

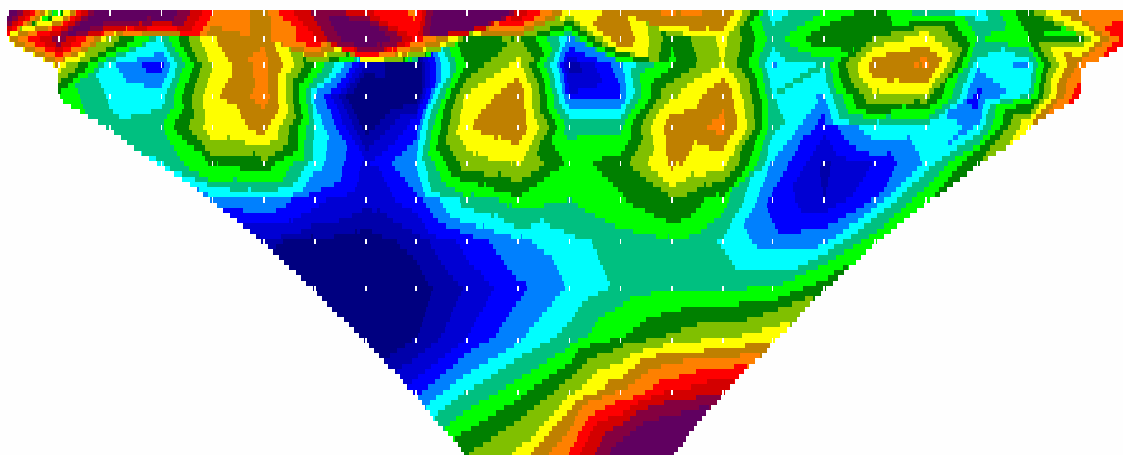


ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΜΑΘΙΟΥΔΑΚΗ ΜΑΡΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΟΥ Α.Π.Θ. ΓΙΑ ΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ.



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΤΣΟΥΡΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
Λέκτορας Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2005





ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κεφάλαιο 1	Σελ.
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5

Κεφάλαιο 2	
ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	
2.1. Βασικές αρχές των ηλεκτρικών διασκοπήσεων	7
2.2. Φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση	10
2.3. Διατάξεις ηλεκτροδίων	14
2.4. Μέθοδοι καθορισμού ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	19

Κεφάλαιο 3	
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	
3.1. Εξοπλισμός	23
3.2. Διασκόπηση σε αστικά περιβάλλοντα	25
3.3. Τομές	27
3.3.1. 1 ^η τομή	29
3.3.2. 2 ^η τομή	30
3.3.3. 3 ^η τομή	31

Κεφάλαιο 4	
ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
4.1. Μέθοδοι ερμηνείας μετρήσεων υπαίθρου	32
4.2. Ερμηνεία των ηλεκτρικών τομογραφιών	33
4.2.1. 1 ^η τομή	33
4.2.2. 2 ^η τομή	38
4.2.3. 3 ^η τομή	43
4.3. Συμπεράσματα	48

Κεφάλαιο 5	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

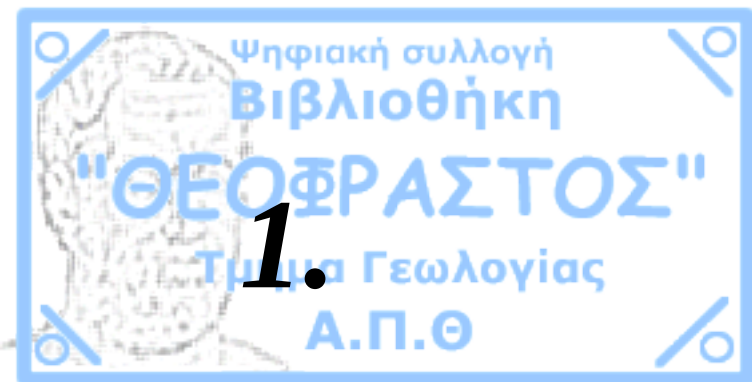


ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία ασχολείται με την εφαρμογή μετρήσεων ηλεκτρικής τομογραφίας στο χώρο του Α.Π.Θ. για τη χαρτογράφηση του γεωλογικού υποβάθρου.

Τα ερεθίσματα για την ενασχόληση μας με το αντικείμενο του συγκεκριμένου θέματος προήλθαν από το μάθημα 'Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης' το οποίο παρακολουθήσαμε κατά το Ζ' εξάμηνο των σπουδών μας .

Σ' αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Τσούρλο Παναγιώτη (Λέκτορα Α.Π.Θ.) για τις πολύτιμες συμβουλές και κατευθύνσεις που μας έδωσε. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμότατα την κ. Αθανασίου Ελένη (Γεωλόγος-Υποψήφια Διδάκτωρ) για την ουσιαστική βοήθεια που μας προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης εργασίας, τον κ. Μπογιατζή Πέτρο (Γεωλόγος-Μεταπτυχιακός φοιτητής) και τον κ. Καραούλη Μάριο (Γεωλόγος-Μεταπτυχιακός φοιτητής) για την βοήθεια τους στο πρακτικό μέρος της διπλωματικής. Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας στους γονείς μας και τις αδερφές μας για την ηθική και υλική συμπαράσταση κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης με μετρήσεις ηλεκτρικών ποσοτήτων στην επιφάνεια της Γης. Συνήθως μετράμε την ηλεκτρική τάση, όμως η ποσότητα που παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον και της οποίας επιδιώκεται ο καθορισμός της και η μελέτη της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Οι σπουδαιότερες ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης είναι η μέθοδος της ειδικής αντίστασης, η μέθοδος των ισοδυναμικών γραμμών, η μέθοδος της επαγόμενης πολικότητας, η μέθοδος του φυσικού δυναμικού και η μέθοδος των τελλουρικών ρευμάτων.

Παρακάτω θα ασχοληθούμε με τη μέθοδο της ηλεκτρικής αντίστασης η οποία είναι μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους γεωφυσικών ερευνών με πεδίο εφαρμογής τη χαρτογράφηση γεωλογικών στρωμάτων (Vandenberghe, 1982; Olesen et al., 1992; Griffiths and Barker, 1993), την ανεύρεση και χαρτογράφηση υδάτινων πόρων (Vandam, 1976; Rijo et al., 1977; Aubert et al., 1984; Olayinka and Barker, 1990), την τεχνική γεωλογία για την εύρεση του βάθους του μητρικού πετρώματος σε τοποθεσίες κατασκευής τεχνητών φραγμάτων (Habberjam, 1975; Smith, 1986; Butler and Llopis, 1990; Dahlin et al.,

1994), την ανίχνευση γεωθερμικών πεδίων (Wright et al., 1985; Thanassoulas and Tsokas, 1987), τον εντοπισμό μολυσμένων υπόγειων υδάτων (Rodgers and Kean, 1980) και διαρροών αποβλήτων (Van et al., 1992) στην περιβαλλοντική γεωλογία και την εύρεση στόχων αρχαιολογικού ενδιαφέροντος (Aitken, 1974; Hesse et al., 1986; Roka and Tsokas, 1987; Orlando et al., 1987; Szymanski et al., 1992).

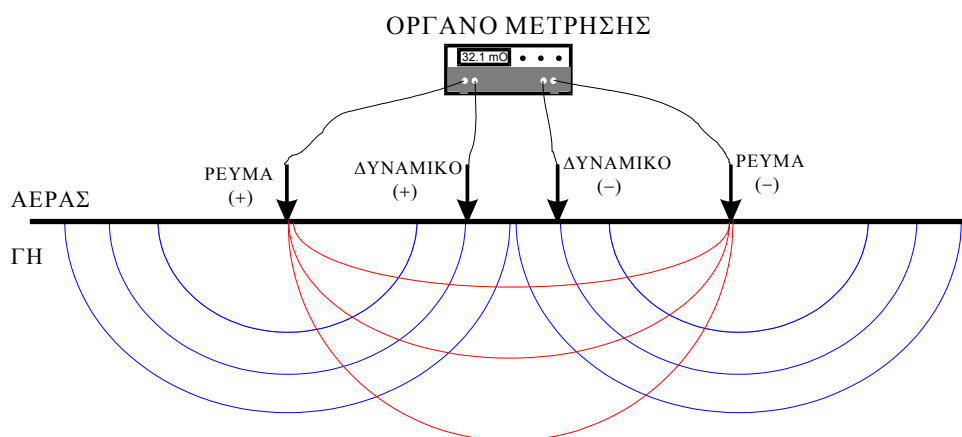
Με τη μέθοδο αυτή καθορίζεται η γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους και έμμεσα να λαμβάνονται πληροφορίες για την γεωλογική δομή του υπεδάφους. Παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες γεωφυσικές μεθόδους όπως χαμηλό κόστος εξοπλισμού, χαμηλό λειτουργικό κόστος, γρήγορες μετρήσεις, πλούσια βιβλιογραφία και λογισμικού και πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους στο χώρο του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και η εύρεση του υποβάθρου, το οποίο βυθίζεται κάτω από τα νεότερα ιζήματα, λίγα μέτρα βορειότερα από τη θέση πραγματοποίησης των ηλεκτρικών μετρήσεων.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ

Οι μέθοδοι που θα εφαρμόσουμε ανήκουν στην κατηγορία του τεχνητά παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος δια μέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων (Σχήμα 1.). Σε ένα δεύτερο ζεύγος μετράται η πτώση τάσης που προκαλείται. Η ηλεκτρική αντίσταση που υπολογίζεται σαν πηλίκο των δύο αυτών μεγεθών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ .

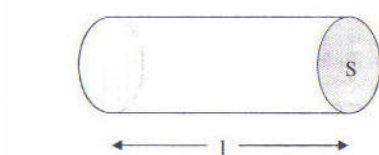


Σχήμα 1. Η βασική διάταξη γεωηλεκτρικών μετρήσεων.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ ενός στερεού σώματος κυλινδρικού σχήματος, διατομής S και μήκους l , που έχει ηλεκτρική αντίσταση R (Σχήμα 2.), ορίζεται από τη σχέση:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}$$

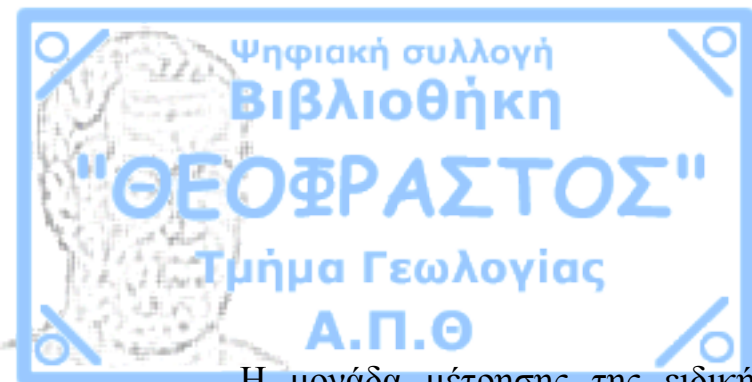
Οι μονάδες μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) είναι το 1 Ohm·m.



Σχήμα 2. Γεωμετρική απεικόνιση του ορισμού της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών. Οι τιμές της κυμαίνονται από 10^{-6} Ohm·m σε ορισμένα ορυκτά, όπως είναι ο γραφίτης, μέχρι 10^{15} Ohm·m σε ορισμένα ξηρά χαλαζιακά πετρώματα. Καλοί αγωγοί θεωρούνται τα πετρώματα και ορυκτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 10^{-6} και 10^{-1} Ohm·m και κακοί αγωγοί αυτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 10^8 και 10^{15} Ohm·m.

Η συμπεριφορά της Γης στη διέλευση του ρεύματος περιγράφεται και από έναν άλλο όρο, την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα σ , η οποία είναι το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και αντικατοπτρίζει την ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα στο υπέδαφος. Δίνεται από τον τύπο:



$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι το siemens ανά μέτρο(S/m).

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών του υπεδάφους κατά κύριο λόγο εξαρτάται από την ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα, δηλαδή το ρεύμα διαρρέει τους γεωλογικούς σχηματισμούς μέσω των ιόντων που είναι διαλυμένα στο νερό που βρίσκεται στους πόρους τους. Ειδικότερα εξαρτάται από:

- Τις υδρολογικές-υδρογεωλογικές συνθήκες
- Τη χημική σύσταση του νερού
- Το μέγεθος των πόρων(πορώδες) των σχηματισμών
- Τις πιθανές διαρρήξεις-διακλάσεις-ρήγματα των σχηματισμών
- Τη θερμοκρασία και την πίεση

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.) παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά πετρώματα και το εύρος τιμών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που έχουν.

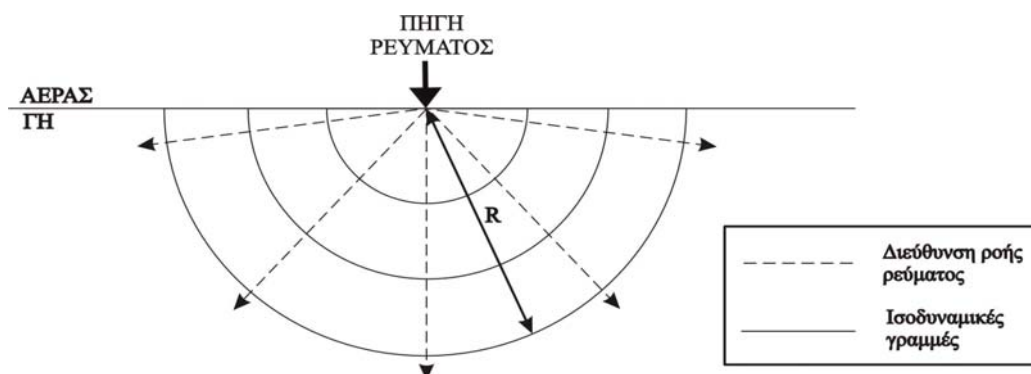
ΥΛΙΚΟ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
ΑΕΡΑΣ	0
ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ	3×10^{-1}
ΓΑΛΗΝΙΤΗΣ	2×10^{-3}
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	100 - 1×10^6
ΓΑΒΡΟΣ	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	50 - 1×10^7
ΨΑΜΜΙΤΗΣ	1 - 1×10^8
ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ	20 - 2×10^3
ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	100 - 10^4
ΑΜΜΟΣ	1 - 1.000
ΑΡΓΙΛΟΣ	1 - 100
ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ	0.5 - 300
ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	0.2

Πίνακας 1.

