



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

***ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΛΕΚΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ***

Χριστοφίδης Βασίλειος

A.M: 4726



Θεσσαλονίκη 2018



ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

**Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας
Εργαστήριο Εφ. Γεωφυσικής**

Επιβλέπων καθηγητής

Καθηγητής Παναγιώτης Τσούρλος

Χριστοφίδης Βασίλειος , Εργ. Γεωφυσικής , 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allright reserved



ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ)

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και η διανομή της παρούσας εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης υπό τη προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σ αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Ευχαριστίες

Πριν ξεκινήσει η παρούσα διπλωματική θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου κ. Τσούρλο Παναγιώτη (Τομέας Γεωφυσικής ΑΠΘ), και τον κ. Παυλίδη Σπυρίδωνα, καθηγητή του τομέα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης που μου έδωσαν την ευκαιρία και με βοήθησαν να ολοκληρώσω την εργασία τόσο σε ερευνητικό όσο και σε θεωρητικό επίπεδο.



ABSTRACT

This thesis is about the collection, processing and interpretation of collected geophysical measurements of Electrical Resistivity Tomography. These measurements were acquired during March 2015 covering a part of Voulgari street in Thessaloniki. The aim of this study was to propose a tectonic and geophysical model of the study area in order to investigate if there is fault in the study area and to study its characteristics.



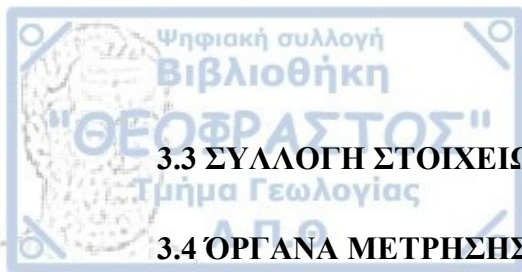
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική αφορά την λήψη και επεξεργασία γεωφυσικών μετρήσεων με την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ERT) που έλαβαν χώρα στην περιοχή της Βούλγαρη Θεσσαλονίκης. Σκοπός είναι η δημιουργία ενός γεωφυσικού μοντέλου της περιοχής έτσι ώστε να μελετηθεί η πιθανή παρουσία ρήγματος και να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του .



Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	10
ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	10
2.1.1 ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	10
2.1.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	12
2.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	13
2.2.1 ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ	14
2.3 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ	15
2.3.1 ΒΑΘΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ	16
2.4 ΨΕΥΔΟΤΟΜΗ	17
2.5 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	22
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	22
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	22
3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	23
3.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	24
3.2.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ	25



3.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	26
---	----

3.4 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	28
--------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	29
-------------------------------	----

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	29
--	----

4.1 Κυρίως επεξεργασία.....	29
-----------------------------	----

4.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	31
-------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	33
-------------------------------	----

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	33
--------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	34
-------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Θεσσαλονίκη θεωρείται ως μια από τις πιο ισχυρά σεισμογενείς πόλεις της Ελλάδος λόγω της ύπαρξης πολλών νεοτεκτονικών ρηγμάτων. Ωστόσο η πυκνή δόμηση της καθιστά δύσκολο τον καθορισμό των ορίων των περισσότερων ρηγμάτων στην ευρύτερη περιοχή.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα πραγματοποιήθηκε στις 23 Μαρτίου του 2015 Ηλεκτρική Τομογραφία με την μέθοδο της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης (ERT-Electrical Resistivity Tomography) με σκοπό τον εντοπισμό της συνέχειας του νεοτεκτονικού ρήγματος που λαμβάνει χώρα στην περιοχή Πυλαίας-Πανοράματος και στην Ευρύτερη περιοχή της Βούλγαρη της Ανατολικής Θεσσαλονίκης. Ειδικότερα με την παραπάνω έρευνα πεδίου διευκρινίζεται εάν το ρήγμα προεκτείνεται στην πόλη της Θεσσαλονίκης μαζί με ένα κομμάτι του ρέματος Αλλατίνη.

Στην παρούσα διπλωματική περιγράφεται η διαδικασία διεξαγωγής υπαίθριων μετρήσεων στην περιοχή Βούλγαρη καθώς και η μελέτη αυτών. Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά την περιγραφή της Ηλεκτρικής τομογραφίας καθώς είναι μια σημαντική και αποτελεσματική γεωφυσική μέθοδος. Γίνεται αναφορά στα όργανα μέτρησης, στις μεθόδους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής. Η γεωλογία της περιοχής αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην γεωφυσική μελέτη αλλά και στην διεξαγωγή συμπερασμάτων. Γι' αυτό στο τρίτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής γίνεται μια εισαγωγή στο γεωλογικό υπόβαθρο της Θεσσαλονίκης αλλά και ειδικότερα της περιοχής μελέτης. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής περιγράφεται αναλυτικά η επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων μελέτης με βάση των οποίων στο πέμπτο και τελευταίο αναλύονται τα συμπεράσματα και το τελικό αποτέλεσμα της παρούσας μελέτης.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μια από τις σημαντικότερες γεωφυσικές μεθόδους διασκόπησης θεωρείται η ηλεκτρική καθώς με βάση αυτήν μελετώνται οι ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων τόσο στην επιφάνεια όσο και στον φλοιό της Γης μέχρι το βάθος των 200 μέτρων καθώς τότε θεωρούνται ότι δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Ένα από τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης είναι ότι εφαρμόζονται με πολλές υπό-μεθόδους κάθε μια από τις οποίες δίνει χρήσιμα δεδομένα. Σύμφωνα με το βιβλίο Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική του Βασίλη Κ. Παπαζάχου οι προαναφερθέντες κατηγορίες είναι :

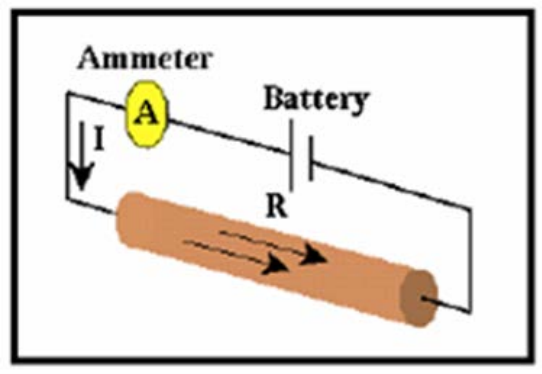
- Μέθοδος της Ειδικής Αντίστασης
- Μέθοδος των Ισοδυναμικών Γραμμών
- Μέθοδος της Επαγόμενης Πολικότητας
- Μέθοδος του Φυσικού Δυναμικού
- Μέθοδος των Τελλουριακών Ρευμάτων.

Στην παρούσα έρευνα πεδίου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ειδικής αντίστασης η οποία δίνει πληροφορίες κυρίως για την ειδική αντίσταση του κάθε πετρώματος μέσα στον φλοιό της γης και όχι για την ηλεκτρική τάση που μετριέται συνήθως.

