Exploration, nga.com/Flyers 2010)



Εικόνα 3.9: Διαμόρφωση TDEM πεδίου (Rowland B. French, Ph.D, R.G., Time-Domain Electromagnetic Exploration, nga.com/Flyers 2010)

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 (1994), Nabighian και Macnae (1991), παρέχοντας μία συνοπτική περιγραφή της μεθόδου.

3.2.3 TEM FAST 48:

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



Εικόνα 3.10: 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).

3.3 Περίληψη

Μια σύντομη περιγραφή των μεθοδολογιών που εφαρμόστηκαν δόθηκε σε αυτό το κεφάλαιο και αυτές ήταν οι δύο γεωφυσικές τεχνικές VES και TEM. Για αυτές παρουσιάστηκαν οι βασικές αρχές και τα χρησιμοποιούμενα όργανα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΝΑΛΥΣΗ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

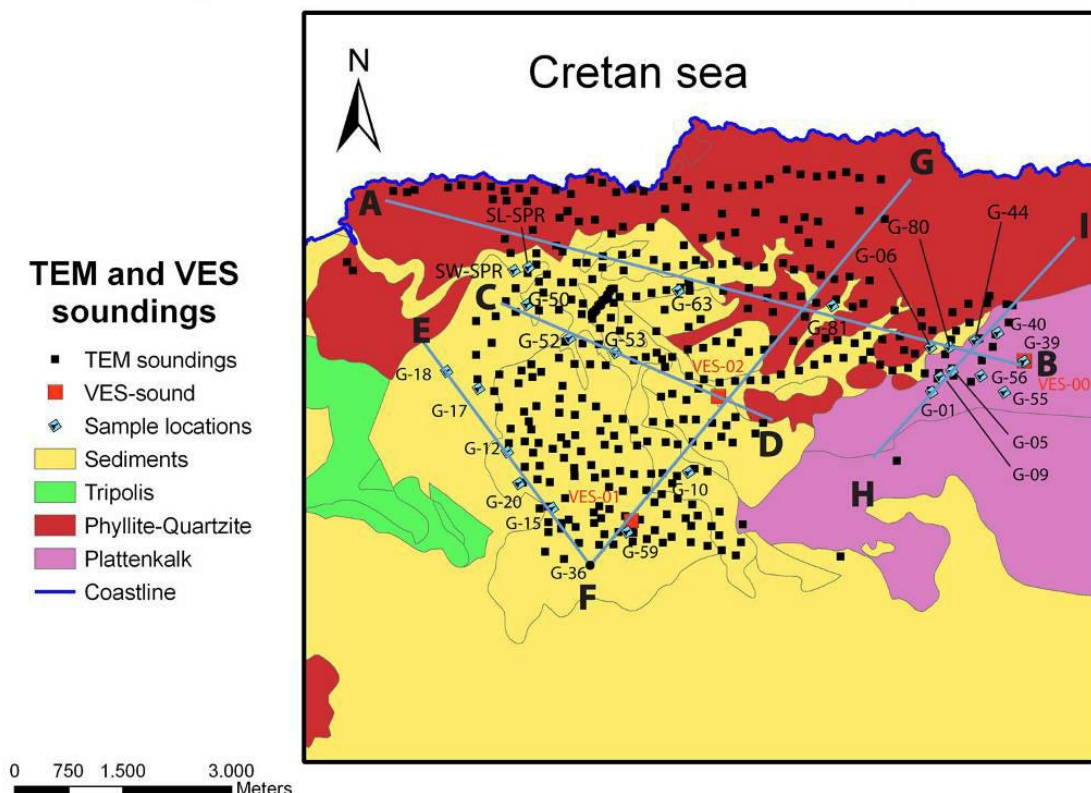
4.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο περιέχει όλα τα αποτελέσματα που προέρχονται από τις μεθόδους που περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα γεωφυσικά δεδομένα παρουσιάζονται πρώτα και η επεξεργασία, η ανάλυση και η μοντελοποίηση περιγράφονται έπειτα. Τέλος δίνονται οι τελικές εικόνες.

4.2 Γεωφυσική Προσέγγιση

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει τις πλήρης έρευνες VES και TEM και τα αποτελέσματά τους. Τα όργανα και τα λογισμικά παρασχέθηκαν από το εργαστήριο της γεωφυσικής και σεισμολογίας του Τ.Ε.Ι Κρήτης (Παράρτημα Χανίων) και οι γεωφυσικές έρευνες σχεδιάστηκαν και ολοκληρώθηκαν με τη συνεργασία του Δρ. Παντελή Σουπιού, αναπληρωτή καθηγητή Τ.Ε.Ι, του Παραρτήματος Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος.

Geophysical Fieldwork of the study area



Εικόνα 4.3: Στρώματα της περιοχής μελέτης με: σχεδιαγράμματα TEM (έχοντας την ίδια θέση με το AB, CD, EF, FG, και HI)(μαύρα τετράγωνα), Στην εικόνα επίσης φαίνονται και οι τρεις μετρήσεις VES που έγιναν στην περιοχή (κόκκινα τετράγωνα), οι οποίες έγιναν σε τρεις διαφορετικούς σχηματισμούς.

4.2.1. Μέθοδος ειδικής αντίστασης-Μέθοδος VES

Η τεχνική VES που χρησιμοποιήθηκε ήταν η κύρια μέθοδος. Ένας περιορισμένος αριθμός μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης εξετάζει τους διαφορετικούς γεωλογικούς όρους. Αυτή η παράγραφος περιγράφει τις μετρήσεις συνεχούς ρεύματος και παρουσιάζει τα αποτελέσματα της έρευνας ειδικής αντίστασης.

4.2.1.1. Μετρήσεις συνεχούς ρεύματος στην περιοχή έρευνας

Τρεις μετρήσεις VES ελήφθησαν σε τρεις διαφορετικές περιοχές(διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί): Η πρώτη διασκόπηση VES-00 στους δολομιτικούς ασβεστόλιθους, η δεύτερη διασκόπηση VES-01 στα νεογενή ιζήματα και η τρίτη VES_02 κοντά στο όριο μεταξύ φυλλιτων-χαλαζιτών και των νεογενών ιζημάτων. Για δύο από τις διασκοπήσεις VES-01 και 02 οι μετρήσεις αποκτήθηκαν δεδομένου ότι η δομή είναι πιο σύνθετη από ένα μονοδιάστατο πρότυπο όπου η τεχνική VES είναι ικανή να διαμορφώσει.

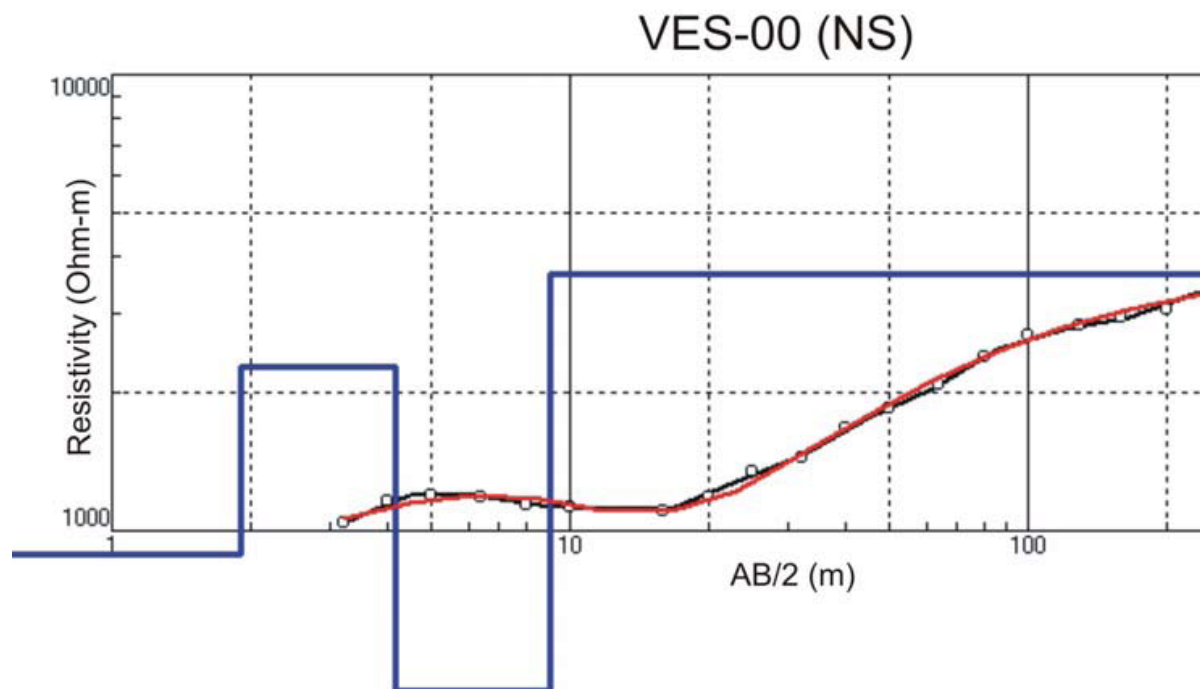
4.2.1.2 Επεξεργασία, Ανάλυση και μονοδιάστατη μοντελοποίηση.

