



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ
ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ ΣΤΟ ΟΡΟΠΕΔΙΟ
ΤΟΥ ΟΜΑΛΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α. ΑΛΕΥΡΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΒΑΦΕΙΔΗΣ, (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ	ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΩΝ ΣΟΥΠΗΣ
ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ

ΧΑΝΙΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2006

Αφιερώνεται
στους γονείς μου,
στην αδερφή μου Ζωή
καθώς και
στον αδελφικό μου φίλο
Γεώργιο Α. Γεμεντζόπουλο

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα ιδιαίτερα 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 τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

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

Τέλος οφείλω να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς βοηθούς Hamdan Hamdan και Ανδρονικίδη Νικόλαο, καθώς και την Κουκαδάκη Μαρία για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων της εργασίας, αλλά και για τις υποδείξεις τους κατά τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων, και συγκεκριμένα των μεθόδων της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, για τη χαρτογράφηση του ανθρακικού υπόβαθρου και τον εντοπισμό καρστικών δομών και έγκοιλων στους γεωλογικούς σχηματισμούς του οροπεδίου του Ομαλού του Νομού Χανίων.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις (B1-B4), επτά γραμμές μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας (T1-T5, NT1 και NT2) και τρεις κάρναβοι ηλεκτρικής χαρτογράφησης (K1-K3). Οι διασκοπήσεις πραγματοποιήθηκαν το Σεπτέμβριο του 2002 και το Σεπτέμβριο 2003, στα πλαίσια υπαίθριας άσκησης του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών, του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα τριών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων που είχαν ανορυχθεί στην περιοχή (325,326 & 327).

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων της ηλεκτρικής βυθοσκοπήσης, της ηλεκτρικής τομογραφίας και της ηλεκτρικής χαρτογράφησης, χρησιμοποιώντας τα λογισμικά πακέτα IPI2WIN, RES2DINV και TRANSFORM3 αντίστοιχα. Στη συνέχεια έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των γεωφυσικών διασκοπήσεων με τις γεωτρήσεις.

Τελικά χαρτογραφήθηκε το πάχος των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών που καλύπτουν το ανθρακικό υπόβαθρο και εντοπίστηκε πιθανό καρστικό έγκοιλο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	i
Περίληψη	ii
Κεφάλαιο 1: Γεωλογικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Η Γεωλογική δομή του νομού Χανίων	1
1.3 Γεωλογία Ομαλού.....	4
Κεφάλαιο 2 : Μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	9
2.1 Εισαγωγή	9
2.2 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομοιογενή και ισότροπη γη	13
2.3 Φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση	14
2.4 Τρόποι Διάταξης των Ηλεκτροδίων	18
2.5 Παράγοντες επιλογής της κατάλληλης διάταξης ηλεκτροδίων	19
2.6 Ηλεκτρική Τομογραφία	19
2.6.1 Εισαγωγή	19
2.6.2 Θεωρία	20
2.6.3 Τρόπος πραγματοποίησης των μετρήσεων	22
2.6.4 Αντιστροφή των δεδομένων	24
2.7 Ηλεκτρική χαρτογράφηση	24
2.7.1 Εισαγωγή	24
2.7.2 Τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων	25
2.7.3 Δημιουργία χαρτών ηλεκτρικής αντίστασης	25
2.7.4 Σύνδεση χαρτών ηλεκτρικής αντίστασης	27
2.7.5 Μέθοδος παρεμβολής στην ηλεκτρική χαρτογράφηση	27
2.8 Γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση	28
2.8.1 Εισαγωγή	28
2.8.2 Τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση	28
2.8.3 Διαδικασία ηλεκτρικής βυθοσκόπησης	29
2.8.4 Προβλήματα στην ερμηνεία των Γεωηλεκτρικών Βυθοσκοπήσεων	30
2.8.4.1 Αρχή της ισοδυναμίας	31
2.8.4.2 Αρχή της επικάλυψης	32
Κεφάλαιο 3: Πραγματοποίηση μετρήσεων και παρουσίαση αποτελεσμάτων	33
3.1 Εισαγωγή	33
3.2 Περιοχή μελέτης	33
3.3 Παράμετροι των πειραμάτων	36
3.3.1 Ηλεκτρική τομογραφία	36
3.3.2 Ηλεκτρική χαρτογράφηση	36
3.3.3 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση	36
3.4 Αποτελέσματα γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων	37
3.4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας	37
3.4.1.1 Λογισμικό πακέτο RES2DINV	37
3.4.1.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων	37
3.4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής βυθοσκόπησης	43

3.4.2.1 Λογισμικό πακέτο IPI2WIN	43
3.4.2.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων	44
3.4.3 Αποτελέσματα ηλεκτρικής χαρτογράφησης	51
3.4.3.1 Λογισμικό πακέτο Transform3 – Φίλτρα αποκοπής	51
3.4.3.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής χαρτογράφησης	52
Κεφάλαιο 4: Ερμηνεία αποτελεσμάτων και σύγκριση μεθόδων	59
4.1 Εισαγωγή	59
4.2 Επιλογή συγκρίσιμων μεθόδων	59
4.3 Πραγματοποίηση συγκρίσεων	59
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα – Προτάσεις	74
Βιβλιογραφία	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1 Εισαγωγή

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.

1.2 Η Γεωλογική δομή του νομού Χανίων

Οι στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες που αποτελούν την γεωλογική δομή του νομού Χανίων αρχίζοντας από τις νεώτερες και καταλήγοντας στις παλαιότερες, είναι:

1.Τεταρτογενείς αποθέσεις

Αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, πηλούς, ψαμμίτες, κροκάλες–λατύπες ποικίλης σύστασης, αναλόγως της προέλευσής τους, ασύνδετες έως συνεκτικά συνδεδεμένες, καθώς και από υλικά του αλλουβιακού μανδύα. Η εμφάνισή τους είναι κυρίως σε απολήξεις λεκανών ανοικτών προς τη θάλασσα, στις μείζονες κοίτες των ποταμών, σε μικρές εσωτερικές λεκάνες καθώς και σε μορφή πλευρικών κορημάτων και αναβαθμίδες χειμάρρων.

2.Νεογενείς αποθέσεις

Αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα κίτρινων–κιτρινόλευκων μάργων με κλαστικούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, συχνά βιογενείς–υφαλογενείς, ομοιόμορφα στρωμένους, που το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως ένα–δύο μέτρα. Επίσης, εντός των αποθέσεων αυτών συναντώνται και μαργαϊκοί ψαμμίτες, αμμώδεις άργιλοι, λατύπες και κροκαλοπαγή. Τα κροκαλοπαγή–λατυποπαγή εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή Χοιροσπηλίου νοτιότερα της Αγιάς και στην περιοχή Τοπολίων. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα η έντονη συνεκτικότητα την οποία παρουσιάζουν, κυρίως ανθρακικής προέλευσης, με ανθρακικό συνδετικό υλικό. Οι λατύπες και κροκάλες

που συνιστούν τις παραπάνω αποθέσεις, έχουν προέλθει από την διάβρωση και απόθεση των προϊόντων, τόσο του τεκτονικού καλύμματος της ζώνης Τρίπολης όσο σε μικρότερο βαθμό και των άλλων ενοτήτων που αποτελούν υπόβαθρο των νεογενών αποθέσεων. Οι ενότητες που επίσης συμμετέχουν στην παραπάνω διεργασία είναι η Φυλλιτική–Χαλαζιτική, των Πλακωδών ασβεστόλιθων και της Πίνδου.

3.Τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Πίνδου

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί του τεκτονικού αυτού καλύμματος παρουσιάζονται με μικρή επιφανειακή ανάπτυξη στον νομό Χανίων. Εμφανίζονται στο βορειοδυτικό τμήμα του νομού και πιο συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή Καστελίου, καθώς και στην ευρύτερη περιοχή της Παλαιόχωρας. Αποτελούνται από πελαγικούς ασβεστόλιθους με παρεμβολές κερατολίθων.

4.Τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Τρίπολης

Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής καταλαμβάνουν σχετικά μεγάλη έκταση στον νομό Χανίων. Είναι συνηθισμένο φαινόμενο να είναι επωθημένοι αυτοί οι σχηματισμοί, είτε στην ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, είτε στην ενότητα των Φυλλιτών–Χαλαζιτών. Αποτέλεσμα είναι να εμφανίζονται οι σχηματισμοί της ζώνης Τρίπολης στην βάση τους έντονα κατακερματισμένοι λόγω τεκτονισμού. Οι σχηματισμοί της ενότητας που βρίσκονται στα χαμηλότερα στρώματα συνίστανται από δολομίτες–δολομιτικούς ασβεστόλιθους παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτους, έντονα τεκτονισμένους και καρστικοποιημένους με σπηλαιώδη υφή. Το χρώμα τους κυμαίνεται από τεφρό έως τεφρόλευκο.

Στους σχηματισμούς της ενότητας των υψηλότερων στρωμάτων εμφανίζονται ασβεστόλιθοι που το χρώμα τους κυμαίνεται από μαύρο έως τεφρόμαυρο. Το πάχος των σχηματισμών είναι μέσο και συνήθως παρουσιάζουν μικρολατυποπαγή υφή. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι το έντονο ανάγλυφο και το φτωχό υδρογραφικό δίκτυο, που συμπίπτει με τεκτονικές ασυνέχειες. Εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό είναι το φαινόμενο καρστικής διάλυσης που εμφανίζεται με διάφορες μορφές, μεγέθη και σχήματα. Το πάχος της ζώνης φθάνει τις λίγες εκατοντάδες μέτρα και η ηλικία αυτής της σειράς κυμαίνεται από το Άνω Τριαδικό έως και το Άνω Κρητιδικό.

5. Τεκτονικό κάλυμμα της ενότητας των Φυλλιτών–Χαλαζιτών

Η ενότητα αυτή καταλαμβάνει σημαντική έκταση στο δυτικό τμήμα του νομού Χανίων. Οι σχηματισμοί που συναντώνται στο τεκτονικό κάλυμμα είναι κυρίως μαρμαρυγιακοί–ανθρακικοί ασβεστόλιθοι, σερικιτικοί–χλωριτικοί φυλλίτες και χαλαζιακοί μεταψαμμίτες. Στα πετρώματα αυτά παρεμβάλλονται τόσο ποσότητες χαλαζία σημαντικού πάχους υπό μορφή φλεβών, καθώς και ενστρώσεις μαύρων κρυσταλλικών κατακερματισμένων ασβεστόλιθων μικρού πάχους. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της σειράς είναι οι εμφανίσεις γύψου σε αρκετές περιοχές, όπως στη Σούγια, στην Παλαιόχωρα κ.α. Η ηλικία της ενότητας εκτείνεται μεταξύ Περμίου και Άνω Τριαδικού, ενώ το πάχος της μπορεί και να ξεπερνάει σε ορισμένες περιπτώσεις τα 1.500 μέτρα στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Κρήτης.

6. Τεκτονικό κάλυμμα της ενότητας Τρυπαλίου

Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής βρίσκονται επωθημένοι στην ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων. Το κάλυμμα Τρυπαλίου αποτελεί το πρώτο τεκτονικό κάλυμμα της Κρήτης. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη του γίνεται στην περιοχή του Ομαλού των Λευκών Ορέων. Τα πετρώματα που εμφανίζονται σ' αυτή την σειρά είναι μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι. Έτσι πιο συγκεκριμένα, στην βάση του σχηματισμού εμφανίζεται τεκτονικό λατυποπαγές με σημαντικό πάχος μερικές φορές. Στα κατώτερα πετρώματα της ενότητας επικρατούν κυψελώδεις δολομίτες. Συνήθως, αυτό το κάλυμμα περιέχει λεπτές κερατολιθικές ενστρώσεις ή βολβούς κερατολίθων πράγμα που το καθιστά όμοιο πετρογραφικά με την ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Το πάχος του καλύμματος φθάνει τα 400 μέτρα, ενώ η ηλικία του σχηματισμού κυμαίνεται μεταξύ Τριαδικού και Κάτω Ιουρασικού.

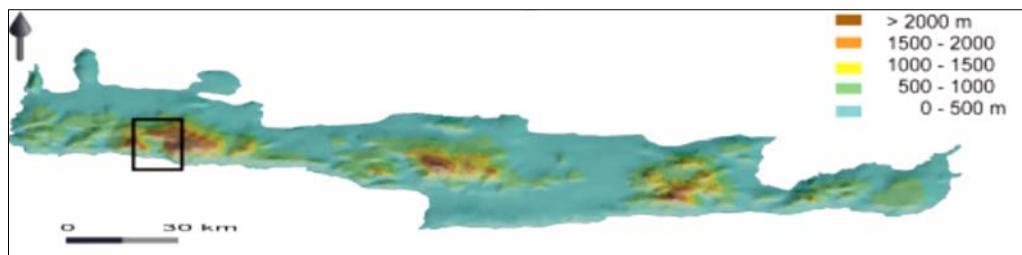
7. Η ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι

Οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στην ενότητα αυτή συνήθως είναι ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι σχηματισμοί έχουν υποστεί μεταμόρφωση και έχουν μετατραπεί σε μάρμαρα. Εμφανίζονται καλοστρωμένοι σε πάγκους, που το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως και ένα μέτρο. Στα κατώτερα μέλη τους εμφανίζονται παχυστρωματώδεις, ενώ προς τα ανώτερα εξελίσσονται σε μεσοστρωματώδεις και στη συνέχεια σε λεπτοστρωματώδεις. Το χρώμα τους μπορεί να είναι από τεφρό έως και τεφρόμαυρο. Επίσης σημαντικό γεγονός αποτελεί η εμφάνιση

νιση πυριτικού υλικού είτε με την μορφή ενστρώσεων, είτε με την μορφή φακών. Η εμφάνιση του πυριτικού υλικού στα μεσαία μέλη του σχηματισμού είναι μεγάλη, σε αντιδιαστολή με τα υπόλοιπα μέλη όπου οι παρεμβολές αυτές περιορίζονται αισθητά. Η καρστικοποίηση του σχηματισμού είναι περιορισμένη και ανομοιόμορφη. Στο φαινόμενο αυτό συμβάλλουν οι πυριτικές παρεμβολές. Το πάχος της ενότητας φθάνει τα 1200 μέτρα και η ηλικία της προσδιορίζεται στο Μέσο Ιουρασικό–Ηώκαινο.

1.3 Γεωλογία Ομαλού

Οι απαραίτητες για την παρούσα εργασία γεωφυσικές διασκοπήσεις έγιναν στην περιοχή του Ομαλού, ο οποίος βρίσκεται στα όρια των νομών Χανίων και Ρεθύμνης. 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 1.1 Περιοχή 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 και αργιλικών σχιστολίθων.
- **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 βιτουμενιώδη οσμή.
- **Μεταφλύσχης 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 βολβούς 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. Παρατηρείται μετάβαση των στρωμάτων αυτών και των πλακωδών ασβεστόλιθων κατά γωνιώδη τεκτονική επαφή. 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)

35° 21' 55"



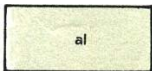
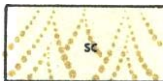

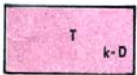
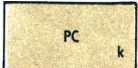
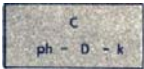
35° 18' 43"

23° 52' 30"

Σχήμα 1.2 Τμήμα γεωλογικού χάρτη περιοχής Ομαλού.

23° 55' 52"

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 Ασβεστολίθων	
	Πλακώδεις, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι.
	Ασβεστόλιθοι, δολομίτες με παρεμβολές χαλαζιακών ψαμμιτών και αργιλικών σχιστολίθων.

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.

Φαινόμενο karst : Ο όρος karst αναφέρεται σε σχηματισμούς οι οποίοι σχηματίζονται κυρίως σε ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθο και δολομίτη) όπου τα υπόγεια ύδατα μέσω διάλυσης διευρύνουν τις ήδη υπάρχουσες ρωγμές, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα υπόγειο σύστημα αποστράγγισης. Το ανθρακικό οξύ το οποίο παράγεται από το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας, αλλά κυρίως του εδάφους, είναι ο κύριος παράγοντας που προκαλεί τη διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων μέσω των υπογείων υδάτων.

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. Ο πυθμένας των δολίνων γενικά είναι επίπεδος και καλύπτεται τόσο αυτός όσο και πολλές φορές τα εσωτερικά πρανή από χημικά ιζήματα προερχόμενα από την χημική διάλυση των ασβεστόλιθων και πολλές φορές αναπτύσσεται και μικρή βλάστηση. Ανάλογα με τον σχηματισμό τους διακρίνονται σε εγκατακρημνισιγενείς, όταν προέρχονται από κατάρρευση της οροφής υπόγειου σπηλαίου και σε χοανοειδείς όταν προέρχονται από χημική διάλυση των πετρωμάτων. Αρχική αιτία σχηματισμού τους αποτελεί η ύπαρξη των διακλάσεων, η οποία σε συνδυασμό με την πυκνότητα αυτών συντελεί και στην εξέλιξη μίας δολίνης. Οι δολίνες εμφανίζονται άλλοτε μεμονωμένες και άλλοτε κατά αποικίες. Πλήθος δολινών εμφανίζεται και στην περιοχή του Ομαλού.

Πόλγη : Ο όρος πόλγη αποδίδεται σε μεγάλα καρστικά επίπεδα. Οι πόλγες αποτελούν ευδιάκριτες κλειστές κοιλάδες με σχήμα κυρίως ελλειπτικό και η μεγάλη επιφάνειά τους έχει διαστάσεις που κυμαίνονται από μερικά έως εκατοντάδες τετρ. χιλιόμετρα. Η πόλγη είναι μικτός σχηματισμός τεκτονικής δράσεως και καρστικής διαβρώσεως. Ο αρχικός σχηματισμός οφείλεται σε τεκτονική ρήξη με αποτέλεσμα την επιφανειακή ταπείνωση. Η ταπείνωση αυτή σε ορισμένες περιπτώσεις προέρχεται από κατάρρευση υπόγειων θόλων. Η τελική όμως διαμόρφωση οφείλεται στην καρστική διάβρωση. Επί-

σης ο σχηματισμός μίας πόλγης μπορεί να οφείλεται και στην προοδευτική αύξηση και συνένωση δολίνων.

Χαρακτηριστική πόλγη ανάλογης προέλευσης είναι αυτή που παρατηρείται στο οροπέδιο του Ομαλού. Η κατακόρυφη κάθοδος στο εσωτερικό των ασβεστολιθικών μαζών των φυσικών υδάτων γίνεται κατά κύριο λόγο μέσω των επιφανειών διακλάσεως και των επιφανειών διαστρώσεων των ασβεστόλιθων. Με τον τρόπο αυτό το κατεισδύον νερό συνέχεια διευρύνει τις αποστάσεις των παραπάνω επιφανειών σχηματίζοντας τα έγκοιλα. Τα σπήλαια είναι υπόγεια έγκοιλα μεγάλων σχετικά διαστάσεων, επικοινωνούν με στόμια και αναπτύσσονται κυρίως σε ασβεστολιθικές μάζες. Σχηματίζονται στο εσωτερικό της ασβεστολιθικής μάζας κατά τον ίδιο τρόπο όπως και τα υπόγεια έγκοιλα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Η εμφάνιση των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης χρονολογείται από τις αρχές του εικοστού αιώνα. Με τη χρήση των μεθόδων αυτών επιτεύχθηκε ο εντοπισμός φυσικού αερίου στη Ρουμανία το 1923 και αλατούχων δόμων στη Γαλλία το 1926. Η συστηματική εφαρμογή τους ξεκίνησε τη δεκαετία του '70 και αυτό λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών, γεγονός που βοήθησε τόσο στη συλλογή των δεδομένων όσο και στην επεξεργασία τους.

Βασική επιδίωξη των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Μετρούμενο μέγεθος είναι η ηλεκτρική τάση. Παράλληλα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο καθορισμός της τιμής, καθώς και η μελέτη των μεταβολών αυτής στα επιφανειακά στρώματα, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Για την εφαρμογή των ηλεκτρικών γεωφυσικών μεθόδων απαιτείται σημαντική αντίθεση στις ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ του υπό μελέτη γεωλογικού σχηματισμού και του ευρύτερου γεωλογικού περιβάλλοντος. Η χρήση των ηλεκτρικών μεθόδων καλύπτει ένα ευρύ φάσμα των γεωεπιστημών όπως είναι η κοιτασματολογία, η υδρογεωλογία, η τεχνική γεωλογία, η χαρτογράφηση γεωλογικών σχηματισμών αλλά και την αρχαιολογία.

Από τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης οι πιο σημαντικές είναι η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η μέθοδος των ισοδυναμικών γραμμών, η μέθοδος της επαγόμενης πολικότητας, η μέθοδος του φυσικού δυναμικού και η μέθοδος των τελλουρικών ρευμάτων. Για τη συλλογή δεδομένων στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα η ηλεκτρική τομογραφία, η ηλεκτρική βυθοσκόπηση και η ηλεκτρική χαρτογράφηση.

2.2 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομοιογενή και ισότροπη γη

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στον νόμο που διατύπωσε το 1827 ο George Simon Ohm (Robinson, 1988), σύμφωνα με τον οποίο αντίσταση R (σε Ohm) ενός αγωγού ονομάζεται ο σταθερός λόγος της διαφοράς δυναμικού ΔV

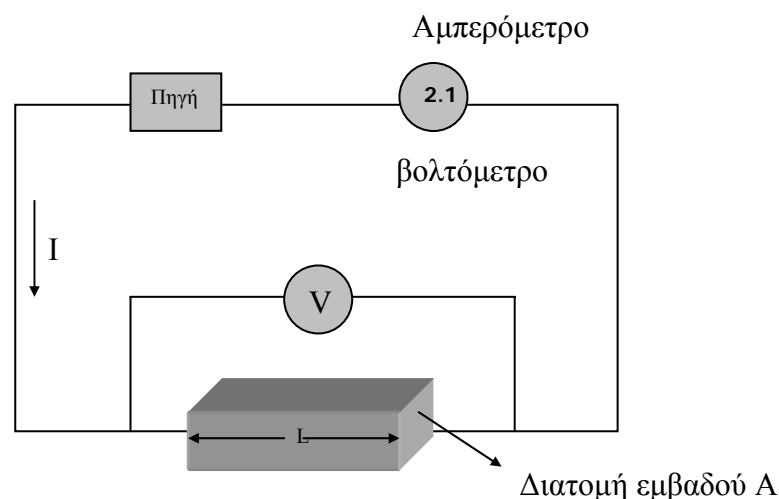
(σε Volt) που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού, προς την ένταση I (σε Ampere) του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad 2.1$$

Η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος L του αγωγού, αντίστροφως ανάλογη με το εμβαδόν A της τομής του αγωγού και εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad 2.2$$

όπου ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού.



Σχήμα 2.1 Ηλεκτρικό κύκλωμα αποτελούμενο από πηγή και αγωγό σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου.

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι το $1 \Omega m$. Πολλές φορές όμως χρησιμοποιείται και η μονάδα $1 \Omega cm$ και είναι $1 \Omega m = 100 \Omega cm$. 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 $10^{-6} \Omega m$ σε ορισμένα ορυκτά όπως είναι ο γραφίτης, μέχρι $10^{15} \Omega m$ σε ορισμένα ξηρά χαλαζιακά πετρώματα. Τα πετρώματα και τα ορυκτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 10^{-6} και $10^{-1} \Omega m$ χαρακτηρίζονται ως καλοί αγωγοί,

ενώ κακοί αγωγοί θεωρούνται αυτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 10^8 και 10^{15} Ωm . Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι: α) η λιθολογία των πετρωμάτων, β) το πορώδες των πετρωμάτων, γ) η γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων, δ) η Θερμοκρασία των πετρωμάτων.

Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εδάφους συνδεμένα με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνεχούς ρεύματος δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, στο οποίο η γη αποτελεί τον αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος. Επειδή ο αέρας της ατμόσφαιρας είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, όλο το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο μπαίνει στη γη.

Για την κατανόηση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος θεωρείται ότι η γη είναι ομοιογενής και ισότροπη ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ . Επιπλέον τα ηλεκτρόδια θεωρούνται σημειακά, δηλαδή οι εξισώσεις που προκύπτουν, ισχύουν για σημειακή πηγή.