2.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Η Γη και ιδιαίτερα τα ανώτερα στρώματα του φλοιού της είναι ανομοιογενή. Όμως για να κατανοήσουμε τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στα στρώματα αυτά πρέπει πρώτα να μελετήσουμε τη ροή αυτή μέσα σε ομογενές υπέδαφος. (Παπαζάχος, 1986)

Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι εισάγουμε θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο (σημειακή πηγή) μέσα στο έδαφος, όπου είναι ομογενές και ισότροπο, τότε θα έχουμε ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη Γη. Το ρεύμα αυτό ρέει ακτινικά διερχόμενο από ένα ημισφαίριο εμβαδού $S=2\pi r^2$, όπου r είναι η απόσταση της περιφέρειας του ημισφαιρίου από το σημείο εισαγωγής του ρεύματος. Οι ισοδυναμικές επιφάνειες έχουν σχήμα ημισφαιρίου και οι γραμμές του ρεύματος είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες (Σχήμα 3.). Επειδή μάλιστα ο αέρας έχει πολύ υψηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση (πρακτικά άπειρη σε σχέση με το έδαφος), μπορούμε να θεωρήσουμε χωρίς κίνδυνο σφάλματος, ότι το ρεύμα διαδίδεται μόνο στο έδαφος κάτω από το ηλεκτρόδιο σχηματίζοντας ένα συνεχώς διογκούμενο ημισφαίριο με κέντρο το ηλεκτρόδιο.



Σχήμα 3. Οι ισοδυναμικές γραμμές και η κατεύθυνση του ρεύματος για μια σημειακή πηγή.

Η πυκνότητα J του ρεύματος που διαρρέει κάθετα το ημισφαίριο δίνεται από τη σχέση:

$$J = \frac{i}{S}$$

όπου J = πυκνότητα ρεύματος

i = ένταση ρεύματος

S = εμβαδόν ημισφαιρίου

Σύμφωνα με τον γενικευμένο νόμο του Ohm, η πυκνότητα του ρεύματος συνδέεται με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου με την σχέση:

$$J = -\rho \cdot E$$

όπου J = πυκνότητα ρεύματος

E = ένταση ηλεκτρικού πεδίου

ρ = ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Όμως ισχύει ότι:

$$E = \frac{dV}{dr}$$

όπου E = ένταση ηλεκτρικού πεδίου

V = δυναμικό στην επιφάνεια του ημισφαιρίου

r = ακτίνα ημισφαιρίου

Συνεπώς η πυκνότητα ρεύματος σε απόσταση r από το ηλεκτρόδιο δίνεται από τη σχέση:

$$J = -\rho \frac{dV}{dr}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτουν

$$dV = -\frac{\rho \cdot i}{S} \cdot dr \quad \text{και} \quad V = -\rho \cdot i \int_{\infty}^r \frac{dr}{S}$$

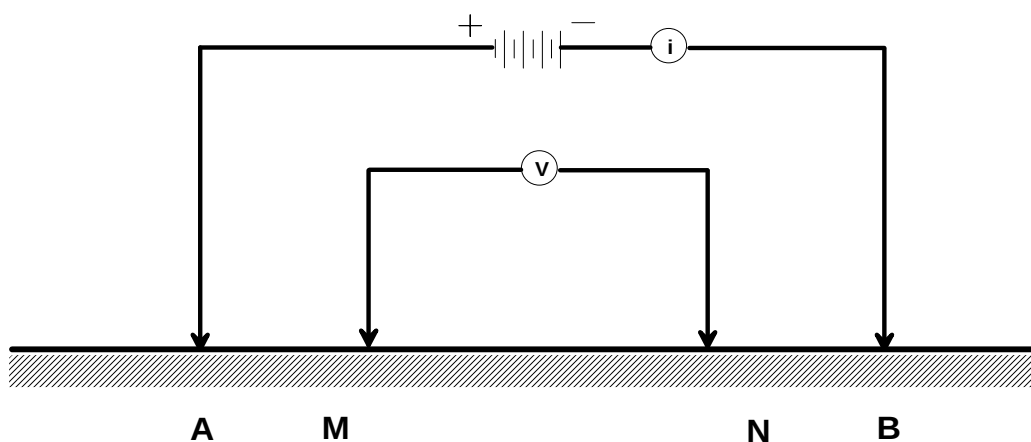
Βάζοντας το εμβαδόν της μισής σφαίρας $S=2\pi r^2$ στην τελευταία σχέση και ολοκληρώνοντας βρίσκουμε το δυναμικό σε τυχαία απόσταση r από το ηλεκτρόδιο και δίνεται από τη σχέση:

$$V = \frac{\rho \cdot i}{2\pi r}$$

Όταν ο πόλος δεν βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης αλλά μέσα στο ομογενές έδαφος τότε η διάδοση του ρεύματος γίνεται προς όλες τις κατευθύνσεις (σφαιρικά) και το δυναμικό δίνεται από τη σχέση

$$V = \frac{\rho \cdot i}{4\pi r}$$

Στην πράξη χρειάζονται τέσσερα ηλεκτρόδια για να γίνει μέτρηση της αντίστασης ενός ημιχώρου. Τα δύο από αυτά χρησιμεύουν στην εισαγωγή και κυκλοφορία του ρεύματος και τα ονομάζουμε A και B, ενώ με τη βοήθεια των άλλων μετράμε τη διαφορά δυναμικού στα αντίστοιχα σημεία και τα ονομάζουμε M και N. Έστω ότι AM είναι η απόσταση του M από το θετικό ηλεκτρόδιο A, BM από το αρνητικό B και AN και BN οι αντίστοιχες αποστάσεις του N από τα ηλεκτρόδια του ρεύματος (Σχήμα 4.).



Σχήμα 4. Διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων για τη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού.

Τότε σύμφωνα με τη σχέση $V = \frac{\rho \cdot i}{2\pi r}$, η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων Α και Β για έναν ομογενή ημιχώρο με αντίσταση ρ και για μια διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων είναι:

$$\Delta V = \frac{\rho \cdot i}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται για τη μελέτη των διαφόρων διατάξεων. Επομένως η αντίσταση του ημιχώρου μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$\rho = \frac{2\pi}{K} \cdot \frac{\Delta V}{i}$$

όπου K είναι ο παράγοντας $\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$, ο οποίος λέγεται γεωμετρικός παράγοντας και εξαρτάται από τη διάταξη των τεσσάρων ηλεκτροδίων.

Στην περίπτωση ομογενούς και ισότροπου εδάφους και για οποιαδήποτε διάταξη ηλεκτροδίου, όταν ο γεωμετρικός παράγοντας πολλαπλασιάζεται με τη μετρούμενη αντίσταση, το αποτέλεσμα είναι η πραγματική αντίσταση του εδάφους.

Στην περίπτωση μη ομογενούς και ισότροπου χώρου η σχέση $\rho = \frac{2\pi}{K} \cdot \frac{\Delta V}{i}$, ορίζει μια παράμετρο που ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση του ημιχώρου ρ_a . Η παράμετρος αυτή εισάγεται για να ληφθεί υπόψη η γεωμετρία της μέτρησης, οι θέσεις δηλαδή των ηλεκτροδίων. Η φαινόμενη αντίσταση δεν είναι η πραγματική αντίσταση του υπεδάφους, αλλά μια φαινόμενη τιμή η οποία είναι η αντίσταση που θα είχε το έδαφος αν ήταν γεωηλεκτρικά ομογενές. Η τιμή αυτή ταυτίζεται με την πραγματική αντίσταση όταν πρόκειται για ομογενή $\Gamma\eta$.

Στην πράξη η φαινόμενη αντίσταση ρ_a αποτελεί ένα είδος μέσου όρου των ηλεκτρικών αντιστάσεων του ανομοιογενούς υπεδάφους. Επομένως δεν δίνει ακριβώς την πραγματική αλλά μια ‘παραμορφωμένη εικόνα’ της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους. Για το λόγο αυτό η απευθείας χρήση των μετρήσεων φαινόμενης αντίστασης για την εξαγωγή συμπερασμάτων είναι παρακινδυνευμένη. Η πραγματική αντίσταση μπορεί να βρεθεί μόνο μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Ο καθορισμός της πραγματικής αντίστασης από τις τιμές της φαινόμενης αντίστασης είναι η λύση του αντίστροφου προβλήματος.

2.3. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατά τους οποίους διατάσσονται τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού. Οι πιο γνωστές από τις διατάξεις αυτές φαίνονται στο σχήμα 5 και είναι η ‘διάταξη Wenner’, η ‘διάταξη Schlumberger’, η ‘διάταξη διπόλου-διπόλου’, η ‘διάταξη πόλου-διπόλου’ και η ‘διάταξη πόλου-πόλου’. Το κύριο χαρακτηριστικό μιας διάταξης είναι ο γεωμετρικός παράγοντας, ο οποίος σχετίζεται μονοσήμαντα με τις σχετικές αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων (Tsourlos, 1995).

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους διαφέρουν ως προς τη γεωμετρία τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η κάθε μια από αυτές να έχει διαφορετικές δυνατότητες ανίχνευσης μεταβολών της αντίστασης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Έτσι, λόγου χάρη, οι διατάξεις Wenner και Schlumberger είναι περισσότερο ευαίσθητες μεταβολές της αντίστασης με το βάθος και συνεπώς είναι πιο χρήσιμες σε προβλήματα στρωματογραφίας. Από την άλλη, οι διατάξεις διπόλου-διπόλου και

πόλου-διπόλου είναι περισσότερο ευαίσθητες σε πλευρικές μεταβολές της αντίστασης.

Επιπλέον, οι διατάξεις Wenner και Schlumberger έχουν μικρότερο βάθος διείσδυσης, αλλά και σαφώς μεγαλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο σε σύγκριση με τις διατάξεις διπόλου-διπόλου και πόλου-διπόλου. Επίσης, η διάταξη Wenner καλύπτει μια πολύ μικρή περιοχή έρευνας σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις. Η διάταξη πόλου-πόλου έχει το μεγαλύτερο βάθος διείσδυσης και καλύπτει τη μεγαλύτερη περιοχή έρευνας σε σύγκριση με τις προηγούμενες διατάξεις, αλλά έχει πολύ μικρό λόγο σήματος προς θόρυβο. Στη συνέχεια φαίνεται ένας ενδεικτικός πίνακας αξιολόγησης κάποιων διατάξεων.

Τύπος διάταξης	Λόγος Σήματος / Θόρυβο	Ανίχνευση πλευρικών μεταβολών	Ανίχνευση εις βάθος μεταβολών
Wenner	1	5	1
Schlumberger	2	4	1
Dipole-Dipole	5	2	2
Pole-Dipole	4	3	2
Gradient	3	1	5
Κωδικός: 1=βέλτιστη 5=χειρίστη			

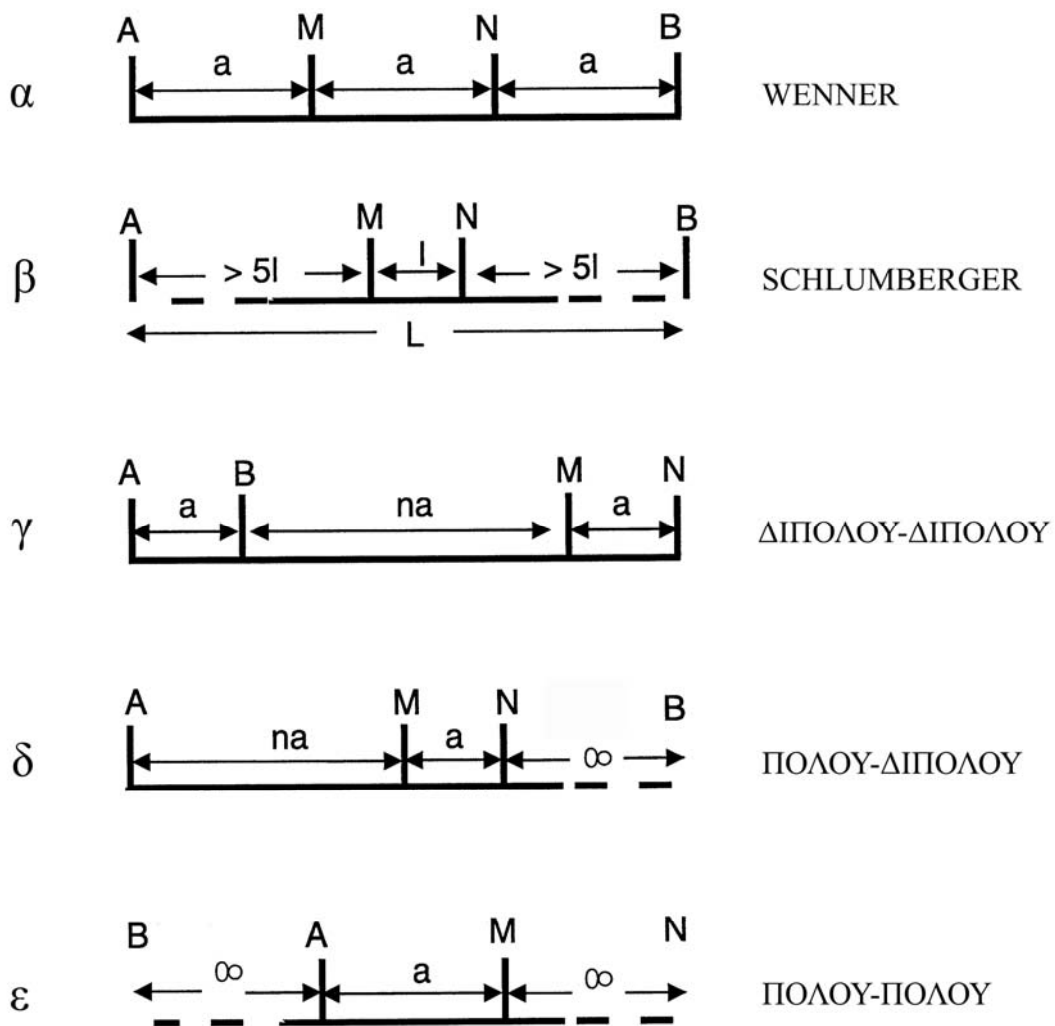
Πίνακας 2. Αξιολόγηση διατάξεων μέτρησης της αντίστασης (κατά Ward, 1990).

ΔΙΑΤΑΞΗ WENNER

Κατά τη διάταξη αυτή λαμβάνονται $AM=MN=BN=a$, δηλαδή, τα ηλεκτρόδια δυναμικού M, N διατάσσονται συμμετρικά σε ορισμένη γραμμή (Σχήμα 5.α.). Από τον παράγοντα $K = \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$, προκύπτει ότι $K = \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) = \frac{1}{a}$ και επομένως η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από την σχέση:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{i}$$

Η διάταξη Wenner, παρά τη γεωμετρική της απλότητα, παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων κυρίως γιατί πρέπει να μετακινούμε όλα τα ηλεκτρόδια κατά την πραγματοποίηση νέας μέτρησης και έχει επίσης η διάταξη αυτή και ορισμένα μειονεκτήματα κατά την ερμηνεία των παρατηρήσεων για θεωρητικούς λόγους.



Σχήμα 5. Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες διατάξεις ηλεκτροδίων (Tsourlos, 1995).