2.1.1 Ειδική Αντίσταση Ορυκτών και Πετρωμάτων

Ως ειδική αντίσταση ορίζεται μια ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων η οποία ορίζεται από την σχέση $\rho = \frac{RS}{l}$ (με μονάδες μέτρησης στο S.I $1 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$) όπου R θεωρείται η ηλεκτρική

αντίσταση ενός πετρώματος σε σχήμα κυλίνδρου με διατομή S και πάχος l .



Εικόνα 2.1.1 Απεικόνιση του ορισμού Ειδική Αντίστασης

Αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα η οποία δίνεται από τον τύπο $\sigma = \frac{1}{\rho}$ (με μονάδες μέτρησης στο S.I Siemens / meter) . Με βάση αυτές τις δυο βασικές ιδιότητες των πετρωμάτων και των ορυκτών της γης μετράται η αντίδραση τους στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στην γη.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι μια ιδιότητα της οποίας οι τιμές μεταβάλλονται από 10^{-6} Ohm-m μέχρι και 10^{15} Ohm-m. Με αυτές τις τιμές ανάλογα ένα πέτρωμα ή ορυκτό χαρακτηρίζεται ως καλός ή κακός αγωγός του ηλεκτρισμού. Σημαντική πληροφορία για τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι ότι η ειδική αντίσταση κάθε πετρώματος αποκτά μεγαλύτερη τιμή όσο αυξάνεται και η γεωλογική ηλικία του πετρώματος. Αυτό σχετίζεται με την πίεση που δέχεται το πέτρωμα από τα υπερκείμενα όσο περνάει ο χρόνος το οποίο συνεπάγεται με την αύξηση της συνοχής του και επομένως της αγωγιμότητάς του. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ιδιότητα αυτή είναι οι υδρογεωλογικές συνθήκες του υποβάθρου καθώς και η χημική σύσταση του νερού. Απαραίτητη είναι η γνώση

του πορώδους του πετρώματος καθώς και τα στοιχεία για τις πιθανές διακλάσεις – ρήγματα που μπορεί να υπάρχουν. Τέλος, άλλος ένας παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την μέτρηση της ειδικής αντίστασης είναι η θερμοκρασία όπως και η πίεση. Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που παρουσιάζει το εύρος της αντίστασης ανά διάφορα μέσα.

ΜΕΣΟ	ΕΥΡΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (Ohm-m)
ΑΕΡΑΣ	∞
ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ	3×10^{-1}
ΓΑΛΗΝΙΤΗΣ	2×10^{-3}
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	$100 - 1 \times 10^6$
ΓΑΒΒΡΟΣ	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	$50 - 1 \times 10^7$
ΨΑΜΜΙΤΗΣ	$1 - 1 \times 10^8$
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ	$20 - 2 \times 10^3$
ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	$100 - 10^4$
ΑΜΜΟΣ	$1 - 1000$
ΑΡΓΙΛΟΣ	$1 - 100$
ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ	$0,5 - 300$
ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	$0,2$

Πίνακας 2.1.1 Κατανομή αντίστασης ανά μέσο. Πηγή :

2.1.2 Φαινόμενη Ειδική Αντίσταση

Ο όρος φαινόμενη ειδική αντίσταση καθορίστηκε κυρίως από το γεγονός ότι η γη δεν αποτελεί ένα γεωηλεκτρικά ομογενές μέσο. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί να υπολογιστεί η ειδική αντίσταση των πετρωμάτων που

την περιβάλλουν χρησιμοποιώντας την σχέση που έχει αναφερθεί παραπάνω. Συμπερασματικά οι τιμές της ειδικής αντίστασης κυμαίνονται συναρτήσει της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους αλλά και των θέσεων των ηλεκτροδίων στην μέτρηση ή με άλλα λόγια της γεωμετρίας της μέτρησης.

Έτσι, επειδή η τιμή που λαμβάνεται κατά τις μετρήσεις δεν αντιπροσωπεύει την πραγματική τιμή της ειδικής αντίστασης θεωρείται ως **φαινόμενη ειδική αντίσταση** και συμβολίζεται ως ρ_a . Σύμφωνα με τον ορισμό : **Φαινόμενη ειδική αντίσταση ορίζεται το γινόμενο του γεωμετρικού παράγοντα (K) επί τον λόγο της μετρούμενης διαφοράς δυναμικού (ΔV) προς την ένταση του ρεύματος (I) που εισάγεται στο έδαφος.** η ρ_a υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

Συμπερασματικά ως φαινόμενη ειδική αντίσταση θεωρείται ως η τιμή της πραγματικής αντίστασης ρ στην περίπτωση που σε έναν ομογενή ημιχώρο χρησιμοποιείτο η ίδια διάταξη ηλεκτροδίων.

2.2 Ηλεκτρική Τομογραφία

Με την ηλεκτρική τομογραφία αποκτάται η γνώση για τις τιμές της φαινόμενης αντίστασης που υπάρχει στο υπέδαφος. Σκοπός της μέτρησης αυτής είναι να ληφθούν οι απαραίτητες πληροφορίες τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Γι αυτό το λόγο η μέτρηση γίνεται είτε ως μια σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής ενδιαφέροντος είτε ως μια σειρά από οδεύσεις με τη διαφορά ότι οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων αυξάνονται διαδοχικά.

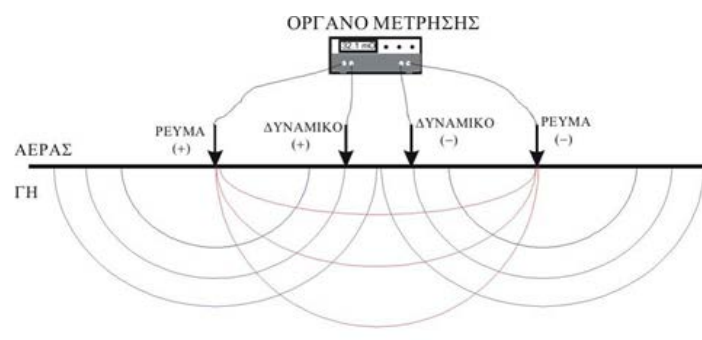
Το τελικό αποτέλεσμα από την ηλεκτρική τομογραφία είναι η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού στην επιφάνεια του εδάφους. Η τιμή της πτώσης του δυναμικού αφορά την δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει στο έδαφος και έτσι προκύπτει η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους η οποία είναι συνάρτηση της ροής του ρεύματος στο υπέδαφος σύμφωνα πάντα με τα χαρακτηριστικά του.

Μια ιδιαιτερότητα που παρουσιάζεται στην τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους είναι ότι αυτή δεν είναι σταθερή καθώς η αγωγιμότητα του ηλεκτρικού ρεύματος στο υπέδαφος καθορίζεται από πολλούς παράγοντες όπως είναι το πορώδες των σχηματισμών το

περιεχόμενο νερό, η χημική τους σύνθεση κλπ. Το αποτέλεσμα είναι σχηματισμοί οι οποίοι γεωλογικά είναι παρόμοιοι αλλά βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις να έχουν και τελείως διαφορετικές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Με βάση τα παραπάνω η ειδική ηλεκτρική αντίσταση δεν θεωρείται ελλιπής πληροφορία για την λιθολογία του υπεδάφους λόγω της μεγάλης αστάθειας που παρουσιάζεται στις τιμές της. Συμπερασματικά οι τιμές σε κάθε μέτρηση της περιοχής θεωρούνται έμπιστες μόνο όταν λαμβάνεται υπόψη και η λιθολογία της περιοχής μελέτης.