Αρχικά η απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων θεωρείται πολύ μεγάλη, ώστε να μπορεί να μελετηθεί το κάθε ηλεκτρόδιο ξεχωριστά. Στο θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο η κίνηση των θετικών φορτίων είναι από το ηλεκτρόδιο προς τη γη. Επειδή η γη θεωρείται ομοιογενής το ρεύμα ρέει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις και οι γραμμές που απεικονίζουν τη ροή (γραμμές ρεύματος) μπορούν να θεωρηθούν ως ακτίνες ημισφαιρικών επιφανειών που έχουν κέντρο την πηγή. Η αντίσταση R στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που παρουσιάζει μία ημισφαιρική δομή ακτίνας d , δίνεται σύμφωνα με τη σχέση (2.2) από το γινόμενο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ με τον λόγο της ακτίνας d προς το εμβαδόν $2\pi d^2$ της ημισφαιρικής επιφάνειας.

$$R = \rho \frac{d}{2\pi d^2} = \frac{\rho}{2\pi} \frac{1}{d} \quad 2.3$$

Η διαφορά ΔV_d του δυναμικού V_0 της πηγής από το δυναμικό V_d όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από την πηγή που προκαλείται από τη ροή ρεύματος, έντασης I , μέσα από την ημισφαιρική δομή είναι:

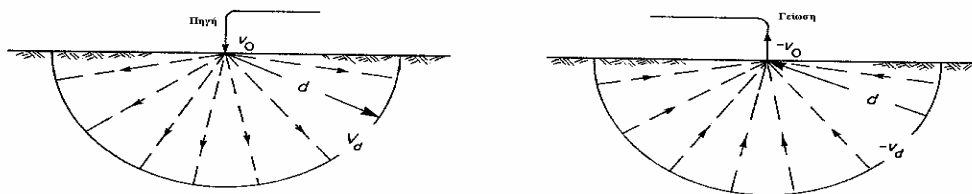
$$\Delta V_d = V_d - V_0 = IR = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{d} \quad 2.4$$

Η επιφάνεια που περιλαμβάνει όλα τα σημεία με το ίδιο δυναμικό ονομάζεται ισοδυναμική επιφάνεια.

Το δυναμικό στο απομακρυσμένο ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της ηλεκτρικής πηγής είναι $-V_0$. Το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο έλκει τα θετικά ηλεκτρικά φορτία, με αποτέλεσμα οι γραμμές ρεύματος να συγκλίνουν προς αυτό από όλες τις διευθύνσεις. Μία ημισφαιρική δομή ακτίνας d με κέντρο αυτό το ηλεκτρόδιο θα παρουσιάζει αντίσταση R στη ροή του ρεύματος σύμφωνα με τη σχέση (2.3). Η διαφορά μεταξύ του δυναμικού $-V_d$ όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο και του δυναμικού του V_0 θα είναι:

$$-\Delta V_d = -V_d - (-V_0) = V_0 - V_d = -IR = -\frac{I\rho}{2\pi d} \quad 2.5$$

Στην περίπτωση λοιπόν που το ηλεκτρόδιο είναι θετικά φορτισμένο, το ηλεκτρικό ρεύμα απομακρύνεται από αυτό, ενώ όταν το ηλεκτρόδιο είναι αρνητικά φορτισμένο, το ρεύμα συγκλίνει προς αυτό. Και στις δύο περιπτώσεις οι γραμμές ρεύματος αρχίζουν ακτινικά από το ηλεκτρόδιο, ενώ οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι ημισφαιρικές επιφάνειες με κέντρο το ηλεκτρόδιο. Οι γραμμές ρεύματος είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες.



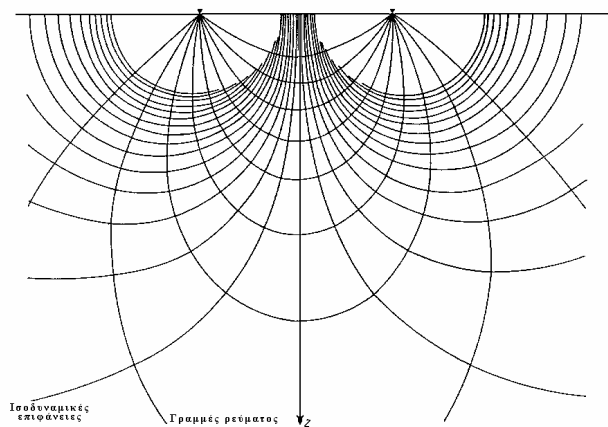
Σχήμα 2.2. Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομοιογενή και ισότροπη γη στην περίπτωση που δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων.

Όταν η απόσταση των δύο ηλεκτροδίων θεωρηθεί μικρή, το ηλεκτρικό πεδίο του ενός ηλεκτροδίου αλληλεπιδρά με το ηλεκτρικό πεδίο του άλλου ηλεκτροδίου, με αποτέλεσμα το δυναμικό σε ένα σημείο του υπεδάφους να ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των δυναμικών των ηλεκτρικών πεδίων των δύο ηλεκτροδίων. Το συνολικό δυναμικό V σε ένα σημείο του υπεδάφους που απέχει αποστάσεις d_1 και d_2 από την πη-

γή και τη γείωση αντίστοιχα, ισούται με το άθροισμα του δυναμικού V_{d_1} που οφείλεται στην πηγή, με το δυναμικό V_{d_2} που οφείλεται στη γείωση:

$$V = V_{d_1} + V_{d_2} = V_{d_1} - V_0 + V_0 + V_{d_2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \quad 2.6$$

Με βάση τη σχέση (2.6) υπολογίζεται το δυναμικό σε όλα τα σημεία του υπεδάφους και γίνεται η σχεδίαση των ισοδυναμικών επιφανειών. Οι γραμμές ρεύματος σχεδιάζονται κάθετα στις ισοδυναμικές επιφάνειες. Τόσο οι γραμμές ρεύματος όσο και οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι συμμετρικές ως προς την ευθεία που τέμνει κάθετα και στο μέσο το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα δύο ηλεκτρόδια.



Σχήμα 2.3 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος στην περίπτωση που δύο ηλεκτρόδια εισάγονται σε ομοιογενές και ισότροπο έδαφος (Dobrin, 1976).

Το σχήμα 2.3 ισχύει για κάθε επίπεδο που περιέχει τα δύο ηλεκτρόδια, ανεξάρτητα από τη γωνία κλίσης του ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

2.3 Φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Η αντίσταση που υπολογίζεται από τη 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).

Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπεδάφος 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 που θα περιγραφούν παρακάτω.

2.4 Τρόποι Διάταξης των Ηλεκτροδίων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων, το σχήμα 2.4 δείχνει τις τρεις πιο σημαντικές διατάξεις που είναι:

α) Διάταξη Wenner

Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM = MN = NB = a$, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4.α, έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 2\pi a \frac{V_{MN}}{I} \quad 2.7$$

Η ποσότητα

$$2\pi \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) = 2\pi a \quad 2.8$$

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 που δίνει την δομή του υπεδάφους, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται κέντρο της βυθοσκόπησης.

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

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 $MN = 2b = I$ (σχήμα 2.4.b), 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:

$$K=2\pi\left(\frac{1}{L-b}-\frac{1}{L+b}-\frac{1}{L+b}-\frac{1}{L-b}\right)^{-1}=(L^2-b^2)\frac{\pi}{2b} \quad 2.9$$

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

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{I} \quad 2.10$$

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. 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 τοπικές γεωλογικές ασυνέχειες.

γ) Διάταξη Διπόλου-Διπόλου

Σε αυτή τη διάταξη η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Ομοίως a είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και ίση με na ($n \gg 1$), όπως φαίνεται στο σχήμα (2.4.γ).

Ο γεωμετρικός συντελεστής K για την διάταξη διπόλου-διπόλου και για $n \gg 1$, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = \pi n a (\eta + 1)(\eta + 2) \quad 2.11$$

και η φαινόμενη ειδική αντίσταση από την σχέση

$$\rho_a = \pi n a (\eta + 1)(\eta + 2) \frac{\Delta V}{i} \quad 2.12$$

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διάταξης αποτελεί η απόσταση $2na$, ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού, που μπορεί να αυξηθεί αρκετά χωρίς να χρειάζονται μεγάλα μήκη καλωδίων. Η διάταξη περιορίζεται μόνο από τη δυνατότητα των καταγραφικών οργάνων και από τον εδαφικό θόρυβο.

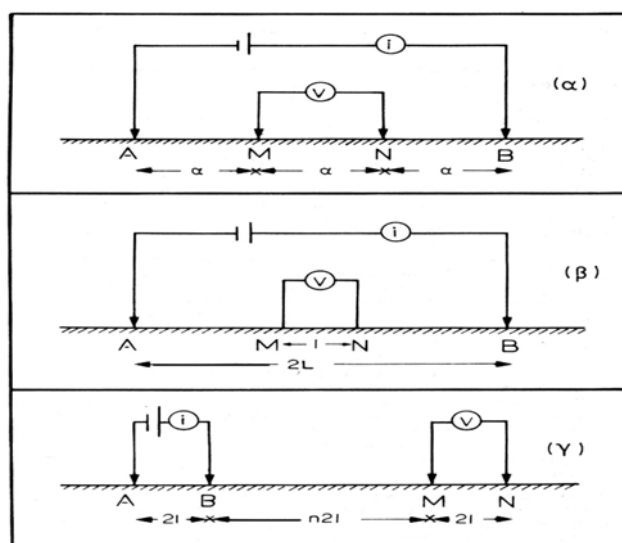
Επίσης απλά αναφέρονται οι παρακάτω:

δ) Τετραγωνική διάταξη

Στη διάταξη αυτή τα τέσσερα ηλεκτρόδια βρίσκονται στις κορυφές τετραγώνου και αποτελούν τη βάση, πάνω στην οποία βρίσκεται το όργανο μέτρησης.

ε) Διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου.

Μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχεται από τη Wenner, αν τα ηλεκτρόδια N και B τοποθετηθούν σε απόσταση από τα άλλα δύο. Το ένα ζευγάρι ηλεκτροδίων, τα A και M , παραμένει σταθερό και το άλλο, τα N και B , μετακινείται στην περιοχή μελέτης. Θεωρώντας σταθερό το ηλεκτρικό πεδίο μεγάλες μεταβολές στη μετρούμενη τάση οφείλονται σε δομές που παρουσιάζουν αντίθεση ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με τα περιβάλλοντα πετρώματα, βρίσκονται κοντά στο κινούμενο ζευγάρι και ο εντοπισμός τους αποτελεί τον στόχο της μεθόδου.



Σχήμα 2.4 Διατάξεις Wenner (α), Schlumberger (β), διπόλου-διπόλου (γ)
(Παπαζάχος, 1986, σελ. 253).

Κάθε διάταξη παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με τη θέση και τον σκοπό, για τον οποίο εφαρμόζεται. Η διάταξη Wenner δίνει την πιο έντονη μεταβολή της φαινόμενης αντίστασης, αλλά παρουσιάζει το φαινόμενο της διπλής κορυφής, δηλαδή μεγάλη τιμή πριν και μετά τη δομή, η οποία έχει μεγαλύτερη αντίσταση από τα περιβάλλοντα πετρώματα, ενώ δίνει μικρή τιμή ακριβώς πάνω από τη δομή. Το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση που η δομή έχει μικρότερη αντίσταση. Το ίδιο πρόβλημα παρουσιάζει και η διάταξη Schlumberger με το επιπλέον πρόβλημα του μικρού σήματος, δηλαδή δε δίνει έντονα τη μεταβολή της φαινόμενης αντίστασης. Το πρόβλημα της διπλής κορυφής δεν εμφανίζεται στις διατάξεις διπόλου – διπόλου και διδύμου ηλεκτροδίου. Η διάταξη διπόλου – διπόλου δίνει καθαρά τη μεταβολή της φαινόμενης αντίστασης, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι, επειδή η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος είναι μικρή περιορίζεται το βάθος διεξόδου του ηλεκτρικού ρεύματος και επομένως και η ευαισθησία της μεθόδου με την αύξηση του βάθους. Η διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου έχει πλευρική διακριτική ικανότητα α, δηλαδή για να ξεχωρίσει δύο δομές πρέπει να απέχουν μεταξύ τους κατά την οριζόντια διεύθυνση απόσταση α, με α να είναι η απόσταση των ηλεκτροδίων κάθε ζευγαριού και απαιτεί τη μετακίνηση μόνο των δύο ηλεκτροδίων για κάθε μέτρηση. Όμως η εύκολη και γρήγορη εφαρμογή της και η έντονη μεταβολή της φαινόμενης αντίστασης που δίνει, την έχουν κάνει μια από τις πιο διαδεδομένες διατάξεις.

2.5 Παράγοντες επιλογής της κατάλληλης διάταξης ηλεκτροδίων.

Η επιλογή του τρόπου διάταξης των ηλεκτροδίων κατά την πραγματοποίηση μετρήσεων αποτελεί πολύ σημαντικό βήμα για τις γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις. Η διάταξη των ηλεκτροδίων δύναται να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό την ακρίβεια των μετρήσεων. Οι παράγοντες-κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπ'όψιν πριν τις ηλεκτρικές διασκοπήσεις είναι οι κάτωθι.

1. Λόγος σήματος προς θόρυβο

Ως προς τον παράγοντα αυτό κατά σειρά προτεραιότητας οι διατάξεις είναι: Wenner, Schlumberger, διπόλου-διπόλου.

2. Ευαισθησία σε οριζόντιες ανομοιογένειες

Οι οριζόντιες ανομοιογένειες φαίνεται να προκαλούν μεγαλύτερη ευαισθησία στην διάταξη διπόλου-διπόλου και λιγότερη σε Wenner και Schlumberger.

3. 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.

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

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

5. 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.

6. Ευαισθησία στην μορφολογία του υπόβαθρου

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

7. 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.

2.6 Ηλεκτρική Τομογραφία

2.6.1 Εισαγωγή.

Με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας επιτυγχάνεται η λεπτομερής απεικόνιση του υπεδάφους καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Ο όρος τομογραφία παράγεται από τη λέξη «τομή» και σημαίνει απεικόνιση τομής π.χ. του υπεδάφους. Στην ηλεκτρική τομογραφία απεικονίζεται η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση. Έτσι λοιπόν το πρόβλημα μετατρέπεται σε πρόβλημα δύο διαστάσεων. Ευθύ πρόβλημα στη μέθοδο μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζουμε τον υπολογισμό της διαφοράς δυναμικού και εν συνεχεία της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις ήδη γνωστές ηλεκτρικές αντιστάσεις. Αντίστροφο πρόβλημα ονομάζουμε τον υπολογισμό των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες (Γκανιάτσος, 1995). Η εύρεση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι δυνατή με τους αλγόριθμους αντιστροφής. Αν και η αντιστροφή είναι ένα δύσκολο μη γραμμικό πρόβλημα, η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων του Gauss – Newton με εξομάλυνση αποφεύγει τις ασταθείς λύσεις και συγκλίνει γρήγορα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο.

2.6.2. Θεωρία

Με την ηλεκτρική τομογραφία επιδιώκεται ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους, δηλαδή η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

Επειδή δεν είναι εύκολος ο άμεσος υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος από μετρήσεις στην επιφάνεια της γης, υπολογίζεται αρχικά η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a , η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό

της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , σε αντίθεση με τη φαινόμενη που είναι φυσικώς ανύπαρκτη ποσότητα, είναι ιδιότητα των πετρωμάτων και των ορυκτών.

Η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από τις ιδιότητες του πετρώματος όπως:

- α) την ορυκτολογική σύσταση
- β) το πορώδες, τη φύση και τη θερμοκρασία των περιεχόμενων ρευστών
- γ) τη κατάσταση ρηγμάτωσης
- δ) το πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων.

2.6.3 Τρόπος πραγματοποίησης των μετρήσεων

Στην ηλεκτρική τομογραφία της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Wenner - Schlumberger. Πρόκειται για ένα συνδυασμό των δύο διατάξεων, όπου η διάταξη των ηλεκτροδίων δυναμικού και ρεύματος για την πρώτη μέτρηση πραγματοποιείται σύμφωνα με τη διάταξη Wenner. Ενα συνεχεία η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού παραμένει σταθερή από το κέντρο της διάταξης και μεταβάλλεται η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος, πάντα συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης (τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων με τη διάταξη Schlumberger). Στη διάταξη Wenner η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων παραμένει σταθερή και ίση με a και όλη η διάταξη μετακινείται κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση δίνεται από τη σχέση :

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V_{MN}}{I}$$

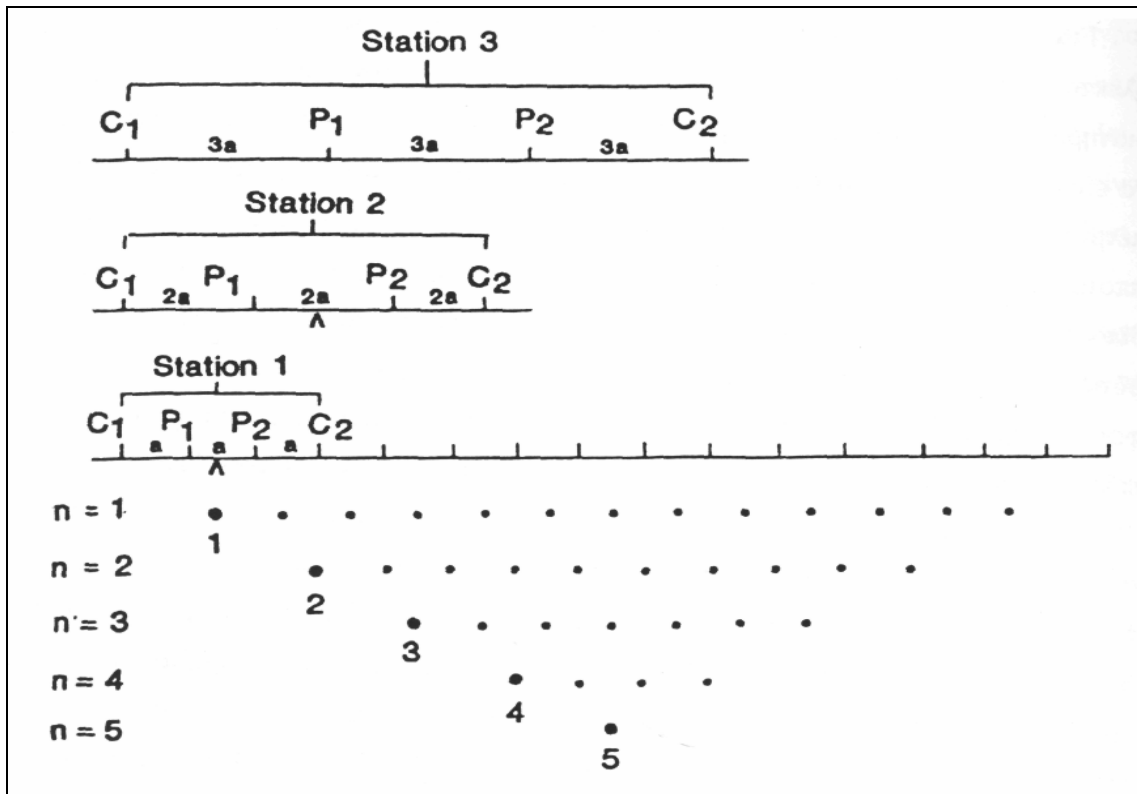
Στη διάταξη αυτή για τον υπολογισμό της φαινόμενης αντίστασης που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερα βάθη, αυξάνεται σταδιακά η απόσταση σε $2a, 3a$ κ.ο.κ.

Στη διάταξη Schlumberger η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού διατηρείται σταθερή και μεταβάλλεται η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος, συμμετρικά πάντα με το κέντρο της όλης διάταξης. Στη συγκεκριμένη διάταξη η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση δίνεται από τη σχέση

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

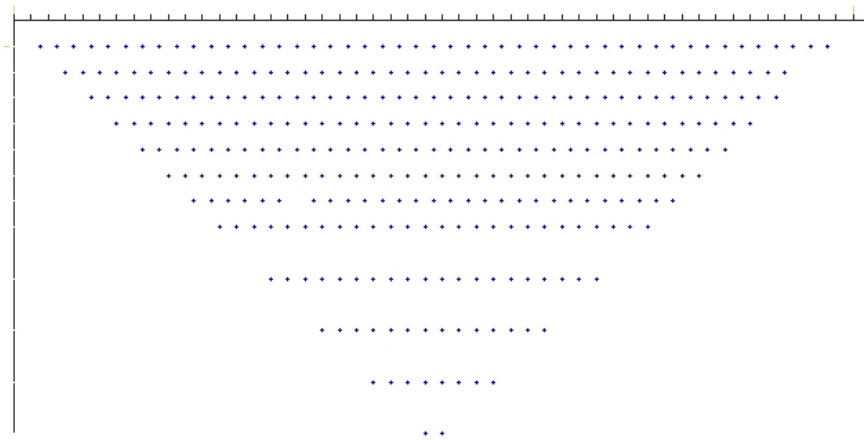
Για την επίτευξη διέλευσης ρεύματος σε μεγαλύτερα βάθη αυξάνεται η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος.

Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν την ψευδοτομή του υπεδάφους (σχ2.6). Στην ψευδοτομή (pseudosection) οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι σχεδιασμένες σε μία τομή κατά τέτοιο τρόπο όπως οι πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις σε σημεία ακριβώς κάτω από το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων και σε βάθος που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη διάταξη(σχ.2.5,).



Σχήμα 2.5 Ψευδοτομή (pseudosection) φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων

Με αυτόν τον τρόπο έχουμε μια προσεγγιστική εικόνα της κατανομής των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στο επίπεδο της τομής. Το επόμενο βήμα είναι η αντιστροφή των δεδομένων που δίνει τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης



Σχήμα 2.6 Διάταξη των δεδομένων στην ψευδοτομή του υπεδάφους(*manual Res2dinv*).

Ξεκινώντας από ένα αρχικό μοντέλο το επόμενο βήμα είναι η λύση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό. Οι θεωρητικές αυτές τιμές, μαζί με τις πραγματικές μετρήσεις και τις παραμέτρους του μοντέλου καθορίζουν ένα σύστημα εξισώσεων. Ακολουθεί η διαδικασία της αντιστροφής, όπου επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων με αγνώστους τις παραμέτρους του μοντέλου. Υπολογίζεται με τη διαδικασία αυτή ένα νέο βελτιωμένο μοντέλο. Η βελτίωση αφορά μόνο τις παραμέτρους του μοντέλου. Η διαδικασία συνεχίζεται υπολογίζοντας για το βελτιωμένο μοντέλο τις φαινόμενες αντιστάσεις, οι οποίες συγκρίνονται με τη σειρά τους με τις πραγματικές μετρήσεις. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο που να δίνει φαινόμενες αντιστάσεις όσο το δυνατό πιο κοντά στις μετρήσεις.

2.6.4 Αντιστροφή των δεδομένων

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 μοντέλου. 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 μοντέλου.

Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζονται επαναληπτικές τεχνικές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Αρχικά όμως γίνεται προσέγγιση του μη γραμμικού προβλήματος με γραμμικό με τη βοήθεια της σειράς Taylor.

Αν $m=(m_1, m_2, \dots, m_M)$ είναι οι παράμετροι του μοντέλου και $d_i=(d_1, d_2, \dots, d_N)$ $i=1, 2, \dots, N$ είναι οι μετρήσεις, η μη γραμμική σχέση που συνδέει τις μετρήσεις με τις παραμέτρους είναι:

$$d_i = f_i(m_1, m_2, \dots, m_M) + e \quad 2.13$$

όπου e το σφάλμα των μετρήσεων.