Το IPI2WIN V. 2.1 λογισμικού Geoscan-M Ltd ήταν το εργαλείο για την επεξεργασία δεδομένων VES. Έχει σχεδιαστεί για την επεξεργασία κάθετων διασκοπήσεων ή έμμεσων δεδομένων πόλωσης καμπυλών μονοδιάστατης ερμηνείας.

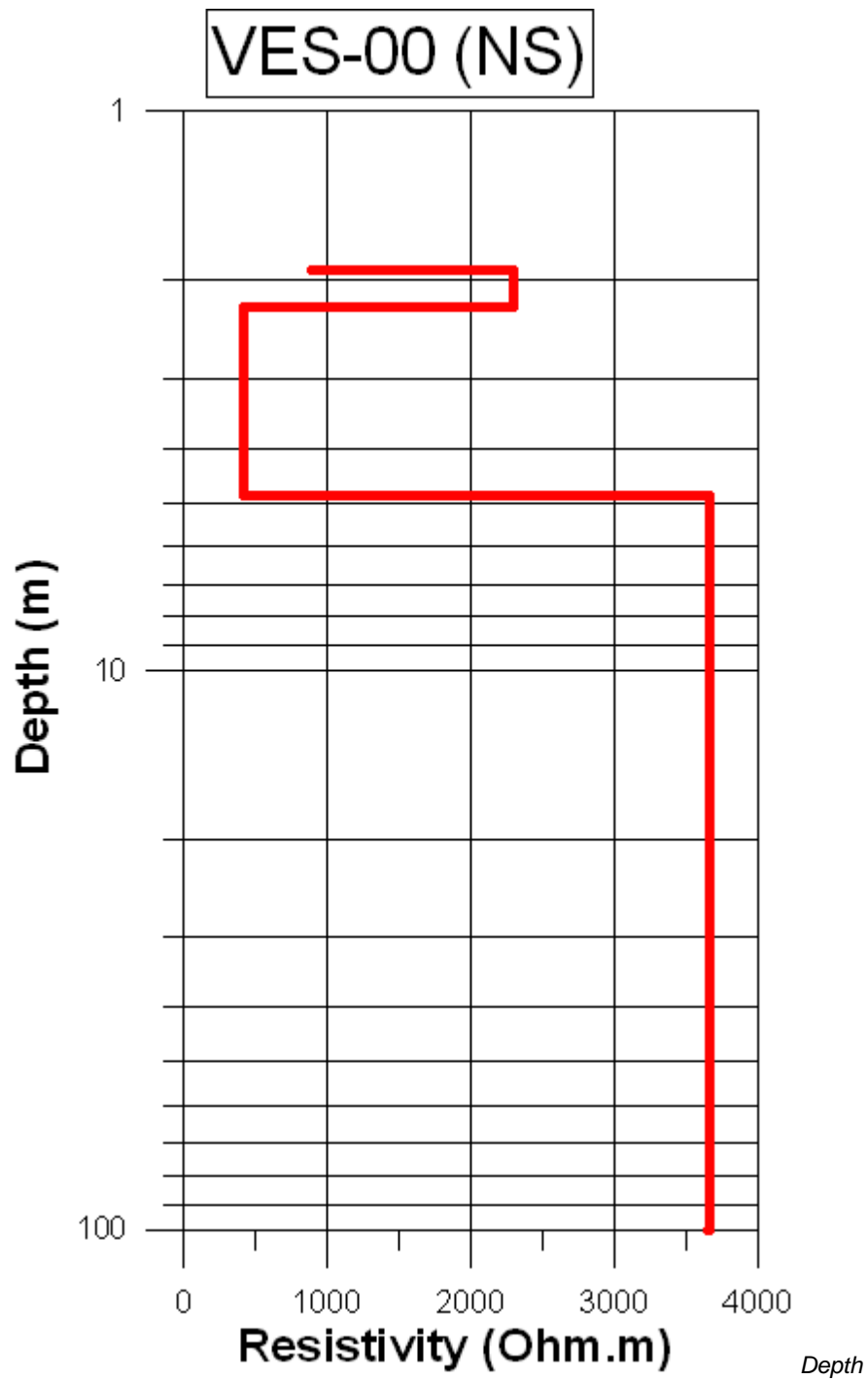
VES-00

Η πρώτη διασκόπηση, VES-00 έλαβε χώρα στους δολομιτικούς ασβεστόλιθους στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης στη θέση Μανιάκι. Όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.2.1.2. του παρόντος κεφαλαίου, η επιρροή του υπερμαγνητισμού (SPM) στη μέθοδο TEM ενέργησε έτσι ώστε να μην έχει αξιόπιστα αποτελέσματα, έτσι μόνο τα δεδομένα αντίστασης είναι διαθέσιμα από αυτή τη τοποθεσία. Όσον

αφορά την VES, μόνο οι μετρήσεις BN αποκτήθηκαν για αυτή την τοποθεσία, λόγω του ότι δεν υπήρχε αρκετός χώρος στην άλλη κατεύθυνση (ΔA).



Εικόνα 4.5α: Καμπύλη την φαινόμενης ειδικής αντίστασης των VES-00 BN και μονοδιάστατο μοντέλο μετά από επεξεργασία και μοντελοποίηση με το λογισμικό IPI2WIN.