2.2.1 Τομογραφία Ειδικής Αντίστασης

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο η ειδική ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης παρέχουν πληροφορίες για την κατανομή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων τα οποία βρίσκονται επιφανειακά στον φλοιό της γης. Είναι γνωστό ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται βασίζονται στην παραγωγή τεχνητού ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο εισχωρεί στο έδαφος με την βοήθεια ενός ζεύγους ηλεκτροδίων. Στη συνέχεια ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων μετράει τη πτώση τάσης που δημιουργείται. Συμπερασματικά, για την πλήρη μέτρηση απαιτούνται δυο ζεύγη ηλεκτροδίων. Τέλος η ωμική αντίσταση, η τιμή της οποίας υπολογίζεται από το πηλίκο του ρεύματος και της πτώσης τάσης ($R = \frac{\Delta V}{I}$), χρησιμεύει για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής αντίστασης η οποία με τη σειρά της οδηγεί στον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η παραπάνω περιγραφή φαίνεται καλύτερα στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 2.2.1 Βασική διάταξη γεωηλεκτρικών μετρήσεων. (Πηγή:)

2.3 Τρόποι Διάταξης Ηλεκτροδίων

Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού τοποθετούνται με διάφορους τρόπους. Καθένας από αυτούς αποτελεί μια ξεχωριστή διάταξη η οποία αναλύεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.3.1). Κύριο χαρακτηριστικό των διατάξεων είναι ο γεωμετρικός παράγοντας (**K**), ο οποίος εξαρτάται από τη θέση των ηλεκτροδίων στο χώρο και υπολογίζεται για κάθε μέτρηση ξεχωριστά. (Tsourlos, 1995).

- Διάταξη Wenner

$$\rho_{\alpha} = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

- Διάταξη διπόλου-διπόλου

$$\rho_{\alpha} = [-\pi n(n+1)(n+2)a] \frac{\Delta V}{I}$$

- Διάταξη Schlumberger

$$\rho_{\alpha} = \frac{\pi L^2}{2I} \frac{\Delta V}{I}$$

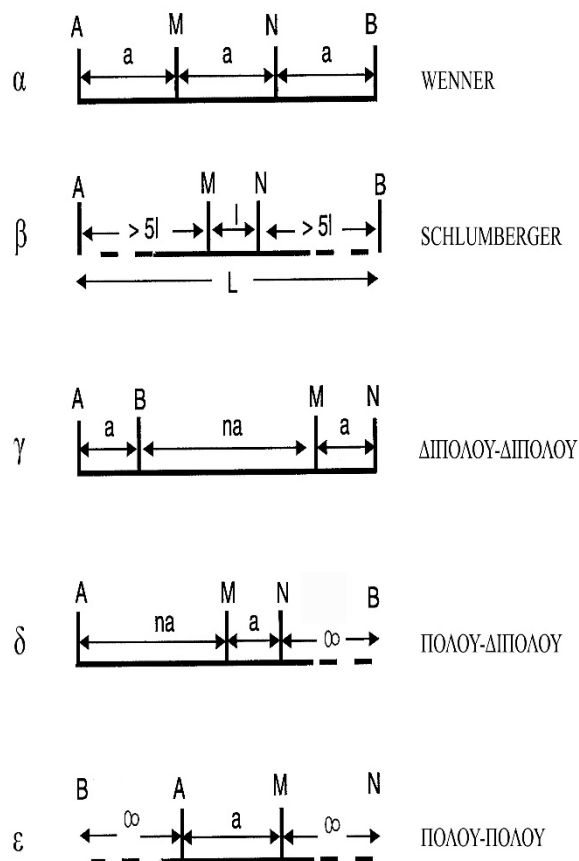
- Διάταξη πόλου-διπόλου

$$\rho_{\alpha} = [2\pi n(n+1)a] \frac{\Delta V}{I}$$

- Διάταξη πόλου-πόλου

$$\rho_{\alpha} = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

Παρακάτω φαίνεται και η κάθε διάταξη με σχήμα για την καλύτερη κατανόηση των διαφορών τους.

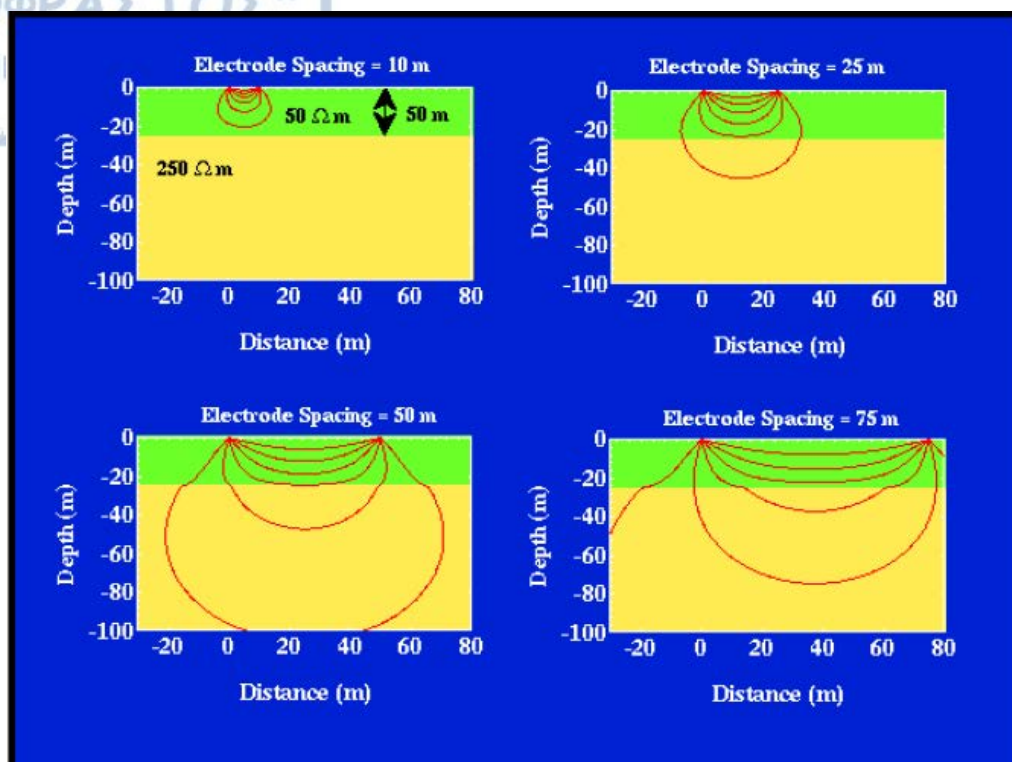


Εικόνα 2.3.1 Βασικές διατάξεις ηλεκτροδίων (Τσούρλος, 1995)

Όπως διαπιστώνεται και από την παραπάνω εικόνα κάθε διάταξη έχει και την δικιά της γεωμετρία ως προς την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων. Συνεπώς κάθε μια από τις μεθόδους παρουσιάζει και διαφορετικά αποτελέσματα ως προς τις μεταβολές της αντίστασης στο υπέδαφος.

