



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟΝ ΟΜΑΛΟ ΜΕ ΤΗ
ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ



ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΣ Η. ΑΛΕΞΙΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Βαφείδης Αντώνιος Καθηγητής Π.Κ (επιβλέπων)

Στειακάκης Εμμανουήλ Επίκουρος Καθηγητής Π.Κ

Καρατζάς Γεώργιος Καθηγητής Π.Κ

ΧΑΝΙΑ

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2014

Αφιερώνεται στους γονείς μου,
Ηλία και Παρασκευή,
στην σύζυγο μου Γραμματία και
στον υιό μου Παναγιώτη
για την υπομονή και επίμονη τους,
για την στήριξη και αγάπη τους.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αντώνιο Βαφείδη, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, τόσο για την ανάθεση του θέματος, όσο και για την άψογη συνεργασία και πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Στειακάκη και τον Καθηγητή κ. Καρατζά Γεώργιο για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή καθώς και τον τελικό έλεγχο και τις σημαντικές παρατηρήσεις που έκαναν επί της εργασίας.

Τέλος πρέπει να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα Νικόλαο Ανδρονικίδη και τον διδάκτορα Hamdan Hamdan του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Μηχανικούς Ορυκτών Πόρων, για την βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της πραγματοποίησης και της επεξεργασίας των μετρήσεων καθώς και τις υποδείξεις τους κατά τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή των μεθόδων της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα της ηλεκτρικής τομογραφίας, για την απεικόνιση του ανθρακικού υπόβαθρου και τον εντοπισμό καρστικών δόμων και εγκοιλών στο οροπέδιο του Ομαλού του Νομού Χανίων.

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν εννέα γραμμές μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας. Η διασκόπηση πραγματοποιήθηκε τον Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του 2012. Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας με το λογισμικό πακέτο RES2DINV, όπως επίσης και του τρισδιάστατου λογισμικού πακέτου RES3DINV.

Συμφώνα με την γεωηλεκτρική τομή LD11 και την γεώτρηση BH3 το ανθρακικό υπόβαθρο εμφανίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 25 m. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα των γραμμών μελέτης συγκριθήκαν και συνδυάστηκαν στον χώρο, προκειμένου να απεικονιστεί ορθότερα το ανθρακικό υπόβαθρο.

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί φαίνεται να υπάρχουν στο ΒΔ τμήμα και στο κέντρο της περιοχής που απεικονίζεται με την τρισδιάστατη τομογραφία και σε βάθος μεγαλύτερο των 15 m. Με βάση τα παραπάνω η υπό μελέτη περιοχή κρίνεται κατάλληλη για την κατασκευή λιμνοδεξαμενής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	7
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΟΜΑΛΟΥ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
3.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	14
3.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.....	16
3.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	17
3.4 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΤΙΣΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	18
3.5 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....	19
3.5.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	23
4.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	23
4.2 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RES2DINV.....	23
4.3 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RES3DINV.....	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	29
5.2 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	32
5.2.1 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LB1.....	32
5.2.2 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LB2.....	34
5.2.3 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD1(LB3).....	35
5.2.4 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD2(LB4).....	37
5.2.5 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD3(LB5).....	38
5.2.6 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD4.....	40
5.2.7 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD7.....	41
5.2.8 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD10.....	43
5.2.9 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD11.....	44
5.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	46
5.3.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ X-Z.....	46
5.3.2 ΚΑΘΕΤΕΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ Y-Z.....	49
5.4 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	55
6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	56

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σ' αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γνώση της γεωλογικής δομής μιας περιοχής, αποτελούν αναγκαία και σημαντικά βήματα για τον σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνικών έργων, για τη διερεύνηση γεωτεχνικών προβλημάτων κ.α.

Η επιστήμη της γεωφυσικής, μέσω των γεωφυσικών ερευνών, στοχεύει στη συλλογή πληροφοριών γεωλογικού ενδιαφέροντος και στην αξιοποίησή τους για πρακτικούς σκοπούς. Οι γεωφυσικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί, αποσκοπούν στον χαρακτηρισμό των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους και στην εύρεση των ιδιοτήτων τους.

Ένα από τα κύρια προβλήματα της περιοχής του οροπεδίου του Ομαλού αποτελεί ο καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος. Η εύκολη δίοδος του νερού στα καρστ έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εκμετάλλευση του για διάφορες χρήσεις όπως άρδευση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή των μεθόδων σεισμικής τομογραφίας, πολυκάναλης ανάλυσης σεισμικών κυμάτων και ηλεκτρικής τομογραφίας (δισδιάστατη και τρισδιάστατη), για τη χαρτογράφηση του ανθρακικού υπόβαθρου και τη μελέτη των επιφανειακών γεωλογικών στρωμάτων για τους γεωλογικούς σχηματισμούς του ΝΑ τμήματος του οροπεδίου του Ομαλού, Νομού Χανίων, θέση στην οποία σχεδιάζεται να κατασκευαστεί λιμνοδεξαμενή.



Εικόνα 1.1 Πόλη του Ομαλού

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας και τρισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας έγινε με το πρόγραμμα RES2DINV και RES3DINV αντίστοιχα.

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από έξι (6) κεφάλαια, πραγματεύεται την εφαρμογή των μεθόδων της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αρχικά αναφέρεται ο σχεδιασμός των λιμνοδεξαμενών και οι γεωφυσικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται. Στη συνέχεια και στο 2ο κεφάλαιο αναλύεται η γεωλογία της πόλης του Ομαλού και γενικότερα τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Στο 3ο κεφάλαιο αναφέρεται η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας και ο τρόπος συλλογής των δεδομένων. Στο 4ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία RES2DINV και RES3DINV. Το 5ο κεφάλαιο παρουσιάζονται η επεξεργασία και η ερμηνεία της δισδιάστατης και τρισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας. το 6ο και τελευταίο κεφάλαιο παραθέτει τα συμπεράσματα και της προτάσεις που προκύπτουν από την επεξεργασία.

1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ



Εικόνα 1.2 Λιμνοδεξαμενή στη Δ. Κρήτη

Οι λιμνοδεξαμενές είναι μικροί ταμιευτήρες επιφανειακών υδάτων, που κατασκευάζονται είτε μέσα στις κοίτες χειμάρρων (επιποτάμιες), είτε έξω από αυτές σε φυσικές ή τεχνητές λεκάνες κατάκλισης (εξωποτάμιες).

Σήμερα με τον όρο <<λιμνοδεξαμενή>> αναφέρονται συνήθως οι εξωποτάμιοι ταμιευτήρες επιφανειακών υδάτων (εξωποτάμια λιμνοδεξαμενή). Πρόκειται για λεκάνες κατάκλισης, που διαμορφώνονται με εκσκαφές και φράσσονται με ανάχωμα το οποίο κατασκευάζεται σε επιλεγμένη περιοχή με κατάλληλα μορφολογικά χαρακτηριστικά, συνήθως αμφιθεατρικής μορφής.

Πρόκειται για σύνθετα έργα αποτελούμενα από τρία διακριτικά τεχνικά έργα:

- Τον χώρο του ταμιευτήρα που διαμορφώνεται τεχνητά, όπως προαναφέρθηκε.
- Το φράγμα εκτροπής στο χείμαρρο του οποίου θα αξιοποιηθούν οι απορροές.
- Τον αγωγό μεταφοράς του νερού από το φράγμα εκτροπής έως τον ταμιευτήρα.

Οι εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές κατασκευάζονται έξω από την κοίτη μικρών χειμάρρων ή ποταμών, σε φυσικές συνήθως κοιλότητες του εδάφους που προσφέρονται για αποθήκευση νερού, χωρίς απαραίτητα να εξετάζεται αν το έδαφος είναι διαπερατό ή όχι.

Η φυσική κοιλότητα που επιλέγεται για την κατασκευή της λιμνοδεξαμενής φράσσεται στα τμήματα όπου το φυσικό ανάγλυφο είναι χαμηλότερα από τη στέψη της δεξαμενής, με αναχώματα που κατασκευάζονται από τα υλικά των εκσκαφών διαμόρφωσης της λεκάνης κατάκλισης.

Ο τρόπος κατασκευής του αναχώματος είναι παρόμοιος με αυτόν των χωμάτων ή λιθόρριπτων φραγμάτων και ακολουθούνται οι ίδιες προδιαγραφές συμπίκνωσης, στράγγισης και σεισμικής απόκρισης και ελέγχεται με επιτόπου εργαστήριο δοκιμών εδαφομηχανικής. Οι τυχόν εκσκαφές γίνονται για την οριζοντίωση του πυθμένα, αλλά και για τη διαμόρφωση επίπεδων επιφανειών στα πρανή της δεξαμενής ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα της και να είναι στη συνέχεια εύκολη, εφόσον χρειάζεται, η κάλυψή τους με αδιαπέρατη μεμβράνη από πλαστικό (γεωμεμβράνη).



Εικόνα 1.3 Γεωμεμβράνη

Η γεωμεμβράνη χρησιμοποιείται όταν το έδαφος δεν είναι στεγανό, για την κάλυψη τόσο του πυθμένα όσο και των πρανών. Κατά κανόνα τοποθετείται πάνω σε ένα στρώμα γαιωδών προϊόντων της εκσκαφής, κατάλληλης κοκκομετρικής σύνθεσης και στη συνέχεια επικαλύπτεται με ένα στρώμα από τα ίδια υλικά ή αφήνεται ακάλυπτη, αφού αγκυρωθεί με βάρη για την προστασία από τον άνεμο και τον κυματισμό. Έτσι πλέον, η στεγανότητα δεν αποτελεί κυρίαρχο κριτήριο επιλογής μιας θέσης, λόγω ευρείας χρήσης των μεμβρανών.

Το υλικό κατασκευής της μπορεί να είναι πολυμερισμένο πλαστικό όπως το ειδικά επεξεργασμένο PVC (χλωριούχο πολυβινύλιο), ή το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) απλού τύπου ή ενισχυμένου με γεώπλεγμα (διπλή μεμβράνη-COEX).

Λόγω της απλότητας της κατασκευής της η εξωποτάμια λιμνοδεξαμενή είναι οικονομικά συμφέρουσα για εφαρμογή σε μικρής έκτασης αρδευτικά δίκτυα. Από γεωτεχνικής πλευράς η λύση της λιμνοδεξαμενής προσφέρεται για εφαρμογές σε ποικίλες γεωλογικές συνθήκες, ενώ περιβαλλοντικά είναι αποδεκτή λόγω της περιορισμένης ανάγκης εκχέρσωσης περιοχών δανειοθαλάμων και της ασήμαντης επίδρασης στα οικοσυστήματα που υπάρχουν κατά μήκος των ποταμών καθώς και στις κατάντη περιοχές που τυχόν τροφοδοτούνται από τις απορροές του χειμάρρου.

Στις περιοχές που κατασκευάστηκαν λιμνοδεξαμενές άρχισαν να αντιμετωπίζονται με αποτελεσματικό τρόπο οι επικρατούσες συνθήκες απερίμωσης και έκτοτε επικρατεί ένα καθεστώς αναπτυξιακής πνοής. Παράλληλα αναπτύχθηκαν αξιόλογα οικοσυστήματα χλωρίδας και πανίδας στο νέο περιβάλλον, που δημιούργησε η παρουσία του νερού. Έτσι αναβαθμίστηκε και η οικολογική αξία των περιοχών.

Οι <<τεχνητές λίμνες>> που δημιουργήθηκαν μπορούν να αποτελέσουν πόλο έλξης για αναψυχή του ανθρώπινου δυναμικού που διαβιώνει στην ευρύτερη ζώνη, αλλά και για τις επενδύσεις αγροτουριστικών μονάδων κλπ.

Έτσι, στις περιοχές αυτές, παρατηρείται σήμερα μια αξιοσημείωτη αναζωογόνηση του κοινωνικού ιστού και αρχίζουν αναπτυξιακές προσπάθειες με νέες δυναμικές. Ήδη διαφαίνεται ότι τα έργα αυτά επιδρούν θετικά σε μια νέα <<τουριστική κατάσταση>> που τείνει να διαμορφωθεί όσον αναφορά στη φυσιολατρία. (Καπλανίδης κ.ά, 2003).

Οι περιπτώσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί γεωφυσικές μέθοδοι για τον σχεδιασμό λιμνοδεξαμενών είναι πολλές (Βαφείδης κ.ά, 2004), (Hudyma et al.,2005).Οι γεωφυσικές μέθοδοι είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό λιμνοδεξαμενών γιατί μπορεί να εξετασθεί το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης για την κατασκευή της λιμνοδεξαμενής και να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες για το είδος των γεωλογικών σχηματισμών που επικρατούν, όπως το πάχος των επιφανειακών σχηματισμών, την ειδική ηλεκτρική αντίσταση τους, αν περιέχουν νερό, αν υπάρχει κενό στους σχηματισμούς, στοιχεία που κατατοπίζουν το είδος των σχηματισμών και αν είναι κατάλληλο το γεωλογικό υπόβαθρο για την κατασκευή λιμνοδεξαμενης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

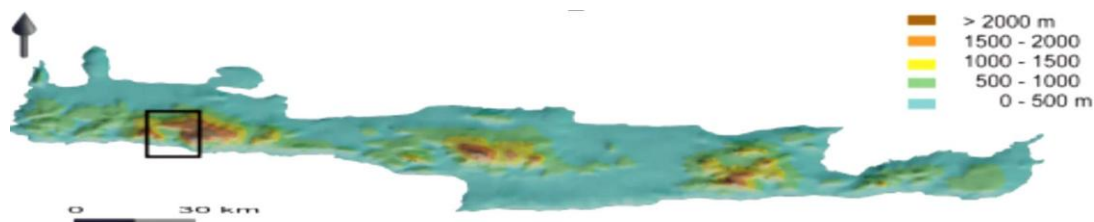
ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωλογική δομή της Κρήτης συνδέεται άμεσα με την συνολική γεωλογική δομή της Ελλάδας, η οποία χωρίζεται σε γεωτεκτονικές ζώνες με γενική διεύθυνση στον ηπειρωτικό χώρο της ΒΔ – ΝΑ. Κάθε ζώνη, χαρακτηρίζεται από ορισμένη στρωματογραφική / λιθολογική διαδοχή των πετρωμάτων της όπως αυτά προέκυψαν από την επαλληλία των τεκτονικών γεγονότων που οδήγησαν στην δημιουργία του ορογενούς της Ελλάδας.

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΟΜΑΛΟΥ

Οι απαραίτητες για την παρούσα εργασία γεωφυσικές διασκοπήσεις έγιναν στην περιοχή του Ομαλού, ο οποίος βρίσκεται στα όρια των νομών Χανίων . Στη διαδρομή προς τον Ομαλό παρατηρούνται πετρώματα του καλύμματος των φυλλιτών χαλαζιτών, πετρώματα του Τρυπαλίου, καθώς και μεγάλες εμφανίσεις φυλλιτικών πετρωμάτων. Γενικά πάντως, η γεωλογική τομή των Λευκών Ορέων στην περιοχή του Ομαλού είναι: πετρώματα φυλλιτών-χαλαζιτών, καλύμματα Τρυπαλίου, τυπικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι του ομώνυμου καλύμματος, στρώματα γκιγκίλου και δολομίτης



Σχήμα 2.1 Τοπογραφικός χάρτης Κρήτης στον οποίο σημειώνεται η περιοχή του Ομαλού

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδοχή των πετρολογικών τύπων στην εν λόγω περιοχή. Η παρουσίαση γίνεται από τα ανώτερα προς τα βαθύτερα τμήματα.

Επιφανειακά : παρατηρούνται σύγχρονες αποθέσεις (al, dl), παράκτιοι άμμοι (al), προσχώσεις (al), κροκαλοπαγή (pl), ασβεστιτικοί ψαμμίτες (pl), κίτρινες ψαμμιτικές μάργες (pl), μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (pl), σαπροπηλοί (M3,M3·M2,M2), πλευρικά κορρήματα (sc).

Σειρά φυλλιτών χαλαζιτών (ph) : η σειρά φυλλιτών χαλαζιτών χαρακτηρίζεται από λεπτοστρωματώδεις χαλαζίτες με πιο λεπτές στρώσεις φυλλιτών.

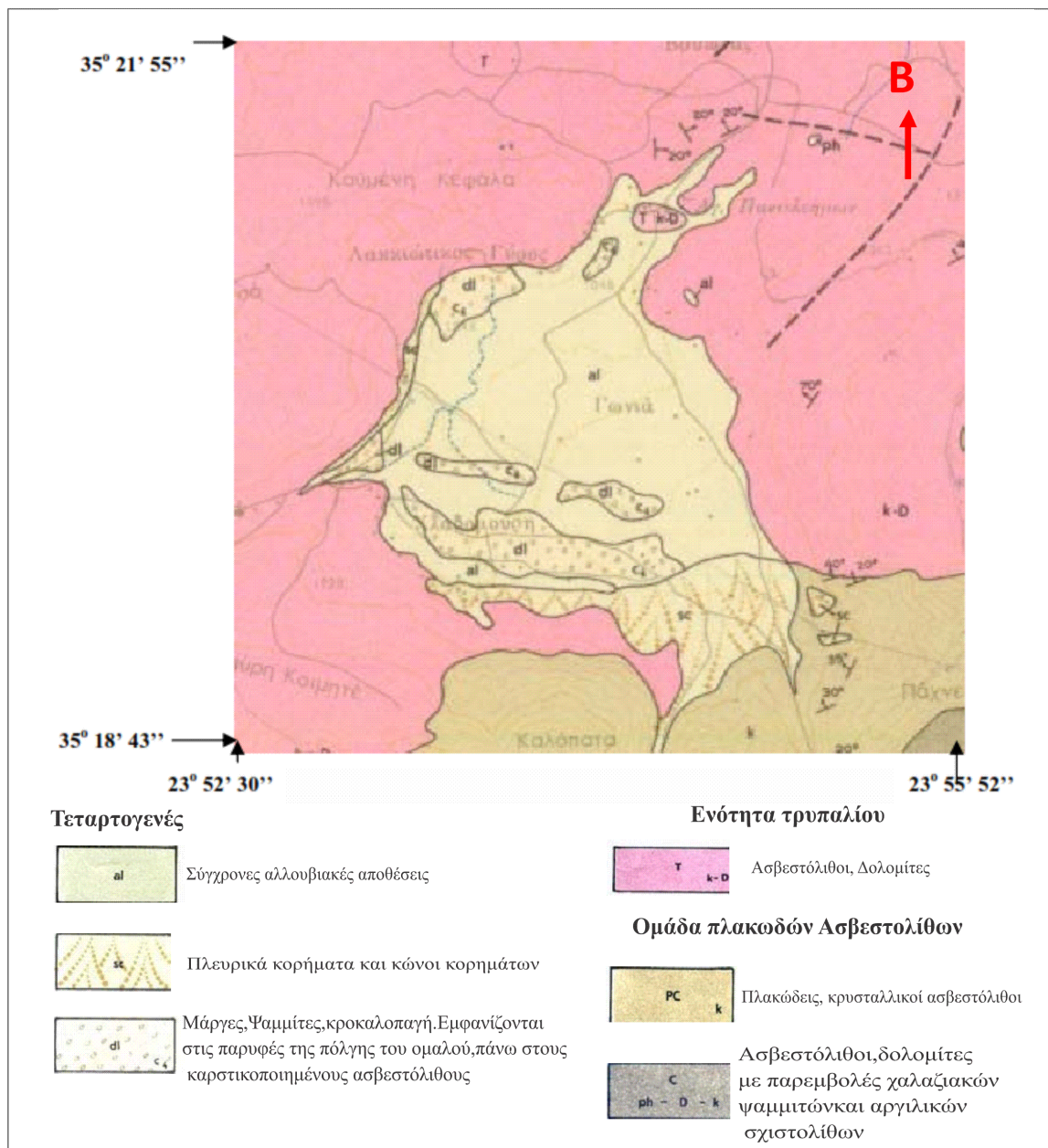
Ενότητα Τρυπαλίου (Ks-k) : Η Ενότητα Τρυπαλίου αποτελεί μία σειρά από ραουβάκες, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι ως χαρακτηριστικό έχουν το μελανό ή τεφρομέλανο χρώμα και τη βιτουμενώδη οσμή.

