



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Παράρτημα Χανίων
Τομέας Υδατικών Πόρων & Γεωπεριβάλλοντος



Γεωφυσικές μετρήσεις σε ιζηματογενή περιβάλλοντα

Application of geophysical methods in a sedimentary basin

Επιμέλεια: ΠΑΛΑΜΙΔΑ ΣΟΥΖΑΝΑ & ΡΕΜΙΓΙΑΚΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

Επιβλεψη: ΣΟΥΠΙΟΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ, Αν. Καθ. ΤΕΙ Κρήτης

ΧΑΝΙΑ 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (1970 – 2005).....	5
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	5
2.3 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΟΔΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	15
3.1 Ηλεκτρομαγνητικές βυθοσκοπήσεις	15
3.2 Βάθος διασκόπησης	17
3.3 Διεξαγωγή των μετρήσεων.....	18
3.4 οργανα μετρήσεων	21
3.5 Σχεδιασμός της έρευνας	23
3.6 Πηγές σφαλμάτων στις μετρήσεις.....	24
3.7 Συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων	25
3.8 Εφαρμογές της μεθόδου	34
3.9 Δισδιάστατη (2D) απεικόνιση των αποτελεσμάτων	35
3.10 Τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση των αποτελεσμάτων.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ TEM ΣΤΗ ΜΥΓΔΟΝΙΑ ΛΕΚΑΝΗ – ΘΕΣ/ΝΙΚΗ.....	43
4.1 Συλλογή ηλεκτρομαγνητικών διασκοπήσεων στην περιοχή της Μυγδονίας	43
4.2 Διδιάστατη μοντελοποίηση του χώρου έρευνας	44
4.3 Ψευδο-τρειςδιάστατη απεικόνιση της περιοχής ενδιαφέροντος.....	50
4.4 Τρισδιάστατη μοντελοποίηση του χώρου μελέτης	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεκτονική δομή της Μυγδονίας λεκάνης παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον εφόσον παραμένει άγνωστη ως σήμερα.

Το κενό γνώσης αναφορικά με τη τεκτονική της Μυγδονίας λεκάνης από την επιφάνεια μέχρι το βραχώδες υπόβαθρο, έρχεται να καλύψει η παρούσα πτυχιακή εργασία με την εκτέλεση μιας λεπτομερούς γεωηλεκτρομαγνητικής μελέτης της ενεργούς τεκτονικής Μυγδονίας λεκάνης.

Σκοπός αυτής της έρευνας είναι ο πιθανός προσδιορισμός άγνωστων τεκτονικών ή/και μικροτεκτονικών δομών. Από τη συλλογή και ανάλυση μετρήσεων σε συνδυασμό με στοιχεία προηγούμενων και νέων γεωλογικών, γεωτεχνικών και γεωφυσικών μετρήσεων, επιτυγχάνεται ο σχεδιασμός ενός τρισδιάστατου ψηφιακού προσομοιώματος το οποίο περιγράφει με σαφήνεια τη τεκτονική της περιοχής ενδιαφέροντος,

Ο προσδιορισμός αυτών των δομών θα επιτευχθεί με τη χρήση ορισμένων γεωφυσικών μεθόδων και πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση των TEM. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται το γεωλογικό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής μελέτης και δίνεται η γεωλογική δομή της Μυγδονίας λεκάνης όπως είναι γνωστή από προηγούμενες μετρήσεις (Μανάκου,2007).

ABSTRACT

The tectonic structure of Mygdonia basin is of great interest if it remains unknown to date. The knowledge gap regarding the tectonics of basin Mygdonia from surface to the bedrock, fills this thesis to perform a detailed geoelectromagnetic study to determine any tectonic features.

The purpose of this research is the potential identification of unknown tectonic and / or mikrotectonic structures. By collecting and analyzing measurements combined with previous data and new geological, geophysical and geotechnical measurements, the design achieved a simulated three-dimensional digital which clearly describes the tectonics of the region of interest,

The identification of these structures will be achieved by using some geophysical methods and more specifically, by using TEM. The next chapter presents the geological environment of the wider study area and given the geological structure of Mygdonia basin is known from previous measurements (Manakou, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (1970 – 2005)

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πεδίο εφαρμογής όλων των μεθόδων και των αποτελεσμάτων που αναπτύσσονται αναλυτικά στην παρούσα πτυχιακή είναι μια υπαρκτή γεωλογική δομή σε μια περιοχή που περιλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της Μυγδονίας λεκάνης το οποίο οριοθετείται κατά τον μεγάλο άξονά της από τις λίμνες Λαγκαδά και Βόλβης ενώ από το Βορρά από τα όρη της Βόλβης και του Βερτίσκου και Νότια από τα όρη Χορτιάτη, Χολομώντα και Στρατονικού. Αποτελεί τμήμα του παλαιότερου Προμυγδονιακού τεκτονικού βυθίσματος.

Το μεγαλύτερο τμήμα της ανήκει γεωτεκτονικά στη Σερβομακεδονική μάζα. Παρουσιάζει την ποικιλομορφία των γεωλογικών σχηματισμών της αλλά και την υψηλή σεισμικότητά της. Αποτέλεσμα του έντονου εφελκυστικού πεδίου των τάσεων που έχει υποστεί η ευρύτερη περιοχή, είναι οι ρηξιγενείς ζώνες διαφορετικής διεύθυνσης που τη διατρέχουν. Η κυριότερη από αυτές θεωρείται σεισμικά ενεργή και είναι υπεύθυνη για τον καταστροφικό σεισμό του Στίβου (20/6/1978, $M_s=6.5$) ο οποίος προκάλεσε ανθρώπινες απώλειες, λίγες καταρρεύσεις και πολλές αστοχίες κατασκευών στη Θεσσαλονίκη.

Αποτελεί τον κοντινότερο σεισμογόνο χώρο της για αυτό το λόγο έχει μελετηθεί πολύπλευρα από πλήθος ερευνητών. Οι κυριότερες από τις μελέτες αυτές σχετίζονται με το γεωλογικό και σεισμοτεκτονικό περιβάλλον, το υδρογραφικό δυναμικό, τη δομή και τη σεισμική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών της.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποτελεί η μελέτη της γεωλογικής δομής της περιοχής, η οποία προσδιορίστηκε από διάφορους ερευνητές με ποικίλες γεωφυσικές διασκοπήσεις και αποτυπώθηκε σε δύο και τρεις διαστάσεις με τη βοήθεια ψηφιακών προσομοιωμάτων.

2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη της Μυγδονίας, ένα επίμηκες τεκτονικό βύθισμα που χωρίζει τη χερσόνησο της Χαλκιδικής από τη Μακεδονία, αποτελεί μέρος του ευρύτερου

Προμυγδονιακού βυθίσματος το οποίο περιλαμβάνει και τις γειτονικές λεκάνες Ζαγκλιβερίου, Μαραθούσης και Βρωμολιμνών.

Τοποθετείται 30 km περίπου βόρεια, βορειοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης και εκτείνεται κατά τη διεύθυνση Α – Δ μεταξύ του όρους Καμήλα και της Ρεντίνας (Σχήμα 2.1). Ανατολικά ορίζεται από τους ορεινούς όγκους των Κερδυλλίων και Στρατονικού, βόρεια από τα όρη της Βόλβης και του Βερτίσκου, νότια από το Χορτιάτη, και το όρος Χολομώντα, ενώ δυτικά δεν υπάρχουν σαφή φυσικά όρια.

Εντός της λεκάνης βρίσκονται οι λίμνες Λαγκαδά (Κορώνεια ή Αγίου Βασιλείου) και Βόλβης (Μπεσικίων), υπολειμματικές μορφές της μεγάλης πλειστοκαινικής Μυγδονίας λίμνης. Στη σημερινή μορφή η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελείται από δύο τμήματα. Το ανατολικό που αποτελεί την υπολεκάνη Βόλβης και το δυτικό, την υπολεκάνη Λαγκαδά.



Σχήμα 2.1. Τοπογραφικό διάγραμμα της ευρύτερης περιοχής μελέτης στο οποίο απεικονίζεται με τη στικτή γραμμή τα όρια της Μυγδονίας λεκάνης (Μανάκου,2007)

Από γεωτεκτονική άποψη το αλπικό – προαλπικό υπόβαθρο της Μυγδονίας λεκάνης ανήκει κυρίως στη Σερβομακεδονική μάζα, ενώ ένα μικρότερο τμήμα στα νοτιοδυτικά αυτής, καταλαμβάνεται από σχηματισμούς της Περιροδοπικής και της ζώνης Αξιού (Σχήμα 2.2).

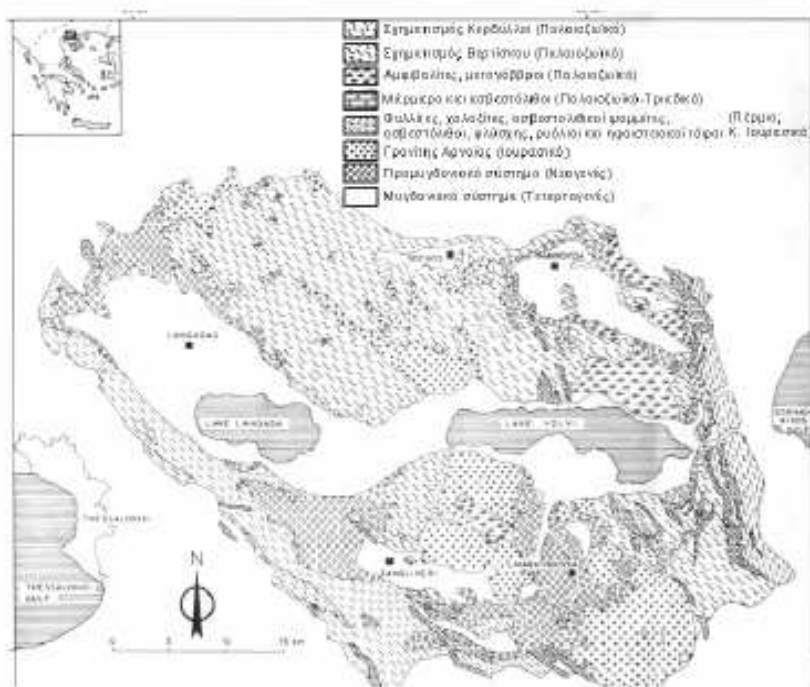
Η Σερβομακεδονική μάζα συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα τα οποία ανήκουν σε δύο μεγάλες σειρές, την κατώτερη των Κερδυλλίων και την ανώτερη του Βερτίσκου (Mercier et al. 1983, Μουντράκης 1985).

Το υπόβαθρο της περιοχής κατέχεται κατά βάση από πετρώματα της ανώτερης σειράς Βερτίσκου τα οποία αποτελούνται από βιοτιτικούς και διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, οφθαλμογνευσίους, μαργαρυγιακούς σχιστόλιθους, μεταγάβρους, μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων. Συχνή είναι η παρουσία όξινων πλουτωνικών πετρωμάτων γρανιτικής και πηγματιτικής σύστασης τα οποία διεισδύουν με μορφή φλεβών στα πετρώματα της σειράς. Ασύμφωνα πάνω στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο της λεκάνης τοποθετούνται οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς ιζηματογενείς σχηματισμοί χερσαίας κυρίως προέλευσης, οι οποίοι διαιρούνται σε δύο συστήματα. Το Προμυγδονιακό με ηλικία άνω Μειόκαινο – κάτω Πλειστόκαινο το οποίο αποτέθηκε στην Προμυγδονιακή λεκάνη και το υπερκείμενο Μυγδονιακό, με ηλικία μέσο Πλειστόκαινο – Ολόκαινο.



Σχήμα 2.2. Χάρτης της Σεβομακεδονικής μάζας (Μουντράκης, 1985).

Η μετάβαση των δύο ιζηματογενών συστημάτων σε αρκετές περιπτώσεις είναι βαθμιαία, ενώ σε άλλες το Μυγδονιακό κάθεται ασύμφωνα πάνω στο Προμυγδονιακό σύστημα (Σχήματα 2.3 & 2.4).



Σχήμα 2.3. Χάρτης της Μυγδονίας λεκάνης με την ανάπτυξη των κύριων λιθολογικών ενοτήτων που τη συνιστούν (Sotiriadis et al., 1983).

Παλιός	Εποχή	Σύστημα	Σχηματισμός	Βάθος (m)	Λιθολογία	Γεωλογική περιγραφή	Απολιθώματα
Τεταρτογενές	Πλειστόκαινο Ολόκαινο	Μυγδονικό		100	Τραβερτίνες Κροκαλοπαγές Άμμος Λεπτά στρώματα άμμου, υλός		<i>Sus scrofa</i> <i>Bos faunus</i> <i>Capra hircus</i>
				200	Εναλλαγές αργίλου, υλός, άμμου Βάρβες Λεπτά στρώματα άμμου, υλός Άμμος Κροκαλοπαγές		<i>Equus sp.</i> <i>Bos sp.</i> <i>Ulnio sp.</i> <i>Cardium edule</i> <i>Spondylus gaederopus</i> <i>Dolax verustus</i>
Νεογενές	Πάλιο Εωλιωφόρο	Προμυγδονικό	Ευθροστρώματα	300	Διαστρωρούμενη στρώση χοντροκόκκων και λεπτοκόκκων κλασικών ιζημάτων, κόκκινο - καφέ χρώματος, κεραλαί προέλευσης.		<i>Equus stenonis</i> <i>Dicerorhinus etruscus</i> <i>Canis etruscus</i> <i>Croizetoceros ramosus</i> <i>Eucladoceros senezensis</i>
			Ικασμοούχα ιζήματα Σχητολίθος Κροκαλοπαγές	400	Ρυθμίτες αποτελούμενοι από 3 στρώματα: υλώδη αργίλου, λεπτός στρώσεις αμμώδη υλός και άμμουκροκαλοπαγούς. Λιμναία - ποτάμια ιζήματα σταλοκρήνου - καφέ χρώματος.		<i>Dicerorhinus orientalis</i>
			Κροκαλοπαγές	500	Διαστρωρούμενη στρώση χοντροκόκκης - λεπτοκόκκης άμμου, καφέ - μαύρου χρώματος. Λεπτοί φακοί αργίλου με pillow lava. Φερρά υλκά ποταμών: κροκάλες και άμμοι Μανδύας αποσάθρωσης με ασβεστοπικά συγκρίματα Γεωλογικό υπόβαθρο (γνήσιος, μαρμαρυγκός σχιστολίθος, αμφιλιθές, γρανίτες, φυλλίτες, κ.ά.)		

Σχήμα 2.4. Στρωματογραφική διάρθρωση της Μυγδονίας λεκάνης (Sotiriadis et al., 1983).

Οι σημαντικότεροι σχηματισμοί του Προμυγδονιακού συστήματος στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (Σχήματα 2.4 & 2.5) έτσι όπως εμφανίζονται σε φυσικές τομές (Ψιλοβίκος, 1977), παλαιοντολογικά (Κουφος et al., 1989) και στοιχεία βαθιών γεωτρήσεων (B.R.G.M., 1971), αποτελούνται με σειρά διαδοχής από κάτω προς τα πάνω από:

- 1) ένα στρώμα αποσάθρωσης του αλπικού μεταμορφωμένου υποβάθρου (γνευσίου και μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου) εντός του οποίου υπάρχουν κατά θέσεις ασβεσπιτικά συγκρίματα
- 2) κροκαλοπαγή αποτελούμενα κυρίως από κροκάλες μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου, γνευσίου και αμφιβολιτών οι οποίες συγκολλούνται μεταξύ τους με χαλαζιακό ψαμμιτικό υλικό
- 3) ψαμμίτες
- 4) αργιλοψαμμιτικά ιζήματα εναλλαγών αργίλου, άμμου και ιλύος
- 5) ερυθροστρώματα τα οποία συνίστανται από αργιλικά υλικά, κροκάλες και άμμους που παρουσιάζουν χαρακτηριστικό ερυθρό χρώμα.

Το βάθος στο οποίο αναπτύσσεται το Προμυγδονιακό σύστημα σχετίζεται με τα παλαιογεωγραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης. Στο δυτικό τμήμα αυτής συναντάται στα 160 m (Ψιλοβίκος, 1977), στο κεντρικό στα 80 m (Ραπτάκης 1995, Raptakis et. al. 2000), ενώ για το ανατολικό δεν υπάρχουν σαφή στοιχεία.

Στο νότιο, νοτιοδυτικό άκρο της λεκάνης κατά μήκος των χωριών Στίβου – Νικομηδινού – Γερακαρού – Βασιλούδι – Ζεστό Νερό – Αγιάσματος – Λαγυνά – Λητή, εμφανίζεται επιφανειακά ο σχηματισμός των ερυθροστρωμάτων ο οποίος είναι γνωστός και ως σχηματισμός «Γερακαρούς» με πάχη κατά περιοχές μεγαλύτερα των 100 m (Κουφός και συν., 1994).

Το Μυγδονιακό σύστημα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης διακρίνεται σε κατώτερες και ανώτερες αποθέσεις.

Οι κατώτερες συνίσταται από:

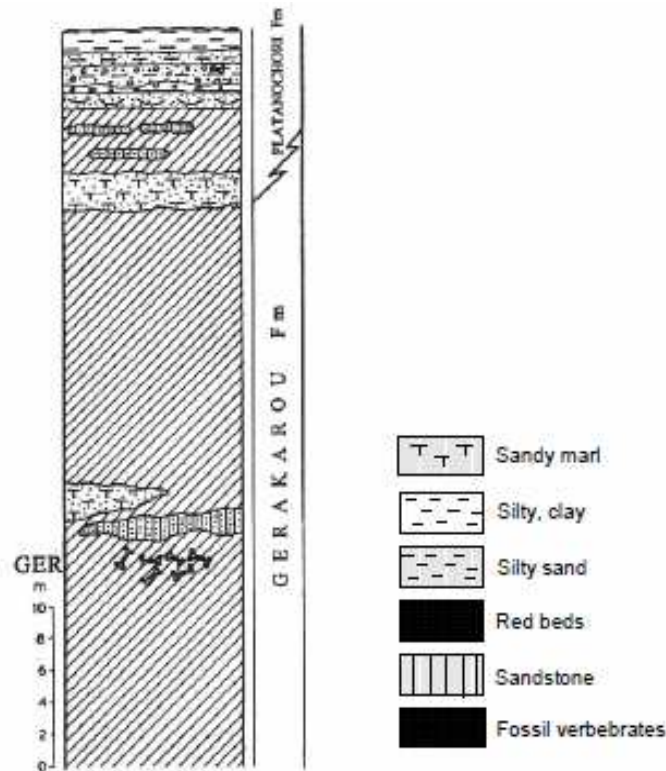
- 1) κροκάλες γνευσίου, μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου και φυλλίτη
- 2) άμμοι
- 3) αργιλικά υλικά και
- 4) ένα στρώμα λεπτόκοκκης άμμου.

Στο ανώτερο τμήμα αποθέσεων συναντούνται από:

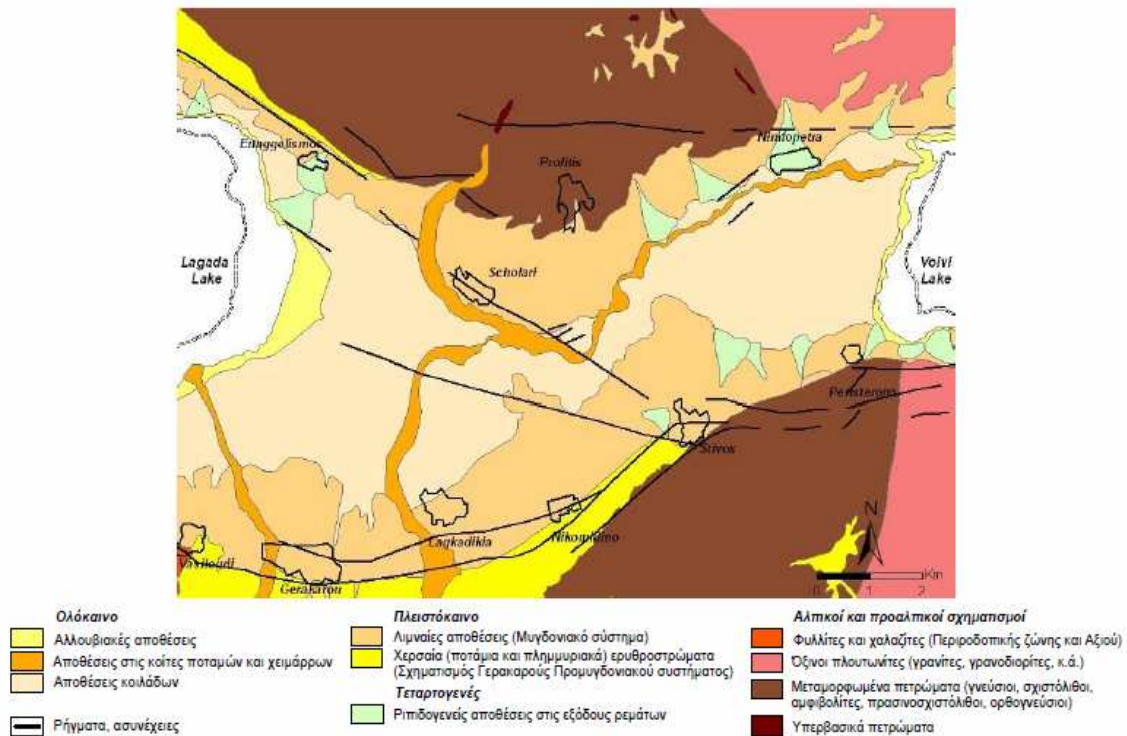
- 1) αργιλικά υλικά
- 2) εναλλαγές αργίλου και άμμου
- 3) άμμοι

- 4) κροκάλες και άμμοι
- 5) χημικά ιζήματα (τραβερίνες).

Οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της σημερινής Μυγδονίας λεκάνης με πάχος που σε πολλές περιοχές ξεπερνά τα 100 m (Ψιλοβίκος, 1977). Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζεται η γεωγραφική εξάπλωση των δύο ιζηματογενών συστημάτων στην περιοχή μεταξύ των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης.



Σχήμα 2.5. Στρωματογραφική διάρθρωση της Μυγδονίας λεκάνης κοντά στη Γερακαρού (Koufos et al., 1995).