2.3.1 Βάθος διείσδυσης

Σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα το βάθος διείσδυσης ποικίλει σε κάθε διάταξη και εξαρτάται σημαντικά από την απόσταση που έχουν μεταξύ τους τα ηλεκτρόδια. Η γενική άποψη λέει ότι το βάθος διείσδυσης μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Άρα το βάθος είναι συνάρτηση της κάθε διάταξης ξεχωριστά.



Εικόνα 2.3.2 Σχηματική απεικόνιση του βάθους διείσδυσης σε συνάρτηση με την διάταξη των ηλεκτροδίων.

2.4 Ψευδοτομή

Με δεδομένο το γεγονός ότι το βάθος διείσδυσης αποτελεί συνάρτηση της απόστασης των ηλεκτροδίων έχει δημιουργηθεί μια καινούργια μέθοδος μέτρησης η οποία ονομάζεται όδευση. Σκοπός είναι να αυξάνεται συνεχώς η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων έτσι ώστε να προκληθεί μια εναλλαγή της τιμής της ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους στην περιοχή μελέτης. Σημαντικό είναι η εναλλαγή αυτή να προκληθεί τόσο εγκάρσια όσο και κατακόρυφα έτσι ώστε η συνολική εικόνα που θα δημιουργηθεί να είναι αρκετά ακριβής. Όπως έχει προαναφερθεί σε κάθε γεωφυσική μέτρηση καθώς και στην όδευση η εικόνα που δημιουργείται αφορά τις ιδιότητες των πετρωμάτων στο υπέδαφος. Συνεπώς, τα συμπεράσματα για την διακύμανση της φαινόμενης ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος διαφέρουν αρκετά από την τιμή για την πραγματική ειδική αντίσταση.



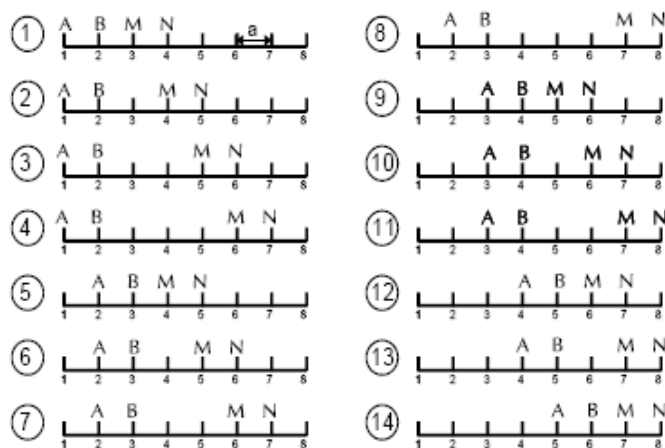
Η ερμηνεία των δεδομένων που προκύπτουν από τις μετρήσεις γίνεται με την βοήθεια της ψευδοτομής η οποία αποτελεί το βήμα πριν την ηλεκτρική τομογραφία.

Η μέθοδος της ψευδοτομής, η οποία έχει ως κανόνα την εξάρτηση της αύξησης απόστασης ηλεκτροδίων με την συσχέτιση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος, έχει φανεί χρήσιμη σε διάφορες εφαρμογές όπως :

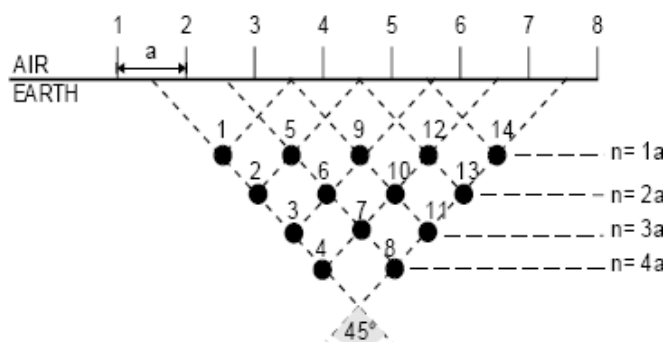
- Χαρτογράφηση μεταλλευμάτων (Edwards 1997)
- Υδρογεωλογικές μελέτες (Griffiths et. Al. 1990)

Όπως είναι γνωστό στην μέθοδο της ψευδοτομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι διατάξεις των ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο είναι εύκολο να δημιουργηθεί μια ψευδο-εικόνα για το υπέδαφος στην περιοχή μελέτης. Αναλυτικότερα φαίνονται οι παραπάνω πληροφορίες με τις δυο εικόνες που αφορούν το μοντέλο της ψευδοτομής αλλά και την δημιουργία της ψευδό εικόνας.

(a)

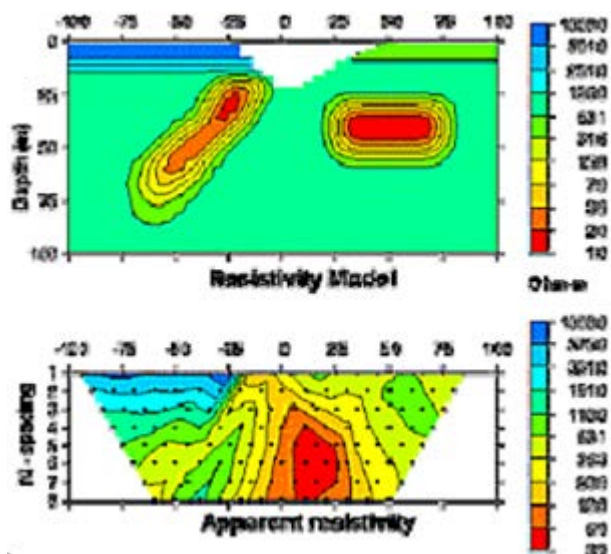


(b)



Εικόνα 2.4.1 α: Λήψη μετρήσεων

Β: Δημιουργία ψευδοτομής και χάρτης φαινομένων ηλεκτρικών αντιστάσεων.



Εικόνα 2.4.2 Δημιουργία ψευδο-εικόνας.

2.5 Αλγόριθμοι Αντιστροφής

Ο αλγόριθμοι αντιστροφής αναπτύχθηκαν τη δεκαετία 1990 με σκοπό την εύκολη διεξαγωγή συμπερασμάτων από τις εικόνες ψευδοτομής όταν η ειδική ηλεκτρική αντίσταση χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικά πολύπλοκη. Με τον όρο «αντιστροφή» στη συγκεκριμένη μέθοδο καλείται η διαδικασία δημιουργίας ενός «ρεαλιστικού» μοντέλου τιμών της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος της περιοχής μελέτης. Οι τιμές αυτές προκύπτουν πάντα με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν από τις μετρήσεις. Ουσιαστικά, η χρησιμότητα των αλγόριθμων αντιστροφής έγκειται στο γεγονός ότι μπορούν να δημιουργήσουν μια πιο ακριβή εικόνα τη ειδικής αντίστασης του υπεδάφους.