Μεταφλύσξης των πλακωδών ασβεστόλιθων (T, k-D) : Βρίσκεται σε τεκτονική επαφή με την Ενότητα του Τρυπαλίου. Με τον όρο αυτό εννοούμε τους φυλλίτες και τους αργιλικούς σχιστόλιθους στους οποίους μεταβαίνουν σταδιακά οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι και οι οποίοι αποτελούν τον μεταμορφωμένο φλύσχη. Στο κατώτερο τμήμα έχουμε τα μεταβατικά στρώματα που αποτελούνται κυρίως από τεφροπράσινους ή και ερυθρωπούς ασβεστοφυλλίτες.

Σειρά των πλακωδών ασβεστόλιθων (PC-k) : Αποτελείται από μια σειρά κρυσταλλικών ασβεστόλιθων με ενδιάμεσες στρώσεις ή κονδύλους από κερατόλιθους. Η λιθολογική ομοιογένεια, η αδιατάραχτη ιζηματογένεση, το πάχος των στρώσεων και άλλα χαρακτηριστικά που παρατηρούνται σε όλες τις εμφανίσεις των πλακωδών ασβεστόλιθων οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για πελαγικά ιζήματα.

Υποκείμενα στρώματα των πλακωδών ασβεστόλιθων (ph-D-k) : αποτελούνται από φυλλίτες, δολομίτες, μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους, πυριτόλιθους και άργιλους. Η συγκεκριμένη σειρά έχει ως ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τις συχνές εναλλαγές κλαστικών ιζημάτων (άργιλοι, ασβεστοφυλλίτες, ψαμμίτες, μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι).

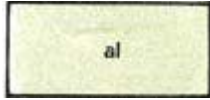
Οι τρεις αυτές τελευταίες ενότητες αποτελούν και την Ζώνη Κρήτης – Μάνης ή αλλιώς Ενότητα Κρήτης – Μάνης (Φυτρολάκης, 1972). Παρακάτω παρατίθεται τμήμα γεωλογικού χάρτη όπου διακρίνονται οι προαναφερθέντες πετρολογικοί τύποι. (Φυτρολάκης 1972, Τάταρης & Χριστοδούλου 1969, Μανούτσογλου et al. 2004)



Σχήμα 2.2 Τμήμα Γεωλογικού χάρτη του Οροπεδίου του Ομαλού (Φύλλο Χάρτου: Βατόλακκος), (Κλίμακα 1:50000)

Υπόμνημα

Τεταρτογενές



Σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις



Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων



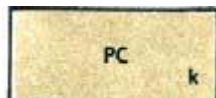
Μάργες, Ψαμμίτες, κροκαλοπαγή. Εμφανίζονται στις παρυφές της πόλγης. του ομαλού, πάνω στους καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους

Ενότητα τρυπαλίου

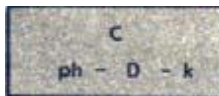


Ασβεστόλιθοι, Δολομίτες

Ομάδα πλακωδών Ασβεστόλιθων



Πλακώδεις, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι



Ασβεστόλιθοι, δολομίτες με παρεμβολές χαλαζιακών ψαμμιτών και αργιλικών σχιστόλιθων

Στόχος των γεωφυσικών διασκοπήσεων και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων είναι ο εντοπισμός και χωρικός προσδιορισμός υπόγειων καρστικών μορφών όπως τα υπόγεια σπήλαια και έγκοιλα που μπορούν να οδηγήσουν στο σχηματισμό δολίνων και πόλγων.

Δολίνη : Με τον όρο δολίνη εννοούμε κλειστή λεκάνη, σχήματος κυκλικού ή ελλειπτικού και της οποίας το εύρος είναι μεγαλύτερο από το βάθος. Το εύρος κυμαίνεται από είκοσι έως εκατοντάδες μέτρα και το βάθος τους από δύο μέχρι εκατό μέτρα. Πλήθος δολινών εμφανίζεται και στην περιοχή του Ομαλού.

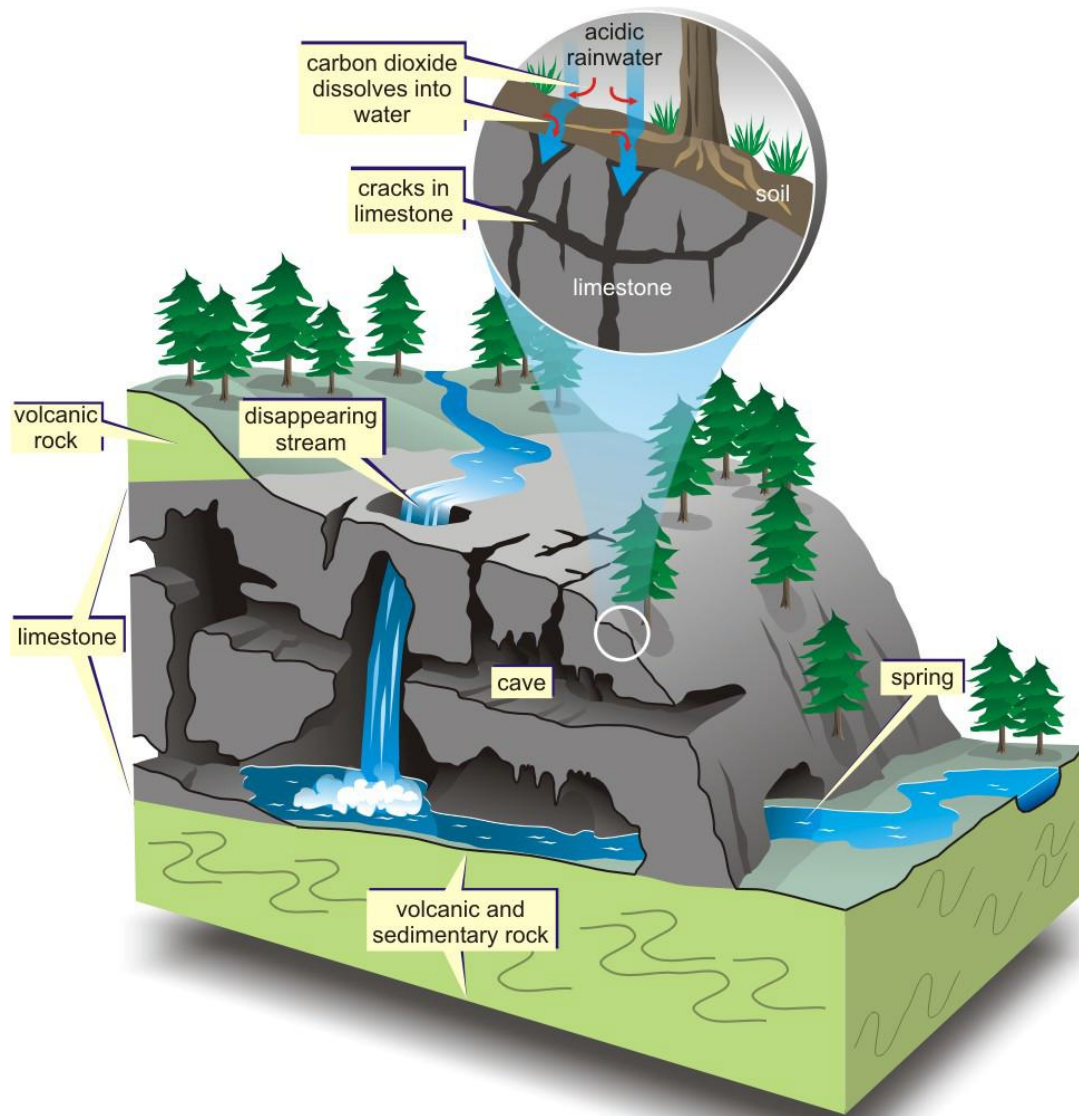
Πόλγη : Ο όρος πόλγη αποδίδεται σε μεγάλα καρστικά επίπεδα. Οι πόλγες αποτελούν ευδιάκριτες κλειστές κοιλότητες με σχήμα κυρίως ελλειπτικό και η μεγάλη επιφάνειά τους έχει διαστάσεις που κυμαίνονται από μερικά έως εκατοντάδες τετρ. χιλιόμετρα. Χαρακτηριστική πόλγη ανάλογης προέλευσης είναι αυτή που παρατηρείται στο οροπέδιο του Ομαλού.

Κάρστ : Ο όρος καρστ (karst) προέρχεται από το γεωγραφικό όνομα της βορειοδυτικής περιοχής της (μεταπολεμικά ενιαίας) Γιουγκοσλαβίας (σήμερα Σλοβενίας), κοντά στα Ιταλικά σύνορα, μεταξύ Ίστρια και Λιουμπλιάνα.

Ανάλογη έννοια με αυτήν του karst είναι αυτή της καρστικοποίησης (karstification), που δείχνει το σύνολο των γεωλογικών διεργασιών που καταστρέφουν ευδιάλυτα πετρώματα, δημιουργώντας έτσι μοναδικά μορφολογικά χαρακτηριστικά, ειδικό τύπο πορώδους, ή συγκεκριμένο υδρογεωλογικό περιβάλλον (Milanovic, 1981).

Είναι γεγονός ότι η λέξη καρστ είναι ένας όρος που ενσωματώνει πλήθος γεωλογικών, μορφολογικών, υδρολογικών, υδροχημικών, παλαιογεωγραφικών και άλλων εννοιών, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται ευρύτατα μεν, αλλά να μην εννοούν όλοι οι επιστήμονες που τον χρησιμοποιούν ακριβώς το ίδιο πράγμα. Ονομαστικά κάποιοι επιστήμονες που έχουν δώσει ορισμό για τα κάρστ είναι οι Ambroggi et al (1958), ο Popov (1959), ο Milanovic (1981), Bonacci (1987), η Παπαπέτρου-Ζαμάνη (1988), η Παπαδοπούλου-Βρυγιώτη (2000), ο Φουντούλης (2003), ενώ η Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσω του COST action 65 (1995) χρησιμοποιεί τον ακόλουθο ορισμό: «Καρστ είναι πρωτίστως ένα τοπίο, με ιδιότυπες γεωμορφές και χαρακτήρες διάλυσης, που αναπτύσσονται κυρίως σε ανθρακικά πετρώματα. Οι καρστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από τη γενική απουσία μόνιμης επιφανειακής ροής και την παρουσία ρηχών οπών και κλειστών ταπεινώσεων, την κοινή εμφάνιση σπηλαίων και γενικότερα μεγάλων

υπογείων περασμάτων και την ύπαρξη μεγάλων πηγών, συχνά ευρισκόμενων στη βάση της ανθρακικής ακολουθίας. Έτσι, το καρστ είναι ένα επιφανειακό τοπίο, αλλά επίσης και υπόγειο τοπίο, και υδροφόρος ορίζοντας».



Σχήμα 2.3 Δημιουργία κάρστ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΙΣΗ

3.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι έχουν σαν στόχο τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Η μετρούμενη ποσότητα είναι η ηλεκτρική τάση, από την οποία επιδιώκεται ο καθορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης. Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η πιο διαδεδομένη από τις ηλεκτρικές μεθόδους τόσο από τη λειτουργική πλευρά όσο και από τη θεωρητική πλευρά. Έχει σκοπό τον καθορισμό της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος που ονομάζεται γεωηλεκτρική δομή. Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία τεχνητών ηλεκτρικών πεδίων. Το ηλεκτρικό πεδίο επηρεάζεται από τη δομή του υπεδάφους και επομένως από τις μετρήσεις του δυναμικού είναι δυνατός ο καθορισμός της δομής.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (3.1)$$

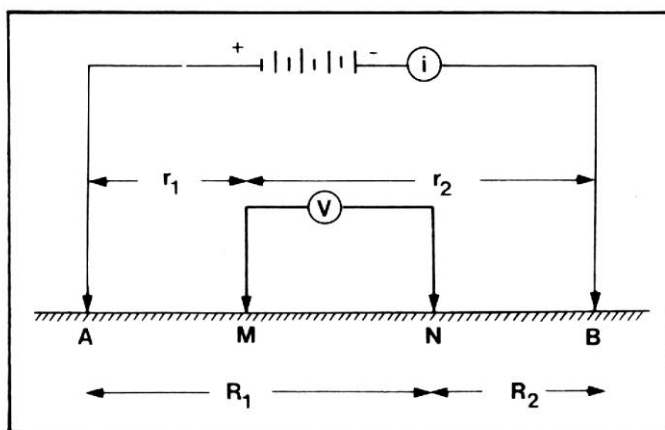
Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) είναι το ohm.m. Το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα ($\sigma = 1/\rho$), με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα το Siemens/m.

Το Σχήμα 3.1 αντιπροσωπεύει μια τυπική διάταξη ηλεκτροδίων που χρησιμοποιείται στη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Υπάρχουν τα ηλεκτρόδια ρεύματος AB που είναι συνδεδεμένα με το αμπερόμετρο για τον υπολογισμό της έντασης του ρεύματος που εισάγεται στο έδαφος, ενώ τα ηλεκτρόδια MN είναι τα ηλεκτρόδια τάσης, που συνδέονται με βολτόμετρο για τη μέτρηση της τάσης. Εφαρμόζοντας το νόμο του Ohm προκύπτει ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (3.2)$$

όπου I είναι η ένταση του ρεύματος που διοχετεύεται από τα ηλεκτρόδια ρεύματος (A,B), V_{MN} είναι η μετρούμενη διαφορά δυναμικού στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια (M,N) και r_1 , r_2 , R_1 και R_2 είναι οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων A-M, B-M, A-N και B-N, αντίστοιχα (Σχήμα 3.1).

Η παραπάνω σχέση προέκυψε θεωρώντας ότι τα επιφανειακά στρώματα της Γης είναι ομογενή, αυτό όμως δεν ισχύει καθώς η ειδική ηλεκτρική αντίσταση δεν είναι σταθερή σε αυτά. Η αντίσταση που υπολογίζεται από την προηγούμενη σχέση εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a).



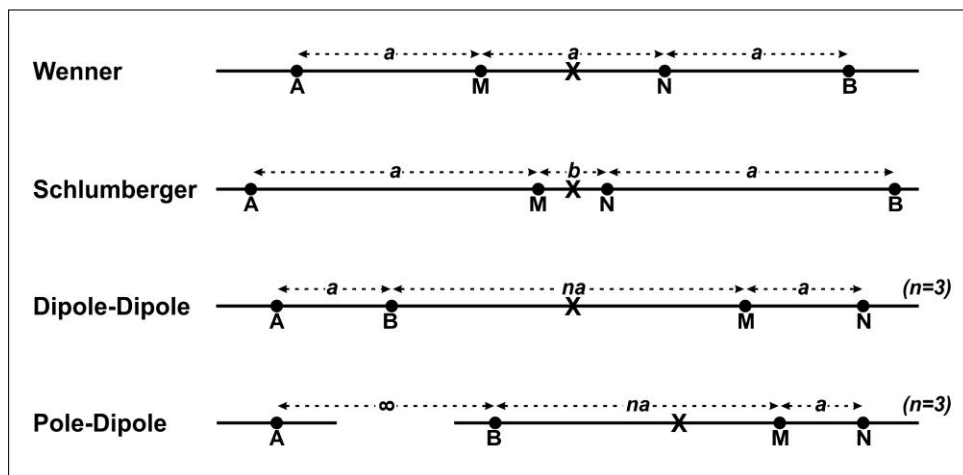
Σχήμα 3.1 Διάταξη ηλεκτροδίων ρεύματος (A, B) και δυναμικού (M, N).

Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί στον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός διαφορετικών διατάξεων ηλεκτροδίων.

Υπάρχουν πολλές διατάξεις ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται σήμερα στην ύπαιθρο (Σχήμα 3.2), ανάλογα με την περιοχή, το μέγεθος των δομών που αναμένονται, τον εξοπλισμό και την εξοικείωση του προσωπικού. Οι κυριότεροι παράγοντες κατά την επιλογή της διάταξης στην ηλεκτρική διασκόπηση είναι το μέγιστο βάθος διασκόπησης και η διακριτική ικανότητα τους.

Οι διατάξεις στις οποίες χρησιμοποιούνται δίπολα (διπόλου – διπόλου, πόλου – διπόλου) έχουν μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης για συγκεκριμένο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων και καλύτερη πλευρική διακριτική ικανότητα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις ηλεκτροδίων. Η διάταξη

πόλου – διπόλου παρέχει μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης από την διπόλου – διπόλου και ικανοποιητική διακριτική ικανότητα. Οι διατάξεις Wenner και Schlumberger έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα ως προς το βάθος σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις.



Σχήμα 3.2 Διατάξεις ηλεκτροδίων.

3.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Επειδή η Γη είναι ανομοιογενής και ανισότροπη η μετρούμενη ηλεκτρική αντίσταση είναι συνάρτηση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους και της γεωμετρικής διάταξης των ηλεκτροδίων. Για τον λόγο αυτό εισάγεται ο όρος της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η αντίσταση αυτή εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a).

Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί στον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Για δεδομένη διάταξη ηλεκτροδίων αποδεικνύεται ότι σημασία για τη διαμόρφωση της τιμής ρ_a έχει η κατανομή της ειδικής αντίστασης των στρωμάτων μέχρι βάθους ίσου κατά προσέγγιση με την απόσταση των ηλεκτροδίων του ρεύματος. Επομένως από τις μεταβολές του ρ_a που προκύπτουν από τις μετρήσεις με μια συγκεκριμένη διάταξη ηλεκτροδίων μπορούν να διαπιστωθούν μεταβολές στην κατανομή της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο

υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές διατάξεις ηλεκτροδίων, οι οποίες θα περιγραφούν παρακάτω.

3.3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Στην ηλεκτρική τομογραφία, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στη μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, εντοπίζοντας έτσι ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως ρήγματα ή έγκοιλα.

Μια σειρά από μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης πραγματοποιείται μετακινώντας τη διάταξη των ηλεκτροδίων από θέση σε θέση κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται επεξεργασία των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιώντας κάποιο λογισμικό πακέτο για τον υπολογισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η ηλεκτρική τομογραφία χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση περιοχών περίπλοκης γεωλογικής δομής όπου η συμβατική μέθοδος της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης είναι ανεπαρκής. Τέτοιες διασκοπήσεις πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας 28 ηλεκτρόδια ή περισσότερα τα οποία τοποθετούνται πάνω στην γραμμή μελέτης με αύξουσα σειρά (το πρώτο ηλεκτρόδιο ακολουθείται από το δεύτερο κ.ο.κ.). Μια κεντρική μονάδα υπολογιστή επιλέγει αυτόματα τα ενεργά ηλεκτρόδια που θα χρησιμοποιηθούν για κάθε μέτρηση, αναλόγως της διάταξης που έχει επιλεχθεί από την χρήστη πριν από την έναρξη των μετρήσεων. Τα δεδομένα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από αυτές τις διασκοπήσεις αποτελούν μια ψευδοτομή που δίνει μια πρώτη εκτίμηση για την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος. Το επόμενο βήμα είναι η αντιστροφή των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε πραγματικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την ορθή ερμηνεία και τον προσδιορισμό του βάθους των γεωηλεκτρικών δομών.