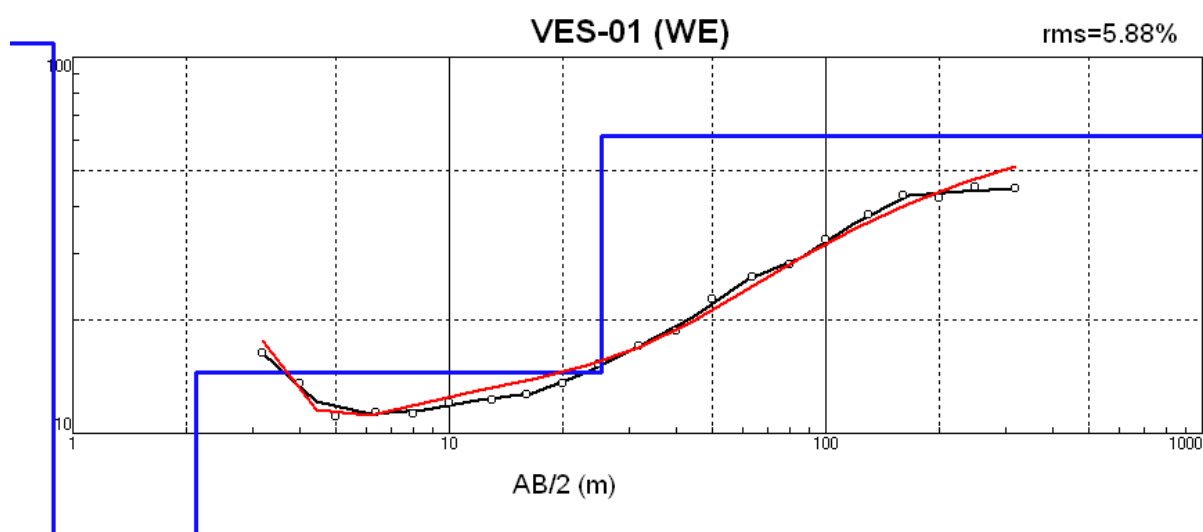


(m)	Resistivity (ohm.m)
1.92	890
2.24	2293
4.87	416
100	3658

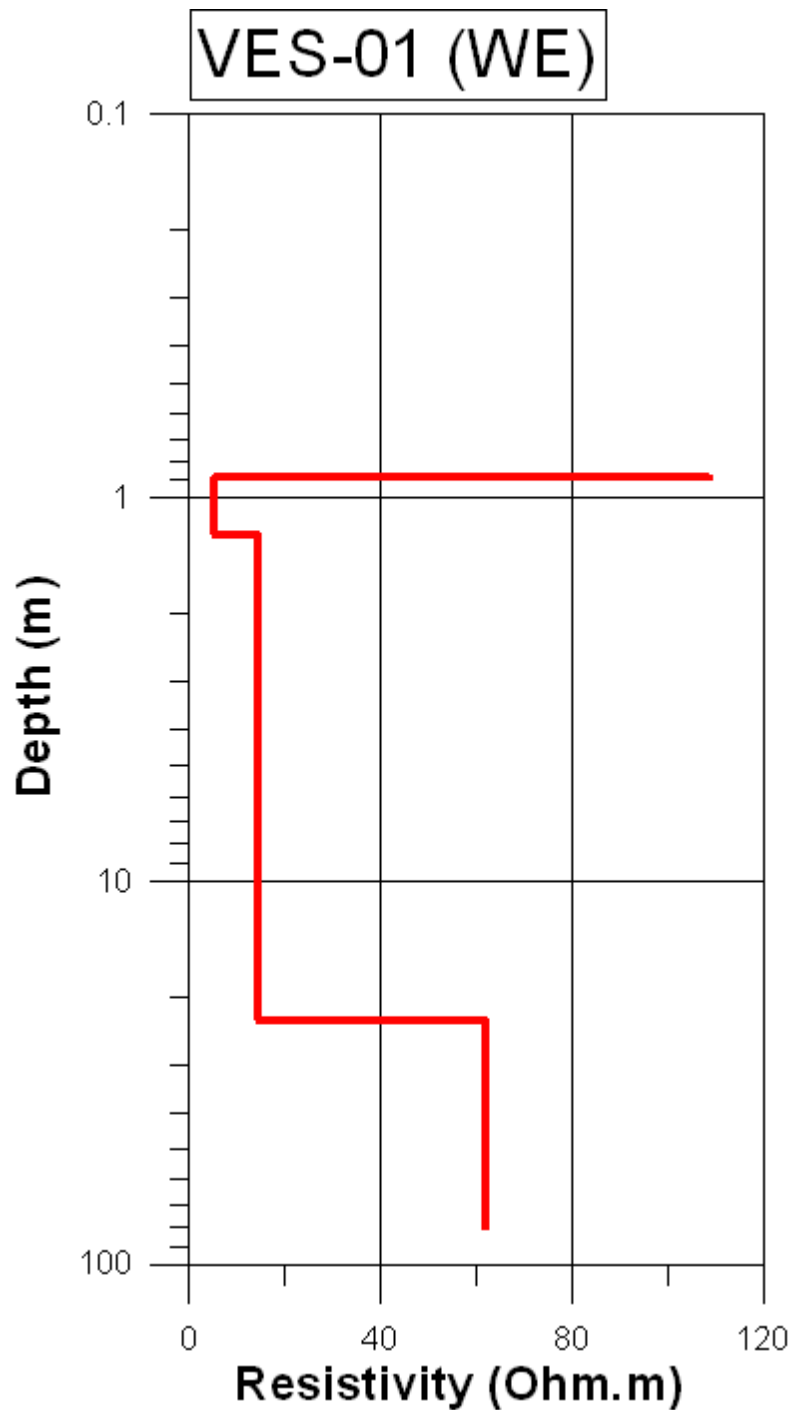
Εικόνα 4.5β: Μονοδιάστατο αντίστροφο μοντέλο για VES-00 BN

VES-01

Η δεύτερη διασκόπηση, VES-01 διεξήχθη στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης για τα νεογενή ιζήματα η οποία αποτελείται κυρίως από νεογενής ασβεστόλιθους. Μετρήσεις αποκτήθηκαν κατά τις δύο κατευθύνσεις BN και ΔΑ. Οι καμπύλες ειδικής αντίστασης και τα αποτελέσματα της μονοδιάστατης μοντελοποίησης για την ίδια περιοχή, αλλά χρησιμοποιώντας διαφορετικές κατευθύνσεις φαίνονται στις εικόνες 4.6 α και 4.6 β

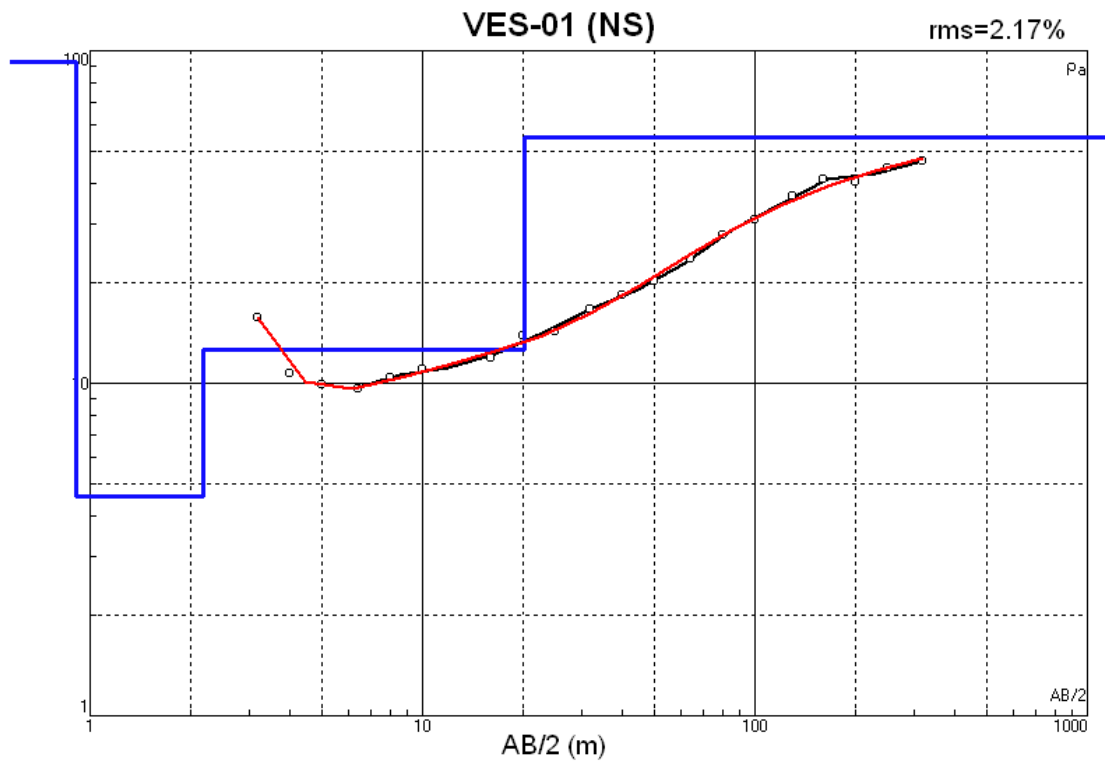


Εικόνα 4.6 α: Καμπύλη της φαινομενικής ειδικής αντίστασης αντίστροφου μονοδιάστατου μοντέλου μετά από επεξεργασία και μοντελοποίηση με λογισμικό IPI2WIN.