Στόχος της συγκεκριμένης μεθόδου επεξεργασίας αποτελεσμάτων είναι να παραχθεί ένα μοντέλο υπεδάφους στο οποίο οι τιμές της ειδικής αντίστασης θα είναι πολύ κοντά στις πραγματικές τιμές. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι η αντιστροφή μπορεί να γίνει και σε δισδιάστατο αλλά και σε τρισδιάστατο μοντέλο.

Ωστόσο στις γεωηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης η μέθοδος αυτή διαφοροποιείται. Στην περιοχή μελέτης αναλύονται διάφορες παράμετροι με βάση τις οποίες δημιουργείται μια τιμή αρχικής αντίστασης. Δημιουργείται ένα πρώτο μοντέλο με βάση το οποίο αναλύονται τα μη πραγματικά δεδομένα και συγκρίνονται με τα ρεαλιστικά. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει η τιμή dy η οποία είναι η διαφορά των μη πραγματικών με τα πραγματικά δεδομένα. Έπειτα διορθώνεται το αρχικό μοντέλο αντίστασης με την χρήση αντιστροφής πινάκων. Η διαδικασία αυτή γίνεται συνεχόμενα έτσι ώστε η τιμή του dy να είναι μηδαμινή. Το αποτέλεσμα είναι το τελευταίο μοντέλο ειδικής αντίστασης να έχει τιμές γεωηλεκτρικών αντιστάσεων αρκετά κοντά στις ρεαλιστικές. Έτσι με βάση τα



δεδομένα από τη γεωλογία της περιοχής η κάθε διαφορά μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται σε λιθολογικές και τεκτονικές δομές του υπεδάφους.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των αλγορίθμων αντιστροφής είναι ότι παρόλη την πολυπλοκότητα που έχει η χρήση τους μπορούν να επεξεργαστούν κάθε δεδομένο που έχει παρθεί χωρίς να έχει σημασία ο τρόπος διάταξης ηλεκτροδίων. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι η ευκολία με την οποία λαμβάνονται τα δεδομένα σε κάθε μέτρηση και αυτό γιατί είναι δυνατή η τοποθέτηση ηλεκτροδίων σε οποιοδήποτε σημείο της περιοχής μελέτης (ακόμα και εντός των γεωτρήσεων) και η μετέπειτα δημιουργία τομογραφίας.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Οι μετρήσεις της παρούσας διπλωματικής πραγματοποιήθηκαν στην Ανατολική Θεσσαλονίκη και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Βούλγαρης η οποία είναι προέκταση της Εγνατίας Οδού. Όπως προαναφέρθηκε η περιοχή της Βούλγαρη χαρακτηρίζεται από την παρουσία του νεοτεκτονικού ρήγματος Πυλαίας – Πανοράματος το οποίο πιθανός προεκτείνεται με το ρέμα Αλλατίνη.



Εικόνα 3.1.1 Τοποθεσία μετρήσεων από δορυφορική εικόνα

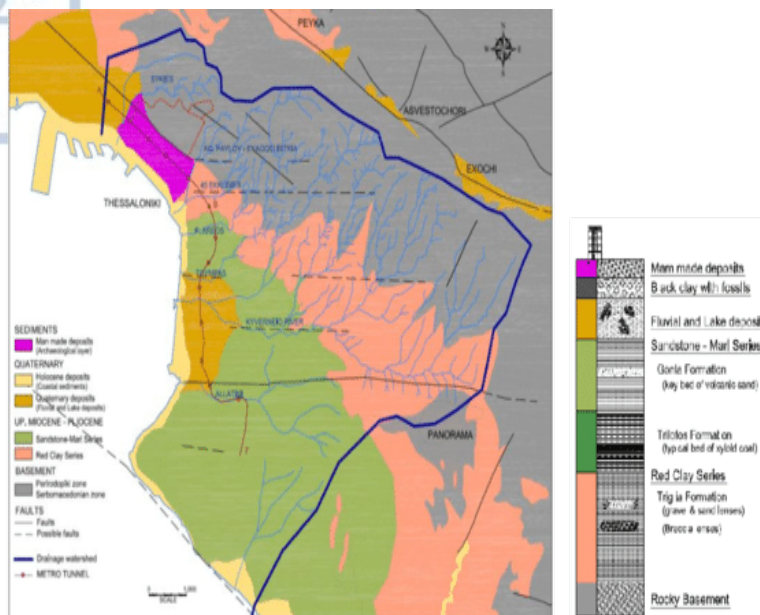
3.2 Γεωλογικά και Τεκτονικά στοιχεία της Θεσσαλονίκης

Η περιοχή της Θεσσαλονίκης ανήκει στην ζώνη της Παιονίας χαρακτηριστικό πέτρωμα της οποίας είναι οι Οφειόλιθοι. Πιο συγκεκριμένα η γεωλογικά η Θεσσαλονίκη χαρακτηρίζεται από την παρουσία των παρακάτω σχηματισμών από τα ανώτερα στα κατώτατα στρώματα (Μουντράκης et. al) :

- Ολοκαινικές αποθέσεις (**H**) οι οποίες χωρίζονται σε:
Παράκτιες αποθέσεις (άμμοι)
Προσχώσεις Πεδιάδων
Ερυθρές Άργιλοι
Ασβεστιτικά Συγκρίματα
Κροκαλοπαγή Βάσης
- Ιζηματογενής σειρά Ψαμμιτών, μαργών και ερυθρών αργίλων (**M4-Pli.I και M4-Pli.st.m**)
- Βραχώδες υπόβαθρο το οποίο αποτελείται από Μεσοζωικούς γνευσίους, πρασινοσχιστόλιθους της Περιοδοπικής ζώνης και επιγνευσίους της Σερβομακεδονικής μάζας. (**sch.gn**)



Εικόνα 3.2.1 Απόσπασμα από των γεωλογικό χάρτη, φύλλο Θεσσαλονίκη, κλίμακας 1:50000 (I.G.M.E.)