3.4 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην περιοχή μελέτης διασκοπήθηκαν συνολικά 8 γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός:

- Το σύστημα Sting R1 – Swift της εταιρείας Advanced Geosciences Inc. (AGI) ως όργανο μέτρησης.
- Μεταλλικοί ανοξείδωτοι ράβδοι (μήκους 45 cm ή 70 cm, διαμέτρου 9.5 mm) χρησιμοποιήθηκαν ως ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού.
- Μία μπαταρία 12 Volt.
- Καλώδια τροφοδοσίας ρεύματος των οργάνων μέτρησης.
- Τέσσερα πολύκλινα καλώδια με 14 απολήξεις για την σύνδεση των ηλεκτροδίων με το όργανο μέτρησης.
- Μετροταινίες και βαριοπούλες για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων.

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων στο πεδίο ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- 1) Τοπογραφική χάραξη κάθε γραμμής μελέτης.
- 2) Τα μεταλλικά ηλεκτρόδια καρφώνονται στο έδαφος σε συγκεκριμένες ισαποστάσεις κατά μήκος της γραμμής μελέτης.
- 3) Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με τα πολύκλινα καλώδια και αυτά με το όργανο μέτρησης.
- 4) Πραγματοποιείται έλεγχος των αντιστάσεων επαφής των ηλεκτροδίων με το έδαφος. Σε περίπτωση που κάποια ηλεκτρόδια παρουσιάζουν υψηλές τιμές αντιστάσεων επαφής (ανεπαρκής επαφή του ηλεκτροδίου με το έδαφος), καρφώνονται βαθύτερα στο έδαφος ή/και προστίθεται αλατόνερο.
- 5) Μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Το όργανο μέτρησης επιλέγει αυτόματα (βάσει ηλεκτρονικού αρχείου που του εισάγει ο χρήστης) τα ζεύγη των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού. Διοχετεύει ρεύμα από τα 2 ηλεκτρόδια ρεύματος και μετράει τη διαφορά δυναμικού στα ηλεκτρόδια δυναμικού
- 6) Η διαδικασία των μετρήσεων επαναλαμβάνεται για όλα τα ζεύγη των ηλεκτροδίων που βρίσκονται στο ηλεκτρονικό αρχείο που έχει δημιουργήσει ο χρήστης. Τα ζεύγη των ηλεκτροδίων αναδιατάσσονται σύμφωνα με την γεωμετρία συγκεκριμένων διατάξεων

ηλεκτροδίων. Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι διατάξεις ηλεκτροδίων: (α) Συνδυασμός των διατάξεων Wenner και Schlumberger.

3.5 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα ηλεκτρόδια ρεύματος και τα ηλεκτρόδια δυναμικού τοποθετούνται στην ίδια ευθεία γραμμή. Τα ηλεκτρόδια ρεύματος συνήθως τοποθετούνται εξωτερικά των ηλεκτροδίων δυναμικού.

Στην πράξη, συχνότερα, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω διατάξεις:

α) Διάταξη Wenner

Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM = MN = NB = \alpha$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\alpha} \right)^{-1} = 2\pi\alpha \frac{V_{MN}}{I}$$

Η ποσότητα

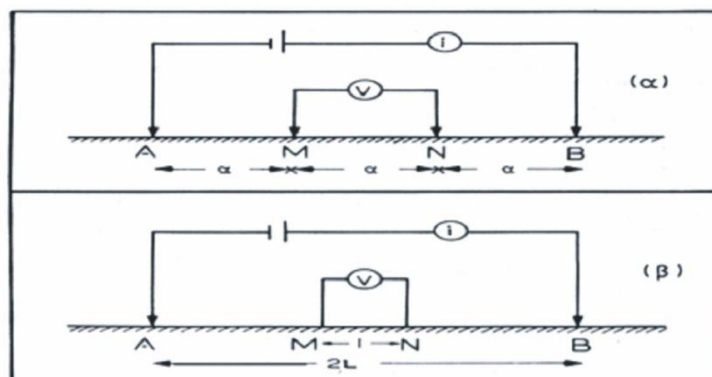
$$2\pi \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\alpha} \right) = 2\pi\alpha$$

ονομάζεται γεωμετρικός συντελεστής και συμβολίζεται με K . Η τιμή του μπορεί να υπολογιστεί αν οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι γνωστές.

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, δηλαδή κατακόρυφη ηλεκτρική διασκόπηση, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται κέντρο της βυθοσκόπησης.

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης το α παραμένει σταθερό και τα τέσσερα ηλεκτρόδια μεταφέρονται κατά μήκος γραμμής μελέτης. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστοιχείται στο κέντρο της διάταξης.

Η διάταξη Wenner παρά τη γεωμετρική της απλότητα παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, αφού κατά την πραγματοποίηση κάθε νέας μέτρησης πρέπει να μετακινούνται όλα τα ηλεκτρόδια.



Σχήμα 3.3 Διατάξεις Wenner (α), Schlumberger (β), (Παπαζάχος, 1986).

β) Διάταξη Schlumberger

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N είναι ανάμεσα στα A και B και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης.

Έτσι είναι $AB = 2L$ και $MN = 2b = l$ (Σχήμα 3.3β), η απόσταση 2b μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση 2L μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Έτσι ο γεωμετρικός συντελεστής K θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{L-b} - \frac{1}{L+b} - \frac{1}{L+b} + \frac{1}{L-b} \right)^{-1} = (L^2 - b^2) \frac{\pi}{2b}$$

Επειδή όμως ($L \gg b$) τότε $(L^2 - b^2) \sim L^2$, και έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{i}$$

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Schlumberger για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά. Αντίθετα η απόσταση για τα ηλεκτρόδια ρεύματος αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης.

Στην ηλεκτρική χαρτογράφηση τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται, ενώ η απόστασή τους παραμένει σταθερή όπως και στη διάταξη Wenner.

Η διάταξη Schlumberger είναι η πιο διαδεδομένη διάταξη για την διεξαγωγή ηλεκτρικής βυθοσκόπησης. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό χρόνο πραγματοποίησης των μετρήσεων, επειδή αντίθετα με τις άλλες διατάξεις απαιτεί μετακίνηση μόνο των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος κατά την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού παραμένουν σταθερά, γεγονός που βοηθάει επίσης στον περιορισμό των ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε πλευρικές μεταβολές των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων των πετρωμάτων.

3.5.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.

Η επιλογή του τρόπου διάταξης των ηλεκτροδίων κατά την πραγματοποίηση μετρήσεων αποτελεί πολύ σημαντικό βήμα για τις γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις. Η διάταξη των ηλεκτροδίων επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την ακρίβεια των μετρήσεων. Οι παράγοντες-κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πριν τις ηλεκτρικές διασκοπήσεις είναι οι παρακάτω:

- Λόγος σήματος προς θόρυβο
Ως προς τον παράγοντα αυτό κατά σειρά προτεραιότητας οι διατάξεις είναι: Wenner, Schlumberger, διπόλου-διπόλου.
- Ευαισθησία σε οριζόντιες ανομοιογένειες
Οι οριζόντιες ανομοιογένειες φαίνεται να προκαλούν μεγαλύτερη ευαισθησία στην διάταξη διπόλου-διπόλου και λιγότερη σε Wenner και Schlumberger.
- Ευαισθησία σε βάθος και διεισδυτικότητα δια μέσου επιφανειακού αγώγιμου στρώματος

Οι διατάξεις Schlumberger και Wenner έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούνται σε βυθοσκοπήσεις και η συνεχώς αυξανόμενη απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος δίνει λεπτομερή ανάλυση της ειδικής αντίστασης σε βάθος, σε αντίθεση με τη διάταξη διπόλου-διπόλου.

- Διεισδυτικότητα δια μέσου επιφανειακού αγώγιμου στρώματος (Επίδραση του επιδερμικού φαινομένου)

Το επιδερμικό φαινόμενο επηρεάζει την ικανότητα διείσδυσης σε μμεγάλα βάθη. Η δυνατότητα μεγάλου ανοίγματος ηλεκτροδίων ρεύματος της διάταξης Schlumberger μαζί με την ευαισθησία σε βάθος που έχει, της παρέχουν ένα σαφές προβάδισμα.

- Βάθος διασκόπησης

Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται κυρίως από το οριζόντιο ανάπτυγμα (απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων), που σημαίνει ότι η διάταξη Schlumberger πλεονεκτεί. Επίσης το βάθος διασκόπησης επηρεάζεται από τις ανομοιογένειες, την τοπογραφία, την κλίση των στρωμάτων, το ανάγλυφο του υπόβαθρου και από το μοντέλο των στρωμάτων του υπεδάφους.

- Ευαισθησία στην μορφολογία του υπόβαθρου

Η διάταξη διπόλου-διπόλου υπερτερεί των άλλων διατάξεων στην περίπτωση των γεωλογικών ανωμαλιών.

- Ευαισθησία στο τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής έρευνας.

Το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο δημιουργεί πύκνωση και αραίωση των ρευματικών γραμμών. Άρα οι διατάξεις των ηλεκτροδίων πρέπει να έχουν διεύθυνση παράλληλη με το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής (Μποτωνάκης-Αντωνοπούλου 2006, Χορευτάκη 2003).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 ΑΝΤΙΣΤΟΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ο προσδιορισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πραγματοποιείται με την αντιστροφή των δεδομένων. Ξεκινώντας από ένα αρχικό μμοντέλο (αυθαίρετο) το πρώτο βήμα είναι η λύση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μμοντέλο αυτό. Οι θεωρητικές αυτές τιμές, μαζί με τις πραγματικές μετρήσεις και τις παραμέτρους του μμοντέλου καθορίζουν ένα σύστημα εξισώσεων. Ακολουθεί η διαδικασία της αντιστροφής, όπου επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων με αγνώστους τις παραμέτρους του μμοντέλου. Υπολογίζεται με τη διαδικασία αυτή ένα νέο βελτιωμένο μμοντέλο που αφορά μόνο τις παραμέτρους του μμοντέλου. Η διαδικασία συνεχίζεται υπολογίζοντας για το βελτιωμένο μμοντέλο τις φαινόμενες αντιστάσεις, οι οποίες συγκρίνονται με τη σειρά τους με τις πραγματικές μετρήσεις. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μμοντέλο που να δίνει φαινόμενες αντιστάσεις όσο το δυνατό πιο κοντά στις μετρήσεις. Με την αντιστροφή γίνεται ο υπολογισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες αντιστάσεις. Στα περισσότερα γεωφυσικά προβλήματα που χρησιμοποιείται η αντιστροφή, τα δεδομένα συνδέονται με μη γραμμικές σχέσεις με τις παραμέτρους του μμοντέλου. Έτσι και στην περίπτωση της αντιστροφής των φαινόμενων αντιστάσεων το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Επιπλέον το πρόβλημα είναι υπερπροσδιορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων υπερβαίνει τον αριθμό των παραμέτρων του μμοντέλου. Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζονται επαναληπτικές τεχνικές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Βαφείδης, 2001).

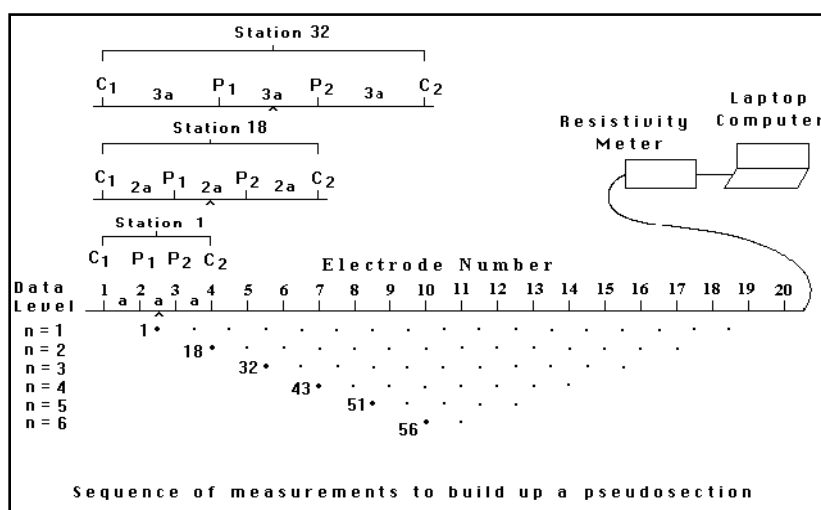
4.2 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RES2DINV

Η αντιστροφή των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού πακέτου Res2Dinv της εταιρείας Geotomo Software. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος στα πρωτογενή δεδομένα και οι ακραίες τιμές (outliers) δεν συμπεριλήφθηκαν στην

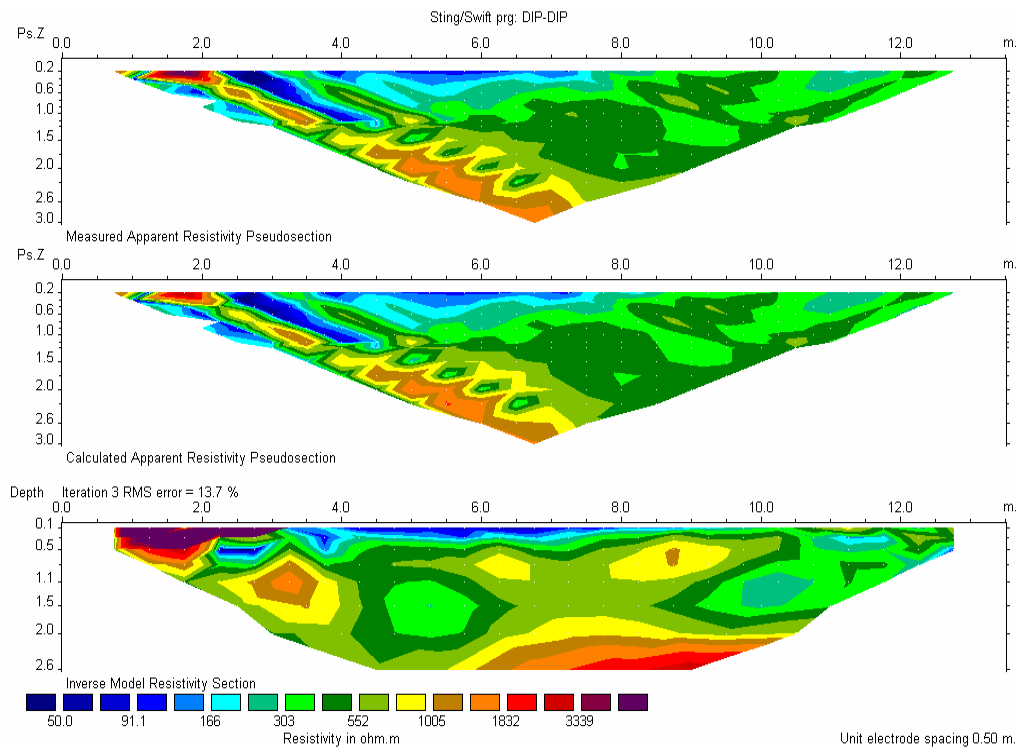
επεξεργασία. Χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της «εύρωστης» (robust ή blocky) αντιστροφής (Claerbout and Muir, 1973) λόγω της ιδιότητάς της να τονίζει τις απότομες μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Hamdan and Vafidis, 2009).

Ο σκοπός αυτού του προγράμματος είναι να καθοριστεί η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα του δισδιάστατου μοντέλου. Σύμφωνα , λοιπόν, με το πρόγραμμα εισάγονται τα δεδομένα από το αρχείο dat. Αφού πραγματοποιηθεί η αντιστροφή των δεδομένων παρουσιάζονται στην οθόνη τρεις τομές.

Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Υπάρχει η δυνατότητα να μην ληφθούν υπόψη μετρήσεις οι οποίες έχουν μεγάλο σφάλμα. Επίσης, ρυθμίζεται ο αριθμός των επαναλήψεων της διαδικασίας της αντιστροφής. Χρησιμοποιείται η τεχνική ελαχίστων τετραγώνων για την αντιστροφή των δεδομένων.



Σχήμα 4.1 Δημιουργία ψευδοτομής από τις μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας.



Σχήμα 4.2 Παράδειγμα αντιστροφής δεδομένων γραμμής ηλεκτρικής τομογραφίας . Η 1^η εικόνα αποτελεί την ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης , η 2^η αποτελεί ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η 3^η είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή.

Το πρόγραμμα RES2DINV έχει ως σκοπό να λειτουργήσει, όσο το δυνατόν περισσότερο, με αυτόματο τρόπο. Έχει ένα σύνολο παραμέτρων προεπιλογής που καθοδηγεί τη διαδικασία αντιστροφής. Αυτό το τμήμα περιγράφει μερικές από τις παραμέτρους που ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει για να καθορίσει με ακρίβεια την διαδικασία αντιστροφής.

Σχεδόν σε όλες τις έρευνες, κάποια δεδομένα είναι γνωστά για τη γεωλογία του υπεδάφους. Σε μερικές περιπτώσεις είναι γνωστό εάν τα όρια της περιοχής που μας ενδιαφέρουν είναι κλιμακωτά, όπως τα όρια ρύπανσης ή πέτρωμα με παχύ μεταβατικό οριακό στρώμα.

Τέτοιες περιπτώσεις, η συμβατική μέθοδος εξομαλυσμένης αντιστροφής δίνει πρότυπο που αντιστοιχεί περισσότερο στην πραγματικότητα. Αυτή είναι η προεπιλεγμένη μέθοδος στο πρόγραμμα RES2DINV. Σε άλλες περιπτώσεις, το υπέδαφος αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς που είναι εσωτερικά σχεδόν ομοιογενείς με ασαφή όρια μεταξύ διαφορετικών σχηματισμών. Για τέτοιες περιπτώσεις, μια περιορισμένη πρότυπη αντιστροφή είναι καταλληλότερη.

Μερικοί γεωλογικοί σχηματισμοί επεκτείνονται κυρίως κατά την οριζόντια διάσταση (παραδείγματος χάριν ιζηματογενή στρώματα και στρωματοειδείς φλέβες) ενώ άλλοι κατά την κάθετη διάσταση (όπως τα αναχώματα). Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να ενσωματωθούν στη διαδικασία αντιστροφής με τη ρύθμιση της σχετικής αναλογίας που δίνονται στα οριζόντια και κάθετα φίλτρα ομαλότητας. Εάν παραδείγματος χάριν η δομή επεκτείνεται κατά την κάθετη διεύθυνση, όπως σ' ένα ανάχωμα, το κάθετο φίλτρο ομαλότητας έχει μεγαλύτερη βαρύτητα από το οριζόντιο φίλτρο.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η ποιότητα των δεδομένων. Δεδομένα καλής ποιότητας συνήθως παρουσιάζουν ομαλή κατανομή των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης στην ψευδοτομή. Για να ληφθεί ένα καλό πρότυπο, τα δεδομένα πρέπει να είναι εξίσου καλής ποιότητας. Εάν τα δεδομένα είναι χειρότερης ποιότητας, με κατ' ασυνήθιστο τρόπο υψηλές ή χαμηλές τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, υπάρχουν διάφορα πράγματα που θα μπορούσαν να γίνουν. Το πρώτο βήμα είναι να εξεταστεί η ψευδοτομή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Εάν υπάρχουν σημεία με σχετικά χαμηλές ή υψηλές τιμές, είναι πιθανό να είναι δεδομένα με σημαντικό σφάλμα. Με το πρόγραμμα RES2DINV, μπορεί επίσης να σχεδιαστούν τα δεδομένα με μορφή σχεδιαγράμματος το οποίο να δίνει έμφαση στα δεδομένα με μεγάλο σφάλμα έτσι ώστε να μπορούν να αφαιρεθούν άμεσα.