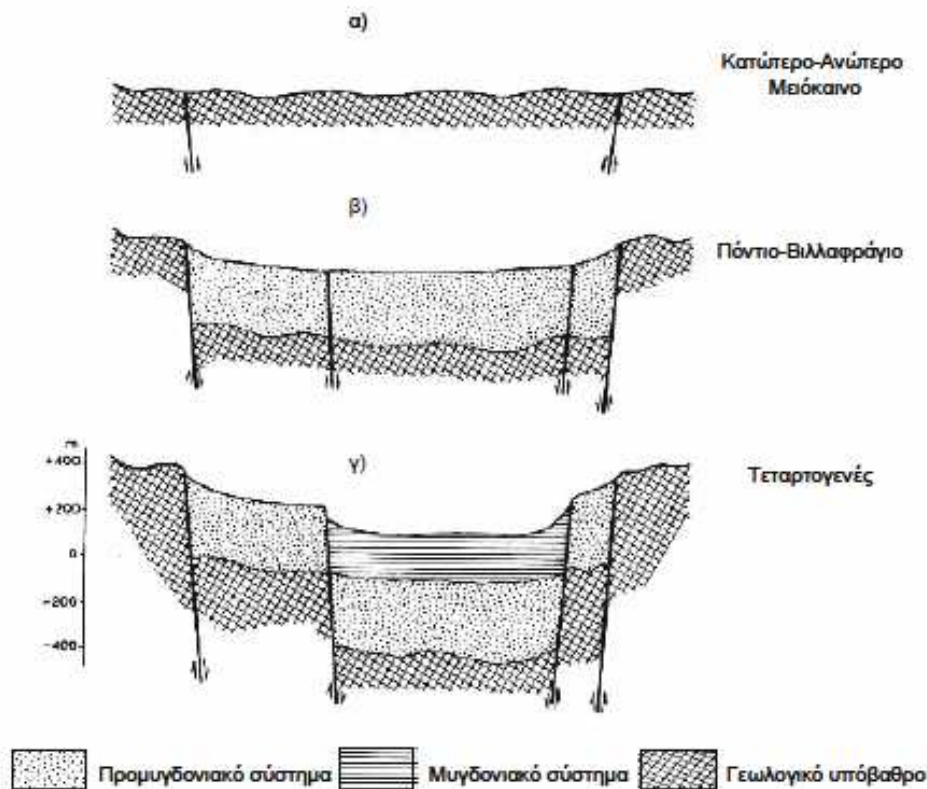
Σχήμα 2.6. Νεοτεκτονικός χάρτης της Μυγδονίας λεκάνης (φύλλο Λαγκαδά, κλίμακας 1:100.000, Μουντράκης και συν., 1997).

2.3 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με την διδακτορική διατριβή της Μανάκου Μαρία στην Προμυγδόνια λεκάνη έλαβαν χώρα δύο κύρια τεκτονικά στάδια. Κατά το πρώτο, ο εφελκυσμός του μέσου – κατώτερου Μειοκαινού δημιούργησε ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ και ΒΑ - ΝΔ στη Σερβομακεδονική μάζα με αποτέλεσμα την καταβύθιση της εντός των ρηγμάτων περιοχής (Σχήμα 2.7α). Ασύμφωνα πάνω στο κρυσταλλικό υπόβαθρο αυτής άρχισε η ιζηματογένεση της Προμυγδονιακής ακολουθίας ιζημάτων ενώ η δράση των ρηξιγενών ζωνών δημιούργησαν μεταξύ Ποντίου – άνω Βιλλαφράγκιου την Προμυγδονιακή λεκάνη (Σχήμα 2.7β). Η καταβύθιση της περιοχής συνεχίστηκε από τη δράση μικρότερων ρηγμάτων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία της Μυγδονίας λεκάνης.

Με τη συγκέντρωση των μεταφερόμενων της περιβάλλουσας περιοχής υδάτων, που δεν έβρισκαν διέξοδο προς τη λεκάνη του Στρυμόνα δημιουργήθηκε η ομώνυμη λίμνη. Η έκτασή της ήταν περίπου 500 km² και κάλυπτε το χαμηλότερο τμήμα των υπολεκανών Λαγκαδά και Βόλβης καθώς και το βόρειο της Μαραθούσης λεκάνης.

Στο Τεταρτογενές, έλαβε χώρα το δεύτερο τεκτονικό στάδιο κατά το οποίο υπήρξε καταβύθιση της Μυγδονίας λεκάνης και παράλληλη πλήρωσή της με τη Μυγδονιακή ακολουθία ιζημάτων (Σχήμα 2.7γ). Ακολούθησε σταδιακή ταπείνωση της στάθμης της Μυγδονίας λίμνης, λόγω της διοχέτευσης μέρους των υδάτων της προς τη λεκάνη του Στρυμόνα και ο χωρισμός της σε δύο μικρότερες λεκάνες, του Λαγκαδά και της Βόλβης.



Σχήμα 2.7. Σχεδιάγραμμα με τα κύρια τεκτονικά στάδια εξέλιξης της Προμυγδονιακής λεκάνης (Sotiriadis et al., 1983).

Ο διαχωρισμός των δύο λιμνών προήλθε από ένα έξαρμα ράχων και αναβαθμίδων μεταξύ Σχολαρίου - Στίβου. Η παρουσία του ανιχνεύτηκε με διασκοπήσεις σεισμικής διάθλασης που διεξήχθησαν από τη Β.Ρ.Γ.Μ. (1971) κατά μήκος του ποταμού Δερβένι που ρέει στο κέντρο της λεκάνης. Η δημιουργία του εξάρματος οφείλεται στην έντονη μεταφορά κλαστικών υλικών μέσω χειμάρρων και ρευμάτων και εναπόθεσή τους στο κεντρικό τμήμα της Μυγδονίας λίμνης (Ψιλοβίκος 1977, Sotiriadis et al. 1983).

Η έντονη διάβρωση που ακολούθησε στη περιοχή είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του ύψους του εξάρματος (μέγιστο ύψος 85 m), με αποτέλεσμα την αποκατάσταση της επικοινωνίας των δύο υπολεκανών Λαγκαδά και Βόλβης (Ψιλοβίκος, 1997). Η στάθμη των λιμνών μειώθηκε αισθητά, φτάνοντας τα σημερινά περίπου επίπεδα. Μεταξύ των δύο υπολεκανών επικρατεί τεκτονική ανεξαρτησία, γεγονός που επιβεβαιώθηκε από παρατηρήσεις σε μεγάλους σεισμούς του παρελθόντος.

Οι κύριες τεκτονικές δομές που παρατηρούνται στην υπολεκάνη Λαγκαδά είναι το ρήγμα του Χορτιάτη και του Βασιλουδίου – Γερακαρούς – Νικομηδινού – Στίβου στη νότια πλευρά της, και του Ευαγγελισμού – Δρακοντίου – Κολχικού στη βορειοδυτική (Kockel et al., 1971). Η τεκτονική κατάσταση του ανατολικού τμήματος της Μυγδονίας εμφανίζεται πιο περίπλοκη.

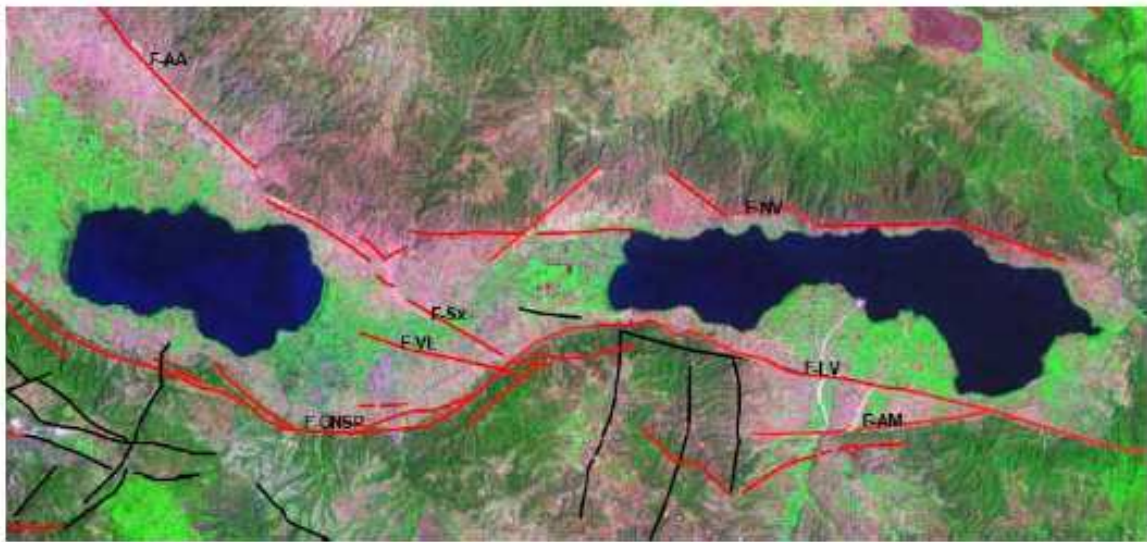
Κανονικά ρήγματα διεύθυνσης Α – Δ, ΒΑ - ΝΔ και ΒΔ - ΝΑ έχουν σχηματισθεί στη βόρεια και νότια πλευρά της υπολεκάνης Βόλβης (Σχήματα 2.6 & 2.8). Οι Μουντράκης και συν. (1997) μελέτησαν διεξοδικά τα ρήγματα της περιοχής με σκοπό τον χαρακτηρισμό τους ως σεισμικά, ενεργά, πιθανά ενεργά και ανενεργά.

Ο διαχωρισμός βασίσθηκε σε στρωματογραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία, στην κατανομή επικέντρων μικροσεισμών, τη γραμμική τοποθέτηση θερμών πηγών, τις επιφάνειες ρηγμάτων, κλπ.

Σύμφωνα με τους προαναφερόμενους ερευνητές, το ρήγμα Βασιλουδίου – Γερακαρούς – Νικομηδινού – Στίβου (απεικονίζεται ως F-GNSP στο Σχήμα 2.8) θεωρείται σεισμικά ενεργό. Αναπτύσσεται σε μήκος 12 km περίπου με κύρια διεύθυνση Α – Δ η οποία κατά διαστήματα γίνεται ΔΒΔ – ΑΝΑ, ΑΒΑ – ΔΝΔ, λόγω της τοξοειδούς ανάπτυξής του. Πρόκειται για ένα τυπικά λιστρωτό ρήγμα με διεύθυνση κλίσης προς το βορρά και γωνία κλίσης 70° – 80° η οποία με την αύξηση του βάθους μειώνεται στις 35° (Pavlidis and Kiliadis 1987, Pavlides et al. 2006, Tranos et al. 2003). Εμφανίζεται ως το όριο μεταξύ του υποβάθρου και των Νεογενών - Τεταρτογενών αποθέσεων αλλά και μεταξύ των τελευταίων. Με βάση ιζηματολογικές και ενδείξεις το συνολικό γεωλογικό άλμα στο Τεταρτογενές φτάνει τα 250 m, ενώ ο ρυθμός ολίσθησης κατά τη διάρκεια Ολοκαίνου – άνω Πλειστοκαίνου κυμαίνεται μεταξύ 0.06 - 0.7 mm/year (Χατζηπέτρος 1988).

Το ρήγμα διαχωρίζεται στη θέση του Στίβου σε δύο επιμέρους κλάδους. Ο βόρειος με μήκος 8 km αναπτύσσεται κατά μήκος του άξονα Σχολαρίου - Στίβου με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και μετάπτωση προς τα ΝΔ (απεικονίζεται ως F-Sx στο

Σχήμα 2.8) και αποτελεί γεωμορφολογική αναβαθμίδα ως όριο του υποβάθρου με τις Νεογενείς – Τεταρτογενείς αποθέσεις. Ο μεσαίος κλάδος αναπτύσσεται σε μήκος 5 km στον άξονα Στίβος - Σχολάρι με διεύθυνση ANA – ΔΒΔ και κλίση ΒΒΑ (απεικονίζεται ως F-VL στο Σχήμα 2.8) και κόβει τις πολύ πρόσφατες αλλουβιακές προσχώσεις της Μυγδονίας λεκάνης.



Σχήμα 2.8. Δορυφορική εικόνα (Landsat-5) των κύριων τεκτονικών δομών της Μυγδονίας λεκάνης (1^η Ετήσια Τεχνική Έκθεση του Ερευνητικού Προγράμματος SRM-Life, 2004).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΟΔΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΙΣ

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

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

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

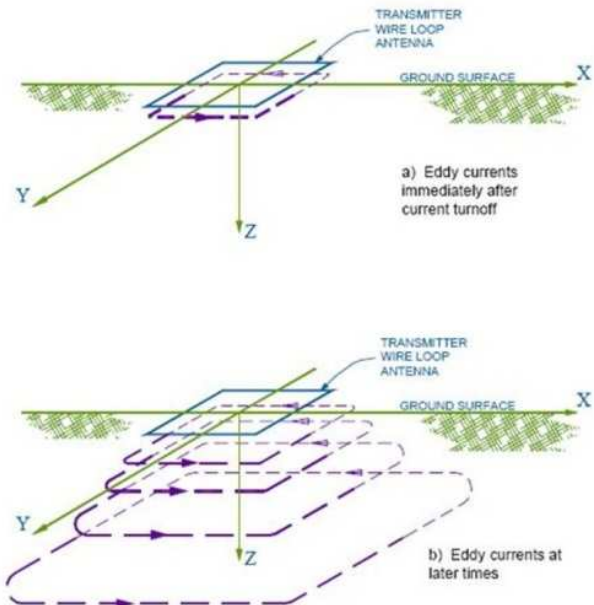


Μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (Transient EM, TEM)

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

Εφαρμογή μεθόδου:

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



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

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

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

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

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

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

3.2 ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ένταση μαγνητικής ροπής, ρεύματος, από το χρόνο καθυστέρησης του τελευταίου καναλιού, αλλά και από τη φύση της γεωηλεκτρικής δομής που ερευνάται. Κατά τη διάχυση του ΗΜ πεδίου σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρείται εξασθένιση του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου με το χρόνο, που ακολουθεί μια συμπεριφορά

φθίνουσα εκθετική με συντελεστή $\left(-\frac{5}{2}\right)$ για την κατακόρυφη συνιστώσα και -3 για την οριζόντια συνιστώσα.

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

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

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

όπου I το ρεύμα εκπομπής, A το εμβαδόν του βρόχου, σ_1 η αγωγιμότητα του υπερκείμενου στρώματος και η_v το μικρότερο δυνατό σήμα που είναι δυνατό να μετρηθεί πάνω από το επίπεδο θορύβου. Αναφέρουν τιμές για το η_v ίσες με 0.5 nV/m² τιμή που είναι κατά τη γνώμη μας υπερβολικά χαμηλή.

Η τιμή αυτή συμφωνεί με τη τιμή της στάθμης θορύβου του κατασκευαστή του οργάνου, που είναι 12 nV/m².

Αντίστοιχα ο αργότερος χρόνος που μπορεί να μετρηθεί το σήμα αυτό είναι:

$$t_L \approx 1.9 \times 10^{-7} (IA)^{2/5} \sigma_1 \eta_v^{2/5} \quad (\text{Spies - Frischknecht 1992})$$

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

3.3 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ένας κοινός παράγοντας όλων των επαγωγικών παροδικά μεταβαλλόμενων τεχνικών είναι ότι για τη διασκόπηση χρησιμοποιούνται τετραγωνικοί ή ορθογώνιοι βρόχοι ως πομποί και δέκτες. Ανάλογα με τη διάταξη πομπού-δέκτη οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες διατάξεις είναι (σχήμα 3.3):

Διάταξη ενός βρόχου (Single-Loop or Coincident Loop Configuration). Αποτελείται από έναν μόνο βρόχο, ο οποίος λειτουργεί και ως πομπός και ως δέκτης. Κατά τη διάρκεια που το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το κύκλωμα, λειτουργεί ως πομπός. Μόλις διακοπεί η λειτουργία του κυκλώματος, οι ακροδέκτες του βρόχου συνδέονται αυτόματα με το δέκτη και οι μετρήσεις παίρνονται κατά τη διάρκεια που ο πομπός είναι κλειστός. Το μέγεθος της πλευράς του βρόχου ποικίλει από 5 μέχρι και 200 μέτρα και είναι συνήθως τετραγωνικός ή ορθογώνιος.

Διάταξη κεντρικού βρόχου (In-Loop or Central Loop Configuration). Αυτή η διάταξη είναι παραλλαγή της προηγούμενης, με την διαφορά ότι ο βρόχος του δέκτη είναι πολύσπειρος, ισοδύναμης επιφάνειας με τον πομπό, και τοποθετείται στο κέντρο του βρόχου που συνδέεται με τον πομπό.

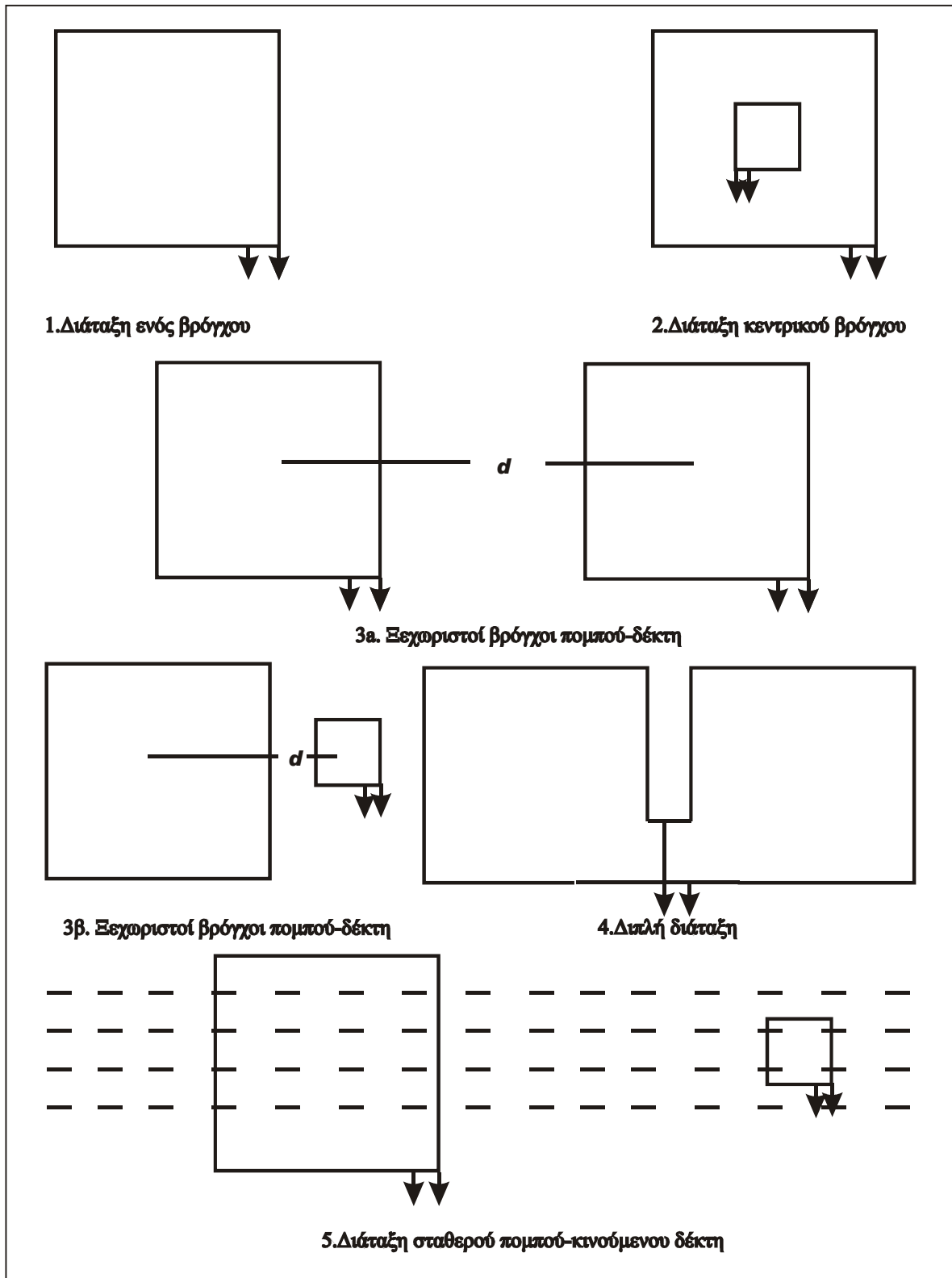
Ξεχωριστοί βρόχοι πομπού-δέκτη (Separated Transmitter-Receiver Loop Configuration). Η διάταξη αυτή μοιάζει με την διάταξη Slingram, όπου πομπός και δέκτης βρίσκονται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους. Οι βρόχοι έχουν διαστάσεις

μερικών δεκάδων μέτρων. Μια παραλλαγή αυτής της διάταξης είναι ο δέκτης να είναι πολύ μικρότερος από τον πομπό.

Διπλή διάταξη (Dual-Loop Configuration). Σε αυτή τη διάταξη, διαμορφώνονται δύο παρακείμενοι βρόχοι που συνδέονται παράλληλα για καλύτερη σύζευξη με κάθετους αγωγούς (Spies 1975). Επιπλέον, επειδή ο θόρυβος που επάγεται λόγω κινούμενων πηγών που προκαλούν παράσιτα στο σήμα είναι αντίθετος στους δύο βρόχους στην διάταξη αυτή, μειώνεται σημαντικά το επίπεδο του.

Μεγάλος σταθερός βρόχος πομπού-κινούμενος δέκτης (Large Fixed Transmitter, Roving Receiver). Σε αυτή την διάταξη, υλοποιείται ένας πολύ μεγάλος βρόχος-πομπός που παραμένει σταθερός και ένας πολύ μικρότερος βρόχος-δέκτης χρησιμοποιείται κατά μήκος οδεύσεων που είναι παράλληλες προς μια πλευρά του πομπού. Το μήκος της πλευράς του πομπού είναι της τάξης μερικών εκατοντάδων μέτρων (σε πολλές περιπτώσεις φτάνει μέχρι και πέντε χιλιόμετρα).

Εναέριες διατάξεις (Airborne TDEM). Η μέθοδος των TEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από αέρος για έρευνα και μάλιστα καλύπτοντας πολύ μεγάλη έκταση σε μικρό χρονικό διάστημα (Smith και Keating 1996).



