<u>ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ</u>

ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ: ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

<u>ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ</u>

«ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗΝ ΙΟΝΙΑ ΟΔΟ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ»

Εξεταστική Επιτροπή:

Αντώνιος Βαφείδης, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Μανούτσογλου Μανόλης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Στειακάκης Εμμανουήλ, Λέκτορας

ΚΟΥΛΟΥΜΑ ΝΕΔΗ

2001020076

ΧΑΝΙΑ

(2010)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ :

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας, είναι να παρουσιαστούν και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της έρευνας, η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μελέτης για τον χαρακτηρισμό των γεωλογικών σχηματισμών στα στόμια μελλοντικών σηράγγων κατά μήκος της Ιόνιας Οδού.

Η απεικόνιση των σχηματισμών αυτών, συντελεί στην αναγνώριση δομών που σχετίζονται με πιθανά ρήγματα, στην χαρτογράφηση της στρωματογραφίας και γενικότερα συγκεκριμένων περιοχών που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής, σχετικά με τα στόμια των εν λόγω σηράγγων. Με τις γεωφυσικές μεθόδους δίνονται πληροφορίες για την σε βάθος ανάπτυξη των γεωλογικών σχηματισμών ανάμεσα στις υφιστάμενες γεωτρήσεις.

Η γεωφυσική μέθοδος που επιλέχτηκε είναι η ηλεκτρική τομογραφία, ενώ οι προς μελέτη περιοχές όπου πραγματοποιήθηκε η διασκόπηση είναι στη θέση «Μακύνεια» με δύο γραμμές μελέτης, συνολικού μήκους 520 μέτρων, στη θέση «Καλυδώνα» με δύο γραμμές μελέτης, συνολικού μήκους 520 μέτρων και στη θέση «Αμπελιά» με δύο γραμμές μελέτης μήκους 130 m.

Ταυτόχρονα, έγινε χρήση κατά την επεξεργασία τριών διαφορετικών μεθόδων αναστροφής, κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης (Smoothness constrain inversion), με συνδυασμό αναστροφής (Combined inversion method) και με τη χρήση της νόρμας L1 (Robust). Σκοπός ήταν η σύγκριση τους και η εύρεση της καταλληλότερης ερμηνείας των προς μελέτη περιοχών.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις προαναφερθίσες περιοχές είναι:
Στη περιοχή «Μακύνεια» η γραμμή μελέτης Μ1 διασχίζει μέρος της σήραγγας ενώ οι γεωλογικοί σχηματισμοί σύμφωνα με τις γεωτρήσεις είναι εναλλαγές ιλυόλιθων και ψαμμιτών. Στη γραμμή μελέτης Μ2 η οποία είναι κάθετη με τη γραμμή μελέτης Μ 1 παρατηρείται μετάβαση υψηλών τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που αποδίδεται κατά αντιστοιχία σε μετάβαση ψαμμιτών σε ιλυόλιθους. Στη περιοχή «Καλυδώνα» η γραμμή μελέτης Κ1 διασχίζει τμήμα της σήραγγας. Σε αυτή τη γεωηλεκτρική τομή κυριαρχεί ο σχηματισμός των ψαμμιτών με κάποιες παρεμβολές ιλυολίθων. Επίσης στη γραμμή μελέτης Κ2 και στη θέση όπου υπάρχει η γεώτρηση Γ10 οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδονται σε ιλυόλιθους με λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη, και οι σχετικά υψηλότερες τιμές αποδίδονται σε ψαμμίτη. Στη περιοχή «Αμπελιά», το επιφανειακό στρώμα με χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδεται σε αργίλους με χαλίκια, το ενδιάμεσο στρώμα με ενδιάμεσες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδεται σε ασβεστολιθικές λατύπες, ενώ το στρώμα με τις υψηλότερες τιμές σε ασβεστόλιθους.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή και επιβλέπων καθηγητή μου κ. Αντώνη Βαφείδη, για την υποστήριξη και βοήθεια του και τον κ. Hamdan Hamdan διδάκτορα του Πολυτεχνείου Κρήτης για τις συμβουλές του και τη καλή συνεργασία. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία ΙΣΤΡΙΑ Ε.Π.Ε (εταιρία μελετών) για την παραχώρηση των δεδομένων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ :

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή

Με τον όρο Γεωφυσική Διασκόπηση εννοείται η μελέτη της δομής των απρόσιτων στην άμεση παρατήρηση στρωμάτων του γήινου φλοιού, με βάση τις μετρήσεις γεωφυσικών μεγεθών και με εφαρμογή των νόμων της Φυσικής. Έχει δηλαδή στόχο της, τον εντοπισμό των περιοχών αυτών που έχουν μεγαλύτερη οικονομική σημασία. Μία από τις σημαντικότερες μεθόδους της γεωφυσικής διασκόπησης είναι αυτή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Στη διπλωματική εργασία αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας (με την ηλεκτρική τομογραφία), η οποία πραγματοποιήθηκε για τον χαρακτηρισμό των γεωλογικών σχηματισμών στις περιοχές: «Αμπελιά», «Καλυδώνα» και «Μακύνεια». Ταυτόχρονα έγινε χρήση δύο διαφορετικών μεθόδων αντιστροφής, με σκοπό τη σύγκριση τους και την εύρεση της καταλληλότερης για την ερμηνεία της προς μελέτης περιοχής.

1.1.2 Γεωφυσικές μέθοδοι.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι είναι χρήσιμες, αξιόπιστες και αποτελεσματικές γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο αριθμό προβλημάτων όπως για τον εντοπισμό δομών, που ευνοούν τον σχηματισμό κοιτασμάτων πετρελαίου, φυσικού αερίου και μεταλλευμάτων. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους, για τον εντοπισμό υδροφόρων οριζόντων, γεωθερμικών πεδίων κ.ά. Επίσης, είναι οικονομικές, σχετικά γρήγορες και μη καταστροφικές.

<u>Οι γεωφυσικές μέθοδοι κατηγοριοποιούνται ως εξής:</u>

<u>Βαρυτικές Μέθοδοι</u>: Άμεσος σκοπός τους είναι ο καθορισμός των οριζόντιων μεταβολών της πυκνότητας των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης. Αυτό πραγματοποιείται με τη μέτρηση των μεταβολών της έντασης του πεδίου βαρύτητας και των χωρικών παραγώγων αυτής.

<u>Μαγνητικές Μέθοδοι</u>: Βασίζονται στον εντοπισμό των μεταβολών της μαγνήτισης των πετρωμάτων μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης.

<u>Ηλεκτρικές Μέθοδοι</u>: Επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέτρηση της ηλεκτρικής τάσης στην επιφάνεια της γης.

<u>Ηλεκτρομαγνητικές Μέθοδοι</u>: Βασίζονται στον καθορισμό της ηλεκτρικής δομής (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης, μετρώντας τις ιδιότητες του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που παράγεται μέσα στα στρώματα αυτά.

<u>Σεισμικές Μέθοδοι</u>: Με τις σεισμικές διασκοπήσεις επιδιώκεται ο καθορισμός των μεταβολών της ταχύτητας διάδοσης των ελαστικών (σεισμικών) κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης. Αυτό επιτυγχάνεται με μετρήσεις των χρόνων διαδρομής τους μέσα στα στρώματα αυτά.

Εκτός από τις προαναφερθείσες μεθόδους, εφαρμόζονται κι άλλες όπως είναι : η θερμική μέθοδος και η ραδιομετρική μέθοδος. Όμως, ενώ οι αρχές στις οποίες στηρίζονται είναι απλές, εμφανίζουν δυσκολίες στην εφαρμογή τους λόγω του ότι η δομή της γης είναι πολύπλοκη.

Πρόσφατες αναφορές έδειξαν ότι ο συνδυασμός γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα για τη γεωλογική δομή του υπεδάφους, τη στρωματογραφία και τον εντοπισμό πιθανών ανωμαλιών στα πετρώματα.

Ακολουθούν αναφορές σε Ελλάδα και Κύπρο, στις οποίες γίνεται ο συνδυασμός γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων.

Οι Hamdan και άλλοι (2002), αναζήτησαν τους υδροφόρους σχηματισμούς με τη χρήση ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων και δημιούργησαν ένα τρισδιάστατο ομοίωμα – μοντέλο των γεωλογικών σχηματισμών και ιδιαίτερα αυτών που παρουσίαζαν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον για την περιοχή αυτή. Ο εντοπισμός – διαχωρισμός των γεωλογικών σχηματισμών έγινε με γεωηλεκτρική διασκόπηση. Το πάχος των επάλληλων γεωλογικών σχηματισμών όπως αυτά προέκυψαν από την επεξεργασία των γεωηλεκτρικών δεδομένων, στις διάφορες θέσεις των βυθοσκοπήσεων, εισάγεται σε λογισμικό πακέτο που χρησιμοποιεί μεθόδους παρεμβολής για τη δημιουργία τομών και τρισδιάστατων ομοιωμάτων της προσεγγιστικής γεωλογικής δομής της προς μελέτη περιοχής.

Οι Βαφείδης και άλλοι (2004), συνδύασαν γεωφυσικές μεθόδους για τη διερεύνηση της γεωλογικής δομής στο οροπέδιο του Ομαλού και κατέληξαν στο ότι η ηλεκτρική τομογραφία είναι η πλέον κατάλληλη για τον εντοπισμό των διαφόρων στρωμάτων του υπεδάφους και την απεικόνιση των ζητούμενων καρστικών μορφών. Η γεωφυσική διασκόπηση αποσκοπούσε στον υπολογισμό του πάχους του εδαφικού καλύμματος και του συνόλου των κλαστικών σχηματισμών καθώς και στην απεικόνιση των δολίνων και καρστικών εγκοίλων τμήματος του οροπεδίου. Η μελέτη απέδειξε ότι η συνδυασμένη εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων, με τη συμβολή πάντα της γεωλογίας, είναι σε θέση να εξάγει ορθά συμπεράσματα σχετικά με τις γεωλογικές μορφές στη περιοχή του Ομαλού και την ανάδειξη επιμέρους ανωμαλιών και περιοχών ενδιαφέροντος.

Σε μια άλλη μελέτη οι Βαφείδης και άλλοι (2004), είχαν ως στόχο τον προσδιορισμό με γεωφυσικές μεθόδους του πάχους των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών πάνω στους οποίους θα εδραστεί η λιμνοδεξαμενή, καθώς και την υπόδειξη θέσεων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Τα αποτελέσματα, τόσο της σεισμικής διάθλασης όσο και της ηλεκτρικής τομογραφίας, συμφωνούν και επιβεβαιώνονται από τα γεωτρητικά στοιχεία.

Οι Χορευτάκη Γ. και άλλοι (2004), περιγράφουν γεωφυσική έρευνα στο λατομείο ασβεστόλιθων στη περιοχή Ζωφόροι του Ν. Ηρακλείου, προκειμένου να ανιχνευθούν έγκοιλα με τις μεθόδους της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ. Έδειξαν ότι υπάρχουν τρία έγκοιλα πληρωμένα με εδαφικό υλικό. Η μελέτη απέδειξε ότι με συνδυασμό γεωφυσικών μεθόδων σε λατομείο, μπορεί να διευκολυνθεί η διαδικασία της εξόρυξης με τη χρήση κατάλληλων ποσοτήτων εκρηκτικών, για καλύτερη αποληψιμότητα του πετρώματος.

Ο Ελευθεριάδης (2005), σε γεωφυσική διασκόπηση για τον εντοπισμό εγκοίλων στη περιοχή του Μαύρου Βράχου, είχε στόχο τη διάκριση των πετρωμάτων αυτών των οποίων παρατηρείται αλληλοκάλυψη των αντιστάσεων.

Η ερευνητική ομάδα των Τσόκα και άλλοι (2005), πραγματοποίησε γεωηλεκτρικές τομογραφίες με τις διατάξεις διπόλου – διπόλου και Wenner – Schlumberger. Στόχος ήταν η διασκόπηση του Νοτίου τείχους της Ακρόπολης για τον εντοπισμό των γραμμών απορροής των όμβριων υδάτων, η σχέση τους με το τείχος και το τμήμα το τείχους που επηρεάζεται από τη φυσική αυτή διεργασία. Τα αποτελέσματα της διασκόπησης υπέδειξαν τα τμήματα εκείνα του τείχους που περιέχουν υψηλό ποσοστό υγρασίας και που απειλούνται περισσότερο επειδή τα ύδατα απορρέουν μέσω αυτών.

Οι Σούπιος και άλλοι (2006)[1], πραγματοποίησαν γεωφυσικές διασκοπήσεις εντός αστικού συγκροτήματος στη πόλη των Χανίων. (Κ.Τ.Ε.Λ Χανιών). Σκοπός ήταν η διερεύνηση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους και εντοπισμός δομών που μπορεί να αποτελέσουν μελλοντική κατασκευή εγκαταστάσεων.

Το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου (2003)[2], πραγματοποίησε γεωφυσικές διασκοπήσεις στη περιοχή Γιαλιά για τον υπολογισμό του όγκου αμμοχάλικων καθώς επίσης και στην περιοχή της Αγ. Βαρβάρας Πάφου για υποβοήθηση της διεκπεραίωσης γεώτρησης που είχε ήδη αρχίσει.

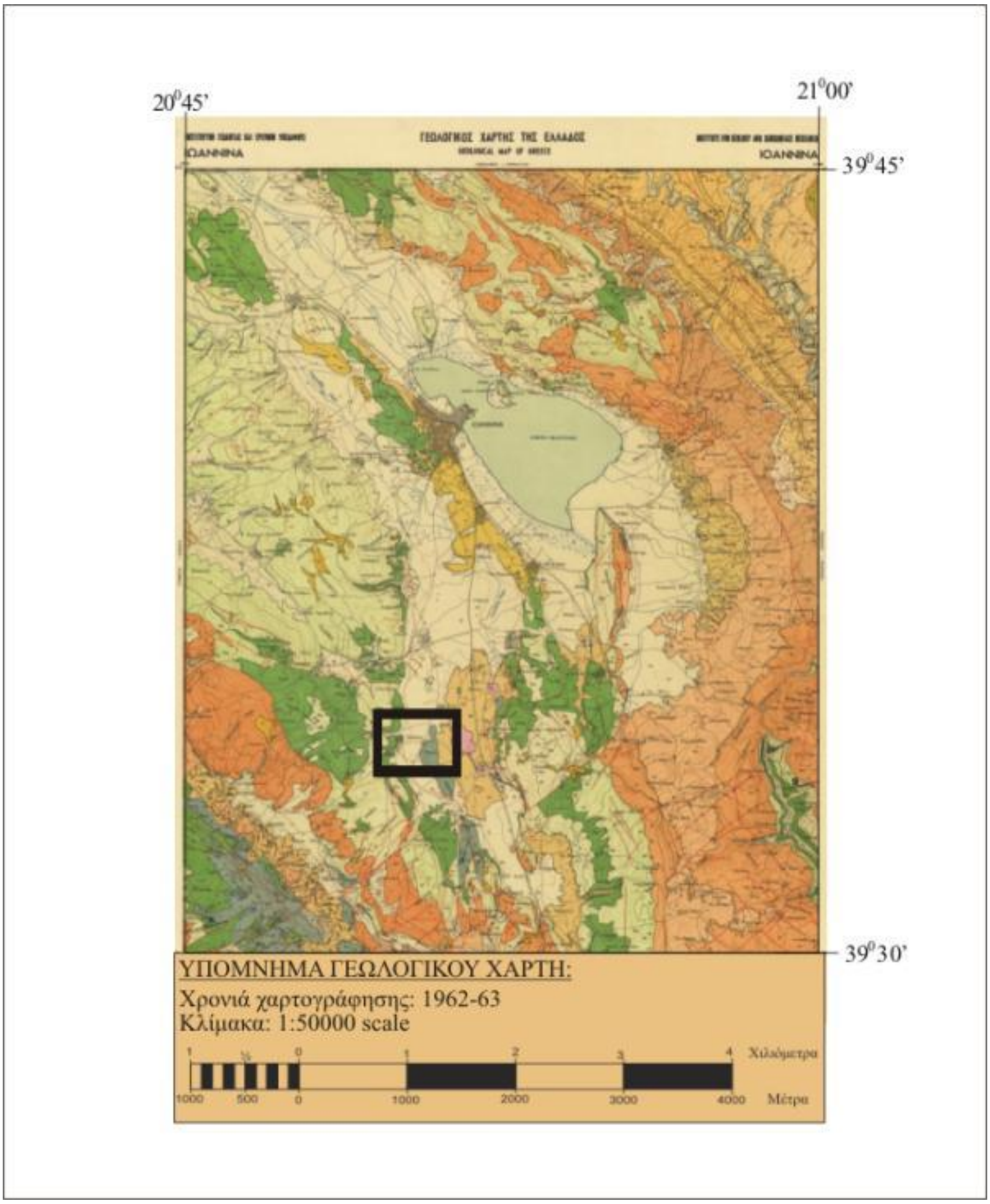
[1] Πηγή: www.ims.forth.gr

[2] Πηγή: www.cyprus.gov.cy

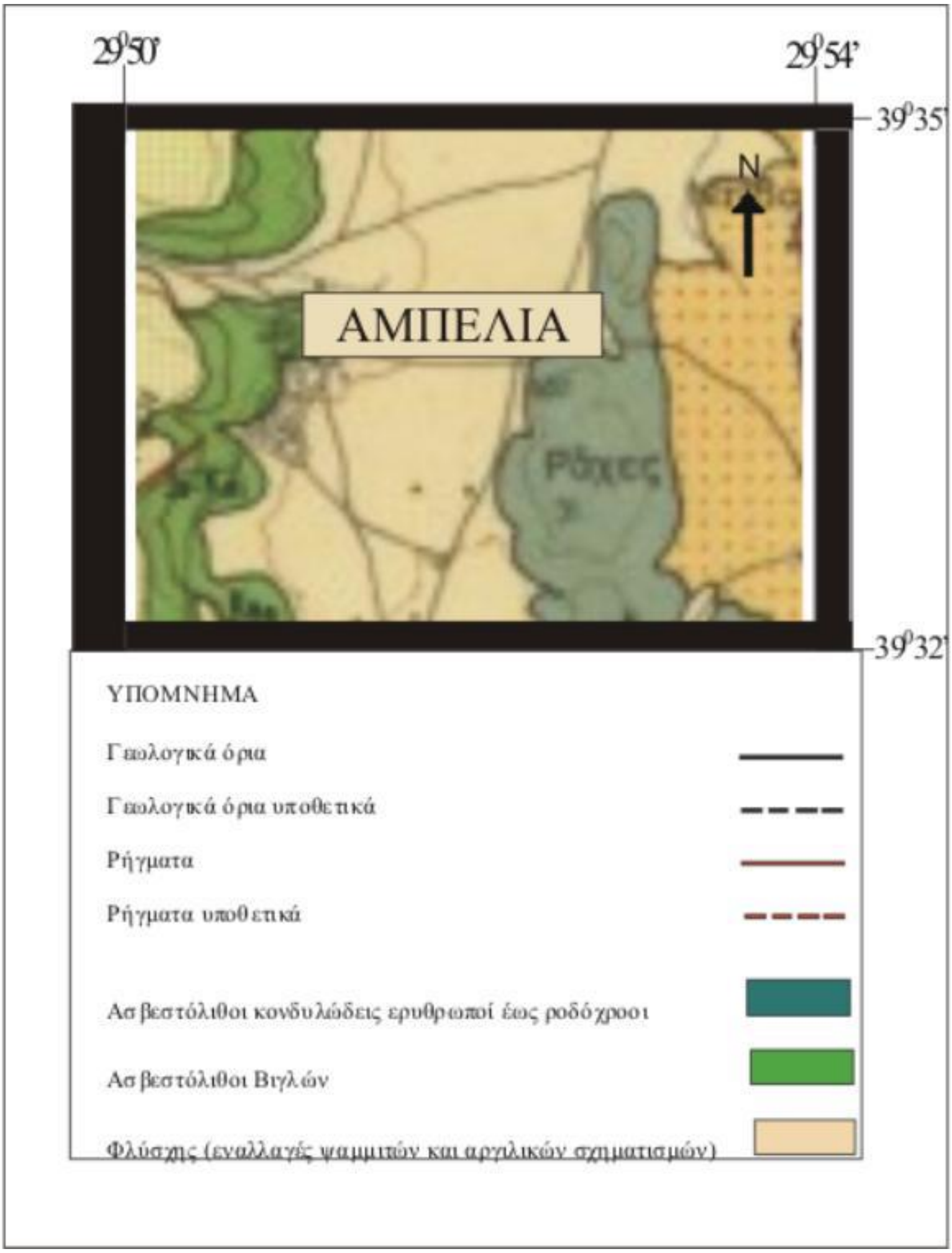
1.2 Περιοχή μελέτης.