Εικόνα 3.2.2 Συνθετικός Γεωλογικός χάρτης (στοιχεία από χάρτες ΙΓΜΕ, Τεχνικογεωλογικό χάρτη Θεσσαλονίκης και γεωτρήσεις) της υδρολογικής λεκάνης Θεσσαλονίκης, όπου φαίνεται επίσης το υδρογραφικό δίκτυο, τα ρήγματα και ο άξονας του Μετρό Θεσσαλονίκης. Γεωλογία της Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου)

3.2.1 Γεωλογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

Η περιοχή της Βούλγαρη ανήκει στο ανατολικό κομμάτι της Θεσσαλονίκης και αποτελεί προέκταση της Εγνατίας οδού. Σύμφωνα με βιβλιογραφικά στοιχεία, χάρτες ΙΓΜΕ αλλά και στοιχεία Γεωτρήσεων η περιοχή της Εγνατίας στην οποία έχουν χτιστεί και τα τείχη της Θεσσαλονίκης αποτελείται από ένα στρώμα διάβρωσης Νεογενών σχηματισμών οι οποίοι χωρίζονται στους εξής:

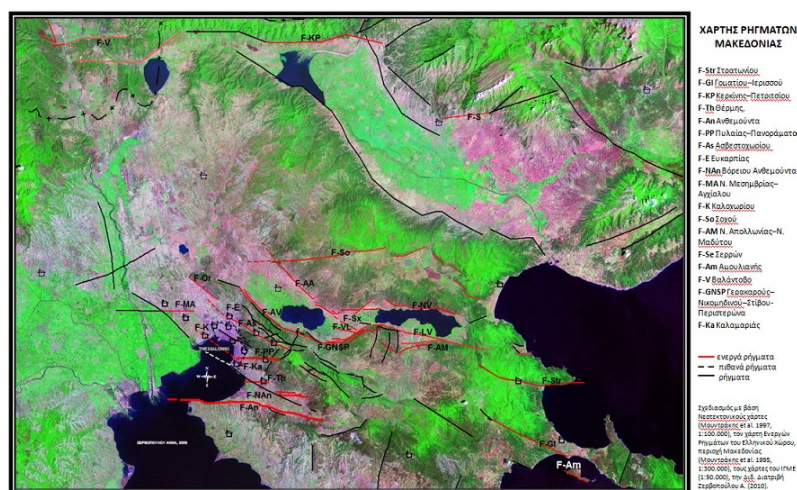
- Στα ανώτερα στρώματα Χαλαρά μη συμπαγοποιημένα ιζήματα Πλειστοκαινικής και Ολοκαινικής εποχής που χαρακτηρίζονται ως ποταμοχειμάρειες και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Η σύσταση αυτών είναι φακοί άμμων, αργίλων και χαλικών ενώ οι Τεταρτογενείς αποθέσεις αποτελούνται από μαλακές αργίλους και άμμους με χάλικες.
- Βαθύτερα υπάρχουν Νεογενείς αποθέσεις ηλικίας Αν. Μειόκαινο – Κ. Πλειστόκαινο Ερυθρών αργίλων. Οι αποθέσεις αυτές βρίσκονται σε επαφή με την Ψαμμιτομαργαική σειρά.
- Η Ψαμμιτομαργαική σειρά δείχνει αβαθές, ποταμολιμναίο περιβάλλον απόθεσης σχηματισμών το οποίο χαρακτηρίζεται από

εναλλαγές στρωμάτων και φακών με συνεκτικές άμμους και ψαμμίτες οι οποίοι έχουν την μορφή ημιβραχωδών πετρωμάτων καθώς και πολύ στιφρών ασβεστιτικών αργίλων.

- Στο υπόβαθρο κυριαρχούν οι πρασινοσχιστόλιθοι της Πειροδοπικής ζώνης (Μουντράκης 1985).

3.2.2 Τεκτονικά στοιχεία της περιοχής ενδιαφέροντος

Είναι γεγονός πως στην Θεσσαλονίκη κυριαρχεί η εφελκυστική τεκτονική με ρηξιγενείς δομές διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ οι οποίες είναι ενεργές κατά την χρονική περίοδο Πλειόκαινου-Κ. Πλειστόκαινου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το επιφανειακό κανονικό ρήγμα της Αγίου Δημητρίου (Μουντράκης et al 1997, Mercier et al 1989, Παυλίδης 1990, Tranos et al 2003). Τα νεοτεκτονικά ρήγματα πιο πρόσφατης γεωλογικής ηλικίας έχουν διεύθυνση Ανατολής –Δύσης και η δράση τους ενεργοποιείται κατά το Μ. Πλειστόκαινο μέχρι και σήμερα. Τέλος στην περιοχή της Θεσσαλονίκης ανήκει και νεοτεκτονικό ρήγμα μελέτης της περιοχής το οποίο είναι στην περιοχή της Βούλγαρη. Η παρακάτω φωτογραφία δείχνει τα περισσότερα γνωστά ρήγματα της Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου et.al)



Σχήμα 3.2.2. Ρήγματα της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης (F-Th Θέρμης, F-An Ανθεμόντα, F-PP Πυλαίας–Πανοράματος, F-As Ασβεστοχωρίου, F-E Ευκαρπίας, F-A Αεροδρομίου, F-K Καλοχωρίου, F-GNSP Γερακαρούς–Νοκμιδηνού–Στίβου–Περιστερώνα F-Ka Καλαμαριάς). Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται τα νεοτεκτονικά ρήγματα και με διακεκομμένες γραμμές τα πιθανά (Παυλίδης & Ζερβοπουλου 2004)

3.3 Συλλογή στοιχείων από τη μέτρηση υπαίθρου

Τον Μάρτιο του 2015 πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Βούλγαρη υπαίθρια άσκηση κατά την οποία έγιναν τρεις ευθύγραμμες τομογραφίες. Το σημείο μέτρησης είναι δίπλα στον κεντρικό δρόμο της περιοχής. Η επιλογή του σημείου έγινε με σκοπό τη διευκόλυνση των μετρήσεων χωρίς να δημιουργηθούν προβλήματα στο οδικό δίκτυο της πόλης (φωτογραφία 3.3.1 και 3.3.2). Για την διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν ειδικά ηλεκτρόδια « επαφής». Τα ηλεκτρόδια αποτελούνται από μια μεταλλική πλάκα και μια γέλη η οποία αντικαθιστά την ηλεκτρική σύζευξη με το έδαφος. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και λάσπη από μπετονίτη και αλατόνερο. Σκοπός είναι η αποφυγή εισαγωγής μεταλλικών σωματιδίων στο έδαφος. Η ηλεκτρική σύζευξη μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε επικαλυμμένους χώρους όχι όμως σε όλα τα ήδη εδάφους (πχ ασφαλτόστρωμα).

Έτσι επιλέχθηκε η μέθοδος μέτρησης με διάταξη διπόλου-διπόλου έτσι ώστε οι μετρήσεις να δώσουν όσο το δυνατόν περισσότερο αξιόπιστα αποτελέσματα. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι τα εξής :

- Επαρκές σήμα ως προς τον θόρυβο του περιβάλλοντος κατά την μέτρηση
- Ικανοποιητική διακριτική ικανότητα τόσο στις πλευρικές όσο και στις κατακόρυφες μεταβολές της ειδικής αντίστασης.

Μία σημαντική παράμετρος κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων είναι η απόσταση μεταξύ του διπόλου **AB** ηλεκτρικού ρεύματος η οποία πρέπει να παραμένει σταθερή. Επίσης κατά την όδευση, η οποία γίνεται συνεχόμενα αρκετές φορές, κάθε επόμενη φορά η απόσταση **na** (**n= ακέραιος αριθμός**) μεταξύ του διπόλου δυναμικού **MN** αυξάνεται. Η μέγιστη απόσταση αποτελεί συνάρτηση της μέγιστης έντασης που μπορεί να προσφέρει η πηγή καθώς και από την γεωλογία της περιοχής αλλά και το βάθος της έρευνας.