Η διάταξη αυτή είναι παρόμοια με την διάταξη Wenner, αλλά τα ηλεκτρόδια ρεύματος είναι τοποθετημένα σε απόσταση πολύ μεγαλύτερη από την απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού (Σχήμα 5.β.). Αν η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος είναι $2L$, η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι $2l$ και ισχύει $L \geq 10l$, τότε η φαινόμενη αντίσταση είναι:

$$\rho_{\alpha} = \frac{\pi L^2}{2l} \cdot \frac{\Delta V}{i}$$

Η διάταξη Schlumberger εφαρμόζεται περισσότερο από όλες τις άλλες διατάξεις, επειδή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως είναι το ότι απαιτείται η μεταβολή της απόστασης μόνο των δύο ηλεκτροδίων κατά την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση, το ότι η χρησιμοποίηση σταθερού διπόλου τάσης περιορίζει ανεπιθύμητες επιδράσεις στις μετρήσεις που προκαλούνται από γεωλογικές πλευρικές ασυνέχειες και ότι το μεγαλύτερο μέρος του διαθέσιμου σήμερα βοηθητικού υλικού (καμπύλες, προγράμματα H/Y) για την ερμηνεία των παρατηρήσεων έγινε για την εφαρμογή σε διάταξη Schlumberger.

ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ

Στη διάταξη αυτή τα ηλεκτρόδια ρεύματος βρίσκονται σε μικρή απόσταση, $AB=a$, μεταξύ τους, αλλά είναι απομακρυσμένα από τα ηλεκτρόδια δυναμικού, δηλαδή, απέχουν από αυτά σημαντική απόσταση, $BN=na$, ενώ τα ηλεκτρόδια δυναμικού απέχουν, συνήθως, την ίδια μικρή απόσταση, $MN=a$. (Σχήμα 5.γ.). Η φαινόμενη αντίσταση για αυτή την διάταξη είναι:

$$\rho_{\alpha} = -\pi \cdot n \cdot (n+1) \cdot (n+2)a \cdot \frac{\Delta V}{i}$$

Η διάταξη αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι η απόσταση na , μεταξύ του διπόλου ρεύματος και του διπόλου δυναμικού μπορεί να αυξηθεί σημαντικά και περιορίζεται μόνο από τον εδαφικό θόρυβο και από την δυνατότητα των οργάνων να καταγράψουν την τάση και όχι από την απαίτηση για μεγάλα μήκη καλωδίων, όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις των διατάξεων Wenner και Schlumberger. Οι μετρήσεις κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής πραγματοποιούνται με αύξηση του n κατά βήματα.

ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ

Τα ηλεκτρόδια δυναμικού βρίσκονται μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος, αλλά ένα από τα ηλεκτρόδια ρεύματος, λόγω χάρη το B , είναι τοποθετημένο σε απόσταση πολύ μεγαλύτερη από τα υπόλοιπα τρία ηλεκτρόδια (Σχήμα 5.δ.). Με τον τρόπο αυτό, οι αποστάσεις BM και BN θεωρούνται άπειρες και συνεπώς οι όροι $1/BM$ και $1/BN$ είναι πρακτικά μηδέν. Αν η απόσταση MN είναι ίση με a και η απόσταση AM ίση με na , τότε η φαινόμενη αντίσταση είναι:

$$\rho_a = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot (n+1) \cdot a \cdot \frac{\Delta V}{i}$$

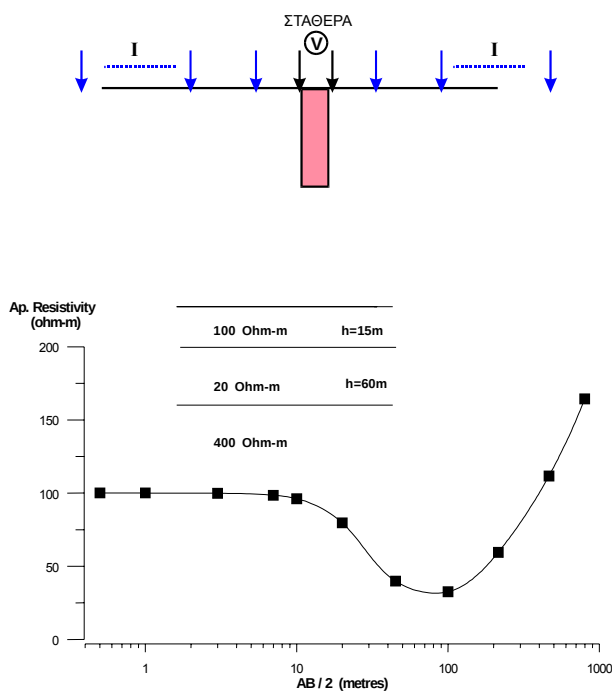
ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΟΛΟΥ-ΠΟΛΟΥ

Η διάταξη αυτή αποτελεί μια επιπλέον διαφοροποίηση της διάταξης πόλου-διπόλου και λαμβάνεται με μετακίνηση και ενός εκ των ηλεκτροδίων δυναμικού, λόγω χάρη του N , σε άπειρη απόσταση από τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια A, M (Σχήμα 5.ε.). Επομένως, οι αποστάσεις που θεωρούνται άπειρες είναι οι BM , BN και AN . Αν $AM=a$, ο γεωμετρικός παράγοντας γίνεται $K=1/a$, που είναι ίδιος με τον γεωμετρικό παράγοντα της διάταξης Wenner και η φαινόμενη αντίσταση δίνεται από τη σχέση: $\rho_a = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \frac{\Delta V}{i}$

2.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

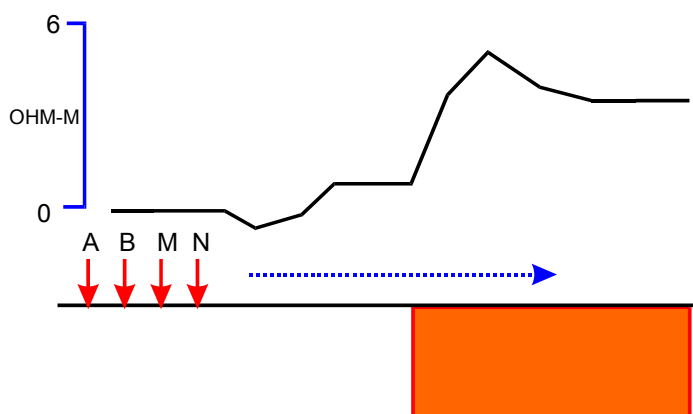
Τρεις μέθοδοι έρευνας χρησιμοποιούνται συνήθως για τον καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η βυθοσκόπηση, η όδευση-οριζοντιογραφία και η διδιάστατη διασκόπηση-ηλεκτρική τομογραφία.

Με τη μέθοδο της βυθοσκόπησης (sounding) λαμβάνεται μια σειρά μετρήσεων με συνεχώς αυξανόμενες τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος, ενώ τα ηλεκτρόδια δυναμικού είναι σταθερά. Με τη συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνεται και το βάθος διείσδυσης του ρεύματος. Επίσης με την αύξηση του βάθους μειώνεται η διακριτική ικανότητα. Στην περίπτωση των βυθοσκοπήσεων χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η διάταξη μέτρησης Schlumberger. Κλασσικό πεδίο εφαρμογής της μεθόδου αυτής αποτελεί η έρευνα για τον εντοπισμό των υδροφόρων σχηματισμών (Σχήμα 6.).



Σχήμα 6. Μέθοδος βυθοσκόπησης.

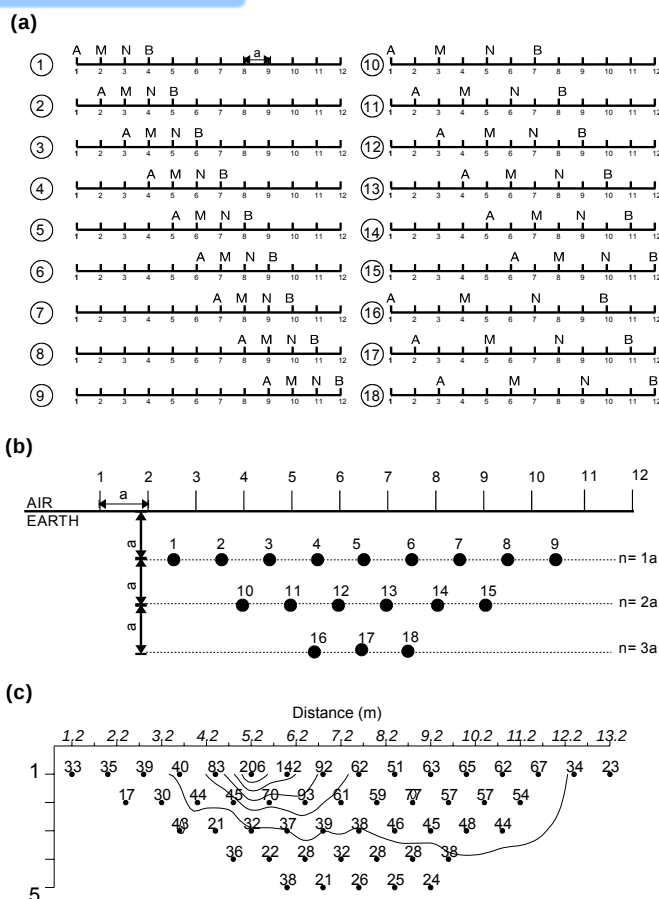
Η μέθοδος της όδευσης-οριζοντιογραφίας (profiling) χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό πλευρικών μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αντίθετα με τη βυθοσκόπηση, οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων παραμένουν σταθερές και λαμβάνεται μια σειρά μετρήσεων με πλευρική μετακίνηση της διάταξης των ηλεκτροδίων με σταθερό βήμα. Έτσι χαρτογραφούνται οι μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε σταθερό βάθος σε μια έκταση ή ευθεία και εντοπίζονται οι δομές που παρουσιάζουν διαφορετική αντίσταση με το περιβάλλον τους. Χρησιμοποιούνται κυρίως οι διατάξεις Wenner, διπόλου-διπόλου και πόλου-διπόλου. Στη Γεωλογία χρησιμοποιείται στον εντοπισμό ρηγμάτων και αποτελεί κλασσική μέθοδο στην Αρχαιομετρία (Σχήμα 7.).



Σχήμα 7. Μέθοδος όδευσης-οριζοντιογραφίας.

Η μέθοδος της διδιάστατης διασκόπησης-ηλεκτρικής τομογραφίας είναι ένας συνδυασμός των μεθόδων της βυθοσκόπησης και της όδευσης και είναι δυνατόν να πάρουμε πληροφορίες τόσο για την πλευρική όσο και για την εις βάθος μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αυτό γίνεται με διαδοχικές οριζοντιογραφίες ή συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις επάνω από την ίδια περιοχή με συνεχή αύξηση της

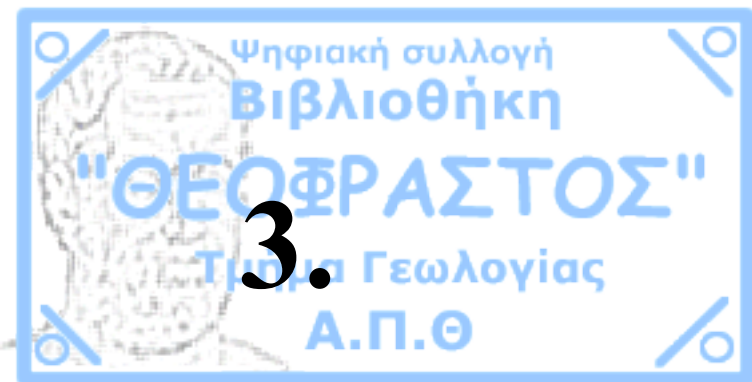
απόστασης των ηλεκτροδίων. Με τον τρόπο αυτό παίρνουμε μια διδιάστατη εικόνα της ερευνηθείσας περιοχής (Σχήμα 8.).



Σχήμα 8. Μέθοδος διδιάστατης διασκόπησης.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής τομογραφίας είναι ότι σε σύγκριση με άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας μεγάλος αριθμός μετρήσεων. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Όμως λόγω του μεγάλου αριθμού μετρήσεων είναι δύσκολο να ληφθούν με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων και γι' αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών.

Πρόδρομος της ηλεκτρικής τομογραφίας είναι η μέθοδος της 'ψευδοτομής'. Στην διαδικασία της 'ψευδοτομής' μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων όπως διπόλου-διπόλου, Wenner, πόλου-διπόλου. Η ηλεκτρική τομογραφία όμως είναι πιο γενικευμένος όρος που περιλαμβάνει και μετρήσεις με μη συμβατικές διατάξεις καθώς επίσης και μετρήσεις που λαμβάνονται με ηλεκτρόδια σε γεωτρήσεις.



ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

3.1. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Για την εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου χρησιμοποιήθηκε το όργανο SYSCAL (V11.4++) της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS. Πρόκειται για πλήρως αυτοματοποιημένο όργανο μέτρησης αντίστασης σχεδιασμένο για έρευνα με μεθόδους συνεχούς ρεύματος. Ο αυτοματοποιημένος έλεγχος της αντιστάθμισης του φυσικού δυναμικού, η ψηφιακή υπέρθεση για την ενίσχυση του σήματος και η προβολή του σφάλματος κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων που προσφέρονται από το συγκεκριμένο όργανο που εξασφαλίζουν μετρήσεις υψηλής ακρίβειας.

Το συγκεκριμένο όργανο έχει μέγιστη ισχύ εξόδου 100VA και επιτυγχάνει τη δημιουργία ρεύματος με ένταση που φτάνει τα 500mA, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις επιτρέπει και σημαντικά μεγαλύτερες εντάσεις ηλεκτρικού ρεύματος, έως και 1200mA. Το όργανο μέτρησης χρησιμοποιεί τόσο εσωτερικές όσο και εξωτερικές μπαταρίες (Φωτογραφία 1.).



Φωτογραφία 1. Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στο ύπαιθρο με όργανο λήψης ηλεκτρικών μετρήσεων SYSCAL (V11.4++) της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS.

Για τη λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν σε θέσεις κατάλληλα πολύκλινα καλώδια 24 θέσεων τα οποία κατασκευάστηκαν από χαλκό. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν ειδικά χάλκινα ηλεκτρόδια, υψηλής μηχανικής αντοχής και υψηλής αγωγιμότητας (Φωτογραφία 2.).



Φωτογραφία 2. Τοποθέτηση χάλκινων ηλεκτροδίων.

3.2. ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ

Η ραγδαία ανάπτυξη και επέκταση των αστικών κέντρων και η κατασκευή μικρών και μεγάλων τεχνικών έργων υποδομής δημιούργησε την ανάγκη γνώσης της δομής και σύστασης του υπεδάφους στις περιοχές αυτές. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μπορούν να εφαρμοστούν για την διερεύνηση του υπεδάφους, όπως εκσκαφές, γεωτρήσεις και γεωφυσικές μέθοδοι διασκόπησης.