Σχήμα 3.3 Διατάξεις μετρήσεων TEM (Παπαδόπουλος, 2000)

3.4 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

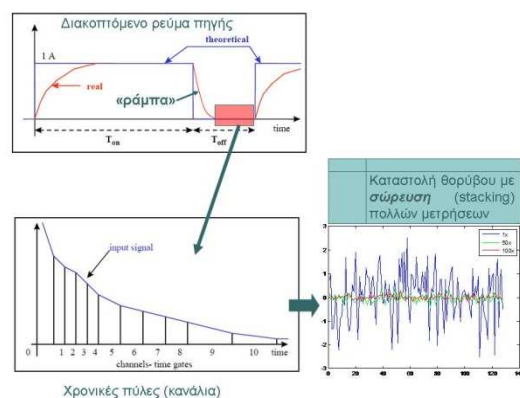
Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για διασκοπήσεις με την μέθοδο των TDEM (σχήμα 3.4), αποτελούνται από ένα πομπό που συνδέεται με τον βρόχο προς υλοποίηση, και παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως μέχρι και 12 A, χρησιμοποιώντας δωδεκάβολτους συσσωρευτές ή γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος(*).

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

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

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

Στο σχήμα (3.5) φαίνεται ενδεικτικά η διπολική κυματομορφή του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον πομπό, κατά τον χρόνο t . Οι κατασκευαστές των οργάνων δεν δίνουν ακριβείς πληροφορίες, αλλά τα παρακάτω στοιχεία είναι διαθέσιμα ή μπορούν να εξαχθούν (Asten 1987).



Σχήμα 3.4 Στη σχήμα παρουσιάζεται το TEM Fast 48 HPC, του οίκου AEMR. Το

Σχήμα3.5 Ενδεικτικό παράδειγμα κυματομορφής του πομπού. Κατά το

(*) Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές που έχουν παρατηρηθεί ρεύματα μέχρι και 900 A με χρήση πολλών συσσωρευτών.

όργανο αποτελείται από τους βρόγχους διάστημα παύσης της πομπού υπάρχει (κόκκινα καλώδια υψηλής βαθμιαία μείωση η οποία φαίνεται στο αγωγιμότητας), τη κεντρική μονάδα διάγραμμα για τις διάφορες χρονικές παραγωγής και διάθεσης των παλμών πύλες. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της (συσκευή σε μαύρο χρώμα) και το μέτρησης η διαδικασία μονάδα καταγραφής και αποθήκευσης επαναλαμβάνεται πολλές φορές με (palmtop – υπολογιστής χειρός). σκοπό την άθροιση του σήματος και τη μείωση του θορύβου.

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

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

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

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

για την περίπτωση κυκλικού βρόχου ακτίνας a , όπου:

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

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

I = το ρεύμα του πομπού.

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

λ = η μεταβλητή του μετασχηματισμού.

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

$$s = \sqrt{\lambda^2 + \mu_0 p}$$

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

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

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

3.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

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

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

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

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως η ισχύς του πομπού και η συνοδεύουσα ενέργεια του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου που παράγεται, αυξάνονται με το μέγεθος του βρόχου ή, για να είμαστε απόλυτα ακριβείς, με την συνολική

επιφάνεια που αντιστοιχεί στον βρόχο. Αν π.χ. ο βρόχος είναι τετραγωνικός πλευράς a και αποτελείται από 2 σπείρες, τότε η επιφάνεια του βρόχου είναι $2a^2$.

Η απόσταση μεταξύ των σταθμών μετρήσεων και των γραμμών οδεύσεως, εξαρτάται από τον τύπο της έρευνας (λεπτομερής ή αναγνωριστικός).

Για αναγνωριστική έρευνα και με τη διάταξη μονού βρόχου, η απόσταση μεταξύ διαδοχικών βυθοσκοπήσεων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον τέτοια ώστε ανά δύο να βρίσκονται πάνω από τον γεωλογικό στόχο που ερευνάται.

Όσον αφορά την απόσταση μεταξύ διαδοχικών οδεύσεων, θα πρέπει να είναι ανάλογη του μήκους που εκτείνεται ο στόχος.

Για τη διεξαγωγή λεπτομερούς έρευνας, το βήμα δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι αρκετά μικρότερο.

3.6 ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

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

α) Γεωμετρικός θόρυβος. Σε αυτόν συμπεριλαμβάνονται όλες οι πηγές θορύβου που πηγάζουν εξαιτίας της γεωμετρίας της κάθε διάταξης. Σε αντίθεση με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους που λειτουργούν στην περιοχή των συχνοτήτων, όπου είναι δύσκολο να απομονωθεί η συμφασική συνιστώσα του δευτερεύοντος πεδίου από το γεωμετρικά εξαρτώμενο πρωτεύον πεδίο, τα γεωμετρικά λάθη είναι αμελητέα σε μέγεθος γιατί οι μετρήσεις λαμβάνονται κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Η τοπογραφία είναι άλλη μια πηγή σφαλμάτων στις μετρήσεις. Και αυτή όμως είναι αμελητέα, καθώς μετά το πρώιμο στάδιο η διάδοση των κυμάτων έχει τέτοια συμπεριφορά ως να ήταν η επιφάνεια του εδάφους απολύτως επίπεδη.

β) Ανθρωπογενής θόρυβος. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται όλοι οι μεταλλικοί αγωγοί που μπορεί να επάγουν ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκονται στην περιοχή έρευνας, όπως είναι οι γραμμές του τηλεφωνικού δικτύου, υπόγειοι αγωγοί, μεταλλικοί φράχτες κλπ. Εξαιτίας όμως της μικρής διατομής που έχουν συνήθως, οι σταθερές χρόνου τ για την απευθείας επαγωγή τους είναι συνήθως αμελητέες. Η κύρια συνεισφορά τους στα σφάλματα προέρχεται από την ικανότητα τους να διοχετεύουν επαγόμενα ρεύματα στα περιβάλλοντα πετρώματα.

γ) Ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος. Υπάρχουν πολλές πηγές που επηρεάζουν τις μετρήσεις των TDEM και οφείλονται σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Γεωμαγνητικά σήματα κάτω από 1 Hz προέρχονται κυρίως από μέσα και πάνω από την Ιονόσφαιρα. Πάνω από 1 Hz το φάσμα του φυσικού θορύβου προέρχεται κυρίως από ατμοσφαιρικά παράσιτα, που είναι όλες οι φυσικές παροδικές ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές που δημιουργούνται από εκκενώσεις κεραυνών. Ο ανθρωπογενής θόρυβος αυτής της κατηγορίας προέρχεται από της γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου (με συχνότητα 50 ή 60 Hz), ενώ οι σταθμοί πολύ χαμηλών συχνοτήτων (VLF) παράγουν μεγαλύτερης συχνότητας θόρυβο (10 με 25 kHz). Είναι η κυριότερη πηγή σφαλμάτων, όμως είναι εύκολο να εντοπιστεί καθώς η πηγή από όπου προέρχεται είναι εμφανής. Ο επαγωγικός θόρυβος λόγω της κίνησης της Γης μπορεί να είναι πολύ σημαντικός, καθώς το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι 100.000 φορές μεγαλύτερο από το πεδίο που δημιουργεί ο πομπός. Προβλήματα από τέτοιου είδους θόρυβο αντιμετωπίζονται όταν οι μετρήσεις απαιτούν πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθούν, και η διόρθωση των μετρήσεων γίνεται με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιείται στις μαγνητικές μεθόδους.

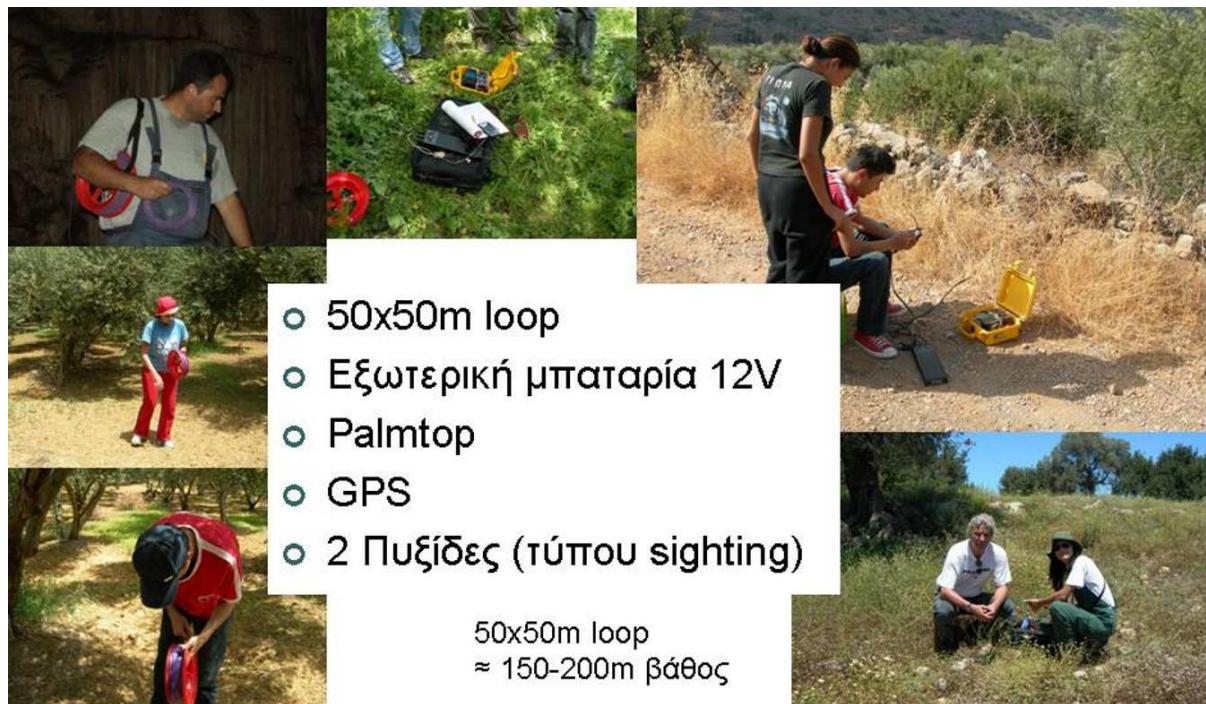
Η αφαίρεση του θορύβου από τις μετρήσεις δεν είναι εύκολη διαδικασία. Συνήθως περιλαμβάνει αποσυνέλιξη της απόκρισης του συστήματος για τον δέκτη, την αφαίρεση του θορύβου εξαιτίας των γραμμών μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος, κανονικοποίηση για την γεωμετρία του συστήματος και (αν είναι απαραίτητο)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

3.7 ΣΥΛΛΟΓΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

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

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση και ολοκλήρωση του έργου ήταν το TEM Fast 48 HPC (σχήμα 3.6). Πρόκειται για ένα πλήρως φορητό, εύχρηστο και αποτελεσματικό όργανο το οποίο μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί

σε περισσότερες από 400 έρευνες ανά το κόσμο με σκοπό την εύρεση υπόγειας υδροφορίας.



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

Για τη συλλογή των μετρήσεων ακολουθούνται τα εξής στάδια εργασίας, Επιλέγεται η θέση της μέτρησης. Με πυξίδες τύπου sighting επιλέγονται οι διευθύνσεις στις οποίες θα κινηθούν αυτοί που θα εγκαταστήσουν το βρόγχο (50X50 ή 100X100) των μετρήσεων. Οση ώρα πραγματοποιείται η εγκατάσταση του βρόγχου, λαμβάνονται με GPS ακριβείας οι συντεταγμένες του κέντρου του βρόγχου το οποίο αποτελεί και τη θέση της βυθοσκόπησης.

Εισάγονται συντεταγμένες και στοιχεία της θέσης μέτρησης στον υπολογιστή χειρός ενώ επιπλέον, ορίζονται οι παράμετροι (time=5, stack 5) (σχήμα 3.7) με τις οποίες θα γίνει η συλλογή των δεδομένων. Τέλος επιλέγεται το μέγιστο ρεύμα (4A).

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

Stack=5
(1stack=13cycles)

Αναφορά για τις
μετρήσεις
υπαίθρου

TEM Survey Report
s/n:

Date (DD/MM/YY)

Operator's name and participants

Name of Survey Names of soundings

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

STACK (each number corresponds 13 complete cycles):

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

 TIME (1-9)

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

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

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

TR (size of transmitting loop) REC (size of receiving loop)
[$\sqrt{L_1 \times L_2}$ if not square]: [$\sqrt{l_1 \times L_2}$ if not square]:

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

Position (X/Y/Z)

Longitude X:
Latitude Y:
Elevation Z:

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

Remarks:

Σχήμα 3.7 Όπως φαίνεται και απο τη φόρμα καταγραφής των δεδομένων υπαίθρου, συνήθως λαμβάνονται μετρήσεις για Time=5 ή 6 και εφαρμόζοντας περί τις 5 αθροίσεις.

Ξεκινούν οι μετρήσεις και με το πέρας των μετρήσεων γίνεται ένας πρώτος έλεγχος της ποιότητας/αξιοπιστίας των μετρήσεων καθώς και του υπολογιζόμενου μοντέλου αντίστασης με το βάθος.

Αλλάζουμε τις παραμέτρους συλλογής των δεδομένων (time=6, stack 5) (σχήμα 3.7) και ξαναπέρνουμε μέτρηση με σκοπό να δούμε τη διαφοροποίηση του υπολογιζόμενου μοντέλου. Εάν δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων, πέραν της μεγαλύτερης διεισδυσης του σήματος, τότε γίνεται αποσυναρμολόγηση του συστήματος και προχωράμε στην επόμενη θέση μέτρησης.

Εάν υπάρχει διαφορά μεταξύ των μετρήσεων με διαφορετικές παραμέτρους εισαγωγής τότε χωρίς να αλλάξουμε τις παραμέτρους επαναλαμβάνουμε την ίδια μέτρηση για να δούμε την επαναληψιμότητα των μετρήσεων.

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

Σχήμα 3.8 Στοιχεία λήψης των μετρήσεων ανά θέση.

Με τη συνεχής λήψη των μετρήσεων, δημιουργείται μια βάση δεδομένων (σχήμα 3.8) στην οποία καταγράφονται στοιχεία όπως, το όνομα της θέσης (name), οι διαστάσεις του πομπού (Tr), οι διαστάσεις του δέκτη (Rec), το πλήθος των σωρεύσεων (Stc), ο χρόνος – χρονικά παράθυρα που επιλέχθηκαν (Time), η επιλογή της προστασίας από υπερφόρτωση του συστήματος (High Voltage Protection-HVP), το εφαρμοζόμενο συχνοτικό φίλτρο απομάκρυνσης βιομηχανικού θορύβου (F), η εφαρμοζόμενη ένταση του ρεύματος (I) και οι διορθωτικοί χρόνοι στην απόσβεση του ρεύματος για το βρόγχο εκπομπής (dT).

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

Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν στο κατακόρυφο άξονα τη μεταβολή του λόγου V/A σε συνάρτηση των χρονικών παραθύρων. Στην περίπτωση βυθοσκοπήσεων, χαρτογραφούνται οι φαινόμενες αντιστάσεις με το χρόνο, ώστε να υπάρχει μια πρώτη ποιοτική εκτίμηση των μετρήσεων, όπως συμβαίνει με τις ηλεκτρικές μεθόδους συνεχούς ρεύματος.

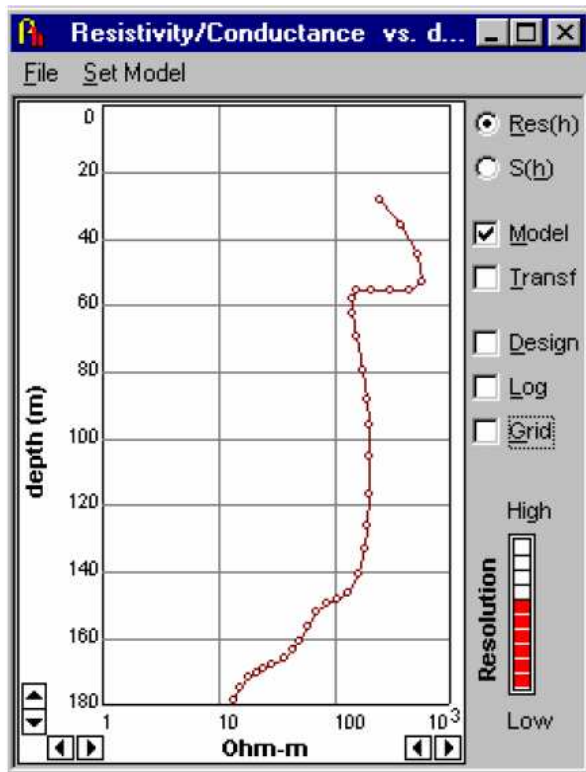
Όταν τα δεδομένα προέρχονται από οδεύσεις, δημιουργούνται γραφικές παραστάσεις σε γραμμική κλίμακα, όπου χαρτογραφούνται οι μετρήσεις σε

συγκεκριμένα κανάλια χρόνου κατά μήκος μιας όδευσης ώστε να ελεγχθούν τα δεδομένα για την περίπτωση σφαλμάτων σε κάποια συγκεκριμένη θέση, και για μια πρώτη ποιοτική εκτίμηση της περιοχής που δίνει τις ανωμαλίες κατά μήκος της όδευσης.

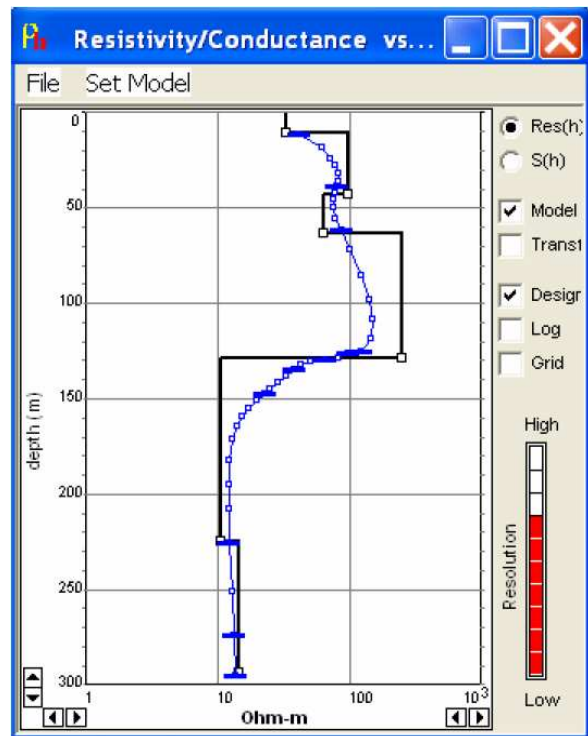
Τα πρωτογενή δεδομένα πολλές φορές χρήζουν διόρθωσης λόγω του θορύβου που κατέγραψαν. Έτσι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει τα πρωτογενή δεδομένα και να παρέμβει είτε αλλάζοντας/διαγράφοντας τιμές είτε εφαρμόζοντας φίλτρα εξομάλυνσης.

Πολλές απαιτείται η εφαρμογή φίλτρων εξομάλυνσης με σκοπό η καμπύλη να αποκτήσει μια πιο «πραγματική» μορφή και τα αποτελέσματα αυτής να είναι πιο αξιόπιστα. Η αναγκαιότητα της χρήσης των φίλτρων εξομάλυνσης πηγάζει από το γεγονός ότι το όργανο καταγράφει πολλές φορές θόρυβο ο οποίος αλλοιώνει την ποιότητα του σήματος και επιπλέον οι μετρήσεις που πραγματοποιούμε είναι μονοδιάστατες γεγονός που αντιτίθεται με τη τρισδιάστατη και ανομοιογενής υπεδάφεια δομή. Όσο αυξάνεται η εφαρμοζόμενη εξομάλυνση τόσο το υπολογιζόμενο μοντέλο ομαλοποιείται/ ομογενοποιείται και χάνονται λεπτομέρειες του μοντέλου. Για τους παραπάνω λόγους, προτείνεται η εφαρμογή των φίλτρων εξομάλυνσης αλλά σε επίπεδο που δεν θα «σκιάσει» το φίλτρο, πληροφορίες που κρύβονται στο σήμα.

Με το πέρας της εφαρμογής όποιων φίλτρων στα πρωτογενή δεδομένα, το λογισμικό μπορεί να υπολογίσει το μονοδιάστατο μοντέλο αντίστασης με το βάθος (σχήμα 3.9). Όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα, το τελικό μοντέλο απεικονίζει την αντίσταση με το βάθος ορίζοντας με αυτό τον τρόπο τη διαστρωμάτωση στη θέση μέτρησης. Ειδικότερα, στα 55 μέτρα η αντίσταση από τα 800 Ohm μεταβάλλεται στα 200 Ohm μέχρι το βάθος των 140 μέτρων οπότε και ξεκινάει η αντίσταση να πέφτει μέχρι και τα 10 Ohm στα 180 μέτρα. Συνήθως αντιστάσεις περί τα 10-30 Ohm αποτελούν ενδείξεις υπόγειας υδροφορίας.



Σχήμα 3.9 Τελικό μοντέλο κατανομής της αντίστασης με το βάθος.