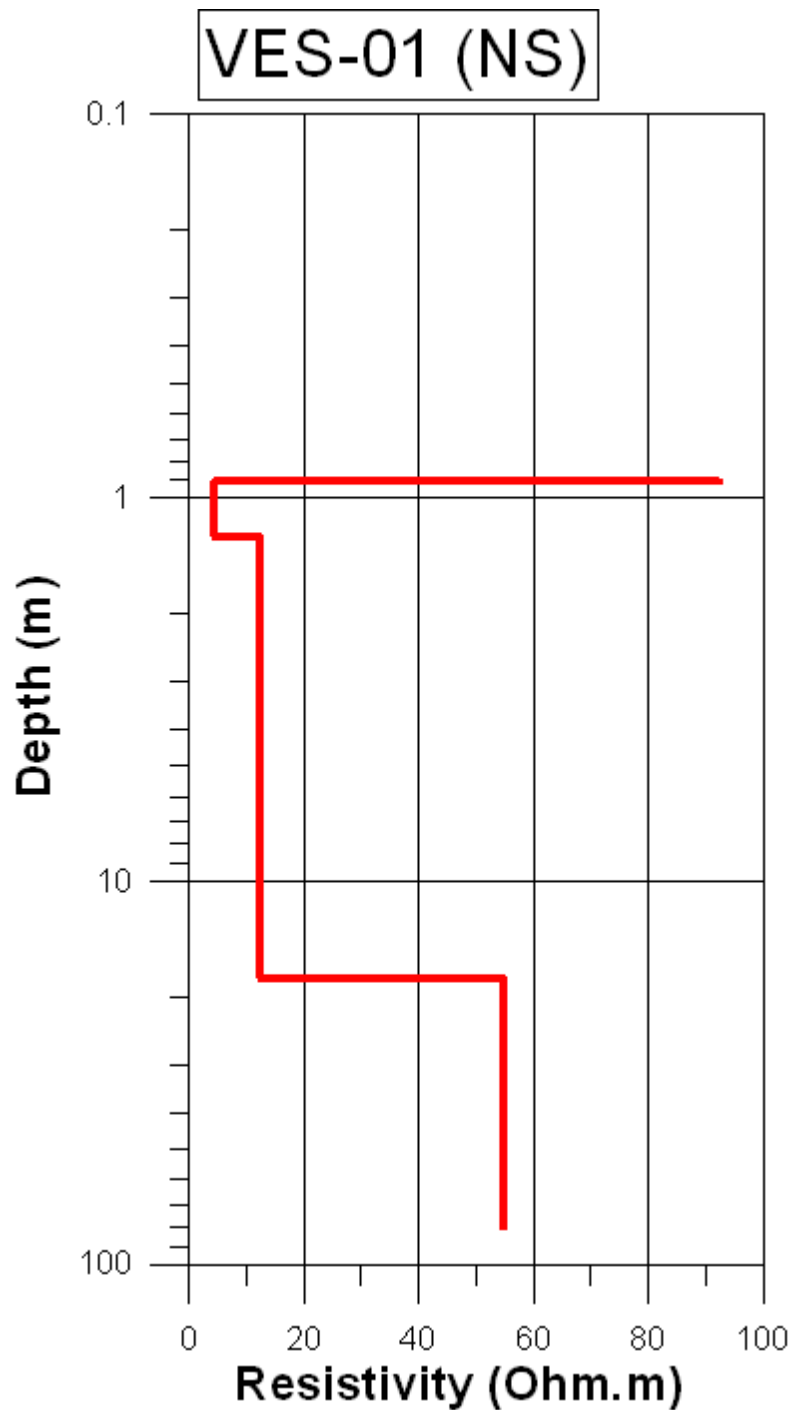


Depth(m)	Resistivity (ohm.m)
0.887	109
1.25	5.39
23.1	14.5
62	62

Εικόνα 4.6β: Αντίστροφο μονοδιάστατο μοντέλο VES-01 ΔΑ



Εικόνα 4.7 α: Καμπύλη της φαινομενικής ειδικής αντίστασης αντίστροφου μονοδιάστατου μοντέλου μετά από επεξεργασία και μοντελοποίηση με λογισμικό IPI2WIN.

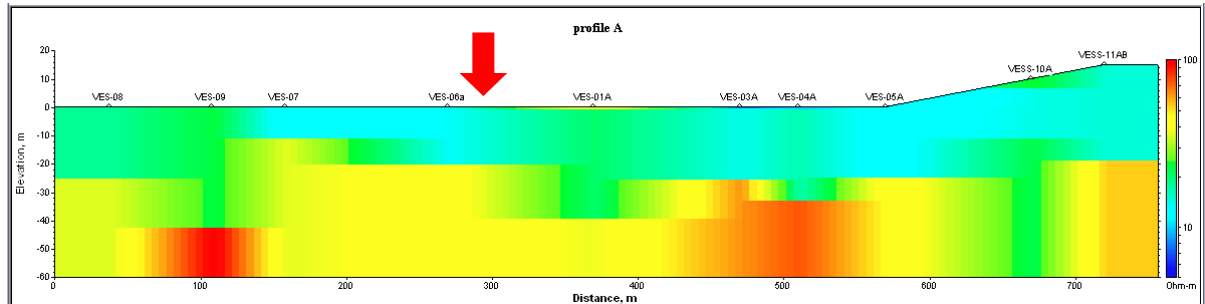


Depth(m)	Resistivity (ohm.m)
0.909	92.4
1.27	4.57
18	12.6
	54.8

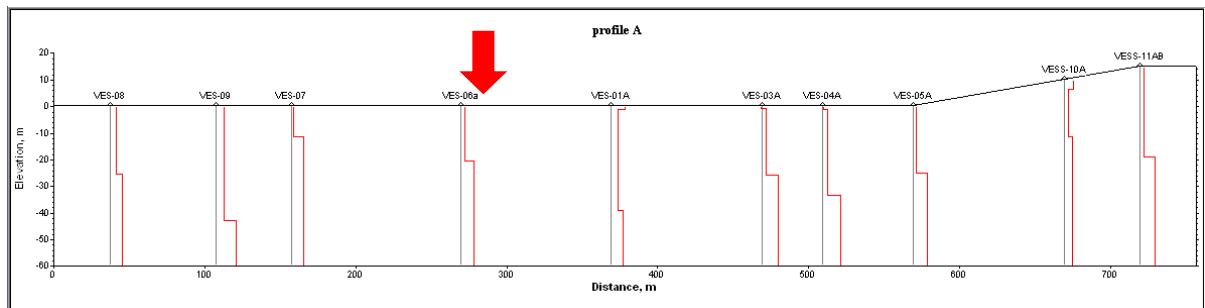
Εικόνα 4.7 β: Αντίστροφο μονοδιάστατο μοντέλο VES-01 BN.

VES-01 με TEM προφίλ A

Το TEM προφίλ 1 είχε διεύθυνση ΔΑ και διέσχισε τη διασκόπηση VES-01 στο κέντρο (κόκκινο βέλος 4.8 α και 4.8 β). Είχε 500 m μήκος και αποτελούνταν από 10 TEM βολιδοσκοπήσεις (περίπου 50 m απόσταση ο ένας από τον άλλο).