Από αυτές οι εκσκαφές είναι αδύνατο να υλοποιηθούν σε αστικά περιβάλλοντα γιατί προϋποθέτουν την καταστροφή των ήδη υπαρχόντων δομών και επιπλέον είναι ακριβές. Οι γεωτρήσεις είναι και αυτές ακριβές και δίνουν μόνο σημειακές απεικονίσεις του υπεδάφους, ενώ για την υπόλοιπη περιοχή μελέτης μόνο υποθέσεις μπορούν να γίνουν για τη δομή και τη σύσταση του υπεδάφους.

Από τις γεωφυσικές μεθόδους διασκόπησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ηλεκτρική τομογραφία, η οποία αποτελεί μια φθηνή και εύχρηστη μέθοδο διασκόπησης που δίνει αξιόπιστες και εύκολα ερμηνεύσιμες απεικονίσεις της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους.

Κατά την διαδικασία αντιστροφής φαινόμενων αντιστάσεων που μετρήθηκαν σε αστικά περιβάλλοντα με πολύπλοκες υπεδάφειες δομές υπεισέρχονται σφάλματα που οφείλονται στην αδυναμία του αλγορίθμου να προσεγγίσει τη δομή του υπεδάφους με ένα απλό μοντέλο. Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζεται στη λήψη μετρήσεων σε αστικά περιβάλλοντα είναι η υψηλή στάθμη θορύβου που δίνει ιδιαίτερα θορυβώδεις μετρήσεις και η οποία οφείλεται κυρίως στα υπάρχοντα έργα υποδομής (αγωγοί ύδρευσης-αποχέτευσης-φυσικού αερίου, φρεάτια, τούνελ), στα ηλεκτροφόρα καλώδια και στα απορρίμματα υλικών κατασκευής των οικοδομών και τεχνικών έργων. Ο θόρυβος αυτός είναι τυχαίος και συνεπώς μπορούν εύκολα να εντοπιστούν οι μετρήσεις που

έχουν επηρεαστεί και να αφαιρεθούν από το αρχείο των δεδομένων. Ένα ακόμη μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι κατά την εφαρμογή της είναι απαραίτητο να καρφωθούν μεταλλικά ηλεκτρόδια στο έδαφος της περιοχής μελέτης σε βάθος 20cm περίπου, γεγονός που καθιστά αδύνατη την εφαρμογή τους σε περιβάλλοντα όπου υπάρχει τσιμέντο, μάρμαρο, ασφαλτος κ.τ.λ. Βέβαια, πλέον είναι δυνατή η χρήση ηλεκτροδίων επαφής σε περιοχές όπου δεν μπορούν να εφαρμοστούν τα κανονικά ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια επαφής αποτελούνται από ένα τετράγωνο πλακώδες κομμάτι χαλκού που εφάπτεται στην επιφάνεια της περιοχής μελέτης και από ένα μικρό και λεπτό κυλινδρικό τμήμα που είναι κολλημένο κάθετα στο πλακώδες κομμάτι. (Φωτογραφία 3.).

Για την μείωση της αντίστασης επαφής των ηλεκτροδίων χρησιμοποιείται ένα μίγμα μεγάλης αγωγιμότητας και πολύ υψηλού ιζώδους, το οποίο τοποθετείται μεταξύ του πλακώδους τμήματος του ηλεκτροδίου της επιφάνειας που αυτό τοποθετείται. Το μίγμα αποτελείται από νερό, αλάτι, P541 και P452 (συντηρητικά). Το μίγμα αυτό έχει αρκετά υψηλό σημείο τήξεως ώστε να διατηρείται και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες.

Αντί του παραπάνω μίγματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ζελέ ζαχαροπλαστικής το οποίο κατά την παρασκευή του εμπλουτίζεται με μεγάλη ποσότητα αλατιού. Το μειονέκτημα αυτού του μίγματος είναι ότι έχει χαμηλό σημείο τήξεως, με αποτέλεσμα να λιώνει πολύ γρήγορα όταν υφίστανται υψηλές θερμοκρασίες. Συνεπώς το συγκεκριμένο μίγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε περιόδους κατά τις οποίες οι θερμοκρασίες διατηρούνται χαμηλές (Αθανασίου, 2004).

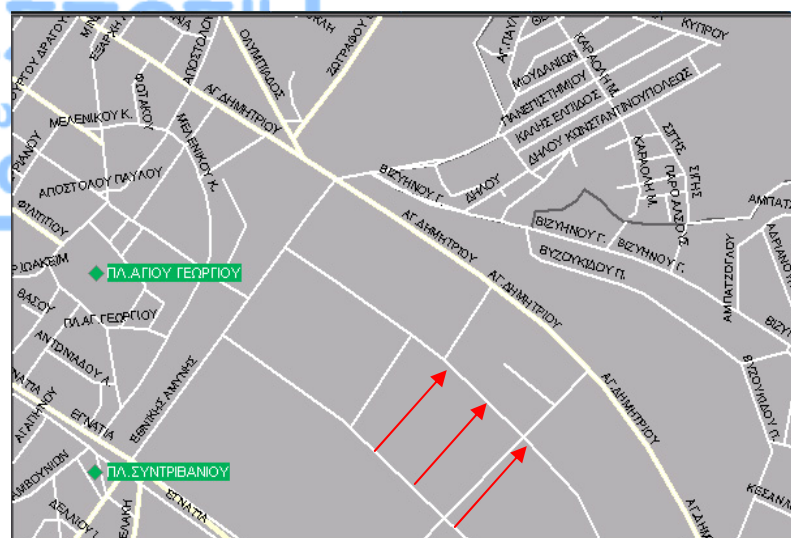


Φωτογραφία 3. Ηλεκτρόδιο επαφής όπως χρησιμοποιείται στις μετρήσεις υπαίθρου.

3.3. ΤΟΜΕΣ

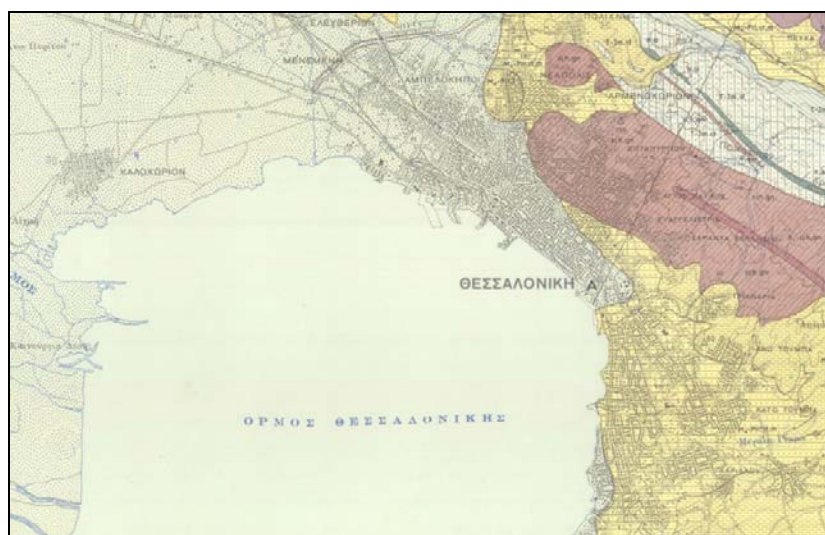
Στο χώρο του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης πραγματοποιήθηκαν γεωηλεκτρικές μετρήσεις με σκοπό την εύρεση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους στην περιοχή αυτή και τον εντοπισμό του υποβάθρου το οποίο λίγα μέτρα πιο πριν και συγκεκριμένα βόρεια της οδού Αγίου Δημητρίου βυθίζεται κάτω από τα νεότερα ιζήματα.

Για την μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκαν δύο διδιάστατες γεωηλεκτρικές τομογραφίες στο χώρο πρασίνου που βρίσκεται κάτω από την Γεωπονική και Κτηνιατρική σχολή και μια τρίτη κάτω από το Αστεροσκοπείο. Και οι τρεις τομογραφίες έχουν διεύθυνση κάθετη προς τα κτήρια των προαναφερθέντων σχολών και κατεύθυνση Νότου – Βορρά, όπως φαίνεται στον τοπογραφικό χάρτη του σχήματος 9. Μετρήθηκαν οι διατάξεις :‘διπόλου-διπόλου’, ‘πόλου-διπόλου’, ‘Wenner’ και ‘Schlumberger’. Για την αντιστροφή των μετρήσεων των ηλεκτρικών τομογραφιών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα διδιάστατης αντιστροφής RES2DINVS (Loke, 1996).



Σχήμα 9. Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής.

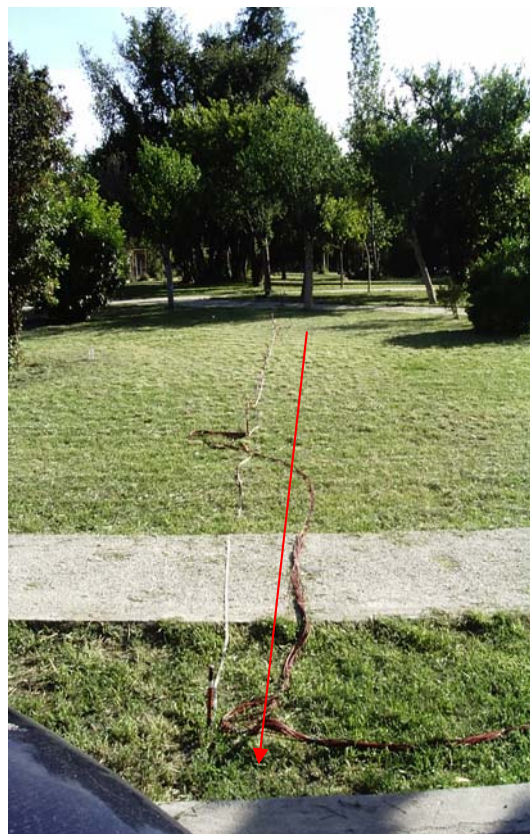
Γεωτεκτονικά, η περιοχή μελέτης ανήκει στη ζώνη Αξιού και συναντώνται σε αυτή το υπόβαθρο που αποτελείται κυρίως από πράσινους επιγενέσιους, πρασινοσχιστόλιθους και λευκοκρατικούς αλβιτικούς-σερικιτικούς-μικροκλινικούς γενέσιους και τα επιφανειακά ιζήματα. Στα επιφανειακά ιζήματα συμπεριλαμβάνονται το εδαφικό κάλυμμα που καταλαμβάνει τα πρώτα μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους, οι αποθέσεις των χειμάρρων που διέρχονται από την περιοχή μελέτης και τα νεότερα ιζήματα που είναι η σειρά των ερυθρών αργίλων (Σχήμα 10.).



Σχήμα 10. Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:50.000 - Φύλλο Θεσσαλονίκη.

3.3.1. 1^η ΤΟΜΗ

Η πρώτη τομή πραγματοποιήθηκε στις 7 Μαΐου του 2004 και χωροθετείται δεξιά της κεντρική εισόδου της γεωπονικής σχολής Θεσσαλονίκης (γρασίδια γεωπονικής σχολής). Η θέση πραγματοποίησης των ηλεκτρικών τομογραφιών φαίνεται στη φωτογραφία 4. Το πρώτο ηλεκτρόδιο έχει συντεταγμένες $N=40^{\circ} 37' 53.3''$ και $E=22^{\circ} 57' 25.2''$, το δωδέκατο $N=40^{\circ} 37' 55.1''$ και $E=22^{\circ} 57' 27.1''$ και το εικοστό τέταρτο $N=40^{\circ} 37' 56.4''$ και $E=22^{\circ} 57' 28.4''$.



Φωτογραφία 4. Θέση λήψης μετρήσεων 1^{ης} τομής.

Η δεύτερη τομή πραγματοποιήθηκε στις 15 Μαΐου του 2004 και χωροθετείται μπροστά από την κεντρική είσοδο της κτηνιατρικής σχολής Θεσσαλονίκης (γρασίδια γεωπονικής σχολής). Η θέση πραγματοποίησης των ηλεκτρικών τομογραφιών φαίνεται στη φωτογραφία 5. Το πρώτο ηλεκτρόδιο έχει συντεταγμένες $N=40^{\circ} 37' 52.7''$ και $E=22^{\circ} 57' 26.4''$, το δωδέκατο $N=40^{\circ} 37' 54.1''$ και $E=22^{\circ} 57' 28.3''$ και το εικοστό τέταρτο $N=40^{\circ} 37' 54.9''$ και $E=22^{\circ} 57' 30.1''$.



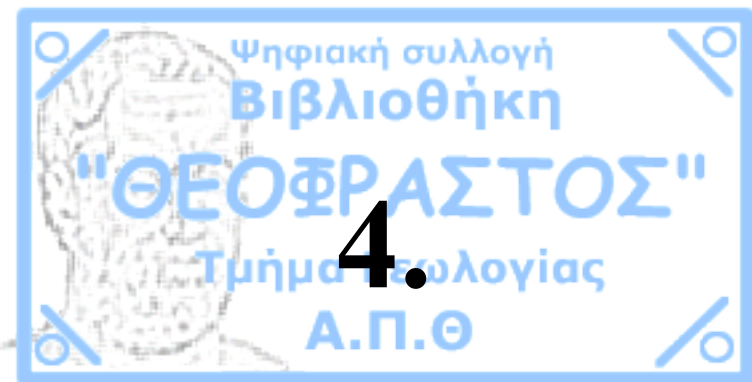
Φωτογραφία 5. Θέση λήψης μετρήσεων 2^{ης} τομής.

3.3.3. 3^η ΤΟΜΗ

Η τρίτη τομή πραγματοποιήθηκε στις 15 Μαΐου του 2004 και χωροθετείται λίγα μέτρα πιο κάτω από το αστεροσκοπείο. Η θέση πραγματοποίησης των ηλεκτρικών τομογραφιών φαίνεται στη φωτογραφία 6. Το πρώτο ηλεκτρόδιο έχει συντεταγμένες $N=40^{\circ} 37' 50.1''$ και $E=22^{\circ} 57' 29.8''$, το δωδέκατο $N=40^{\circ} 37' 51.4''$ και $E=22^{\circ} 57' 31.3''$ και το εικοστό τέταρτο $N=40^{\circ} 37' 53.0''$ και $E=22^{\circ} 57' 33.2''$.



Φωτογραφία 6. Θέση λήψης μετρήσεων 3^{ης} τομής.



ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΜΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

Η ερμηνεία των μετρήσεων πραγματοποιείται με την επίλυση του αντίστροφου γεωηλεκτρικού προβλήματος είτε με χρήση προσεγγιστικών μεθόδων, π.χ. μέθοδος Bristow (Bristow 1996), μέθοδος Zhody-Barker (Zhody 1989, Barker 1992), μέθοδος οπισθοπροβολής (Tsourlos et al. 1993), είτε με τη χρήση υπαρχόντων μη γραμμικών τεχνικών αντιστροφής (Tripp et al. 1984) που προσαρμόζονται στο πρόβλημα της ηλεκτρικής τομογραφίας (Shima 1990, Tsourlos et al. 1995).