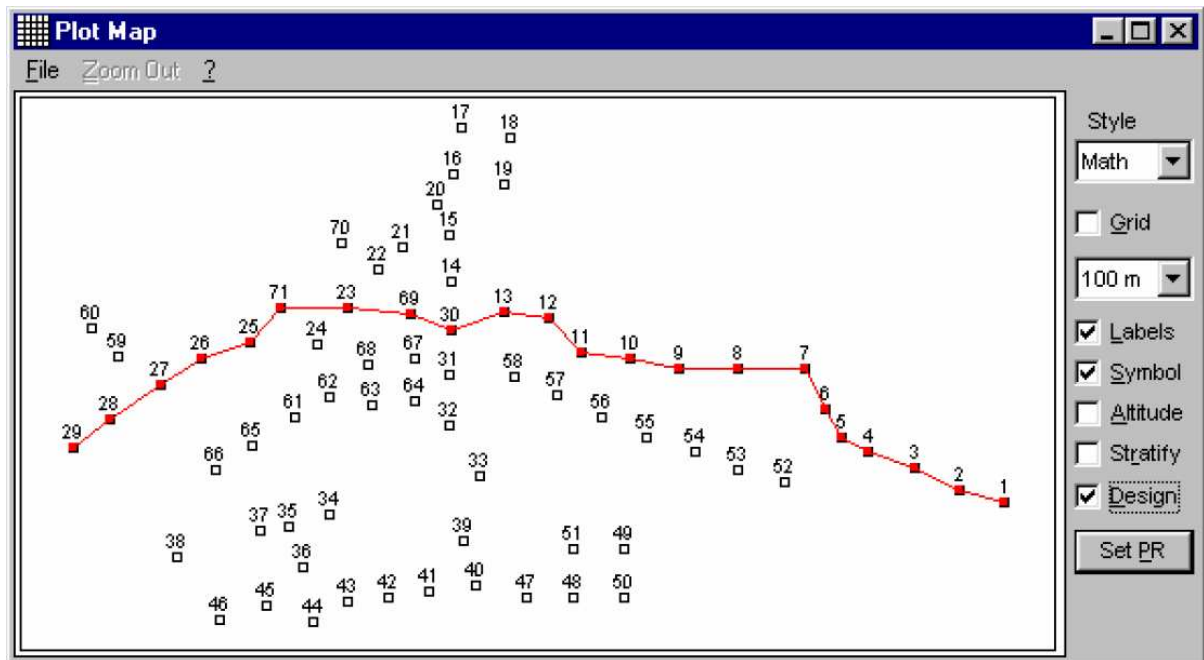


Σχήμα 3.10 Δυνατότητα σχεδιασμού του μοντέλου βαθών με βάση την ερμηνεία των πρωτογενών δεδομένων.

Δεδομένου ότι όποια μεταβολή στη καμπύλη συνδέεται με μεταβολή στη λιθολογία, μπορεί ο χρήστης κατά την επεξεργασία και ερμηνεία των μετρήσεων να ορίσει τη γεωλογική και λιθολογική διαστρωμάτωση. Με αυτό το τρόπο με εύκολο τρόπο προκύπτει το μοντέλο πάχους και αντιστάσεων των στρωμάτων (σχήμα 3.10).

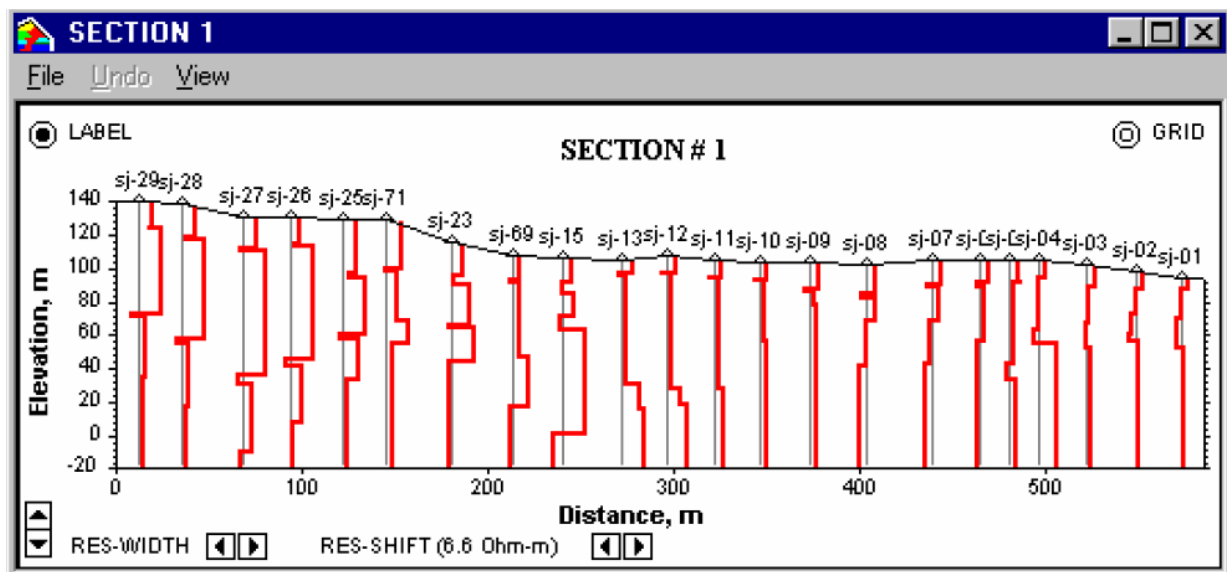
Ανάλογα με το σκοπό του έργου, επιλέγεται η χωροθέτηση των μετρήσεων η οποία είναι είτε μετρήσεις σε κάρναβο με σκοπό τη τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου, είτε μετρήσεις κατά μήκος οδύσεων με σκοπό την αποτύπωση και παρακολούθηση της συνέχειας δομών ενδιαφέροντος (σχήμα 3.11).

Σε κάθε περίπτωση ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει όλες τις διαθέσιμες μετρήσεις και για κάθε μία από αυτές να δει τα στοιχεία της και την ερμηνεία της (σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.11 Επιλογή βυθοσκοπήσεων η μονοδιάστατη ερμηνεία των οποίων θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός διδιάστατου μοντέλου κατανομή των αντιστάσεων με το βάθος.

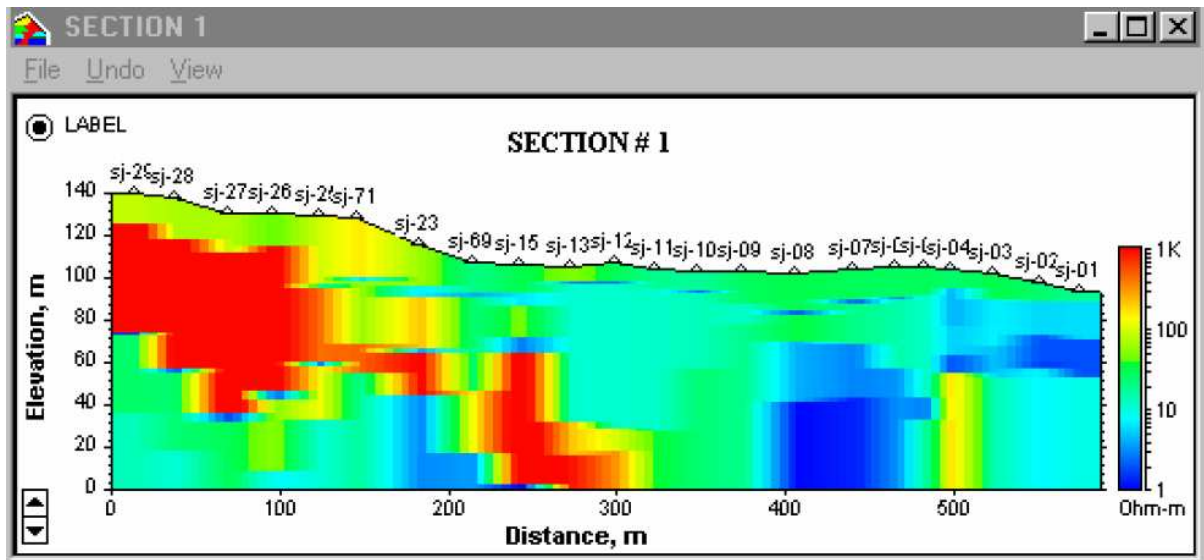
Στην περίπτωση κατά την οποία οι μετρήσεις σε μια περιοχή έρευνας είναι χωρικά κατανεμημένες (σχήμα 3.11), τότε ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιες βυθοσκοπήσεις η ερμηνεία των οποίων θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός διδιάστατου μοντέλου κατανομής των αντιστάσεων με το βάθος. Η παραγωγή του μοντέλου γίνεται με παρεμβολή των μονοδιάστατων ερμηνειών των επιμέρους βυθοσκοπήσεων.



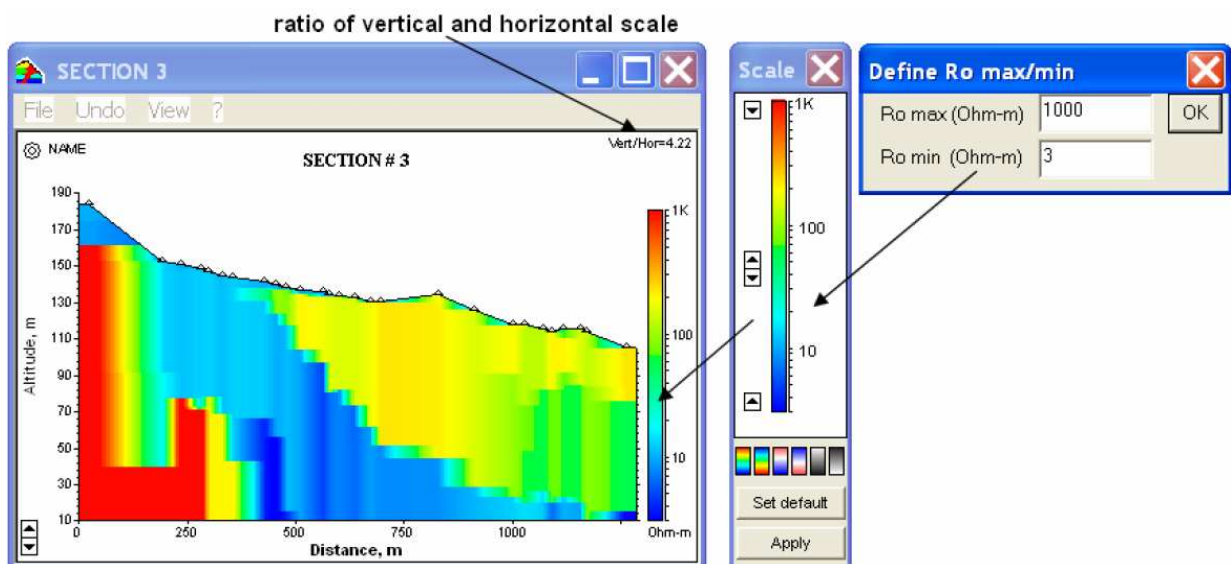
Σχήμα 3.12 Διδιάστατη παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τη μορφή διαγραφιών αγωγιμότητας με το βάθος.

Τα διδιάστατα μοντέλα μπορούν να απεικονιστούν με διάφορους τρόπους. Στο σχήμα (3.12) τα μοντέλα παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραφιών αγωγιμότητας με το βάθος. Στην περίπτωση αυτή ορίζεται ένα όριο αντίστασης και οι καμπύλες (κόκκινες γραμμές) μεταβάλλονται εκατέρωθεν αυτής της τιμής. Αυτός ο τρόπος παρουσίασης των δεδομένων δεν είναι ο πλέον «εντυπωσιακός» αλλά σίγουρα είναι κατατοπιστικός διότι μπορεί να χρήστης να ορίσει π.χ. όριο τα 10 Ohm.m (παρουσία υπόγειας υδροφορίας) και σε όσες θέσεις οι βυθοσκοπήσεις έχουν τιμές μικρότερες του ορίου αυτόματα αποτελεί για τον ερμηνευτή ένδειξη υδροφορίας.

Ενας άλλος τρόπος παρουσίασης των δεδομένων είναι με τη χρήση χρωματικής κλίμακας. Στη περίπτωση αυτή, η τομή στην περιοχή έρευνας χωρίζεται σε εικονοστοιχεία το χρώμα του οποίου εξαρτάται από τη τιμή αντίστασης του συγκεκριμένου σημείου απεικόνισης (Σχήμα 3.13 και 3.14). Στη περίπτωση αυτή τα ψυχρά χρώματα (μπλε) αναφέρονται σε μικρές αντιστάσεις (υψηλές αγωγιμότητες) ενώ τα θερμά χρώματα (κόκκινα) αναφέρονται σε υψηλές αντιστάσεις (χαμηλές αγωγιμότητες).



Σχήμα 3.13 Διδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος.

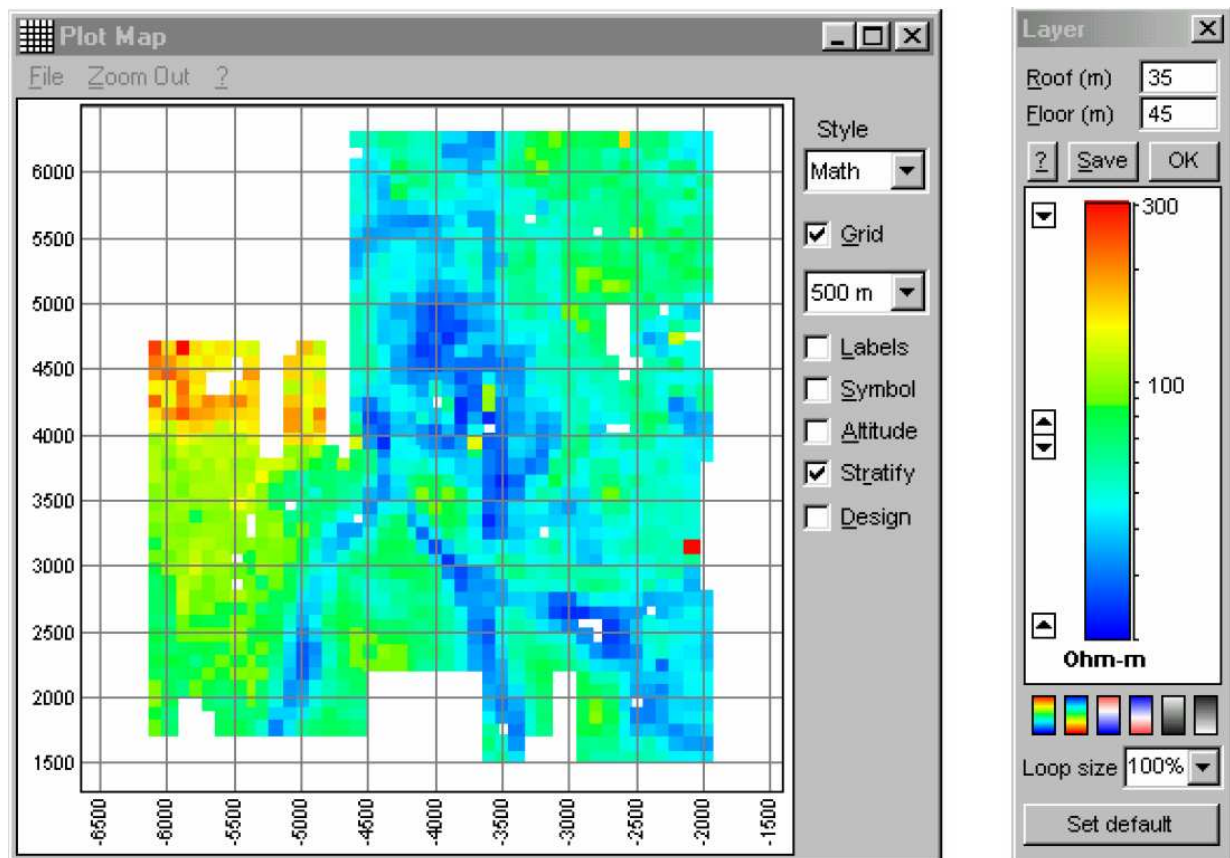


Σχήμα 3.14. Διδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επέμβει στη χρωματική κλίμακα και να αλλάξει επίσης τα όρια των αντιστάσεων.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τόσο τη χρωματική κλίμακα όσο και τα όρια των αντιστάσεων τα οποία θα χαρτογραφούνται (σχήμα 3.14).

Τέλος, ο χρήστης μπορεί στην περίπτωση που τα δεδομένα του έχουν ληφθεί με πολύ πυκνή χωρική κατανομή, να δημιουργήσει διδιάστατες απεικονίσεις στους άξονες X και Y για διαφορετικά βάθη. Έτσι εμμέσως

δημιουργείται ένας τρισδιάστατος όγκος με τον οποίο παρουσιάζονται οι αντιστάσεις στις τρεις διαστάσεις (σχήμα 3.15).



Σχήμα 3.15 Χωρική απεικόνιση των αντιστάσεων για το βάθος από 35-45 μέτρα.

3.8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η μέθοδος των παροδικών ηλεκτρομαγνητικών κυματομορφών αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την μεταλλευτική έρευνα, κυρίως στην Σοβιετική Ένωση και στην Αυστραλία. Τα τελευταία χρόνια όμως, γίνεται μεγάλη χρήση της μεθόδου σε πολλούς τομείς γεωλογικών εφαρμογών. Μεταλλευτική έρευνα (Kooپر και Swift 1994, Withers et al. 1994, Sinha 1990, Maher 1992, Buselli et al. 1986). Γεωθερμικά πεδία (Pellerin et al. 1996). Περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές έρευνες (Chen 1998, Fitterman et al. 1986, Hoekstra και Blohm 1985). Ανακάλυψη υδροφόρων και υφάλμυρων οριζόντων (Taylor et al. 1992, McNeil 1986). Συνδυασμός των TDEM με άλλες γεωφυσικές μεθόδους (Sternberg et al. 1988, Raiche et al 1985, Meju 1996).

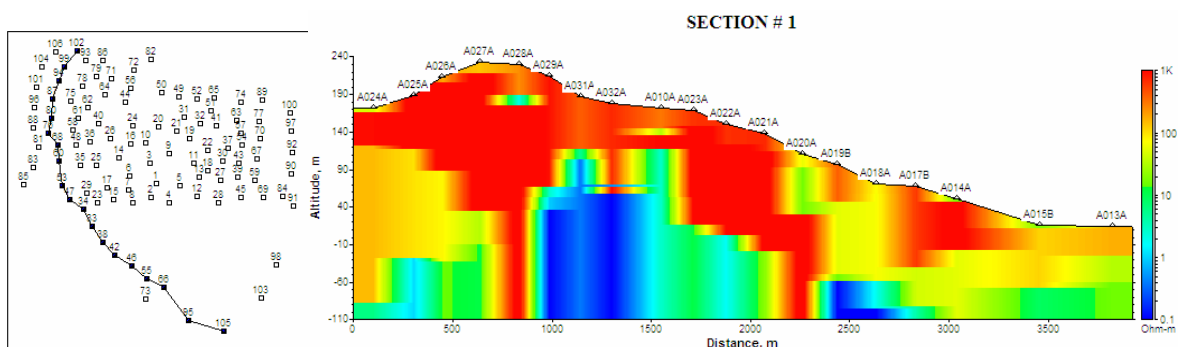
Εξαιτίας του μεγάλου πλεονεκτήματος της μεθόδου να μπορεί να λειτουργήσει σε μικρές εκτάσεις σε σχέση με το βάθος διασκόπησης η χρήση της

είναι ολοένα και αυξανόμενη, ενώ και σε ερευνητικό στάδιο γίνονται πολλές μελέτες για την περαιτέρω εκμετάλλευση της μεθόδου και σε άλλους τομείς.

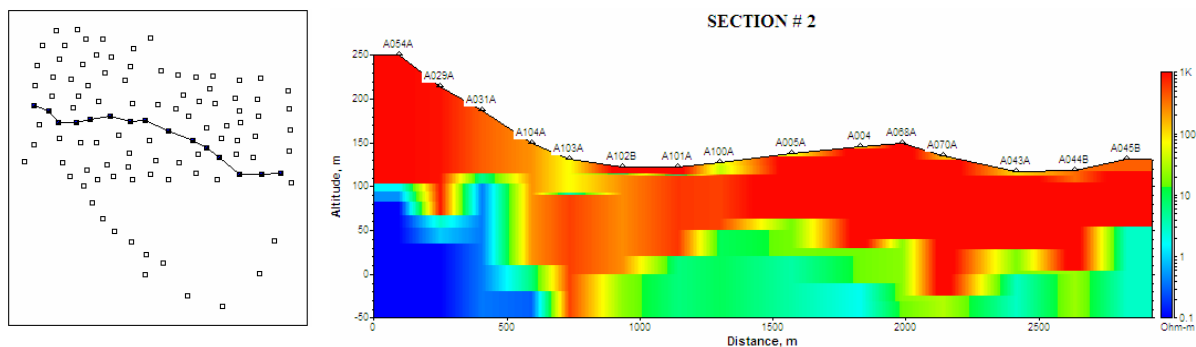
3.9 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ (2D) ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη παράγραφο, τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να παρουσιαστούν και με τη μορφή δισδιάστατης κατανομής των αντιστάσεων του υπεδάφους με το βάθος. Κατασκευάστηκαν περισσότερες από 20 τομές εκ των οποίων, 2 παρουσίασαν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και για αυτό το λόγο περιγράφονται στην συνέχεια.

Ειδικότερα επιλέχθηκαν δύο τομές με γενική διεύθυνση Β-Ν και Δ-Α, αντίστοιχα. Η πρώτη τομή (σχήμα 3.16) βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας και πιθανότερη για υδροφορία περιοχή καθώς υπάρχουν πολλά ρήγματα στην περιοχή ενώ το υπόβαθρο της περιοχής δομείται από ασβεστόλιθους κατά θέσεις καρστικοποιημένους.



Σχήμα 3.16 Στο αριστερό σχήμα παρουσιάζεται ο κάρναβος των μετρήσεων και με συνεχείς γραμμή είναι η τομή (σχεδόν Β-Ν) η οποία επιλέχθηκε να παρουσιαστεί με τη μορφή που εμφανίζεται στο σχήμα στα δεξιά. Με μπλε χρώματα είναι οι σχηματισμοί με πολύ χαμηλές αντιστάσεις και με κόκκινα χρώματα απεικονίζονται οι σχηματισμοί υψηλών αντιστάσεων.



Σχήμα 3.17 Στο αριστερό σχήμα παρουσιάζεται ο κάρναβος των μετρήσεων και με συνεχείς γραμμή είναι η τομή (σχεδόν Δ-Α) η οποία επιλέχθηκε να παρουσιαστεί με τη μορφή που εμφανίζεται στο σχήμα στα δεξιά. Με μπλε χρώματα είναι οι σχηματισμοί με πολύ χαμηλές αντιστάσεις και με κόκκινα χρώματα απεικονίζονται οι σχηματισμοί υψηλών αντιστάσεων.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, μεταξύ των βυθοσκοπήσεων A029 και A010, βρίσκεται μια πιθανή τεκτονική ζώνη διαμέσου της οποίας υπάρχει κίνηση / παρουσία υπόγειας υδροφορίας (υψηλή αγωγιμότητα). Η οροφή της υδροφορίας εντοπίζεται στα 85-90 μέτρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας κάτι το οποίο διασφαλίζει και την ποιότητα της εντοπισμένης υδροφορίας.