Για το αρχικό μοντέλο $m^0 = (m_1^0, m_2^0, \dots, m_M^0)$ είναι:

$$d_i = f_i(m_1^0, m_2^0, \dots, m_M^0) + e$$

Προσεγγίζοντας τη συνάρτηση f_i με σειρά Taylor γύρω από το m^0 προκύπτει:

$$f_i(m) = f_i(m_1^0 + \delta m_1, m_2^0 + \delta m_2, \dots, m_M^0 + \delta m_M) \quad 2.14$$

Το σφάλμα από τη σχέση (2.13) είναι:

$$e_i = d_i - f_i(m) \approx d_i - f_i(m^0) - \sum_{j=1}^M \left\{ \frac{\partial f_i(m)}{\partial m_j} \right\}_{m_j=m_j^0} \cdot \delta m_j \quad 2.15$$

Αν $\Delta d = d_i - f_i(m^0)$ είναι ο πίνακας στήλη των διαφορών ανάμεσα στις πραγματικές μετρήσεις και στις θεωρητικές, A ο πίνακας των μερικών παραγώγων της συνάρτησης f ως προς τις παραμέτρους του μοντέλου, και x ο πίνακας στήλη των διορθώσεων δm που πρέπει να προστεθούν στο m^0 για να προκύψει το βελτιωμένο μοντέλο, η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$e_i \approx \Delta d - Ax \quad 2.16$$

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα e_i , αλλά ο πιο κατάλληλος βασίζεται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Με τη μέθοδο αυτή ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων, δηλαδή η ποσότητα

$$q = \sum_{i=1}^N e_i^2 = \mathbf{e}^T \mathbf{e} \approx (\Delta \mathbf{d} - \mathbf{A} \mathbf{x})^T (\Delta \mathbf{d} - \mathbf{A} \mathbf{x}) \quad 2.17$$

Η ελαχιστοποίηση πραγματοποιείται παραγωγίζοντας το q ως προς x και εξισώνοντας την παράγωγο με μηδέν. Για την αντιμετώπιση προβλημάτων επιβάλλεται περιορισμός στον πίνακα x με στόχο να μην αυξάνονται απότομα οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης διαδοχικών ορθογωνίων παραλληλογράμμων του μοντέλου. Η λύση x προστίθεται στο αρχικό μοντέλο m^0 και προκύπτει το βελτιωμένο μοντέλο m^1

$$m^1 = m^0 + x \quad 2.18$$

Λόγω όμως του ότι η λύση προκύπτει από προσέγγιση μη γραμμικού προβλήματος είναι απαραίτητο να εφαρμοσθεί επαναληπτικά η όλη διαδικασία χρησιμοποιώντας το m^1 ως το νέο αρχικό μοντέλο. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS),

$$RMS = \sqrt{\frac{\Delta \mathbf{d}^T \Delta \mathbf{d}}{N}} \quad 2.19$$

όπου N ο αριθμός των μετρήσεων, δίνει ένα μέτρο του πόσο καλά ταιριάζουν οι θεωρητικές μετρήσεις με τις πραγματικές για κάθε μοντέλο. Πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι το πρόβλημα της αντιστροφής δεν έχει μονοσήμαντη λύση. Το μοντέλο με το μικρότερο σφάλμα δε σημαίνει ότι είναι γεωλογικά αποδεκτό. Από τη χρήση γεωλογικών πληροφοριών βελτιώνεται η αξιοπιστία του προκύπτοντος μοντέλου. Στην όλη διαδικασία οι υπολογισμοί γίνονται με τους λογάριθμους των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της φαινόμενης αντίστασης.

2.7 Ηλεκτρική χαρτογράφηση

2.7.1 Εισαγωγή

Στην ηλεκτρική χαρτογράφηση μελετάται η πλευρική μεταβολή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να εντοπισθούν ασυνέχειες κατά

την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως π.χ. μεταπτώσεις. Η ιδιότητα αυτή της γεωηλεκτρικής χαρτογράφησης την κάνει ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση αναζήτησης μεταλλευμάτων. Επίσης, εξαιτίας του φαινομένου οι διαρροές των διαφόρων υγρών και η παρουσία υγρασίας γενικότερα να χαμηλώνουν τις τιμές των αντιστάσεων του ηλεκτρικού ρεύματος, η ηλεκτρική χαρτογράφηση καθίσταται ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιβαλλοντικές εφαρμογές.

2.7.2 Τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων

Κατά τη γεωηλεκτρική χαρτογράφηση, η τιμή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης R_a , για σταθερή τιμή του γεωμετρικού συντελεστή K , προσδιορίζεται σε σημεία που ανήκουν σε τομές κατά το δυνατό κάθετες στην παράταξη των σχηματισμών. Πολύ σημαντικός είναι ο καθορισμός της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος πριν να ξεκινήσει η χαρτογράφηση, καθώς από αυτή την απόσταση εξαρτάται το βάθος μέχρι το οποίο οι σχηματισμοί στο υπέδαφος επιδρούν στη διαμόρφωση της τιμής της R_a .

Αν η ηλεκτρική χαρτογράφηση πραγματοποιείται με τη διάταξη Wenner η σχετική απόσταση των ηλεκτροδίων παραμένει σταθερή και τα τέσσερα ηλεκτρόδια κινούνται κατά μήκος των γραμμών μελέτης, οι οποίες συνήθως ισαπέχουν. Κάθε γραμμή μελέτης περιλαμβάνει ένα συγκεκριμένο αριθμό σταθμών μέτρησης και τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε το κέντρο τους να συμπίπτει με τη θέση του σταθμού μέτρησης. Ιδανικά θα έπρεπε τα ηλεκτρόδια να είναι σημειακά, αλλά εισάγονται στο έδαφος μέχρι ένα σημείο. Επειδή η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται από το βάθος εισαγωγής των ηλεκτροδίων στο έδαφος γι' αυτό θα πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε τα ηλεκτρόδια να εισάγονται στο έδαφος στο ίδιο βάθος. Για να επιτευχθεί καλή ακρίβεια στις μετρήσεις, το βάθος εισαγωγής των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι μικρότερο από το 20% της απόστασης των κοντινότερων ηλεκτροδίων.

2.7.3 Δημιουργία χαρτών ηλεκτρικής αντίστασης

Οι τιμές που λαμβάνονται κατά την ηλεκτρική χαρτογράφηση τοποθετούνται σε χάρτη φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (σχήμα 2.7).

είναι η μελέτη της μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην οριζόντια διεύθυνση και δεύτερον, γιατί ο υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης προϋποθέτει περισσότερες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε κάθε σταθμό.

2.7.4 Σύνδεση χαρτών ηλεκτρικής αντίστασης

Μεταξύ πολλών διασκοπήσεων υπάρχει ένα μικρό ή μεγάλο (μίας ημέρας) διάστημα ανάπαυλας πράγμα το οποίο μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα κοινές γραμμές μεταξύ των καννάβων να παρουσιάζουν εντελώς διαφορετικές τιμές. Αιτία του φαινομένου είναι η αλλαγή κάποιων παραμέτρων π.χ. της θέσης των σταθερών ηλεκτροδίων στην διάταξη δίδυμου ζεύγους. Παρουσιάζεται λοιπόν η ανάγκη σύνδεσης των καννάβων.

Αρχικά υπολογίζεται η μέση τιμή σε κάθε κοινή γραμμή μεταξύ των καννάβων. Η απλούστερη περίπτωση είναι η σύνδεση δύο χαρτών καθώς απαιτείται μία μόνο πράξη πρόσθεσης ή αφαίρεσης ώστε η μέση τιμή της κοινής γραμμής να αποκτήσει και για τους δύο καννάβους την ίδια τιμή. Η τιμή αυτή προστίθεται όχι μόνο στην κοινή γραμμή αλλά σε ολόκληρο τον κάνναβο.

Στην περίπτωση περισσότερων των δύο καννάβων η διαδικασία σύνδεσης γίνεται αρκετά πιο σύνθετη, καθώς ο κάθε κάνναβος δύναται να έχει κοινή γραμμή σε κάθε πλευρά του. Σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται πολλές προσθαφαιρέσεις ώστε να γίνει ελάχιστη η διαφορά των κοινών γραμμών.

2.7.5 Μέθοδος παρεμβολής στην ηλεκτρική χαρτογράφηση

Η παρεμβολή μετρήσεων γειτονικών σταθμών αποτελεί βασικό εργαλείο για την κατασκευή χαρτών και τη συμπλήρωση των μετρήσεων. Πρόκειται για την κατασκευή πλέγματος στους κόμβους του οποίου δίνεται μία τιμή. Στην περίπτωση που δεν έχει ληφθεί τιμή με κάποια μέθοδο, αυτή υπολογίζεται ανάλογα με την επιλεγόμενη μέθοδο παρεμβολής.

2.8 Γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση

2.8.1 Εισαγωγή

Η γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση αποτελεί μέρος της ηλεκτρικής διασκόπησης, στην οποία μελετάται η μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος. Απεικονίζει δηλαδή την μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης κατά μία μόνο διάσταση, αυτή του βάθους, πράγμα το οποίο επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της με πληροφορίες από γεώτρηση. Στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση αντί του γεωφυσικού χάρτη, προκύπτει γράφημα της ειδικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους. Η βυθοσκόπηση είναι μία σχετικά γρήγορη και μικρού κόστους γεωηλεκτρική διασκόπηση η οποία επιτρέπει την εξαγωγή αξιόλογων συμπερασμάτων για την εναλλαγή των στρωμάτων με το βάθος.

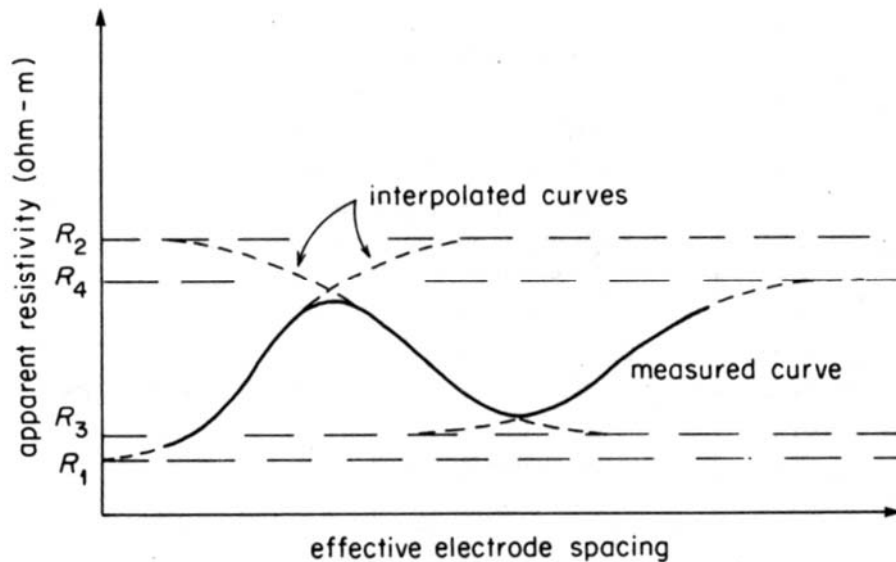
2.8.2 Τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση

Η περιγραφή της γεωλογικής δομής του υπεδάφους κατά την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης, προκύπτει από τον υπολογισμό των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του πάχους ή/και του βάθους των γεωλογικών στρωμάτων.

Με τη γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση προσδιορίζεται η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση R_a σε σταθερό σημείο της επιφάνειας για διαδοχικά αυξανόμενες τιμές του γεωμετρικού συντελεστή K . Αυτό συμβαίνει αυξάνοντας συνεχώς την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Καθώς η διάταξη των ηλεκτροδίων απλώνεται, η ίδια ποσότητα ρεύματος διαρέει μεγαλύτερα βάθη. Άρα, η ηλεκτρική αντίσταση των βαθύτερων γεωλογικών στρωμάτων επηρεάζει τη φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Εναλλαγές, υψηλής και χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης, μπορεί να εμφανισθούν σε γράφημα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της απόστασης των ηλεκτροδίων του ρεύματος (σχήμα 2.8).

Ανάμεσα στις διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων, η διάταξη Wenner είναι η λιγότερο κατάλληλη για τις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις (παρόλο που χρησιμοποιείται αρκετά συχνά), λόγω της μετακίνησης των τεσσάρων ηλεκτροδίων σε κάθε πρόσθετη μέτρηση. Αντίθετα στη διάταξη Schlumberger τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν στην ίδια θέση, και μόνο τα ηλεκτρόδια του ρεύματος μετακινούνται για κάθε επιπλέον μέτρηση. Τέλος, η διάταξη διπόλου–διπόλου, όπου τα ηλεκτρόδια ρεύματος παραμέ-

νουν σταθερά και μετακινούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού, είναι η πιο κατάλληλη για βαθιές βυθοσκοπήσεις.



Σχήμα 2.8 Γράφημα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής και της αντίστασης των ηλεκτροδίων του ρεύματος, για τον υπολογισμό εναλλασσόμενων υψηλής και χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης στρωμάτων, με τη βοήθεια της διάταξης Wenner. (Robinson, Coruh, 1988, σελ. 466).

2.8.3 Διαδικασία ηλεκτρικής βυθοσκόπησης

Η διαδικασία εκτέλεσης της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης αποτελείται από τα παρακάτω βήματα, αναφερόμενα με σειρά προτεραιότητας.

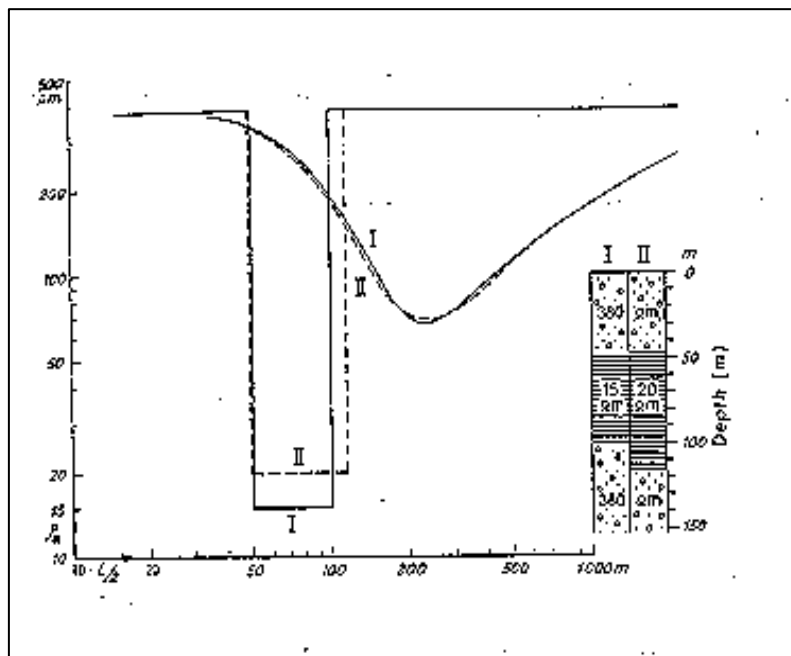
- Ορίζεται η ευθεία πάνω στην οποία θα γίνει η ανάπτυξη της γραμμής, η οποία πρέπει να τοποθετείται όσο το δυνατόν παράλληλα. Έτσι, ελέγχεται η περιοχή μελέτης πριν να ξεκινήσει η βυθοσκόπηση για την αποφυγή προβλημάτων όπως η ύπαρξη χειμάρρων, φαραγγιών, λόφων, οικημάτων, φρακτών κ.α.
- Συνδέεται το όργανο με τα καλώδια, και τοποθετείται στο σημείο που θα αποτελεί το κέντρο της βυθοσκόπησης (Ο), το οποίο επιλέγεται ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής.
- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του σημείου Ο σε απόσταση $MN/2$ και $AB/2$ αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων Α, Β με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματο-

ποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος i και δυναμικού V . Στη συνέχεια τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος σε μεγαλύτερη απόσταση $AB/2$ και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

- Η συνάρτηση μεταβολής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ρ_a , με το βάθος σχεδιάζεται σε διπλό λογαριθμικό χαρτί κατά τη λήψη των μετρήσεων έτσι ώστε να ελέγχεται με ένα ακόμη τρόπο η αξιοπιστία των μετρήσεων.
- Η διαφορά δυναμικού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης $AB/2$, ενώ όταν η τιμή προσεγγίζει το 0,1 mV, η μέτρηση θεωρείται μη αξιόπιστη. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται το μήκος του $MN/2$ και για το ίδιο $AB/2$ λαμβάνεται διπλή μέτρηση.
- Το μέγιστο μήκος της ανάπτυξης των ηλεκτροδίων ρεύματος καθορίζεται από το αν έχει εντοπιστεί γεωηλεκτρικά το πέτρωμα που στόχο έχει η βυθοσκοπήση. Η κατάσταση αυτή διαπιστώνεται από την ανοδική ή την καθοδική πορεία της καμπύλης.
- Η απόσταση του ημιαναπτύγματος $AB/2$ και οι μετρούμενες τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταγράφονται σε ειδικά διαμορφωμένα έντυπα για την μετέπειτα επεξεργασία τους

2.8.4 Προβλήματα Στην ερμηνεία των Γεωηλεκτρικών Βυθοσκοπήσεων

Κατά την ερμηνεία των γεωηλεκτρικών δεδομένων, παρουσιάζονται κάποια προβλήματα όπως είναι η αρχή της ισοδυναμίας και η αρχή της επικάλυψης. Γι' αυτό, θεωρείται απαραίτητη η ύπαρξη πληροφοριών για το πάχος των στρωμάτων και για τις τιμές της ειδικής αντίστασης, για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων και την καλύτερη ερμηνεία των γεωηλεκτρικών δεδομένων.



Σχήμα 2.9 Απεικόνιση της αρχής της ισοδυναμίας για ένα αγώγιμο στρώμα ανάμεσα από δύο μη αγώγιμα. (P.V.Sharma, 1986, σελ.283).

2.8.4.1 Αρχή Της Ισοδυναμίας

Η αρχή της ισοδυναμίας παρουσιάζεται όταν η καμπύλη της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστοιχεί σε μοντέλο τριών στρωμάτων, όπου το ενδιάμεσο στρώμα εμφανίζει ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερη ή μικρότερη σε σχέση με τα δύο στρώματα που το περικλείουν (σχήμα 2.9).

Στην περίπτωση που το ενδιάμεσο στρώμα έχει την μεγαλύτερη ειδική ηλεκτρική αντίσταση, η καμπύλη της φαινόμενης αντίστασης δεν μεταβάλλεται όταν το γινόμενο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης R επί το πάχος του ενδιάμεσου στρώματος h είναι σταθερό, ενώ ξεχωριστά οι δύο παράμετροι μεταβάλλονται. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν άπειρα μοντέλα για τα οποία το πάχος και η αντίσταση του ενδιάμεσου στρώματος έχουν διαφορετική τιμή, ενώ το γινόμενο τους, που ονομάζεται Εγκάρσια Αντίσταση T , παραμένει σταθερό. Η Εγκάρσια Αντίσταση T δίνεται από τον τύπο,

$$T = hR \quad (2.20)$$

Στην περίπτωση που το ενδιάμεσο στρώμα είναι αγώγιμο, η καμπύλη της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δε μεταβάλλεται όταν ο λόγος πάχους του ενδιάμεσου στρώματος προς την ειδική ηλεκτρική αντίσταση R είναι σταθερός, ανεξάρτητα αν οι επιμέρους παράμετροι μεταβάλλονται. Ο παραπάνω λόγος χαρακτηρίζεται ως Διαμήκης Αγωγιμότητα και είναι,

$$S = h/R \quad (2.21)$$

2.8.4.2 Αρχή της επικάλυψης

Η αρχή της επικάλυψης αναφέρεται σε μοντέλο τριών στρωμάτων όπου το ενδιάμεσο στρώμα έχει μικρό πάχος και η φαινόμενη ειδική αντίσταση αυτού είναι ενδιάμεση των στρωμάτων που το περικλείουν. Το ενδιάμεσο στρώμα επιδρά ελάχιστα στην καμπύλη της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προκύπτει, και συνεπώς δεν είναι εύκολη η αναγνώρισή του με τη μέθοδο της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

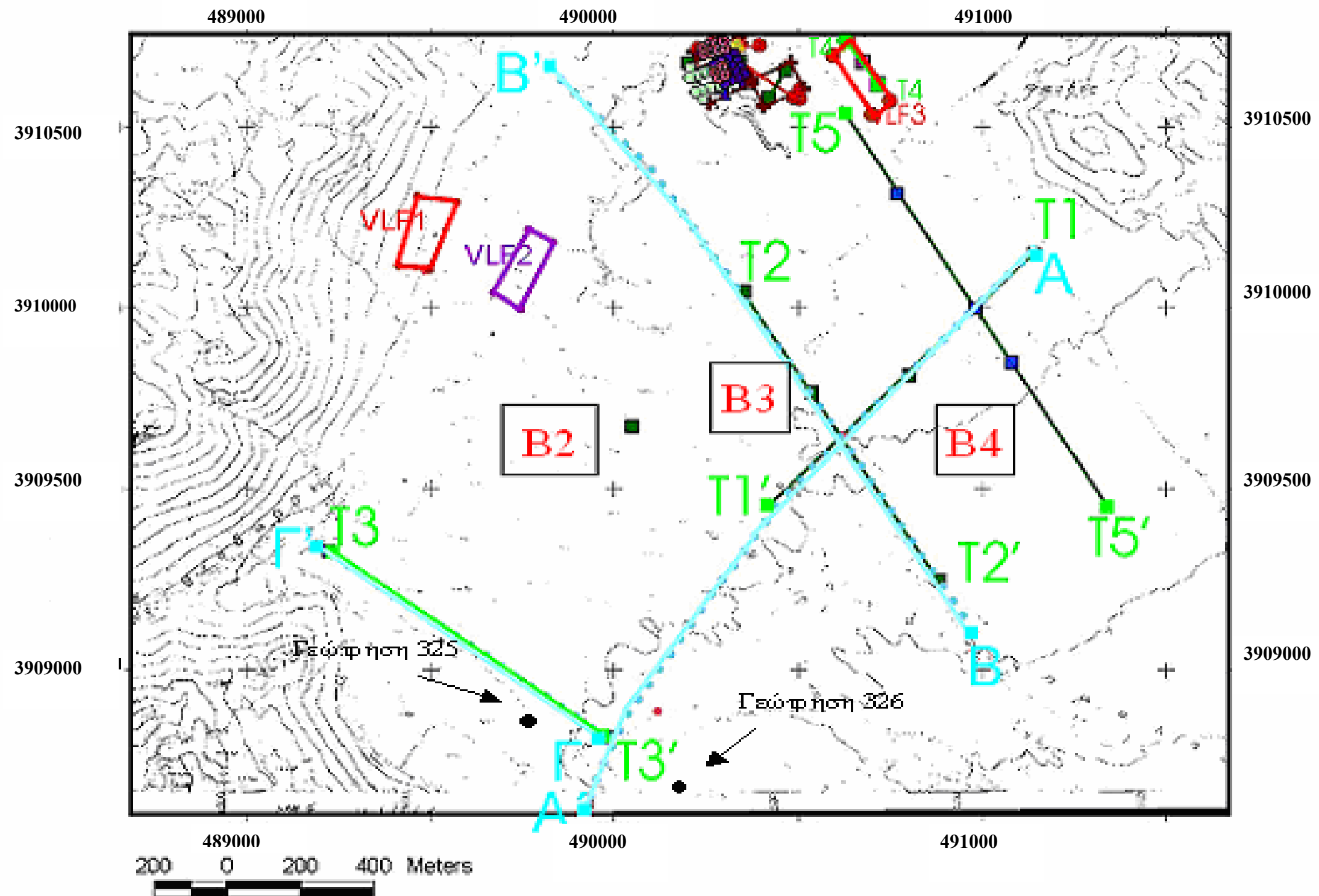
3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αρχικά μία παρουσίαση της περιοχής όπου έλαβαν χώρα οι μετρήσεις, θα αναφερθεί ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν, θα γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των γεωφυσικών δεδομένων καθώς και των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για αυτόν το σκοπό. Επίσης, θα γίνει μία πρώτη ερμηνεία των αποτελεσμάτων, η ερμηνεία των οποίων όμως θα γίνει εκτενέστερα και πιο λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο.