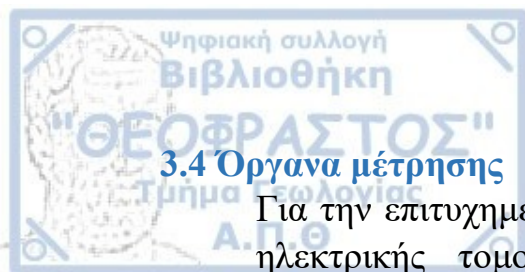
Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν 24 ηλεκτρόδια με απόσταση 5m μεταξύ τους.



Εικόνα 3.3.1 Τοποθεσία μετρήσεων από δορυφορική εικόνα από 1ο ηλεκτρόδιο στα ΝΑ μέχρι 24ο στα ΒΔ.



Εικόνα 3.3.2 Επιλογή σημείου μετρήσεων στη Βούλγαρη Θεσσαλονίκης



3.4 Όργανα μέτρησης

Για την επιτυχημένη συλλογή στοιχείων επιλέχθηκε ο εξοπλισμός ηλεκτρικής τομογραφίας ο οποίος ανήκει στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Πρόκειται για όργανα τελευταίας τεχνολογίας τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα πολυπλεξίας μεταξύ 48 ανεξάρτητων ηλεκτροδίων. Πιο συγκεκριμένα το όργανο που χρησιμοποιήθηκε είναι το SYSCAL-PRO της εταιρείας IRIS Instruments. Χαρακτηριστικό του είναι ότι έχει σχεδιαστεί για την πραγματοποίηση έρευνας με μεθόδους συνεχούς ρεύματος.

Τα πλεονεκτήματα του οργάνου αυτού είναι :

- Μετρήσεις υψηλής ακριβείας με την χρήση ψηφιακής υπέρθεσης για την ενίσχυση του σήματος και την προβολή σφάλματος
- Δυνατότητα καταγραφής 10 διαφορετικών διαφορών δυναμικού ,με αποτέλεσμα την ταχύτερη διαδικασία μέτρησης
- Μέγιστη τάση εξόδου 800 V και επιτυγχάνει τη δημιουργία ρεύματος με ένταση που τυπικά ξεπερνάει τα 1000 mA

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

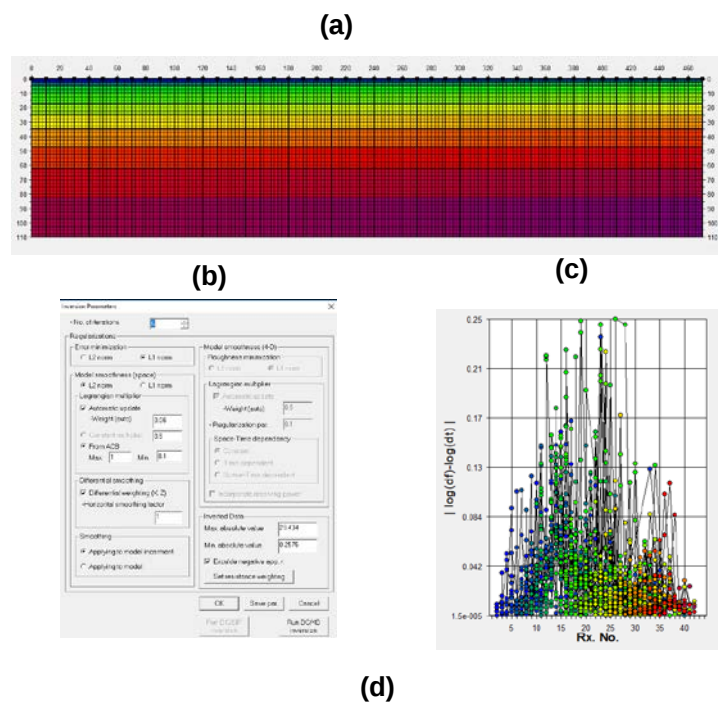
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Κυρίως επεξεργασία

Στα αποτελέσματα από την υπαίθρια άσκηση πραγματοποιήθηκε επεξεργασία με τη μέθοδο της δισδιάστατης αντιστροφής, χρησιμοποιώντας το λογισμικό DC-2Dpro (Tsourlos et al., 1998; Tsourlos and Ogilvy, 1999, Kim, 2010). Το παρόν λογισμικό είναι ένας αλγόριθμος με τον οποίο υπάρχει η δυνατότητα να αντιστραφούν τα γεωηλεκτρικά δεδομένα μη γραμμικά με την μέθοδο αντιστροφής του Occam (Constable, 1987). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος επαναλαμβάνεται πολλές συνεχόμενες φορές και κάθε μια φορά εφαρμόζει τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για την επίλυση του ευθέως προβλήματος. Στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας επεξεργασίας δεδομένων, ταξινομούνται οι παράμετροι ανάλογα με τη δομή τους (εικόνα 4.1). Στη συνέχεια εφαρμόζεται η μέθοδος της αντιστροφής τόσες φορές όσες χρειάζεται για να εξομαλυνθεί το σφάλμα στις μετρήσεις. Σε κάθε επανάληψη ακυρώνεται ένας αριθμός μετρήσεων ο οποίος προκύπτει με βάση το εκατοστιαίο ποσοστό τους σφάλματος μεταξύ των πραγματικών και των μη πραγματικών δεδομένων. Στα δεδομένα της παρούσας διπλωματικής εφαρμόστηκε επαναλαμβανόμενα η μέθοδος της δισδιάστατης αντιστροφής χρησιμοποιώντας όμως κάθε φορά λιγότερα δεδομένα καθώς έχουν υποστεί διαδοχικό φιλτράρισμα. Σκοπός ήταν να εξομαλυνθούν όσο το δυνατόν περισσότερο τα σφάλματα των αντιστροφών δηλαδή να γίνουν μικρότερα από 10%. Συνεπώς, τα τελικά αποτελέσματα είναι αρκετά αξιόπιστα.