1.2.1 Περιοχή μελέτης : «Γιάννενα – Αμπελιά ».

Η περιοχή «Αμπελιά», βρίσκεται Νοτιοδυτικά των Ιωαννίνων, με έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από την Ιόνια ζώνη



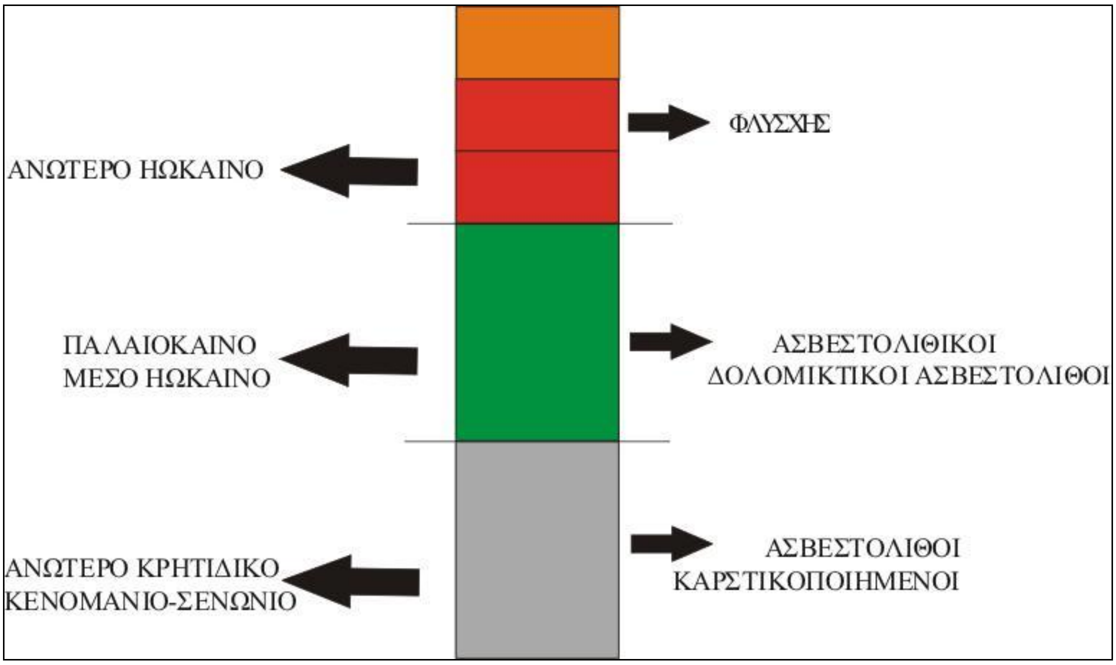
Σχήμα 1.1: Γεωλογικός χάρτης Ν. Ιωαννίνων.



Σχήμα 1.2: Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη φύλλου Ν. Ιωαννίνων κλίμακα 1: 50000. Με μαύρο πλαίσιο τονίζεται μεγεθυμένη η θέση της περιοχής μελέτης «Αμπελιά».

1.2.2 Περιοχή μελέτης : «Καλυδώνα».

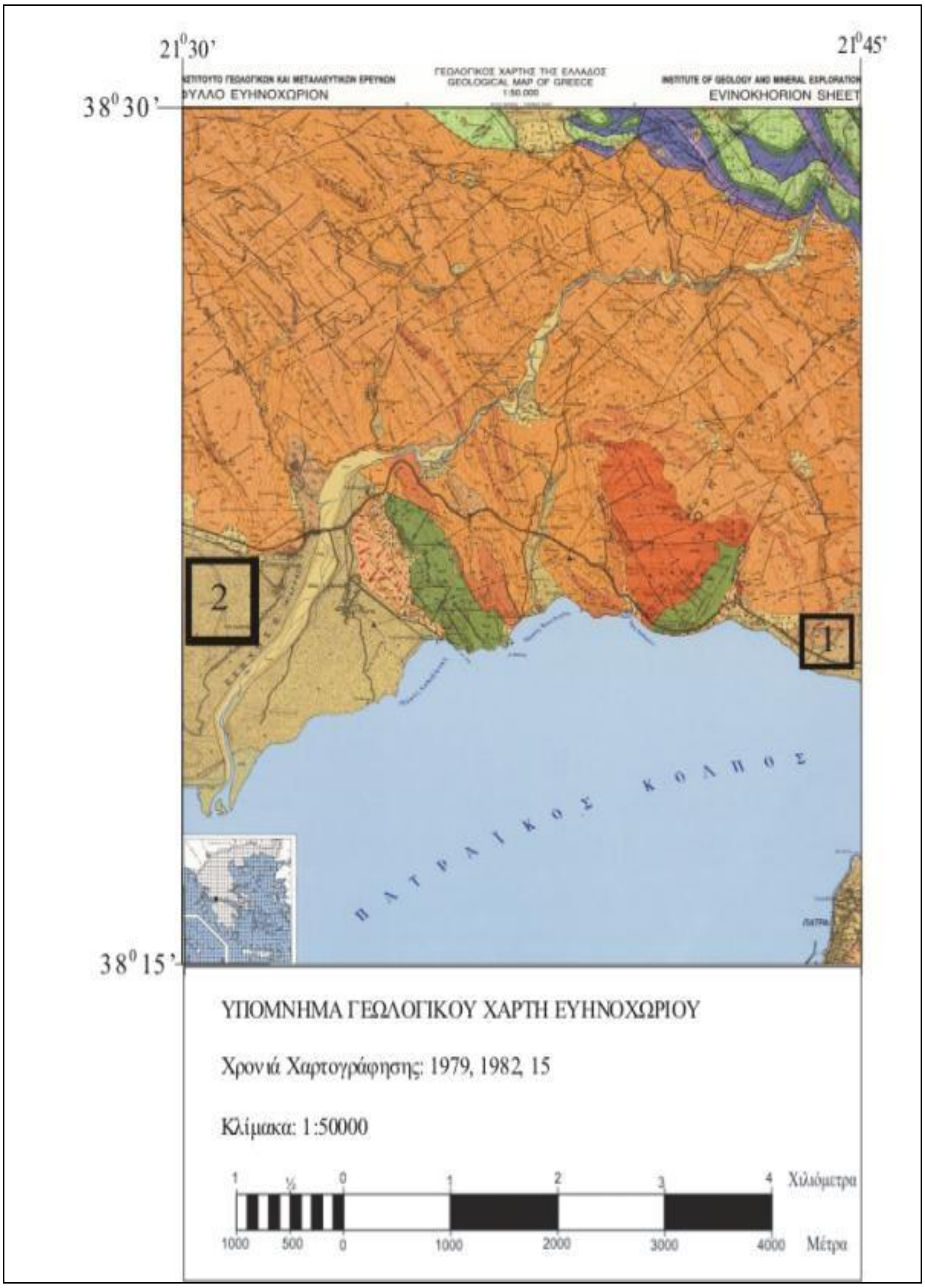
Η περιοχή «Καλυδώνα», βρίσκεται Νοτιοδυτικά του Ευηνοχωρίου (Σχήμα 1.4). Η περιοχή: «Καλυδώνα» χαρακτηρίζεται από τη Ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως, όπως φαίνεται πιο κάτω:



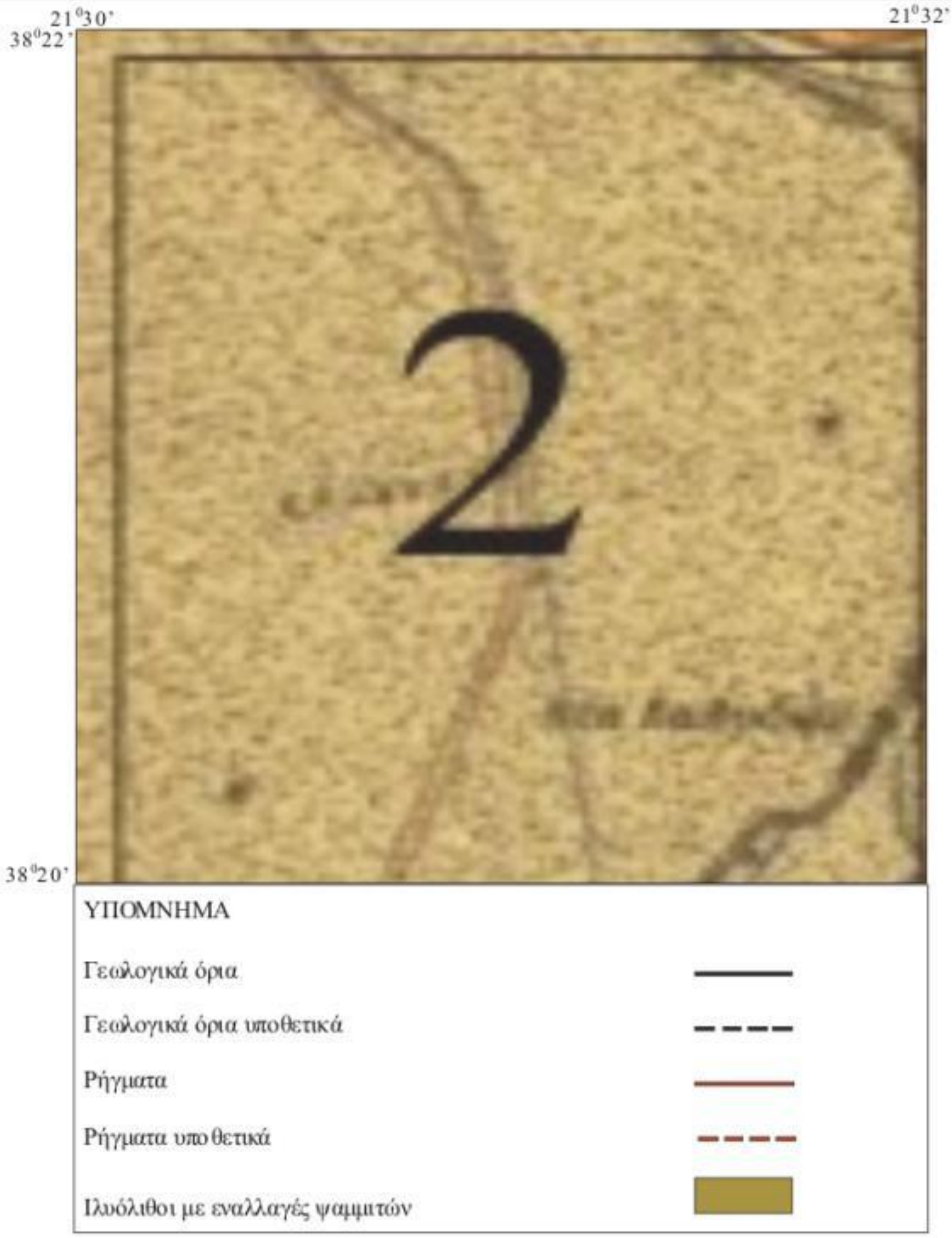
Σχήμα 1.3: Σχεδιάγραμμα Ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως.

Συγκεκριμένα, η περιοχή «Καλυδώνα» χαρακτηρίζεται από το Ανώτερο Ηώκαινο στο οποίο αρχίζει η απόθεση του φλύσχη που έληξε στο τέλος του Ολιγοκαίνου με την τελική φάση πτύχωσης και την ανάδυση της ζώνης.[3]

[3] Πηγή: www.geo.auth.gr



Σχήμα 1.4: Γεωλογικός χάρτης Ευηνοχωρίου.



Σχήμα 1.5: Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη φύλλου Ευηνοχωρίου με κλίμακα: 1:50000. Με μαύρο πλαίσιο τονίζεται μεγεθυμένη η θέση της περιοχής μελέτης «Καλυδώνα».

1.2.3 Περιοχή μελέτης : «Μακύνεια».

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από τη ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται είναι:

Φλύσχης (όρος που χρησιμοποιείται για μια σειρά από εναλλαγές στρωμάτων αργίλων ψαμμιτών, μάργων, ασβεστόλιθων και κροκαλοπαγών) το σύνολο των οποίων μπορεί να το διακριθεί σε τρεις κυρίως χαρακτηριστικές σειρές των οποίων το χρώμα ποικίλει από καστανό, τεφρό, φαιό έως υποπράσινο.

Αποτελούνται από: α) λεπτο – μεσοστρωματώδεις ψαμμίτες που εναλλάσσονται με λεπτόκοκκους, χονδρόκοκκους συνεκτικούς ψαμμίτες και λεπτές ενστρώσεις αργιλικών σχιστόλιθων και κροκαλοπαγών, β) κροκαλοπαγή, συνεκτικά με κροκάλες ποικίλου μεγέθους καλά αποστογγυλωμένες που εναλλάσσονται με λεπτές ενστρώσεις ή φακούς από ψαμμίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους και γ) αργιλικούς σχιστόλιθους γκρι έως υποπράσινου χρώματος, που φέρουν εναλλασσόμενες ενστρώσεις πηλιτών, μαργαϊκών ιλυολίθων, ιλυολιθικών ψαμμιτών και λεπτόκοκκων ψαμμιτών.

Η μετάβαση προς το φλύσχη από τους υποκείμενους ηώκαινικούς ασβεστόλιθους γίνεται με μαργαϊκό υλικό υπόλευκου χρώματος και μικρού πάχους (το συνολικό πάχος υπερβαίνει τα 700m).

Ασβεστόλιθους και δολομιτιωμένους ασβεστόλιθους, τεφροί, σκουρότεφροι, νηριτικής φάσεως, παχυστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις, συχνά βιτουμενιούχοι που βρίσκονται σε συμφωνία με του άνω – κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Μέσα στους ασβεστόλιθους αυτούς, παρεμβάλλονται βοξιτικές εμφανίσεις με μικρό ή χωρίς οικονομικό ενδιαφέρον.

Σχήμα 1.6: Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη φύλλου Ευηνοχωρίου με κλίμακα 1:50000. Με μαύρο πλαίσιο τονίζεται η μεγεθυμένη θέση της περιοχής μελέτης «Μακύνεια».

Η ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων για όλες τις περιοχές μελέτης ακολουθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης.

2.1 Εισαγωγή.

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

Βασική επιδίωξη των ηλεκτρικών μεθόδων της 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.

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 τελλουργικών ρευμάτων.

Για τη συλλογή δεδομένων στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα η ηλεκτρική τομογραφία.

2.2 Μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας, έχει σκοπό της τον καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, ή καλύτερα την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος που ονομάζεται και 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:

$$\rho = \frac{RA}{L} \tag{2.1}$$

Όπου, ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού, R η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού, L το μήκος του αγωγού και A το εμβαδόν της τομής του αγωγού.[4]

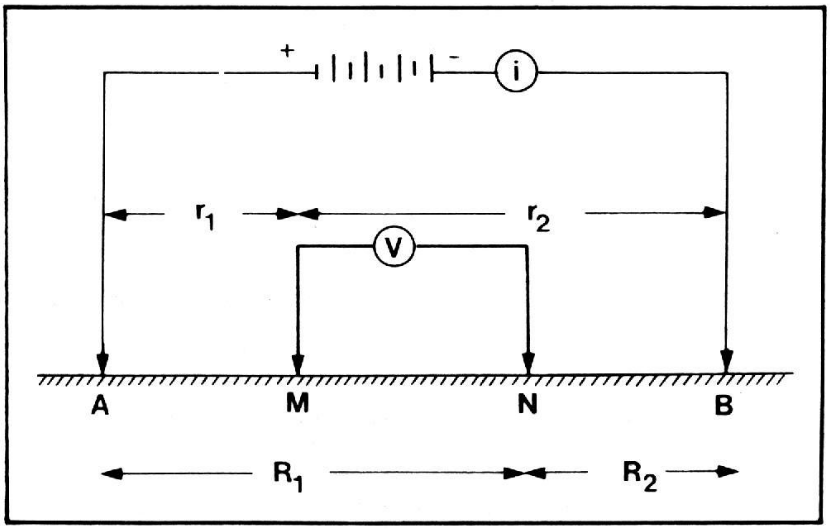
[4] Πηγή: Robinson, (1988)

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων, SI, είναι το Ωm, μερικές φορές χρησιμοποιείται και η μονάδα 1 Ωcm όπου 1 Ωm = 100 Ωcm. Το αντίστροφο, σ = 1/ρ, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του πετρώματος, με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα το Siemens/m.