Η πλέον δημοφιλής τεχνική για την αποκατάσταση της πραγματικής εικόνας της γεωηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους είναι αυτή της αντιστροφής, η οποία χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα διπλωματική εργασία. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο αντίστασης που να δίνει μετρήσεις που είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στις πραγματικές. Προϋπόθεση η ύπαρξη μεθόδου επίλυσης του ευθέως προβλήματος, δηλαδή, να βρεθούν οι μετρήσεις, δοθείσης της κατανομής της αντίστασης. Για την αντιστροφή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα δισδιάστατης αντιστροφής του Loke (Loke, 1996).

4.2. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

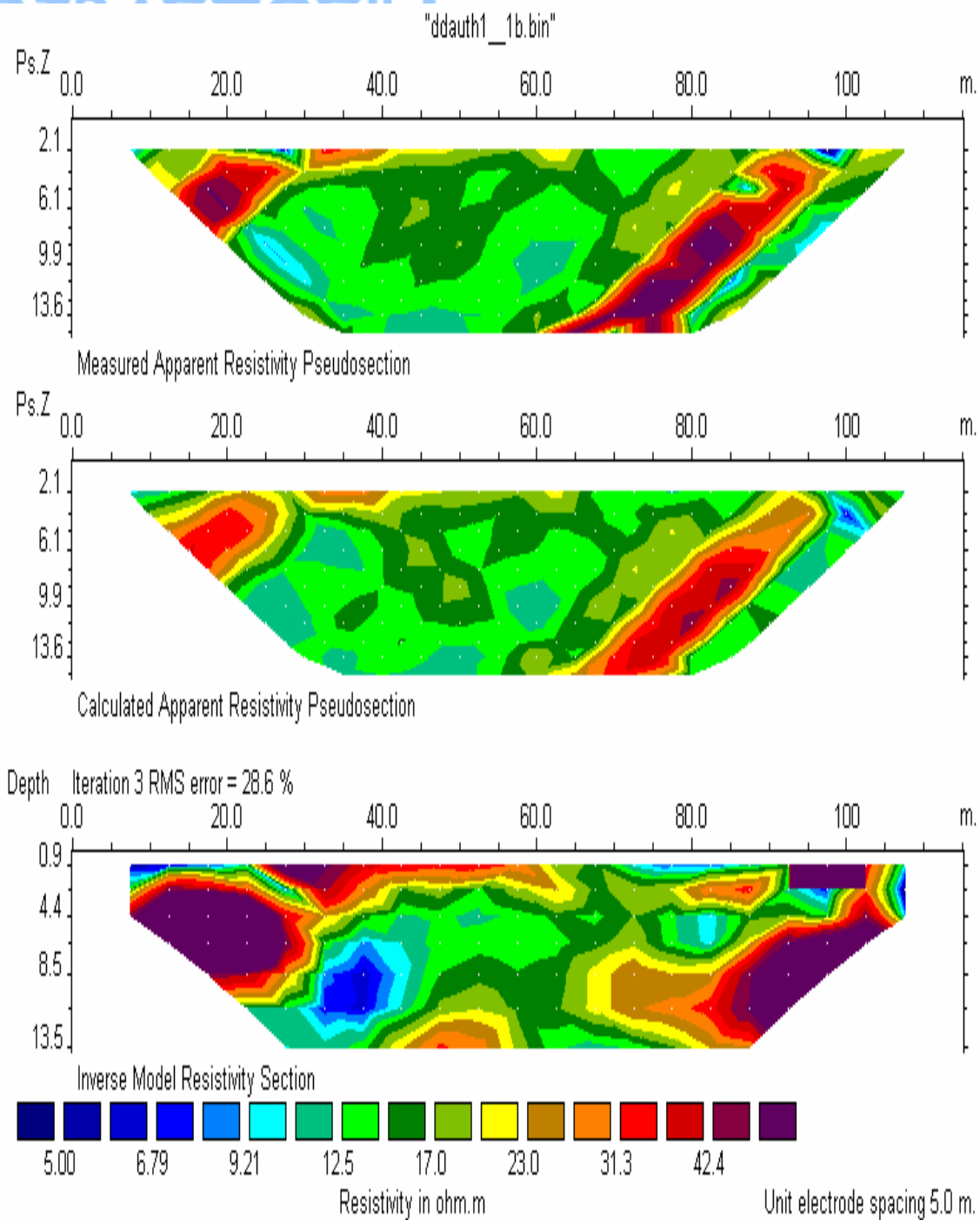
Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης έχουν πραγματοποιηθεί τρεις γεωτρήσεις, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται σε όλες τις ηλεκτρικές τομογραφίες. Σύμφωνα με αυτές το υπόβαθρο, το οποίο βυθίζεται στο ύψος της Αγίου Δημητρίου κάτω από τα νεότερα ιζήματα, βρίσκεται αρχικά σε βάθος 8m για να βυθιστεί στη συνέχεια στα 28m και τελικά στα 31m όσο προχωράμε προς την παραλία της Θεσσαλονίκης.

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι ψευδοτομές και τα γεωηλεκτρικά μοντέλα αντιστροφής που προέκυψαν από τις μετρήσεις της πρώτης τομής. Με θερμά χρώματα παρουσιάζονται οι περιοχές υψηλών αντιστάσεων, ενώ με ψυχρά χρώματα οι περιοχές χαμηλών αντιστάσεων.

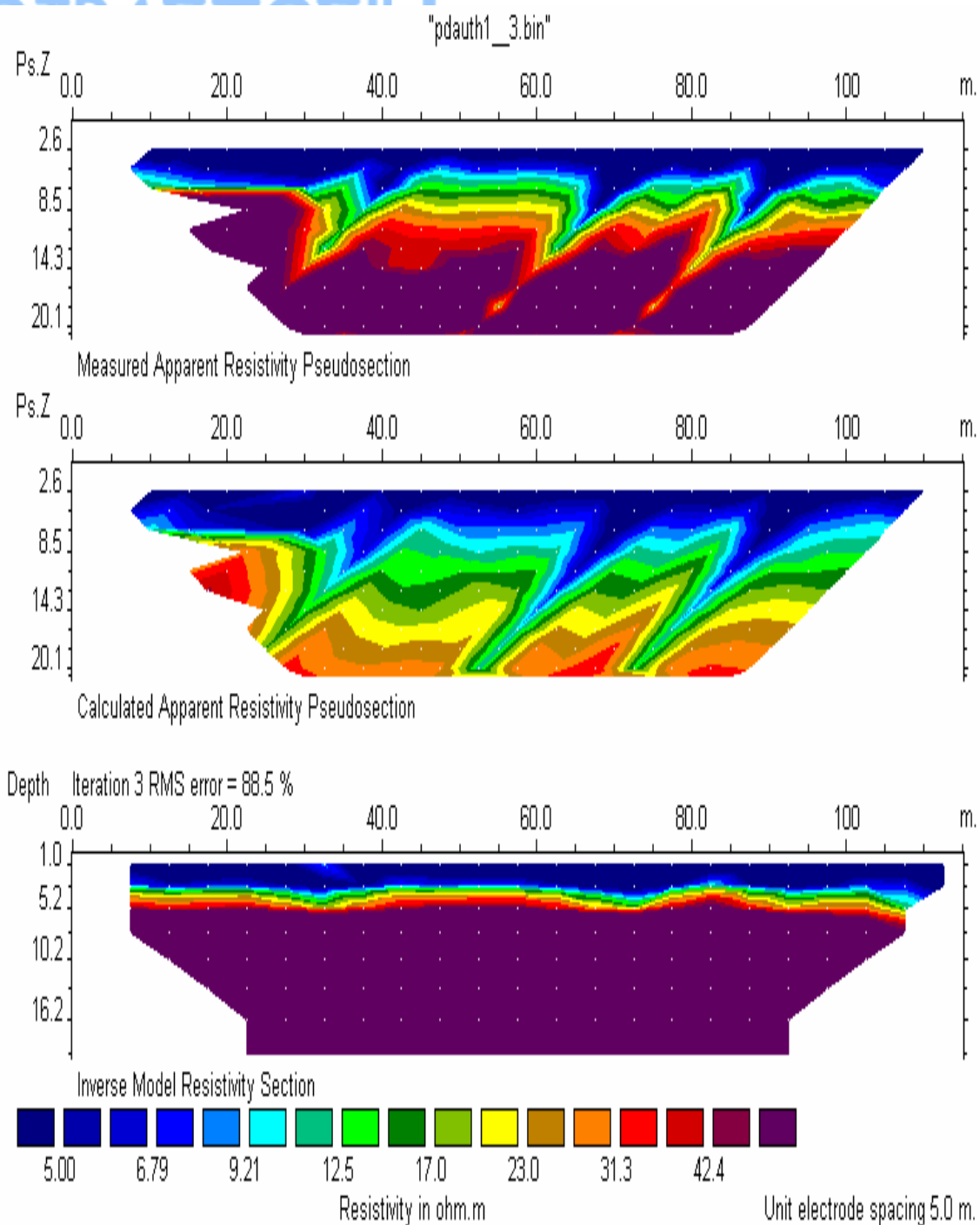
4.2.1. 1^η ΤΟΜΗ

Από τη πρώτη τομή, το γεωηλεκτρικό μοντέλο αντιστροφής της διάταξης πόλου-διπόλου παρουσιάζει προβλήματα και εξαιτίας αυτού είναι αδύνατη η εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτό.

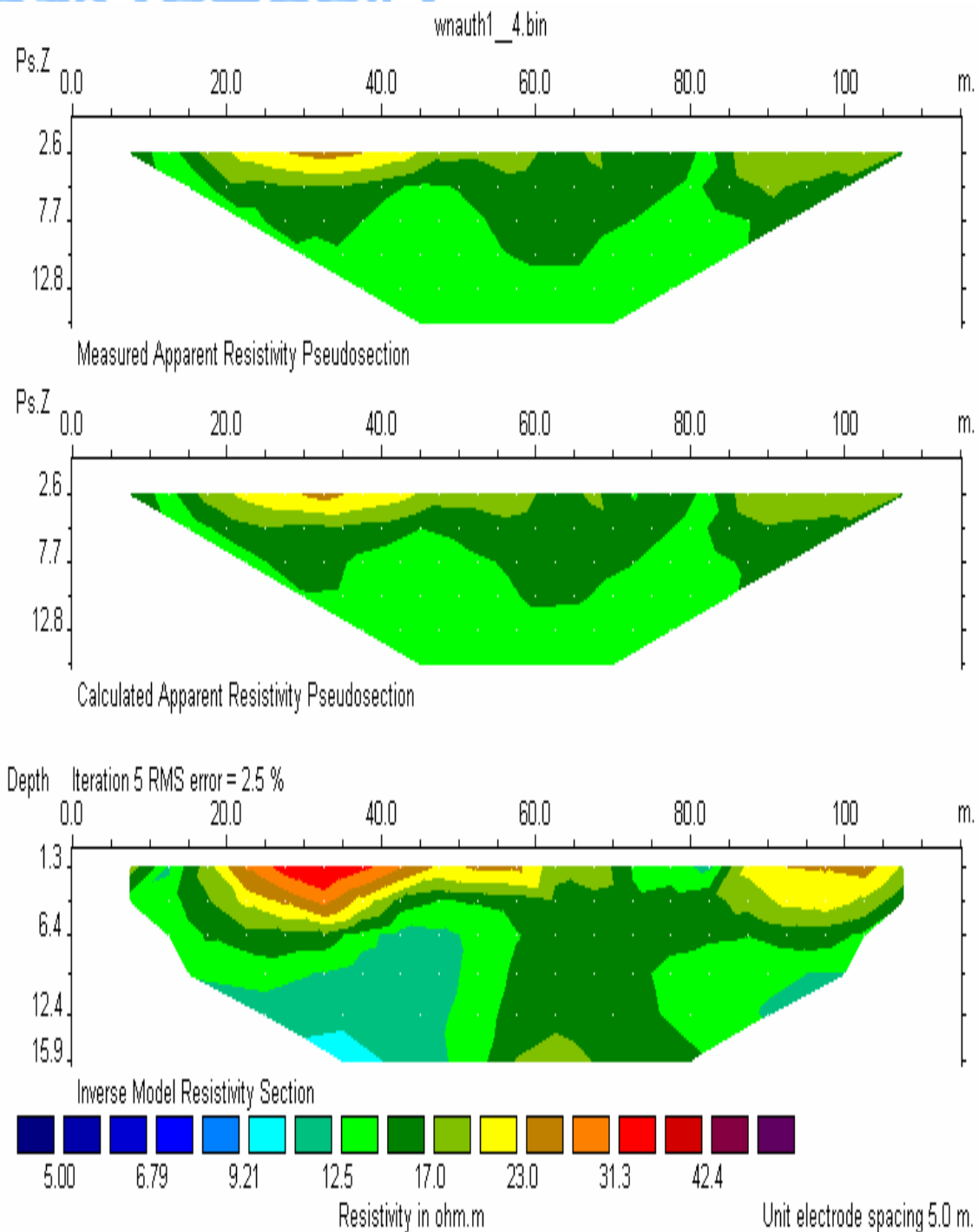
Από τη μελέτη των γεωηλεκτρικών μοντέλων αντιστροφής της πρώτης τομής παρατηρείται ένα τέμαχος υψηλών τιμών αντίστασης περίπου στα 60 m της τομής, που πιθανόν αντιπροσωπεύει το υπόβαθρο της περιοχής. Εκατέρωθεν αυτού παρατηρούνται τεμάχη χαμηλών τιμών αντίστασης, που πιθανόν αντιπροσωπεύουν ζώνες ρηγμάτωσης, όπως φαίνεται στις διατάξεις 'διπόλου-διπόλου', 'Wenner' και 'Schlumberger'. Στα πρώτα μέτρα της τομής καθώς και σε απόσταση 100m περίπου από την αρχή της τομής και λίγα μέτρα από την επιφάνεια εμφανίζονται ζώνες υψηλών αντιστάσεων που πιθανόν οφείλονται είτε σε επιφανειακή συγκέντρωση πετρωμάτων (μπάζα), είτε σε κάποιο αρχαίο αντικείμενο.