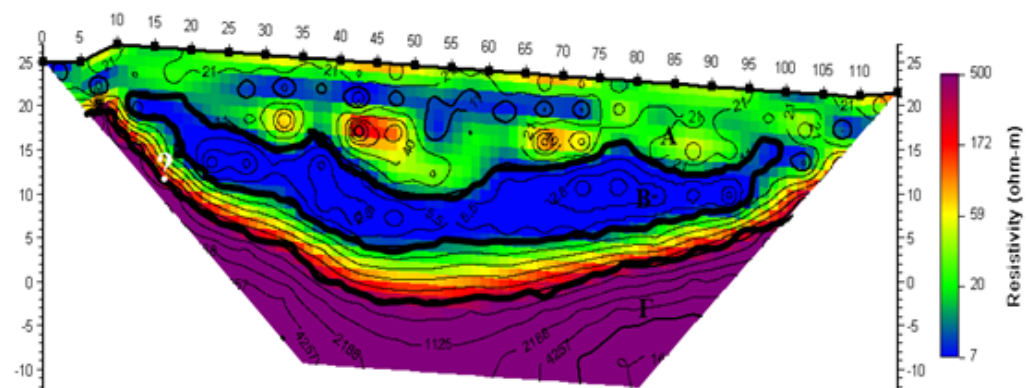
Στην εικόνα 4.1δ παρουσιάζεται το τελικό αποτέλεσμα μετά την προαναφερθείσα επεξεργασία. Στην ηλεκτρική τομή που παρουσιάζεται αποτυπώνονται τα πραγματικά βάθη σε απόλυτο υψόμετρο και οι πραγματικές αντιστάσεις οι οποίες και παρουσιάζονται με χρωματική κλίμακα «ουράνιου τόξου» με τα ψυχρά χρώματα (μπλε) να αντιστοιχούν σε χαμηλές αντιστάσεις (π.χ. αργιλικά υλικά) και θερμά χρώματα

(κόκκινα) να αντιστοιχούν σε σχετικά υψηλές αντιστάσεις (π.χ. σχηματισμός υποβάθρου).



NA

BA



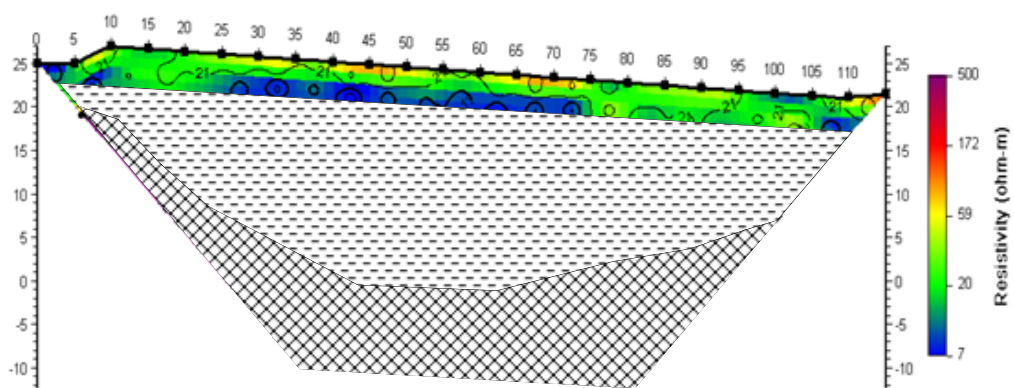
Εικόνα 4.1 (a) Δομή των παραμέτρων αντιστροφής για επιφανειακές μετρήσεις, (b) επιλογές αντιστροφής (c) έλεγχος ποιότητας μετρήσεων, (d) αποτέλεσμα αντιστροφής.

4.2 Ερμηνεία τομογραφίας

Από την μελέτη της τομής φαίνεται πως η περιοχή μελέτης αποτελείται από τρεις βασικούς σχηματισμούς (εικόνα 4.3)

- Το πρώτο στρώμα(Α) το οποίο συναντάται από τα 25 μέτρα μέχρι το βάθος των 15 μέτρων εμφανίζεται στην τομή με κίτρινο-πράσινη απόχρωση και αποτελείται από μεσόκοκκους σχηματισμούς οι οποίοι έχουν πάχος περίπου 10 μέτρων και μεσαίες τιμές αντιστάσεων με μέσο όρο 30 ohm-m.
- Το δεύτερο στρώμα(Β) εμφανίζεται στο βάθος των 15 μέτρων και έχει πάχος 10 μέτρων. Απεικονίζεται με μπλε απόχρωση καθώς πρόκειται πιθανώς για αργιλικές- μαργαικές αποθέσεις. Είναι δηλαδή λεπτόκοκκοι σχηματισμοί με εξαιρετικά χαμηλές αντιστάσεις με μέσο όρο 8 ohm-m.
- Το τρίτο στρώμα(Γ) το οποίο είναι και το υπόβαθρο εμφανίζει την υψηλότερη τιμή από την κλίμακα ηλεκτρικής αντίστασης με τιμές μεγαλύτερες από 1000 ohm-m και βρίσκεται στο βάθος των πέντε μέτρων.

Τέλος, η εμφάνιση του υπόβαθρου πλευρικά σε τόσο μεγάλο ύψος αυξάνει τις υποψίες μας για την ύπαρξη ρήγματος, αλλά τα δεδομένα μας δεν είναι επαρκή. Χρειάζονται επιπλέον μετρήσεις και δεδομένα ώστε να επαληθευτεί η παραπάνω υπόθεση.



Εικόνα4.3. Ηλεκτρική τομή της Βούλγαρη με τους τρεις σχηματισμούς που προκύπτουν από την ερμηνεία των δεδομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα στη περιοχή Βούλγαρη της Δυτικής Θεσσαλονίκης. Για την επίτευξη της έρευνας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Ηλεκτρικής Τομογραφίας και πιο συγκεκριμένα η μέθοδος διπόλου-διπόλου.

Σκοπός της εργασίας ήταν να εξεταστεί αν το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος επεκτείνεται μέχρι την Βούλγαρη. Από την επεξεργασία των δεδομένων προκύπτει ότι η περιοχή αποτελείται από τρία στρώματα σχηματισμών. Η μελέτη των αντιστάσεων της τομής βοηθά να οροθετηθεί η θέση και το πάχος των στρωμάτων. Συγκεκριμένα φαίνεται ότι επιφανειακά κυριαρχούν οι χαμηλές αντιστάσεις, ενώ στο βάθος που κυριαρχεί το υπόβαθρο η αντίσταση είναι πολύ μεγάλη.

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ειδικός αλγόριθμος αντιστροφής και δημιουργήθηκε ηλεκτρικό μοντέλο δυο διαστάσεων και αντίστοιχες ερμηνείες.

Από την ερμηνεία των δεδομένων δεν φαίνεται να υπάρχει συστηματική πλευρική διαφοροποίηση των αντιστάσεων που να μπορεί να συνδεθεί με την παρουσία ρήγματος στην συγκεκριμένη περιοχή (Βούλγαρη) παρά μόνο πιθανές ενδείξεις οι οποίες και απαιτούν περισσότερες μετρήσεις και δεδομένα ώστε να εξεταστούν.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Τορομανίδης Αλέξανδρος (Διπλωματική εργασία στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης με θέμα Εφαρμογή ηλεκτρικής τομογραφίας με ηλεκτρόδια επαφής Θεσσαλονίκη 2009)
- Ζερβοπούλου Άννα Παυλίδης Σπυρίδων (Διπλωματική εργασία στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης με θέμα Νεοτεκτονικά ρήγματα Πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης 2008)
- Παπαζάχος Β. Κ. (1986). Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 322 σελ.
- Constable, S. C., R. L. Parker, and C. G. Constable (1987). Occam's inversion - A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data, *Geophysics*, 52 (03), 289–300.
- Kim J.H., 2010. DC2DPro: 2D Inversion of ERT data. User's Manual. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Korea.
- Tsourlos P. 1995. Modelling interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data. Ph.D. Thesis, University of York.