Το σχήμα 2.1, 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:

$$\boldsymbol{\rho = 2\pi \frac{V_{MN}}{I}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)^{-1}}, \quad (2.2)$$

Όπου, r_1 η απόσταση AM, r_2 η απόσταση MB, R_1 η απόσταση AN, και R_2 η απόσταση NB.



Σχήμα 2.1. Τυπική διάταξη ηλεκτροδίων με τη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

2.3 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση ορυκτών και πετρωμάτων.

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των ορυκτών και των πετρωμάτων αποτελούν αντικείμενο μελέτης για σχεδόν δύο αιώνες. Η ειδική αντίσταση, ρ, είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Το αντίστροφο, σ = 1/ρ, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης λέγεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα περισσότερα ορυκτά και πετρώματα δεν είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Μόνο τα μεταλλικά ορυκτά και τα πετρώματα με σημαντική συγκέντρωση σε αυτά τα ορυκτά παρουσιάζουν αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα λόγω της αγωγής του ηλεκτρισμού από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των μετάλλων (ηλεκτρονική αγωγή).

Τα πυριγενή και τα μεταμορφωμένα πετρώματα συνήθως παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές του ρ σε σχέση με τα ιζηματογενή. Αυτό οφείλεται στο ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των ιζηματογενών κυρίως πετρωμάτων επηρεάζεται από το πορώδες και τη περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα (ηλεκτρολυτική αγωγή).

Η λιθολογία και η γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο. Με το πέρασμα του χρόνου, το συνολικό πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων μεγαλώνει με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης που ασκούν τα στρώματα αυτά στα υποκείμενα. Άρα, τα μεγαλύτερης ηλικίας υποκείμενα στρώματα παρουσιάζουν αυξημένη συνοχή, μικρό πορώδες και μεγάλη ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Ο γενικός αυτός κανόνας δεν ισχύει πάντα και ιδιαίτερα για τα τριτογενή ιζήματα τα οποία έχοντας σχηματιστεί σε γλυκό νερό, κατά κύριο λόγο, έχουν μεγαλύτερες ειδικές αντιστάσεις από τα μεσοζωικά ιζήματα τα οποία σχηματίστηκαν σε αλμυρό νερό, αφού η περιεκτικότητα σε ιόντα παίζει ως γνωστό αποφασιστικό ρόλο στη διέλευση του ρεύματος.

Για τα πετρώματα που είναι διαποτισμένα με νερό υπάρχει έμμεση σχέση μεταξύ της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της λιθολογίας ή της γεωλογικής ηλικίας καθώς, οι δύο παράγοντες αυτοί καθορίζουν το πορώδες. Στα κρυσταλλικά πετρώματα των οποίων το πορώδες είναι εξαιρετικά χαμηλό, η ηλεκτρική αγωγιμότητα οφείλεται αποκλειστικά σχεδόν, στις ρωγμές που υπάρχουν στα πετρώματα αυτά.

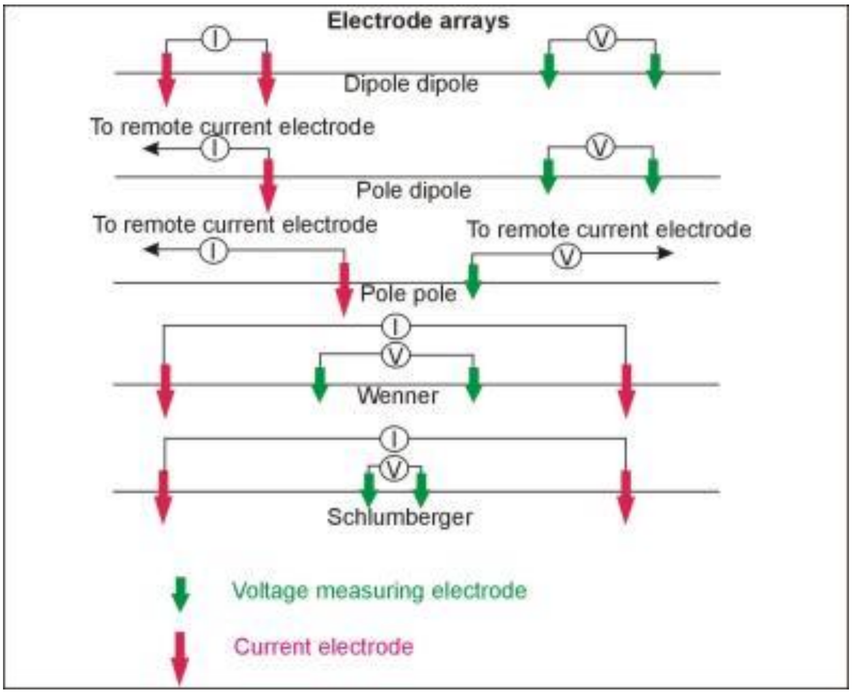
Συνοψίζοντας, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των υδροφόρων και μη σχηματισμών ελαττώνεται με την αύξηση:

- του όγκου του νερού στο πέτρωμα
- της περιεκτικότητας σε χλωριόντα ή ελεύθερα ιόντα του υπόγειου ύδατος
- της θερμοκρασίας (αύξηση της ευκινησίας των ιόντων)
- της περιεκτικότητας σε αργίλους
- του βαθμού κορεσμού του διαλύματος στους πόρους του πετρώματος
- της καρστικοποίησης
- της εξαλλοίωσης.

2.4 Διατάξεις ηλεκτροδίων.

Υπάρχουν πολλές διατάξεις ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται σήμερα στην ύπαιθρο, 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 τομογραφία 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 σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Οι διατάξεις Wenner, Schlumberger και διπόλου – διπόλου έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα στο ίδιο βάθος σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις.

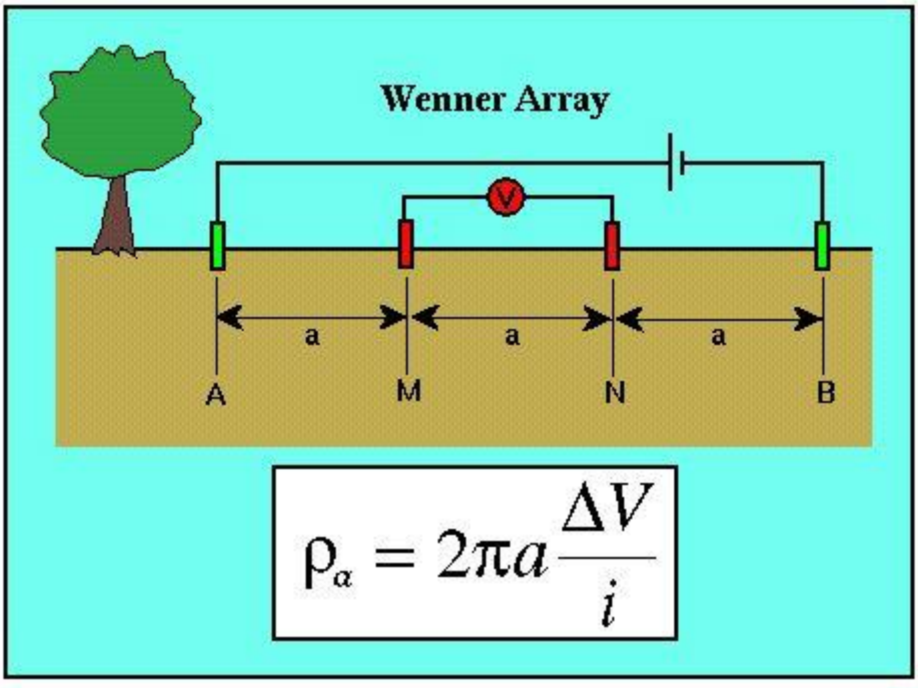


Σχήμα 2.2: Διατάξεις ηλεκτροδίων (Reynolds, 1997).

Στο Σχήμα 2.2 απεικονίζονται οι πιο συνηθισμένοι τύποι διατάξεων. Οι διατάξεις τεσσάρων ηλεκτροδίων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές επειδή ελαχιστοποιούν τα αποτελέσματα της αντίστασης επαφής. Δηλαδή της ηλεκτρικής αντίστασης στην θέση του ηλεκτροδίου. Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι διατάξεις: Wenner – Schlumberger και διπόλου – διπόλου και γα το λόγο αυτό θα εξηγηθούν παρακάτω.

2.4.1 Διάταξη Wenner:

Στην συγκεκριμένη διάταξη τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Διάταξη Wenner.

Ισχύει,

$$AM = MN = NB = \alpha \qquad (2.3)$$

Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_{\alpha} = 2\pi\alpha \frac{\Delta V}{I} \qquad (2.4)$$

Όπου, ο γεωμετρικός συντελεστής ισούται με 2πα, η τιμή του οποίου μπορεί να υπολογιστεί αν οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι γνωστές.

Η διάταξη Wenner χρησιμοποιείται συχνά και έχει αρκετά πλεονεκτήματα. Με τη χρήση ενός πέμπτου ηλεκτροδίου και ενός διακόπτη (rotary switch), το τελευταίο ηλεκτρόδιο μπορεί να απενεργοποιηθεί και να τοποθετηθεί στην αρχή της διάταξης, ενώ ο χειριστής παίρνει τη μέτρηση με τα άλλα τέσσερα ηλεκτρόδια.

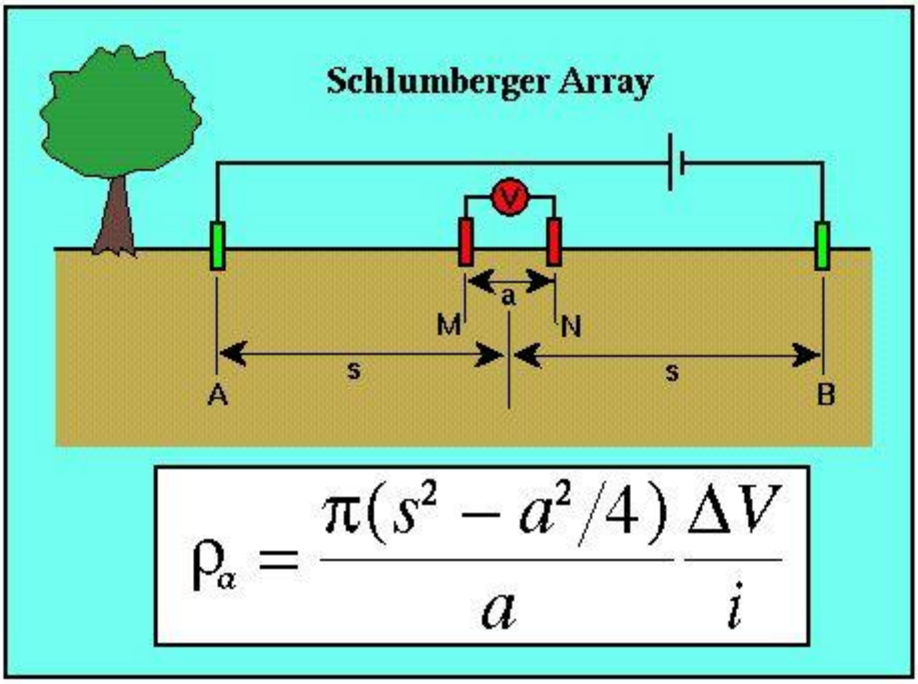
Με αυτόν τον τρόπο κάθε επιπλέον μέτρηση παίρνεται με τη μετακίνηση μόνο ενός ηλεκτροδίου. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου Wenner είναι το πρόβλημα ερμηνείας εξαιτίας του χαρακτηριστικού σήματος διπλής κορυφής όταν η διάταξη διασχίζει κάθετα γραμμική δομή.

Στην ιδανική περίπτωση τα ηλεκτρόδια θα έπρεπε να είναι σημειακά, αλλά αφού χρειάζεται να εισαχθούν στο έδαφος μέχρι ένα σημείο αυτό δεν ισχύει. Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση επηρεάζεται από το βάθος εισαγωγής των ηλεκτροδίων. Γι’ αυτό απαιτείται προσοχή ώστε όλα να βρίσκονται στο ίδιο βάθος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ένα δακτύλιο που προσαρμόζεται σε συγκεκριμένη απόσταση από το ένα άκρο του ηλεκτροδίου.

2.4.2 Διάταξη Schlumberger:

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B, βρίσκονται σε απόσταση S 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 (Σχήμα 2.4). Έτσι είναι :

$$AB = 2L \text{ και } MN = 2b = \alpha \qquad (2.5)$$



Σχήμα 2.4: Διάταξη Schlumberger.

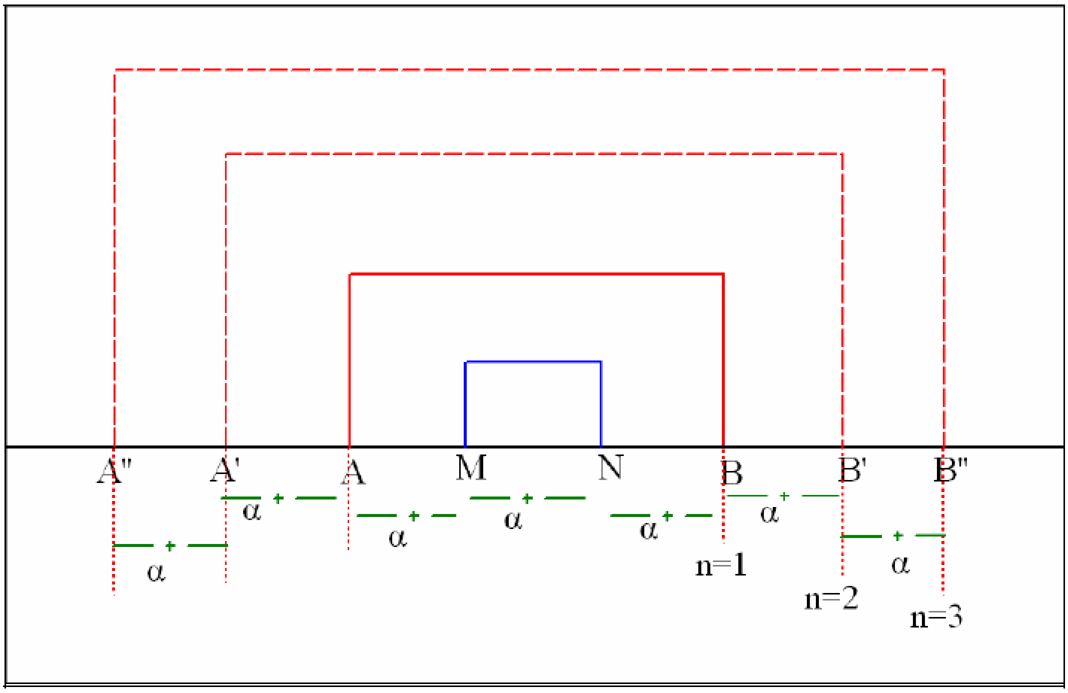
Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση για την συγκεκριμένη διάταξη δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_\alpha = \frac{\pi(S^2 - a^2/4)}{a}\frac{\Delta V}{I} \qquad (2.6)$$

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 πιθανοτήτων ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε τοπικές γεωλογικές ασυνέχειες.

2.4.3 Διάταξη Wenner-Schlumberger:

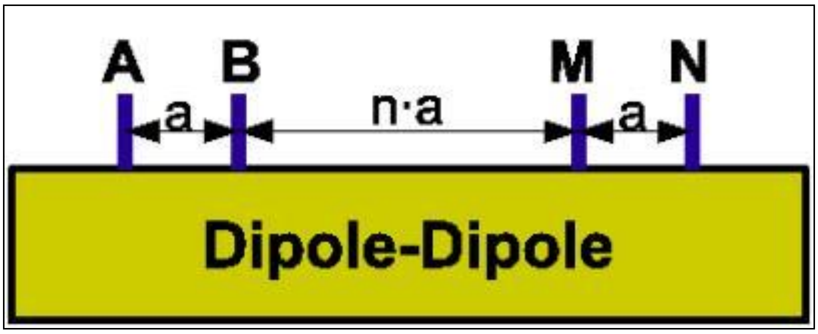
Η συγκεκριμένη διάταξη αποτελεί συνδυασμός των διατάξεων Wenner και Schlumberger (Σχήμα 2.5). Στην πρώτη μέτρηση τα δύο ηλεκτρόδια δυναμικού (M, N) απέχουν μεταξύ τους απόσταση α, καθώς και τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος (A, B), όπως στη διάταξη Wenner. Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση, για αυτή τη μέτρηση, λαμβάνεται από τη σχέση 2.4. Από την επόμενη μέτρηση μετακινούνται τα ηλεκτρόδια ρεύματος, ενώ τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά με μεταξύ τους απόσταση α. Συνεχίζοντας με την ίδια διαδικασία η διάταξη εξελίσσεται σε Schlumberger και η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση λαμβάνεται από τη σχέση 2.6. Η συγκεκριμένη διάταξη είναι πολύ διαδομένη στις μετρήσεις της ηλεκτρικής τομογραφίας καθώς γίνεται πιο εύκολα η αυτοματοποίηση των μετρήσεων με αυτόν τον τρόπο.



Σχήμα 2.5: Διάταξη Wenner – Schlumberger

2.4.4 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>>a), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6: Διάταξη Διπόλου – Διπόλου.