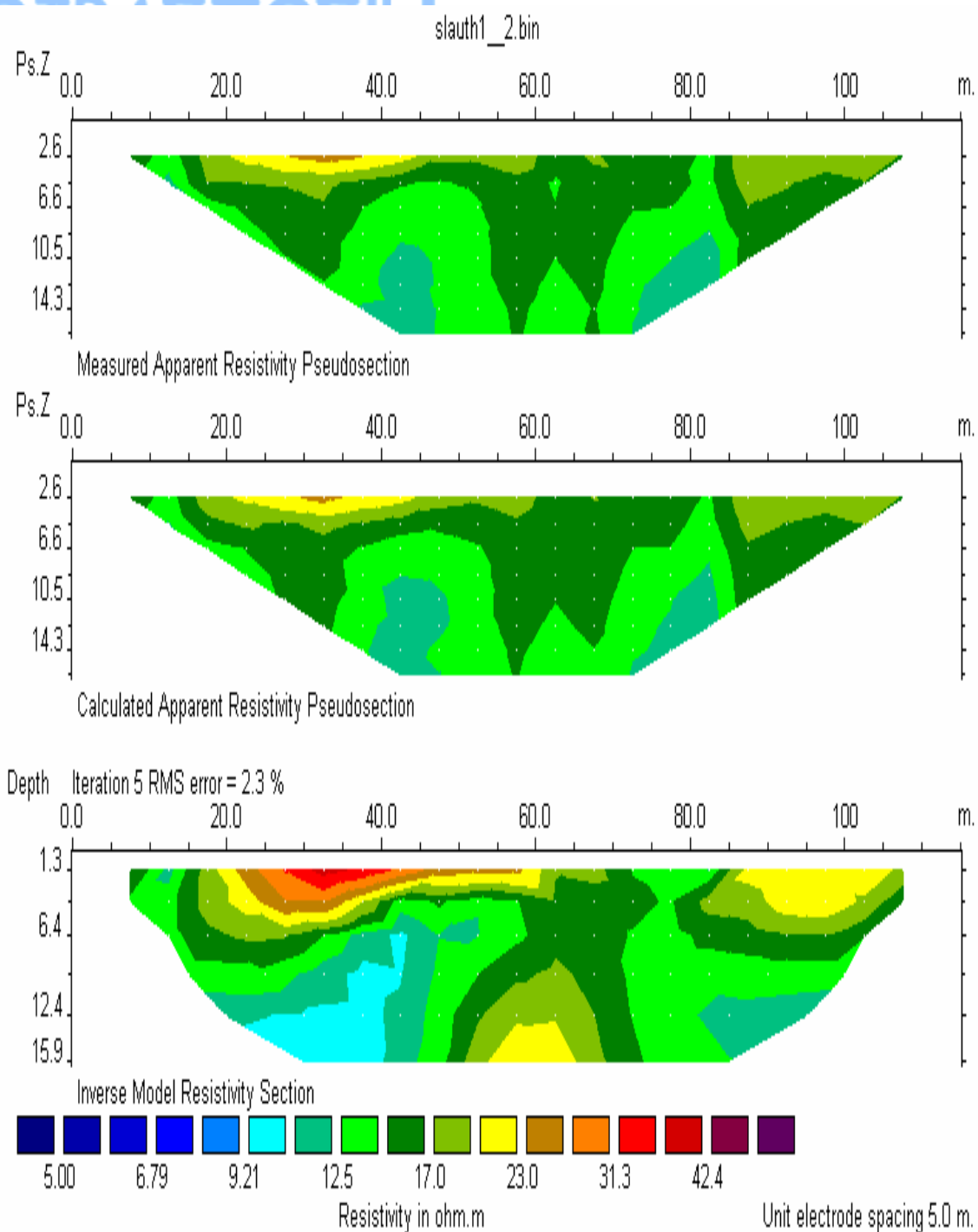
Σχήμα 11.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη διπόλου-διπόλου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια.



Σχήμα 12.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη πόλου-διπόλου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια.



Σχήμα 13.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη Wenner. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια

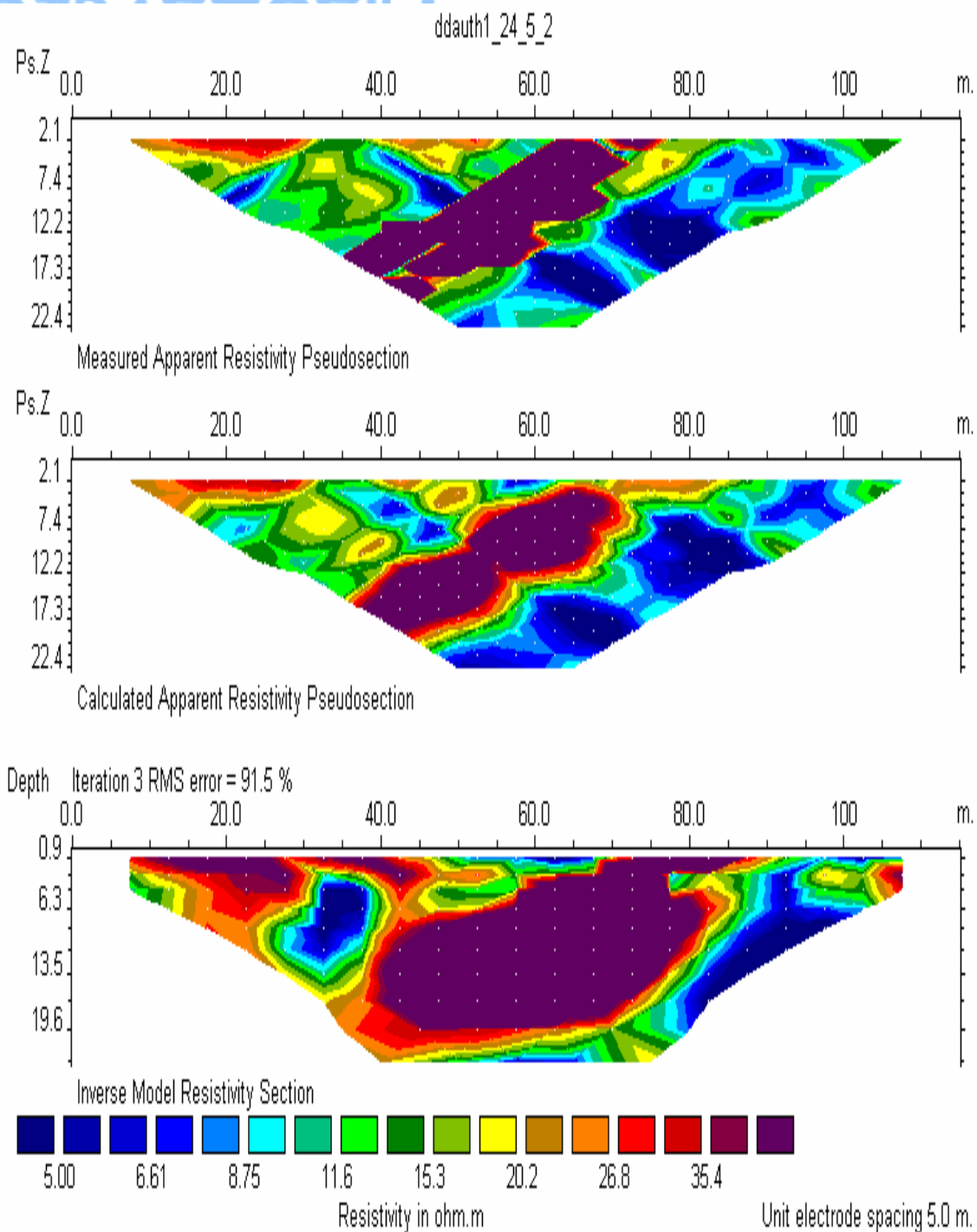


Σχήμα 14.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη Schlumberger. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια

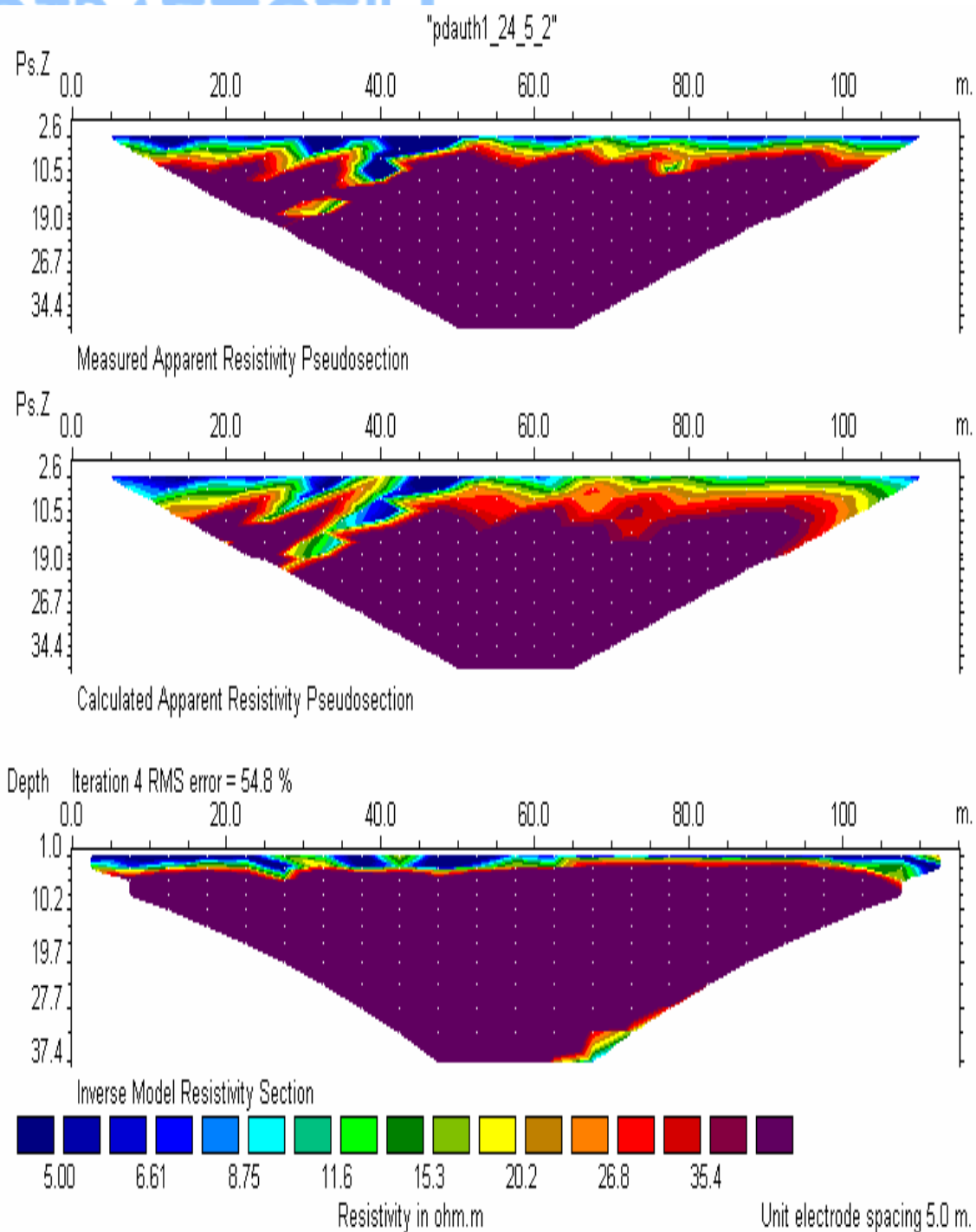
Από τη δεύτερη τομή, το γεωηλεκτρικό μοντέλο αντιστροφής της διάταξης πόλου-διπόλου παρουσιάζει προβλήματα και εξαιτίας αυτού είναι αδύνατη η εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτό.

Από τη μελέτη των γεωηλεκτρικών μοντέλων αντιστροφής της δεύτερης τομής των υπολοίπων διατάξεων παρατηρείται ένα τέμαχος υψηλών τιμών αντίστασης στο κέντρο περίπου της τομής, που πιθανόν αντιπροσωπεύει το υπόβαθρο της περιοχής. Το υπόβαθρο φαίνεται καλύτερα στη διάταξη διπόλου-διπόλου που έχει μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης σε σχέση με τις διατάξεις 'Wenner' και 'Schlumberger'. Εκατέρωθεν αυτού παρατηρούνται τεμάχη χαμηλών τιμών αντίστασης, που πιθανόν αντιπροσωπεύουν ζώνες ρηγμάτωσης.

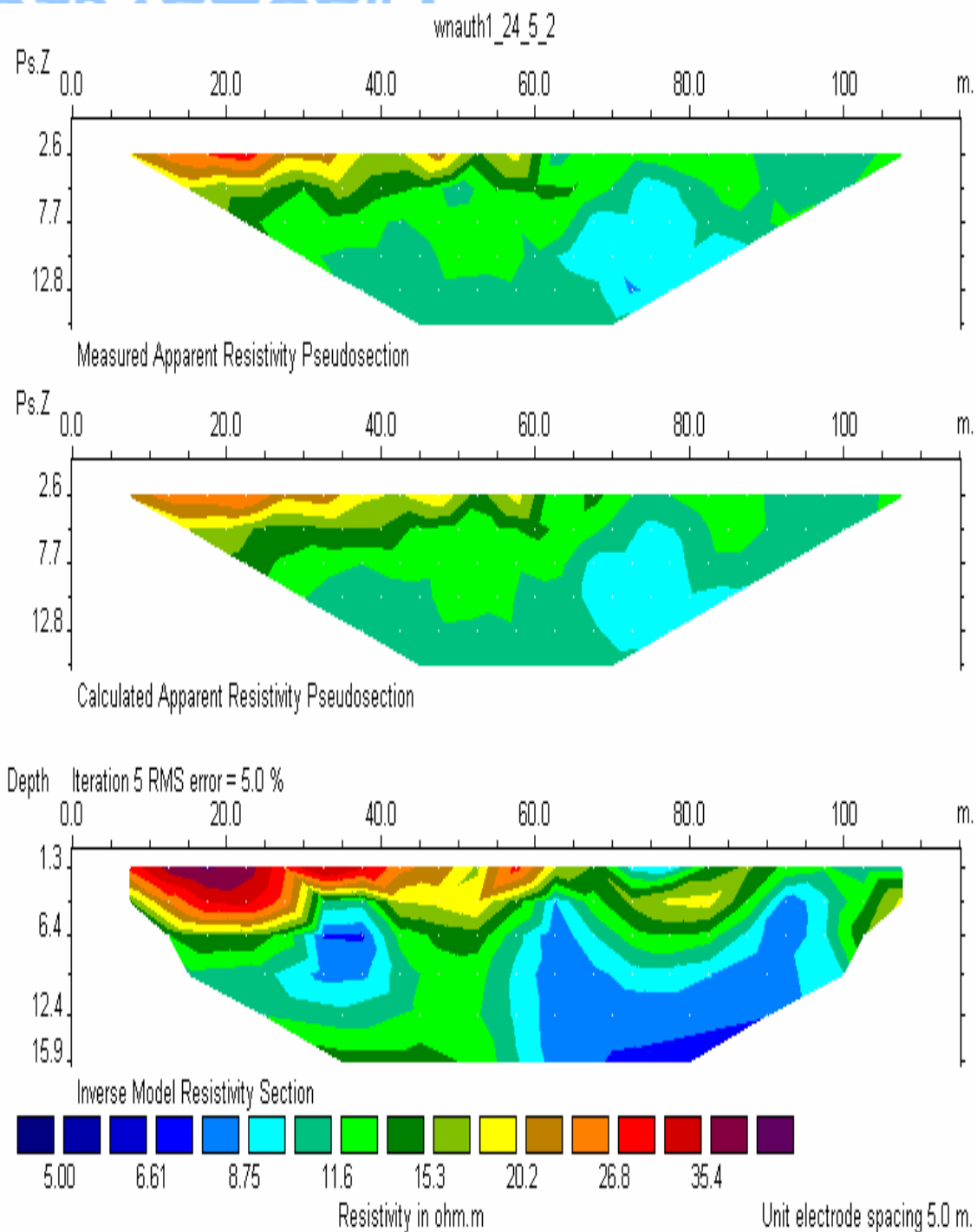
Κατά μήκος όλων των τομών βλέπουμε επιφανειακά ζώνες υψηλών αντιστάσεων που πιθανόν οφείλονται είτε σε επιφανειακή συγκέντρωση πετρωμάτων (μπάζα), είτε σε κάποια αρχαιολογική δομή.