Τέλος το πάχος των στρωμάτων μπορεί επίσης να τροποποιηθεί από το χρήστη. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε το μέγιστο βάθος του προτύπου να υπερβαίνει το βάθος της έρευνας. Αυτό είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου μια σημαντική δομή βρίσκεται ακριβώς κάτω από το μέγιστο βάθος έρευνας.

4.3 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RES3DINV

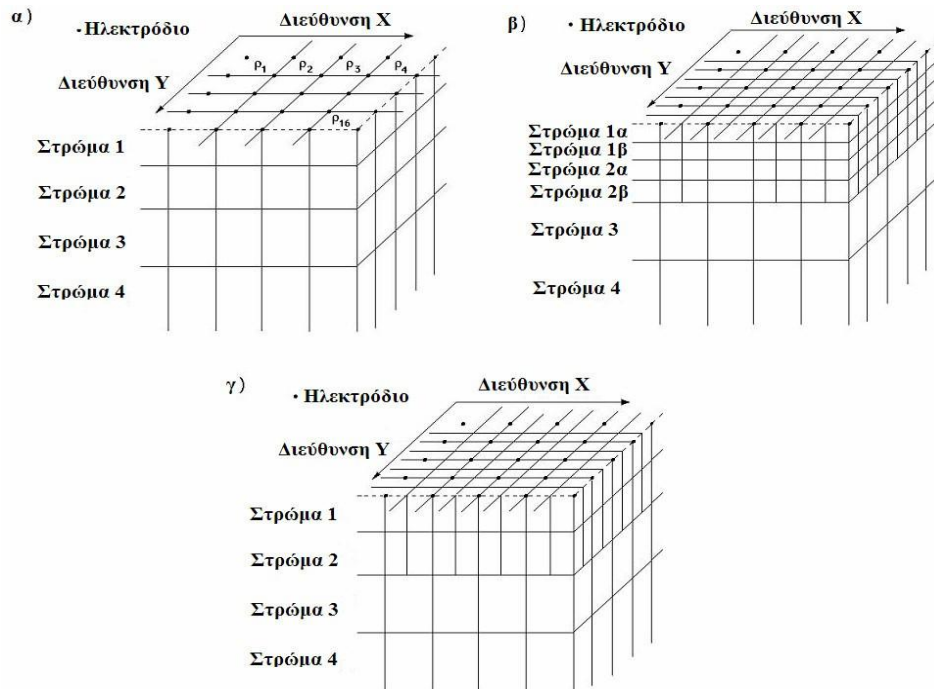
Δεδομένου ότι όλες οι γεωλογικές δομές είναι τρισδιάστατης φύσης, μια πλήρως τρισδιάστατη έρευνα ειδικής αντίστασης που χρησιμοποιεί το τρισδιάστατο πρότυπο ερμηνείας πρέπει θεωρητικά να δώσει ακριβέστερα αποτελέσματα. Οι τρισδιάστατες έρευνες δεν έχουν φθάσει στο επίπεδο να χρησιμοποιούνται τόσο συχνά όσο οι δισδιάστατες έρευνες. Ο κύριος λόγος είναι ότι το κόστος ερευνών είναι συγκριτικά υψηλότερο για τρισδιάστατη έρευνα σε αρκετά μεγάλη περιοχή. Η ανάπτυξη των πολυδιαυλικών μετρητών ειδικής αντίστασης που επιτρέπει περισσότερους από μια αναγνώσεις ταυτόχρονα και οι γρηγορότεροι

μικροϋπολογιστές για την αντιστροφή 8000 δεδομένων σε λογικό χρόνο ευνοούν την πιο συχνή χρήση της τρισδιάστατης έρευνας.

Για τις τρισδιάστατες έρευνες τα ηλεκτρόδια κανονικά τοποθετούνται σε ορθογώνιο κάρναβο με συγκεκριμένο διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων. Ωστόσο, το πρόγραμμα αντιστροφής RES3DINV μπορεί να χειριστεί ακόμα και καννάβους με ανομοιόμορφο διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Τρισδιάστατη αντιστροφή ενός συνόλου δεδομένων μπορεί να γίνει με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων που χρησιμοποιήθηκε στην δισδιάστατη μέθοδο αντιστροφής ελαχίστων τετραγώνων με περιορισμούς εξομάλυνσης. Ένα πρότυπο που χρησιμοποιείται για να ερμηνευθεί το τρισδιάστατο σύνολο δεδομένων παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3α.

Το υπέδαφος διαιρείται σε διάφορα στρώματα και κάθε στρώμα υποδιαιρείται περαιτέρω σε ορθογώνια κελιά. Το τρισδιάστατο πρόγραμμα αντιστροφής ειδικής αντίστασης RES3DINV χρησιμοποιείται για να ερμηνεύσει τα δεδομένα στις τρισδιάστατες έρευνες. Αυτό το πρόγραμμα προσπαθεί να καθορίσει την ειδική αντίσταση των κελιών στο πρότυπο της αντιστροφής ώστε ν' αναπαράγει όσο αξιόπιστα γίνεται τις μετρημένες τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Στα πλαίσια του προγράμματος RES3DINV, το πάχος των στρωμάτων μπορεί να τροποποιηθεί από τον χρήστη. Δύο άλλα εναλλακτικά πρότυπα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με το πρόγραμμα RES3DINV παρουσιάζονται στα σχήματα 4.3β και 4.3γ. Το δεύτερο πρότυπο αντιστροφής υποδιαιρεί μερικά από τα ρηχά στρώματα στο μισό και στις δύο διευθύνσεις. Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι να υποδιαιρεθούν τα ρηχά στρώματα στο μισό μόνο στην οριζόντια κατεύθυνση (σχήμα 4.3γ). Αφού η ανάλυση της μεθόδου της ειδικής αντίστασης μειώνεται με το βάθος, έχει διαπιστωθεί ότι η υποδιαίρεση αυτή είναι ευεργετική μόνο για τα πρώτα δύο στρώματα. Σε πολλές περιπτώσεις, η υποδιαίρεση μόνο του πρώτου στρώματος είναι αρκετή. Με την υποδιαίρεση των κελιών, ο αριθμός των παραμέτρων κι επομένως ο χρόνος που απαιτείται για την αντιστροφή δεδομένων αυξάνονται εντυπωσιακά.



Σχήμα 4.3 Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη αντιστροφή .α)μοντέλο όπου τα άκρα των ορθογωνίων παραλληλεπιδών συμπίπτουν με τις αποστάσεις ηλεκτρονίων στην x και y διάσταση, β)μοντέλο στο οποίο τα πρώτα στρώματα είναι υποδιαιρεμένα στο μισό σε κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση, γ)μοντέλο στο οποίο τα πρώτα στρώματα είναι υποδιαιρεμένα στο μισό σε οριζόντια διεύθυνση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣ ΣΤΟΝ ΟΜΑΛΟ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ Η ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥΣ.

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το Μάιο του 2012 στο οροπέδιο του Ομαλού και αποτελούν εννέα γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας. Οι δύο πρώτες γραμμές LB1 και LB2 έχουν μήκος 540 μέτρα και φτάνουν σε βάθος 100 μέτρα. Οι υπόλοιπες επτά έχουν μήκος 270 μέτρα και φτάνουν σε βάθος 50 μέτρα.

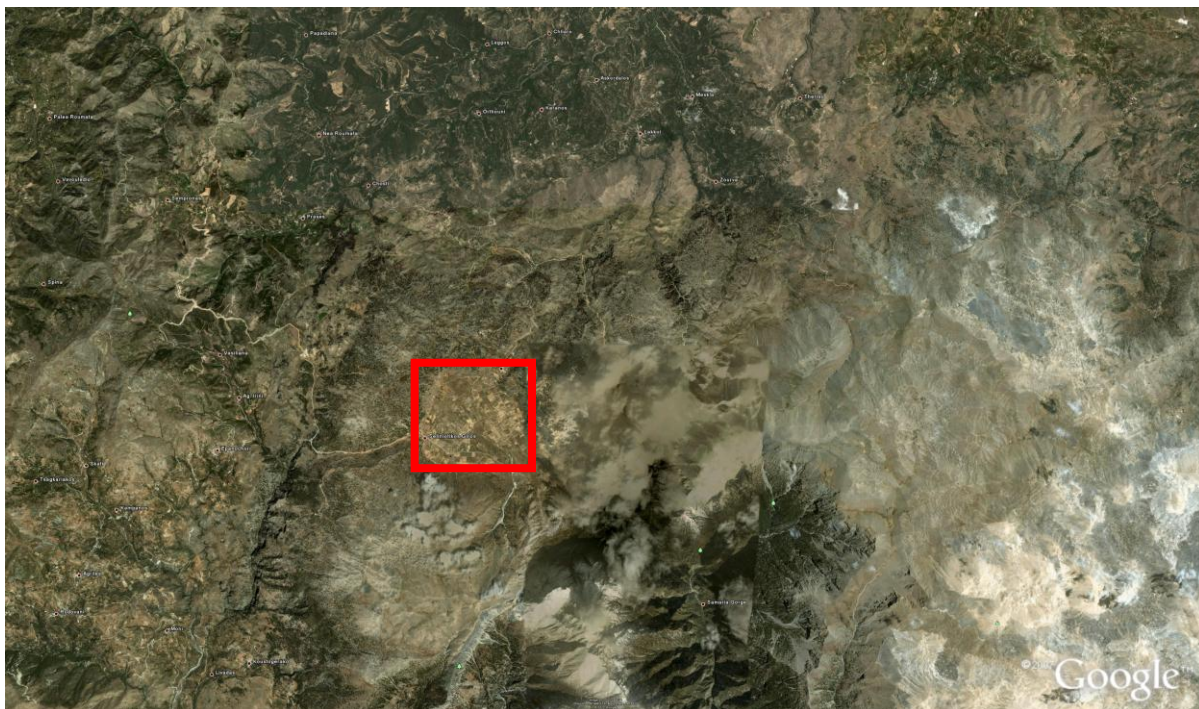
Οι γεωλογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με την βοήθεια του γεωλογικού χάρτη και του παρακάτω πίνακα των γεωλογικών σχηματισμών στο οροπέδιο του ομαλού.

Ονομασία	Περιγραφή	Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση (Ωm)
Ιλύς -Άργιλος	Καστανό ιλυώδες υλικό με άμμο και χαλίκια διαμέτρου μέχρι 5 cm μεταβλητής υγρασίας, Υποκάστανη άργιλος με οργανικές προσμίξεις, Καστανοκίτρινη άργιλος με οργανικές προσμίξεις και λεπτές ενστρώσεις ασβεστιτικού υλικού. Αργιλώδεις χάλικες καστανού χρώματος ισχυρά συγκολλημένοι με σημαντική συνοχή και αμμοχάλικο πολύ πυκνής απόθεσης	35 -350
Κροκαλοπαγή	Κροκάλες	>350
Ανθρακικοί σχηματισμοί	Ασβεστόλιθος	>560

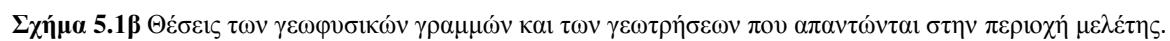
Πίνακας 5.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί στο οροπέδιο του Ομαλού.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Η περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε η γεωφυσική διασκόπηση βρίσκεται στα νότια του οροπεδίου του Ομαλού (Σχήμα 5.1α). Στο Σχήμα 5.1β απεικονίζονται οι γραμμές μελέτης της γεωφυσικής διασκόπησης. Οι συντεταγμένες του χάρτη αντιστοιχούν στο γεωδαιτικό σύστημα Hatt. Στο ίδιο σχήμα απεικονίζονται και οι θέσεις των γεωτρήσεων που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων.



Σχήμα 5.3α Περιοχή μελέτης (πηγή αεροφωτογραφίας: Google EarthTM).



5.2 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Για την απόκτηση των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός των διατάξεων Wenner και Schlumberger. Για την αντιστροφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Res2Dinv το οποίο περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων, σε όλες τις γεωηλεκτρικές τομές, αποδόθηκε κοινή χρωματική κλίμακα, ορίζοντας ως την ελάχιστη ηλεκτρική αντίσταση τα 35 ohm.m και ως μέγιστη, τα 1000 ohm.m. Το εύρος αυτό καλύπτει όλες τις τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προσδιορίστηκαν στις γεωηλεκτρικές τομές της περιοχής μελέτης.

5.2.1 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LB1

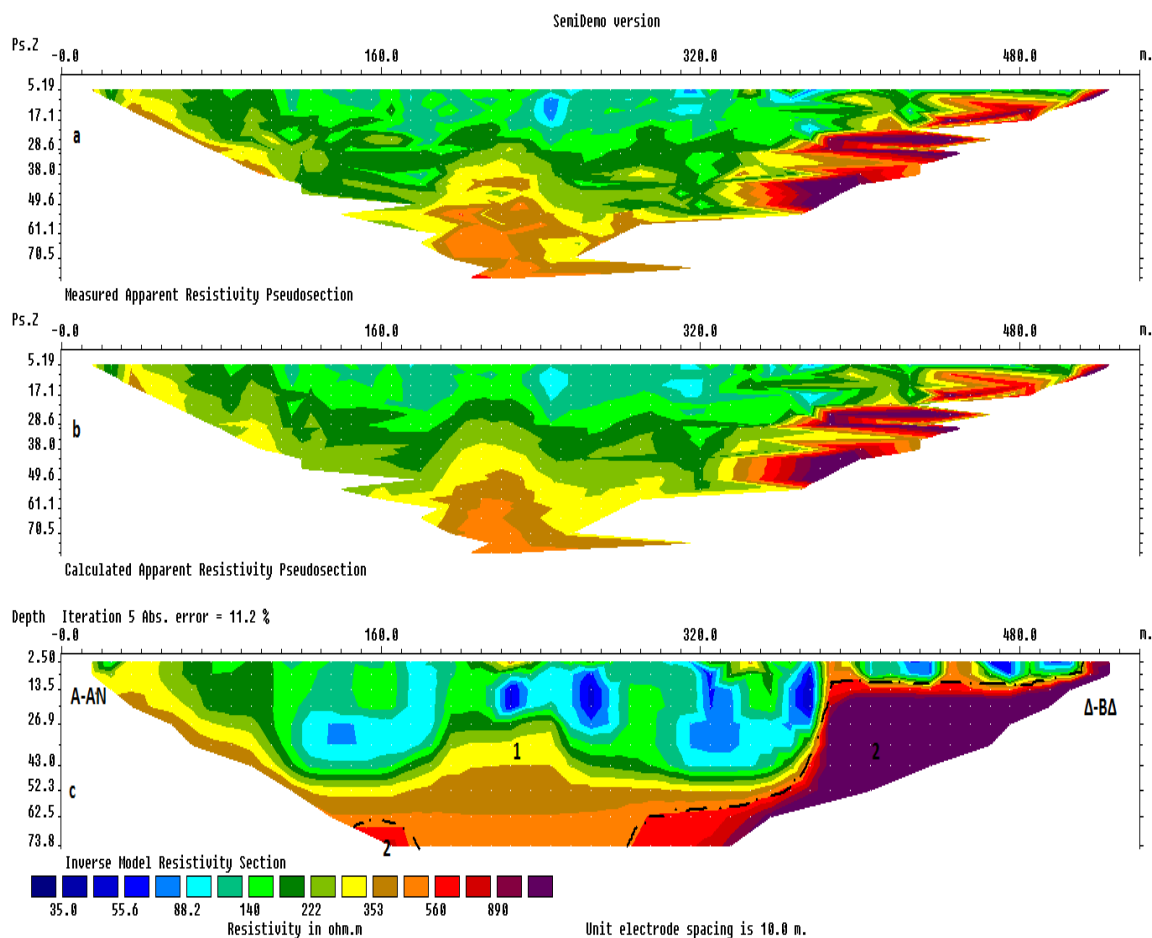
Η γραμμή μελέτης LB1 έχει διεύθυνση από Ανατολικά – Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά Βόρειο Δυτικά. Αποτελείται από 55 ηλεκτρόδια τα οποία έχουν ισαπόσταση μεταξύ τους 10 μέτρα. Η γραμμή μελέτης έχει μήκος 540 μέτρων και φτάνει σε βάθος 100 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.2 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 11.2 % .

Εμφανίζονται 2 γεωλογικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γραμμής μελέτης και αποτελείται από τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που κυμαίνονται από 35 – 350 Ω m.
2. Το δεύτερο στρώμα που παρουσιάζει και περισσότερο ενδιαφέρον εμφανίζεται δύο φορές. Αρχικά από το 150ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 170ό και σε βάθος 62 μέτρων.

Επίσης εμφανίζεται σε μεγαλύτερη έκταση από το 280ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το τέλος αυτής και σε βάθη από την επιφάνεια μέχρι τα 75 μέτρα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $> 560 \Omega\text{m}$.



Σχήμα 5.2 Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης LB1. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 11,2 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα. Η γραμμή μελέτης LB1 έχει διεύθυνση από Ανατολικά – Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά Βόρειο Δυτικά.

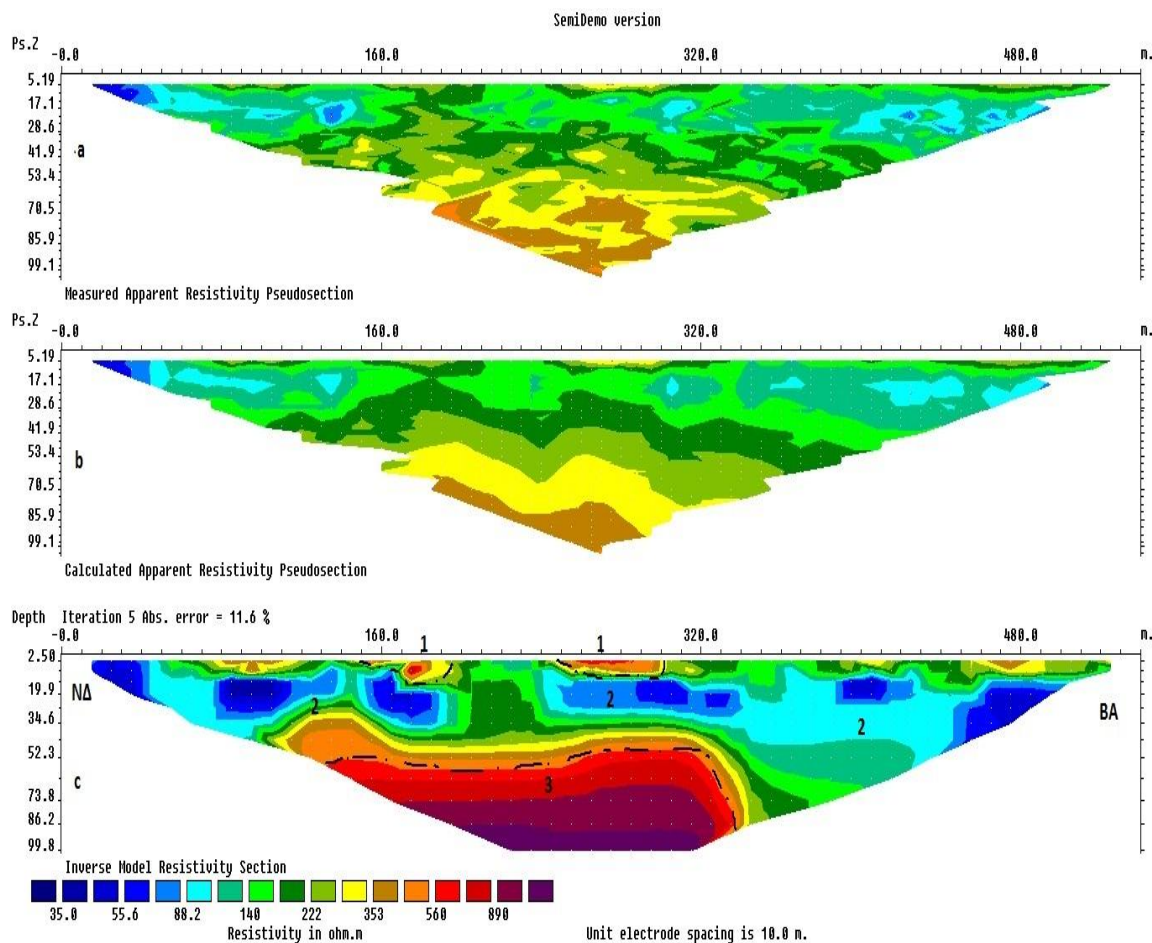
5.2.2 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LB2

Η γραμμή μελέτης LB2 έχει διεύθυνση Νότιο Δυτικά προς Βόρειο Ανατολικά. Αποτελείται από 55 ηλεκτρόδια τα οποία έχουν ισαπόσταση μεταξύ τους 10 μέτρα. Η γραμμή μελέτης έχει μήκος 540 μέτρων και φτάνει σε βάθος 100 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.3 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 11.6 % .