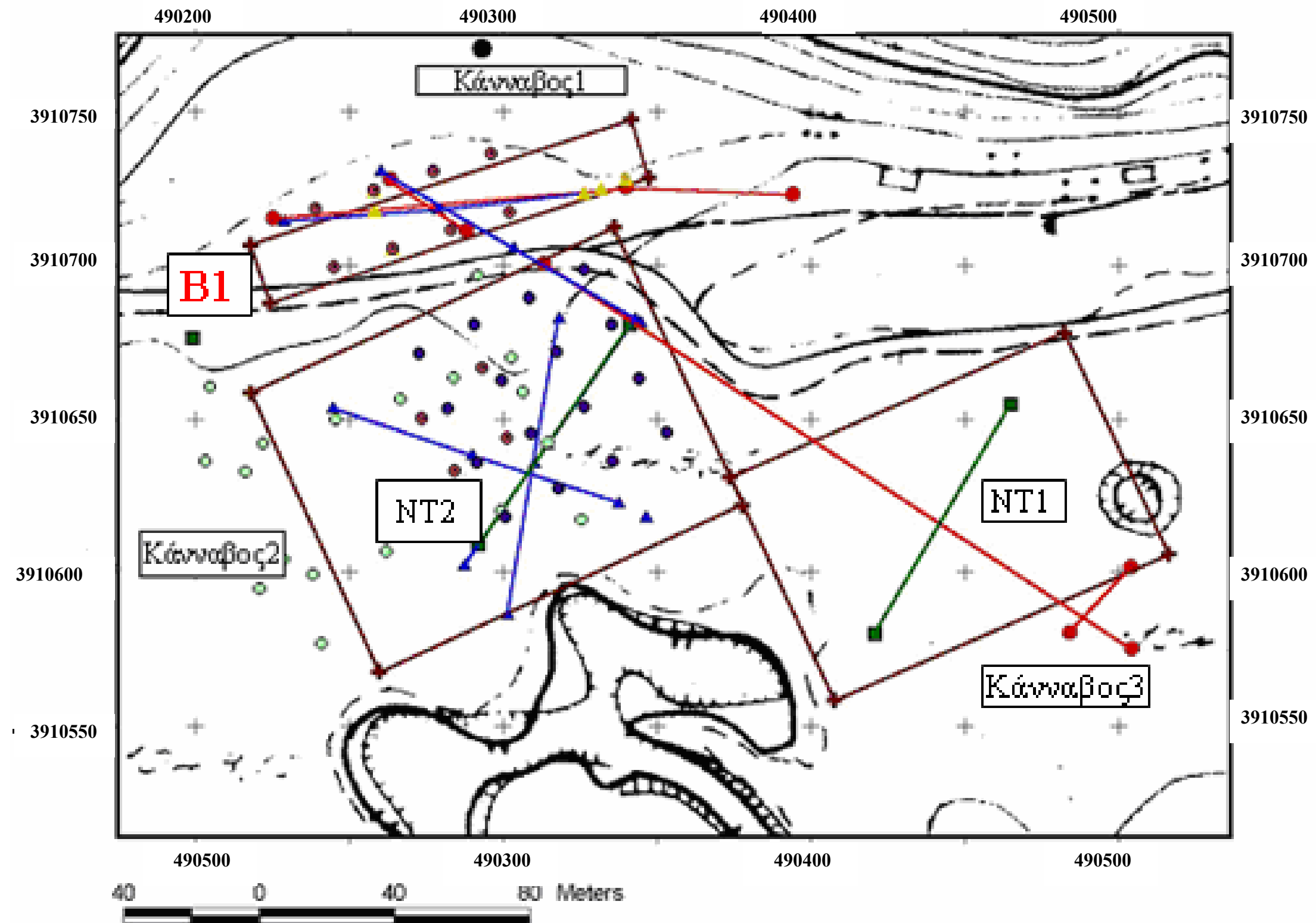
3.2 Περιοχή μελέτης

Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν στο οροπέδιο του Ομαλού κατά τις περιόδους Σεπτέμβριο 2002 και Σεπτέμβριο 2003 με στόχο τον προσδιορισμό των καρστικών δομών που υπάρχουν στην περιοχή. Ειδικότερα η γεωηλεκτρική διασκόπηση σαν σκοπό είχε τη χαρτογράφηση του ασβεστολιθικού υποβάθρου στο οροπέδιο του Ομαλού, καθώς και τον εντοπισμό υπόγειων καρστικών δομών. Για να επιτευχθεί αυτό έπρεπε να προσδιοριστούν οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Για αυτό χρησιμοποιήθηκαν κυρίως οι μετρήσεις της ηλεκτρικής τομογραφίας, της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης και της ηλεκτρικής χαρτογράφησης.

Παρακάτω (σχήμα 3.1, σχήμα 3.2) δίνονται οι χάρτες που απεικονίζουν τις περιοχές στις οποίες έλαβαν χώρα όχι μόνο οι ηλεκτρικές αλλά και οι βαρυτικές, μαγνητικές και ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις.



Σχήμα 3.1 Περιοχή όπου πραγματοποιήθηκαν γεωφυσικές διασκοπήσεις



Σχήμα 3.2 Πεδίο εκτέλεσης γεωφυσικών διασκοπήσεων

3.3 Παράμετροι των πειραμάτων

3.3.1 Ηλεκτρική τομογραφία

Γραμμή με- λέτης	Διάταξη ηλεκτροδίων	Ισαπόσταση (m)	Μήκος γραμμής μελέτης (m)	Αριθμός ηλεκτροδίων
1	Wenner- Schlumberger	30	930	32
2	Wenner- Schlumberger	30	960	33
3	Wenner- Schlumberger	30	900	31
4	Wenner- Schlumberger	4	156	40
5	Wenner- Schlumberger	30	1290	44
NT1	Wenner- Schlumberger	3	81	28
NT2	Wenner- Schlumberger	3	81	28

Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών τομογραφιών

3.3.2 Ηλεκτρική χαρτογράφηση

Κάνναβος	Διαστάσεις (m x m)	Ισαπόσταση (m)
1	20 x 130	10
2	100 x 130	10
3	80 x 90	10

Πίνακας 3.4 Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών χαρτογραφήσεων

3.3.3 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση

Γραμμή μελέτης	Διάταξη ηλεκτροδίων	Μήκος γραμμής μελέτης (m)
1	Schlumberger	240
2	Schlumberger	800
3	Schlumberger	1800
4	Schlumberger	1000

Πίνακας 3.5 Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων

3.4 Αποτελέσματα γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας, της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης και της ηλεκτρικής χαρτογράφησης όπως αυτά προέκυψαν μετά την επεξεργασία των μετρήσεων.

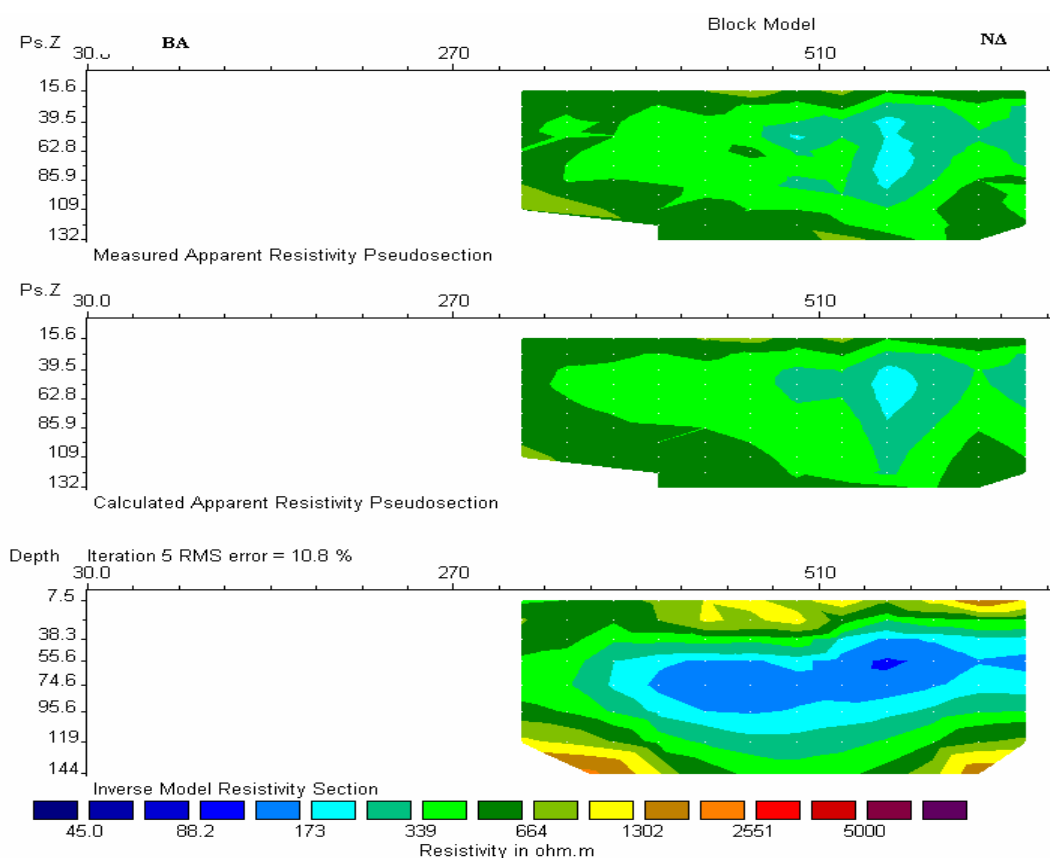
3.4.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής τομογραφίας

3.4.1.1 Λογισμικό πακέτο RES2DINV

Η επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας έγινε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου RES2DINV. Το πρόγραμμα RES2DINV χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που του δίνονται καταλήγει στην τομή της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, μέσω της μεθόδου της διδιάστατης αντιστροφής δεδομένων, διαδικασία η οποία παρουσιάστηκε αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο.

3.4.1.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων

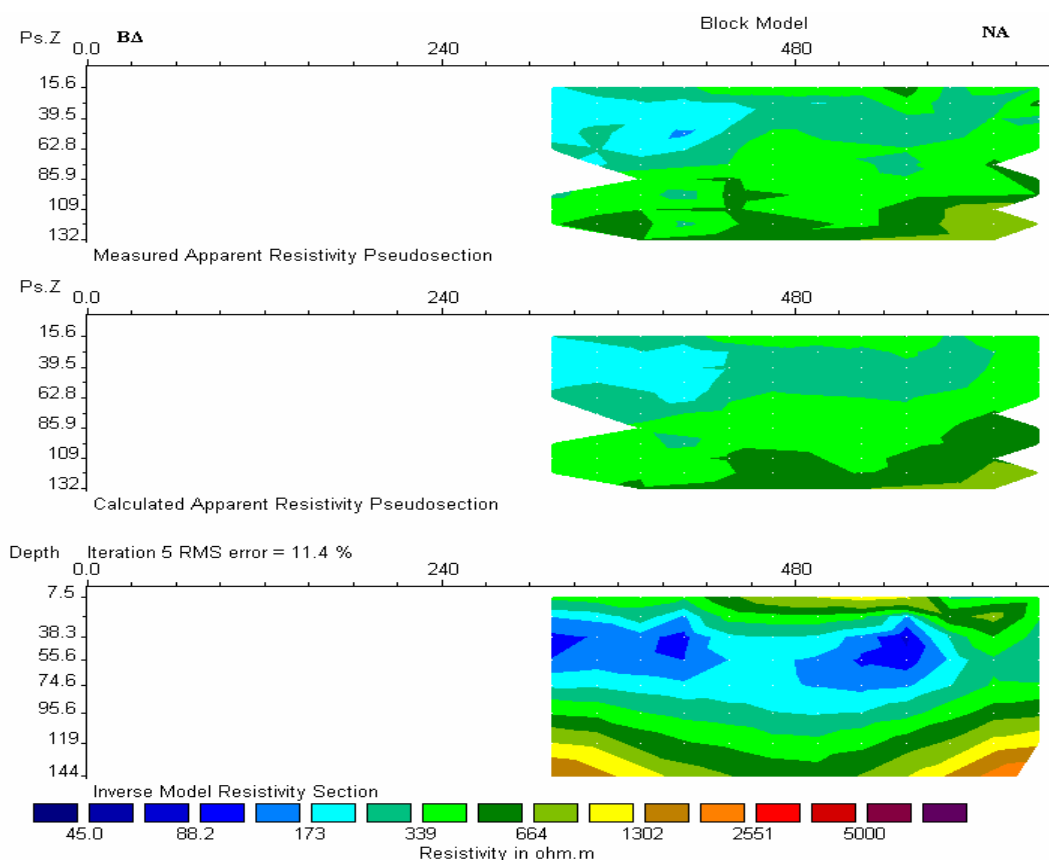
Γραμμή μελέτης 1



Σχήμα 3.6 Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης 1

Παρατηρείται μία σχετικά ομαλή κατανομή της ηλεκτρικής αντίστασης χωρίς πλευρικές μεταβολές. Στα μικρά βάθη, μέχρι τα 35 m περίπου, παρατηρούνται υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, κάτι το οποίο οφείλεται σε επιφανειακές προσχώσεις οι οποίες εκτείνονται μέχρι το συγκεκριμένο βάθος. Στη συνέχεια και μέχρι το βάθος των 110 m, παρατηρούνται σχηματισμοί με χαμηλές αντιστάσεις. Με βάση το γεωλογικό χάρτη της περιοχής εκτιμάται ότι πρόκειται για μάργες. Βαθύτερα εκτείνονται σχηματισμοί με πολύ υψηλές αντιστάσεις, γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο.

Γραμμή μελέτης 2

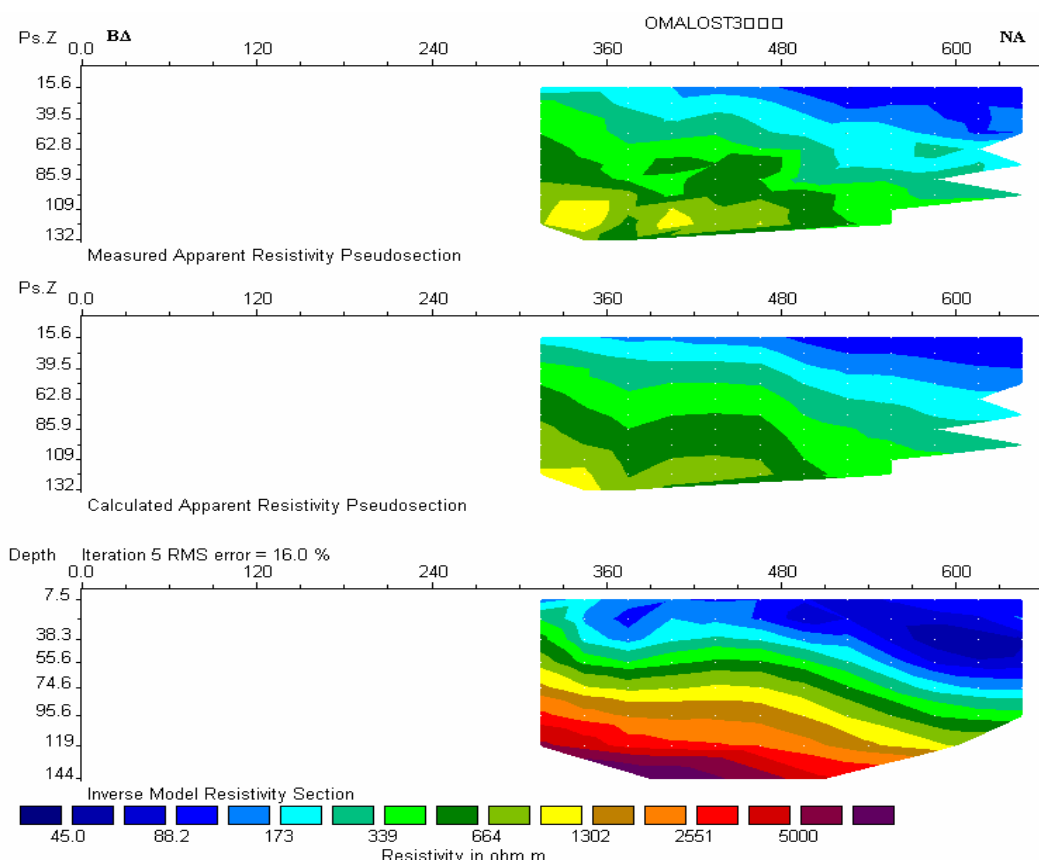


Σχήμα 3.7 Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης 2

Παρόμοια συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν και για τη δεύτερη τομογραφία αφού ομοιάζει με την πρώτη τόσο στην εναλλαγή των στρωμάτων των σχηματισμών όσο και στα βάθη όπου παρατηρείται η εν λόγω εναλλαγή. Το φαινόμενο αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς οι δύο τομογραφίες πραγματοποιήθηκαν σε κοντινές

τοποθεσίες. Μάλιστα, όπως φαίνεται και από το χάρτη, έχουν και ένα κοινό σημείο (738 m στη γεωηλεκτρική τομή 1 και 485 m στη γεωηλεκτρική τομή 2).

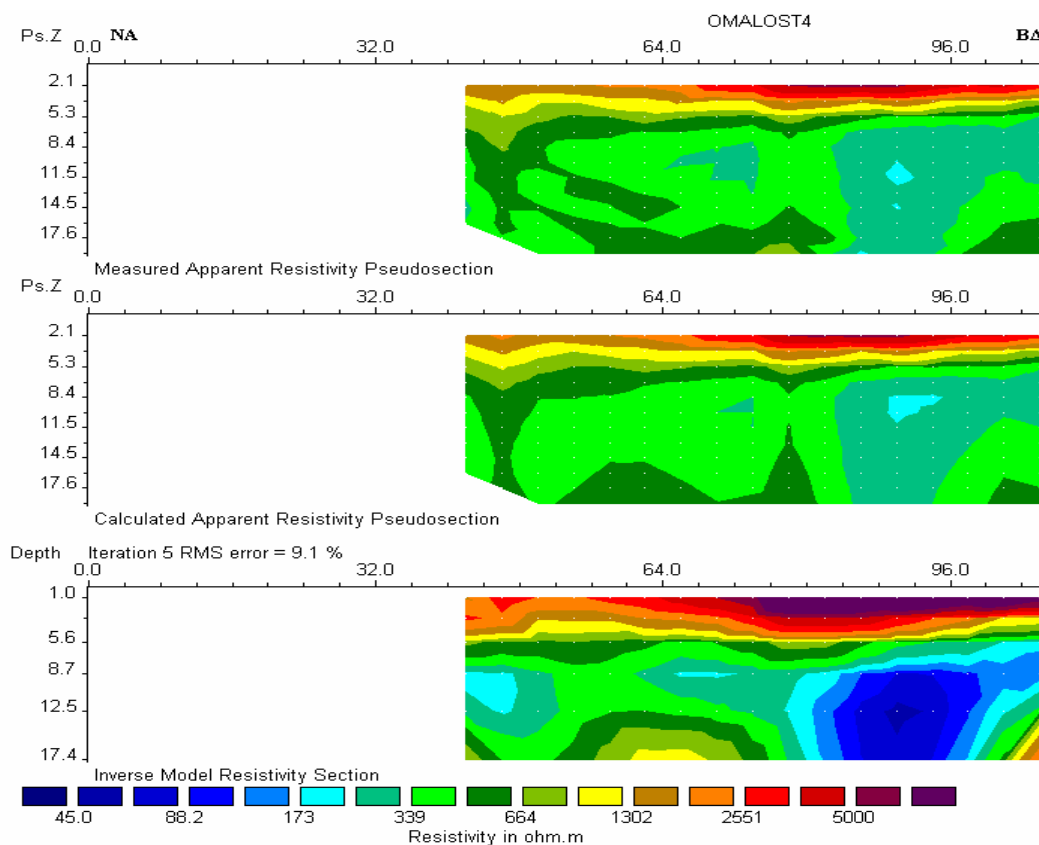
Γραμμή μελέτης 3



Σχήμα 3.8 Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης 3

Και στην τρίτη τομογραφία παρατηρείται ομαλή στρωματογραφική διαδοχή, μόνο που εδώ αλλάζει τόσο η σειρά εναλλαγής όσο και η σύσταση των στρωμάτων. Επιφανειακά και μέχρι ένα βάθος περίπου 40 m παρατηρούνται χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, πράγμα το οποίο δηλώνει την ύπαρξη υγρασίας και αργιλικών υλικών, πράγμα το οποίο ευνοεί τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Κάτω από τα 40 m επικρατούν πολύ υψηλές αντιστάσεις, οι οποίες δηλώνουν την ύπαρξη ασβεστολίθου. Επίσης παρατηρείται η εμφάνιση του στρώματος υψηλής αντίστασης σε μεγαλύτερα βάθη. Στην αρχή της γραμμής μελέτης η εμφάνιση του τοποθετείται σε βάθος 8 m, ενώ προς το τέλος φθάνει και τα 80 m. Αυτό δικαιολογείται από τη μορφολογία της περιοχής όπου έλαβε χώρα η γραμμή μελέτης (κοντά στους πρόποδες του βουνού).

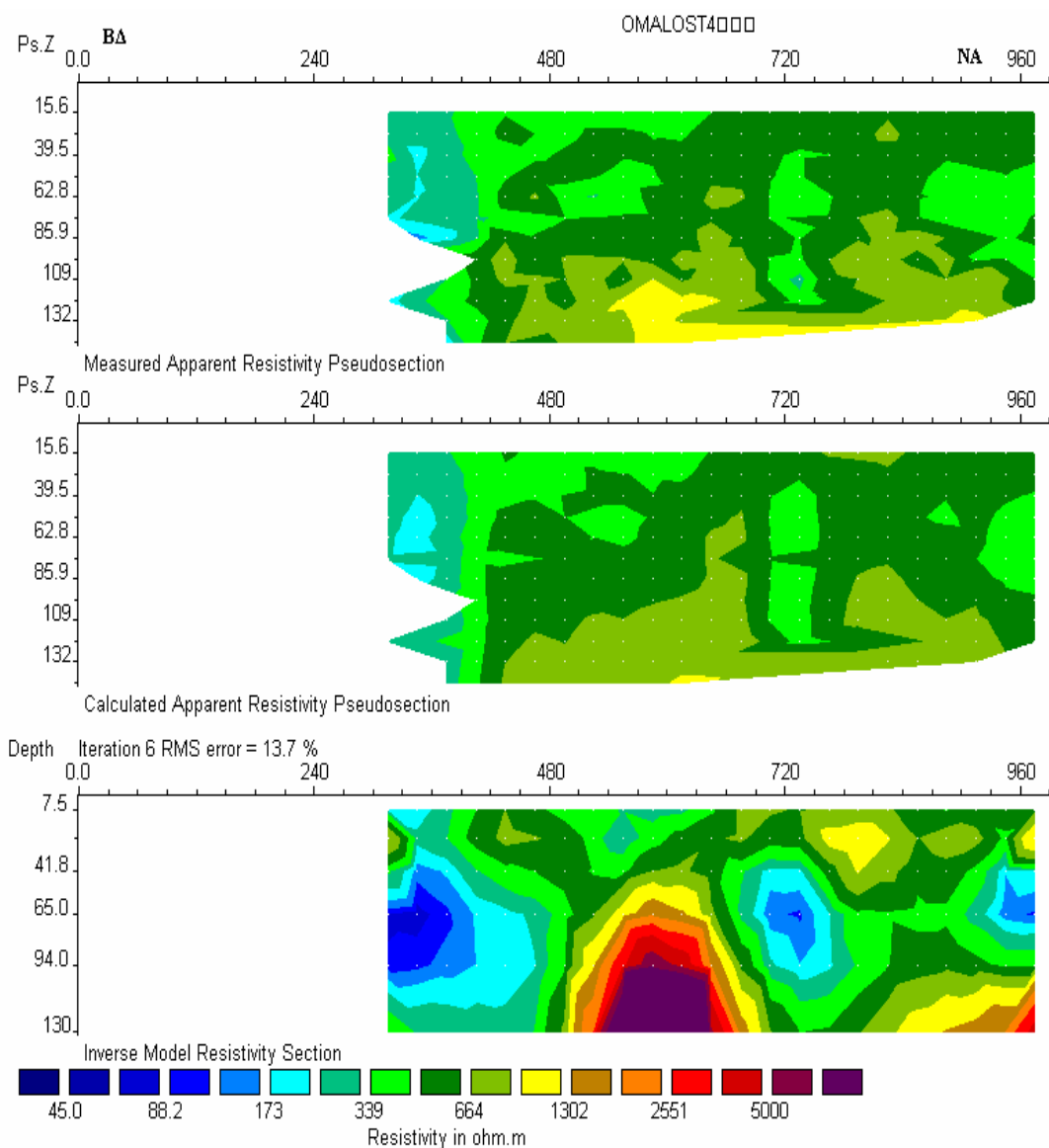
Γραμμή μελέτης 4



Σχήμα 3.9 Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης 4

Στην τέταρτη τομογραφία παρατηρείται πως η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης παρουσιάζει έντονες πλευρικές μεταβολές. Μέχρι το βάθος των 5 m επικρατούν πολύ υψηλές αντιστάσεις, φαινόμενο το οποίο παρατηρήθηκε και στις δύο πρώτες τομογραφίες, γεγονός που μαρτυρά την ύπαρξη αλουβιακών και διλουβιακών σχηματισμών.