Α

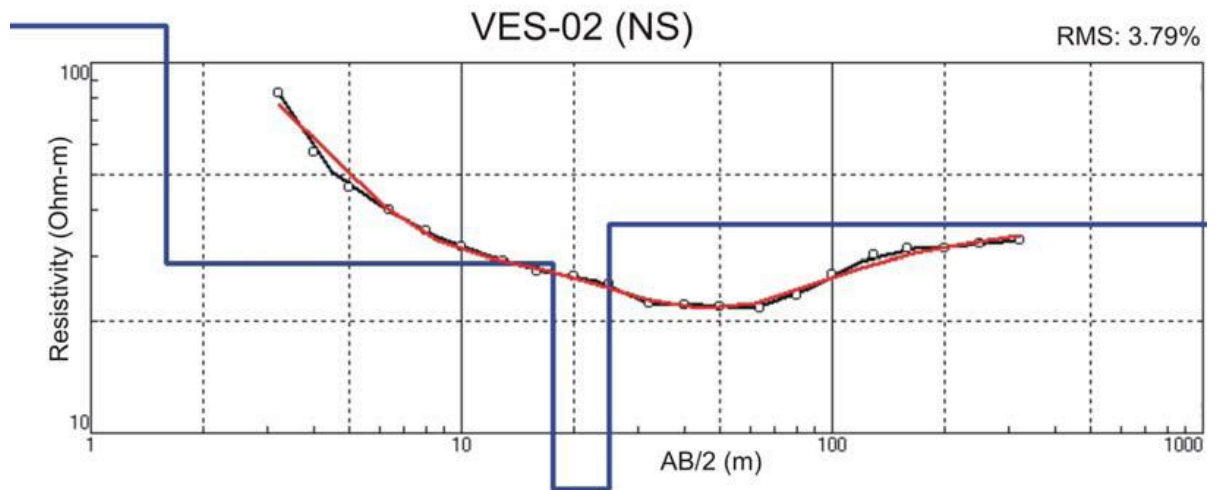


Β

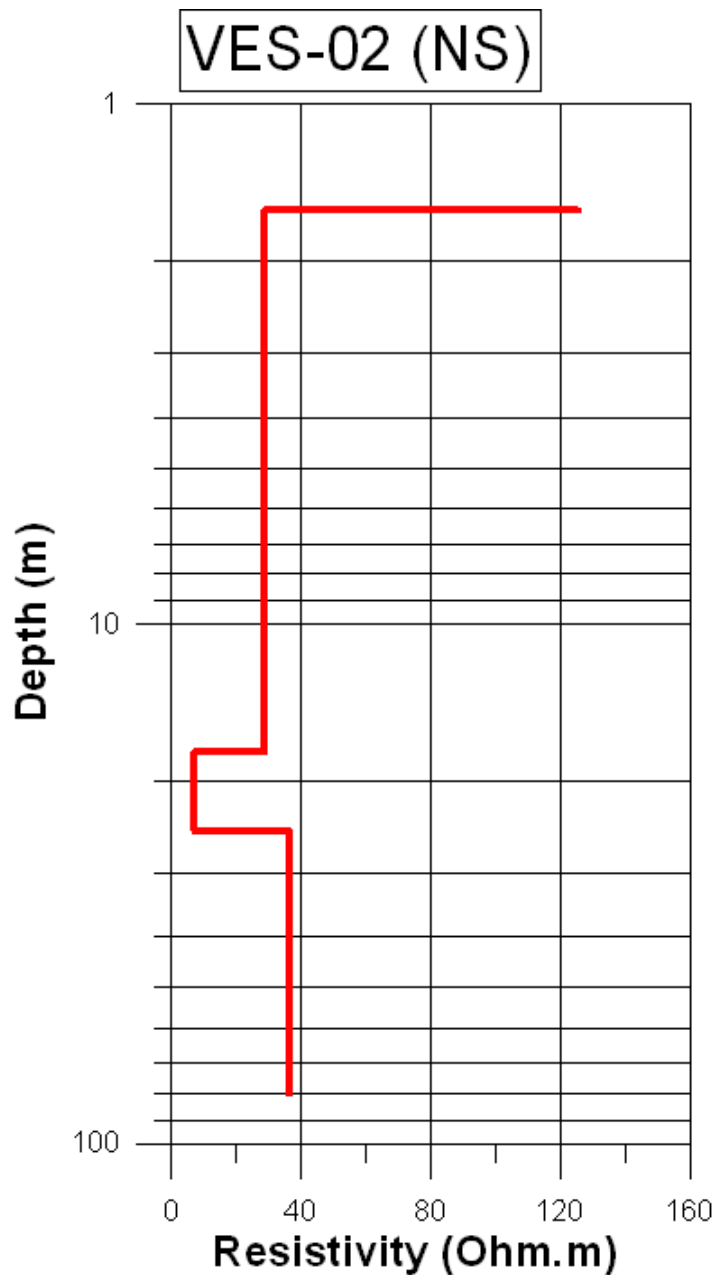
Εικόνα 4.8: Προφίλ TEM A: Τομογραφία αντίστασης με 2x υπερβολή (απόσταση σε αναλογία ανύψωσης). Το κόκκινο βέλος δείχνει την ακριβή θέση του VES-01.

VES-02

Η τελευταία από τις τρεις βυθοσκοπήσεις VES-02 έλαβε χώρα στο κεντρικό τμήμα της περιοχής κοντά στην επαφή μεταξύ του τμήματος φυλλιτών/χαλαζιτών και νεογενών ιζημάτων. Πολλές μετρήσεις αποκτήθηκαν κατά τις δυο κατευθύνσεις (BN και ΔΑ). Αυτή η απότομη αλλαγή στην πειραματική καμπύλη του VES-02 ΑΔ, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.10, συσχετίζεται συνήθως με τεκτονικά χαρακτηριστικά (ρήγματα ή τεκτονικές γεωλογικές επαφές).

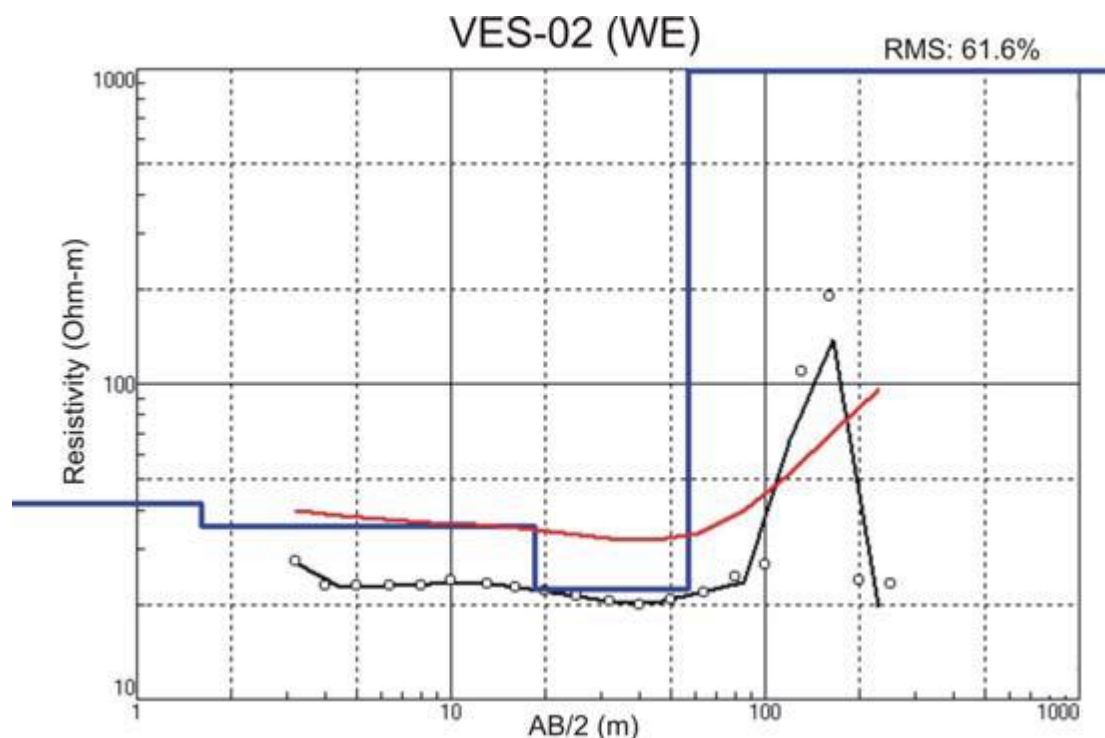


Εικόνα 4.9α: Καμπύλη της φαινομενικής ειδικής αντίστασης αντίστροφου μονοδιάστατου μοντέλου μετά από επεξεργασία και μοντελοποίηση με λογισμικό IPI2WIN.