Εμφανίζονται 3 γεωλογικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα είναι επιφανειακό και εμφανίζεται σε μικρά βάθη μέχρι 15μέτρα περίπου. Γίνεται αντιληπτό από το 80ό έως το 100ό μέτρο της γραμμής μελέτης, από το 150ό – 200ό και από το 250ό – 300ό. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $> 560 \Omega m$.
2. Το δεύτερο στρώμα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γραμμής μελέτης και βρίσκεται επίσης σε ένα μεγάλο εύρος βάθος. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κυμαίνονται μεταξύ 35 – 350 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα εμφανίζεται από το 140ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 320ό και σε βάθος 50- 100 μέτρα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που εμφανίζονται σε αυτό το στρώμα είναι $>560 \Omega m$.



Σχήμα 5.3 Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης LB2. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 11,6 %. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα. Η γραμμή μελέτης LB2 έχει διεύθυνση Νότιο Δυτικά προς Βόρειο Ανατολικά.

5.2.3 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD1

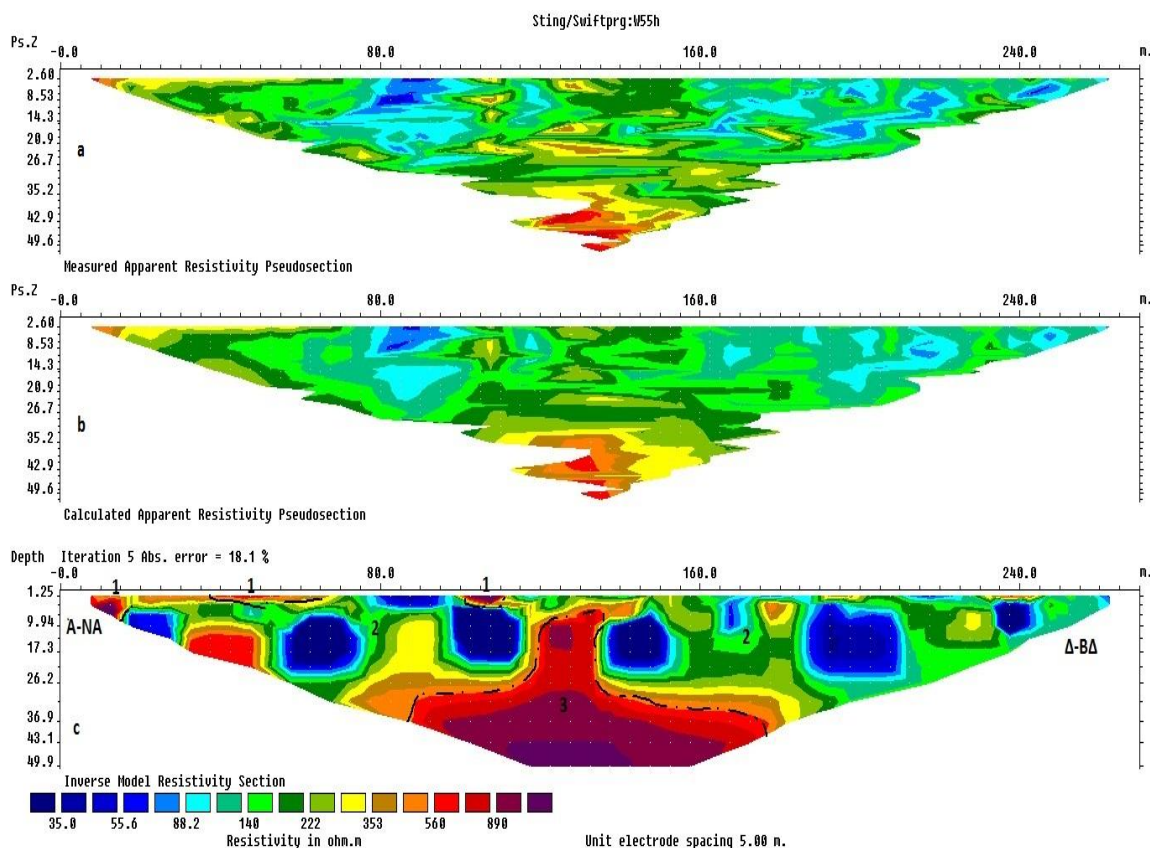
Η γραμμή μελέτης LD1 έχει διεύθυνση Ανατολικά Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά Βόρειο Δυτικά. Αποτελείται από 55 ηλεκτρόδια τα οποία έχουν ισαπόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα. Η γραμμή μελέτης έχει μήκος 270 μέτρων και φτάνει σε βάθος 50 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.4 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 18.1 % .

Εμφανίζονται 3 γεωλογικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα είναι επιφανειακό και εμφανίζεται σε μικρά βάθη μέχρι 10μέτρα περίπου. Γίνεται αντιληπτό από την αρχή της γραμμής μελέτης έως το 60ό μέτρο της γραμμής μελέτης και από το 120ό – 140ό. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $> 560 \Omega m$.
2. Το δεύτερο στρώμα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γραμμής μελέτης και βρίσκεται επίσης σε ένα μεγάλο εύρος βάθους ανάμεσα από το 1ό και 3ό στρώμα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κυμαίνονται μεταξύ 35 – 350 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα εμφανίζεται περίπου στη μέση της γραμμής μελέτης και συγκεκριμένα από 100ό έως 200ό και σε βάθος από 9 – 45 μέτρα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $> 560 \Omega m$.



Σχήμα 5.4 Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης LD1. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 18.1%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα. Η γραμμή μελέτης LD1 έχει διεύθυνση Ανατολικά Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά Βόρειο Δυτικά.

5.2.4 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD2

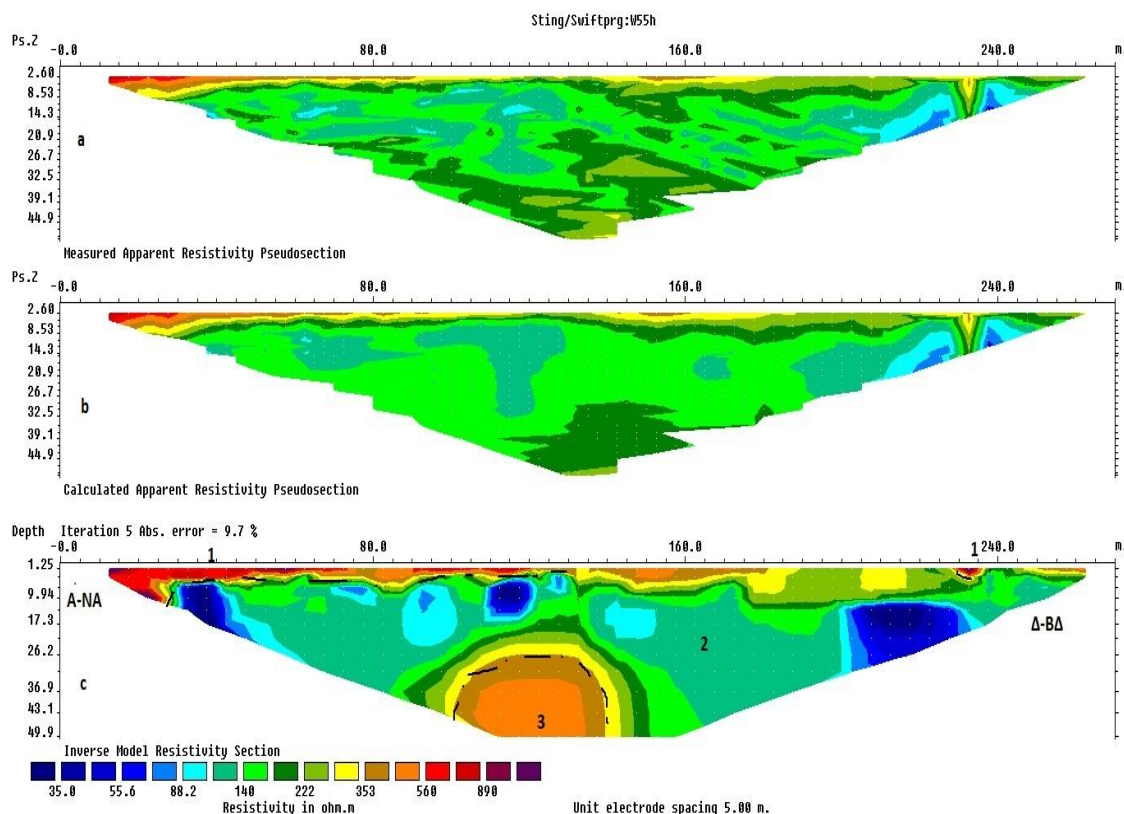
Η γραμμή μελέτης LD2 έχει διεύθυνση Ανατολικά Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά Βόρειο Δυτικά. Αποτελείται από 55 ηλεκτρόδια τα οποία έχουν ισαπόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα. Η γραμμή μελέτης έχει μήκος 270 μέτρων και φτάνει σε βάθος 50 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.5 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 9.7 % .

Εμφανίζονται 3 γεωλογικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα είναι επιφανειακό και εμφανίζεται σε μικρά βάθη μέχρι 10 μέτρα περίπου και εμφανίζεται σε όλο το μήκος της γραμμής μελέτης. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $> 560 \Omega\text{m}$.
2. Το δεύτερο στρώμα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γραμμής μελέτης και βρίσκεται επίσης σε ένα μεγάλο εύρος βάθους ανάμεσα από το 1ό και 3ό στρώμα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κυμαίνονται μεταξύ 35 – 350 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα εμφανίζεται περίπου στη μέση της γραμμής μελέτης και συγκεκριμένα από 110ό έως 170ό και σε βάθος από 26 – 50 μέτρα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $< 560 \Omega\text{m}$.



Σχήμα 5.5 Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης LD2. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 9.7%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα. Η γραμμή μελέτης LD2 έχει διεύθυνση Ανατολικά Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά.

5.2.5 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD3

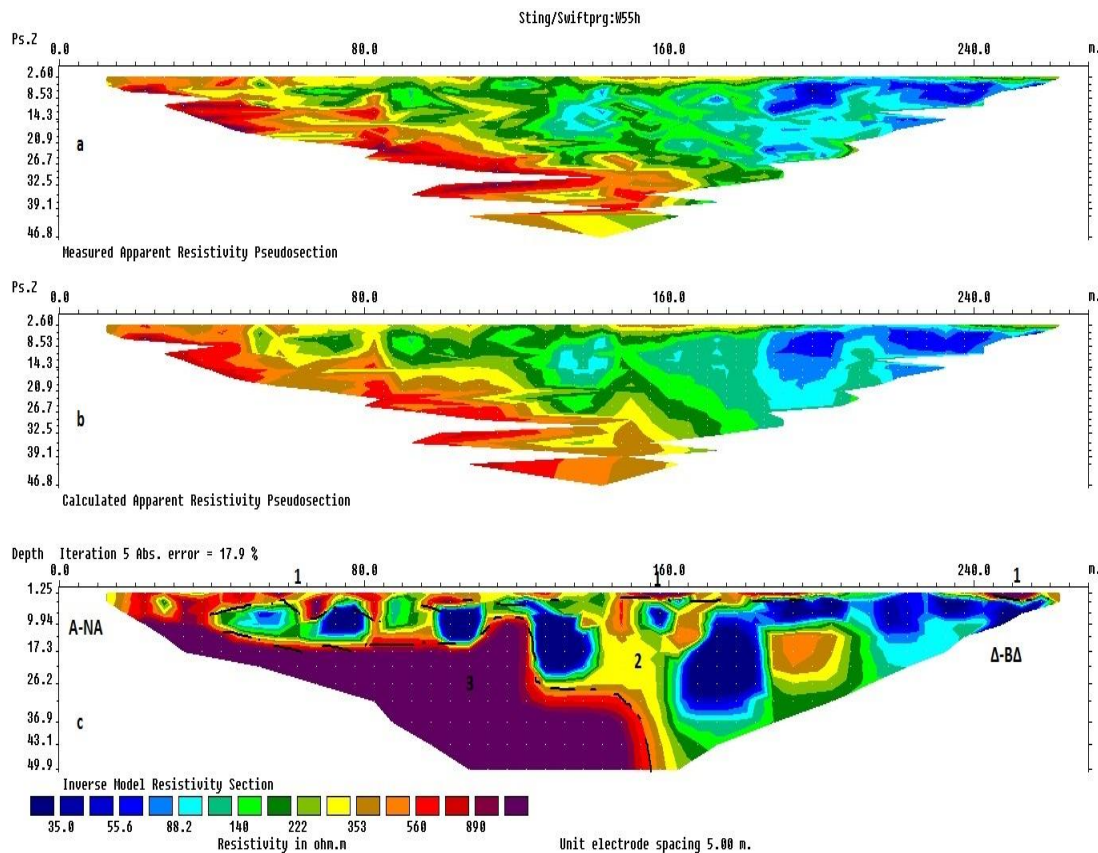
Η γραμμή μελέτης LD3 έχει διεύθυνση Ανατολικά Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά Βόρειο Δυτικά. Αποτελείται από 55 ηλεκτρόδια τα οποία έχουν ισαπόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα. Η γραμμή μελέτης έχει μήκος 270 μέτρων και φτάνει σε βάθος 50 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.6 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 17.9 % .

Εμφανίζονται 3 γεωλογικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα είναι επιφανειακό και εμφανίζεται σε μικρά βάθη μέχρι 8 μέτρα περίπου και εμφανίζεται σχεδόν σε όλο το μήκος της γραμμής μελέτης. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $> 560 \Omega\text{m}$.
2. Το δεύτερο στρώμα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γραμμής μελέτης. Εμφανίζεται από το 50ό μέχρι το τέλος της γραμμής μελέτης. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κυμαίνονται μεταξύ $35 - 350 \Omega\text{m}$.
3. Το τρίτο στρώμα εμφανίζεται από το 30ό μέτρο της γραμμής μελέτης και μέχρι το 140ό και σε βάθος από 10 – 50 μέτρα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $> 560 \Omega\text{m}$.



Σχήμα 5.6 Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης LD3. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 17.9%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα. Η γραμμή μελέτης LD3 έχει διεύθυνση Ανατολικά Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά.

5.2.6 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD4

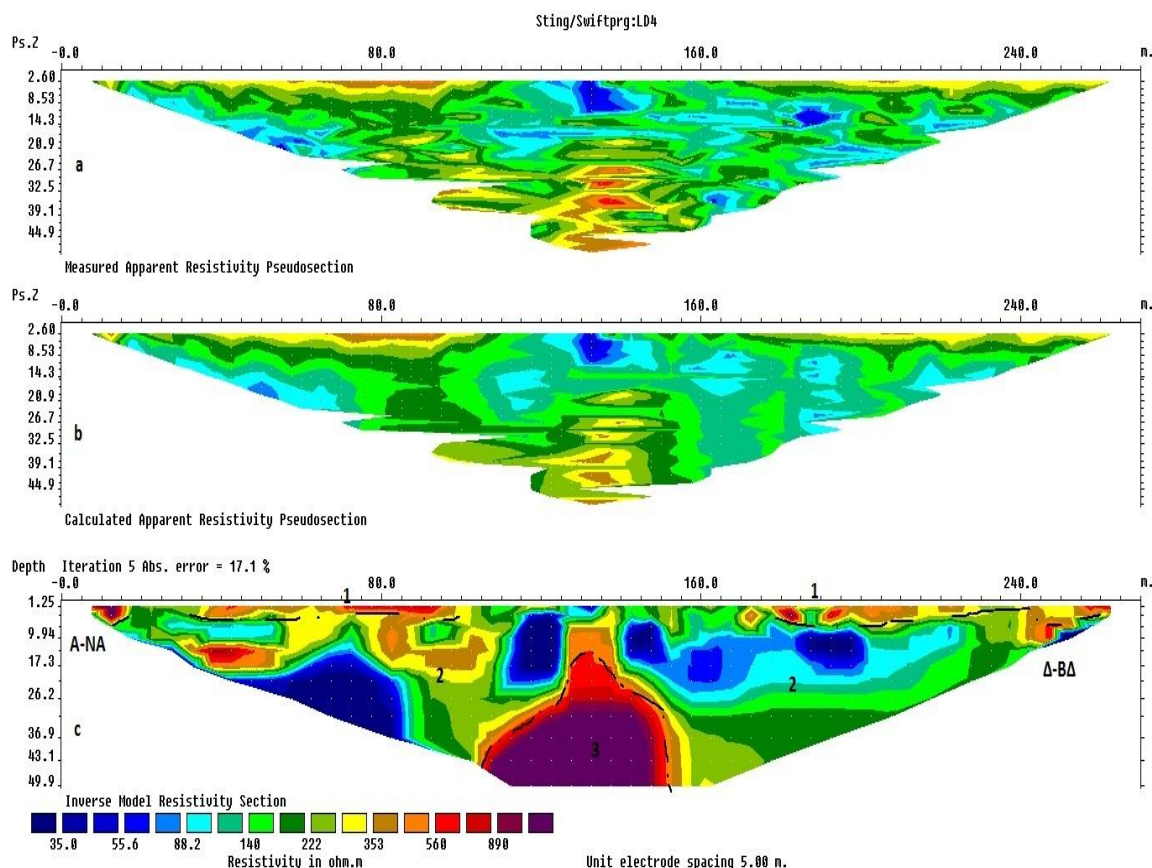
Η γραμμή μελέτης LD4 έχει διεύθυνση Ανατολικά Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά Βόρειο Δυτικά. Αποτελείται από 55 ηλεκτρόδια τα οποία έχουν ισαπόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα. Η γραμμή μελέτης έχει μήκος 270 μέτρων και φτάνει σε βάθος 50 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.7 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 17.9 % .

Εμφανίζονται 3 γεωλογικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα είναι επιφανειακό φτάνει σε βάθος μέχρι 10 μέτρα και εμφανίζεται σχεδόν σε όλη τη γραμμής μελέτης. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $>560 \Omega\text{m}$.
2. Το δεύτερο στρώμα εκτείνεται σε όλο το μήκος της γραμμής μελέτης και σε αντίστοιχα βάθη. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κυμαίνονται από 35 – 350 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα εμφανίζεται περίπου στο μέσο της γραμμής μελέτης και συγκεκριμένα από το 100ό μέχρι το 150ό μέτρο της γραμμής μελέτης και σε βάθος από 17 – 50 μέτρα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $>560 \Omega\text{m}$.



Σχήμα 5.7 Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης LD4. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 17.1%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα. Η γραμμή μελέτης LD4 έχει διεύθυνση Ανατολικά Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά Βόρειο Δυτικά.