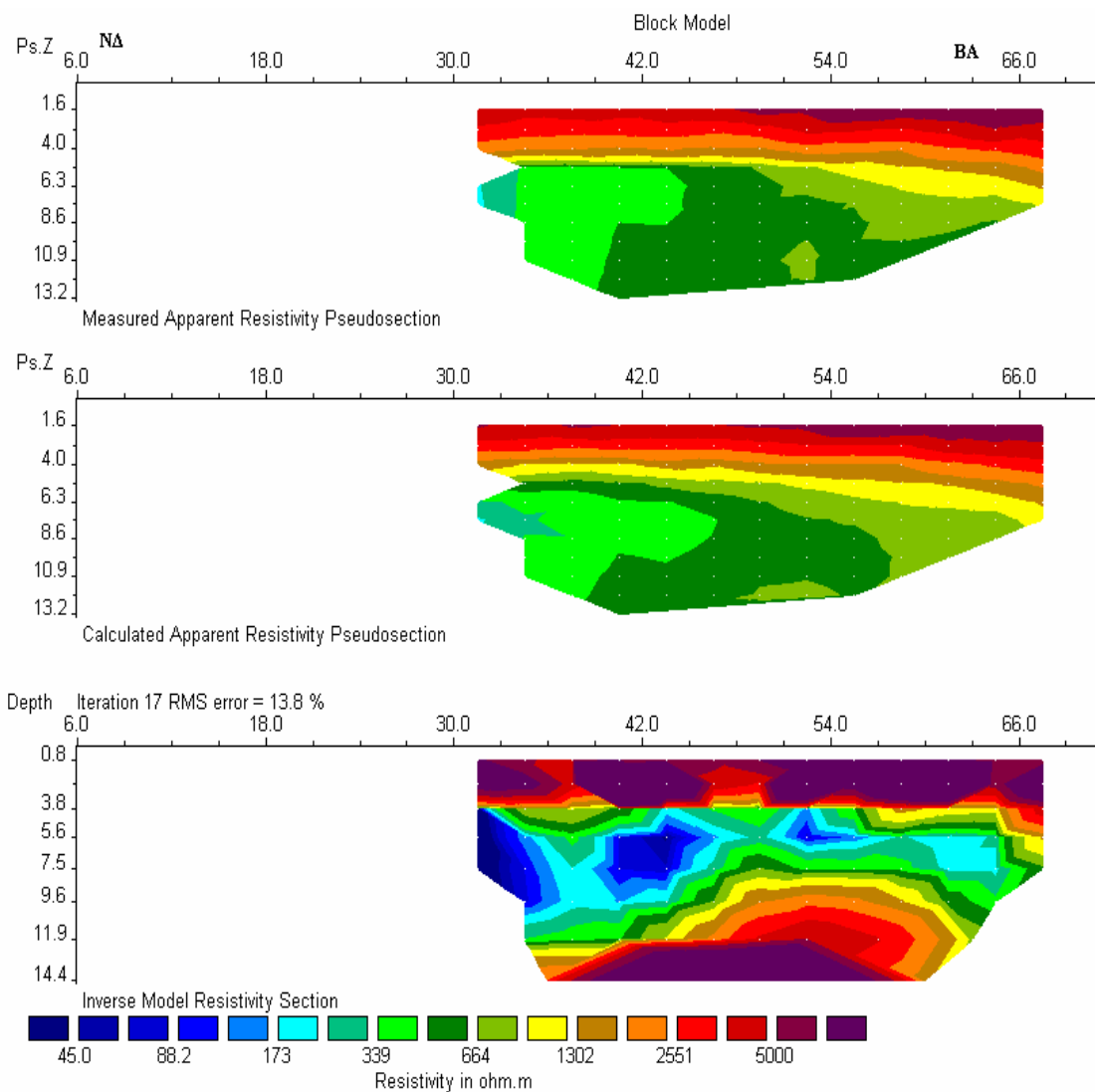
Γραμμή μελέτης 5



Σχήμα 3.10 Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης 5

Στην πέμπτη τομογραφία δεν παρατηρείται η ομαλή κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που ήταν χαρακτηριστική για τις προηγούμενες τέσσερις τομογραφίες. Στη συγκεκριμένη απεικόνιση παρατηρείται έντονη πλευρική μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

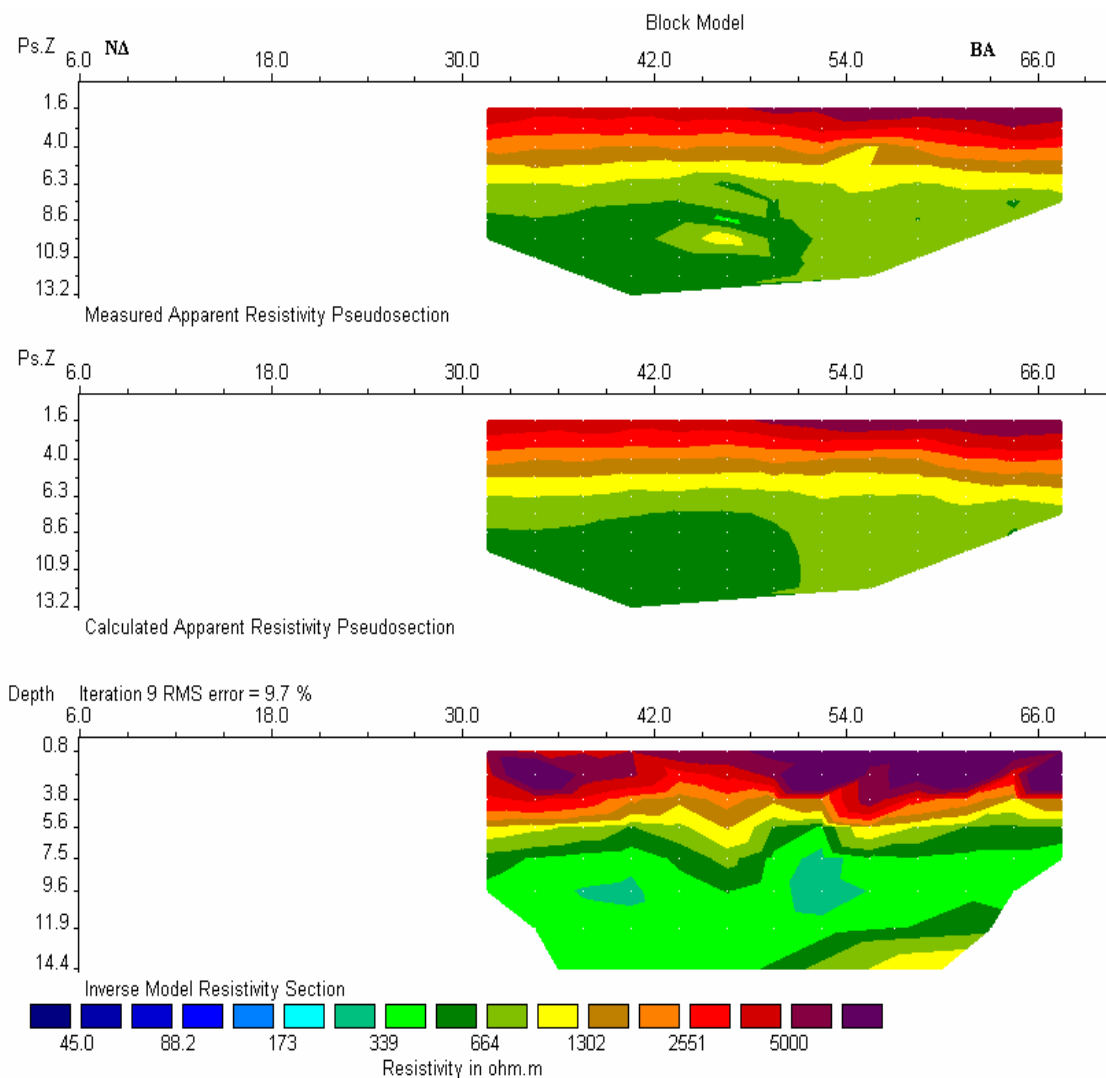
Γραμμή μελέτης NT1



Σχήμα 3.11 Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης NT1

Η τομογραφία NT1 εντοπίζει σχηματισμούς με πολύ υψηλές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις σε αρκετά μικρά βάθη, 8-10 m περίπου. Όσον αφορά το σενάριο των τριών πρώτων στρωμάτων, δεν διαφέρει από αυτό που ίσχυε για τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων γραμμών μελέτης, αφού εμφανίζεται ένα στρώμα μικρού πάχους (3,5m) με πολύ υψηλές αντιστάσεις, ακολουθεί ένα σχηματισμός χαμηλότερης, ακόμα υψηλής όμως αντίστασης και τελικά ένας σχηματισμός χαμηλών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων. Το βαθύτερο στρώμα είναι πολύ υψηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Γραμμή μελέτης NT2



Σχήμα 3.12 Απεικόνιση αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων γραμμής μελέτης NT2

Το ιδιαίτερο που παρουσιάζει η συγκεκριμένη τομογραφία είναι πως δεν εμφανίζεται στο υπόβαθρο στρώμα υψηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

3.4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής βυθοσκοπησης

3.4.2.1 Λογισμικό πακέτο IPI2WIN

Η επεξεργασία των δεδομένων των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό πακέτο IPI2WIN. Το πρόγραμμα IPI2WIN χρησιμοποιώ-

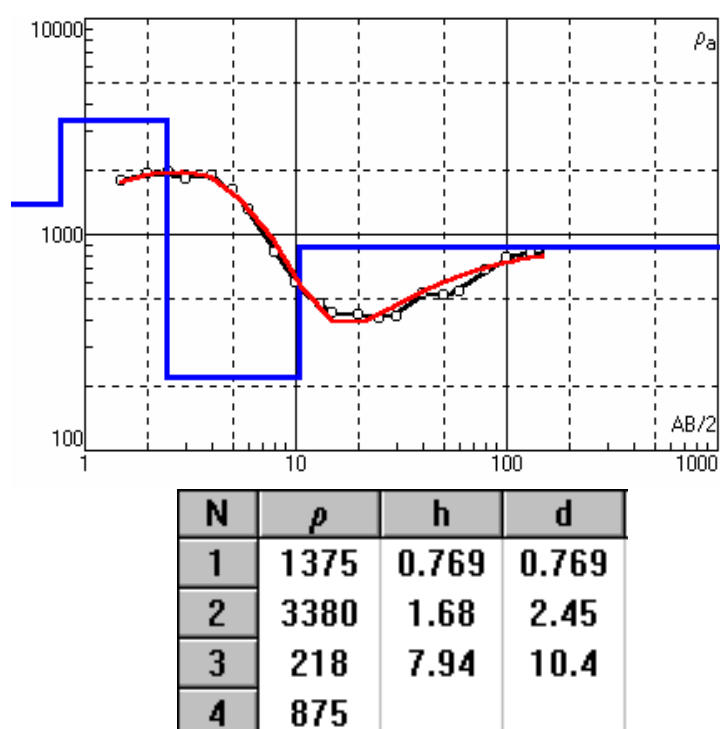
ντας τα δεδομένα που του δίνονται καταλήγει σε ένα μονοδιάστατο μοντέλο της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Παρακάτω, απεικονίζονται τα μοντέλα, όπως αυτά προέκυψαν μετά την επεξεργασία των δεδομένων. Το ποσοστό πάνω από τα μοντέλα εκφράζει το σφάλμα στη διαδικασία της αντιστροφής. Επίσης, για κάθε μοντέλο, παρατίθεται ο προσανατολισμός της εκάστοτε γραμμής μελέτης και ο πίνακας με τις τιμές για κάθε σχηματισμό, όπου:

- ρ = ειδική ηλεκτρική αντίσταση
- h = πάχος σχηματισμού
- d = βάθος σχηματισμού

3.4.2.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων

Βυθοσκόπηση 1^η (BA – ΝΔ)



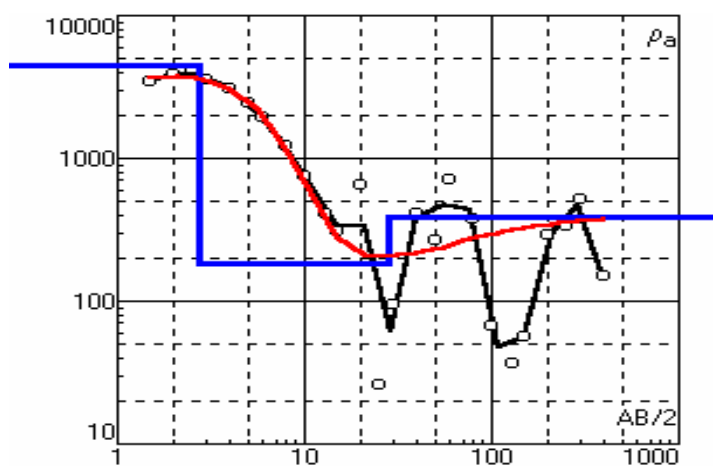
Σχήμα 3.13 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 1 (κόκκινη γραμμή) και μοντέλο (μπλε γραμμή)

Αν και το μοντέλο παρουσιάζει τέσσερα στρώματα, μπορεί να θεωρηθεί ότι τα δύο πρώτα αποτελούν ουσιαστικά ένα, αφού το πρώτο έχει πολύ μικρό πάχος. Οπότε παρατηρούνται τρία στρώματα εκ των οποίων το μεσαίο έχει τη μικρότερη αντίσταση. Το υψηλής αντίστασης στρώμα απαντάται στα 10 m περίπου.

Βυθοσκόπηση 2^η (BA – ΝΔ)

Στη δεύτερη βυθοσκόπηση υπήρξαν προβλήματα στην επιλογή των μετρήσεων σύμφωνα με τις οποίες θα κατασκευαζόταν το μοντέλο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο θόρυβο και στο ανώμαλο ανάγλυφο της περιοχής όπου πραγματοποιήθηκε η συγκεκριμένη βυθοσκόπηση. Αυτό οδήγησε στην κατασκευή δεύτερου σεναρίου, με σκοπό να ληφθούν υπ' όψιν όλες οι περιπτώσεις ερμηνείας της γεωηλεκτρικής καμπύλης.

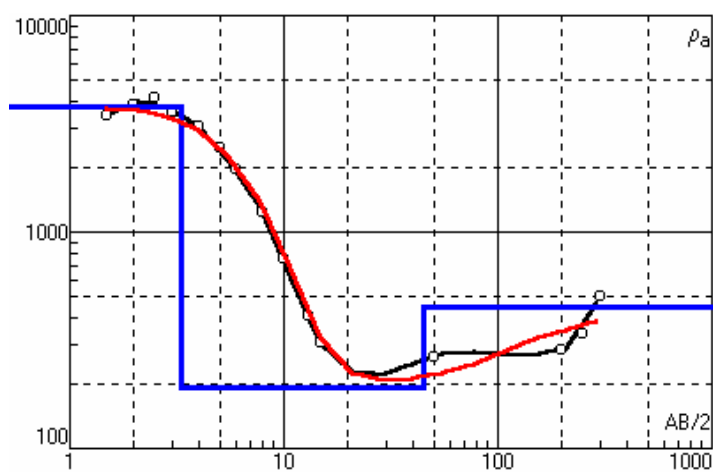
2a 75.6%



N	ρ	h	d
1	1504	0.175	0.175
2	4435	2.54	2.71
3	181	25.8	28.5
4	390		

Σχήμα 3.14 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 2 (κόκκινη γραμμή) και μοντέλο 1 (μπλε γραμμή)

2b

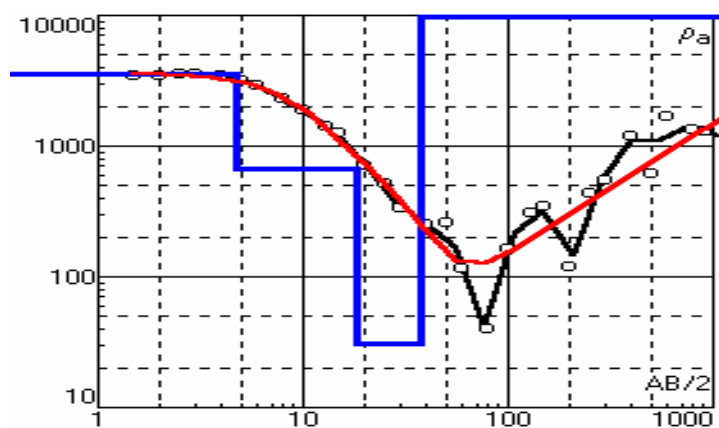


N	ρ	h	d
1	3783	3.31	3.31
2	191	41.7	45
3	450		

Σχήμα 3.15 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 2 (κόκκινη γραμμή)
και μοντέλο 2 (μπλε γραμμή)

Βυθοσκόπηση 3^η (ΒΔ – ΝΑ)

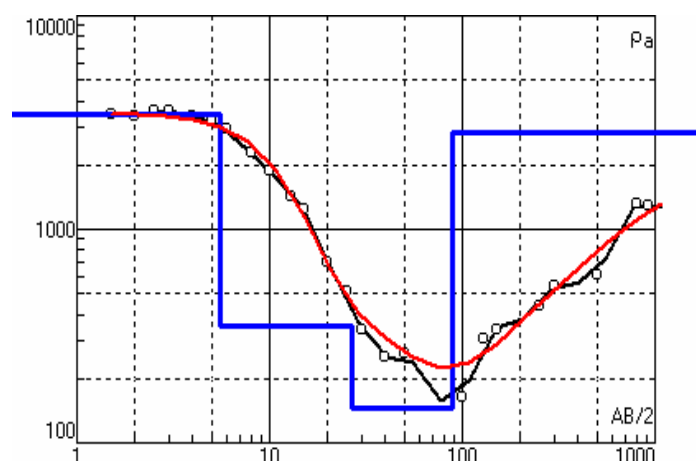
3a 35.9%



N	ρ	h	d
1	3578	4.69	4.69
2	667	13.4	18.1
3	30.3	19.3	37.4
4	55071		

Σχήμα 3.16 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 3 (κόκκινη γραμμή)
και μοντέλο 1 (μπλε γραμμή)

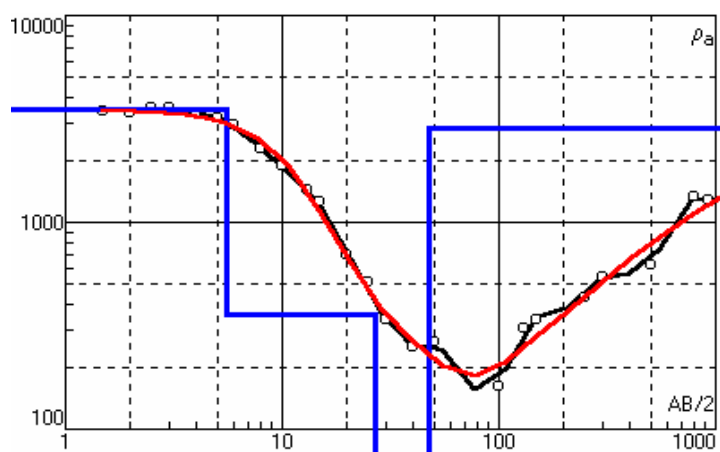
3b 13.1%



N	ρ	h	d
1	3481	5.58	5.58
2	355	21.3	26.9
3	145	62.1	89
4	2864		

Σχήμα 3.17 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 3 (κόκκινη γραμμή) και μοντέλο 2 (μπλε γραμμή)

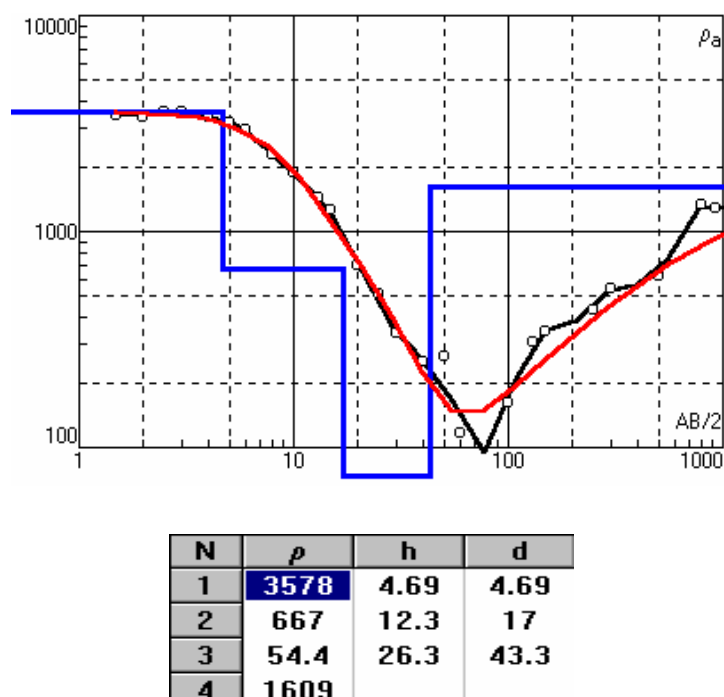
3c 9.92%



N	ρ	h	d
1	3481	5.58	5.58
2	355	21.3	26.9
3	48.2	20.7	47.6
4	2864		

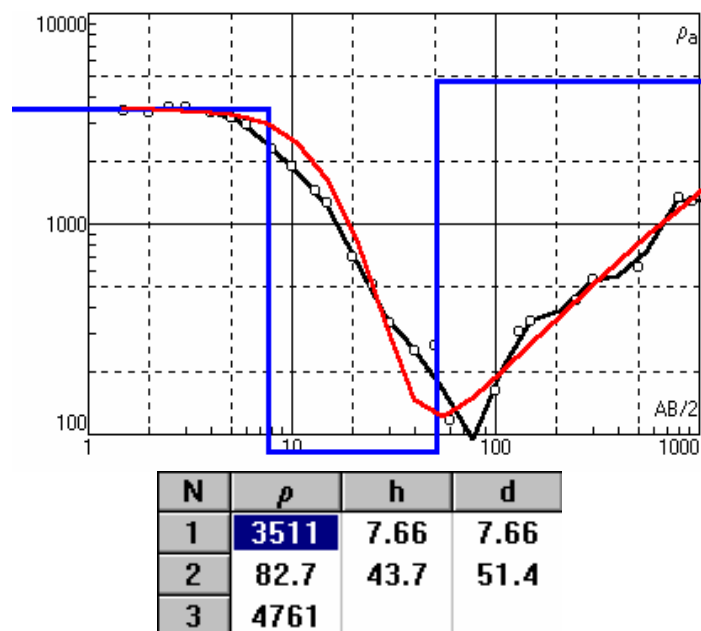
Σχήμα 3.18 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 3 (κόκκινη γραμμή) και μοντέλο 3 (μπλε γραμμή)

3d



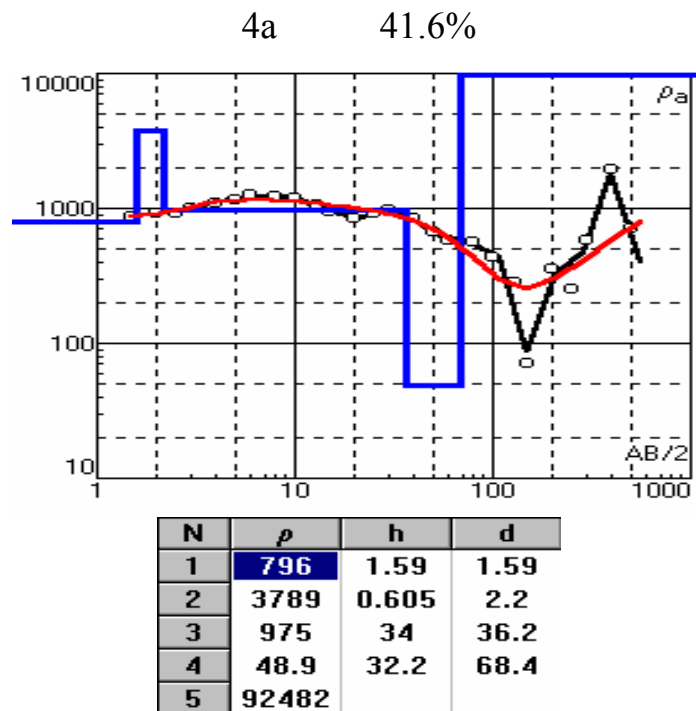
Σχήμα 3.19 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 3 (κόκκινη γραμμή) και μοντέλο 4 (μπλε γραμμή)