Depth(m)	Resistivity (ohm.m)
1.6	126
17.6	28.9
25.1	7.08
	36.6

Εικόνα 4.9 β: Αντίστροφο μονοδιάστατο μοντέλο του VES-02 BN.

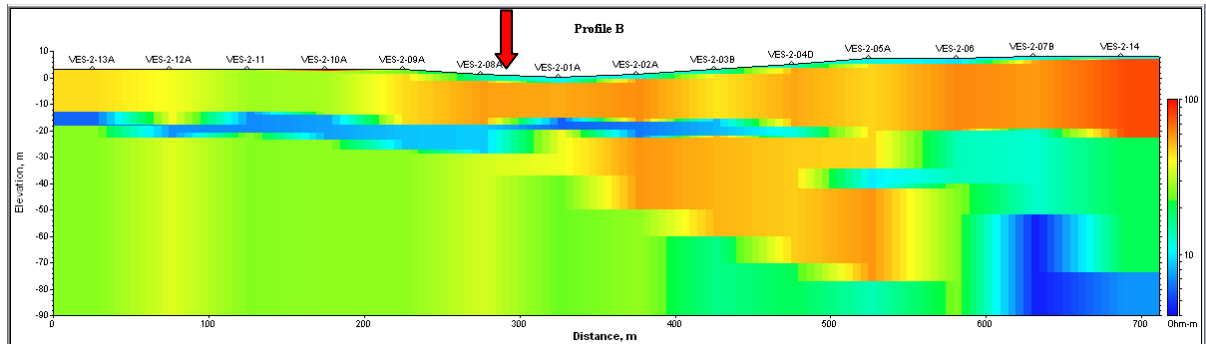


Εικόνα 4.10 : Καμπύλη της φαινόμενης αντίστασης και μονοδιάστατο αντίστροφο μοντέλο ΔΑ.

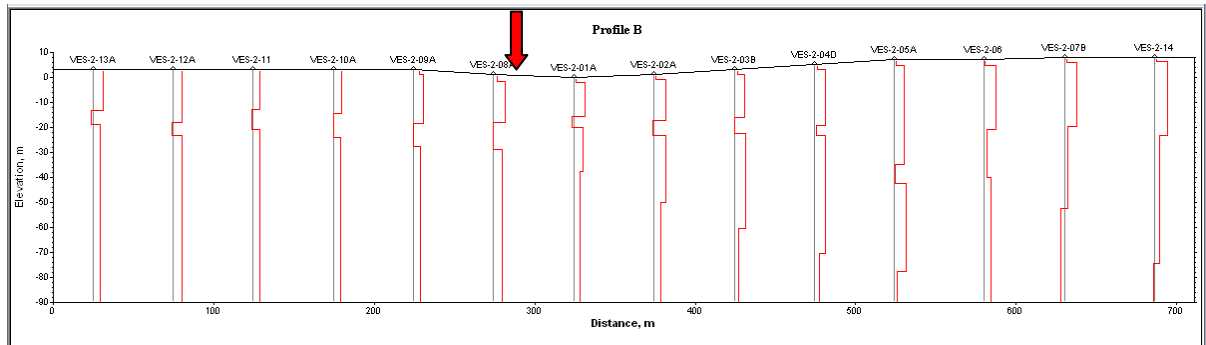
VES-02 με TEM προφίλ Β

Το TEM προφίλ Β είχε επίσης κατεύθυνση ΔΑ και διέσχισε τη βυθοσκόπηση VES-02 περίπου στη μέση, όπως έκανε το προφίλ Α του VES-01 (κόκκινο βελάκι στα σχήματα 4.11 α και 4.11 β). Ήταν 700 m μακριά και αποτελούνταν από 14 βολιδοσκοπήσεις TEM (περίπου 50 m απόσταση μεταξύ τους).

Εφαρμογή της Ηλεκτρικής Γεωφυσικής Μεθόδου στον Γεροπόταμο



Α



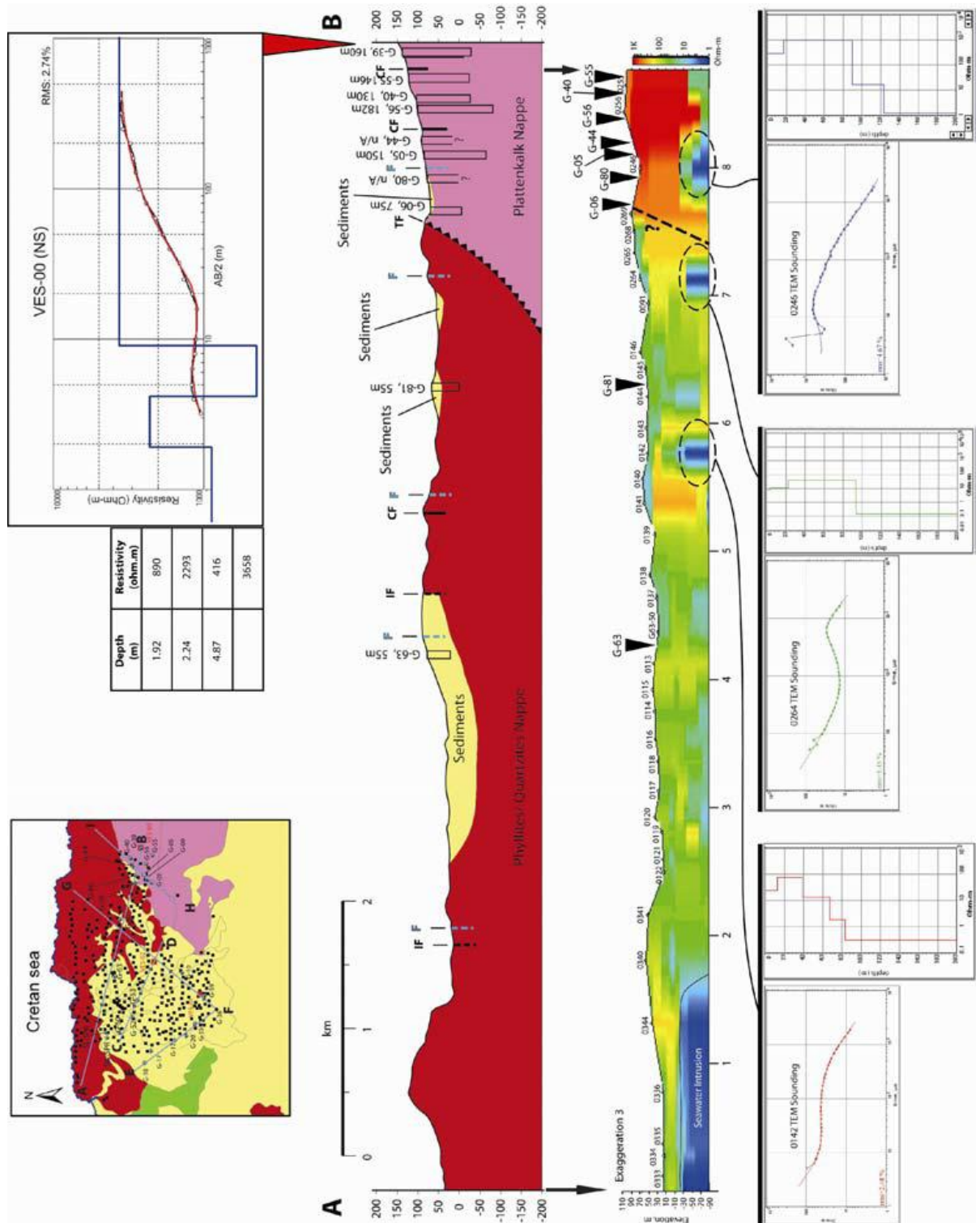
Β

Εικόνα 4.11: Προφίλ TEM B: Τομογραφία ειδικής αντίστασης TEM με 1.7x υπερβολή (απόσταση σε αναλογία ανύψωσης). Το κόκκινο βέλος δείχνει την ακριβή θέση του VES-02.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ-ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Κύριος σκοπός της μελέτης ήταν η συμβολή στην κατανόηση της γεωλογίας της περιοχής του Γεροποτάμου με γεωφυσική προσέγγιση. Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι VES και TEM για μία πολύ λεπτομερή έρευνα. Η κύρια μέθοδος για την χαρτογράφηση του υπεδάφους της περιοχής ήταν η μέθοδος VES, όμως χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος TEM για τη επαλήθευση των αποτελεσμάτων της προηγούμενης.