5.2.7 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD7

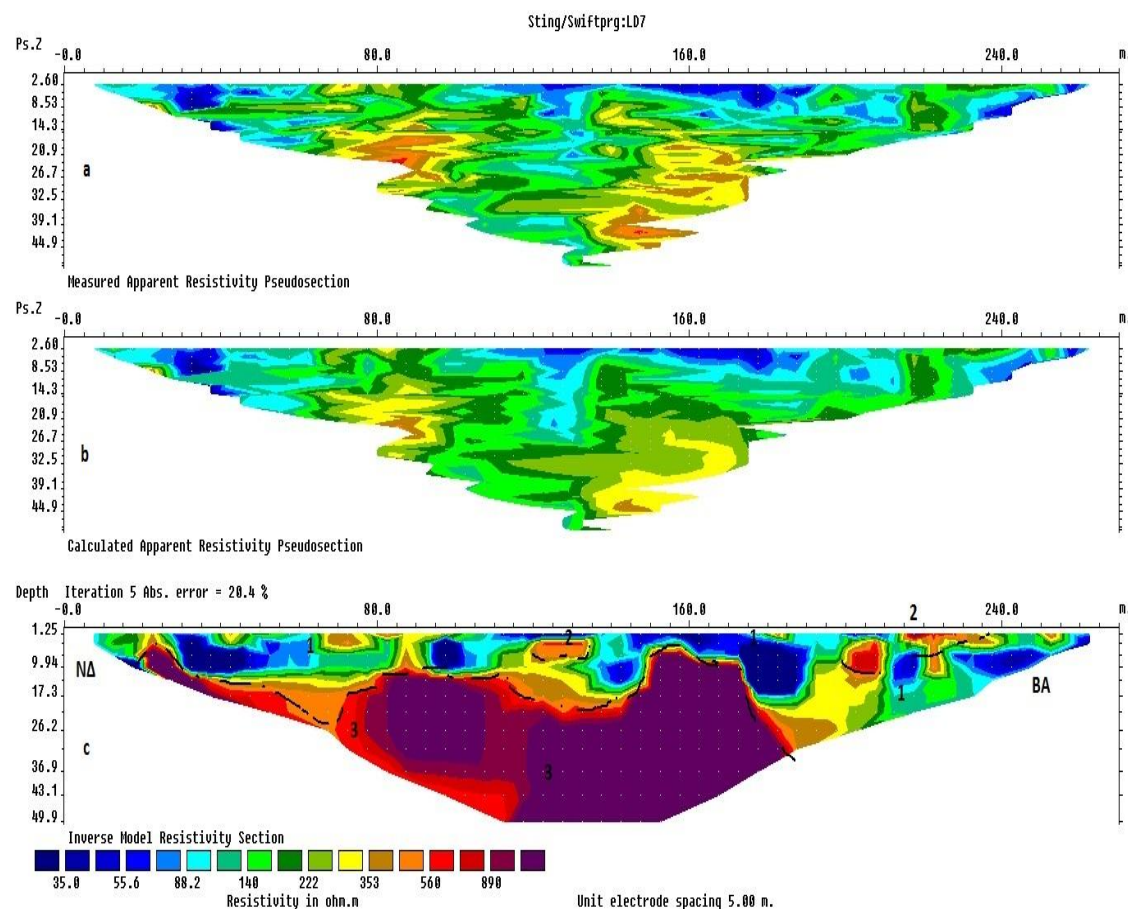
Η γραμμή μελέτης LD7 έχει διεύθυνση Νότιο Δυτικά προς Βόρειο Ανατολικά. Σε απόσταση πολύ κοντά από την γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση BH4 στην οποία δεν βρήκαμε ανθρακικό σχηματισμό. Αποτελείται από 55 ηλεκτρόδια τα οποία έχουν ισαπόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα. Η γραμμή μελέτης έχει μήκος 270 μέτρων και φτάνει σε βάθος 50 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.8 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 20.4 % .

Εμφανίζονται 3 γεωλογικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα είναι επιφανειακό φτάνει σε βάθος μέχρι 26 μέτρα και εμφανίζεται σχεδόν σε όλη τη γραμμή μελέτης. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι από 35 -350 Ωm.
2. Το δεύτερο στρώμα εμφανίζεται σε συγκεκριμένες περιοχές και έχει μικρή έκταση. Εμφανίζεται αρχικά στο 120ό -140ό μέτρο της γραμμής μελέτης και σε βάθος 9 μέτρων και στη συνέχεια 190ό -240ό μέτρο της γραμμής μελέτης και σε βάθος μέχρι 10 μέτρα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι >560 Ωm
3. Το τρίτο στρώμα εμφανίζεται σε ένα μεγάλο εύρος της γραμμής μελέτης από το 70ό μέχρι το 170ό μέτρο της γραμμής μελέτης και σε βάθος από 6 – 50 μέτρα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι >560 Ωm.



Σχήμα 5.8 Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης LD7. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 20.4%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

5.2.8 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD10

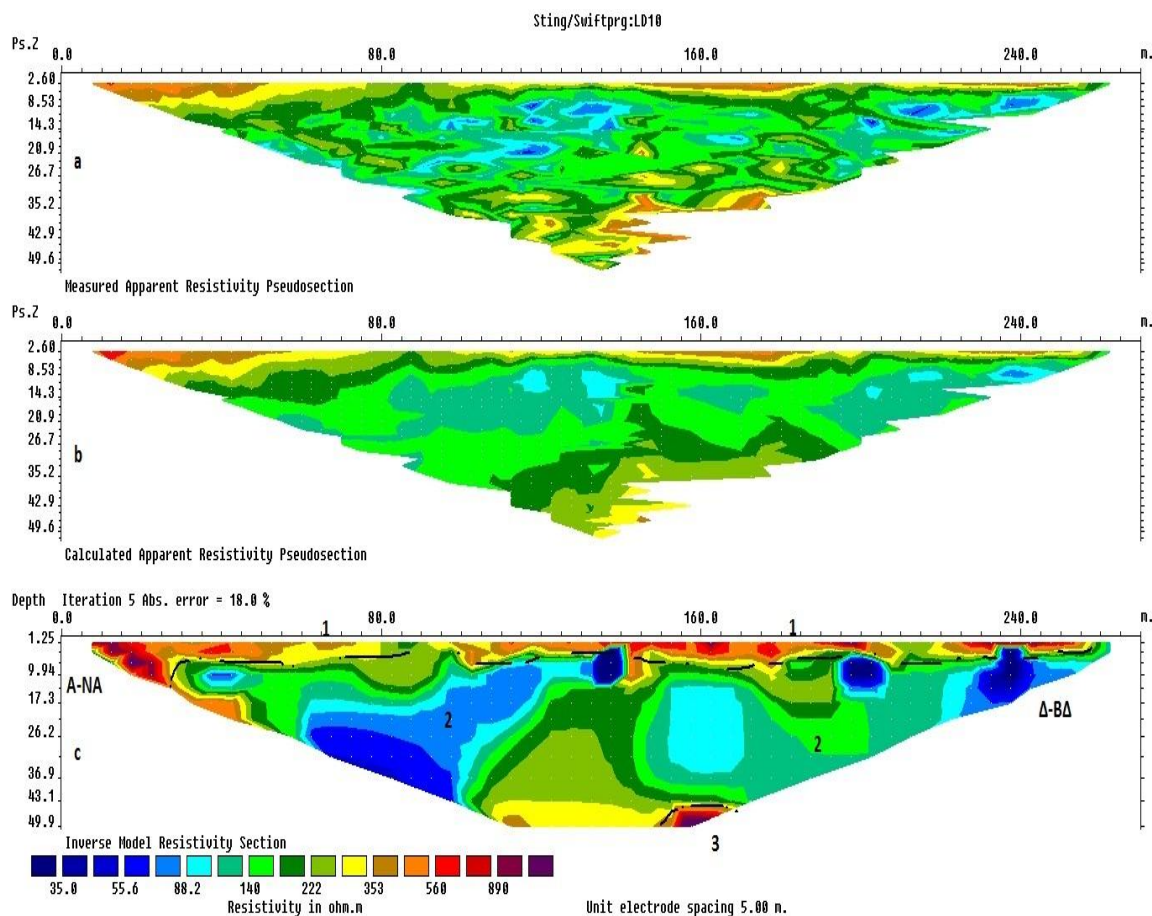
Η γραμμή μελέτης LD10 έχει διεύθυνση Ανατολικά Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά Βόρειο Δυτικά. Αποτελείται από 55 ηλεκτρόδια τα οποία έχουν ισαπόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα. Η γραμμή μελέτης έχει μήκος 270 μέτρων και φτάνει σε βάθος 50 μέτρα.

Στο Σχήμα 5.9 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 18 % .

Εμφανίζονται 3 γεωλογικά στρώματα:

1. Το πρώτο στρώμα είναι επιφανειακό, εμφανίζεται σε όλη τη γραμμή μελέτης και φτάνει σε βάθη μέχρι 11 μέτρα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $>560 \Omega\text{m}$.
2. Το δεύτερο στρώμα το μεγαλύτερο ποσοστό της τομής και έχει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 35 – 350 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα έχει μικρή έκταση και εμφανίζεται από το 150ό μέτρο της γραμμής μελέτης μέχρι το 165ό και σε βάθος 43 μέτρων. οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $>560 \Omega\text{m}$.



Σχήμα 5.9 Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης LD10. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 18%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα. Η γραμμή μελέτης LD10 έχει διεύθυνση Ανατολικά Νότιο Ανατολικά προς Δυτικά Βόρειο Δυτικά.

5.2.9 ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ LD11

Η γραμμή LD11 έχει διεύθυνση ΝΔ προς ΒΑ. Στο κέντρο αυτής της γραμμής (135 m) πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση BH3 η οποία μας δείχνει το ανθρακικό υπόβαθρο εμφανίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 25 m με σκοπό να βαθμονομηθούν τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης.

. Αποτελείται από 55 ηλεκτρόδια τα οποία έχουν ισαπόσταση μεταξύ τους 5 μέτρα. Η γραμμή μελέτης έχει μήκος 270 μέτρων και φτάνει σε βάθος 50 μέτρα.

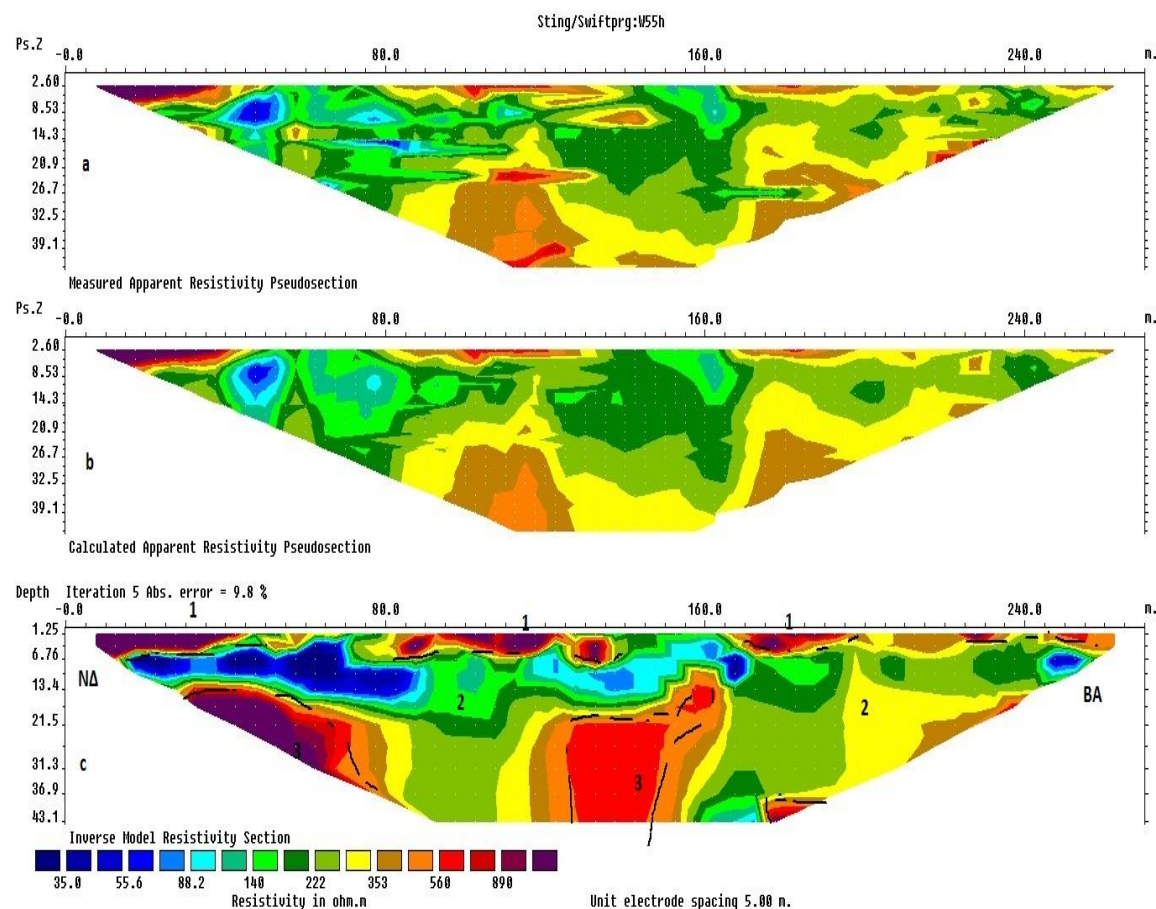
Στο Σχήμα 5.10 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudosection), η

οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section).

Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 9.8 % .

Εμφανίζονται 3 γεωλογικά στρώματα:

1. Το πρώτο είναι επιφανειακό και φτάνει σε βάθη έως 7 μέτρα. Εμφανίζεται σε αρκετές περιοχές της γραμμής μελέτης. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $> 560 \Omega m$.
2. Το δεύτερο στρώμα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής τομής και έχει εύρος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 35-350 Ωm .
3. Το τρίτο στρώμα εμφανίζεται δύο φορές. Αρχικά από το 30ό μέχρι το 70ό μέτρο της γραμμής μελέτης και σε βάθος από 13 – 23 μέτρα και στη συνέχεια από 120ό - 160ό μέτρο και σε βάθη από 13-43 μέτρα. Οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι $>560 \Omega m$.



Σχήμα 5.10 Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης (c) της γραμμής μελέτης LD11. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 9.8%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές χωρίζονται τα γεωηλεκτρικά στρώματα. Η γραμμή LD11 έχει διεύθυνση ΝΔ προς ΒΑ.

5.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

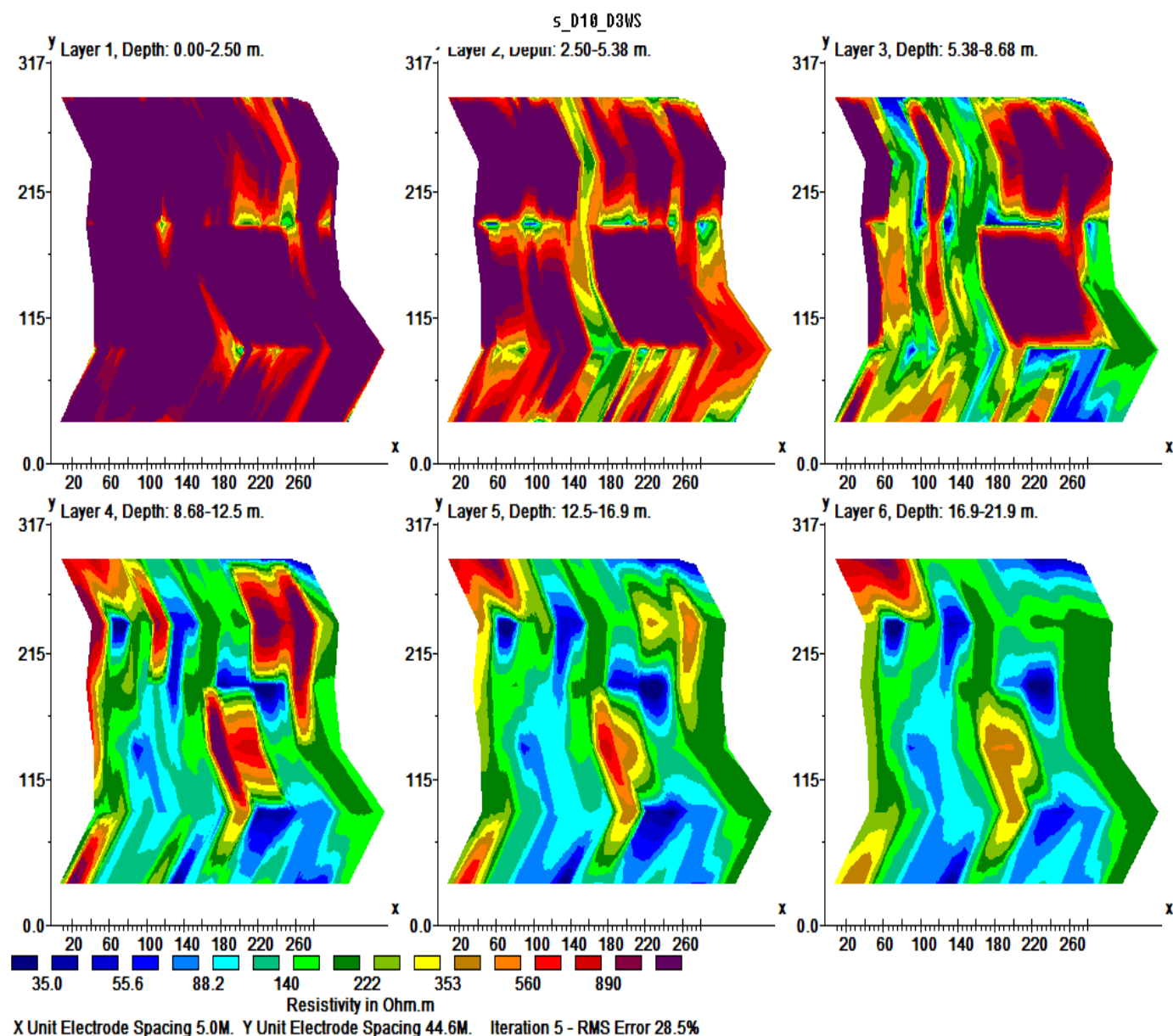
Τα γεωηλεκτρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας ενώθηκαν για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 4529 μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, που συλλέχθηκαν με την διάταξη Wenner-Schlumberger.

Η επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας έγινε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου RES3DINV. Το πρόγραμμα RES3DINV πραγματοποιεί τρισδιάστατη αντιστροφή, με τον ίδιο τρόπο που πραγματοποιείται η δισδιάστατη αντιστροφή που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά σε τρεις διαστάσεις για την εκτίμηση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο χώρο.