Ο γεωμετρικός συντελεστής K για τη διάταξη διπόλου – διπόλου και για n>>1 υπολογίζεται από τη σχέση :

$$K = \pi na(n+1)(n+2), \qquad (2.6)$$

και η φαινόμενη ειδική αντίσταση από :

$$\rho_\alpha = \pi na(n+1)(n+2)\textbf{Σφάλμα!}.$$

(2.7)

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διάταξης αποτελεί η απόσταση 2na, ανάμεσα στα διπόλα 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.

2.5 Παράγοντες επιλογής της κατάλληλης διάταξης ηλεκτροδίων.

Η επιλογή του τρόπου διάταξης των ηλεκτροδίων κατά την πραγματοποίηση μετρήσεων αποτελεί πολύ σημαντικό βήμα για τη γεωηλεκτρική διασκόπηση. Η διάταξη των ηλεκτροδίων δύναται να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό την ακρίβεια των μετρήσεων.
Οι παράγοντες – κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι:
<u>Λόγος σήματος ως προς θόρυβο.</u>
Ως προς τον παράγοντα αυτό κατά σειρά προτεραιότητας οι διατάξεις είναι: Wenner , Schlumberger , διπόλου – διπόλου.
<u>Ευαισθησία σε οριζόντιες επιφάνειες.</u>
Οι οριζόντιες ανομοιογένειες φαίνεται να προκαλούν μεγαλύτερη ευαισθησία στη διάταξη διπόλου – διπόλου και λιγότερη σε Wenner και Schlumberger.
<u>Ευαισθησία σε βάθος και διεισδυτικότητα δια μέσου επιφανειακού αγώγιμου στρώματος.</u>
Οι διατάξεις Wenner και Schlumberger 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.
<u>Διεισδυτικότητα δια μέσου επιφανειακού αγώγιμου στρώματος (επίδραση του επιδερμικού φαινομένου).</u>
Το επιδερμικό φαινόμενο επηρεάζει την ικανότητα διείσδυσης σε μεγάλα βάθη. Η δυνατότητα μεγάλου ανοίγματος ηλεκτροδίων ρεύματος της διάταξης Schlumberger μαζί με την ευαισθησία βάθους που έχει, της παρέχουν ένα σαφές προβάδισμα.
<u>Βάθος διασκόπησης.</u>
Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται κυρίως από το οριζόντιο ανάπτυγμα (απόσταση μεταξύ 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 υποβάθρου και από το μοντέλο των στρωμάτων του υπεδάφους.
<u>Ευαισθησία στη μορφολογία του υποβάθρου.</u>
Η διάταξη διπόλου – διπόλου υπερτερεί των άλλων διατάξεων στην περίπτωση των γεωλογικών ανωμαλιών.
<u>Ευαισθησία στο τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής έρευνας.</u>
Το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο δημιουργεί πύκνωση και αραίωση των ρευματικών γραμμών.

2.6 Φαινόμενη Ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Η σχέση 2.2 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_α).

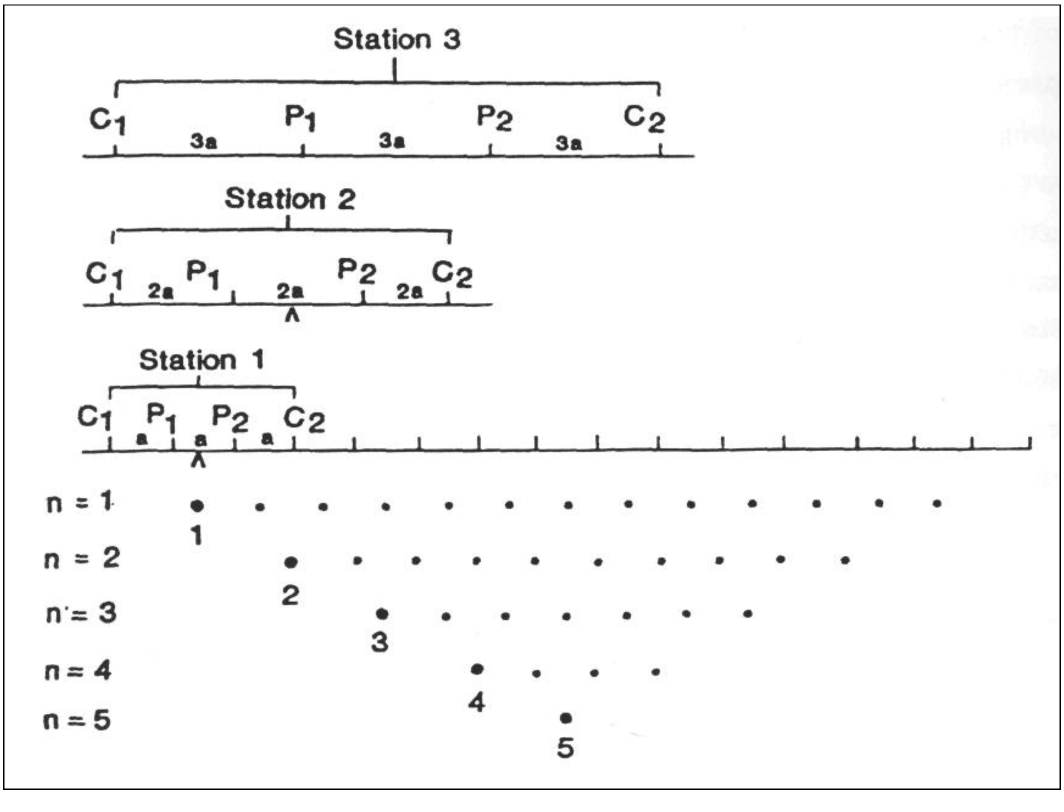
Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση εκφράζει τον μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα. Η τιμή της εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί στον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους.

2.7 Τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων.

Στην ηλεκτρική τομογραφία της εργασίας αυτής, χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Wenner – Schlumberger και η διάταξη διπόλου διπόλου.

Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν την ψευδοτομή του υπεδάφους (Σχήμα 2.7). Στην ψευδοτομή (pseudo - section), οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι σχεδιασμένες σε μία τομή σε σημεία ακριβώς κάτω από το κέντρο της διάταξης ηλεκτροδίων και σε βάθος που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη διάταξη.

Με τον τρόπο αυτό λαμβάνεται μια προσεγγιστική εικόνα της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Το επόμενο βήμα είναι η αναστροφή των δεδομένων όπου υπολογίζονται οι τιμές της πραγματικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα δεδομένα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Ο τρόπος με τον οποίο η αντιστροφή θα εξηγηθεί στο επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 2.7: Διάταξη των δεδομένων στη ψευδοτομή των φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (manual Res2dinv).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 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 αναστροφής των φαινόμενων αντιστάσεων το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Επιπλέον το πρόβλημα είναι υπερκαθορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων υπερβαίνει τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου.

Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζονται επαναληπτικές τεχνικές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Αρχικά όμως γίνεται προσέγγιση του μη γραμμικού προβλήματος με το γραμμικό, με τη βοήθεια της σειράς Taylor. Η αντιστροφή ξεκινά με τη δημιουργία ενός τυχαίου αρχικού μοντέλου των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων. Το επόμενο βήμα είναι η λύση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό. Οι θεωρητικές αυτές τιμές, συγκρίνονται με τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης και υπολογίζεται η απαιτούμενη διόρθωση στο αρχικό θεωρητικό μοντέλο, για την ελαχιστοποίηση της διαφοράς ανάμεσα από τις υπολογιζόμενης και μετρούμενης τιμής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. 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.

Αν $m=(m_1,m_2,m_3\ldots..m_M)$ είναι οι παράμετροι του μοντέλου, και $d_i=(d_1,d_2,d_3\ldots d_N)$, $i=1,2,\ldots,N$ είναι οι μετρήσεις , η μη γραμμική σχέση που συνδέει τις μετρήσεις με τις παραμέτρους είναι :

$$d_i=f_i(m_1,m_2,m_3,\ldots..,m_M) + e \qquad (3.1)$$

Όπου, e είναι το σφάλμα των μετρήσεων.

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

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

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

$$F_1\,(m) = f_1(m_1^0 + \delta m_1,m_2^0 + \delta m_2,\ldots, m_M^0 + \delta\, m_M) \qquad (3.2)$$

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

$$e_i = \Delta d - Ax . \tag{3.3}$$

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

$$q = \sum_{i=1}^{N} e_i^2 = e^T e \approx (\Delta d - Ax)^T (\Delta d - Ax) \tag{3.4}$$ [5]

3.2 Λογισμικό πακέτο Res2dinv.

Στη παρούσα εργασία ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρικής αντίστασης (η αντιστροφή) πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου Res2dinv που διαθέτει το εργαστήριο εφαρμοσμένης γεωφυσικής.

Το πρόγραμμα αυτό χωρίζει το υπέδαφος σε έναν αριθμό παραλληλογράμμων και θεωρεί σταθερή την πραγματική ειδική αντίσταση σε κάθε ορθογώνιο. Ξεκινώντας από αρχικό μοντέλο το οποίο προκύπτει, θέτοντας κάποια τιμή για την πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση, υπολογίζει τις τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό και τις συγκρίνει με τις μετρημένες τιμές της φαινόμενης αντίστασης.

Κάνοντας διαδοχικές επαναλήψεις μειώνεται συνεχώς το σφάλμα. Τελικά επιλέγεται ένα μοντέλο με μικρό σφάλμα, όταν οι επόμενες επαναλήψεις δεν μειώνουν σημαντικά το σφάλμα αυτό, δηλαδή όταν η επαναληπτική διαδικασία παρουσιάζει σύγκλιση.

Το συγκεκριμένο λογισμικό πακέτο διαθέτει δύο διαφορετικές μέθοδοι αντιστροφής. Η πρώτη, είναι η μέθοδος κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης (Smoothness – constrained least – squares method) και η δεύτερη είναι με τη χρήση νόρμας L1 (Robust). Αναλυτικότερα :

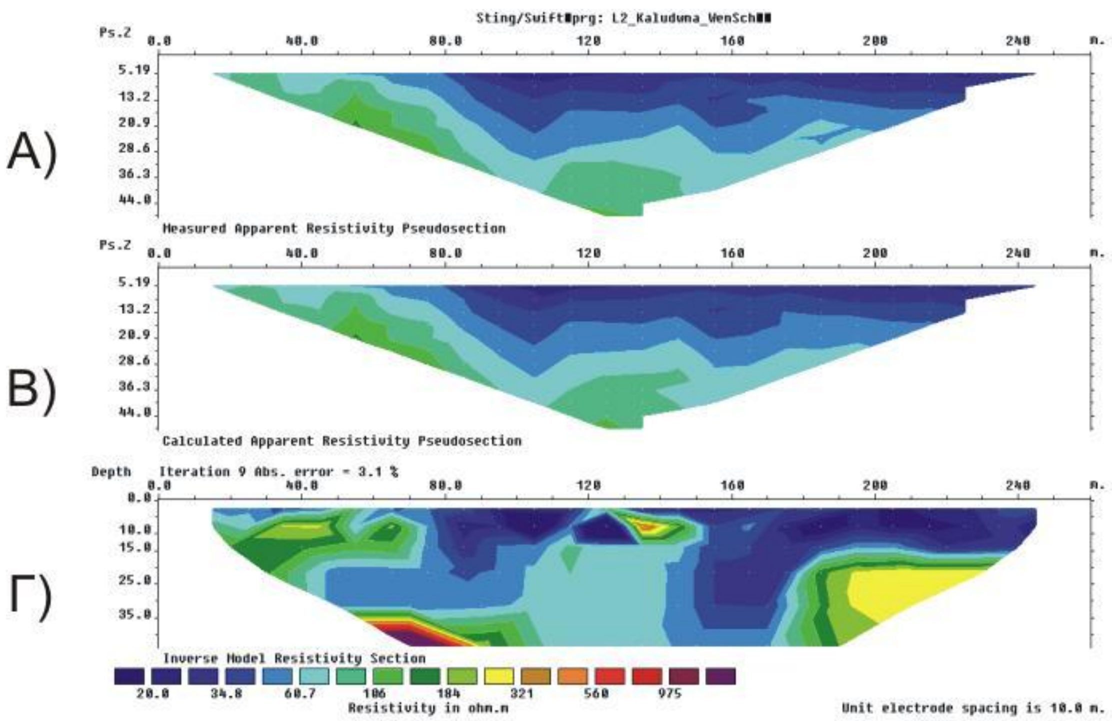
Η πρώτη μέθοδος κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης υπαγορεύει ότι οι τιμές της ειδικής αντίστασης του μοντέλου αλλάζουν με ομαλό ή σταδιακό τρόπο. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μια παραλλαγή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, που βασίζεται στη τεχνική της βελτιστοποίησης. Η συγκεκριμένη μέθοδος εξασφαλίζει ένα μοντέλο με ομαλή κατανομή της ειδικής αντίστασης. Αυτή η προσέγγιση είναι αποδεκτή μόνο σε περιπτώσεις που οι πραγματικές τιμές της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους αλλάζουν με ομαλό ή σταδιακό τρόπο.

Η δεύτερη μέθοδος, η χρήση νόρμας, χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου το υπέδαφος αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς που είναι μεν ομοιογενείς στο εσωτερικό τους, αλλά παρουσιάζουν απότομες αλλαγές μεταξύ τους. Η συγκεκριμένη μέθοδος αντιστροφής είναι λιγότερη ευαίσθητη στις μετρήσεις με υψηλό θόρυβο και συνεπώς ικανή να δώσει σφάλμα ειδικής αντίστασης.

[4] Πηγή: Παπαδόπουλος (2007)

3.3 Επεξεργασία μετρήσεων ηλεκτρικής τομογραφίας.

Τα δεδομένα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που συλλέχθηκαν στην ύπαιθρο εισάγονται στο λογισμικό πακέτο Res2dinv. Ακολουθεί η επιλογή μια από τις προαναφερόμενες μεθόδους αντιστροφές. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι τρείς 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 περίπτωση να μη ληφθούν υπόψη οι μετρήσεις οι οποίες έχουν μεγάλο σφάλμα. Επίσης παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης του αριθμού επαναλήψεων της διαδικασίας αντιστροφής. Ακόμα στα αποτελέσματα του προγράμματος συγκαταλέγεται και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα: RMS (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Γεωηλεκτρική τομή γραμμής Κ2 από το λογισμικό πακέτο Res2Dinv. Όπου, Α) ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης εδικής ηλεκτρικής αντίστασης , Β) ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και Γ) γεωηλεκτρικής τομή που προκύπτει από την αναστροφή.

Στο συγκεκριμένο λογισμικό πακέτο υπάρχει η δυνατότητα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων ελέγχοντας την ευαισθησία και την αβεβαιότητα καθώς και τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που έχουν υπολογιστεί.

Με τον όρο ευαισθησία, εννοούμε το πόσο ευαίσθητη είναι η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε σχέση με την πραγματική τιμή της ειδικής ηλεκτρικής. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή της ευαισθησίας, τόσο λιγότερο ευαίσθητη είναι και η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Γενικά, κοντά στην επιφάνεια της γης εμφανίζονται συνήθως υψηλές τιμές ευαισθησίας γιατί τα σημεία αυτά βρίσκονται πλησιέστερα στα ηλεκτρόδια. Επίσης υψηλές τιμές ευαισθησίας, παρατηρούνται και στα όρια της τομής καθώς και στα πλάγια.

Η αβεβαιότητα, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, εκφράζεται με ποσοστό επί τοις 100 (%) της τιμής της. Εξαρτάται από το επίπεδο θορύβου, το βάθος και το μέγεθος, τη διανομή των σημείων, τη σειρά που χρησιμοποιήθηκαν και από τη μέση ειδική αντίσταση. Δηλαδή όταν έχουμε τιμές με υψηλή ειδική αντίσταση, έχουμε και υψηλές τιμές αβεβαιότητας.

Οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές, είναι οι τιμές που παίρνει το μοντέλο έπειτα από επεξεργασία που δέχεται. Το μοντέλο βρίσκεται ανάμεσα στις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές, αλλά μπορεί να φτάσει σε μια ανώτατη και μια κατώτατη τιμή. Αυτές οι τιμές φαίνονται στα όρια των γεωηλεκτρικών τομών της αβεβαιότητας.

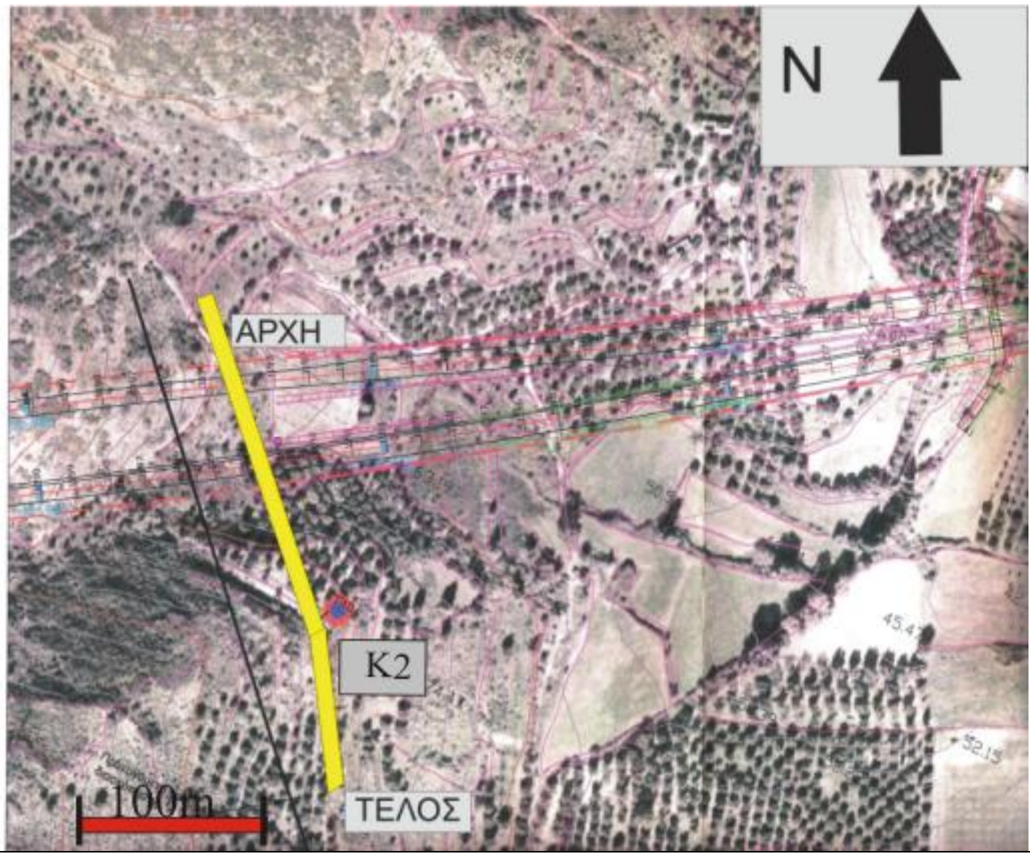
Για την διεκπεραίωση της εργασίας αυτής, έγινε επεξεργασία όλων των τομών για όλες τις περιοχές μελέτης («Καλυδώνα» με γραμμές μελέτης Κ1 και Κ2, «Μακύνεια» με γραμμές μελέτης Μ1 και Μ2 και «Αμπελιά» με γραμμές μελέτης Α1 και Α2). Σε όλες τις περιοχές έγινε χρήση και των δύο διατάξεων (Wenner – Schlumberger και Διπόλου – διπόλου) καθώς και ο συνδυασμός τους.