Εικόνα 5.1. ΑΒ γεωλογική τομή σε σύγκριση με δισδιάστατο γεωηλεκτρικό μοντέλο και VES-00 διασκόπηση.

5.2 Αποτελέσματα τομογραφιών

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφηκε η απόκτηση στοιχείων ειδικής αντίστασης, όπου 3 μετρήσεις VES πραγματοποιήθηκαν σε 3 διαφορετικά περιβάλλοντα: α) VES-00 στο υπόβαθρο (δολομιτικοί ασβεστόλιθοι). Β) VES-01 στα ιζήματα και γ) VES-02 στην επαφή μεταξύ των φυλλιών και χαλαζιτών. Για VES-01 και VES-02 η πολυκατευθυνόμενες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν (BN και ΑΔ κατεύθυνση) ενώ δύο μικρά σχεδιαγράμματα TEM (25x25 m μέγεθος βρόγχων για την καλύτερη ανάλυση κοντά στην επιφάνεια) δημιουργούνται επίσης διασχίζοντας μέσω των μετρήσεων VES για τον άμεσο συσχετισμό. Τα αποτελέσματα κάθε διασκόπησης συζητούνται στη συνέχεια.

VES-00 είναι τοποθετημένη στο τέλος του διαγώνιου τμήματος (εικόνα 5.1). Αυτό σημαίνει ότι πραγματοποιήθηκε στους δολομιτικούς ασβεστόλιθους στην περιοχή Μανιάκι, όπου η τεχνική TEM είχε την επίδραση SPM (super magnetic) και δεν αποκτήθηκε κανένα αξιόπιστο στοιχείο. Επιπλέον καμία πολυκατευθυνόμενη μέτρηση που ολοκληρώνεται (μόνο κατεύθυνση BN), επειδή δεν υπήρξε αρκετός χώρος προς στην κατεύθυνση ΑΔ. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1, το πρώτο λεπτό στρώμα με την ειδική αντίσταση περίπου 800 Ωm, αντιπροσωπεύει την διαβρωμένη επιφάνεια. Το επόμενο στρώμα αντιπροσωπεύει τους δολομιτικούς ασβεστόλιθους, το οποίο έχει τις τιμές που ποικίλουν από 2293 έως 2650 Ωm.

VES-01 βρίσκεται στο νότιο τμήμα της FG διατομής σχετικά με τα ιζήματα. Μετρήσεις προς τις 2 κατευθύνσεις BN και ΑΔ έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα: Η πρώτη, πολύ λεπτό στρώμα (1,6 εκατοστά πάχος) ακολουθείται από 1 στρώμα χαμηλότερης αντίστασης (έως περίπου 20 m βάθος) που τελικά ακολουθείται από ένα επίπεδο αντίστασης. Το μικρό TEM προφίλ με κατεύθυνση ΑΔ έδειξε ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα δηλαδή υδροφόρο ορίζοντα.

VES-02 βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της διατομής CD . Αυτή η περιοχή είναι πάνω σε ιζήματα πολύ κοντά στην επαφή μεταξύ φυλλιών/χαλαζιτών και ιζημάτων. Επιλέχθηκε για το σκοπό αυτό και πραγματοποιήθηκαν πολυκατευθυνόμενες μετρήσεις. Η VES-02 με κατεύθυνση BN είχε πολύ καλά αποτελέσματα. Αντίθετα η καμπύλη αντίστασης του VES-02 (με κατεύθυνση ΔΑ) είναι προβληματική γιατί τα

τελευταία σημεία μέτρησης (όταν κατά τη διάρκεια της μέτρησης τα ανατολικά καλώδια ήταν πολύ κοντά στους φιλλίτες/χαλαζίτες) έδειξαν υπερβολικά μεγάλες τιμές. Όταν τα σημεία αφαιρέθηκαν το μοντέλο έδειξε τα ίδια αποτελέσματα με τη VES-02 με κατεύθυνση BN.

	Rock Material	Resistivity (ohm.m)
Quaternary sediments	- Alluvial deposits (Q2) - Marine deposits (N2-Q1)	100-500
Neogene sediments	- Limestones, Marls, Clays, Conglomerates (N1-N2)	
Phyllite-Quartzite nappe	- Phyllites, quartzites and orthorocks (C3-T3)	100-300
Plattenkalk nappe	- Dolomites and dolomitic limestones (T3-J1) - Banded recrystallized dolomitic stromatolites (C3-T3)	>1000

Εικόνα 5.2. Πίνακας με τις τιμές της αντίστασης για διάφορα γεωλογικά υλικά και τα υπόγεια ύδατα της μελέτης όπου συμπεριλήφθηκαν μετά από ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η μέθοδος VES έδειξε πολύ καλά αποτελέσματα στη μελέτη της γεωλογικής δομής του βόρειου τμήματος της λεκάνης του Γεροποτάμου, επιβεβαιώνοντας τα πετρώματα κάθε θέσης, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ και των γεωλογικών τομών.
- Η μέθοδος TEM επαλήθευσε την μέθοδο VES, κάνοντας την μελέτη περισσότερο αξιόπιστη.
- Και οι δύο γεωφυσικές μελέτες που επιλέχθηκαν είναι εύκολες, φιλικές στον χρήστη και δίνουν αξιόπιστα δεδομένα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Barsukov P O, Fainberg E B, Khabensky E O 2007. Shallow investigation by TEM FAST technique: methodology and case histories. In Spichak V V (ed) Methods of geochemistry and geophysics. Elsevier. pp 55-77.

Hoekstra, Pieter, and Blom, Mark W., 1990, Case Histories of Time-Domain Electromagnetic Soundings in Environmental Geophysics: in Geotechnical and Environmental Geophysics, ed: S.H.Ward, SEG, IG#5, Vol. 2: P.1-15.

Kalisperi D. 2009. Assessment of groundwater resources in the north-central coast of Crete - Greece using geophysical and geochemical methods, PhD Thesis, Brunel University - UK.

Katsanopoulou D. 2005. The earthquake of 373 BC. Literary and archaeological evidence. *Helike III*, 15-32.

Kontopoulos N. & Avramidis P. 2003. A late Holocene record of environmental changes from the Aliko lagoon, Egion, North Peloponnesus, Greece. *Quaternary International*, 111, 75-90.

Koukouvelas I.K. 1998. Transfer zones along active normal faults in Peloponnesus, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 32, 221-229,

Koukouvelas I.K & T. Doutsos, 1996. Implication of structural segmentation during earthquakes: the 1995 Egion earthquake, Gulf of Corinth, Greece. *J. Structural Geology*, 18, 1381-1388.

Koutsios A. 2009. Middle to Late Holocene paleogeography of Helike delta plain. Application in Archaeological research. PhD Thesis, Univ. of Patras - GR

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

McNeill, J.D., 1990, Use of electromagnetic methods for groundwater studies: in *Geotechnical and Environmental Geophysics*, ed: S.H.Ward, SEG, IG#5, Vol. 1: P.191-218.