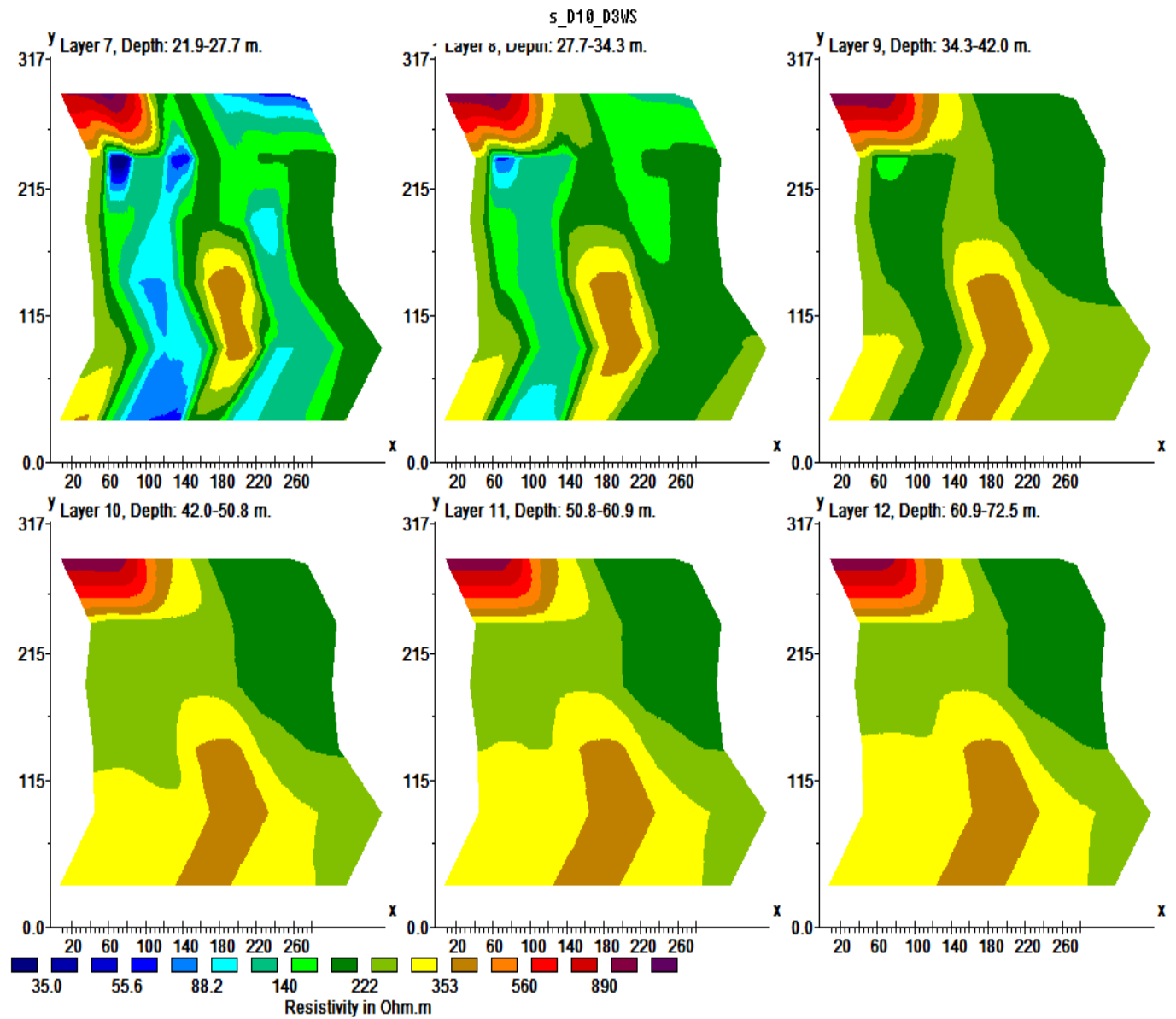
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι γεωηλεκτρικές τομές κάθετες (YZ) συναρτήσει του πλάτους των γραμμών μελέτης και το βάθους, οριζόντιες (XZ) συναρτήσει του μήκους των γραμμών και του πλάτους σε διάφορα βάθη, καθώς και τομές στους άξονες XY, όπως στις δισδιάστατες τομές. Θα χρησιμοποιηθεί ίδια χρωματική κλίμακα ($35\Omega\mu - 1000\Omega\mu$).

5.3.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ X-Z.

Στις οριζόντιες τρισδιάστατες γεωηλεκτρικές τομές παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αντιστροφής σε διάφορα βάθη. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται τμηματικά ανά τομή τα αποτελέσματα σε όλο το μήκος και πλάτος των γραμμών μελέτης από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθος 72.5μέτρων.



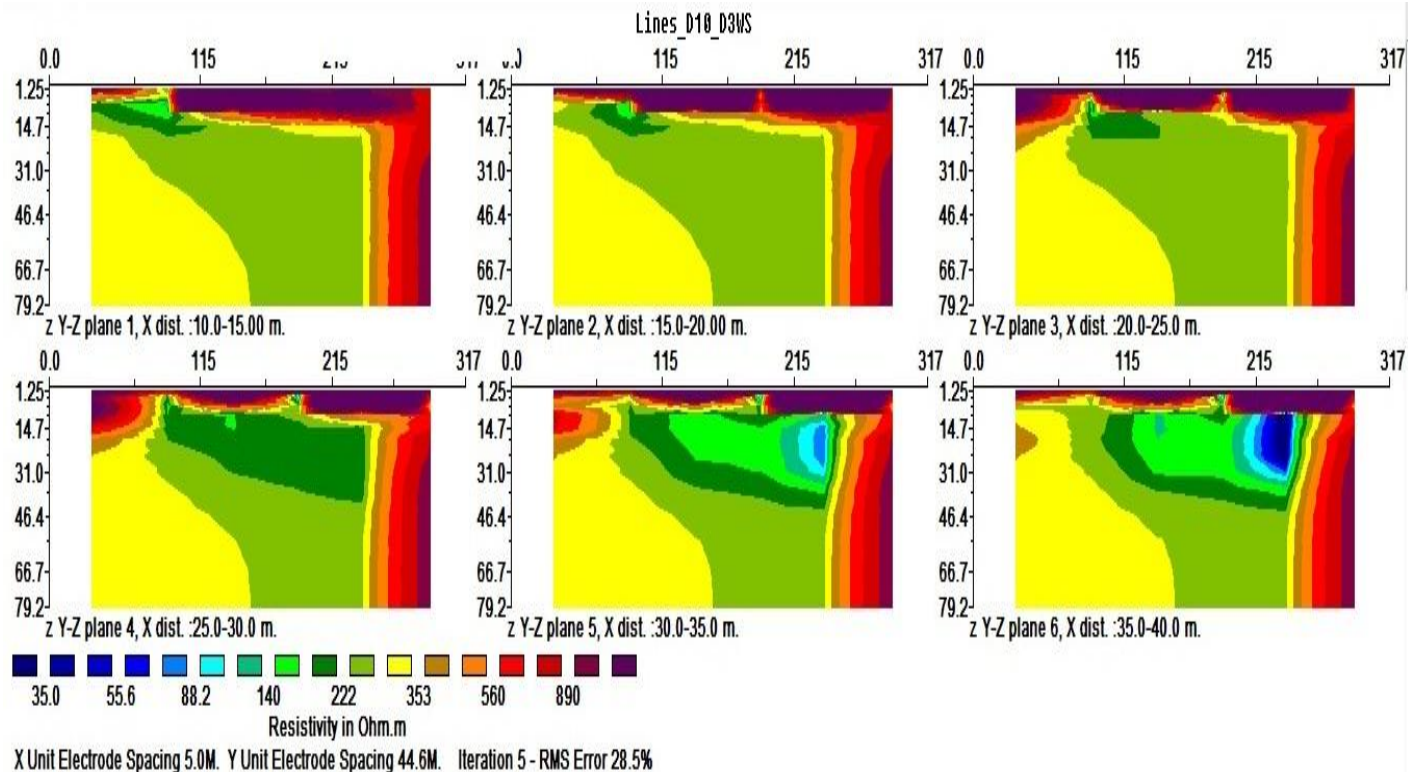
Σχήμα 5.11 Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές της τρισδιάστατης αντιστροφής σε βάθος 0-21.9 μέτρων με προσανατολισμό ΝΔ-ΒΑ.



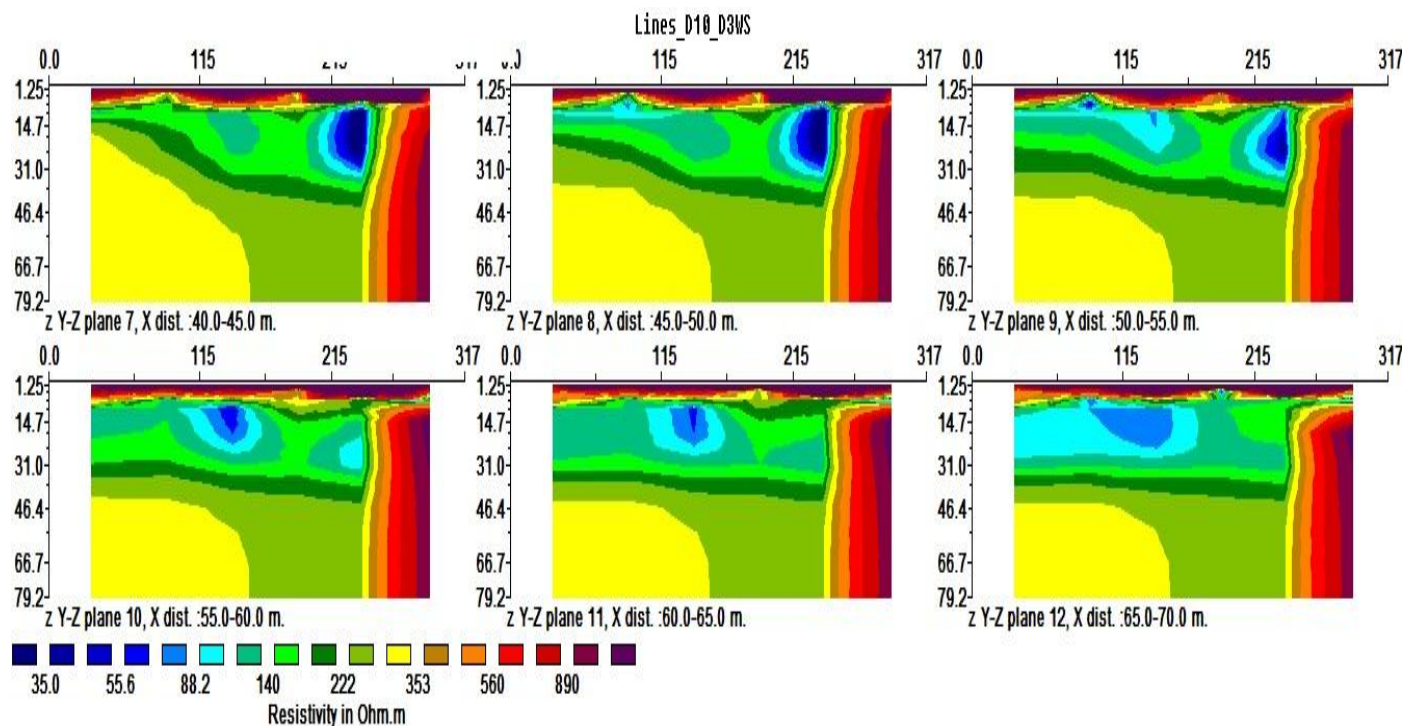
Σχήμα 5.12 Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές της τρισδιάστατης αντιστροφής σε βάθος 21.9-72,5 μέτρων με προσανατολισμό ΝΔ-ΒΑ.

5.3.2 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΣΤΟΥΣ ΑΞΟΝΕΣ Y-Z.

Οι τομές στο πεδίο αυτό παρουσιάζουν τα τρισδιάστατα αποτελέσματα σε όλη την έκταση των γραμμών μελέτης και σε βάθος 79,2 μέτρων. Ο ένας άξονας είναι το πλάτος του καννάβου και ο άλλος το βάθος. Η παρουσίαση γίνεται τμηματικά και κάθε εικόνα δείχνει 6 τομές οι οποίες δείχνουν αποτελέσματα για κάθε 30 μέτρα στις γραμμές μελέτης.

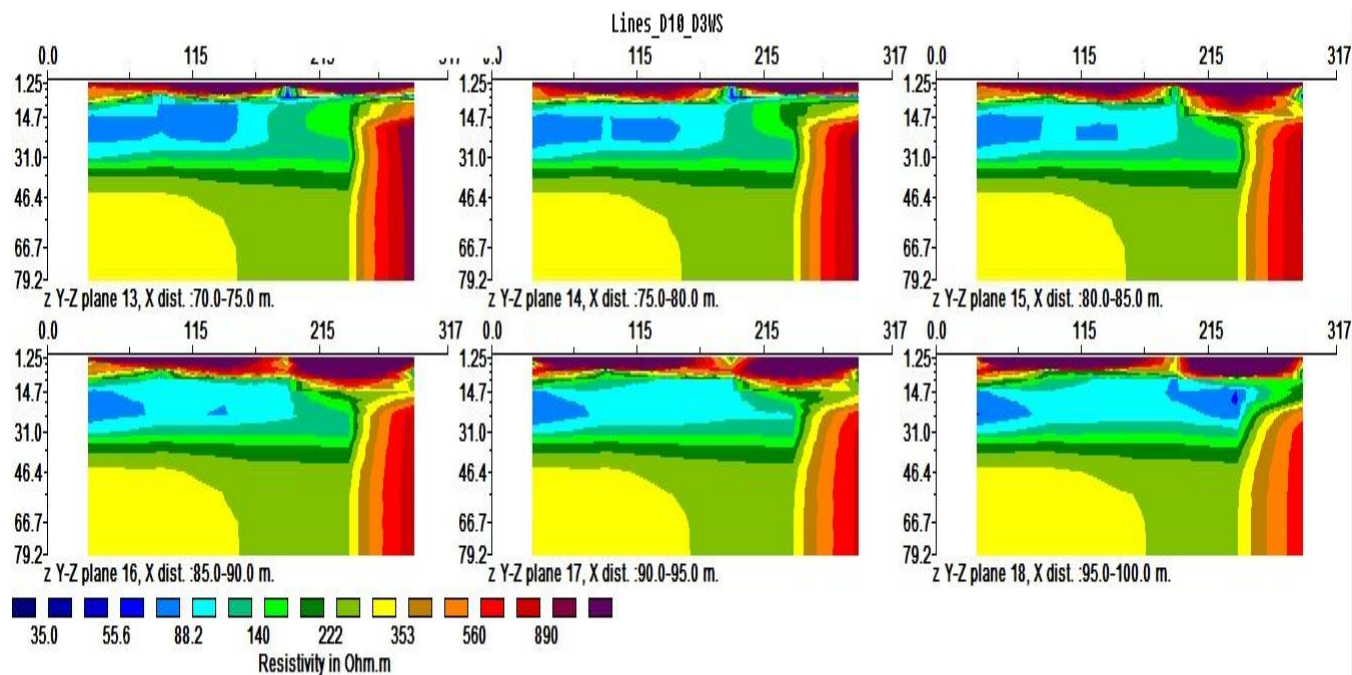


Σχήμα 5.13 Γεωηλεκτρικές τομές 10-40 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής με προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ.



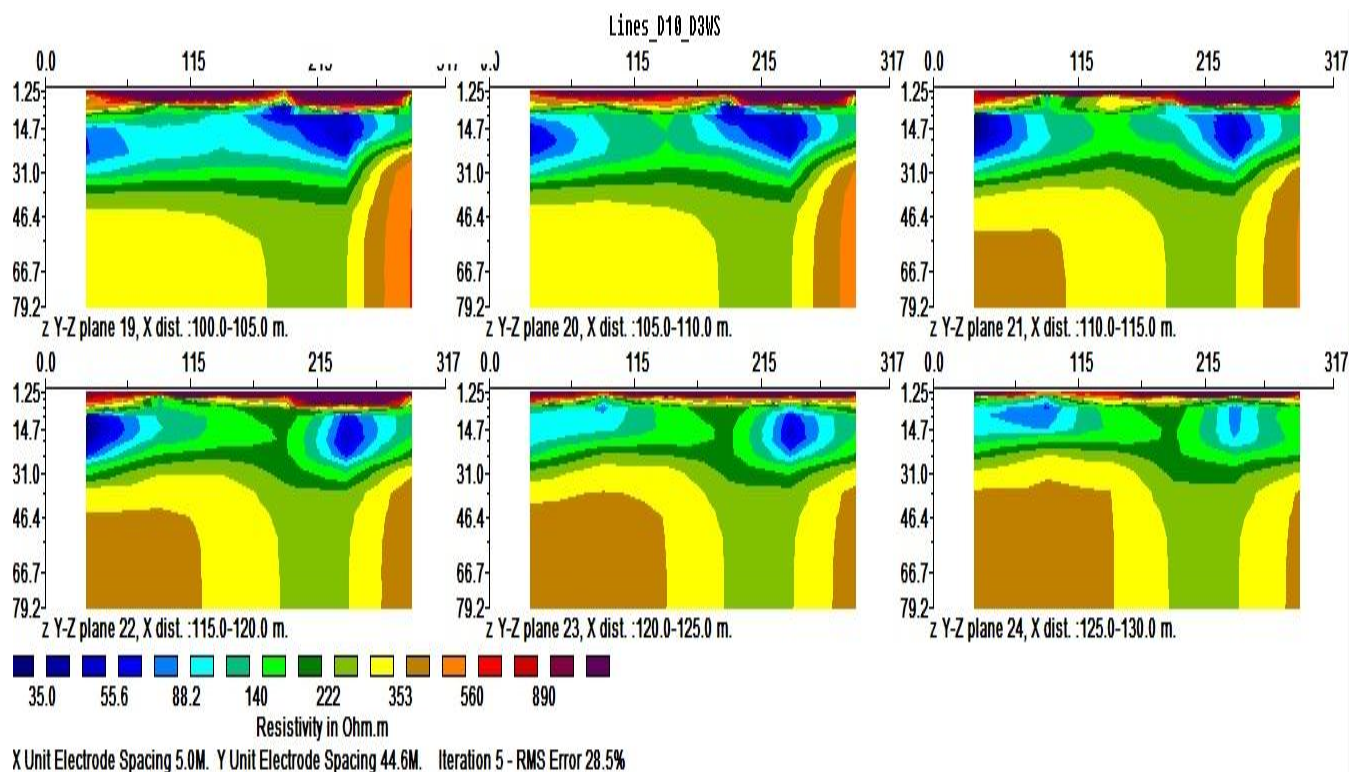
X Unit Electrode Spacing 5.0M. Y Unit Electrode Spacing 44.6M. Iteration 5 - RMS Error 28.5%

Σχήμα 5.14 Γεωηλεκτρικές τομές 40-70 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής με προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ.