3e

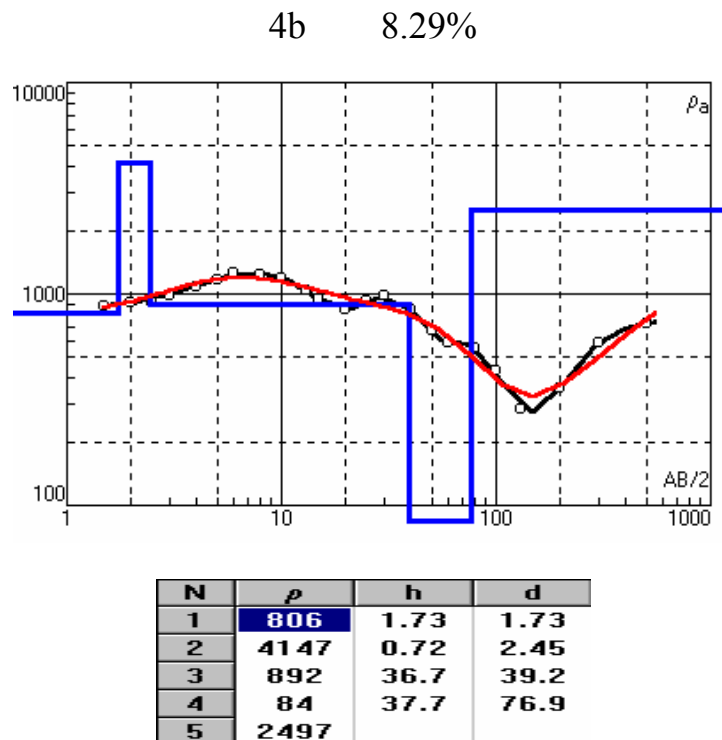


Σχήμα 3.20 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 3 (κόκκινη γραμμή) και μοντέλο 5 (μπλε γραμμή)

Βυθοσκόπηση 4^η (BA – ΝΔ)

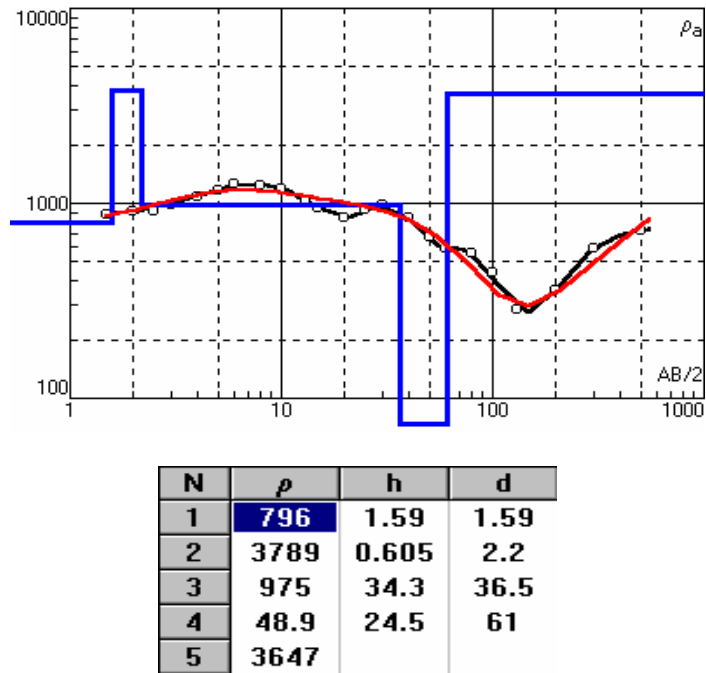


Σχήμα 3.21 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 4 (κόκκινη γραμμή) και μοντέλο 1 (μπλε γραμμή)



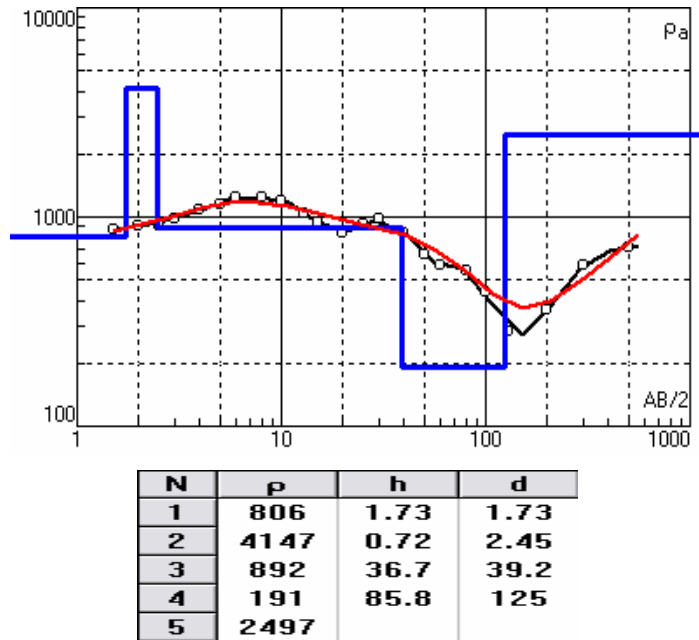
Σχήμα 3.22 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 4 (κόκκινη γραμμή) και μοντέλο 2 (μπλε γραμμή)

4c



Σχήμα 3.23 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 4 (κόκκινη γραμμή) και μοντέλο 3 (μπλε γραμμή)

4d



Σχήμα 3.24 Γεωηλεκτρική καμπύλη βυθοσκόπησης 4 (κόκκινη γραμμή) και μοντέλο 4 (μπλε γραμμή)

Στο πρώτο μοντέλο της τέταρτης βυθοσκόπησης παρατηρήθηκε μεγάλο σφάλμα, γι' αυτό και δημιουργήθηκαν άλλα δύο μοντέλα, από τα οποία σαν πιθανότερο σενάριο επιλέγεται το δεύτερο (μοντέλο 4b) λόγω εμφάνισης χαμηλότερης τιμής σφάλματος.

Σαν γενικό συμπέρασμα από τις πρότυπες καμπύλες που προέκυψαν μετά την επεξεργασία των δεδομένων των ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων, μπορεί να ειπωθεί ότι παρατηρείται μία στρωματογραφική διαδοχή σχηματισμών εκ των οποίων ο ανώτερος παρουσιάζει και την υψηλότερη τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Βαθύτερα ακολουθεί ένας σχηματισμός με χαμηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση και τέλος εντοπίζεται το ασβεστο λιθικό υπόβαρο. Αυτή η θεωρία έρχεται σε συμφωνία με τις δεδομένες πληροφορίες που αφορούν την γεωλογία της περιοχής.

3.4.3 Αποτελέσματα ηλεκτρικής χαρτογράφησης

3.4.3.1 Λογισμικό πακέτο Transform3 – Φίλτρα αποκοπής

Η επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής χαρτογράφησης έγινε με το λογισμικό πακέτο Transform3. Για την ενίσχυση των πλευρικών μεταβολών χρησιμοποιήθηκαν τα φίλτρα smooth, τοπικού πεδίου τοπικής οριζόντιας βαθμίδας.

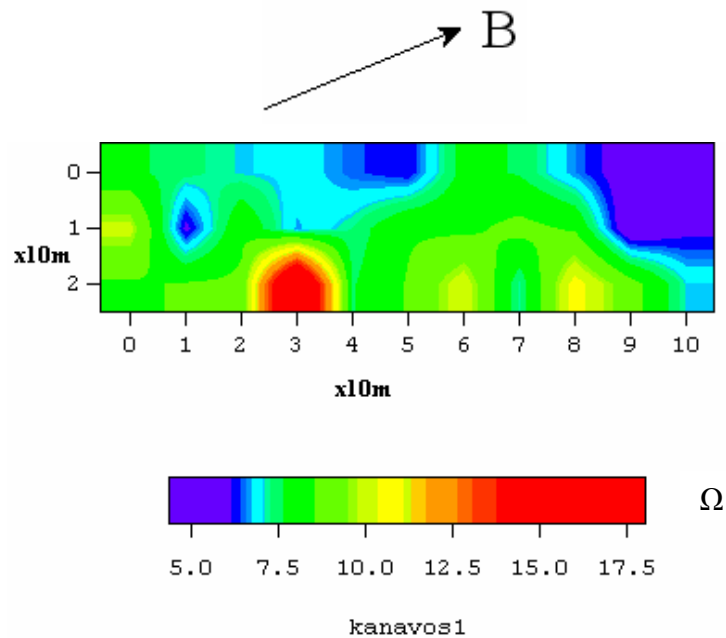
Φίλτρο smooth. Αποτελεί κομμάτι της επεξεργασίας των δεδομένων στο λογισμικό πακέτο Transform3 και ουσιαστικά εξομαλύνει τις τιμές των δεδομένων ώστε να μπορεί να ληφθεί μία γενική εικόνα της κατανομής των αντιστάσεων στο χώρο.

Φίλτρο τοπικού πεδίου. Αποτελεί ένα χάρτη του οποίου οι τιμές προκύπτουν από την αφαίρεση των τιμών του εξομαλυμένου χάρτη από αυτές του αρχικού. Παρουσιάζει τις μεταβολές των τιμών της αντίστασης σε μικρές αποστάσεις.

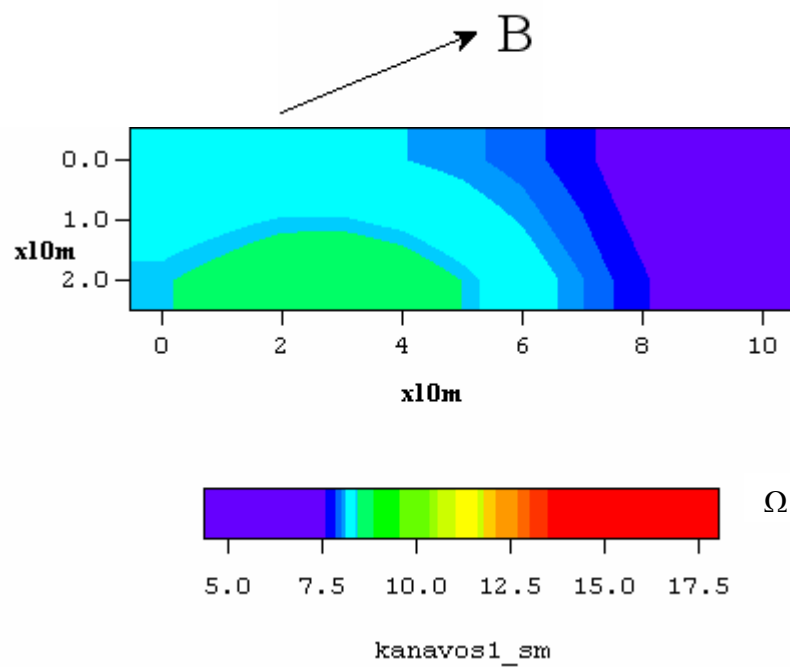
Φίλτρο της οριζόντιας βαθμίδας. Η οριζόντια βαθμίδα της βαθμωτής συνάρτησης των δεδομένων f δείχνει την κατεύθυνση της μέγιστης αύξησης της συνάρτησης f . Το μέτρο της οριζόντιας βαθμίδας $|\nabla f|$ δίνει τον ρυθμό αύξησης κατά μήκος της κατεύθυνσης, στην οποία η αύξηση της f είναι μέγιστη. Υπολογίζοντας την οριζόντια βαθμίδα των μετρήσεων είναι δυνατός ο εντοπισμός δομών ενδιαφέροντος, επειδή μεγάλες τιμές της οριζόντιας βαθμίδας σχετίζονται με απότομες αλλαγές στις φυσικές ιδιότητες του υπεδάφους.

3.4.3.2 Απεικόνιση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής χαρτογράφησης

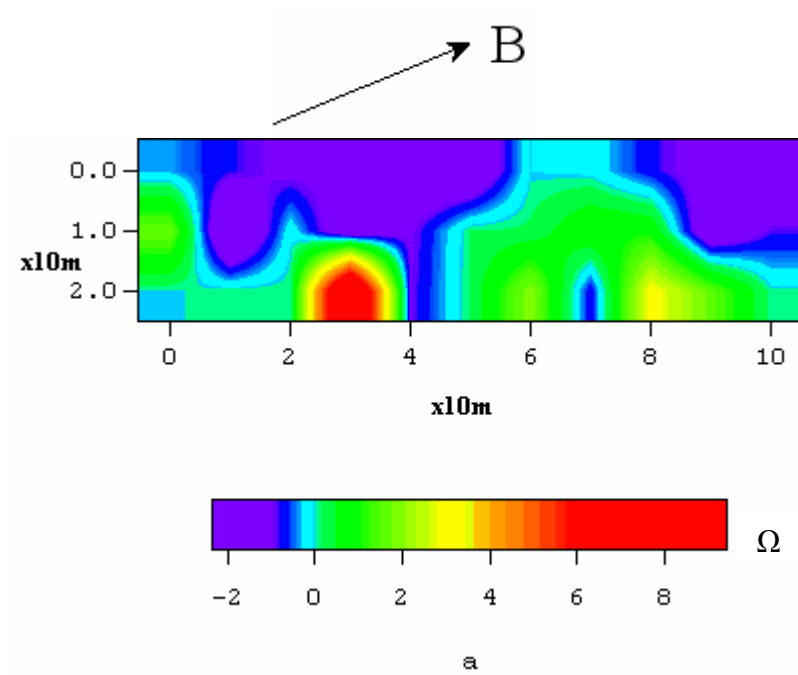
Κάναβος 1



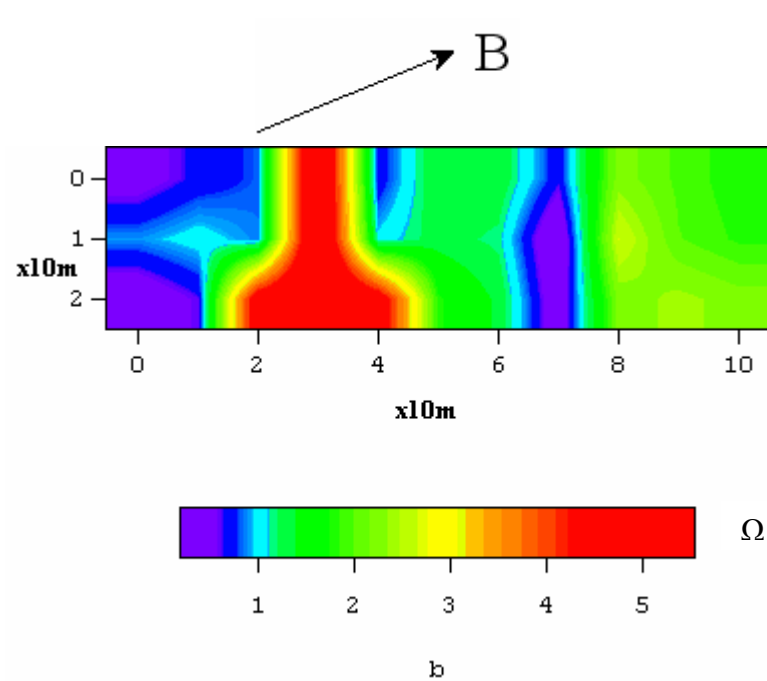
Σχήμα 3.25 Απεικόνιση δεδομένων της ηλεκτρικής χαρτογράφησης για τον Κάναβο 1



Σχήμα 3.26 Εξομάλυνση δεδομένων (smooth data) ηλεκτρικής χαρτογράφησης για τον Κάναβο 1

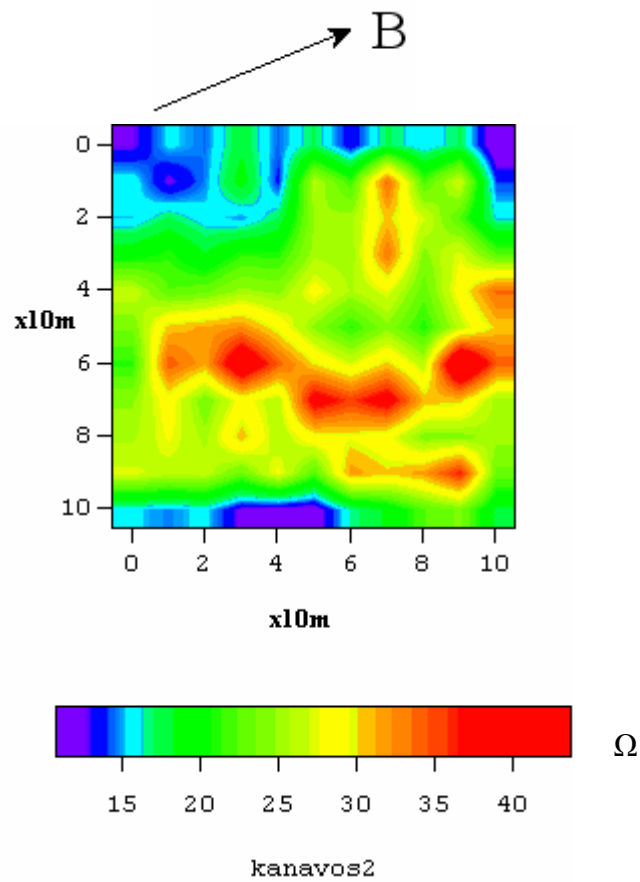


Σχήμα 3.27 Φίλτρο τοπικού πεδίου για τον Κάνναβο1

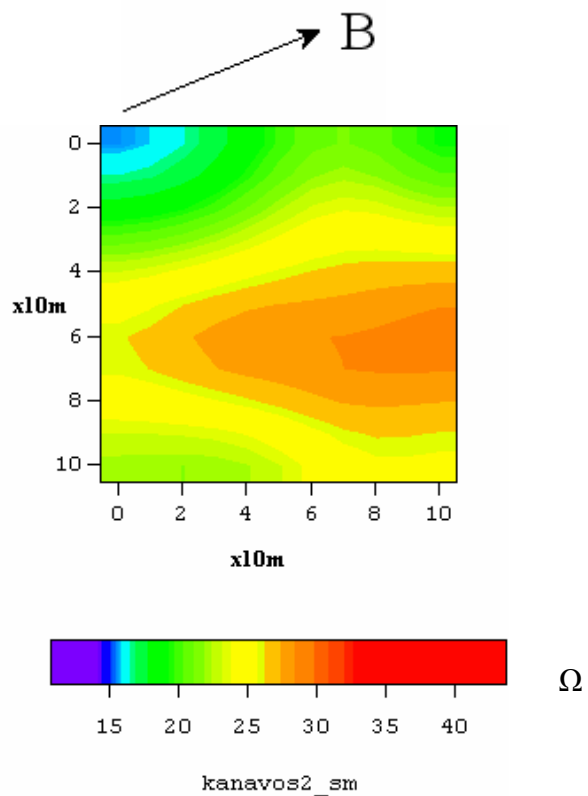


Σχήμα 3.28 Φίλτρο οριζόντιας βαθμίδας για τον Κάνναβο1

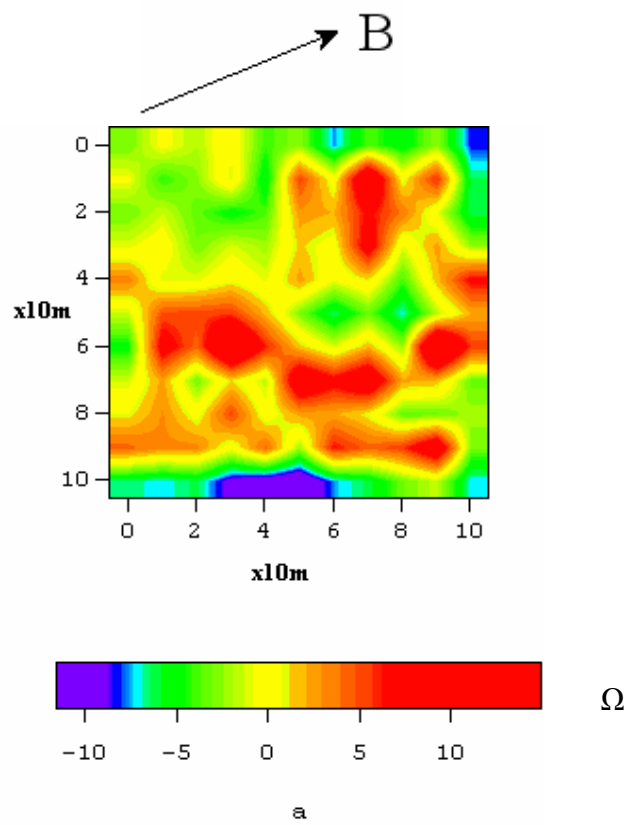
Κάνναβος 2



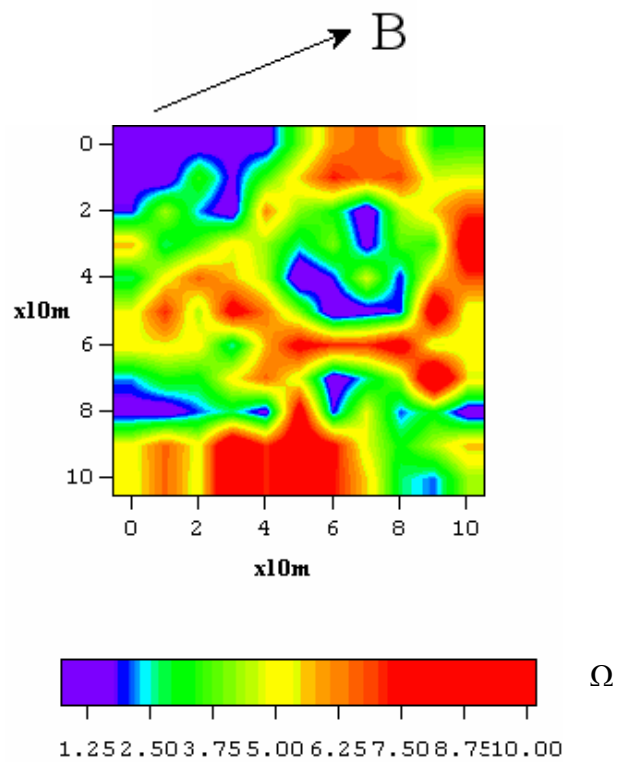
Σχήμα 3.29 Απεικόνιση δεδομένων της ηλεκτρικής χαρτογράφησης για τον Κάνναβο2



Σχήμα 3.30 Εξομάλυνση δεδομένων (smooth data) ηλεκτρικής χαρτογράφησης για τον Κάνναβο 2