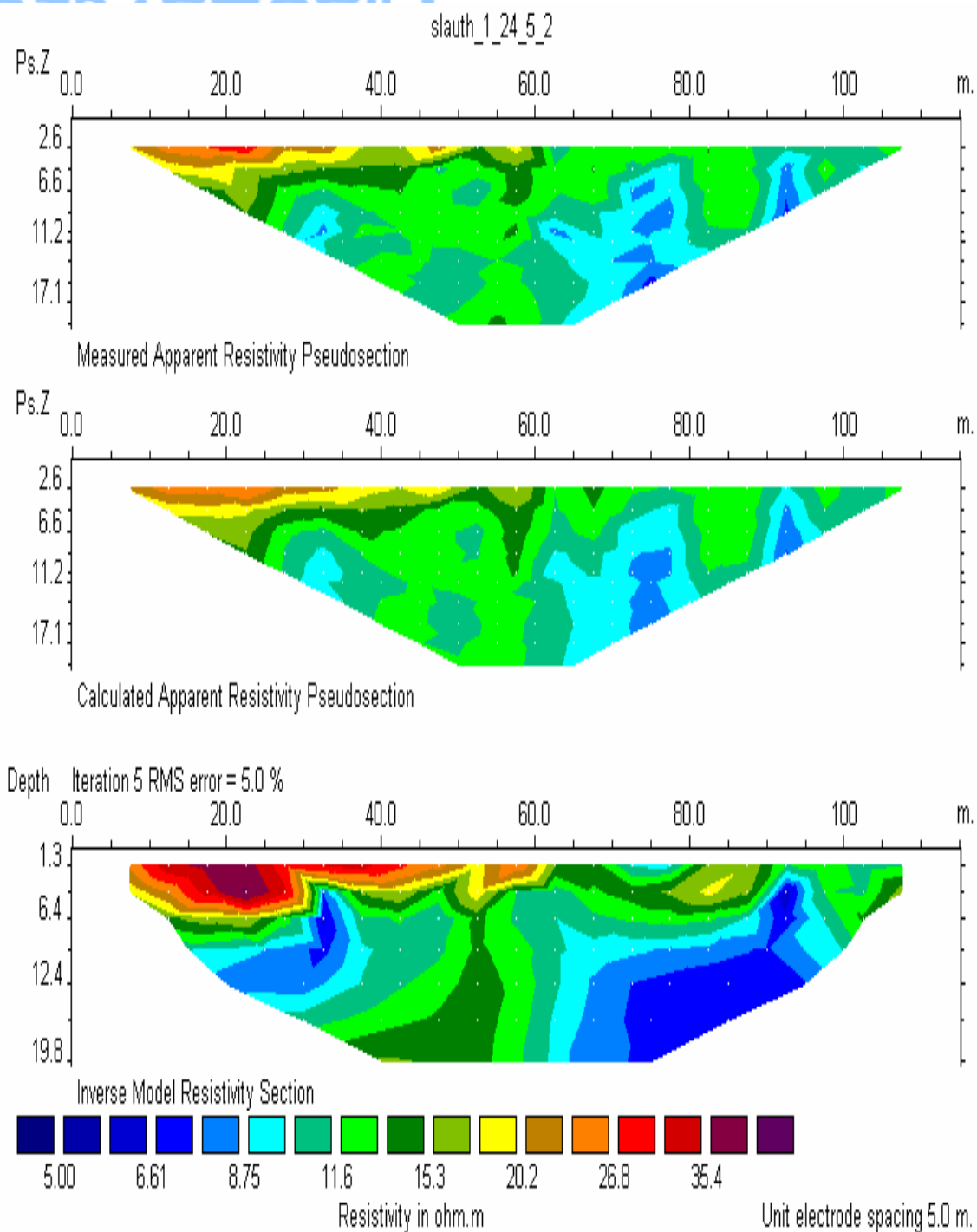
Σχήμα 15.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη διπόλου-διπόλου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια.



Σχήμα 16.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη πόλου-διπόλου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια.



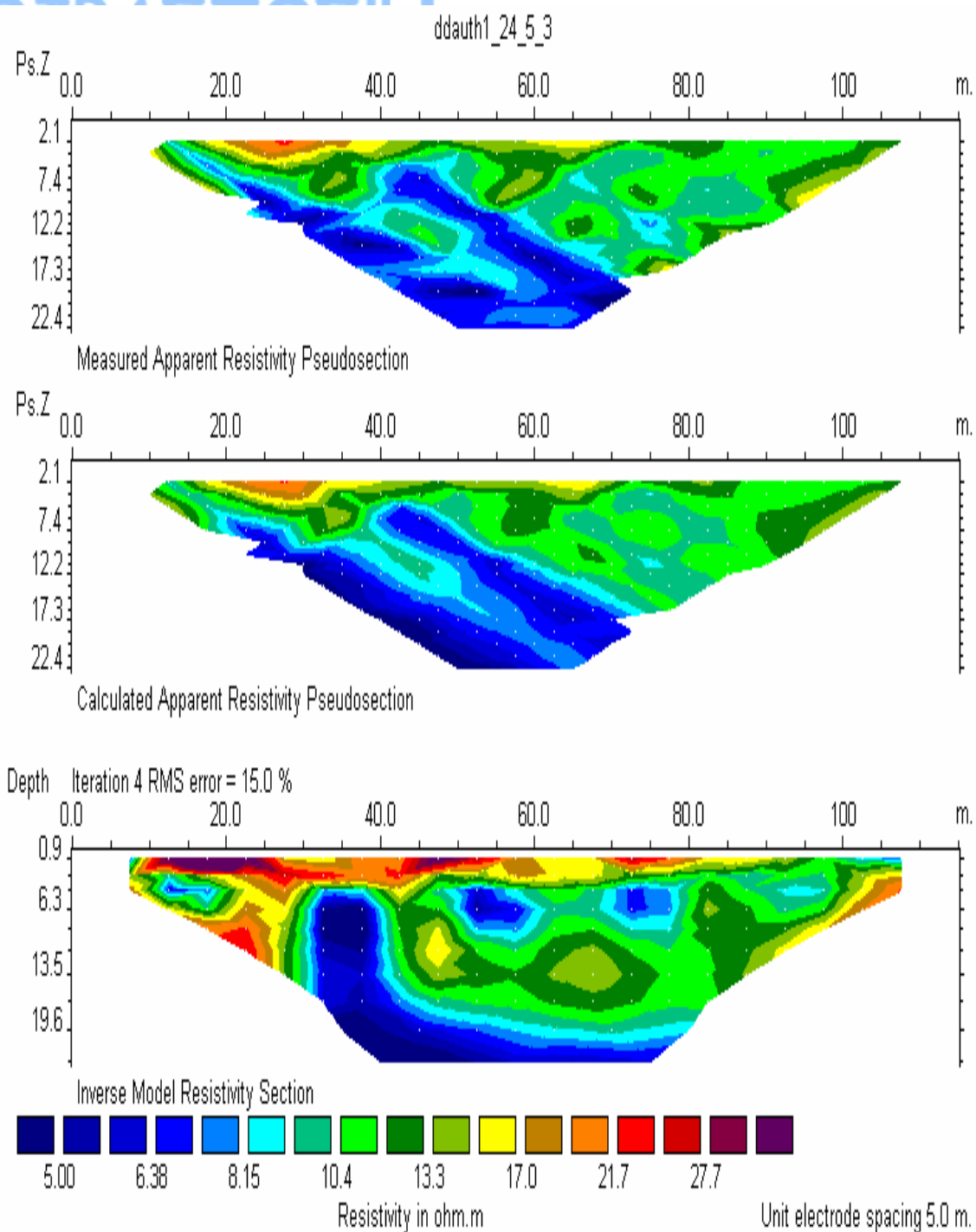
Σχήμα 17.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη Wenner. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια



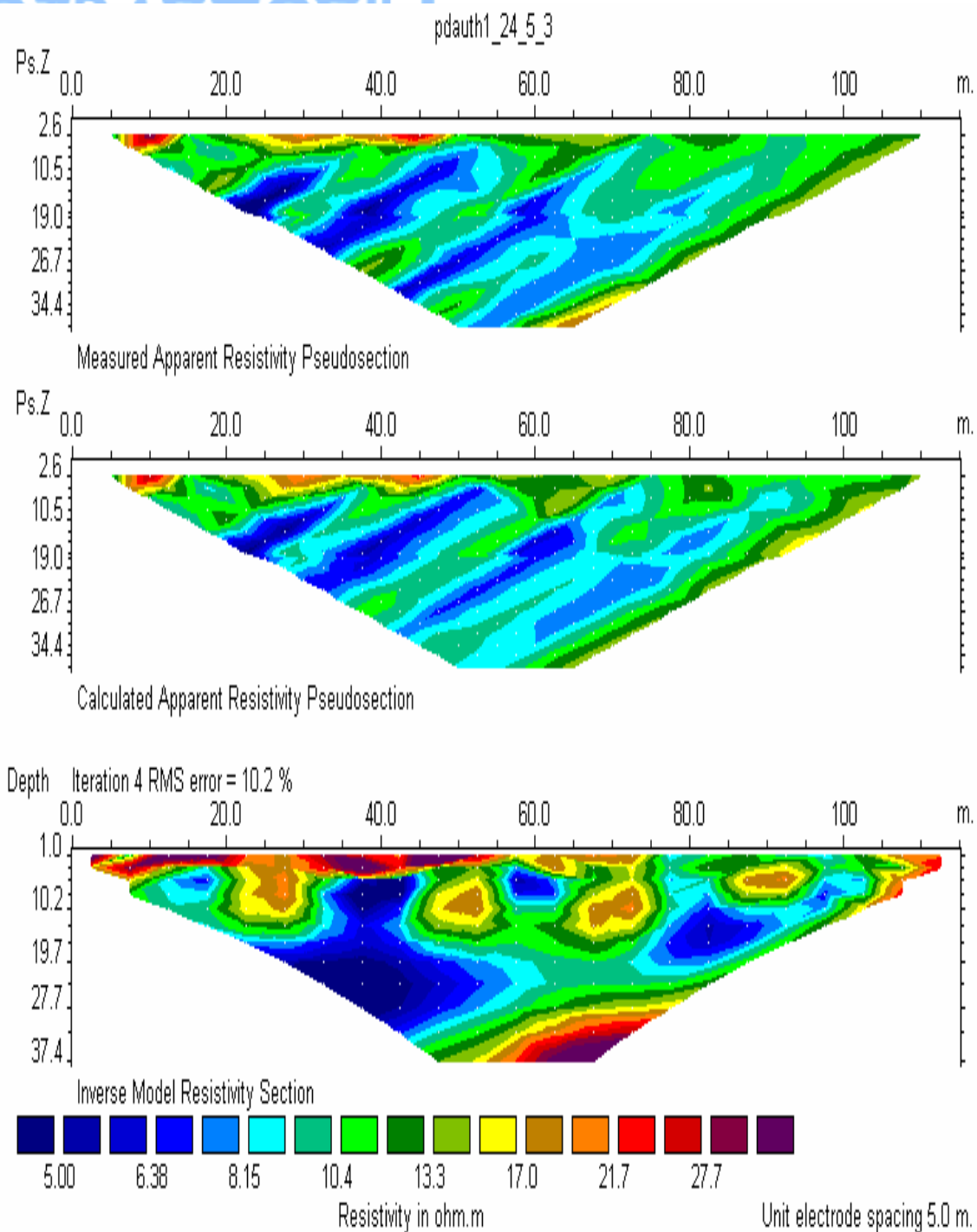
Σχήμα 18.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη Schlumberger. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια

Από τη μελέτη των γεωηλεκτρικών μοντέλων αντιστροφής της τρίτης τομής παρατηρείται κατά μήκος του μεγαλύτερου τμήματος της τομής συγκεντρώσεις υψηλών τιμών αντίστασης σφαιρικού σχήματος, οι οποίες οφείλονται είτε σε επιφανειακή συγκέντρωση πετρωμάτων (μπάζα), είτε σε κάποια αρχαιολογική δομή. Στα 40m και στα 80m περίπου υφίστανται τεμάχια χαμηλών τιμών αντίστασης, που πιθανόν αντιπροσωπεύουν ζώνες ρηγμάτωσης.