Ο συνδυασμός των δύο διατάξεων αναμένεται να αυξήσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της αντίστροφης. Αυτό γιατί, η διάταξη Wenner – Schlumberger δίνει καλύτερα αποτελέσματα στην κατακόρυφη διάσταση, δηλαδή δίνει λεπτομερή ανάλυση της ειδικής αντίστασης σε βάθος, σε αντίθεση με τη διάταξη διπόλου – διπόλου, η οποία υπερτερεί των άλλων διατάξεων στην περίπτωση των πλευρικών ανωμαλιών. Έτσι ο συνδυασμός αυτών των δύο διατάξεων, δίνει μια καλύτερη συνολική εικόνα της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο σύνολο των στρωμάτων του υπεδάφους.

Στη συνέχεια της εργασίας παρουσιάζονται όλα τα στάδια επεξεργασίας και αξιολόγησης μόνο για την γραμμή μελέτης Κ2, ως παράδειγμα για την μεθοδολογία που εφαρμόστηκε.

3.4 Παράδειγμα Επεξεργασίας Ηλεκτρικής Τομογραφίας (Γραμμής μελέτης Κ2, της περιοχής Καλυδώνα).

Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται η θέση της γραμμής μελέτης Κ2 στη περιοχή «Καλυδώνα». Η γραμμή έχει μήκος 520 m, ενώ οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση των διατάξεων Wenner – Schlumberger, διπόλου διπόλου. Η απόσταση ανάμεσα από τα ηλεκτρόδια ήταν 10 m, και η διεύθυνση της γραμμής από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά. Τα αρχικά δεδομένα εισήχθηκα στο λογισμικό πακέτο Res2Dinv όπου πραγματοποιήθηκε η αντιστροφή.

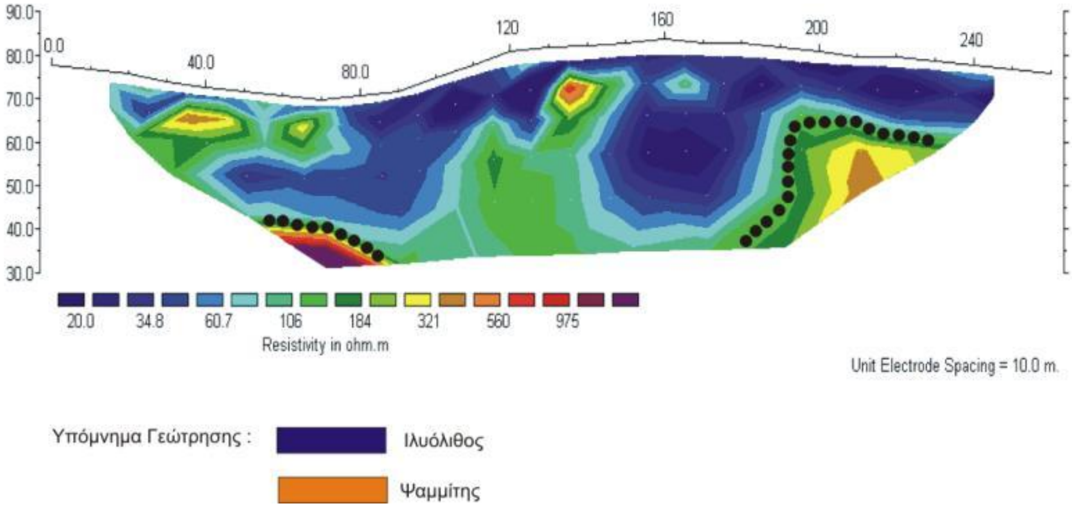


Σχήμα 3.2: Αεροφωτογραφία της περιοχής μελέτης στην οποία φαίνεται η γραμμή μελέτης Κ2. Με κίτρινο χρώμα είναι η γραμμή διασκόπησης, ενώ με μαύρο χρώμα έχει σχεδιαστεί η γραμμή που προτείνεται λόγω προσβασιμότητας.

3.4.1 Διάταξη Wenner – Schlumberger:

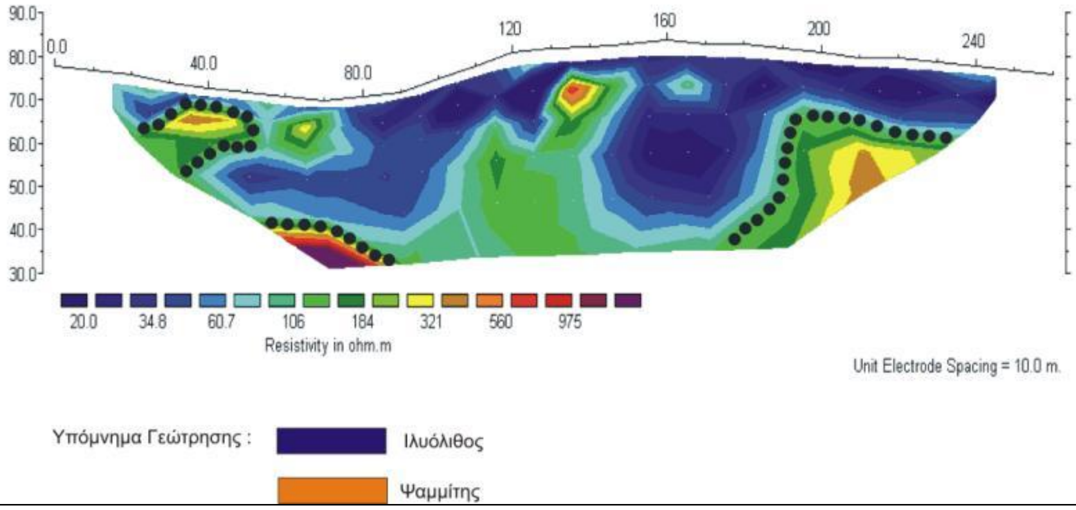
Το αποτέλεσμα της αντιστροφής, με την μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, των δεδομένων που συλλέχθηκαν με την διάταξη Wenner-Schlumberger παρουσιάζεται στο σχήμα 3.3. Στην επεξεργασία παρατηρούνται τρία γεωηλεκτρικά στρώματα. Ένα επιφανειακό με χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (< 50 Ωm) που κυριαρχεί, ένα με ενδιάμεσες τιμές (50 – 200 Ωm) κυρίως στο κέντρο της γραμμής μελέτης, και ένα τελευταίο με ψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (> 300 Ωm) κυρίως στην αρχή και στο τέλος της γραμμής μελέτης και σε βάθος μεγαλύτερο των 30 m από την επιφάνεια.

Με τη διαχωριστική μαύρη γραμμή γίνεται ευκολότερος ο προσδιορισμός των γεωλογικών στρωμάτων.



Σχήμα 3.3: Γραμμή Κ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

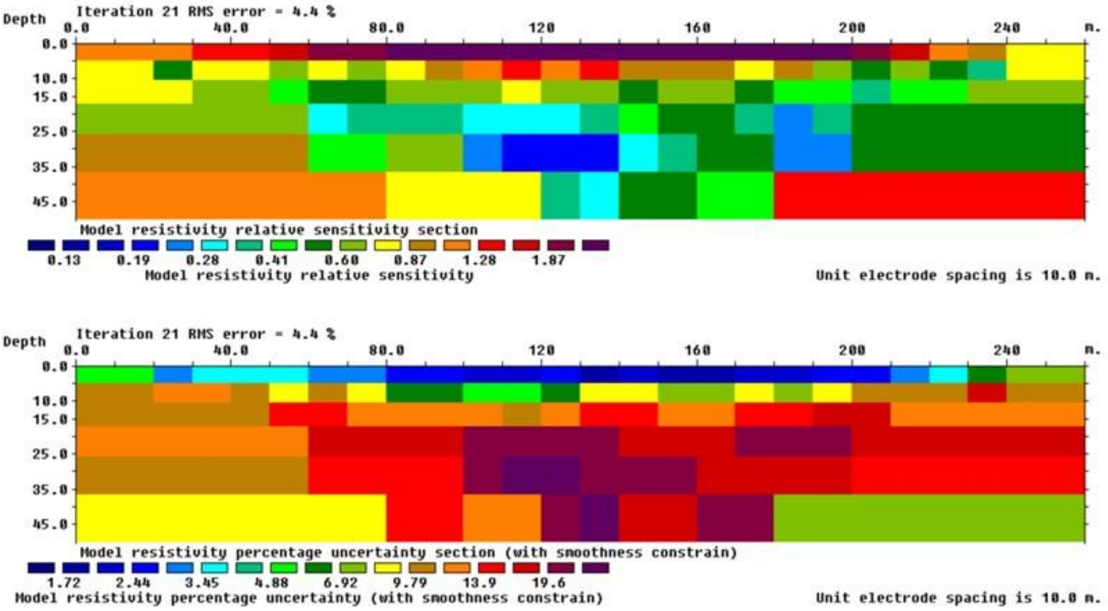
Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε αντιστροφή των ίδιων δεδομένων, αλλά με την μέθοδο νόρμα λ1 (Robust, Σχήμα 3.4). Δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων αντιστροφής, αν και οι τιμές της ενδιάμεσης γεωηλεκτρικής ζώνης φαίνεται να έχουν μικρότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.



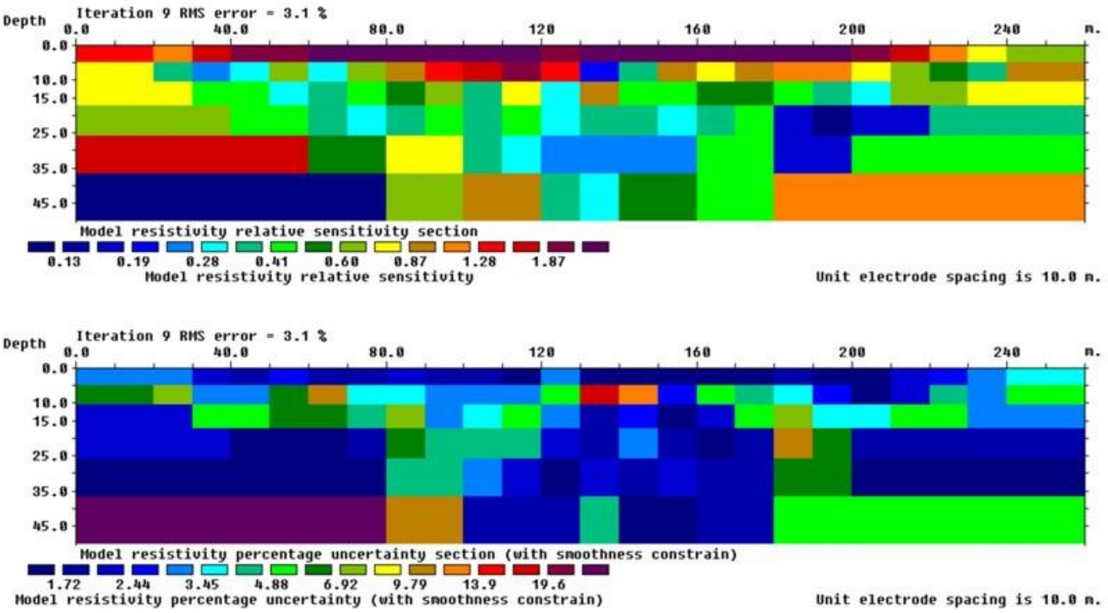
Σχήμα 3.4: Γραμμή Κ2, με τη μέθοδο robust, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Στο σχήμα 3.5, παρουσιάζονται οι πίνακες ευαισθησίας και αβεβαιότητας που αντιστοιχούν στην γεωηλεκτρική τομή του σχήματος 3.4. Παρατηρείται πως για τα επιφανειακά στρώματα (κατά μήκος ολόκληρης της γραμμής μελέτης Κ2), οι τιμές ευαισθησίας είναι πολύ υψηλές, οι οποίες μειώνονται καθώς αυξάνεται το βάθος.

Το αντίθετο όμως συμβαίνει για την αβεβαιότητα, οι τιμές της οποίας αυξάνονται καθώς αυξάνει το βάθος. Παρόμοια αποτελέσματα, ελαφρώς βελτιωμένα, παρατηρούνται και στο σχήμα 3.6, όπου παρουσιάζονται οι πίνακες ευαισθησίας και αβεβαιότητας που αντιστοιχούν στην γεωηλεκτρική τομή του σχήματος 3.4.

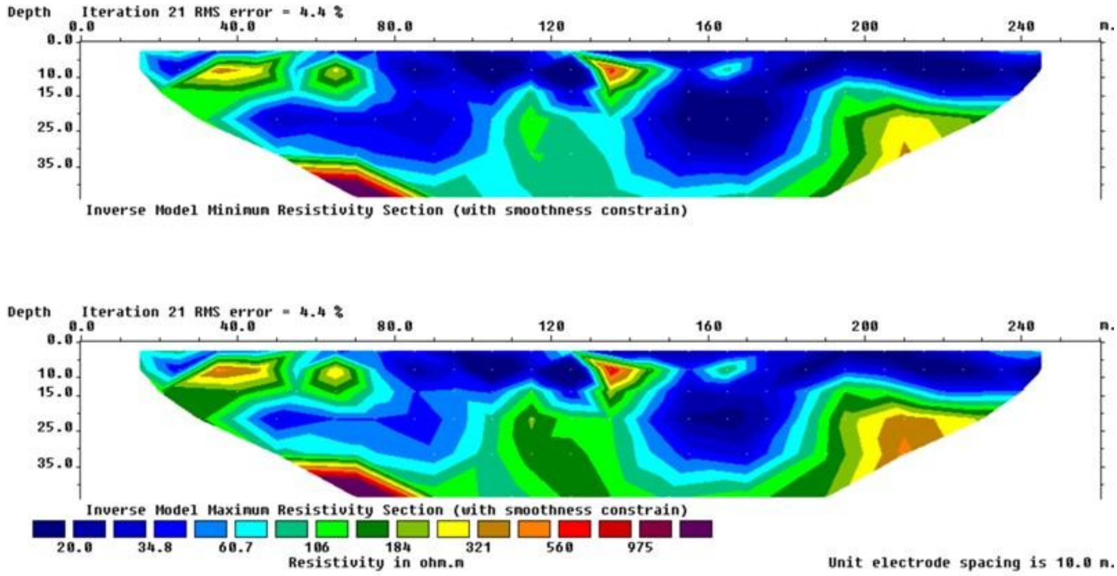


Σχήμα 3.5 : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για τη γραμμή μελέτης Κ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

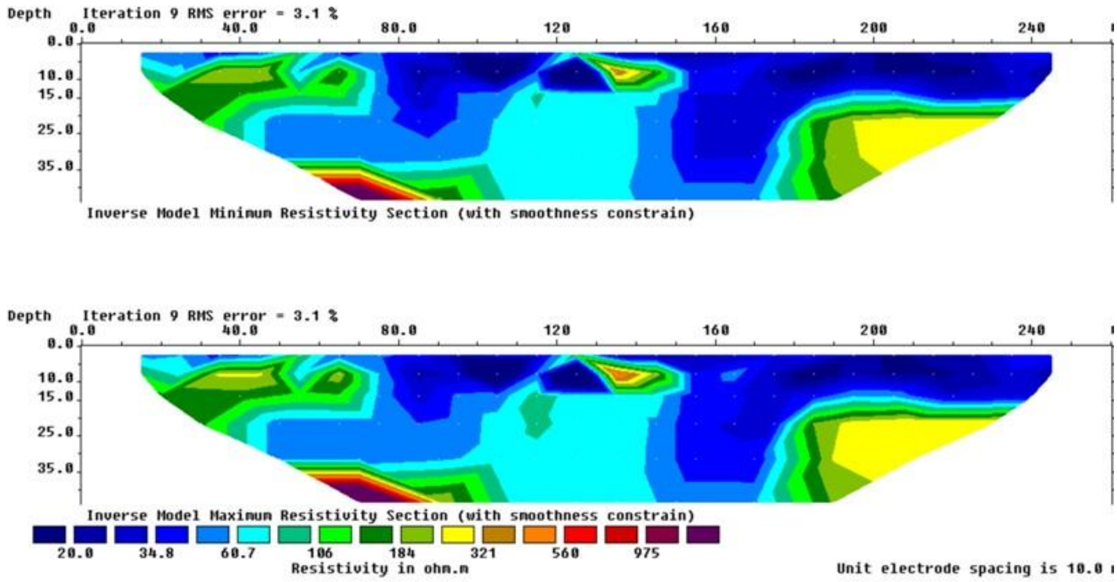


Σχήμα 3.6 : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για τη γραμμή μελέτης Κ2, με τη μέθοδο robust, και με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Μικρή διαφορά παρατηρείται ανάμεσα από τις μέγιστες και ελάχιστες πιθανές τιμές της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και για τις δύο μεθόδους επεξεργασίας (Σχήματα 3.7 και 3.8). Αυτό αποτελεί ένδειξη της καλής ποιότητας των δεδομένων, άρα και της μεγάλης αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.