Με βάση τα αποτελέσματα της προαναφερόμενης γεωηλεκτρομαγνητικής τομογραφίας, επιλέχθηκε και κατασκευάστηκε μια ακόμη τομογραφία σε διεύθυνση κάθετη (Δ-Α) (σχήμα 3.17) της πρώτης η οποία διέρχεται από την περιοχή της οποίας τα υπεδάφεια χαρακτηριστικά υποδεικνύουν την ύπαρξη υδροφορίας. Παρατηρήθηκε και εδώ ότι στις ίδιες θέσεις εντοπίζεται υπόγεια υδροφορία.

Είναι φανερό ότι με τη μονοδιάστατη και δισδιάστατη απεικόνιση δεν είναι εύκολη η εύρεση και απεικόνιση της βέλτιστης θέσης για την ανόρυξη της υδρογεώτρησης ο οποίος είναι και ο στόχος του έργου. Για να προσδιοριστεί η βέλτιστη θέση απαιτούνται στοιχεία τροφοδοσίας του εντοπισμένου υδροφόρου και στοιχεία υδραυλικής διασύνδεσης αυτού με άλλες υδροφορίες στην περιοχή έρευνας που μπορεί να οδηγήσουν σε πιθανή αλλοίωση (υφαλμύρωση) των ποιοτικών χαρακτηριστικών της υδροφορίας. Τα παραπάνω μπορούν να εξαχθούν μόνο με την τρισδιάστατη απεικόνιση του υπεδάφους.

3.10 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ (3D) ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο, πριν την εκτέλεση των γεωηλεκτρομαγνητικών διασκοπήσεων εκτελέστηκε λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση, διορθώθηκαν κάποια όρια σχηματισμών, χαρτογραφήθηκαν κάποια καινούργια ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ και κάποια μικρότερα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Η γεωλογική-γεωτεκτονική χαρτογράφηση σκοπό είχε να μας δοθεί η δυνατότητα να ερμηνεύσουμε τις βαθιές δομές και να κατανοήσουμε με ευκολότερο τρόπο το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής έρευνας.

Το γεγονός ότι μέχρι σήμερα δεν έχουν πραγματοποιηθεί υδρογεωτρήσεις στην περιοχή δεν σημαίνει ότι δεν υπήρχαν υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες αλλά ότι ο εντοπισμός υδροφορίας στην περιοχή είναι ιδιαίτερα δύσκολη υπόθεση με αυξημένο ρίσκο. Έτσι προσπαθήσαμε στα πλαίσια της έρευνας να δημιουργηθεί μια σημαντική ομάδα επιστημών από διάφορα ιδρύματα και ειδικότητες έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Ξεκινώντας την ερμηνεία και αξιολόγηση της έρευνας πρέπει να γίνει έλεγχος της συνάφειας μεταξύ της επικαιροποιημένης γεωλογίας και της γεωφυσικής διασκόπησης για το βάθος από τα 0-25 μέτρα. Πρέπει να υπάρχει συνάφεια έτσι ώστε να μπορέσουμε μέσω της ερμηνείας να συσχετίσουμε τιμές αντιστάσεων με σχηματισμούς γεγονός που θα μας οδηγήσει σε ασφαλής αξιολόγηση των βυθοσκοπήσεων στα μεγαλύτερα βάθη.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα (3.18), στη γεωφυσική τομή, παρουσιάζονται δύο αντιστατικές ζώνες τα όρια των οποίων δίνονται με τις διακεκομμένες γραμμές. Οι ζώνες αυτές αποτελούν τους ασβεστόλιθους του Τρυπαλίου. Πιο αγώγιμα εμφανίζονται τα νεογενή πετρώματα και τεταρτογενής αποθέσεις. Επιπλέον, εντοπίστηκαν 2 πολύ αγώγιμες ζώνες στην περιοχή Α και Β. Η αγώγιμη ζώνη στην περιοχή Α βρίσκεται σε απόλυτη συμφωνία με το φαινόμενο υφαλμύρισης της περιοχής του Στύλου. Σε προηγούμενο κεφάλαιο έγινε αναφορά στις πληροφορίες που είχαμε συλλέξει όσον αφορά την υφαλμύριση και το μηχανισμό της. Ειδικότερα διαμέσου των ρηγμάτων με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση το θαλασσινό νερό οδηγείται μέχρι την περιοχή Α. Τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα και με τα στοιχεία γεώτρησης της ΥΕΒ η οποία παρουσιάζει υψηλά χλωριόντα.

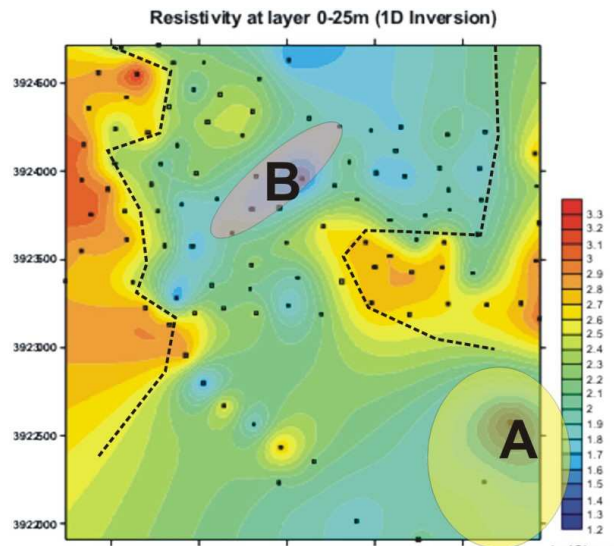
Η περιοχή Β παρουσιάζει επίσης υψηλή αγωγιμότητα η οποία συμφωνεί με υδροφορίες μικρού έως μέσου δυναμικού (υδρολιθολογικές ενότητες - P1, P2 και P3) που αναπτύσσονται σε αβαθής, φρεατίου υδροφόρους και δεν παρουσιάζουν κάποιο ενδιαφέρον. Η παρουσία αυτής της ρηχής υδροφορίας επιβεβαιώθηκε από

πληροφορίες κατοίκων της συγκεκριμένης περιοχής οι οποίοι υποστήριξαν ότι μεταξύ του 1930-1960 και κατά τη διάρκεια του χειμώνα συνήθιζαν να πηγαίνουν οι κάτοικοι σε αβαθή πηγάδια τα βρίσκονταν στην περιοχή και τα οποία σήμερα έχουν μπαζωθεί.

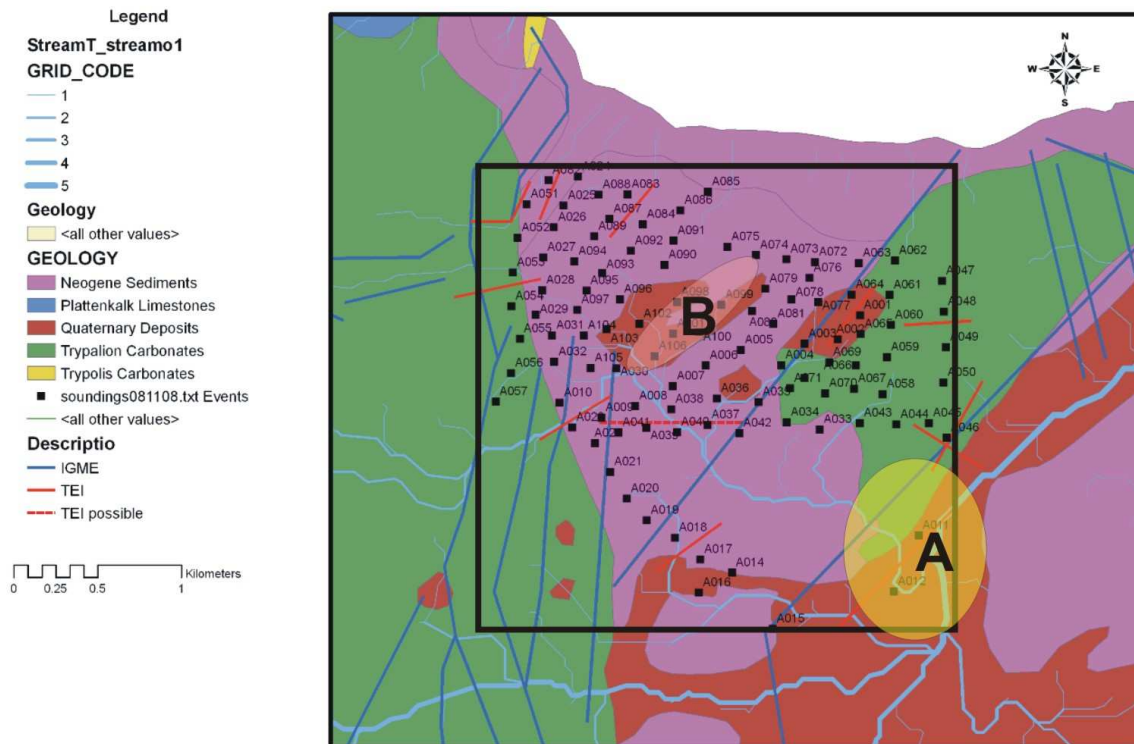
Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στα αποτελέσματα της έρευνας για τα βάθη από 25-200 μέτρα (σχήμα 3.19). Παρατηρούμε ότι από τα 25-75 μέτρα η γεωφυσική διασκόπηση είναι σε συμφωνία με τη γεωλογική χαρτογράφηση καθώς οι ασβεστολιθικές μάζες οι οποίες ορίζονται από τις διακεκκομένες γραμμές έχουν προεκταθεί προς τα δυτικά και οδηγούνται προς ένωση με τις ασβεστολιθικές μάζες στα δυτικά. Με βάση αυτά τα δεδομένα γίνεται φανερό ότι το πάχος των νεογενών και τεταρτογενών ιζημάτων δεν ξεπερνά τα 75 μέτρα. Στο χώρο αυτό αναπτύσσονται και οι αβαθείς υδροφορίες που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο. Επιπλέον, στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας, τα ρήγματα που χαρτογραφήσαμε κατά τη γεωλογική χαρτογράφηση συμφωνούν απόλυτα με τα χαρακτηριστικά του υποβάθρου (δημιουργεία μιας τάφρου – grabben – μεταξύ των ρηγμάτων και φυσικά βάθυνση του υποβάθρου και αύξηση του πάχους των νεογενών-τεταρτογενών αποθέσεων). Τα υπόλοιπα δύο ρήγματα (κόκκινες γραμμές) βρίσκονται στα όρια του υποβάθρου και συμφωνούν με τα παρατηρούμενα στο υπαίθρο χαρακτηριστικά τους. Στη τομή των 50-75 μέτρων αρχίζει να εμφανίζεται μια ζώνη υδροφορία η οποία στη τομή εσωκλείεται από την διαφανής έλλειψη. Η ζώνη υδροφορίας συνεχίζει να ανιχνεύεται μέχρι και τα 200 μέτρα. Με βάση τα παραπάνω η συγκεκριμένη ζώνη υδροφορίας ξεκινά από τα 60 μέτρα (από την επιφάνεια του εδάφους) περίπου (ανιχνεύεται για πρώτη φορά στη τομή 50-75 μέτρα) και συνεχίζεται ενώ ταυτόχρονα διευρύνεται μέχρι τα 200 μέτρα (από την επιφάνεια του εδάφους). Αρα πρόκειται για μια υδροφορία με μέσο πάχος περί τα 140 μέτρα.

Οι επιμήκεις διακεκκομένες γραμμές (σχήμα 3.19) που εμφανίζονται στις τομές των 75-100μ, 100-150μ και 150-200μ χαράχθηκαν με βάση τη γεωλογία και τη τεκτονική και ουσιαστικά μας βοηθούν να καταλάβουμε το αν υπάρχει, α) υδραυλική διασύνδεση του υπό μελέτη υδροφόρου με υδροφορίες ή διεισδύσεις από τη παράκτια ζώνη (προς Βορρά) και β) πιθανή υδραυλική κίνηση του υπάλμυρου νερού από το Στύλο (στα ανατολικά της περιοχής έρευνας) προς τον υπό μελέτη υδροφόρο. Όπως φαίνεται και από τις τρεις τομές αλλά ειδικότερα από τη βαθύτερη τομή των 150-200 μέτρων δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση της υδροφορίας με «κακής» ποιότητας υδροφορίες που βρίσκονται σε

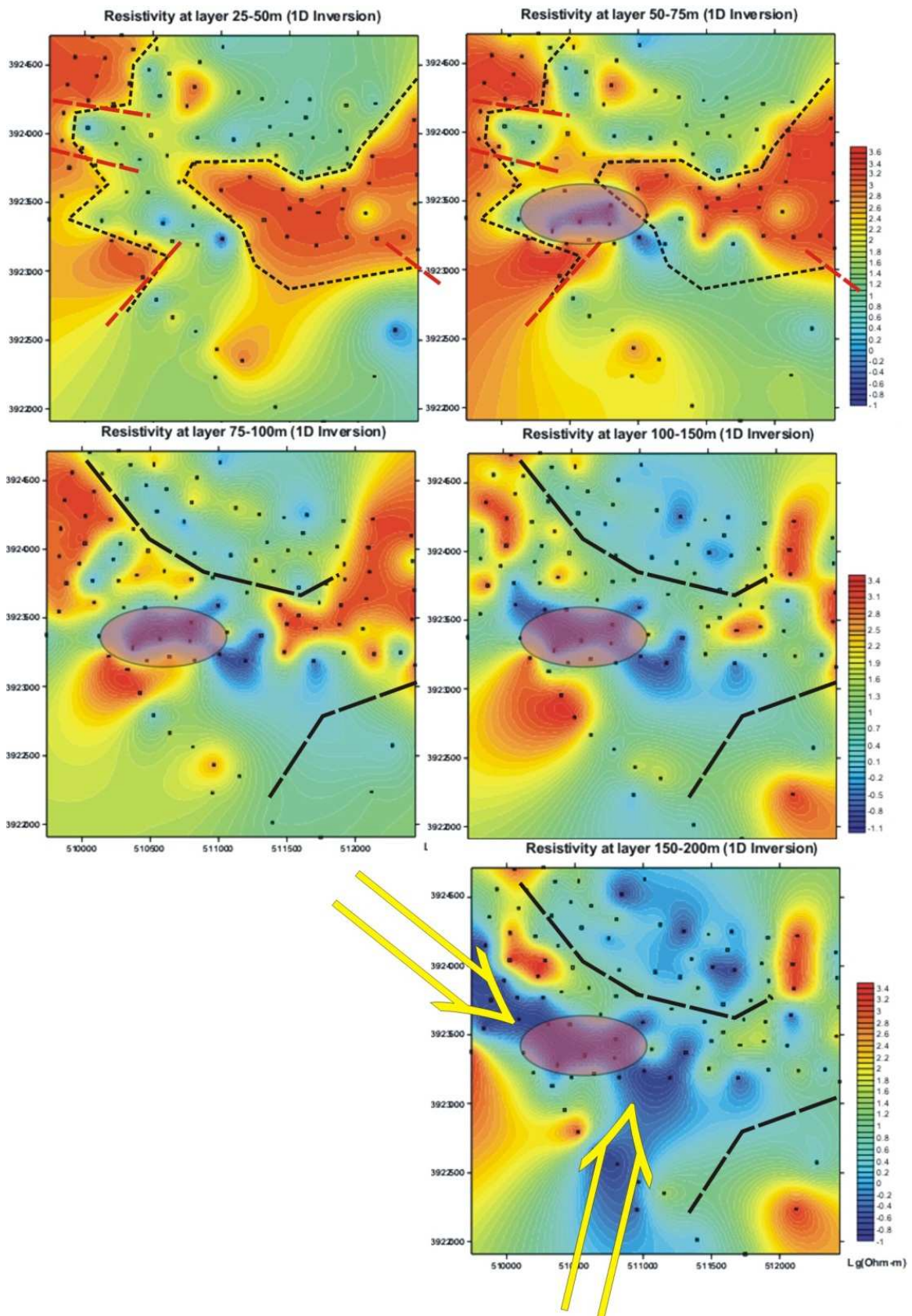
γειτονία. Με σκοπό να ολοκληρώσουμε τις σκέψεις μας και τα πιθανά σενάρια για μόλυνση του υπό μελέτη (εσωκλείεται στη διαφανής έλλειψη στις τομές 75-100, 100-150 και 150-200μ), μελετήθηκε το ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής λαμβάνοντας υπόψη το υψόμετρο στο οποίο ελήφθησαν οι μετρήσεις. Παρατηρείται ότι στην υπό μελέτη υδροφορία η στάθμη βρίσκεται στα 120 μέτρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας γεγονός που επιβεβαιώνει τον αποκλεισμό κάποιας μόλυνσης (λόγω υφαλμύρισης) του νερού.



Geological Map - 081108



Σχήμα 3.18 Ταυτόχρονη ερμηνεία και συσχέτιση της γεωλογίας με τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους για τα πρώτα 25 μέτρα. Στη γεωφυσική τομή εμφανίζονται 2 ανωμαλίες (A, B) οι οποίες και σχολιάζονται εντός του κειμένου. Οι δύο χάρτες βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία (Soupios et al. 2009).



Σχήμα 3.19 Τομογραφική απεικόνιση της χωρικής κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τα βάθη, 25-50μ, 50-75μ, 75-100μ, 100-150μ και 150-200μ (Soupios et al. 2009).

Τελευταίο χαρακτηριστικό το οποίο πρέπει να μελετήσουμε πριν την επιλογή της κατάλληλης - βέλτιστης θέσης για υδροληψία είναι, η ύπαρξη ή όχι τροφοδοσίας του υπό μελέτη υδροφορέα από περιοχές ανάντη της ευρύτερης περιοχής έρευνας. Στη βαθύτερη γεωφυσική τομή (150-200 μέτρα) έχουν χαραχθεί 2 κίτρινα βέλη τα οποία υποδηλώνουν τον τρόπο τροφοδοσίας της περιοχής ενδιαφέροντος. Τα βέλη αυτά χαραχθηκαν με βάση τη μελέτη του τοπογραφικού υποβάθρου, τη βαθύτερη γεωφυσική τομή και τη γνώση της γεωλογίας - τεκτονικής της περιοχής έρευνας. Γενικά, η κύρια τροφοδοσία αναμένεται από τα Δ-ΝΔ της περιοχής έρευνας όπου να υπάρχουν οι κύριοι ορεινοί ασβεστολιθικοί καρστικοί όγκοι των Λευκών Ορέων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ TEM ΣΤΗ ΜΥΓΔΟΝΙΑ ΛΕΚΑΝΗ – ΘΕΣ/ΝΙΚΗ

4.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ

Το καλοκαίρι του 2010 και σε συνεργασία με το Εργ. Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (Ι.Τ.Σ.Α.Κ.) και το Πανεπιστήμιο της Κολωνίας στη Γερμανία, για 7 μέρες, εκτελέστηκαν γεωηλεκτρομαγνητικές διασκοπήσεις εντός της Μυγδονίας λεκάνης, ως συμπληρωματική έρευνα και μεθοδολογία των όσων μέχρι το 2010 έχουν εκτελεστεί στην ίδια περιοχή από Έλληνες και ξένους επιστήμονες.

Ειδικότερα, από τις 21-27 Ιουνίου 2010 (7 μέρες), συλλέχθηκαν συνολικά περισσότερες από 400 μετρήσεις σε 160 διαφορετικές τοποθεσίες.

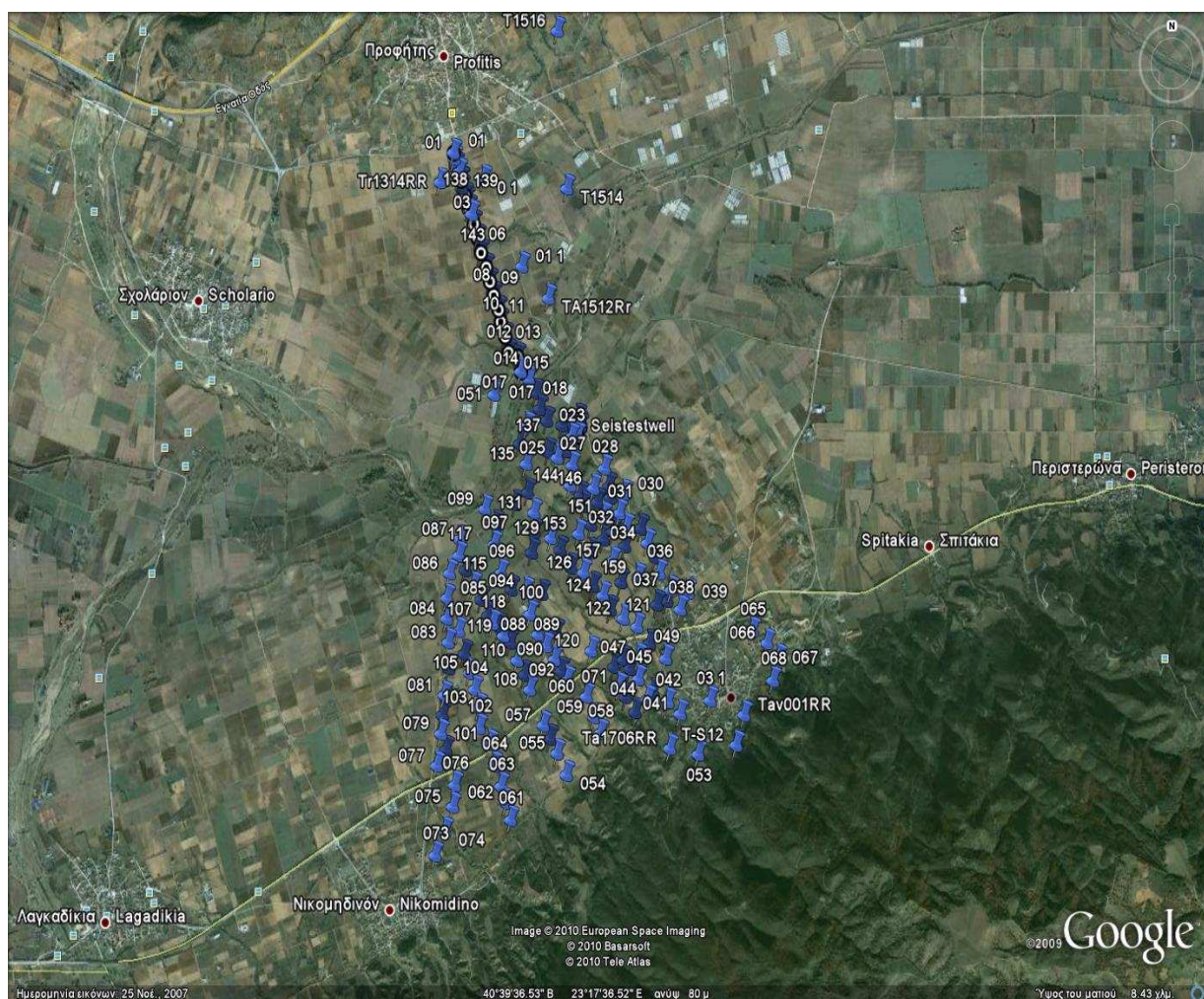
Για τη συλλογή των μετρήσεων TEM, χρησιμοποιήθηκαν οι θέσεις στις οποίες είχαν εκτελεστεί οι μετρήσεις AMT και MT.

Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν δεδομένα σε TEM AMT θέσεις, A1516RR (η μέτρηση που ονομάζεται T1516 TEM), A1514RR (T1514), A1512RR (TA1512RR), P03 (TEM μέτρηση 020 είναι 60μ μακριά από την περιοχή), A1510RR (TA1510RR), P02 (TEM μέτρηση 029 είναι 50 μέτρα μακριά από την τοποθεσία MT), A1708RR (μέτρηση TEM 038 είναι λίγα μέτρα μακριά από την τοποθεσία MT) και AV001RR (TAV001RR).

Επιπλέον, συλλέχθηκαν το A1706RR (TA1706RR), P01 (TEM μέτρηση 046 είναι 20m μακριά από τη μέτρηση MT), A1411RR (TEM μέτρηση 051 είναι 50 μέτρα μακριά από τη μέτρηση MT), r1314RR (Tr1314RR), A1506RR (TEM μέτρηση είναι 60 054 NA από τη μέτρηση MT), και A1508RR (TA1508RR).

Σε περιοχές ιδιαίτερου ενδιαφέροντος με βάση τα μέχρι εκείνη τη στιγμή αποτελέσματα των ερευνών, συλλέχθηκαν πυκνότερες μετρήσεις και προσπαθήθηκε επίσης να συλλεχθούν μερικές μετρήσεις στις ενδιάμεσες αποστάσεις μεταξύ των προφίλ έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα στο τέλος να κατασκευαστεί ένα αξιόπιστο 3D μοντέλο αντίστασης της περιοχής μελέτης (κυρίως το νότιο-δυτικό τμήμα της λεκάνης).

Η συλλογή των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε από το Δρ. Παντελεήμονα Σουπιό και φοιτητές και μεταπτυχιακούς του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.



Σχήμα 4.1. Χωροθέτηση των γεωηλεκτρομαγνητικών διασκοπήσεων στην περιοχή ενδιαφέροντος.

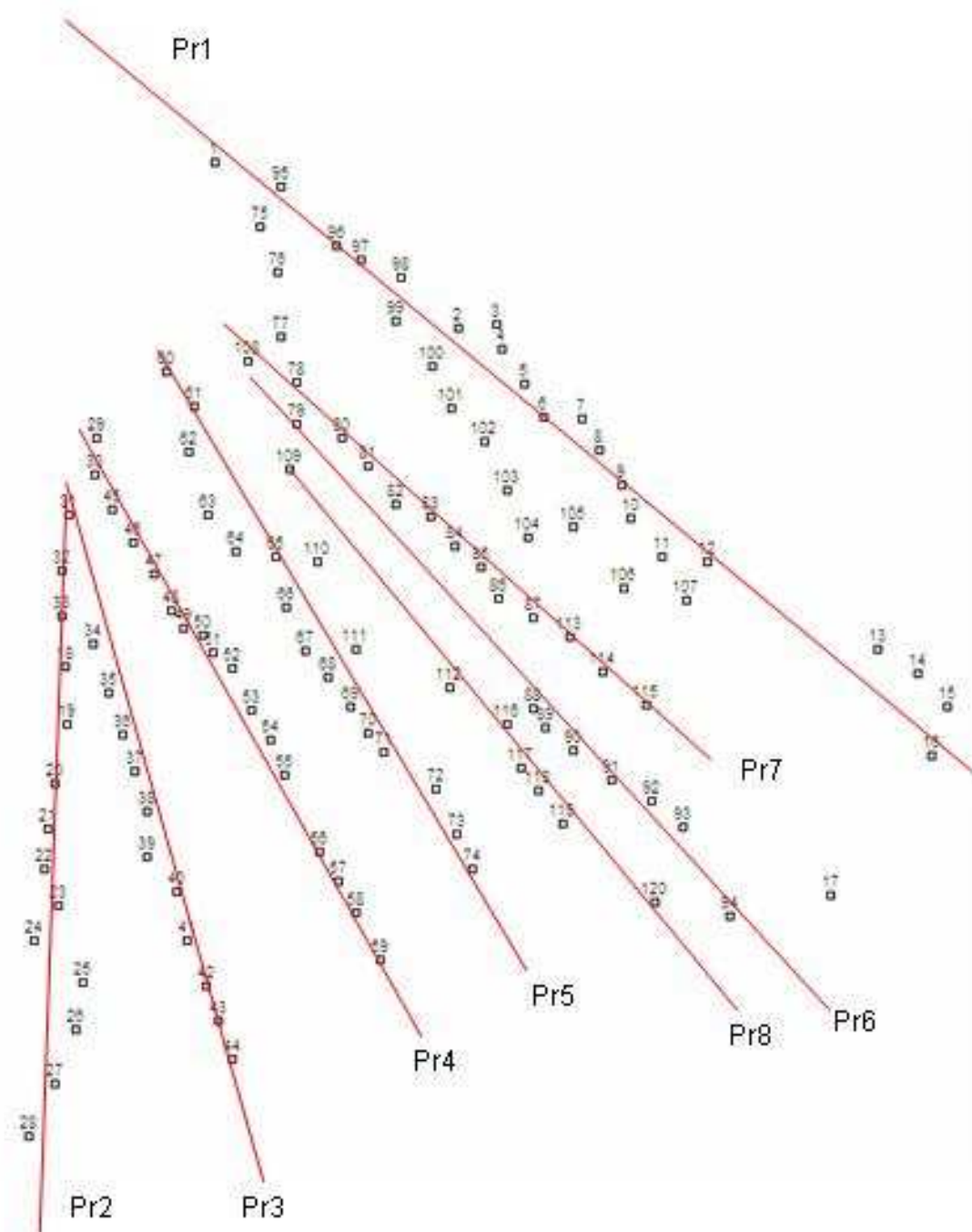
4.2 ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ

Τη Δευτέρα, 28 Ιουνίου 2010, ξεκίνησε η επεξεργασία των πρώτων στοιχείων.

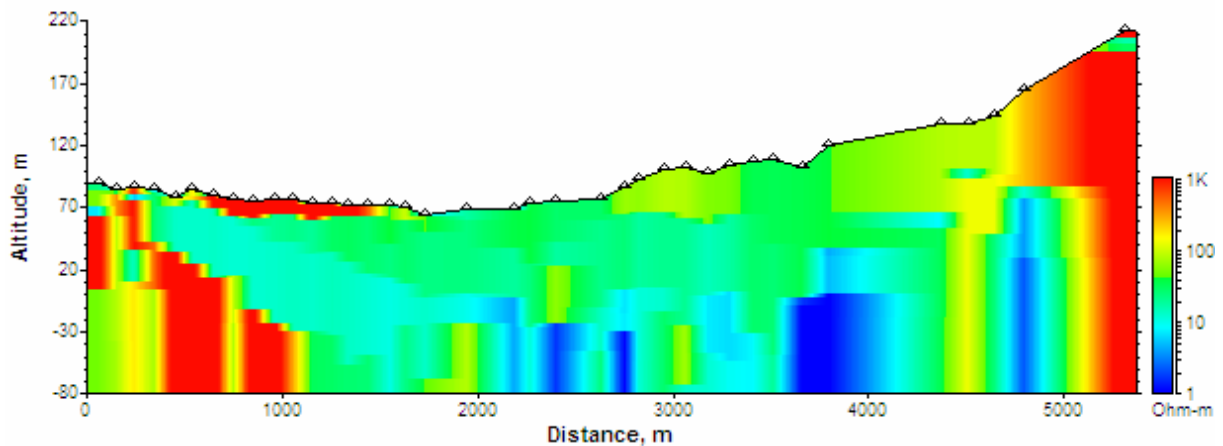
Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε από τη Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη και τον καθηγητή Δρ. Pavel Barsukov. Η ερμηνεία των μετρήσεων και συσχέτιση τους με τις υπό μελέτη γεωλογικές και τεκτονικές δομές πραγματοποιήθηκε από τον Δρ. Παντελεήμονα Σουπιό, Δρ. Αλέξανδρο Σαββαΐδη, Δρ. Mehrdad Bastani, Δρ. Markus Gurk.

Ο σκοπός είναι να κατασκευαστούν τα τμήματα αντίστασης 2D του προφίλ 1, 3, 4, 6, 5, 7 και 2 (Προφίλ 1 και 3 είναι ο Προφήτης-Στίβος προφίλ) και να συγκριθούν με τα αποτελέσματα από CSRMT / TMT. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια

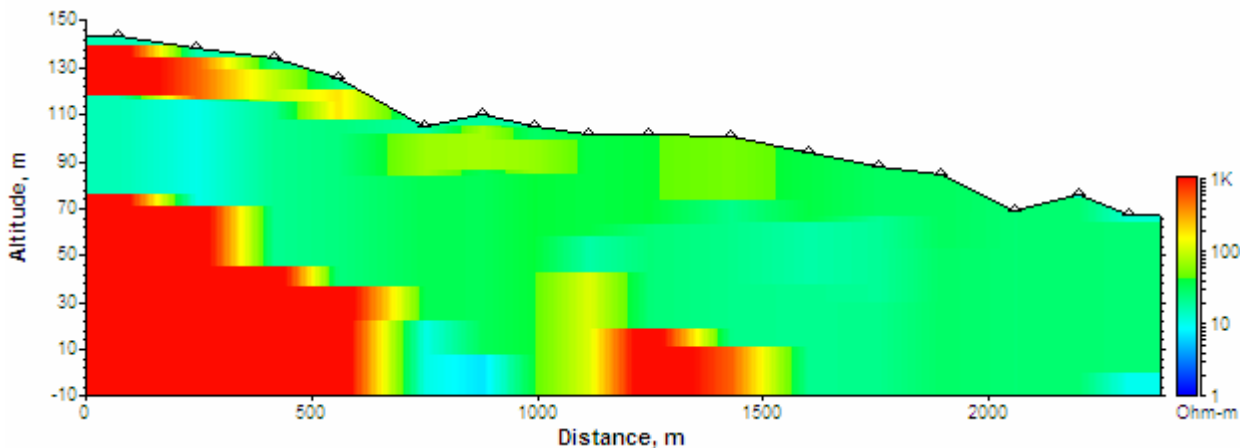
να καθοριστεί η ποιότητα και η αξιοπιστία των μετρήσεων που αποκτήθηκαν και να καθοριστεί εάν θα πρέπει να επαναληφθούν ή να ληφθούν κάποιες νέες μετρήσεις ώστε να καλυφθεί το σύνολο της περιοχής μελέτης.



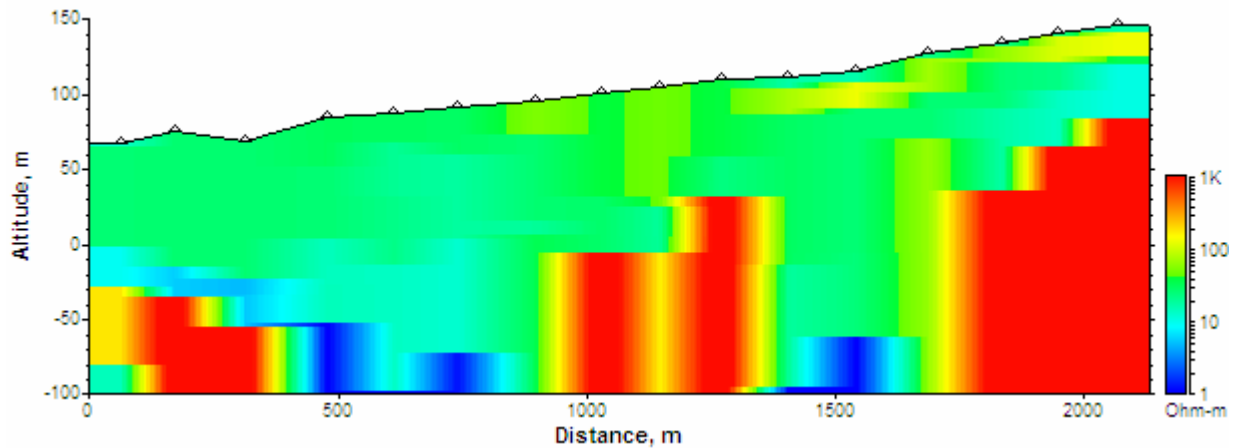
Σχήμα 4.2 Όλη η περιοχή ενδιαφέροντος μοντελοποιήθηκε με τον ορισμό 8 διδιάστατων διατομών (Pr – Profiles). Όλα τα μοντέλα είναι σχεδιασμένα με προσανατολισμό από Βορρά → Νότο (Αριστερή πλευρά = Βορράς).



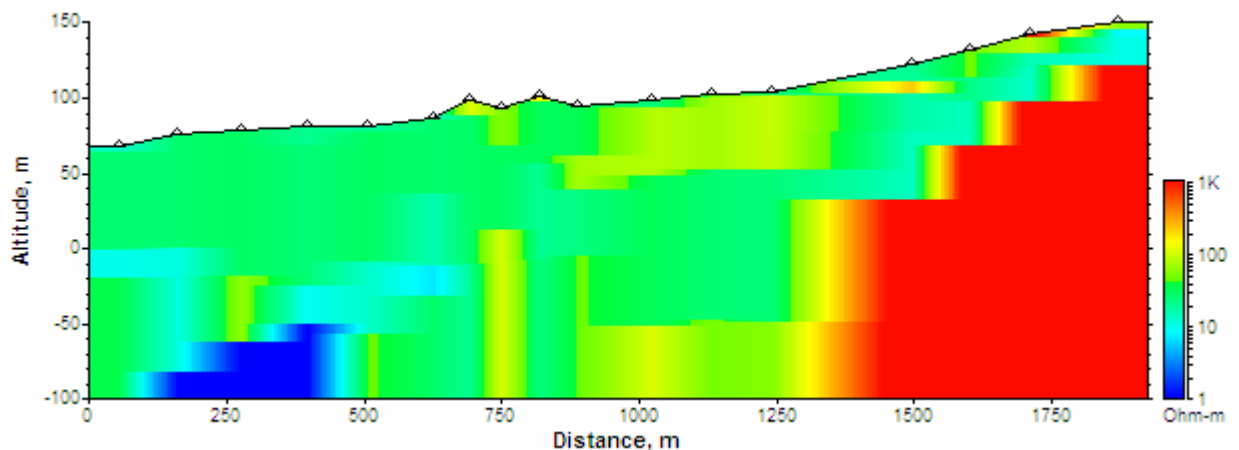
Σχήμα 4.3. Διατομή 1. Τα κόκκινα χρώματα ($> 600 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν το υπόβαθρο και τα συνεκτικά ιζήματα. Τα μπλε χρώματα ($1-10 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν τις υδροφορίες και πιθανές διαρρήξεις του υποβάθρου. Ενδιάμεσες χρωματικές κλίμακες (πράσινα χρώματα, $50-500 \text{ Ohm.m}$) υποδεικνύουν τη στρωματογραφία της ιζηματογενούς λεκάνης (Soupios et al. 2012).



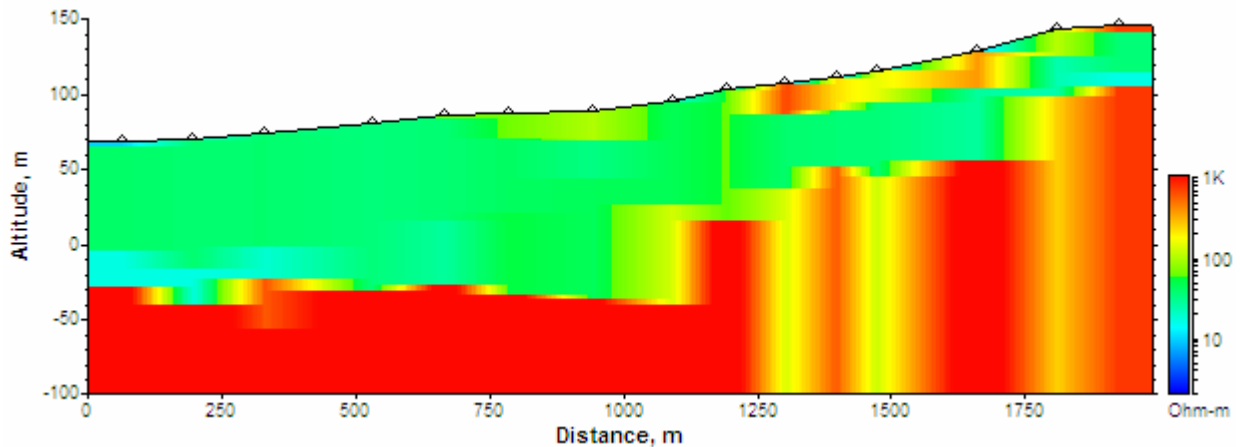
Σχήμα 4.4 Διατομή 2. Τα κόκκινα χρώματα ($> 600 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν το υπόβαθρο και τα συνεκτικά ιζήματα. Τα μπλε χρώματα ($1-10 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν τις υδροφορίες και πιθανές διαρρήξεις του υποβάθρου. Ενδιάμεσες χρωματικές κλίμακες (πράσινα χρώματα, $50-500 \text{ Ohm.m}$) υποδεικνύουν τη στρωματογραφία της ιζηματογενούς λεκάνης (Soupios et al. 2012).



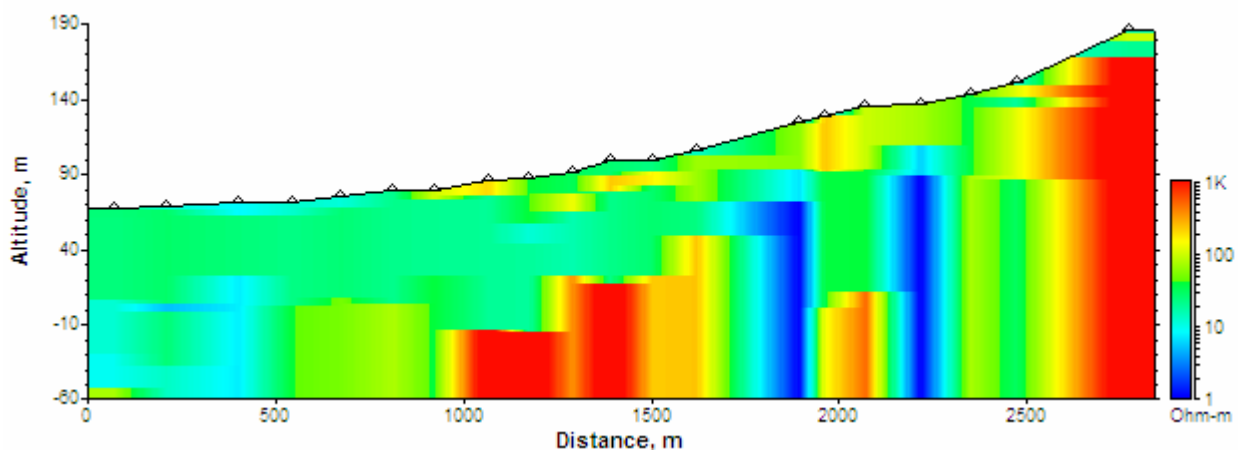
Σχήμα 4.5 Διατομή 3. Τα κόκκινα χρώματα ($> 600 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν το υπόβαθρο και τα συνεκτικά ιζήματα. Τα μπλε χρώματα ($1-10 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν τις υδροφορίες και πιθανές διαρρήξεις του υποβάθρου. Ενδιάμεσες χρωματικές κλίμακες (πράσινα χρώματα, $50-500 \text{ Ohm.m}$) υποδεικνύουν τη στρωματογραφία της ιζηματογενούς λεκάνης (Soupios et al. 2012).



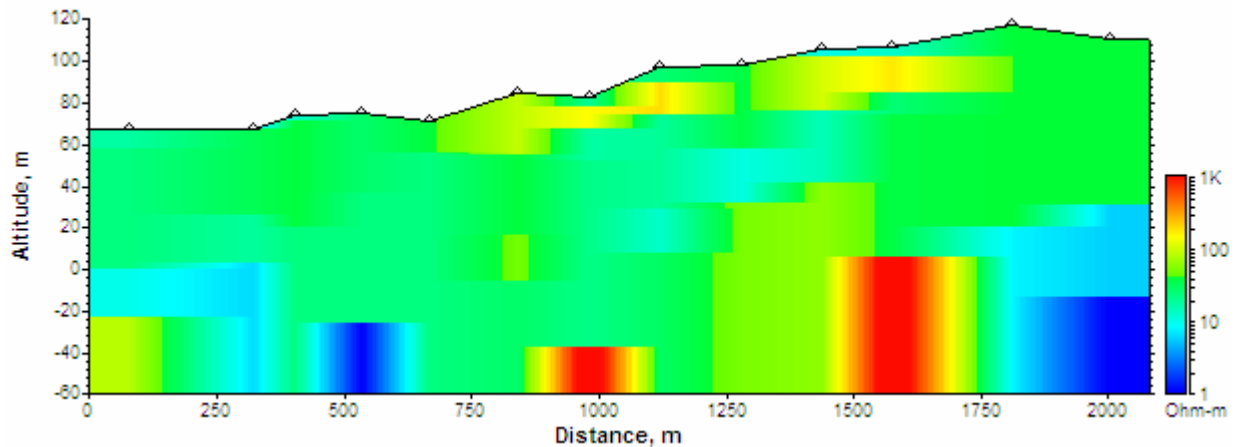
Σχήμα 4.6 Διατομή 4. Τα κόκκινα χρώματα ($> 600 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν το υπόβαθρο και τα συνεκτικά ιζήματα. Τα μπλε χρώματα ($1-10 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν τις υδροφορίες και πιθανές διαρρήξεις του υποβάθρου. Ενδιάμεσες χρωματικές κλίμακες (πράσινα χρώματα, $50-500 \text{ Ohm.m}$) υποδεικνύουν τη στρωματογραφία της ιζηματογενούς λεκάνης (Soupios et al. 2012).