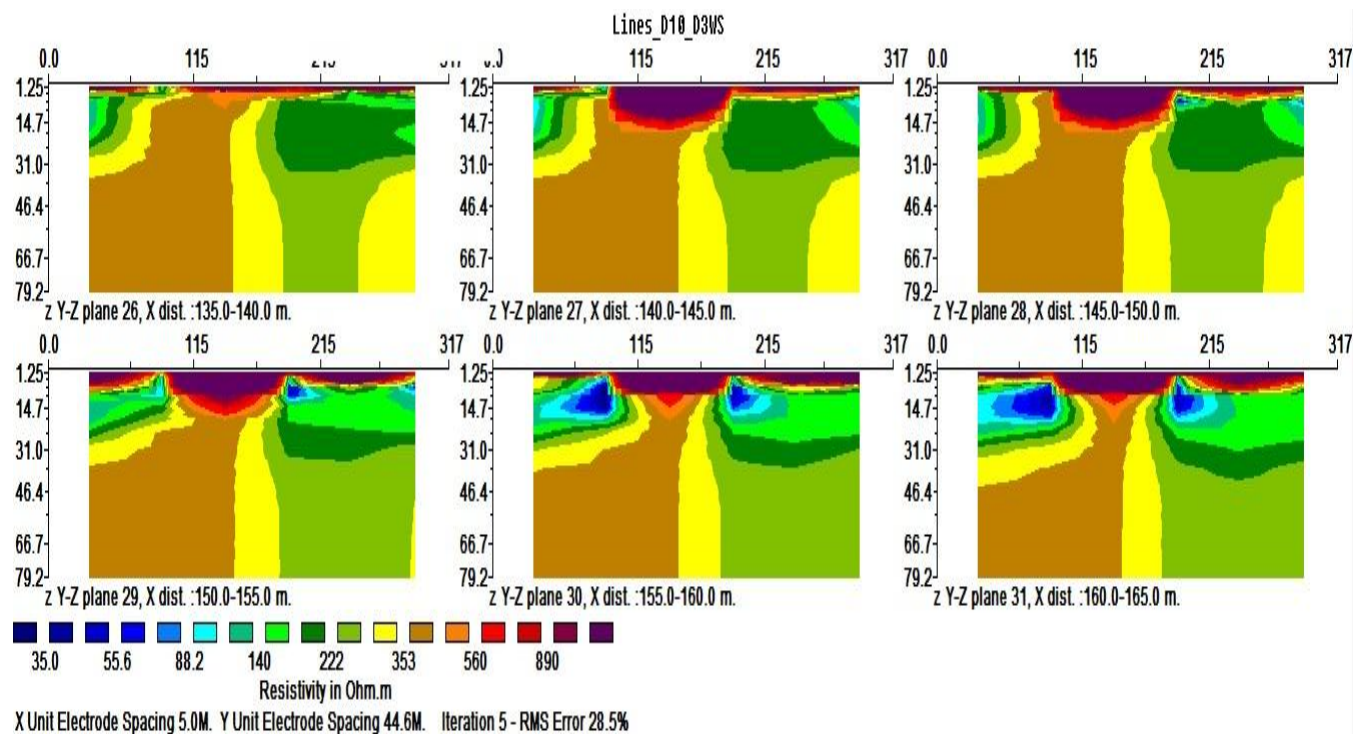


X Unit Electrode Spacing 5.0M. Y Unit Electrode Spacing 44.6M. Iteration 5 - RMS Error 28.5%

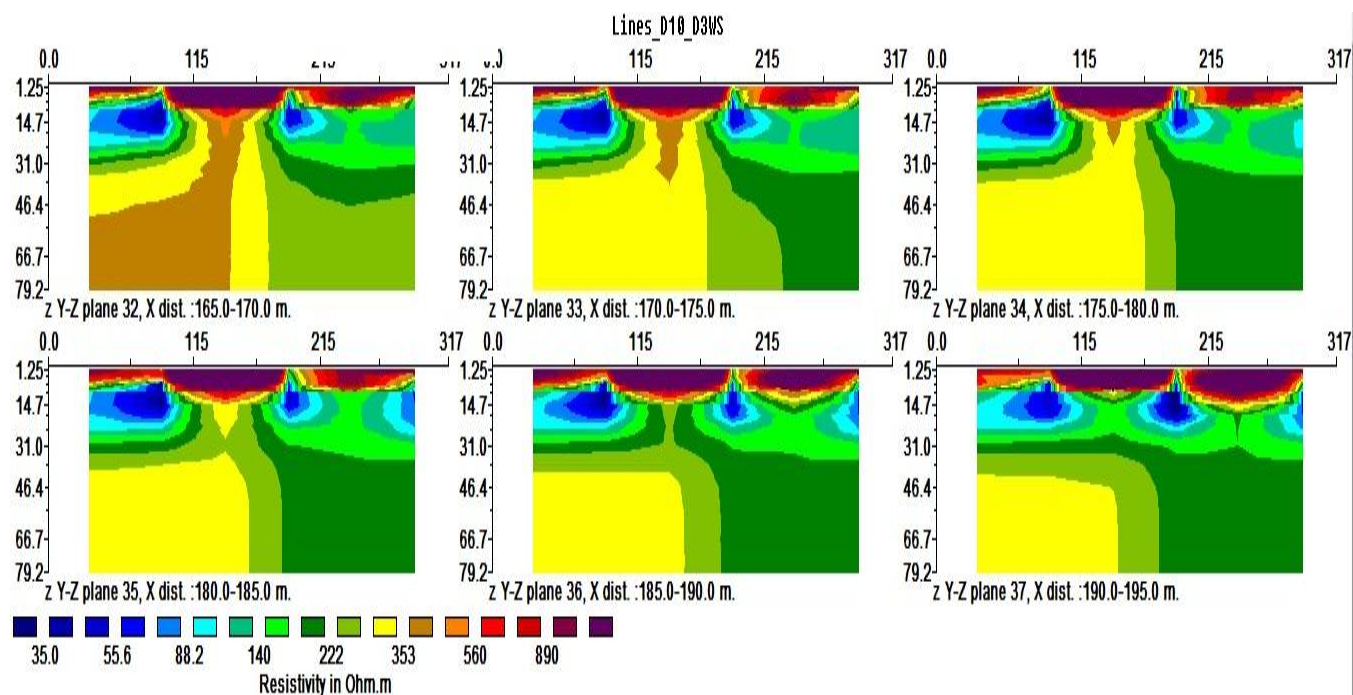
Σχήμα 5.15 Γεωηλεκτρικές τομές 70-100 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής. με προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ.



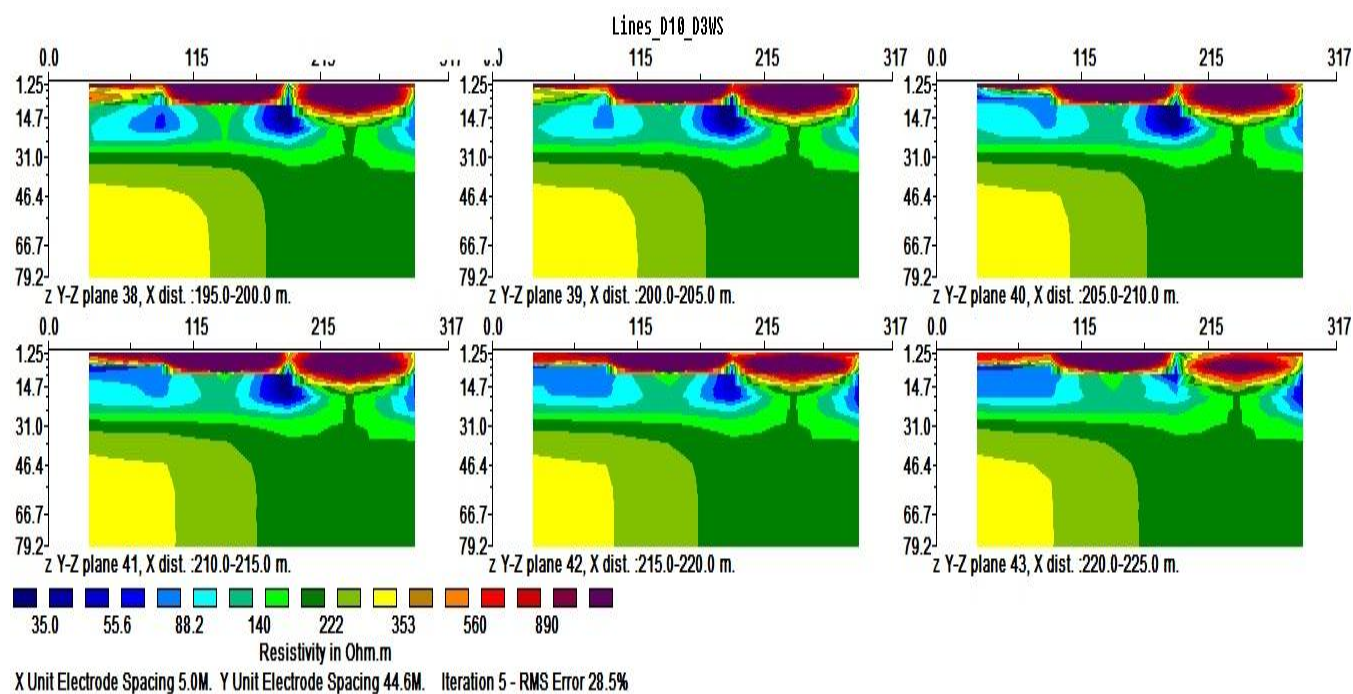
Σχήμα 5.16 Γεωηλεκτρικές τομές 100-130 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής με προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ..



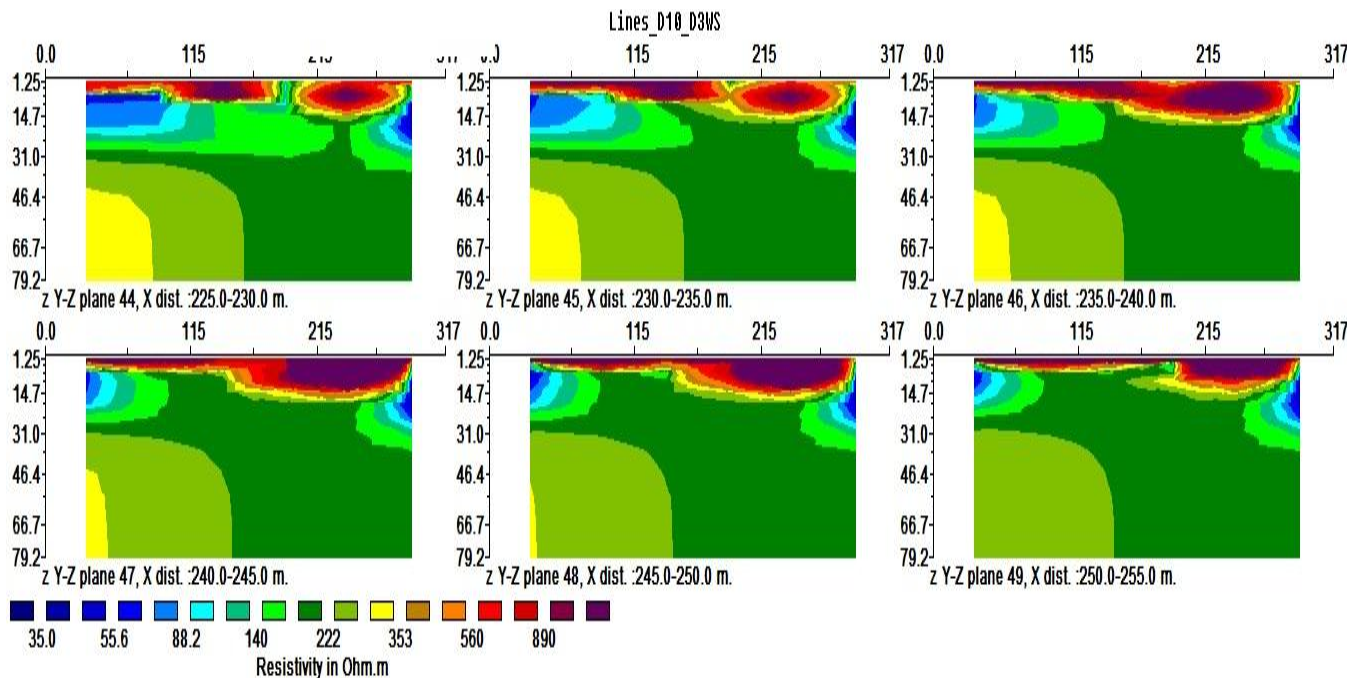
Σχήμα 5.17 Γεωηλεκτρικές τομές 135-165 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής με προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ..



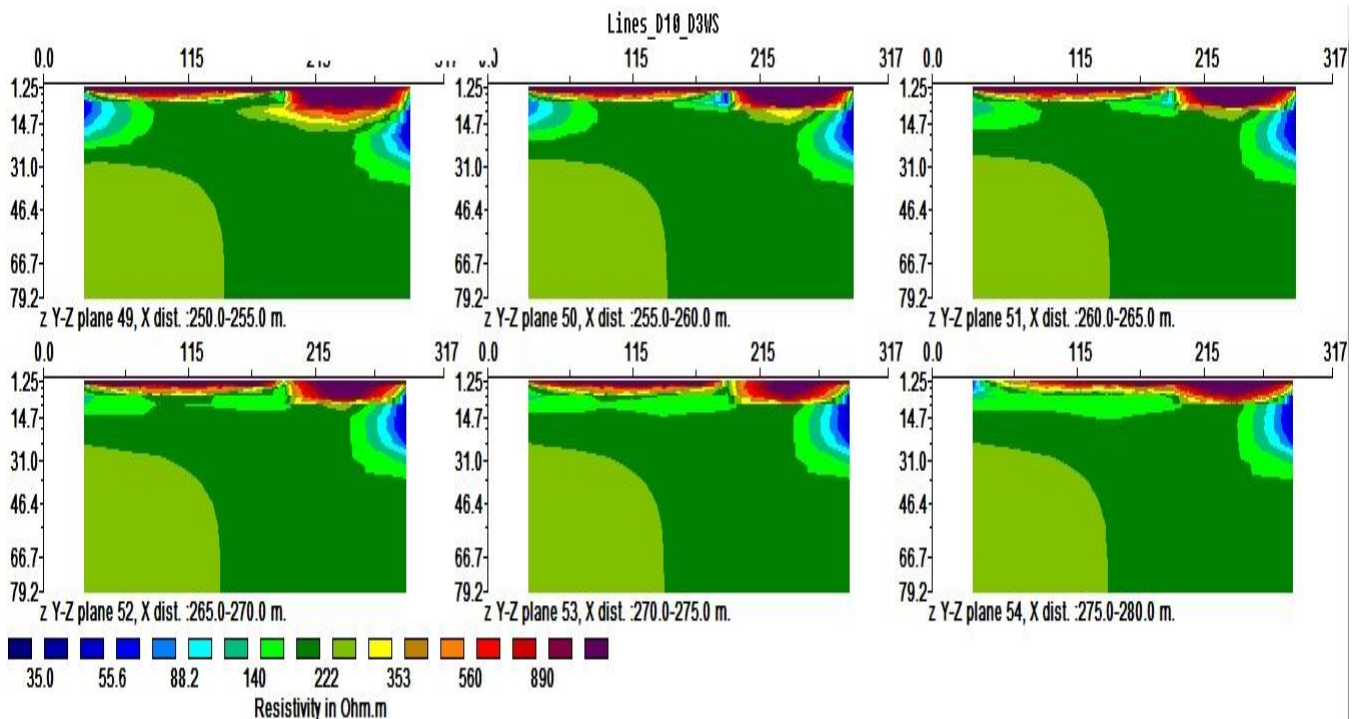
Σχήμα 5.18 Γεωηλεκτρικές τομές 165-195 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής με προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ..



Σχήμα 5.19 Γεωηλεκτρικές τομές 195-225 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής με προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ.



Σχήμα 5.20 Γεωηλεκτρικές τομές 225-255 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής με προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ.



Σχήμα 5.21 Γεωηλεκτρικές τομές 255-280 μέτρα της τρισδιάστατης αντιστροφής με προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ.

5.4 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑΤΩΝ

Μία πρώτη ερμηνεία των αποτελεσμάτων έγινε στις δισδιάστατες γεωλογικές τομές στο εδάφιο 5.2. Τώρα θα γίνει σύγκριση των δισδιάστατων δεδομένων με των τρισδιάστατων που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Ξεκινώντας με τις γεωηλεκτρικές τομές X-Z παρατηρείται κι εδώ το στρώμα χαμηλού βάθους (μέχρι 8 μέτρα) με μεγάλο αριθμό ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης $>560 \Omega m$ σε όλο το μήκος των γραμμών μελέτης (σχήμα 5.11). Το αντίστοιχο επιφανειακό στρώμα στα δισδιάστατα παρουσιάστηκε στα σχήματα 5.6-5.7-5.9 και 5.10. Στη συνέχεια το γεωλογικό στρώμα με μεγάλη ειδική ηλεκτρική αντίσταση εμφανίζεται σε βάθος 9-12 μέτρα και σε μήκος 180 – 240 μέτρα στη γραμμή μελέτης (σχήμα 5.11). Το αντίστοιχο στρώμα φαίνεται στο σχήμα 5.2. Τέλος γεωλογικό στρώμα με ενδιαφέρον και ειδική αντίσταση εμφανίζεται σε βάθη από 20 μέτρα και βαθύτερα από την αρχή μέχρι το μέσο της γραμμής μελέτης περίπου (σχήμα 5.12). Τα αντίστοιχα στρώματα εμφανίζονται και στις δισδιάστατες ηλεκτρικές τομές.

Τα ίδια στρώματα εμφανίζονται και στις κάθετες τομές Y-Z. Το επιφανειακό γεωλογικό στρώμα αντίστασης $>560 \Omega m$ είναι φαίνεται σε όλες τις τομές (σχήματα 5.12-5.21). Το δεύτερο ενδιαφέρον στρώμα εμφανίζεται σε βάθη 10- 79 μέτρα από την αρχή μελέτης μέχρι τη μέση της περίπου (σχήματα 5.13-5.14-5.15).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των γεωφυσικών μεθόδων και τον συσχετισμό τους με πληροφορίες που προέρχονται από το γεωλογικό χάρτη απεικονίστηκε το υπόβαθρο των ανθρακικών σχηματισμών της περιοχής.

Συμφώνα με την γεωηλεκτρική τομή LD11 και την γεώτρηση BH3 το ανθρακικό υπόβαθρο εμφανίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 25 m. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα των γραμμών μελέτης συγκριθήκαν και συνδυάστηκαν στον χώρο , προκειμένου να απεικονιστεί ορθότερα το ανθρακικό υπόβαθρο .

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί φαίνεται να υπάρχουν στο ΒΔ τμήμα και στο κέντρο της περιοχής που απεικονίζεται με την τρισδιάστατη τομογραφία σε βάθος μεγαλύτερο των 15 m. Επίσης οι ανθρακικοί σχηματισμοί εμφανίζονται σε όλη την περιοχή μελέτης σε βάθος μεγαλύτερο από 15m. Με βάση τα παραπάνω η υπό μελέτη περιοχή κρίνεται κατάλληλη για την κατασκευή λιμνοδεξαμενής .

6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η συμπληρωματική γεωφυσική διασκόπηση προτείνεται να περιλαμβάνει εκτός από την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας και τη σεισμική μέθοδο. Ακόμα προτείνεται η λήψη δοκιμίων για τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών της περιοχής μελέτης ώστε να προσδιοριστεί η καταλληλότητα τους (ή όχι) για την έδραση λιμνοδεξαμενής. Τέλος χρήσιμες θα ήταν οι γεωτρήσεις στην εξεταζόμενη περιοχή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. **Βαφείδης, Α., (1993),** “Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι”, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
2. **Βαφείδης, Α., (2001),** “Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ”, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
3. **Γκανιάτσος, Ι., (2000),** “Γεωηλεκτρική Τομογραφία σε τρεις Διαστάσεις”, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
4. **Καπλανίδης, Α., Μορφόπουλος, Ζ., Παπαγιάννη, Ν., Περγαλιώτης, Π., Σώκος, Ε., Χασιώτης Θ., (2003)** “Τα φράγματα και οι Λιμνοδεξαμενές Του Υπουργείου Γεωργίας”.
5. **Αλευράς, Ν., (2006),** “Γεωηλεκτρική Διασκόπηση για τον Προσδιορισμό Καρστικών Δομών στο Οροπέδιο του Ομαλού”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
6. **Hamdan, H., (2002),** “Γεωηλεκτρική διασκόπηση στη λεκάνη του ποταμού Κερίτη του νομού Χανίων”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

7. **Μανούτσογλου, Ε., Σπυρίδωνος, Ε., Soujon, A. and Jacobshagen, V., (2001), “Αναθεώρηση του γεωλογικού χάρτη και τρισδιάστατη προσομοίωση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής του φαραγγιού της Σαμαριάς”, Δελτ.Ελλ.Γεωλ.Εταιρ.34/1:29-36, Αθήνα.**

Διεθνής Βιβλιογραφία

8. **Alevras, N., H. A. Hamdan, A. Vafidis, E. Manoutsoglou (2007), “Goelectrical Mapping of the Omalos Plateau/Polje”, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul, Turkey, 3-5 September 2007.**
9. **Robinson, E. S. & Coruh, C., (1988), “Basic Exploration Geophysics”, New York: Johny Wily.**
10. **CorelDraw Graphics Suite 12, (2003), Manual, Corel Corporation**
11. **Reynolds, M. J., (1997), “An Introduction To Applied And Environmental Geophysics”, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, ISBN 0-471-95555-8.**
12. **Milanovic, P., (1981), “Water Resources Engineering in Karst”, CRC PRESS**
13. **Res2dinv, (2001), Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού, Manual, Version 3.4, Geotomo Software.**