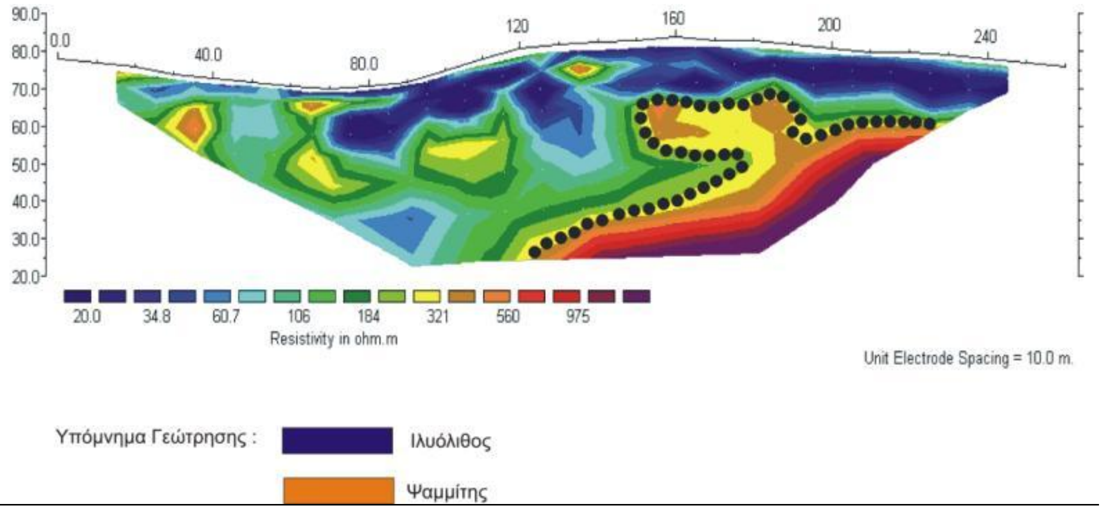
Σχήμα 3.7: Ελάχιστες τιμές (πάνω) και μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ2 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, και με τη διάταξη Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m) και ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος, επίσης σε μέτρα (m).



Σχήμα 3.8: Ελάχιστες τιμές (πάνω) και μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ2 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου robust, και με τη διάταξη Wenner – Schlumberger.

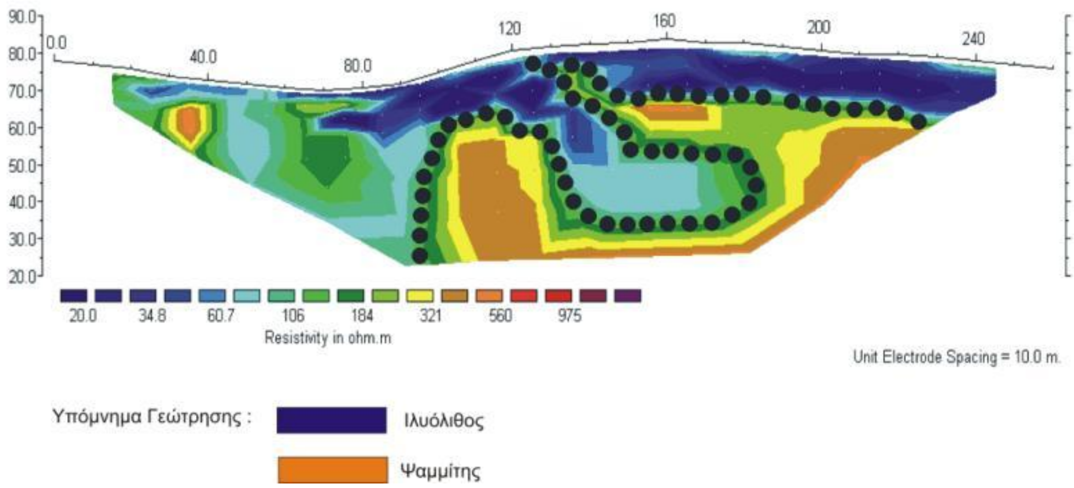
3.4.2 Διάταξη Διπόλου – Διπόλου:

Με τη διαχωριστική μαύρη γραμμή γίνεται ευκολότερος ο διαχωρισμός των γεωλογικών στρωμάτων. Παρατηρούνται τρία γεωηλεκτρικά στρώματα. Ένα επιφανειακό με χαμηλές τιμές της εδικής ηλεκτρικής αντίστασης (< 50 Ωm), ένα με ενδιάμεσες τιμές (50 – 200 Ωm) που κυριαρχεί κυρίως στο κέντρο της γραμμής μελέτης, και ένα τελευταίο με ψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (> 300 Ωm) κυρίως στο τέλος της γραμμής μελέτης.



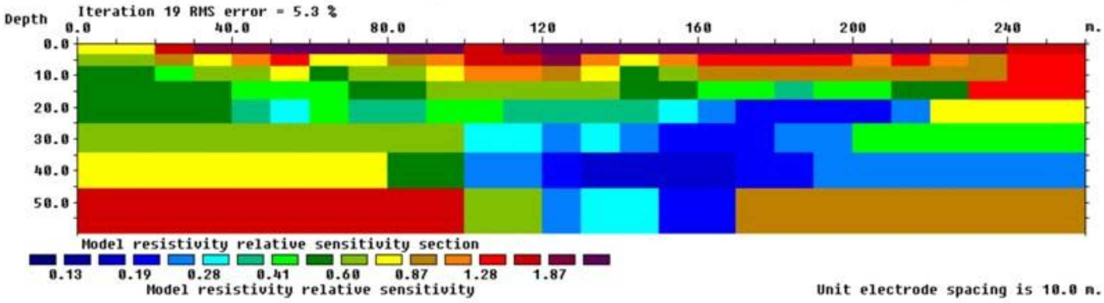
Σχήμα 3.9: Γραμμή μελέτης Κ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης διπόλου - διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

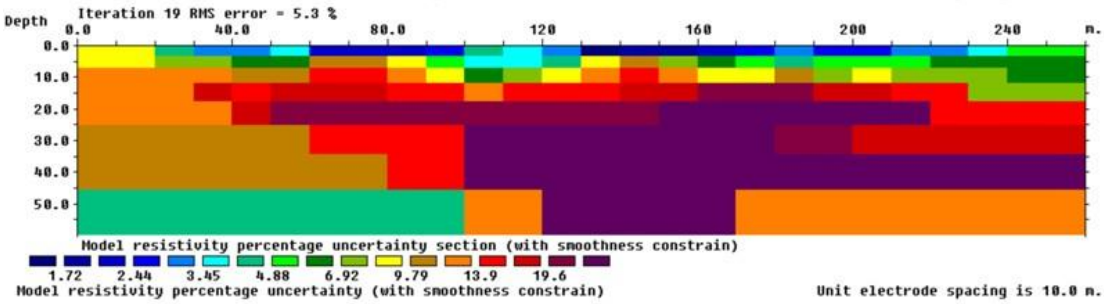
Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε αντιστροφή των ίδιων δεδομένων, αλλά αυτή τη φορά με την μέθοδο νόρμα L1 (Robust, Σχήμα 3.10).



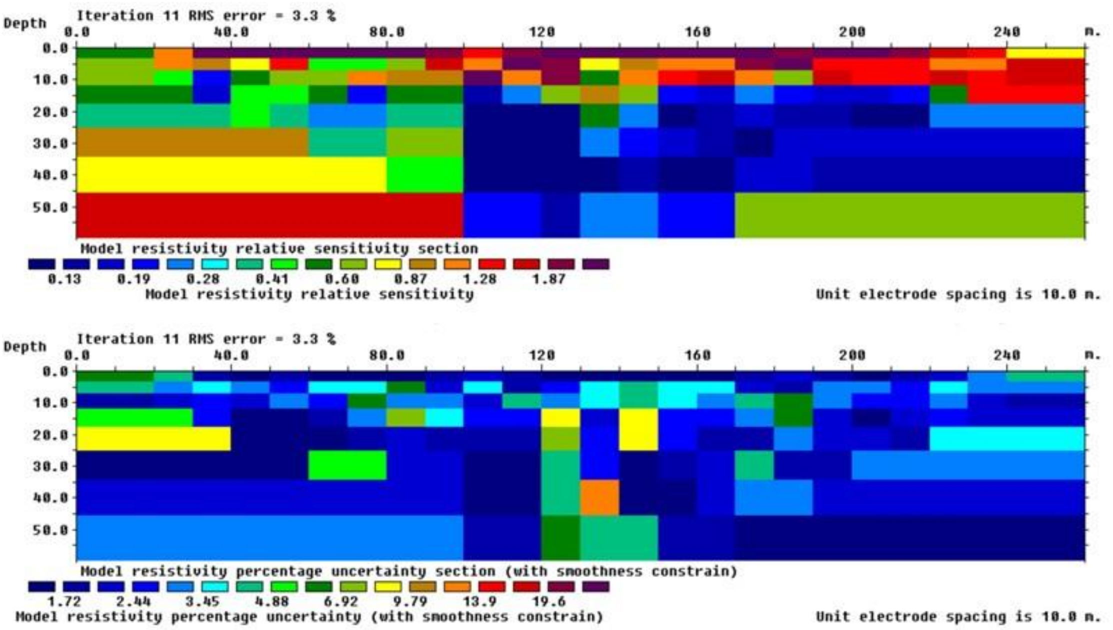
Σχήμα 3.10: Γραμμή μελέτης Κ2, με τη μέθοδο robust, και τη χρήση της διάταξης διπόλου διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Συγκριτικά με το σχήμα:3.9, παρατηρείται πως η διάταξη διπόλου – διπόλου, δίνει καλύτερη ανάλυση του υπεδάφους. Η διάταξη αυτή υπερτερεί της Wenner – Schlumberger στη περίπτωση των γεωλογικών ανωμαλιών. Όπως με τη διάταξη Wenner – Schlumberger έτσι και εδώ, παρατηρείται πως για τα επιφανειακά στρώματα (κατά μήκος ολόκληρης της γραμμής μελέτης K2), παρουσιάζονται υψηλές τιμές ευαισθησίας, οι οποίες μειώνονται καθώς αυξάνεται το βάθος. Το αντίθετο όμως συμβαίνει για την αβεβαιότητα, οι τιμές της οποίας αυξάνονται καθώς αυξάνει το βάθος.



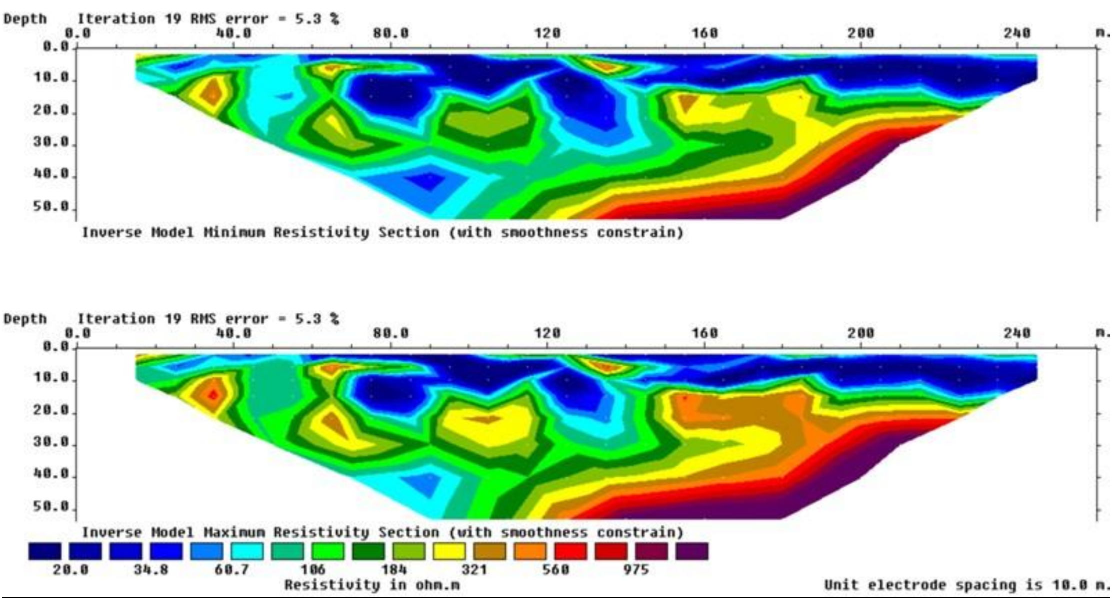


Σχήμα 3.11: Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για τη γραμμή μελέτης K2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, και με τη χρήση της διάταξης διπόλου διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

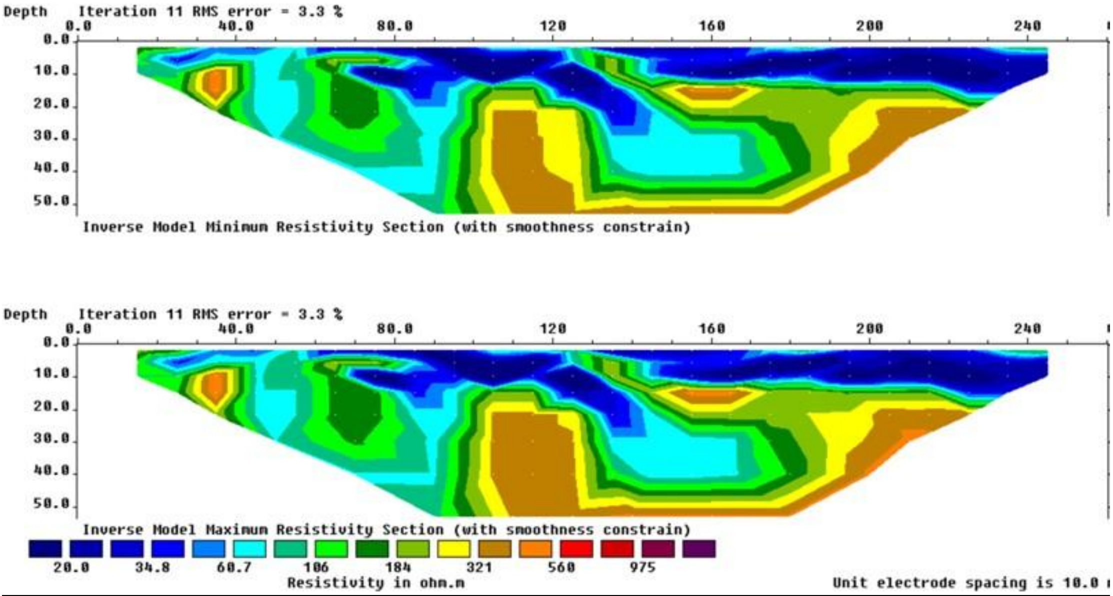


Σχήμα 3.12: Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για τη γραμμή μελέτης Κ2, με τη μέθοδο robust, και με τη χρήση της διάταξης διπόλου - διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Ανάμεσα από τις μέγιστες και ελάχιστες πιθανές τιμές της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και για τις δύο μεθόδους επεξεργασίας (Σχήματα 3.13 και 3.14), παρατηρείται πως η απόκλιση είναι μικρής τάξεως, η οποία αποτελεί ένδειξη καλής αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 3.13: Ελάχιστες τιμές (πάνω) και μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ2 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, και με τη διάταξη διπόλου - διπόλου.

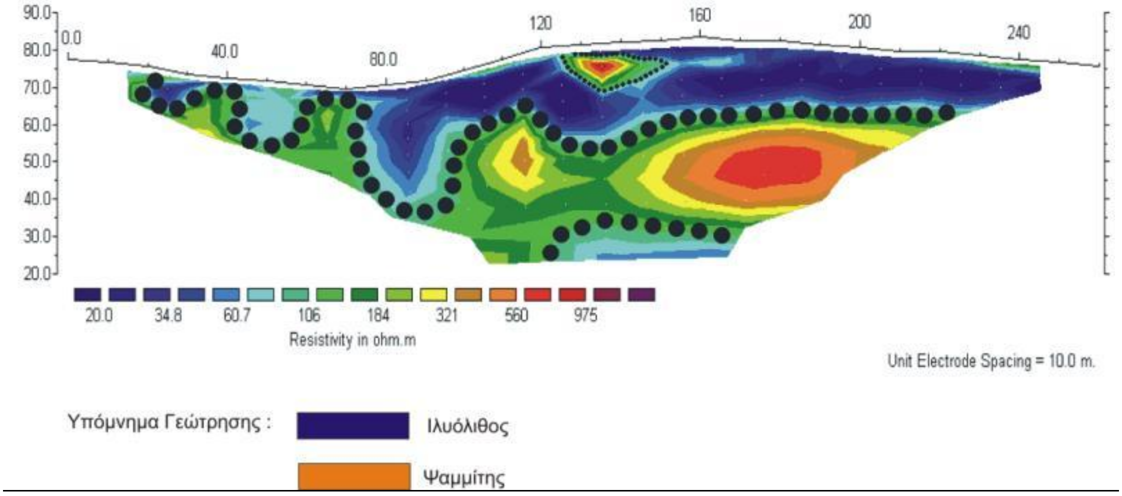


Σχήμα 3.14: Ελάχιστες τιμές (πάνω) και μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ2 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου robust, και με τη διάταξη διπόλου- διπόλου.