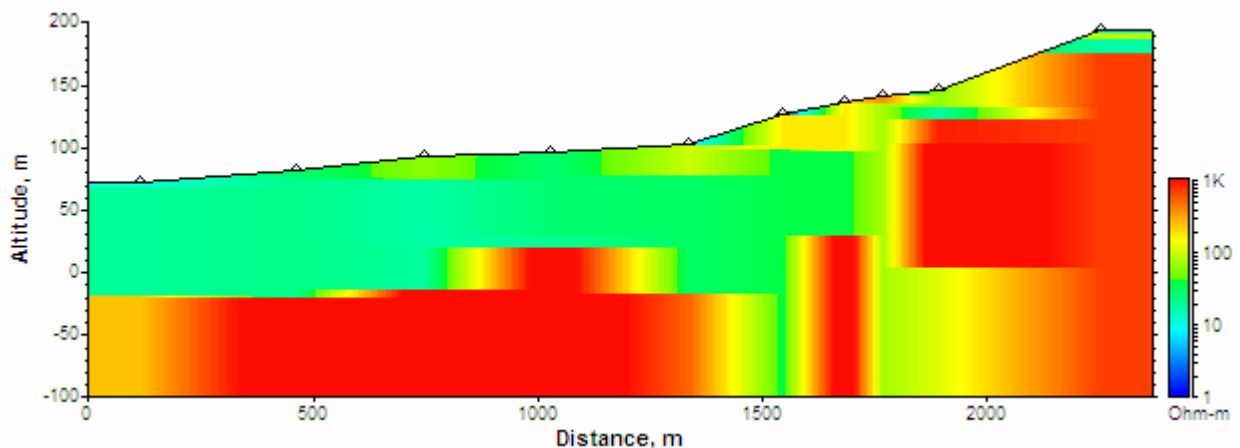
Σχήμα 4.7. Διατομή 5. Τα κόκκινα χρώματα ($> 600 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν το υπόβαθρο και τα συνεκτικά ιζήματα. Τα μπλε χρώματα ($1-10 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν τις υδροφορίες και πιθανές διαρρήξεις του υποβάθρου. Ενδιάμεσες χρωματικές κλίμακες (πράσινα χρώματα, $50-500 \text{ Ohm.m}$) υποδεικνύουν τη στρωματογραφία της ιζηματογενούς λεκάνης (Soupios et al. 2012).



Σχήμα 4.8 Διατομή 6. Τα κόκκινα χρώματα ($> 600 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν το υπόβαθρο και τα συνεκτικά ιζήματα. Τα μπλε χρώματα ($1-10 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν τις υδροφορίες και πιθανές διαρρήξεις του υποβάθρου. Ενδιάμεσες χρωματικές κλίμακες (πράσινα χρώματα, $50-500 \text{ Ohm.m}$) υποδεικνύουν τη στρωματογραφία της ιζηματογενούς λεκάνης (Soupios et al. 2012).



Σχήμα 4.9 Διατομή 7. Τα κόκκινα χρώματα ($> 600 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν το υπόβαθρο και τα συνεκτικά ιζήματα. Τα μπλε χρώματα ($1-10 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν τις υδροφορίες και πιθανές διαρρήξεις του υποβάθρου. Ενδιάμεσες χρωματικές κλίμακες (πράσινα χρώματα, $50-500 \text{ Ohm.m}$) υποδεικνύουν τη στρωματογραφία της ιζηματογενούς λεκάνης (Soupios et al. 2012).

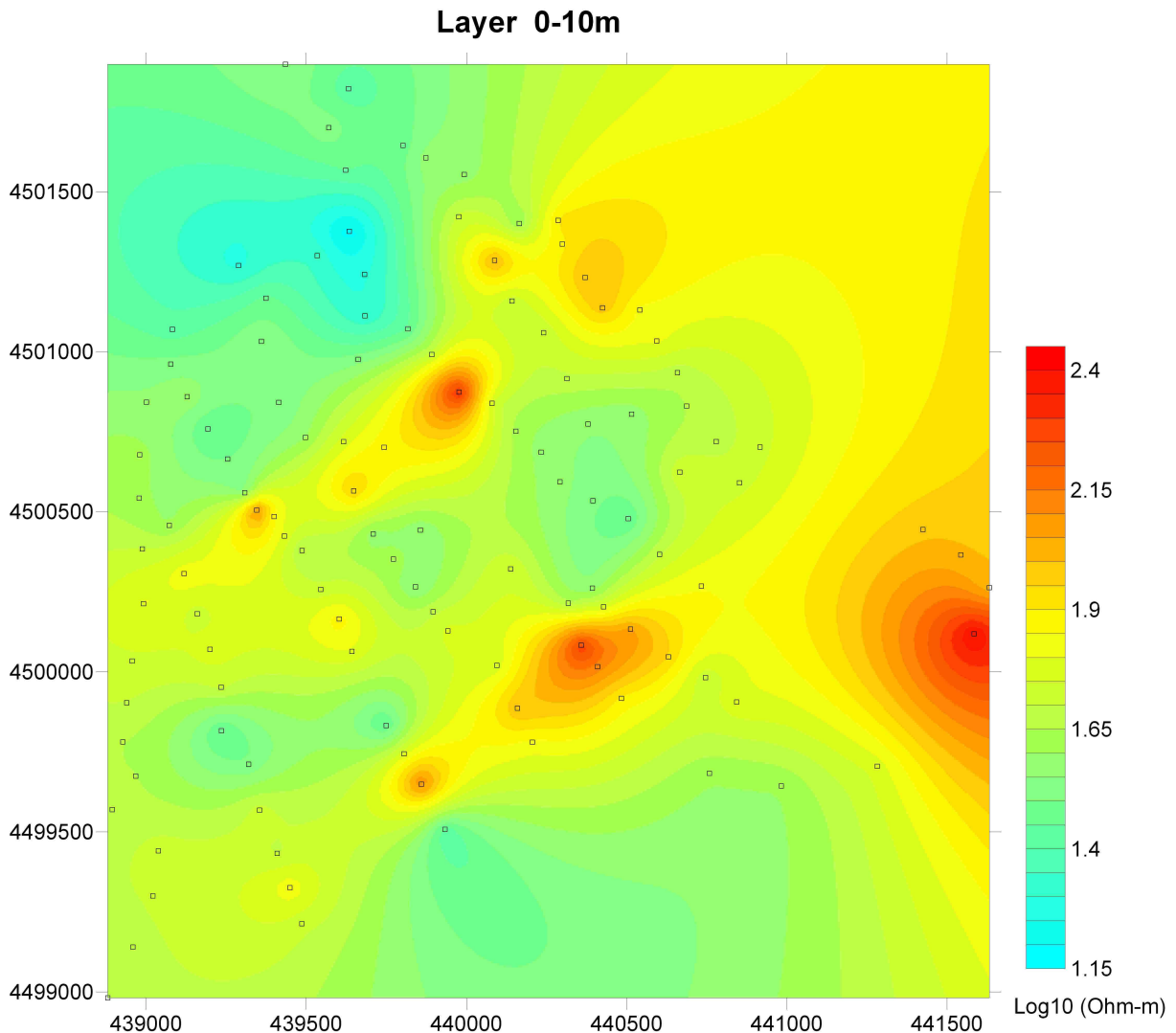


Σχήμα 4.10 Διατομή 8. Τα κόκκινα χρώματα ($> 600 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν το υπόβαθρο και τα συνεκτικά ιζήματα. Τα μπλε χρώματα ($1-10 \text{ Ohm.m}$) απεικονίζουν τις υδροφορίες και πιθανές διαρρήξεις του υποβάθρου. Ενδιάμεσες χρωματικές κλίμακες (πράσινα χρώματα, $50-500 \text{ Ohm.m}$) υποδεικνύουν τη στρωματογραφία της ιζηματογενούς λεκάνης (Soupios et al. 2012).

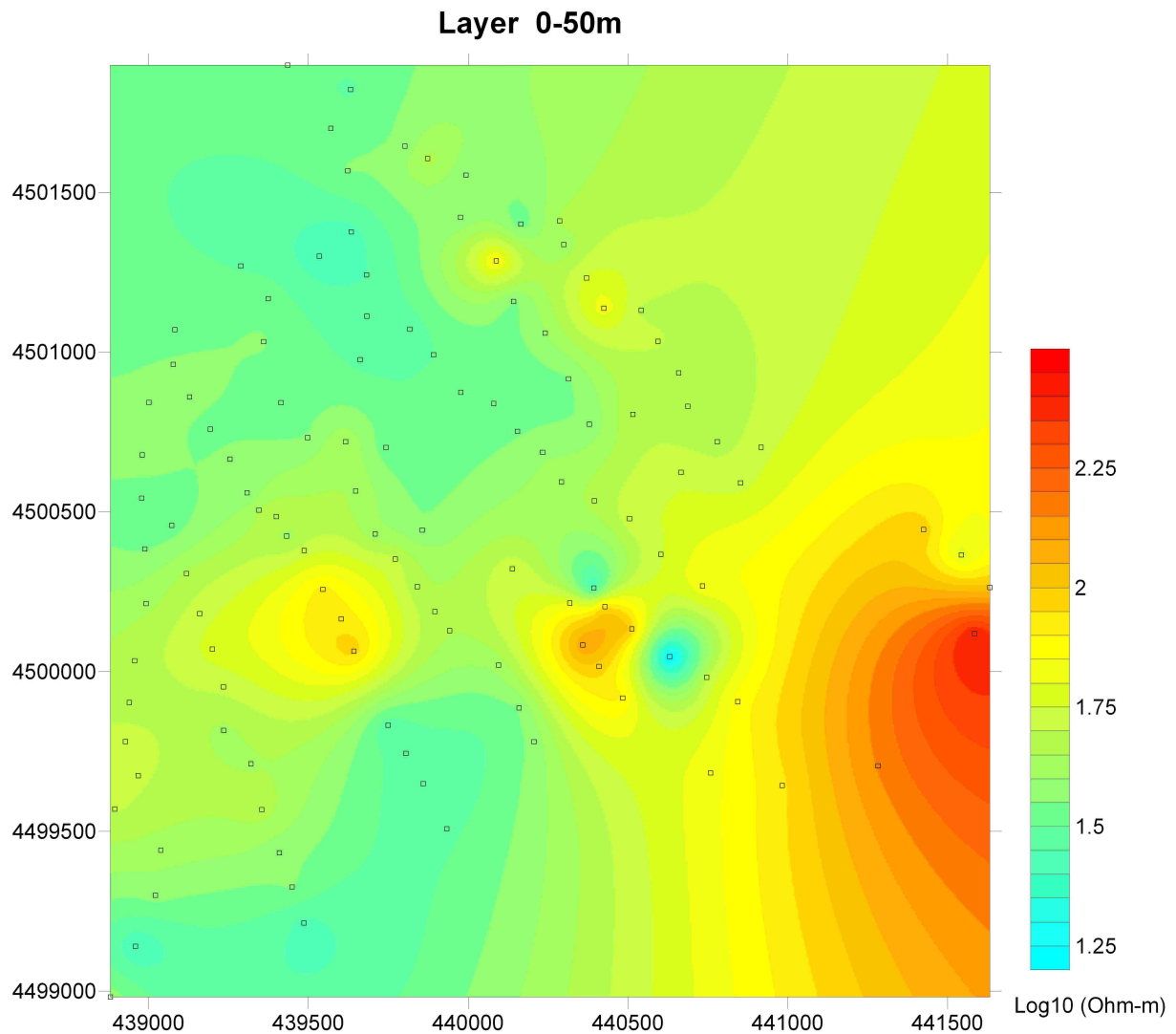
4.3 ΨΕΥΔΟ-ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Η ψευδοτρισδιάστατη απεικόνιση επιτεύχθει με την παρεμβολή όλων των επεξεργασμένων μονοδιάστατων γεωφυσικών μοντέλων και την κατασκευή για διάφορα επιλεγμένα βάθη, των μοντέλων βάθους.

Επιλέχθηκαν τα βάθη των 0-10μ και 0-50μ για να γίνει ταυτοποίηση της γεωφυσικής ερμηνείας με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής ενδιαφέροντος.

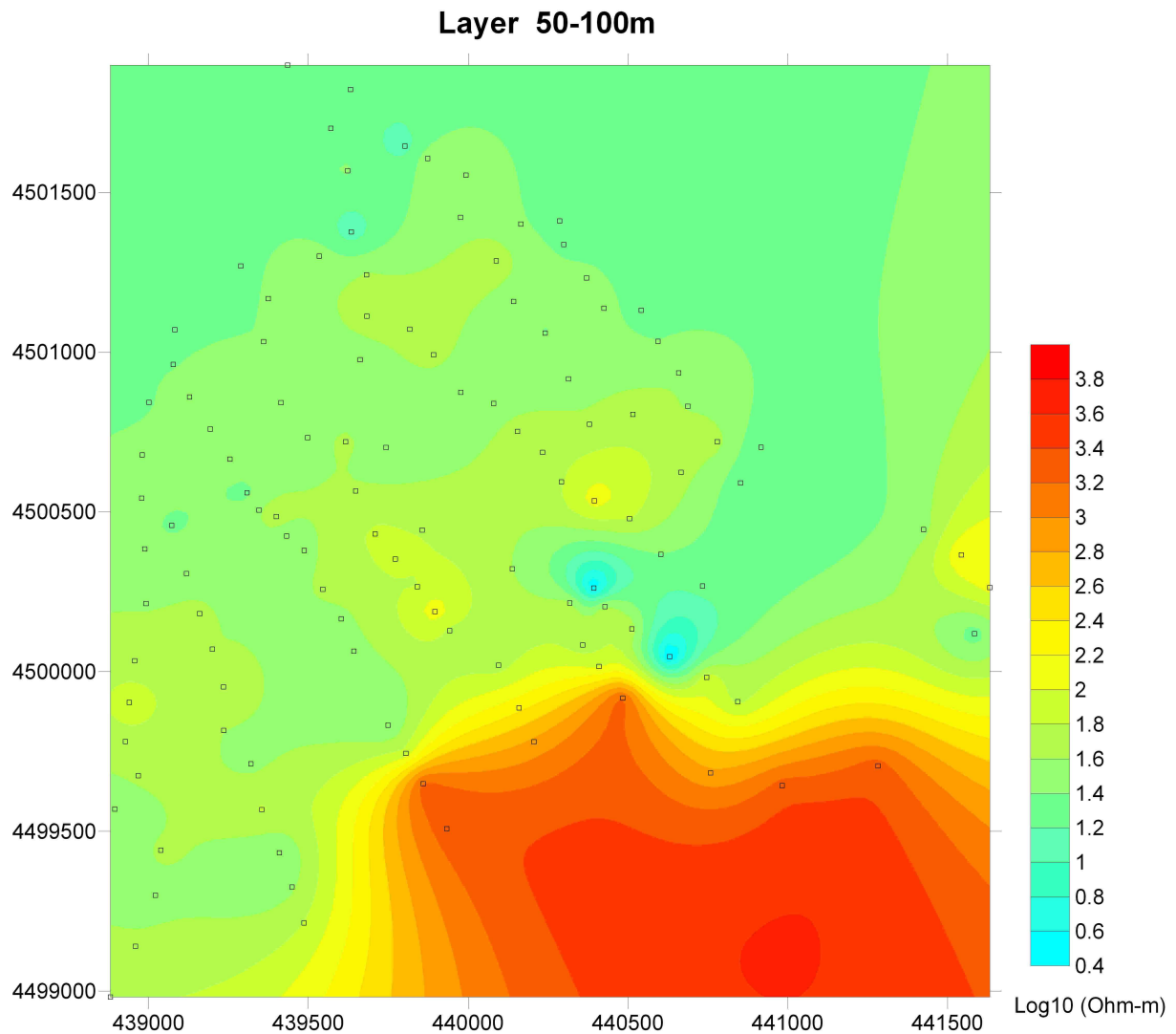


Σχήμα 4.11 Τομή βάθους από 0-10 μέτρα. Οι κουκίδες εντός της εικόνας είναι οι θέσεις των TEM μετρήσεων. Η χρωματική κλίμακα είναι ανάλογη της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενο σχήμα (τα κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε συμπαγείς σχηματισμούς και τα μπλέ χρώματα σε μη συνεκτικούς σχηματισμούς καθώς και υδροφορία) (Soupios et al. 2012).

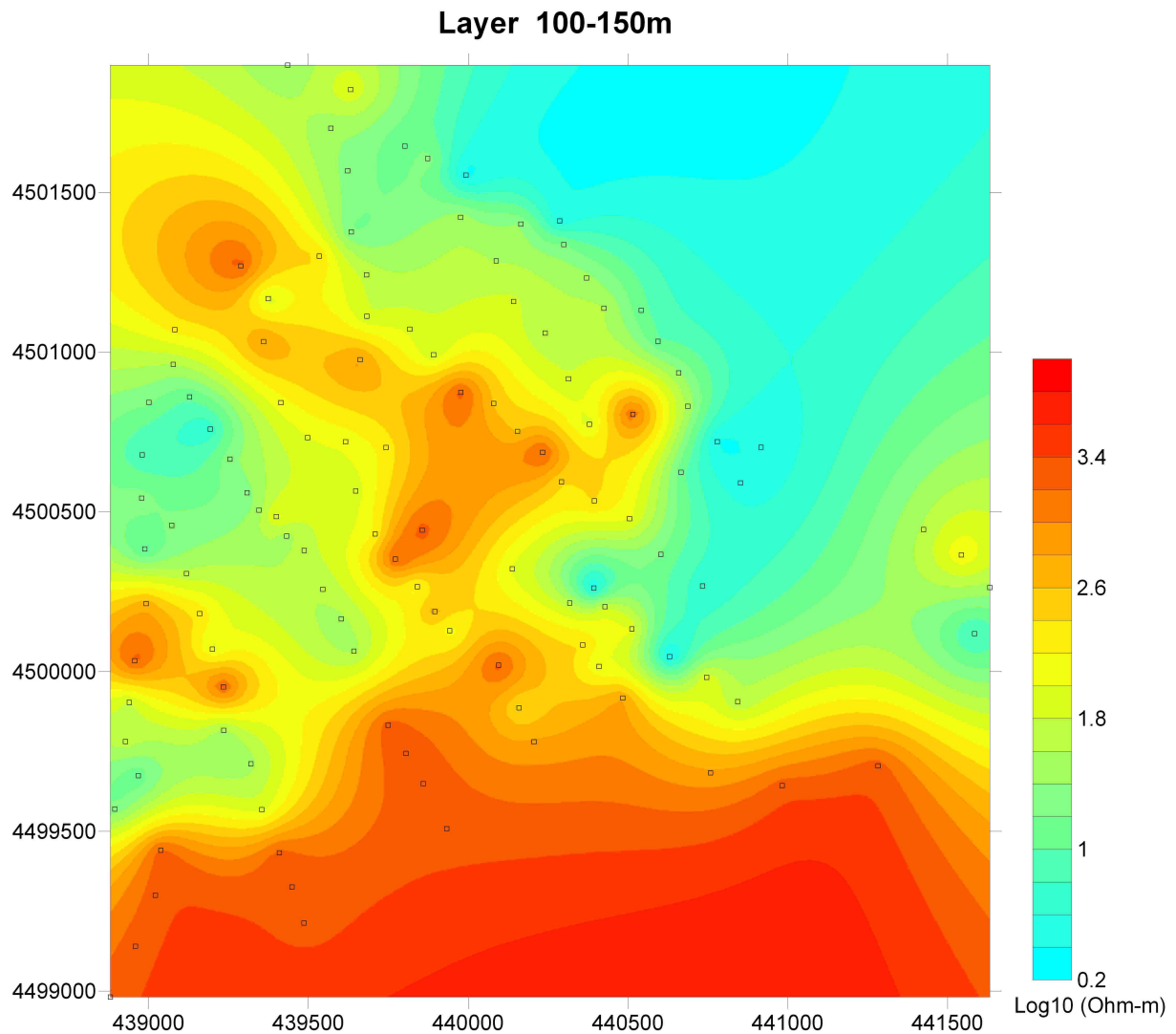


Σχήμα 4.12 Τομή βάθους από 0-50 μέτρα. Οι κουκίδες εντός της εικόνας είναι οι θέσεις των TEM μετρήσεων. Η χρωματική κλίμακα είναι ανάλογη της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενο σχήμα (τα κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε συμπαγείς σχηματισμούς και τα μπλέ χρώματα σε μη συνεκτικούς σχηματισμούς καθώς και υδροφορία) (Sourios et al. 2012).

Με σκοπό τον πιθανό προσδιορισμό της τεκτονικής δομής της Μυγδονίας λεκάνης, κατασκευάστηκαν και οι ακόλουθες τομές βάθους (50-100μ και 100-150μ).