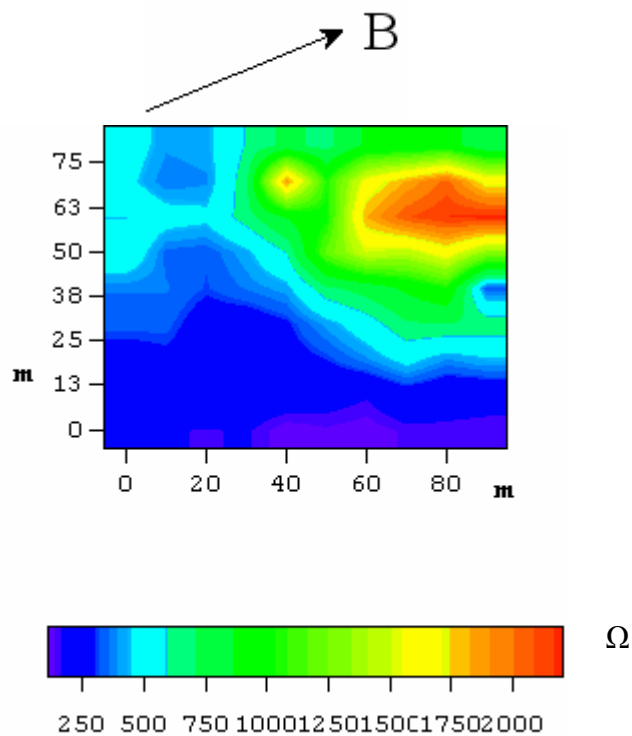


Σχήμα 3.31 Φίλτρο τοπικού πεδίου για τον Κάνναβο2

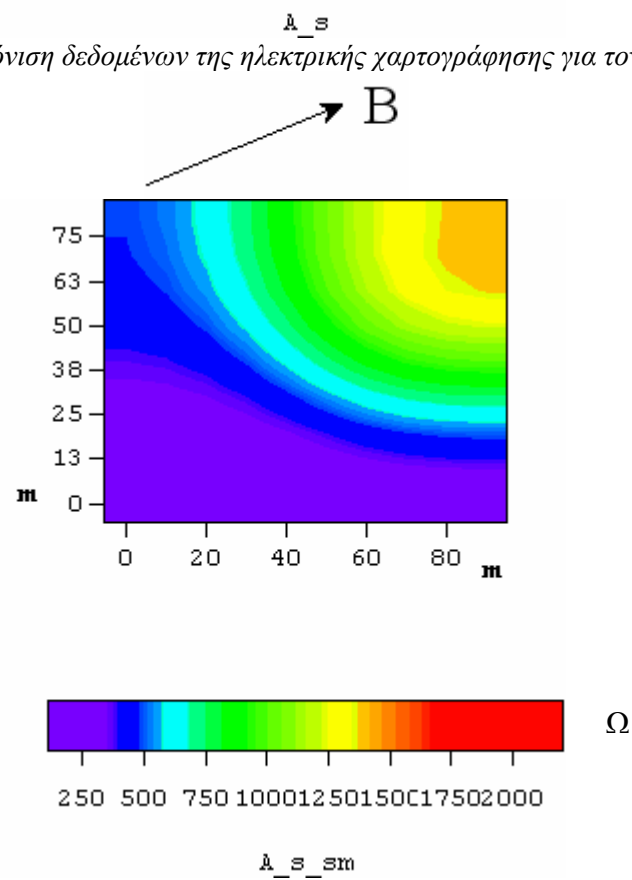


Σχήμα 3.32 Φίλτρο οριζόντιας βαθμίδας για τον Κάνναβο2

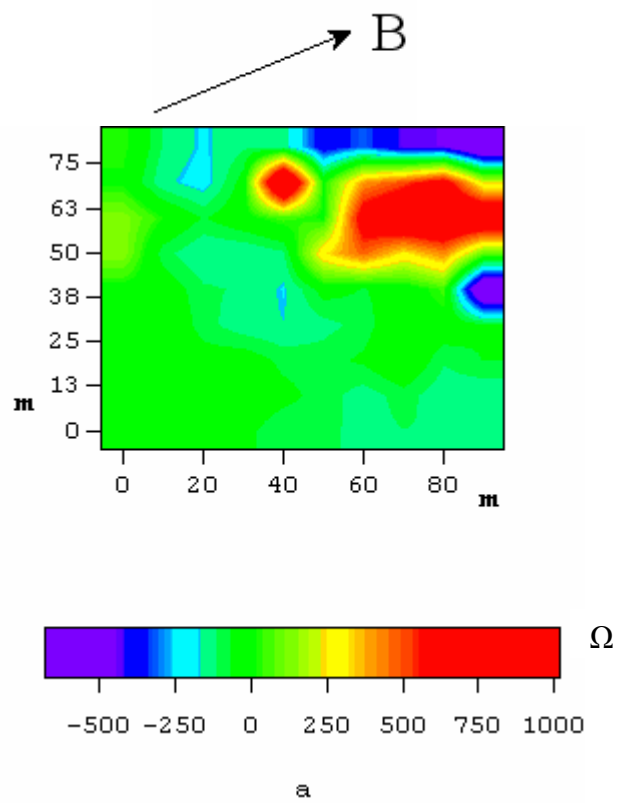
Κάναβος 3



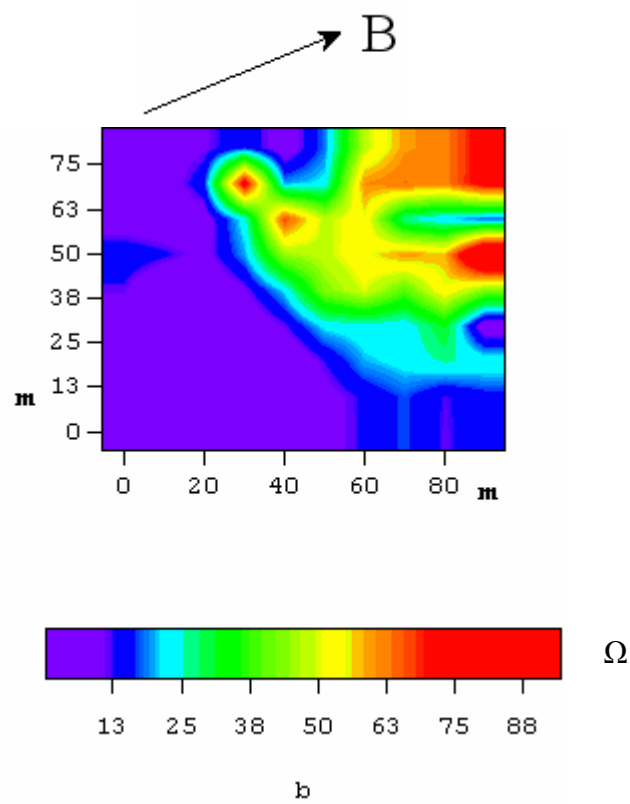
Σχήμα 3.33 Απεικόνιση δεδομένων της ηλεκτρικής χαρτογράφησης για τον Κάναβο 3



Σχήμα 3.34 Εξομάλυνση δεδομένων (smooth data) ηλεκτρικής χαρτογράφησης για τον Κάναβο 3



Σχήμα 3.35 Φίλτρο τοπικού πεδίου για τον Κάνναβο3



Σχήμα 3.36 Φίλτρο οριζόντιας βαθμίδας για τον Κάνναβο3

Από τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων της ηλεκτρικής χαρτογράφησης προκύπτει έντονη πλευρική μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μέχρι το βάθος διασκόπησης των 10 m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δοθεί η εκτενέστερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων, όπως αυτά προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων. Επίσης, με σκοπό τον καλύτερο προσδιορισμό της στρωματογραφίας και τον έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της κάθε μεθόδου, θα γίνει σύγκριση μεταξύ των, όπου βέβαια αυτό είναι δυνατόν. Αυτή η διαδικασία στοχεύει στην εκτίμηση του βάθους του ασβεστολιθικού υπόβαθρου.

4.2 Επιλογή συγκρίσιμων μεθόδων

Έχοντας υπόψη τους χάρτες 3.1 και 3.2, οι οποίοι απεικονίζουν τις θέσεις όπου πραγματοποιήθηκε η γεωφυσική διασκόπηση, προκύπτει πως οι διασκοπήσεις που έλαβαν χώρα σε κοντινές τοποθεσίες, πράγμα που σημαίνει πως μπορούν να συγκριθούν τα εξής:

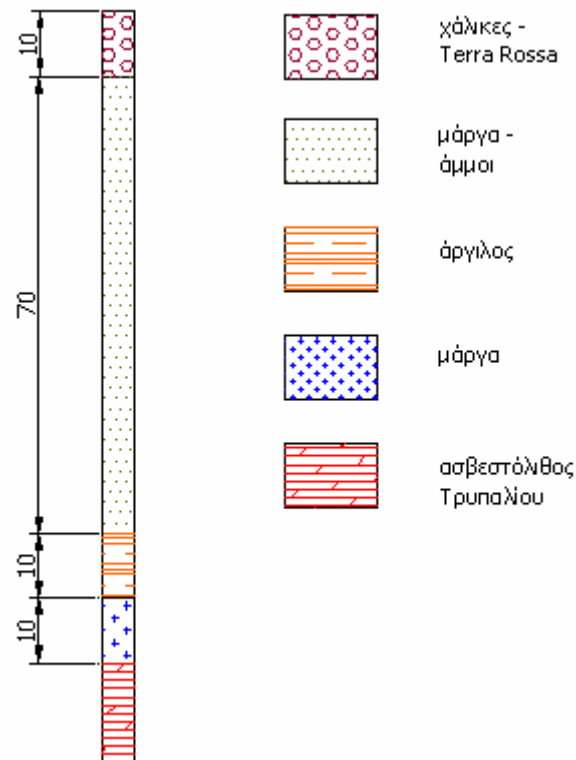
1. Τομογραφία 3^η (T3-T3') – Γεώτρηση 325 & Γεώτρηση 326
2. Τομογραφία 1^η (T1-T1') - Βυθοσκόπηση 4^η (B4)
3. Τομογραφία 2^η (T2-T2') - Βυθοσκόπηση 3^η (B3)
4. Τομογραφία NT2 – Κάνναβος 2
5. Τομογραφία NT1 – Κάνναβος 3
6. Τομογραφία 1^η (T1-T1') – Τομογραφία 2^η (T2-T2'), Τομογραφία 5^η (T5-T5')

4.3 Πραγματοποίηση συγκρίσεων

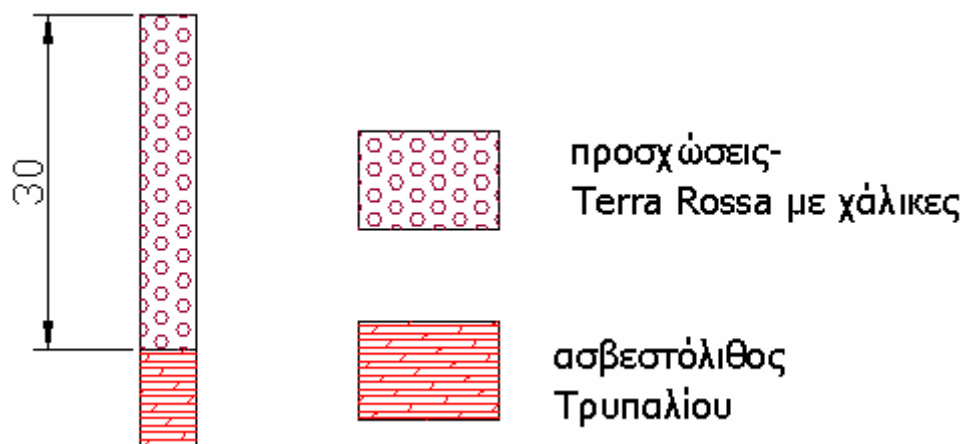
1. Τομογραφία 3^η – Γεωτρήσεις 325 & 326

Αν και οι γεωτρήσεις δεν πραγματοποιήθηκαν επάνω στη γραμμή μελέτης της ηλεκτρικής τομογραφίας, παρ'όλα αυτά, και επειδή η δειγματοληψία έγινε σε κοντινή περιοχή, μπορεί να επιχειρηθεί μία σύγκριση μεταξύ των. Και οι δύο γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τον εντοπισμό του ασβεστολιθικού υπόβαθρου. Η γεώτρηση 325 αποκάλυψε τον ασβεστόλιθο στα 100 m, ενώ η γεώτρηση 326 στα 30 m.

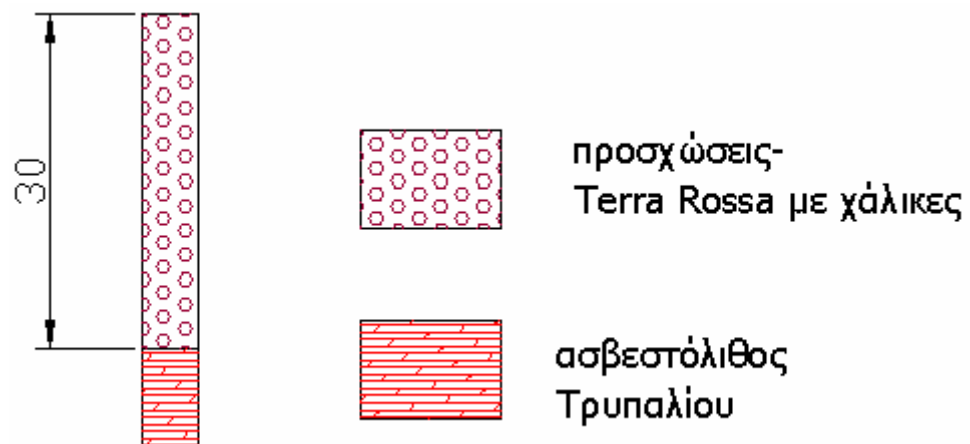
Η διαφορά αυτή οφείλεται στην τοποθεσία των δύο γεωτρήσεων. Στη γεώτρηση 326 στο νότιο όριο της πόλης αναμενόμενο ήταν ο ασβεστόλιθος να εντοπιστεί σε μικρότερο βάθος απ'ότι στην τοποθεσία της γεώτρησης 325.



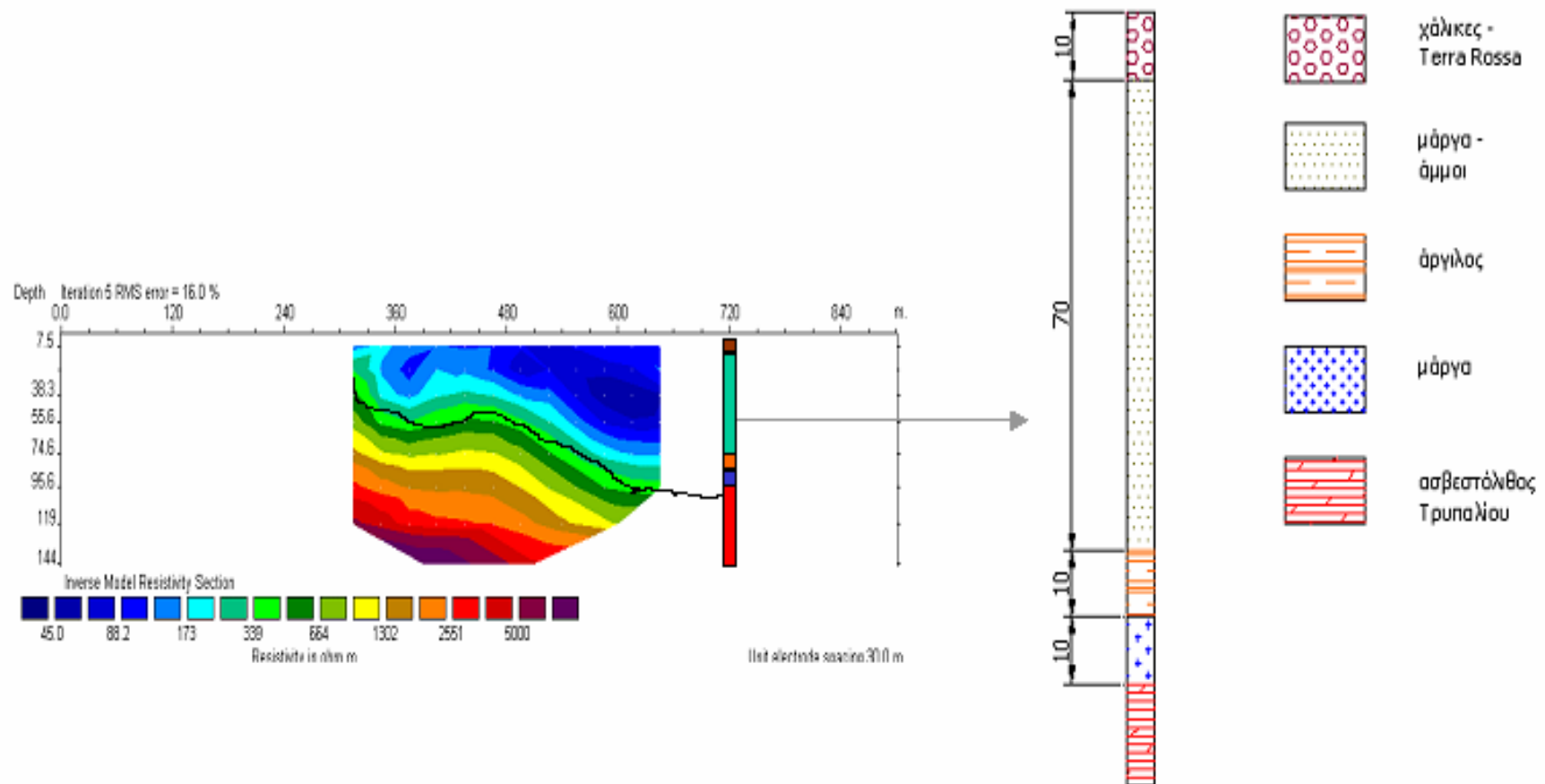
Σχήμα 4.1 Γεώτρηση 325



Σχήμα 4.2 Γεώτρηση 326



Σχήμα 4.3 Γεώτρηση 327



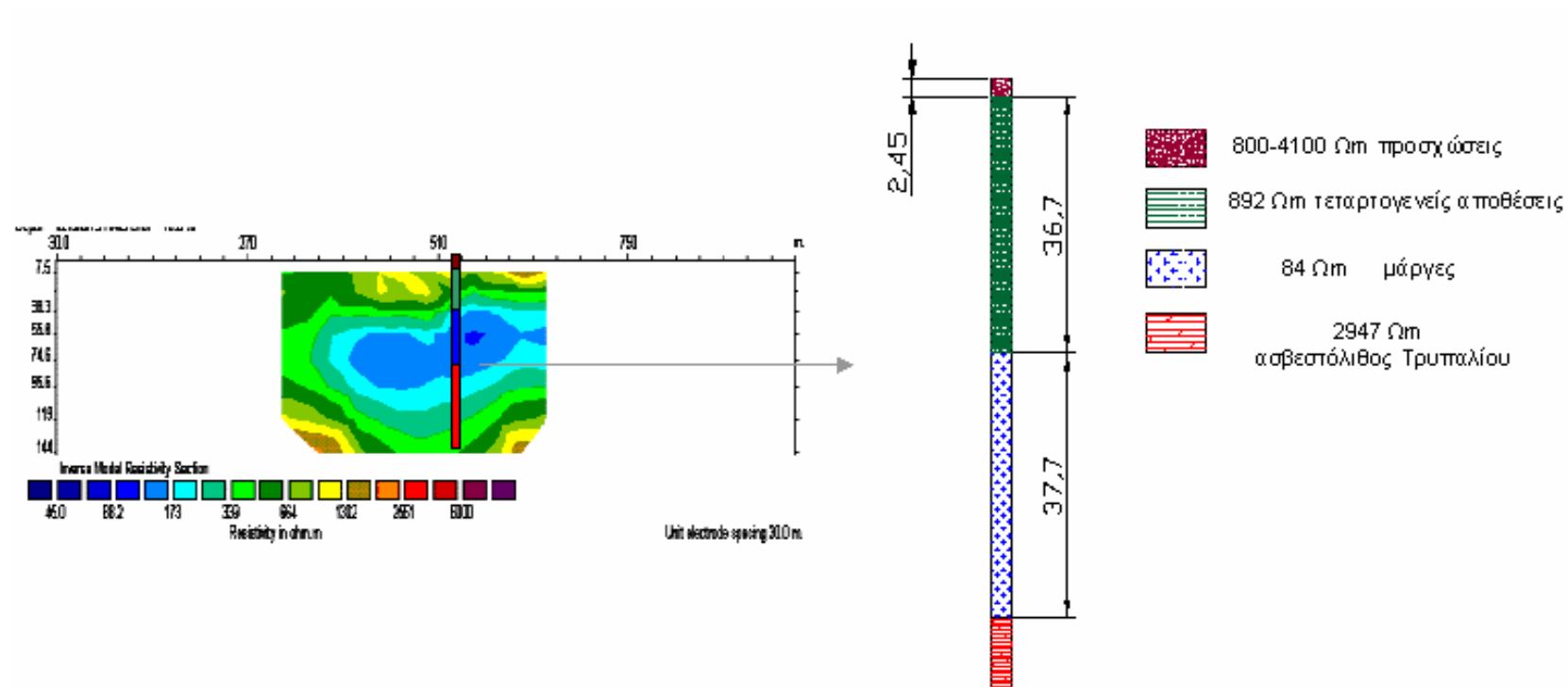
Σχήμα 4.4 Συνδυασμένη απεικόνιση τομογραφίας 3- Γεώτρηση 325

Από τη σύγκριση των γεωτρήσεων και της γεωηλεκτρικής τομής διαπιστώνεται πως ο ασβστόλιθος που εμφανίζεται στα 100 m παρουσιάζει ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερη των 300 Ωm.

2. Τομογραφία 1^η (T1-T1') - Βυθοσκόπηση 4^η (B4)

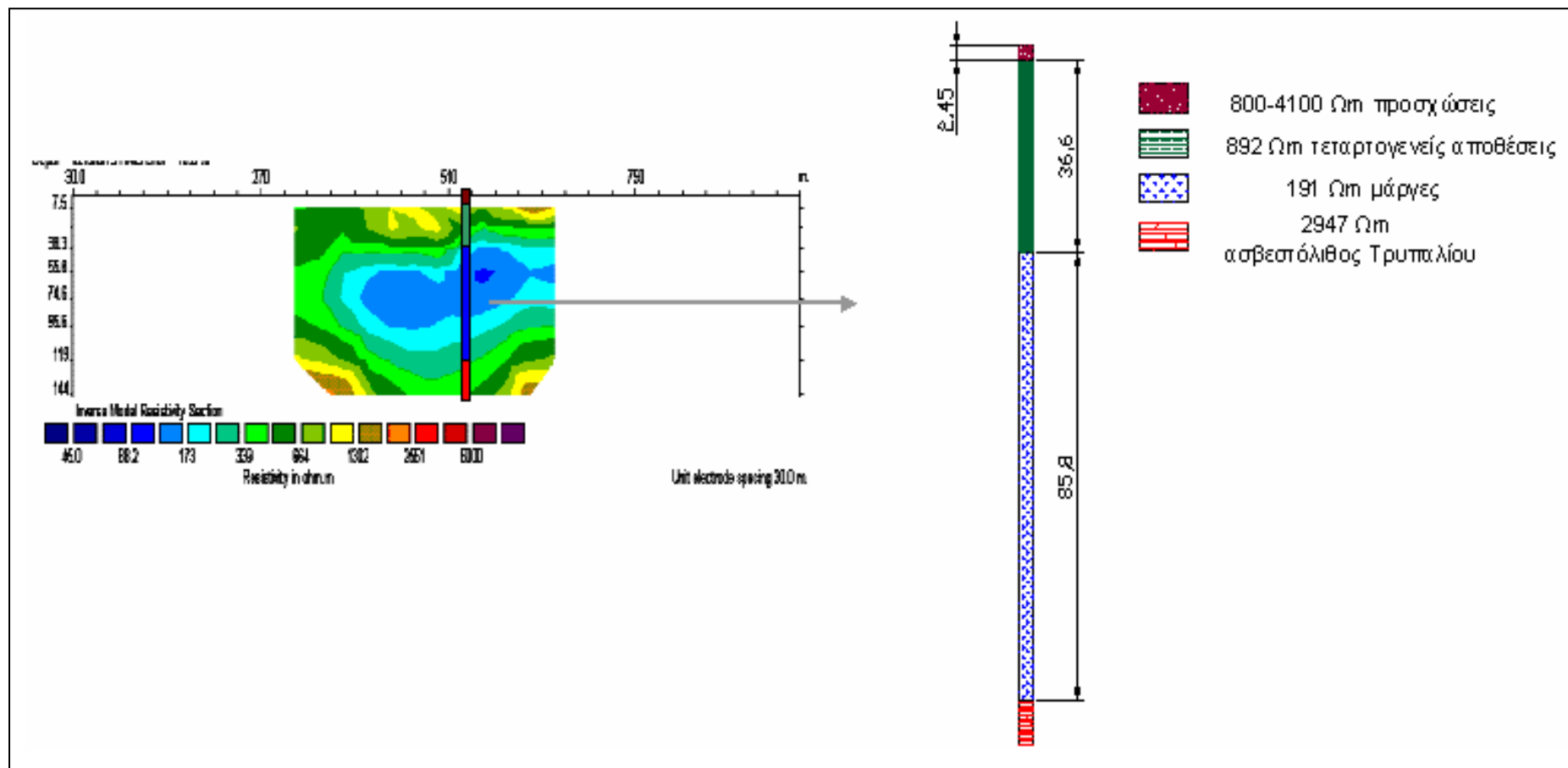
Από την επεξεργασία των δεδομένων της 4^{ης} βυθοσκόπησης προέκυψαν τρία μοντέλα, εκ των οποίων επιλέχθηκε το δεύτερο, λόγω της χαμηλής τιμής του σφάλματος. Η συνδυασμένη απεικόνιση των αποτελεσμάτων του συγκεκριμένου μοντέλου και της γεωηλεκτρικής τομής, δίνεται παρακάτω.