3.4.3 Συνδυασμός διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου – διπόλου:

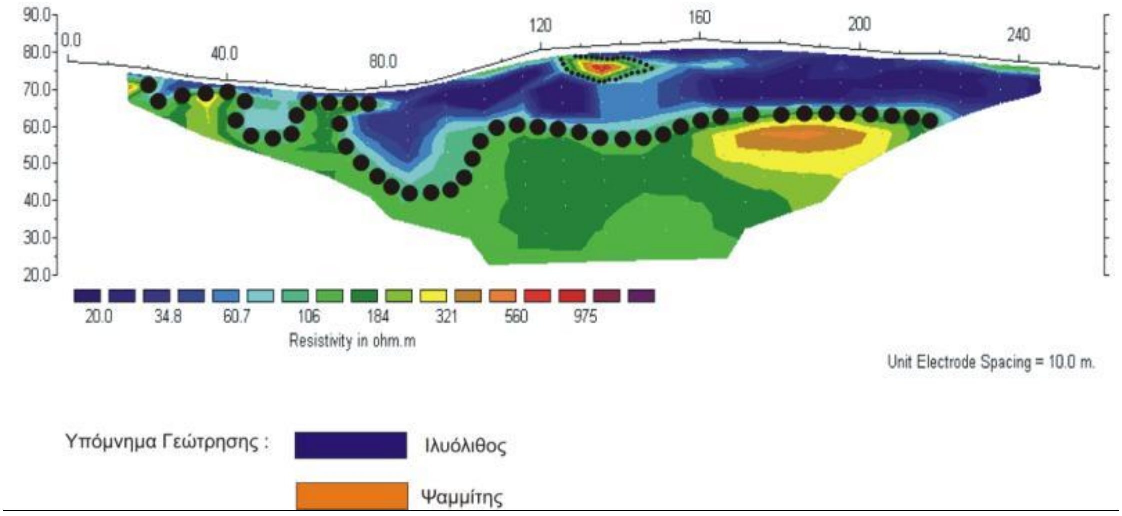
Στη συνέχεια φαίνονται οι γεωηλεκτρικές τομογραφίες των διατάξεων: Wenner – Schlumberger και διπόλου – διπόλου όπως αυτές έχουν συνδυαστεί (Combined) και επεξεργαστεί με: α) κανονικοποίηση με περιορισμούς εξομάλυνσης (σχήμα 3.15) και β) robust (σχήμα 3.16).

Ο συνδυασμός αυτός των δύο διατάξεων μας δίνει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα του υπεδάφους. Αυτό φαίνεται με τη διαχωριστική μαύρη γραμμή, που ξεχωρίζει τα γεωλογικά στρώματα σε ένα επιφανειακό στρώμα με χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (< 50 Ωm), ένα με ενδιάμεσες τιμές (50 – 200 Ωm) που κυριαρχεί κυρίως στο κέντρο της γραμμής μελέτης, και ένα τελευταίο με ψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (> 300 Ωm) κυρίως στο τέλος της γραμμής μελέτης.



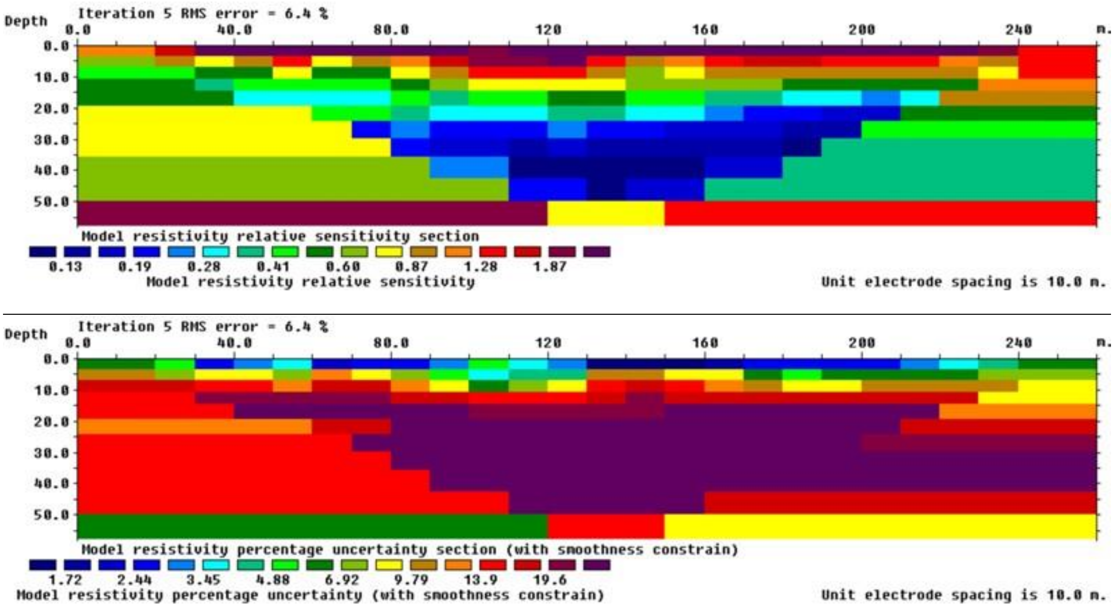
Σχήμα 3.15: Γραμμή μελέτης Κ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη συνδυασμένη χρήση των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου – διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε αντιστροφή των ίδιων δεδομένων, αλλά με την μέθοδο νόρμα L1 (Robust, Σχήμα 3.16). Δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων αντιστροφής, αν και οι τιμές της ενδιάμεσης γεωηλεκτρικής ζώνης φαίνεται να έχουν μικρότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης



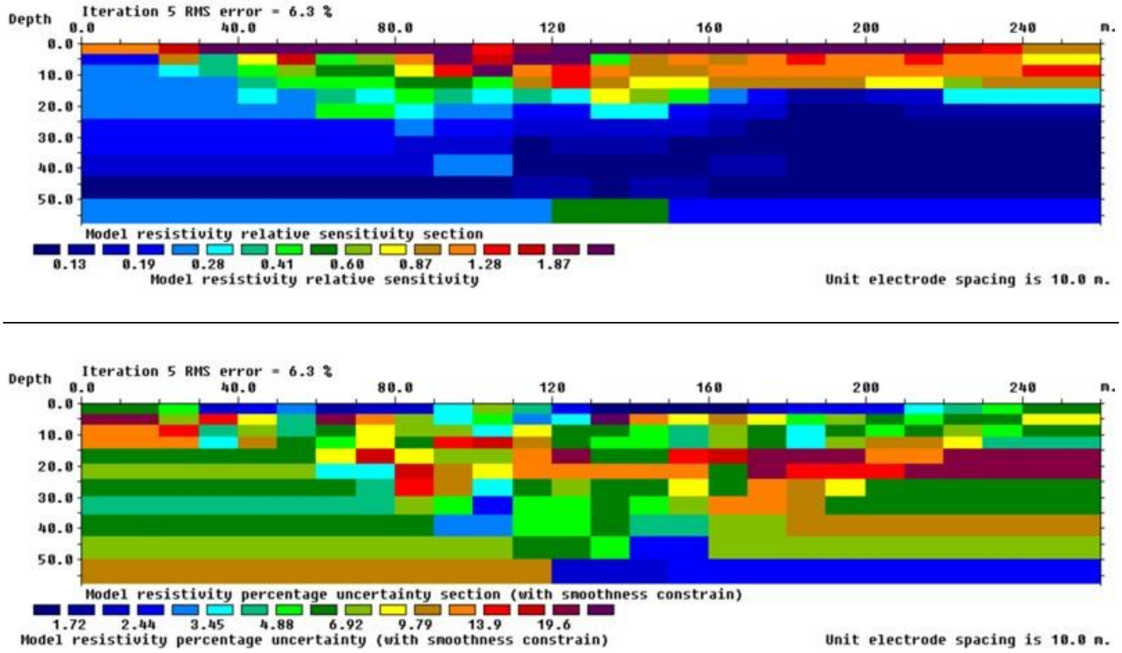
Σχήμα 3.16: Γραμμή μελέτης Κ2, με τη μέθοδο robust, και τη συνδυασμένη χρήση των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Στο σχήμα 3.17, παρατηρείται πως για τα επιφανειακά στρώματα (κατά μήκος ολόκληρης της γραμμής μελέτης Κ2), οι τιμές ευαισθησίας είναι πολύ υψηλές, οι οποίες μειώνονται καθώς αυξάνεται το βάθος. Το αντίθετο όμως συμβαίνει για την αβεβαιότητα, οι τιμές της οποίας αυξάνονται καθώς αυξάνει το βάθος.



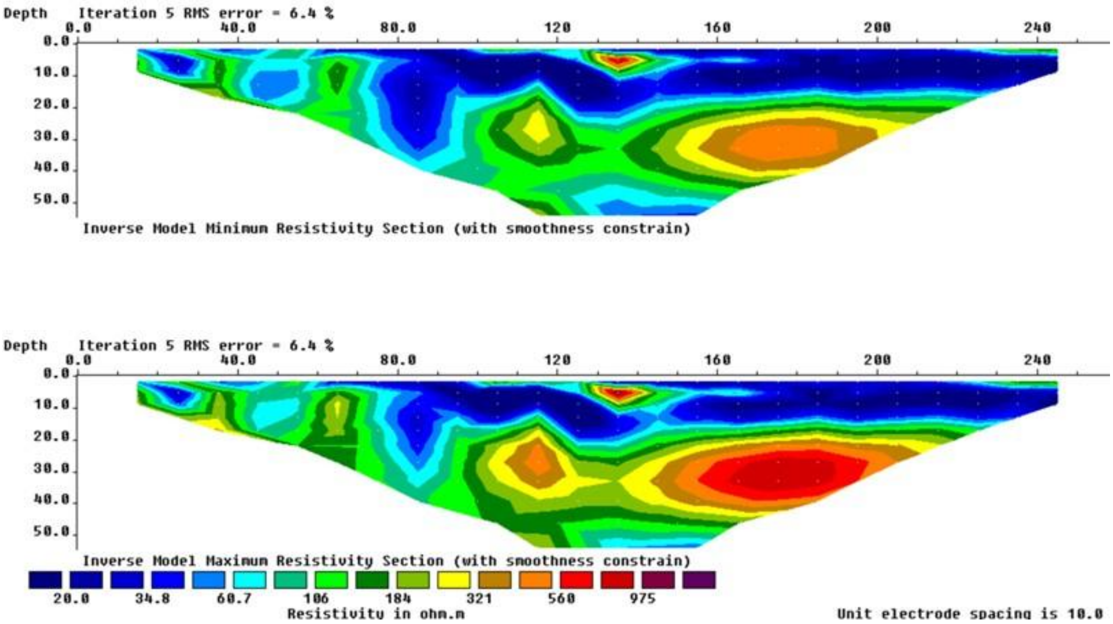
Σχήμα 3.17: Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) τη γραμμή μελέτης Κ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης , και με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Η διαφορά η οποία παρατηρείται με τη μέθοδο robust, είναι πως οι τιμές ευαισθησίας και αβεβαιότητας δεν είναι τόσο υψηλές όσο είναι με την μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης.

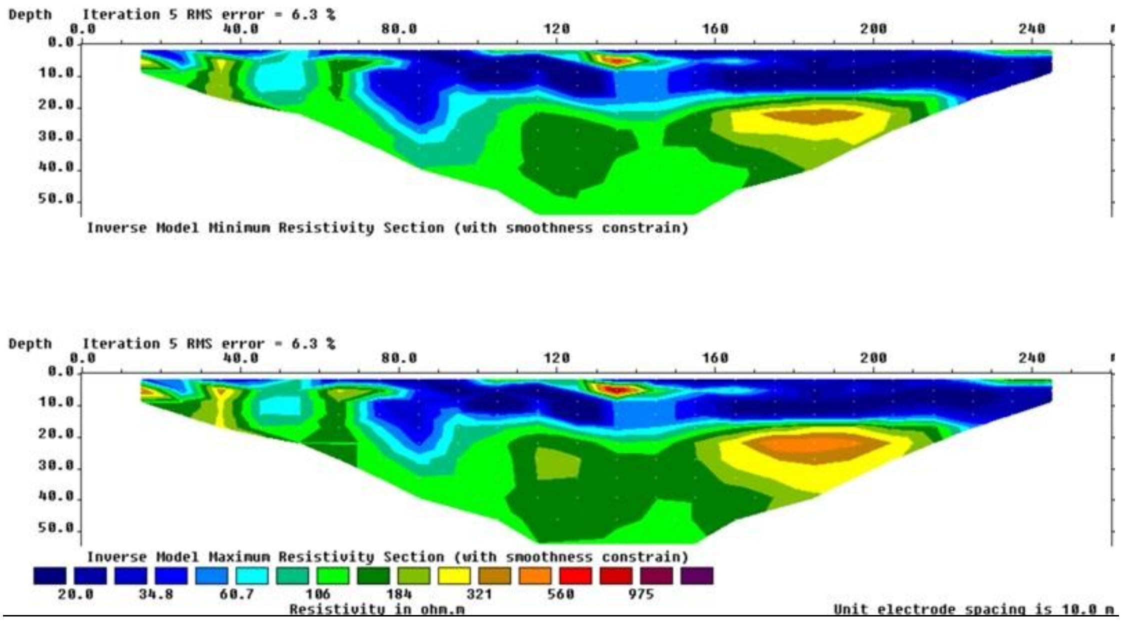


Σχήμα 3.18: Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για τη γραμμή μελέτης Κ2, με τη μέθοδο robust, και με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Συγκρίνοντας τις τομές, (σχήματα 3.19 και 3.20) παρατηρείται πως με τη μέθοδο robust, δεν έχουμε τόσο υψηλές τιμές όσο με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης.

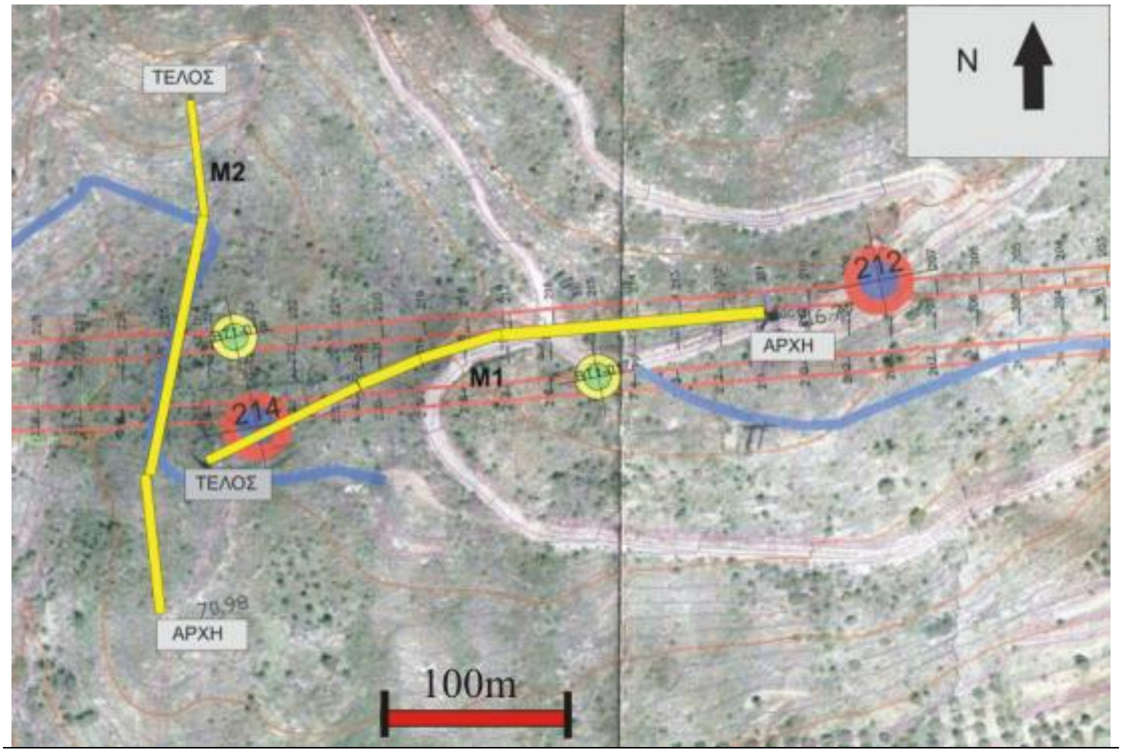


Σχήμα 3.19: Ελάχιστες τιμές (πάνω) και μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ2 στη περιοχή «Καλυδώνα» με τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, και με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου – διπόλου.



Σχήμα 3.20: Ελάχιστες τιμές (πάνω) και μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ2 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου robust, και με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου – διπόλου.

3.5 Παράδειγμα Επεξεργασίας Ηλεκτρικής Τομογραφίας (Γραμμές μελέτης Μ1 και Μ2 της περιοχής Μακύνεια).

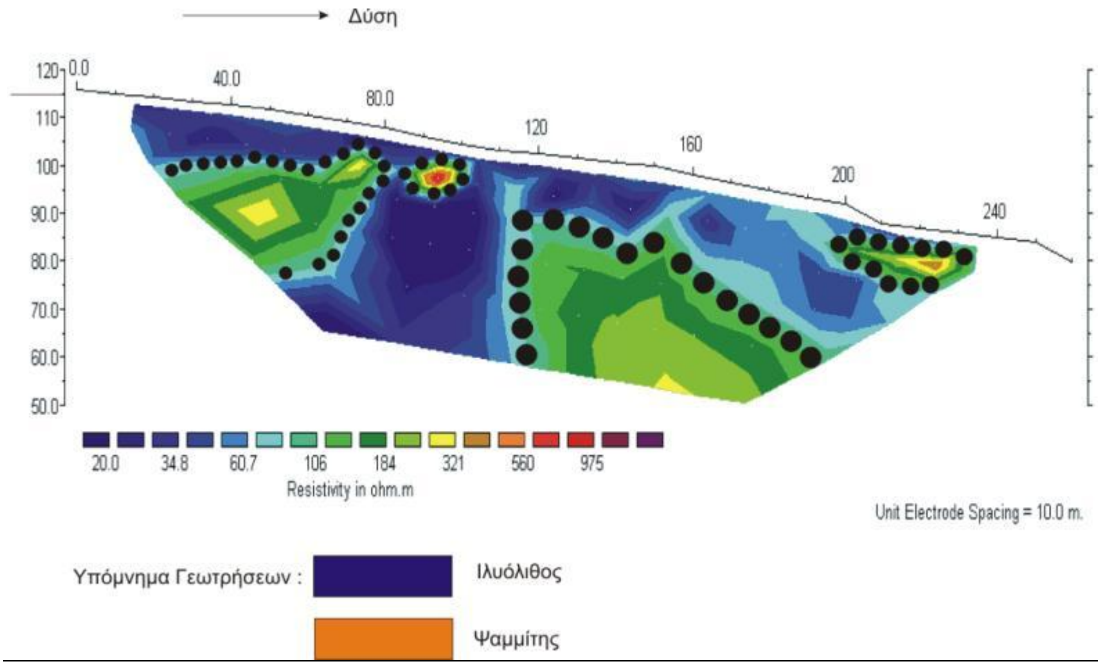


Σχήμα 3.21: Αεροφωτογραφία της περιοχής μελέτης στην οποία φαίνονται με έντονες κίτρινες γραμμές, οι γραμμές μελέτης Μ1 και Μ2, και τα σημεία 212 και 214 στα οποία έγιναν οι γεωτρήσεις.