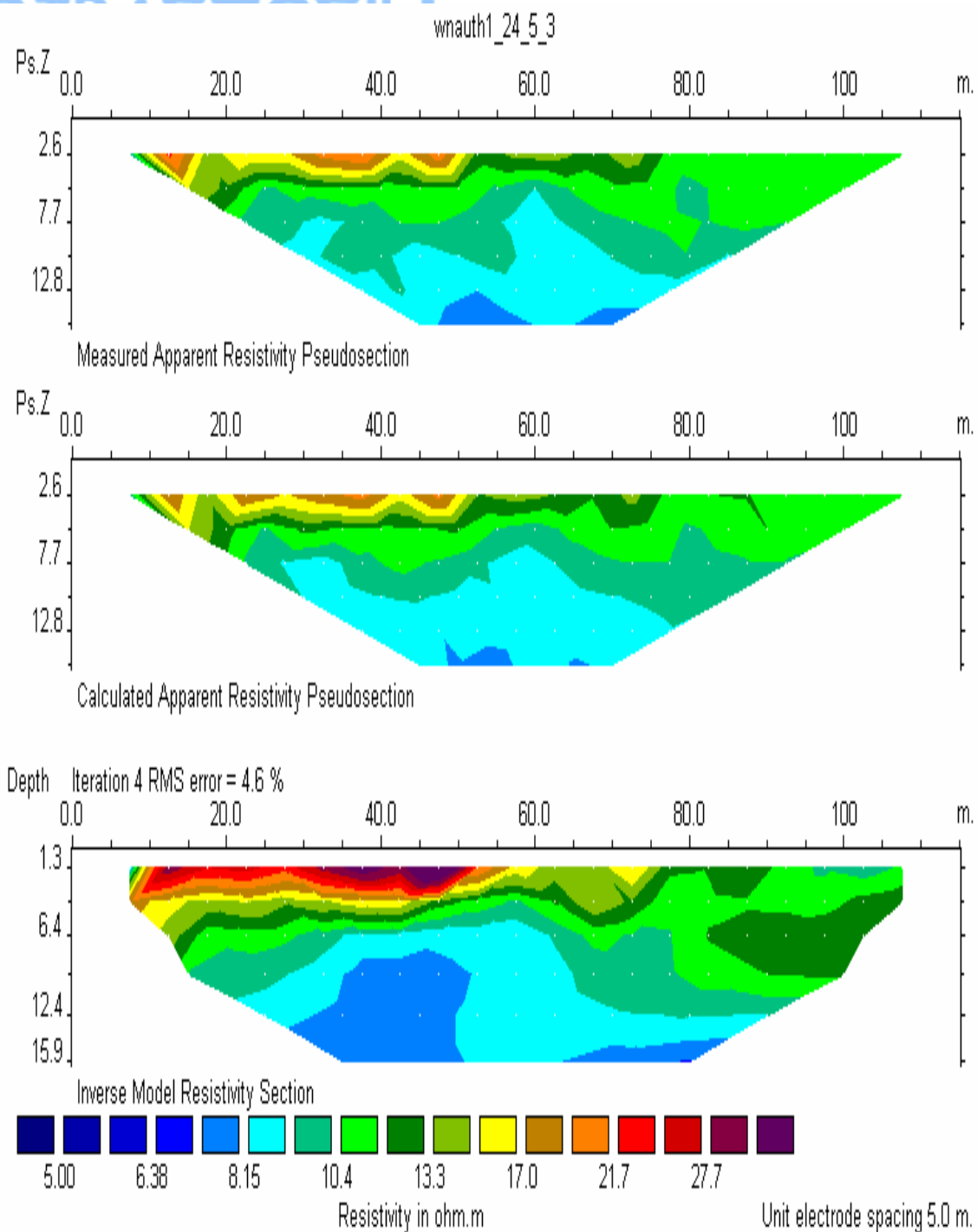
Στη διατάξη διπόλου-διπόλου και κυρίως στην πόλου-διπόλου, η οποία έχει το μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης, εμφανίζεται το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης, σε απόσταση 50m από την αρχή της τομής και μέχρι το τέλος της. Η εικόνα που βλέπουμε επιβεβαιώνει την γενική εικόνα βάθυνσης του υποβάθρου (με διεύθυνση Βορρά-Νότου) που έχουμε τόσο από τις γεωτρήσεις όσο και από τη γεωτεκτονική της περιοχής.



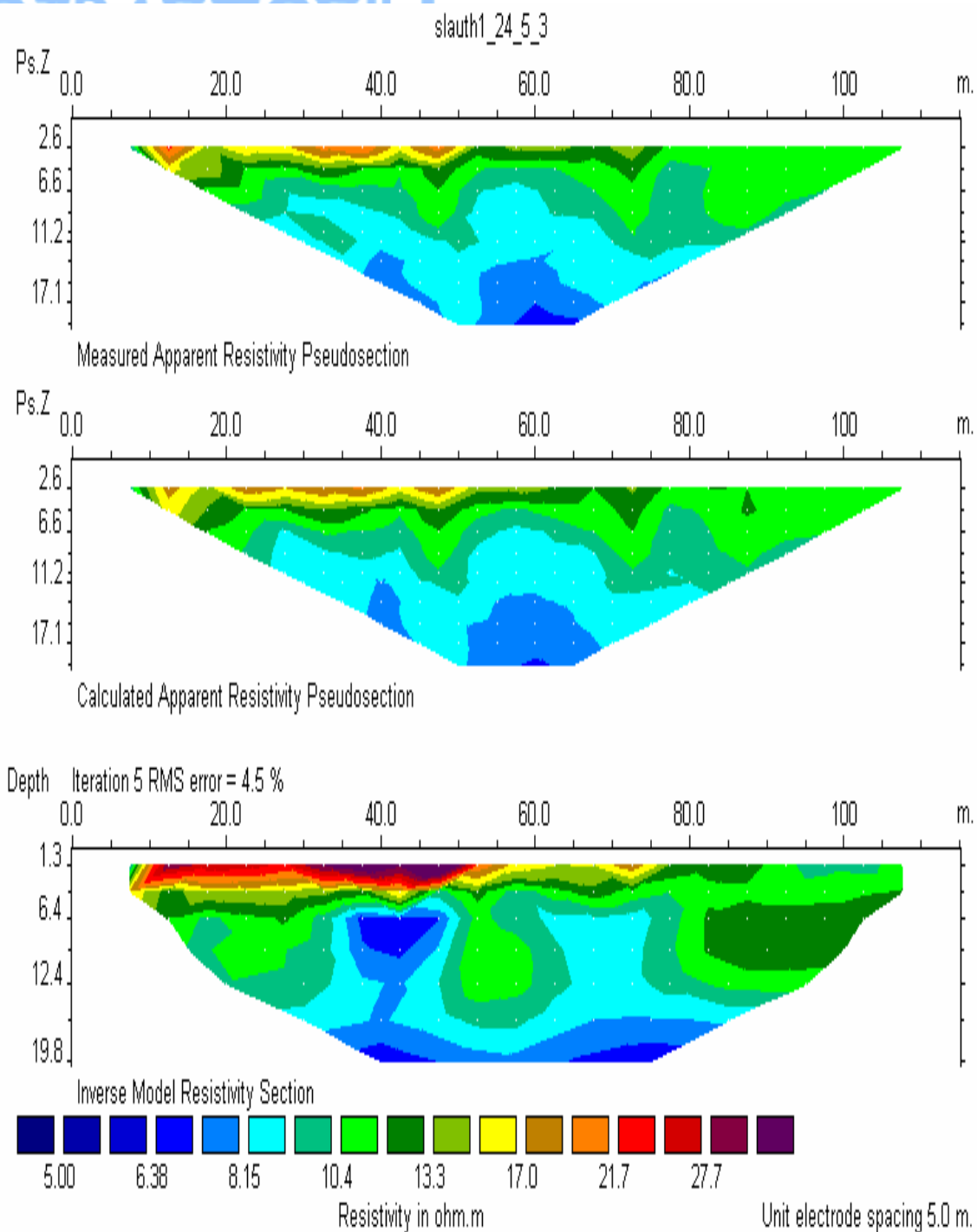
Σχήμα 19.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη διπόλου-διπόλου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια



Σχήμα 20.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη πόλου-διπόλου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια



Σχήμα 21.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη Wenner. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια



Σχήμα 22.: Απεικόνιση ψευδοτομής και του γεωλογικού μοντέλου αναστροφής για τη διάταξη Schlumberger. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με κανονικά ηλεκτρόδια

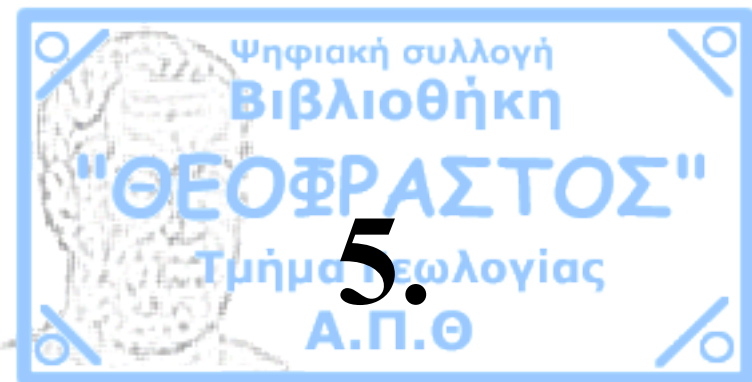
4.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσης διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν τρεις τομές με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας για τη χαρτογράφηση του γεωλογικού υποβάθρου στο χώρο του Α.Π.Θ. Διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος, παρόλο που εφαρμόστηκε σε αστικό περιβάλλον με σημαντικό θόρυβο, γενικότερα απέδωσε.

Ειδικότερα, από τη μελέτη των γεωηλεκτρικών μοντέλων αντιστροφής της πρώτης και της δεύτερης τομής παρατηρείται ένα τέμαχος υψηλών τιμών αντίστασης, που πιθανόν αντιπροσωπεύει το υπόβαθρο της περιοχής. και εκατέρωθεν αυτού τεμάχη χαμηλών τιμών αντίστασης, που πιθανόν αντιπροσωπεύουν ζώνες ρηγμάτωσης. Επίσης, εμφανίζονται ζώνες υψηλών αντιστάσεων που πιθανόν οφείλονται είτε σε επιφανειακή συγκέντρωση πετρωμάτων (μπάζα), είτε σε κάποιο αρχαιολογική δομή.

Από τη μελέτη των γεωηλεκτρικών μοντέλων αντιστροφής της τρίτης τομής παρατηρούνται συγκεντρώσεις υψηλών τιμών αντίστασης σφαιρικού σχήματος, οι οποίες οφείλονται είτε σε επιφανειακή συγκέντρωση πετρωμάτων (μπάζα), είτε σε κάποια αρχαιολογική δομή. Υφίστανται επίσης τεμάχη χαμηλών τιμών αντίστασης, που πιθανόν αντιπροσωπεύουν ζώνες ρηγμάτωσης.

Η εικόνα που βλέπουμε επιβεβαιώνει την γενική εικόνα βάθυνσης του υποβάθρου (με διεύθυνση Βορρά-Νότου) που έχουμε τόσο από τις γεωτρήσεις όσο και από τη γεωτεκτονική της περιοχής.



BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Athanasiou, E., 2004. Combined inversion of geoelectrical data by the use of contact electrodes: M.Sc. Thesis, Aristotle University of Thessaloniki.
- Aubert M., Camus G., and Fournier C. (1984). Resistivity and magnetic surveys in ground-water prospecting in volcanic areas - case history Maar of Beunit, Puy de Dome, France. Geophysical prospecting, 32, 554-563.
- Bristow C.M. (1966). A new graphical resistivity technique for detecting air-filled cavities. Study in Speleology, 1, 204-227.
- Butler D.K. and Llopis J.M. (1990). Assessment of anomalous seepage conditions: in Investigations in Geophysics no 5, Geotechnical and Environmental Geophysics vol II, S. Ward (ed.), SEG, Tulsa, 153-173.
- Dahlin T., Johansson S. and Landin O. (1994). Resistivity surveying for planning of infrastructure. Proceedings of SAGEEP 94, Boston Massachusetts, March 27-31, 1994, 509-528.

Habberjam G.M. (1975). Apparent resistivity, anisotropy and strike measurements. *Geophysical Prospecting*, 23, 211-247.

Loke M.H., and Barker, R., 1996, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method: *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

Olayinka A. and Barker R. (1990). Borehole siting in crystalline basement areas of Nigeria with microprocessor-Controlled resistivity traversing system. *Ground Water*, 28, (2), 178-183.

Olesen O., Henkel H., Lile O., Mairing E. and Ronning J. (1992). Geophysical investigations of the Stuurangua postglacial fault, Finnmark, N. Norway. *Journal of Applied Geophysics*, 29, 95-118.

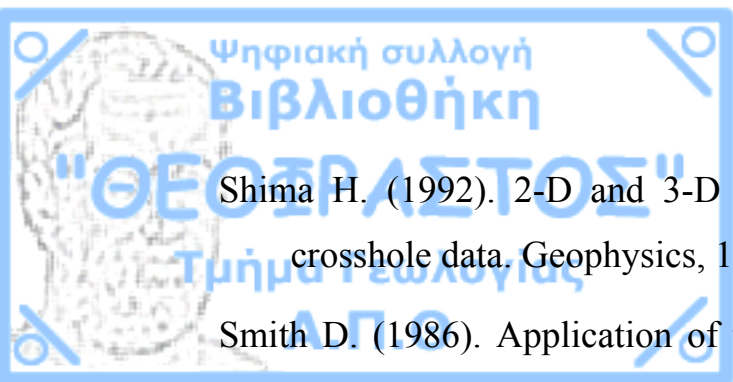
Orlando L., Piros S. and Versino L. (1987). Location of subsurface geoelectric anomalies for archaeological work: a comparison between experimental arrays and interpretation using numerical methods. *Geoexploration*, 24, 227-237.

Παπαζάχος B.K. (1986). Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Rijo L., Pelton W.H., Feitosa E.C. and Ward S.H. (1977). Interpretation of apparent resistivity data from the Apodi Valley Rio Grande do Norte Brazil. *Geophysics*, 42, 811-822.

Rodgers R.B. and Kean W.F. (1980). Monitoring ground-water contamination at a y ash deposit site using surface electrical resistivity methods. *Ground Water*, 18, (5), 472-478.

Roka A. and Tsokas G. (1987). Field investigation of a Macedonian tumulus by resistivity soundings. *Geoexploration*, 24, 99-108.



Shima H. (1992). 2-D and 3-D resistivity image reconstruction using crosshole data. *Geophysics*, 1270-1291.

Smith D. (1986). Application of the pole-dipole resistivity technique to the detection of solution cavities beneath the highways. *Geophysics*, 51, 833-837.

Szymanski J. and Dittmer J. (1992) Inversion of archaeological magnetic survey data using the maximum entropy method: Preliminary

Thanassoulas and Tsokas G. (1987). Geophysical investigation in the geothermal field in the delta of Nestos river (N. Greece). *Geothermics*, 16, 1, 17-26.

Tripp A., Hohmann G. and Swift C. (1984). Two-dimensional resistivity inversion. *Geophysics*, 49, 1708-1717.

Tsourlos P., Szymanski J., Dittmer J. and Tsokas G. (1993). The use of back-projection for fast inversion of 2-D resistivity data. *Proceedings of the 2nd congress of the Greek Geophysical Union, Florina Greece, 5-7 May, Vol. 1, 71-81.*

Tsourlos P.I. (1995). Modeling, Interpretation and Inversion of Multielectrode Resistivity Survey Data. Ph.D. Thesis, Department of Electronics, University of York.

Van G.P., Park S.K. and Hamilton P. (1992). Use of resistivity monitoring systems to detect leaks from storage ponds. *Proceedings of SAGEEP 92, Chicago, 629-647.*

Van Dam J. (1976). Possibilities and limitations of the resistivity method for geoelectrical prospecting in the solution of geohydrological problems. *Geoexploration*, 14, 179-193.

Vandenberghe J. (1982). Geoelectric investigations of a fault system in quaternary deposits. *Geophysical Prospecting*, 42, 977-991.

Wright P.M., Ward S.H., Ross H.P. and West R.C. (1985). State-of-the-art geophysical exploration for geothermal resources. *Geophysics*, 50, 2666-2699.