Missiaen T., Slob E. and Donselaar M.E., 2008, Comparing different shallow geophysical methods in a tidal estuary, Verdronken Land van Saeftinge, Western Scheldt, the Netherlands, *Netherlands Journal of Geosciences* Vol 87(2), pp.151 – 164. Nabighian, M.N. and Macnae, J.C., Time domain electromagnetic prospecting methods. In: Nabighian, M.N., Editor, 1991., *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics Applications*, vol. 2, SEG publication, Chap. 6., 1991, pp. 427–520

Poulimenos, G. 1993. Tectonics and sedimentation in the western Corinth graben. *Neues Jb Geol. Paleont. Mh.*, 10, 607-630.

Soupios P., Kalisperi D., Kanta A., Kouli M., Barsukov P. and Vallianatos F., 2009, Coastal aquifer assessment based on geological and geophysical survey, North Western Crete, Greece, *Environmental Earth Sciences*, doi 10.1007/s12665-009-0320-1

Soter S. 1998. Holocene uplift and subsidence of the Helike delta, Gulf of Corinth, Greece, In: Stewart I. & Vita-Finzi (eds) *Coastal Tectonics*, Spec. Pub. Geol. Soc. London, 146, 41-56.

Soter S. & Katsanopoulou D., 2005. Studies on the geoarchaeology of the Helike Delta: 1991-2000. *Helike III*, 169-182.

TEM- FAST, 2010, ανακτήθηκε Απρίλιος 2010 από <http://www.aemr.net/>.

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

Time-Domain Electromagnetic Exploitation, 2010, ανακτήθηκε Απρίλιος 2010 από http://www.nga.com/Flyers_PDF/NGA_TDEM_TEQ.pdf.

Αράμπελος 1991, Στοιχεία Γεωφυσικών Διασκοπήσεων , εκδόσεις ΖΗΤΗ , Θεσσαλονίκη.

Αρχαία Ελίκη, 2010, ανακτήθηκε Απρίλιος 2010 από <http://www.visit-achaia.gr/el/attractions/history/237-2010-01-18-10-02-04>.

Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, 2010, ανακτήθηκε Απρίλιος 2010 από nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/.../807/.../ΕΙΣΑΓΩΓΗ.doc.

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

Παπαζάχος , Β. (1999) , Εισαγωγή στη Γεωφυσική , εκδόσεις ΖΗΤΗ , Θεσσαλονίκη.

Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας, 2010, ανακτήθηκε Απρίλιος 2010 από <http://www.ditikiellada.gov.gr/contents.asp?id=274>.

Angelier, J. & Le Pichon, X. (1980). Neotectonique horizontale et verticale de l' Egee: subduction et expansion. *Mem. Bur. Rech. Geol. Min.*, 115, 249-260. (in French).

Alexopoulos, A. (1990). *Geological and hydrogeological conditions of the topographical sheet Mohos area (central-eastern Crete)*. Doct. Thesis, Athens: University of Athens (in Greek).

Angelier, J., Lyberis, N., Le Pichon, X., Barrier, E. & Huchon, P. (1982). The tectonic development of the Hellenic Arc and the Sea of Crete: a synthesis. In: X. Le Pichon, S.S. Augoustithis and J. Mascle (Eds.), *Geodynamics of the Hellenic Arc and Trench. Tectonophysics*, 86, 159-196.

Barsukov, P.O. & Fainberg, E.B. (2002). Study of the environment by the transient electromagnetic method using the induced polarization and superparamagnetic effects. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 38 (11), 981-984

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.

Dahlin T. (2001). The development of DC resistivity imaging techniques. *Computers and Geosciences*, 27 (9), 1019-1029.

Dermitzakis, M.D. & Papanikolaou, D. (1981). Paleogeography and Geodynamics of Aegean

Region during Neogene. Viith Int. Congress on Medit. Neogene, Athens 1979. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, IV, 245-289.

Φασουλάς, Χ.(2000). Οδηγός υπαίθρου για τη γεωλογία της Κρήτης. Ηράκλειο: Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Κρήτης.

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.

Fytrolakis, N. (1967). On fossil occurrence in eastern Crete metamorphic rocks. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 7, 89-92.

IGME. (1991). Geological Map of Greece, Perama sheet. (Geological mapping by Mylonakis, I. during the years 1982-1987), Athens: Institute of Geology and Mineral Exploration. Scale: 1:50,000.

IRIS Instruments. (2009). Retrieved January 15, 2009 from <http://www.iris-instruments.com>.

Kalisperi, D., Soupios, P., Kouli, M., Barsukov, P., Kershaw, S., Collins, P., & Vallianatos, F. (2009). Coastal aquifer assessment using geophysical methods (TEM, VES), case study: Northern Crete, Greece. *Proceedings of the 3rd IASME/WSEAS International Conference on GEOLOGY and SEISMOLOGY (GES '09), Cambridge, UK, February 24-26, 2009.*

Karakitsios, V. (1987). Sur la signification de la "serie de Trypali" dans la region de Sellia en Crete occidentale (Grece). *C. R. Acad. Sc. Paris, t. 304, Serie II, no3*, 123-128. (in French).

Soupios P.M., Kouli M., Vallianatos F., Vafidis A., Stavroulakis G. (2007). Estimation of aquifer hydraulic parameters from surficial geophysical methods: A case study of Keritis Basin in Chania (Crete - Greece). *Journal of Hydrology*, 338 (1-2), 122-131

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.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα δεδομένα της ηλεκτρικής διασκόπησης.

VES 00			VES 01-EW			VES 01-NS		
AB/2	MN	Ro _a	AB/2	MN	Ro _a	AB/2	MN	Ro _a
3.2	2	1065	3.2	2	16.6	3.2	2	18.7
4	2	1192.7	4	2	13.8	4	2	12.7
5	2	1139.9	5	2	11.3	5	2	11.7
6.4	2	1215.3	6.4	2	11.6	6.4	2	11.4
8	2	1161.8	8	2	11.5	8	2	12.3
10	2	1154.7	10	2	12.3	10	2	13.1
16	2	1090.2	13	2	12.5	16	2	14.1
20	2	1211.3	16	2	12.9	20	2	16.5
25	2	1378.3	20	2	13.8	25	2	17
32	2	1392.4	25	2	15.5	32	2	19.8
32	20	1362.9	32	20	17.4	32	20	17.7
40	20	1672.9	40	20	19	40	20	19.6
50	20	1856.6	50	20	23.1	50	20	21.4
64	20	2086.6	64	20	26.4	64	20	25.1
80	20	2406.1	80	20	28.5	80	20	29.5
100	20	2672.4	100	20	33.3	100	20	32.9
130	20	2808	130	20	38.8	130	20	38.6
160	80	2770.3	130	80	38.1	130	80	36.4
200	80	3068.7	160	80	43	160	80	41.2
250	80	3451.6	200	80	42.3	200	80	40.4
320	80	3585.5	250	80	45.1	250	80	44.4
400	80	3540	320	80	44.6	320	80	46.5
VES 02-EW			VES 02-NS					
AB/2	MN	Ro _a	AB/2	MN	Ro _a			
3.2	2	42.8	3.2	2	82.5			
4	2	36.1	4	2	57.2			
5	2	36	5	2	44.3			
6.4	2	36.1	6.4	2	39.8			
8	2	36.1	8	2	35.1			
10	2	37.2	10	2	31.7			
13	2	36.7	13	2	29.1			
16	2	35.5	16	2	27.4			
20	2	34.7	20	2	26.6			
25	2	33.3	25	2	25.7			
32	2	32.3	32	20	22.4			
32	20	20.6	40	20	22.2			
40	20	19.9	50	20	22			
50	20	20.8	64	20	21.8			
64	20	21.9	80	20	23.6			
80	20	24.4	100	20	26.7			
100	20	26.8	130	20	30.1			
130	80	109.5	130	80	27.6			
160	80	189	160	80	30.8			
200	80	23.8	200	80	28.1			
250	80	23.3	250	80	29.8			
			320	80	30.4			