Επειδή τα αποτελέσματα της γεωηλεκτρικής τομής δε συμβαδίζουν με αυτά της βυθοσκόπησης, επιχειρείται σύγκριση της τομής και με το τέταρτο μοντέλο της τέταρτης βυθοσκόπησης.



Σχήμα 4.5 Συνδυασμένη απεικόνιση Τομογραφίας Ι- Βυθοσκοπήσης 4 (μοντέλο 2)

Παρατηρώντας τη συνδυασμένη απεικόνιση της 1^{ης} τομογραφίας και της 4^{ης} βυθοσκόπησης, προκύπτει πως το στρώμα πάχους περίπου 37 m με υψηλή τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστοιχεί σε αλλουβιακές προσχώσεις και τεταρτογενείς αποθέσεις. Βαθύτερα, και μέχρι το βάθος των 125 m, υπάρχει σχηματισμός με χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ο οποίος αντιστοιχεί πιθανόν σε μάργες. Ο βαθύτερος σχηματισμός αντιστοιχεί στο ανθρακικό υπόβαθρο.

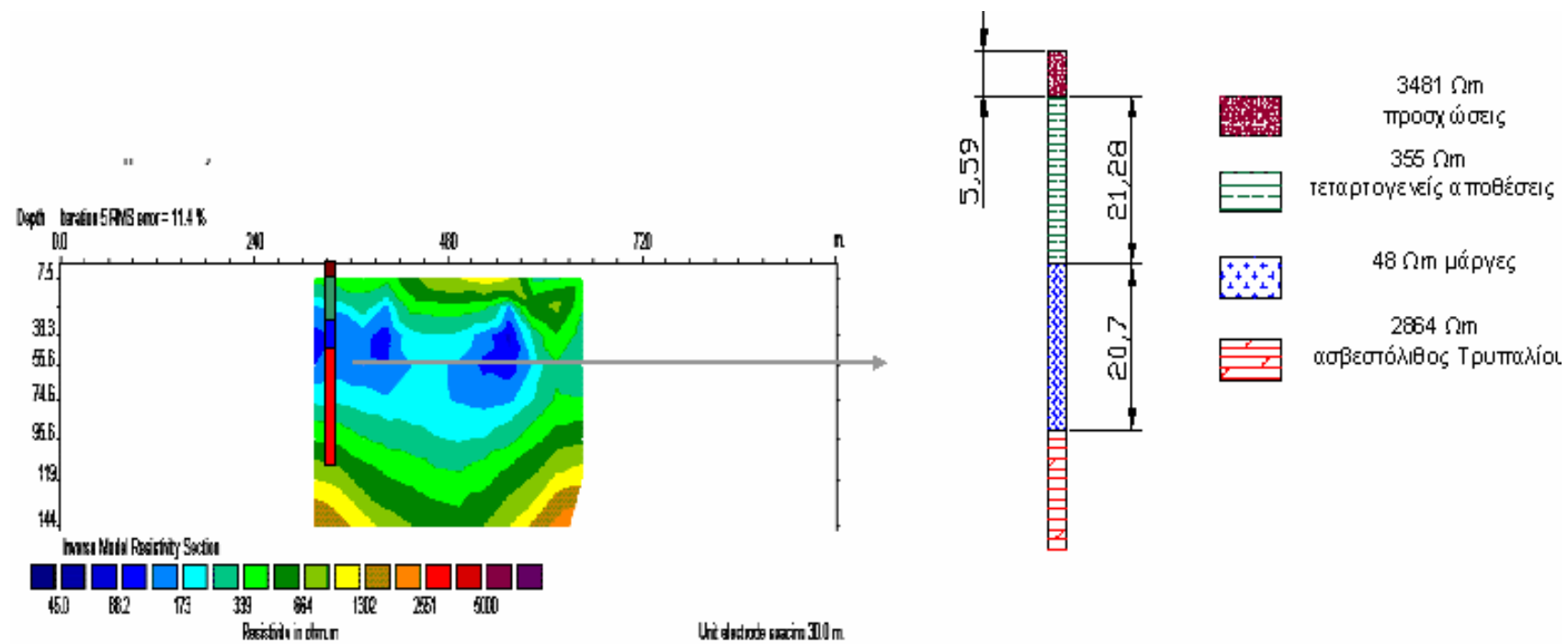


Σχήμα 4.6 Συνδυασμένη απεικόνιση Τομογραφίας I- Βυθοσκόπησης 4 (μοντέλο 4)

3. Τομογραφία 2^η (T2-T2') – Βυθοσκόπηση 3^η (B3)

Αντίστοιχα με την προηγούμενη διαδικασία, από τα μοντέλα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της τρίτης βυθοσκόπησης επιλέχθηκε να συγκριθεί με τη δεύτερη τομογραφία το τρίτο μοντέλο. Παρακάτω παρατίθεται η συνδυασμένη απεικόνιση.

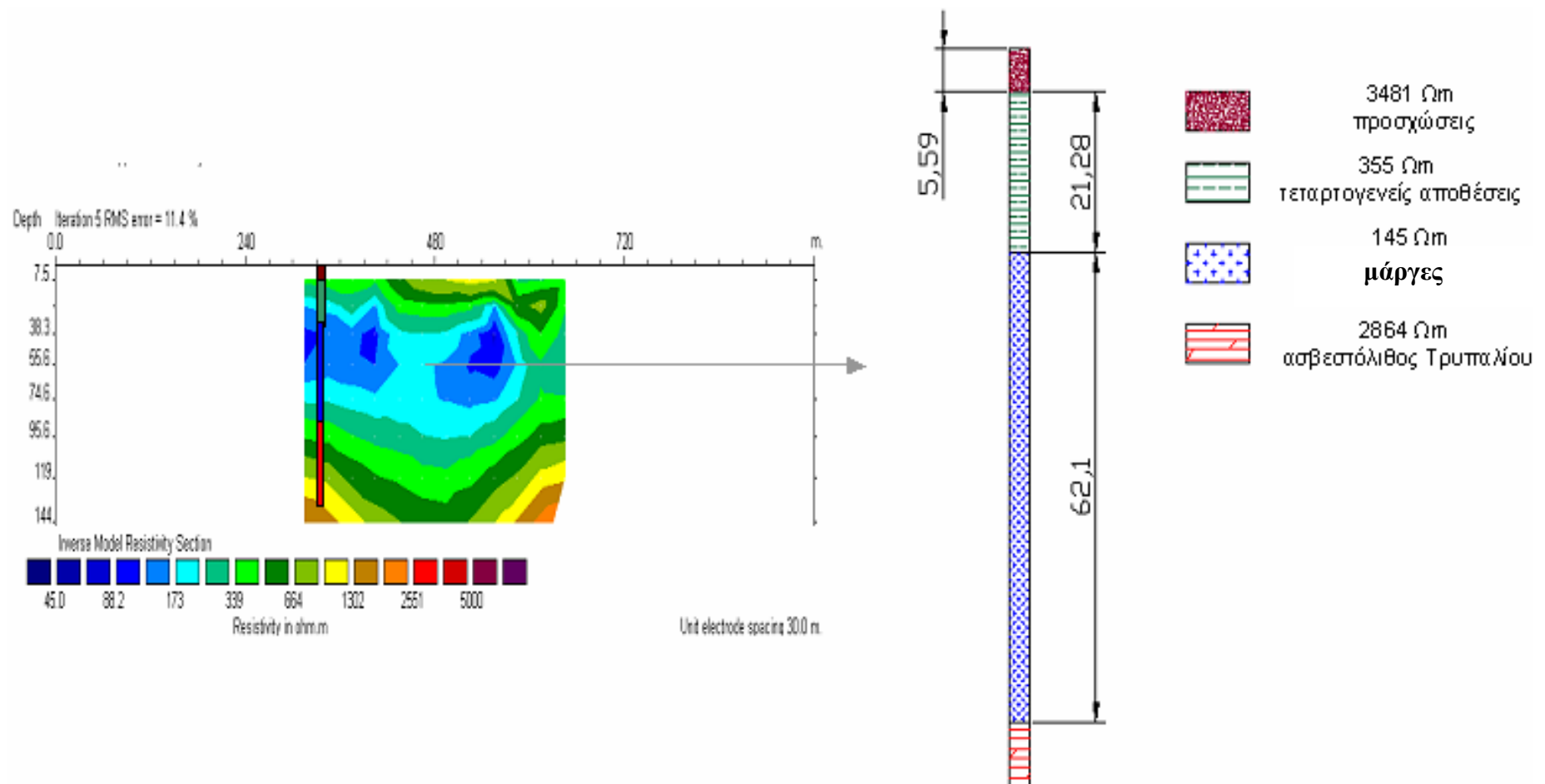
Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα της τομογραφίας δεν συμβαδίζουν με αυτά της βυθοσκόπησης. Παρατηρώντας τις τιμές της βυθοσκόπησης όσον αφορά τις ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις και τα βάθη των σχηματισμών, θεωρείται σκόπιμο να επιλεγεί η δεύτερη πρότυπη καμπύλη που προέκυψε κατά την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης, παρά το γεγονός ότι εμφανίζει μεγάλο σφάλμα, ώστε να συγκριθεί με τα αποτελέσματα της τομογραφίας.



Σχήμα 4.7 Συνδυασμένη απεικόνιση Τομογραφίας 2-Βυθοσκόπησης 3

Παρακάτω (Σχ. 4.8) αποδίδεται η συνδυασμένη απεικόνιση της δεύτερης γραμμής μελέτης της ηλεκτρικής τομογραφίας και του δεύτερου μοντέλου της τρίτης βυθοσκόπησης.

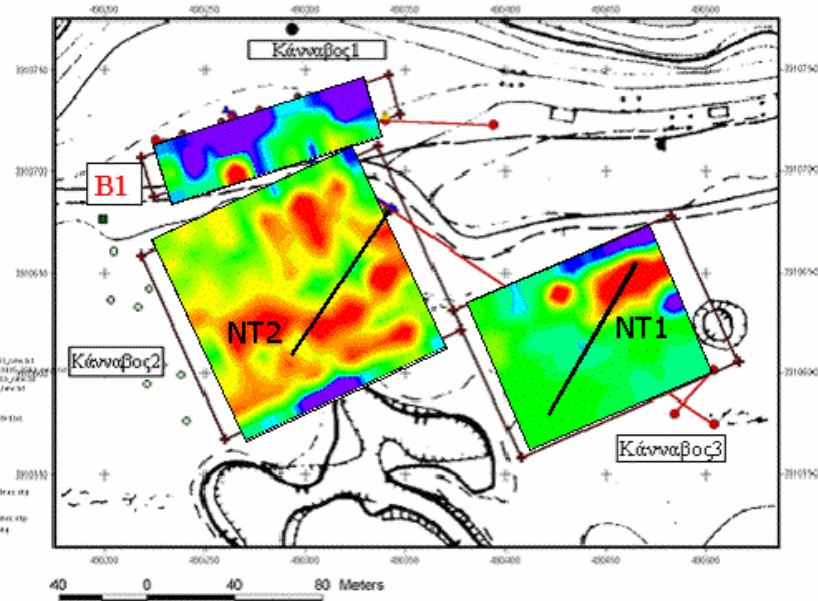
Και σε αυτή την περίπτωση, παρατηρείται ότι στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση B3 το βάθος στο οποίο εμφανίζεται το στρώμα πολύ υψηλών τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, που αντιστοιχεί στο ανθρακικό υπόβαθρο, συμπίπτει με την ισότιμη καμπύλη των 339 Ωm στη γεωηλεκτρική τομή 2. Η παραπάνω καμπύλη σύμφωνα με τη γεώτρηση 325 και τη γεωηλεκτρική τομή 3 υποδεικνύει το ανάγλυφο των ανθρακικών σχηματισμών στην πόλη του Ομαλού, του οποίου το βάθος κυμαίνεται μέχρι τα 100 m στις γεωηλεκτρικές τομές 3 και 2 και τα 120 m στην 1, ενώ στο κέντρο της τομής 5 οι ανθρακικοί σχηματισμοί εμφανίζονται σε βάθος μικρότερο των 40 m.



Σχήμα 4.8 Συνδυασμένη απεικόνιση Τομογραφίας 2-Βυθοσκόπησης 3 (τελικό μοντέλο)

4. Τομογραφία NT2 – Κάνναβος 2

Η πραγματοποίηση της ηλεκτρικής τομογραφίας NT2 μέσα στον κάνναβο 2 ηλεκτρικής χαρτογράφησης, δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.



Σχήμα 4.9 Απεικόνιση αποτελεσμάτων ηλεκτρικής χαρτογράφησης (φίλτρατοπικού πεδίου) στο χάρτη διασκοπήσεων

Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87: Δυτικά Ανατολικά 490200-490500

Νότος Βορράς 3910550-3910750

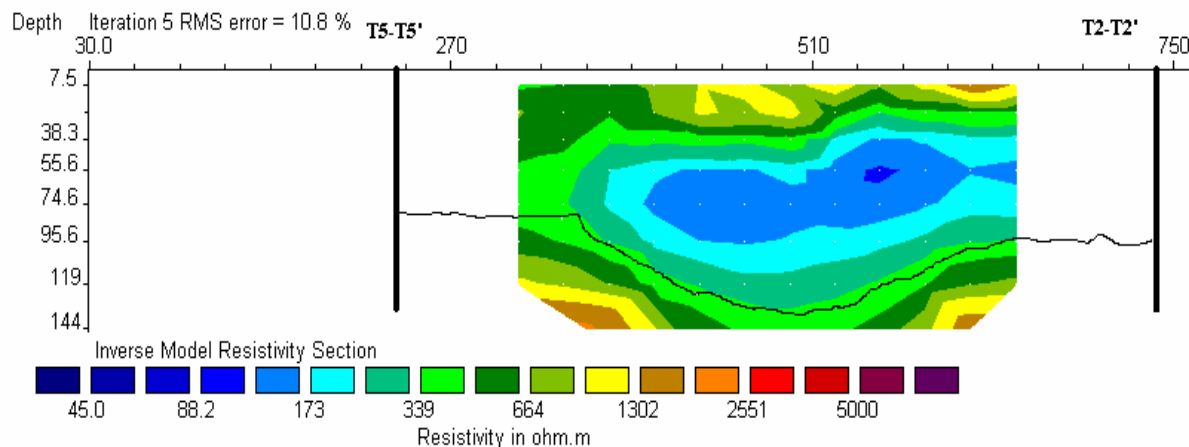
Η τομογραφία NT2 είχε αποκαλύψει σχηματισμούς με υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε μικρά βάθη. Στο συγκεκριμένο κάνναβο παρατηρείται μία μεγάλη περιοχή που χαρακτηρίζεται από θερμά χρώματα (υψηλές αντιστάσεις). Πρέπει επίσης να ληφθεί υπ' όψιν ότι η χαρτογράφηση χαρακτηρίζει σχηματισμούς σε βάθος μέχρι 10 m, όπου στη συγκεκριμένη περιοχή εμφανίζεται το βραχώδες υπόβαθρο σε μικρά βάθη. Η πλευρική μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο ενδιαμέσο στρώμα με μικρότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, πιθανόν να οφείλεται σε καρστικές δομές.

5. Τομογραφία NT1 – Κάνναβος 3

Με τη λογική που αναπτύχθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, προκύπτει πως και στην περιοχή του κάνναβου 3 ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται σε μικρό βάθος. Επιπρόσθετα, στη γεωηλεκτρική τομή NT1 εμφανίζεται και το στρώμα υψηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε βάθος περίπου 7.5-12 m, το οποίο αποδίδεται σε συμπυκνική ανθρακική σχηματισμό ή σε έγκοιλα μη πληρωμένα από κλαστικό υλικό, τα οποία αφήνουν το ίχνος τους και στο χάρτη της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης προς βορειο-ανατολικά.

6. Τομογραφία 1^η (T1-T1') – Τομογραφία 2^η (T2-T2') - Τομογραφία 5^η (T5-T5')

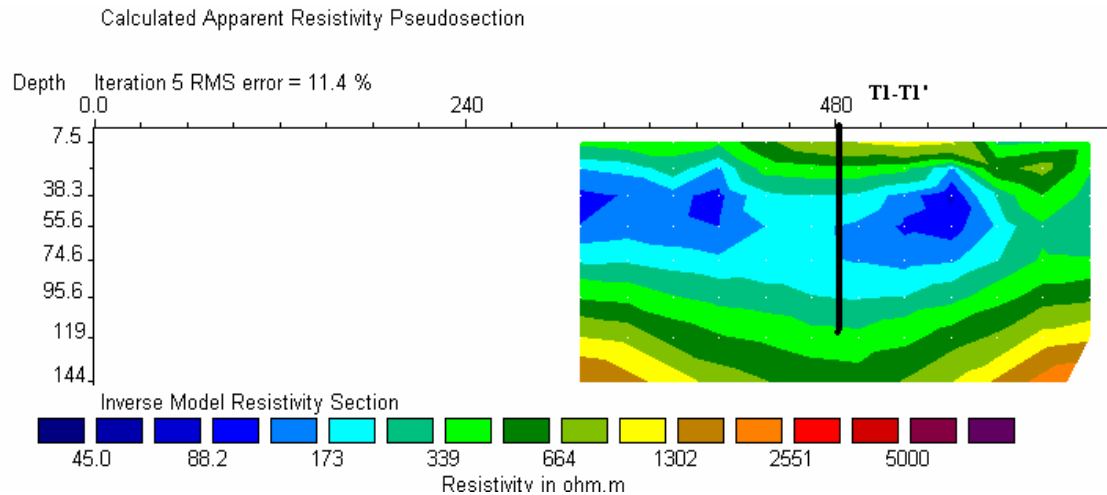
Παρακάτω δίνεται η συνδυασμένη απεικόνιση των γεωηλεκτρικών τομών 1, 2 και 5.



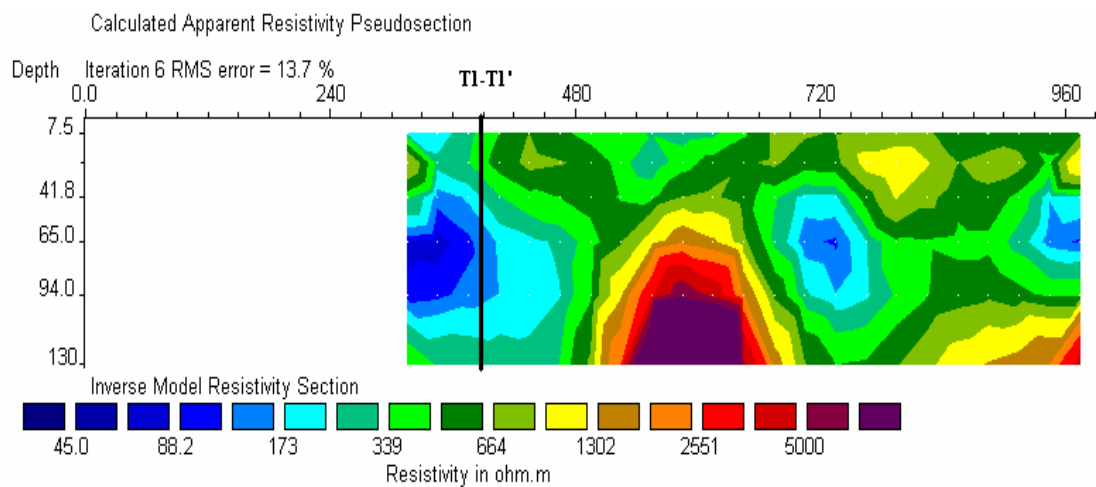
Σχήμα 4.10 Συνδυασμένη απεικόνιση γεωηλεκτρικής τομής 1 και σημείων τομής με τις γραμμές μελέτης T5-T5' και T2-T2'

Η γραμμή μελέτης T5-T5' συναντάει τη γεωηλεκτρική τομή 1 στα 233 m, ενώ η γραμμή μελέτης T2-T2' στα 738 m. Η ισότιμη καμπύλη των 339 Ωm της γεωηλεκτρικής τομής 1 αντιστοιχεί σε βάθος 85m για τη γραμμή 5 και 100m για τη γραμμή 2. Τα σημεία τομής των γραμμών μελέτης είναι στα 385 m για την τομή 5 και στα 485 m για την τομή 2. Παρατηρείται συμφωνία στο σημείο τομής των γραμμών μελέτης 1 και 2, αφού και στη γεωηλεκτρική τομή 2 το ανθρακικό υπόβαθρο εμφανίζεται σε

βάθος 100 m (ισότιμη των 339 Ωm σε αυτή τη θέση). Αυτό όμως δε συμβαίνει και για τη γεωηλεκτρική τομή 5. Το γεγονός αυτό κυρίως οφείλεται στο έντονο ανάγλυφο του ανθρακικού υπόβαθρου κατά μήκος της γραμμής μελέτης 5 (έντονη πλευρική μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης).



Σχήμα 4.11 Συνδυασμένη απεικόνιση γεωηλεκτρικής τομής 2 και σημείου τομής με τη γραμμή μελέτης T1-T1'



Σχήμα 4.12 Συνδυασμένη απεικόνιση γεωηλεκτρικής τομής 5 και σημείου τομής με τη γραμμή μελέτης T1-T1'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τη συνδυασμένη ερμηνεία των μετρήσεων της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Οι μέθοδοι της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδείχθηκαν επαρκείς για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας
2. Προσδιορίστηκε το πάχος των τεταρτογενών σχηματισμών που υπέρκεινται του ανθρακικού υπόβαθρου. Οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί εμφανίζουν μέγιστο πάχος τα 120 m στην πόλη του Ομαλού Χανίων.
3. Το ανάγλυφο του ανθρακικού υπόβαθρου είναι έντονο στο δυτικό όριο της πόλης
4. Εντοπίστηκε πιθανό καρστικό έγκοιλο στο βόρειο τμήμα της πόλης

Προκειμένου να χαρτογραφηθεί λεπτομερώς η οροφή του ανθρακικού υποβάθρου, αλλά και να γίνει πλήρως κατανοητή η δράση των υπόγειων υδάτων, προτείνεται επιπρόσθετη διασκόπηση στην περιοχή με πυκνότερες γραμμές μελέτης, ώστε με τη χρήση των αποτελεσμάτων τους να είναι δυνατή η τρισδιάστατη απεικόνιση της οροφής του υποβάθρου, κάτι που δεν είναι δυνατό με τις ήδη υπάρχουσες μετρήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. **Βαφείδης, Α., (2001),** “Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ”, Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
2. **Γκανιάτσος, Ι., (1995),** “Γεωηλεκτρική τομογραφία με τη διάταξη Wenner”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
3. **Μανούτσογλου, Ε., Σπυρίδωνος, Ε., Soujon, A. & Jacobshagen, V., (2001),** “Αναθεώρηση του γεωλογικού χάρτη και τρισδιάστατη προσομοίωση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής του παραγγιού της Σαμαριάς”, Δελτ.Ελλ.Γεωλ.Εταιρ. 34/1:29-36, Αθήνα
4. **Μουντράκης, Δ., (1985),** “Γεωλογία της Ελλάδας”, Εκδόσεις “University Studio Press”, Θεσσαλονίκη
5. **Παπαζάχος, Β., (1986),** “Εισαγωγή Στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική”, Εκδόσεις “Ζήτη”, Θεσσαλονίκη.
6. **Σούρλας, Γ., (2000),** “Συμβολή Της Γεωφυσικής Διασκόπησης Στην Αναζήτηση Θαμμένων Αρχαιοτήτων Στην Ίτανο, Λασιθίου.”, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
7. **Hamdan, H., (2002),** “Γεωηλεκτρική διασκόπηση στη λεκάνη του ποταμού Κερίτη του νομού Χανίων”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Διεθνής Βιβλιογραφία

8. **Dobrin, M., (1976),** “Introduction to geophysical prospecting”, McGraw Hill Book Comp.Inc., New York, USA.
9. **Reynolds, M. J., (1997),** “An Introduction To Applied And Environmental Geophysics”, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, ISBN 0-471-95555-8.
10. **Robinson, E. S. & Coruh, C., (1988),** “Basic Exploration Geophysics”, New York: Johny Wily.