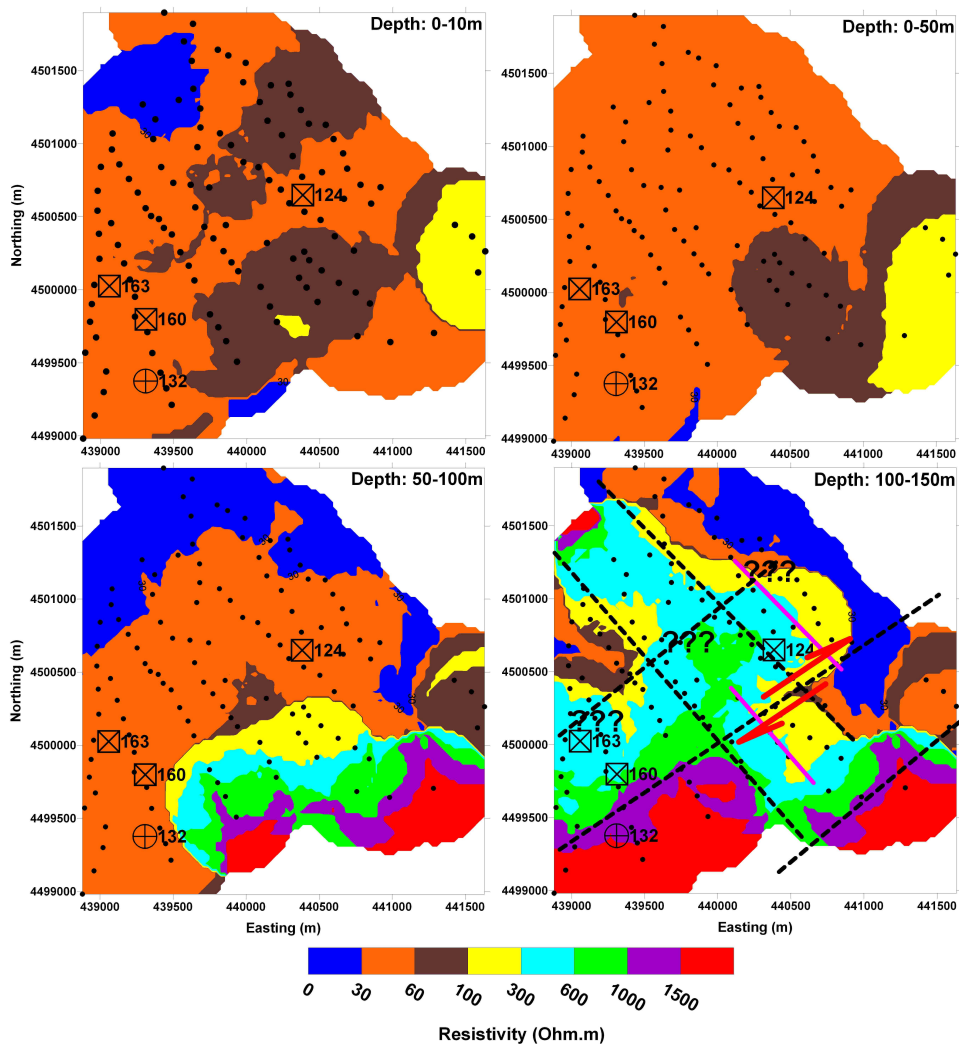
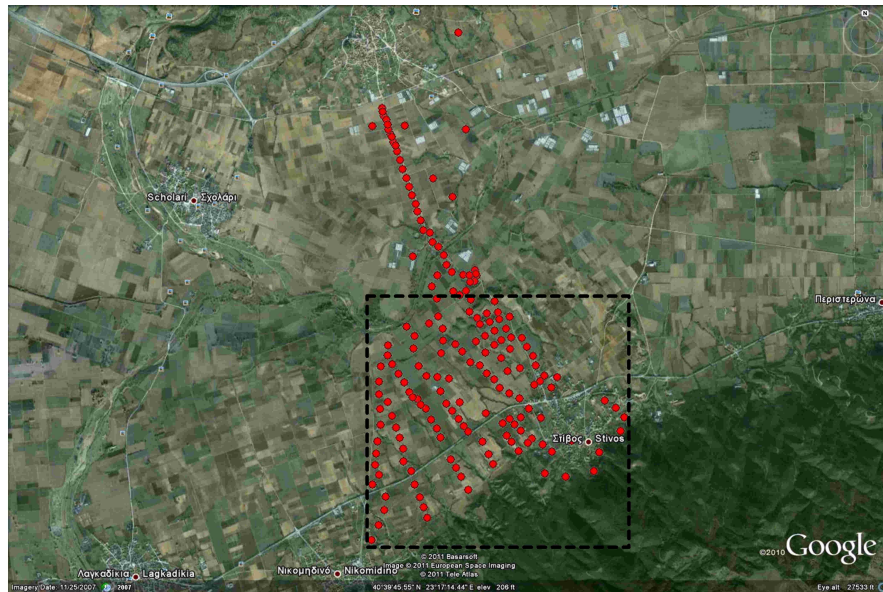


Σχήμα 4.13 Τομή βάθους από 50-100 μέτρα. Οι κουκίδες εντός της εικόνας είναι οι θέσεις των TEM μετρήσεων. Η χρωματική κλίμακα είναι ανάλογη της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενο σχήμα (τα κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε συμπαγείς σχηματισμούς και τα μπλέ χρώματα σε μη συνεκτικούς σχηματισμούς καθώς και υδροφορία) (Soupios et al. 2012).



Σχήμα 4.14 Τομή βάθους από 100-150 μέτρα. Οι κουκίδες εντός της εικόνας είναι οι θέσεις των TEM μετρήσεων. Η χρωματική κλίμακα είναι ανάλογη της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενο σχήμα (τα κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε συμπαγείς σχηματισμούς και τα μπλέ χρώματα σε μη συνεκτικούς σχηματισμούς καθώς και υδροφορία) (Soupios et al. 2012).

Λαμβάνοντας τις πληροφορίες που προέκυψαν από την χωρική κατανομή των αντιστάσεων σε διαφορετικά βάθη, καταφέραμε (με ένα σχετικό βαθμό αυθαιρεσίας και αβεβαιότητας) να χαράξουμε κάποιες πιθανές τεκτονικές γραμμές όπως αυτές απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα με διακεκομμένη μαύρη γραμμή.



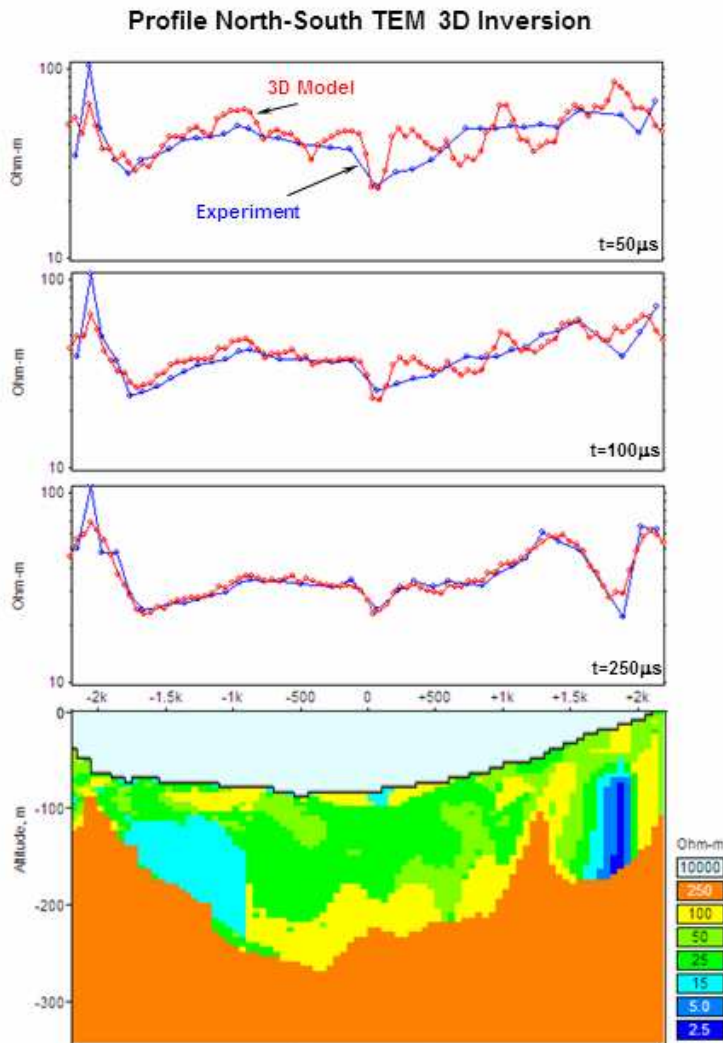
Σχήμα 4.15 Παρουσίαση των μετρήσεων στην περιοχή έρευνας. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα μοντέλα βάθους για τα 0-10, 0-50, 50-100 και 100-150 μέτρα. Τέλος, τα διαθέσιμα δεδομένα από γεωτρήσεις παρουσιάζονται στις τομές βάθους (Soupios et al. 2012).

Επιπλέον, έγινε φανερό ότι η ψευδοτριδιάστατη ερμηνεία είναι σε απόλυτη συμφωνία με τα ακριβή δεδομένα από γεωτρήσεις που έχουν εκτελεστεί κατά το παρελθόν στην περιοχή. Στη τομή 100-150 μέτρα φαίνεται η ταύτιση της γεώτρησης που εντόπισε το υπόβαθρο (κυκλικό σύμβολο) με τη γεωφυσική ερμηνεία.

4.4 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τέλος, επειδή κάθε προσπάθεια μοντελοποίησης μιας πολύπλοκης δομής όπως αυτής της περιοχής έρευνας, δεν μπορεί να αποδώσει τα μέγιστα εκτός και αν πρόκειται για 3D επεξεργασία και απεικόνιση, πραγματοποιήθηκε τριδιάστατη επεξεργασία με την εφαρμογή αλγορίθμου τριδιάστατης επίλυσης του ευθέως προβλήματος και με την τεχνική της δοκιμής-σφάλματος, επιλύθει εμμέσως το αντίστροφο πρόβλημα με σκοπό τον προσδιορισμό των βέλτιστων γεωηλεκτρικών μοντέλων του υπεδάφους.

Ειδικότερα, η χρονοσειρά χωρίζεται σε διαφορετικά χρονικά παράθυρα (για χρόνο $t=50, 100, 250 \mu\text{sec}$) και κατόπιν εφαρμόζεται ο αλγόριθμος επίλυσης του ευθέως προβλήματος με σκοπό τον προσδιορισμό της λύσης με την μικρότερη διαφορά μεταξύ της υπολογιζόμενης (3D model, σχήμα 4.16) και της πειραματικής τιμής (experiment) τιμής του πεδίου (σχήμα 4.16).



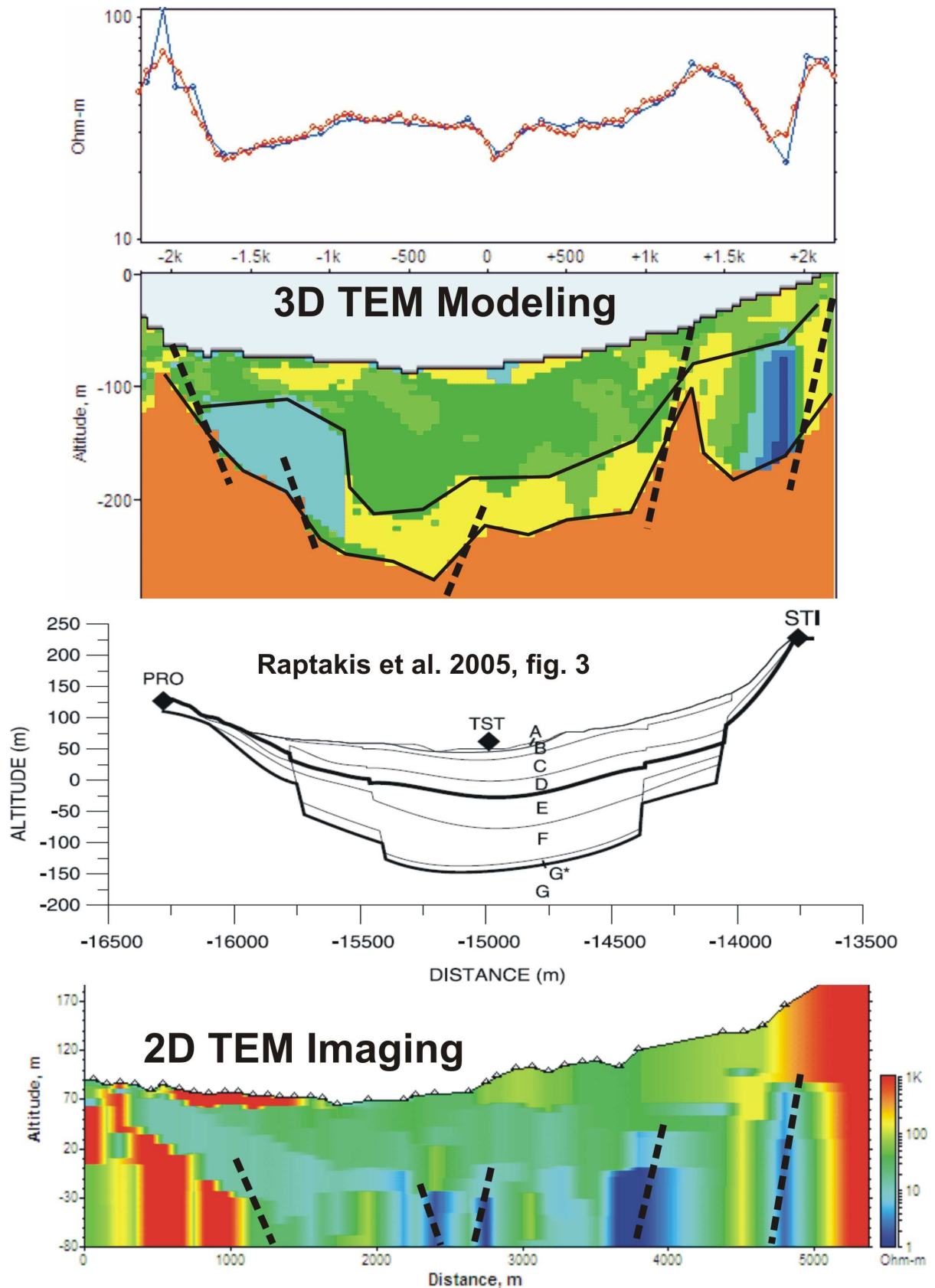
Σχήμα 4.16 Τριδιάστατη επεξεργασία των TEM μετρήσεων με την επίλυση του ευθέως προβλήματος και τον προσδιορισμό της λύσης με την εφαρμογή της τεχνικής δοκιμής – σφάλματος (Soupios et al. 2012).

Στο σχήμα 4.16 στο κάτω μέρος (4^ο μοντέλο) απεικονίζεται η ψευδοδιάστατη ερμηνεία των μετρήσεων κατά μήκος της διατομής 1, όπου με παχιά διακεκομμένη γραμμή ορίζονται πιθανές τεκτονικές γραμμές.

Το 3^ο μοντέλο του ίδιου σχήματος προέρχεται από τη δημοσίευση των Raptakis και συνεργάτες 2005, και προσδιορίζει τη γεωτεχνική δομή κατά μήκος της ίδιας γραμμής, όπου με βάση τις μεταβολές των γεωτεχνικών παραμέτρων όπως αυτές προσδιορίστηκαν από την εφαρμογή πληθώρας γεωφυσικών μετρήσεων και προσδιορισμού επιτόπου γεωτεχνικών παραμέτρων, χαράχθηκαν ομοίως κάποιες τεκτονικές διεπιφάνειες.

Το 2^ο μοντέλο του ίδιου σχήματος, προέρχεται από τη τριδιάστατη επεξεργασία και ερμηνεία των μετρήσεων TEM που ελήφθησαν κατά μήκος της διατομής 1. Είναι φανερό ότι η 3D ερμηνεία έδωσε σαφώς πιο βελτιωμένα αποτελέσματα σχετικά με τις απαιτήσεις της παρούσας έρευνας.

Το 1^ο μοντέλο, στη κορυφή του σχήματος 4.16 είναι η ταύτιση μεταξύ των υπολογιζόμενων και μετρούμενων τιμών του πεδίου στους μακρινούς χρόνους ($t=250\mu\text{sec}$).



Σχήμα 4.17 Προσδιορισμός της τεκτονικής δομής στη περιοχή ενδιαφέροντος κατά μήκος της διατομής 1 και σύγκριση των αποτελεσμάτων από την ψευδο-διδιάστατη και τριδιάστατη ερμηνεία των μετρήσεων (Soupios et al. 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μια λεπτομερής γεωηλεκτρομαγνητική μελέτη της ενεργούς τεκτονικής Μυγδονίας λεκάνης εκτελέστηκε με σκοπό τον πιθανό προσδιορισμό άγνωστων μέχρι σήμερα τεκτονικών ή/και μικροτεκτονικών δομών.

Εκτελέστηκαν περί τις 350 γεωηλεκτρομαγνητικές βυθοσκοπήσεις παροδικού πεδίου σε 160 θέσεις στην περιοχή ενδιαφέροντος με σκοπό την ανακατασκευή της 1D, 2D και 3D γεωηλεκτρικής δομής της περιοχής έρευνας.

Η λεπτομερής γεω-ηλεκτρομαγνητική έρευνα σε συνδυασμό με τη γεωλογική, τεκτονική και υδρολιθολογική μελέτη της περιοχής πριν την γεωφυσική χαρτογράφηση αποδείχθηκε ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διερεύνηση των τεκτονικών χαρακτηριστικών της περιοχής ενδιαφέροντος.

Η έρευνα κατάφερε να εντοπίσει τεκτονικές δομές που δεν αναφέρονται σε καμία μέχρι σήμερα μελέτη της περιοχής, οι οποίες όμως απαιτείται να επιβεβαιωθούν με την εφαρμογή και άλλων μεθοδολογιών καθώς και τον εντοπισμό τους με την εκτέλεση νέων γεωτρήσεων.

Τέλος, είναι από τις λίγες φορές που εφαρμόστηκε τριδιάστατη επεξεργασία και ερμηνεία δεδομένων TEM.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Buselli , G., McCracken, K.G., and Thorburn, M., 1986 Trransient electromagnetic response of the Teutonic Bore orebody, *Geophysics*,51,957-963
- Fitterman, D.V. and Stewart, M.T.,: 1986, Transient electromagnetic sounding for groundwater, *Geophysics* 51, 995–1005.
- Hoekstra, P., Harthill, N., Blohm, M. & Phillips, D.R. (1996) : Definition of a critical confiningzone using surface geophysical methods. *SAGEEP 1996 Proceedings*, 387 - 391.
- Chen L., Booker J.R., Jones A.G., Wu N., Unsworth M.J., Wei W. and Tan H. 1996. Electrically conductive crust in southern Tibet from INDEPTH magnetotelluric surveying. *Science* 274, 1694–1696
- Keller, E.A. and N. Pinter, 1996. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*, Prentice Hall, Upper Saddle River, pp: 338.
- B.R.G.M., 1971. *Etude Hydrogeologique du Basin de Mygdonia*. O.A.E.S (in French).
- Kockel F., Mollat H., Walther H., 1971. *Geologie des Serbo-mazedonischen massivs und seines mesozoischen Rahmens (Nordgriechenland)*. *Geol. Jd.*, Vol. 89, pp. 529- 551
- Koufos G., Syrides G., Koliadimou K., 1989. A new Pleistocene mammal locality from Macedonia (Greece). *Contribution to the study of Villafrangian in Central Macedonia*. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Vol. 23, pp. 113-124.
- Mercier J., Carey-Gailhardis E., Maouyaris N, Siemakis N., Roundoyannis Th., Anghelidhis Ch., 1983. Structural analysis of recent and active faults and regional state of stress in the epicentral area of the 1978 Thessaloniki earthquake (Northern Greece). *Tectonics*, Vol. 2, pp. 577-600.
- Pavlidis S., Kiliass A., 1987. Neotectonic and active faults along the Servomacedonian zone (Chalkidiki, N. Greece). *Annales Tectonicae*, Vol. 1, pp. 97-104.
- Sotiriadis L., A. Psilovikos, E. Vavliakis, G. Syrides, 1983. Some Tertiary and Quaternary Basins of Macedonia / Greece. *Formation and Evolution*. *Clausthaler Geologische Abhandlungen*, pp. 21.

- 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
- P. Soupios, P. Barsukov, A. Savvaidis, M. Gurk and D. Kalisperi, 2012, Regional tectonic model of Volvi Lake (N. Greece) by applying 3D modelling of TDEM data, to be submitted to Acta Geophysica.
- Tranos M., Papadimitriou E., Kiliass A., 2003. Thessaloniki-Gerakarou Fault zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment. Journal of Structural Geology, Vol. 25, pp. 2109-2123.
- 1η Ετήσια Τεχνική Έκθεση του ερευνητικού προγράμματος SRM-Life, σύνταξη Παυλίδης Σ. και συν., 2004. Ανάπτυξη ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας δικτύων κοινής ωφέλειας, υποδομών, κτιρίων στρατηγικής σημασίας για τη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου σε πολεοδομικά συγκροτήματα. Εφαρμογή στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. ΔΠ19, ΓΓΕΤ (2003–2007), Συντονιστής προγράμματος Καθηγητής Κ. Πιπιλάκης.
- Κουφός Γ. Συρίδης Γ., Κολιαδήμου Κ., Κωστόπουλος Δ., 1994. Παλαιοντολογικές ανασκαφές και στρωματογραφική μελέτη των νεογενών – τεταρτογενών αποθέσεων της λεκάνης της Μυγδονίας. Τεχνική έκθεση προγράμματος, ΠΕΝΕΔ Ε89/312.
- Μανάκου Μ., 2007. Συμβολή στον προσδιορισμό τρισδιάστατου εδαφικού προσομοιώματος για τη μελέτη της σεισμικής απόκρισης: Εφαρμογή στην ιζηματογενή Μυγδονία λεκάνη
- Μουντράκης Δ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδος, University Studio Press.
- Μουντράκης Δ., Κοίλιας Α., Σ. Παυλίδης, Λ. Σωτηριάδης, Α. Ψιλοβίκος, Θ. Αστάρης, Ε. Βαβλιάκης, Γ. Κουφός, Γ. Δημόπουλος, Γ. Σούλιος, Β. Χρηστάρας, Μ. Σκορδύλης, Μ. Τρανός, Ν. Σπυρόπουλος, Δ. Πάτρας, Γ. Συρίδης, Ν. Λαμπρινός, Θ. Λάγγαλης, 1997. Ειδική έκδοση του Νεοτεκτονικού Χάρτη της Ελλάδας. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόγνωσης και Πρόληψης Σεισμών.
- Ραπτάκης Δ., 1995. Συμβολή στον προσδιορισμό της γεωμετρίας και των δυναμικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών και στη σεισμική απόκρισή

τους. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Α.Π.Θ.

Ραπτάκης, Δ., Α. Αναστασιάδης, Κ. Πιπιλάκης, 2001. Η Γνώση της Εδαφικής Δομής ως Αφετηρία στη Μικροζωνική Μελέτη Θασσαλονίκης: ΙΙ. Συσχέτιση Εδαφικών Συνθηκών και Βλάβων-Εντάσεων, 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής and Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Τόμος 2, 313-320.

Χατζηπέτρος Α., 1988. Παλαιοσεισμολογική και μορφοτεκτονική μελέτη του ενεργού συστήματος ρηγμάτων της Μυγδονίας λεκάνης, Ανατολικής Χαλκιδικής και Κοζάνης - Γρεβενών. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Ψιλοβίκος Α., 1977. Παλαιογεωγραφική εξέλιξης της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά - Βόλβης). Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.