Η περιοχή περιλαμβάνει δύο γραμμές μελέτης, συνολικού μήκους 520 m, στις οποίες εφαρμόστηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας. Διασκοπήθηκαν δύο γραμμές μελέτης (που σημειώνονται στο χάρτη με έντονη μαύρη γραμμή) Μ1 και Μ2. Η Μ1 είναι παράλληλη με τη σήραγγα και διασχίζει ένα μέρος της, ενώ η Μ2 είναι στο στόμιο εξόδου της. Λόγω απότομου τοπογραφικού ανάγλυφου δεν ήταν δυνατή η διασκόπηση στο στόμιο εισόδου της σήραγγας.

3.5.1 Διάταξη Wenner – Schlumberger για τη Γραμμή μελέτης Μ1.

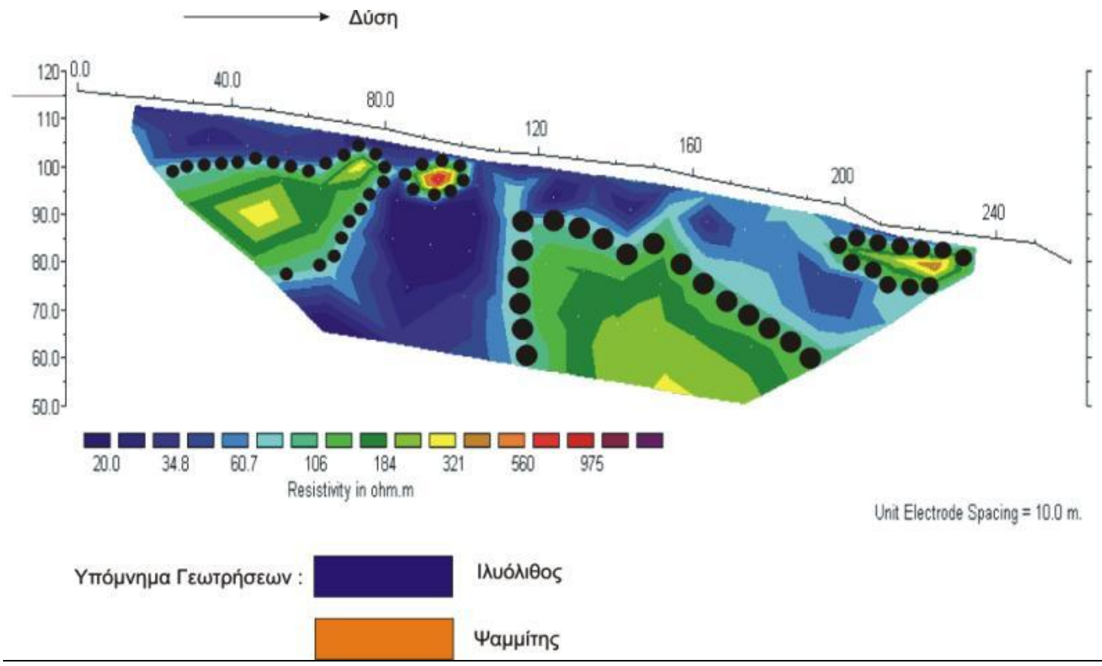
Στη συνέχεια φαίνονται οι γεωηλεκτρικές τομογραφίες των διατάξεων: Wenner – Schlumberger και διπόλου – διπόλου όπως αυτές έχουν συνδυαστεί (Combined) και επεξεργαστεί με: α) κανονικοποίηση με περιορισμούς εξομάλυνσης (σχήμα 3.22) και β) robust (σχήμα 3.23). Με τη μαύρη διαχωριστική γραμμή ξεχωρίζουν τα γεωλογικά στρώματα. Έτσι έχουμε ένα επιφανειακό στρώμα με χαμηλές τιμές της εδικής ηλεκτρικής αντίστασης (< 50 Ωm) που κυριαρχεί, ένα με ενδιάμεσες τιμές (50 – 200 Ωm) κυρίως στο κέντρο της γραμμής μελέτης, και ένα τελευταίο με ψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (> 300 Ωm).



Σχήμα 3.22: Γραμμή μελέτης Μ1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Όπως και στο σχήμα 3.22 με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, έτσι και εδώ με τη χρήση robust οι γεωτρήσεις μας δίνουν αντιπροσωπευτικό δείγμα το οποίο συμφωνεί με τη γεωηλεκτρική τομή.

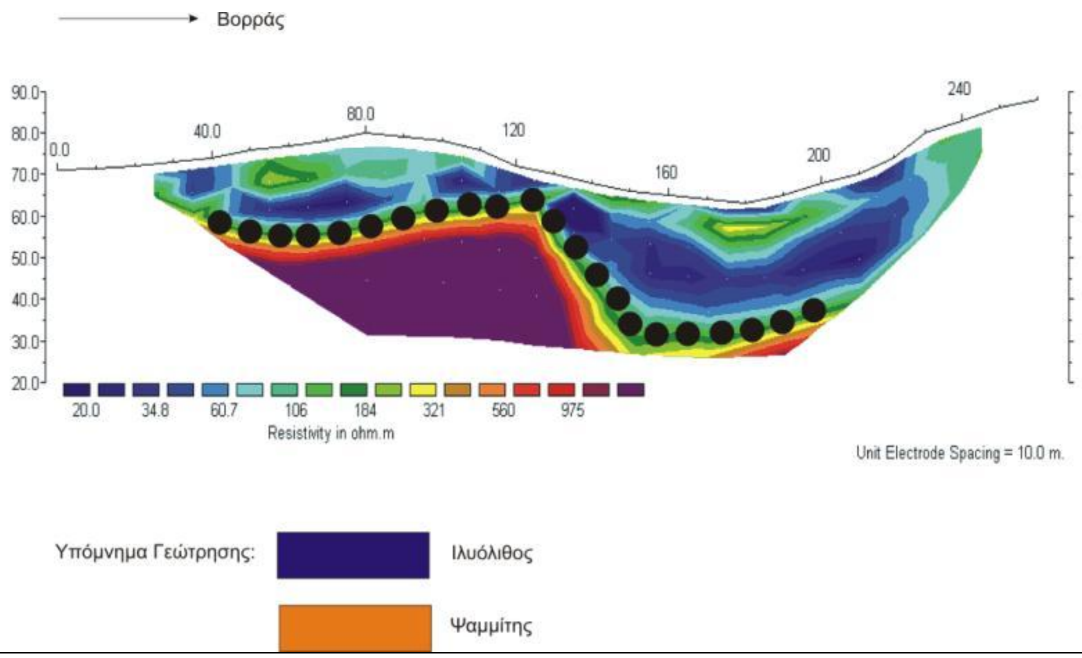
Με τη βοήθεια της διαχωριστικής γραμμής μπορούμε να ξεχωρίσουμε τον ιλυόλιθο με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 20 Ωm έως περίπου 60 Ωm και τον ψαμμίτη με τιμή από 184 Ωm έως περίπου 500 Ωm.



Σχήμα 3.23: Γραμμή μελέτης Μ1, με τη μέθοδο robust, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

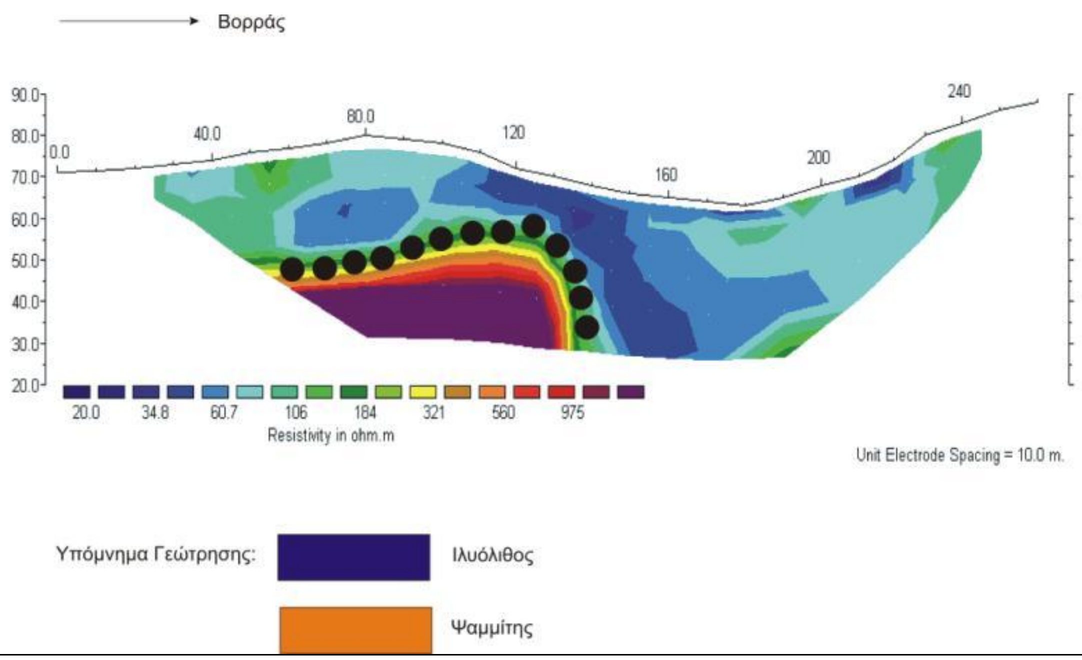
3.5.2 Διάταξη Wenner – Schlumberger για τη Γραμμή μελέτης Μ2.

Στο σχήμα 3.24 διακρίνονται με τη μαύρη διαχωριστική γραμμή τα γεωλογικά στρώματα της γραμμής μελέτης Μ2 στη περιοχή Μακύνεια. Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα με χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (από 20 Ωm έως και 200 Ωm) και ένα άλλο γεωλογικό στρώμα με υψηλότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, μεγαλύτερες των 975 Ωm. Αυτές οι τιμές μπορεί να οφείλονται και σε θόρυβο.



Σχήμα 3.24: Γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

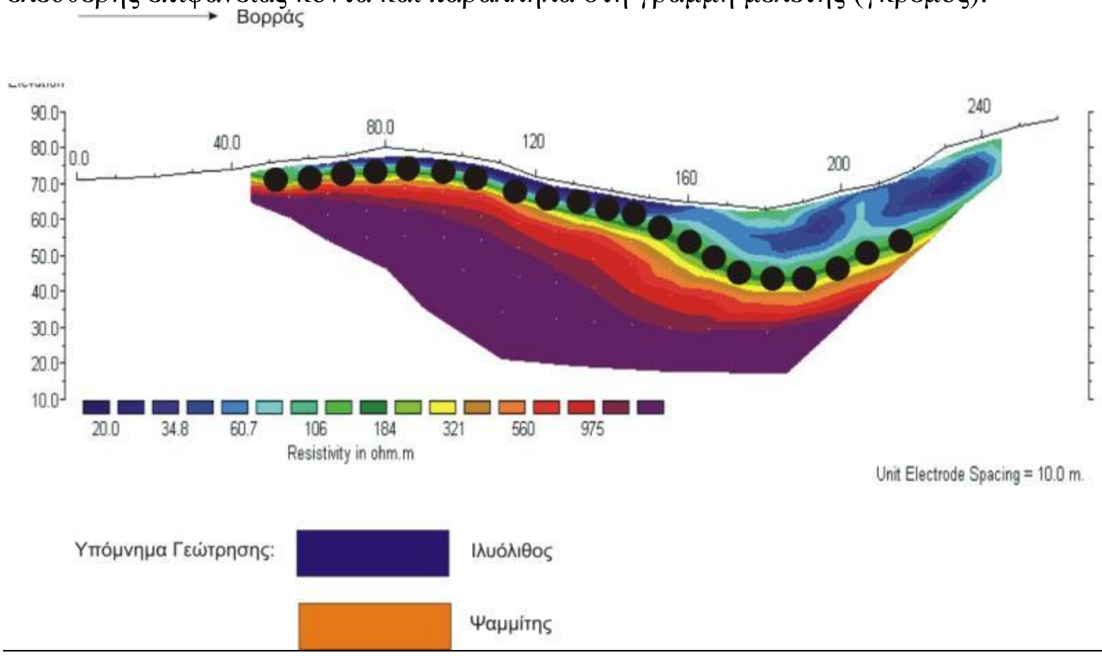
Στο σχήμα 3.25 παρατηρείται πως με τη μέθοδο robust οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι υψηλότερες από αυτές με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης.



Σχήμα 3.25: Γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο robust, και με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

3.5.3 Διάταξη Διπόλου – Διπόλου:

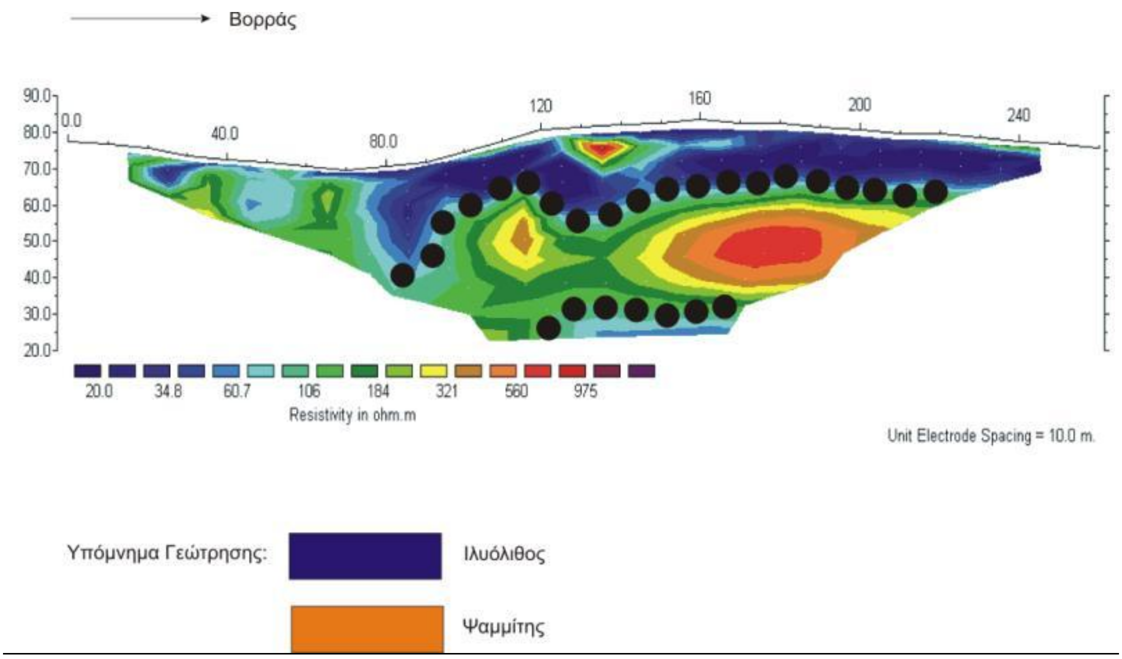
Με τη διάταξη διπόλου – διπόλου γίνεται ακόμα πιο σαφές πως η ύπαρξη υψηλών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες (όπως προαναφέρθηκε) και στη περίπτωση αυτή, με την ύπαρξη ελεύθερης επιφάνειας κοντά και παράλληλα στη γραμμή μελέτης (γκρεμός).



Σχήμα 3.26: Γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

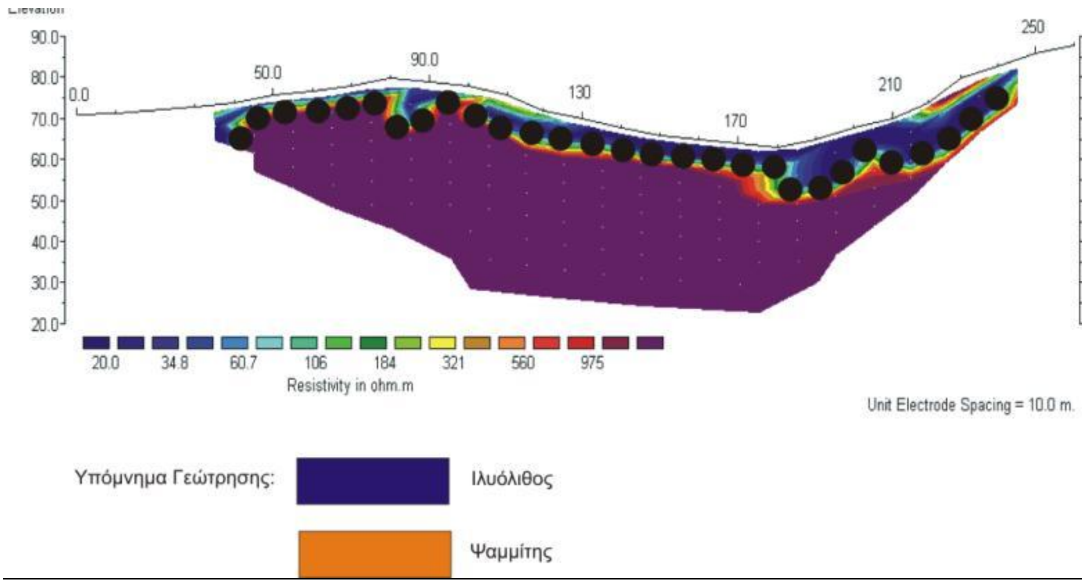
3.5.4 Συνδυασμός των διατάξεων Wenner – Schlumberger και Διπόλου – Διπόλου:

Ο συνδυασμός αυτός των δύο διατάξεων δίνει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα του υπεδάφους, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.27. Με τη διαχωριστική γραμμή γίνεται ευκολότερος ο διαχωρισμός των γεωλογικών στρωμάτων. Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα με χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 20 Ωm έως και 200 Ωm, και σε χαμηλότερο βάθος ένα άλλο γεωλογικό στρώμα με τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 200 Ωm έως και 1000 Ωm.



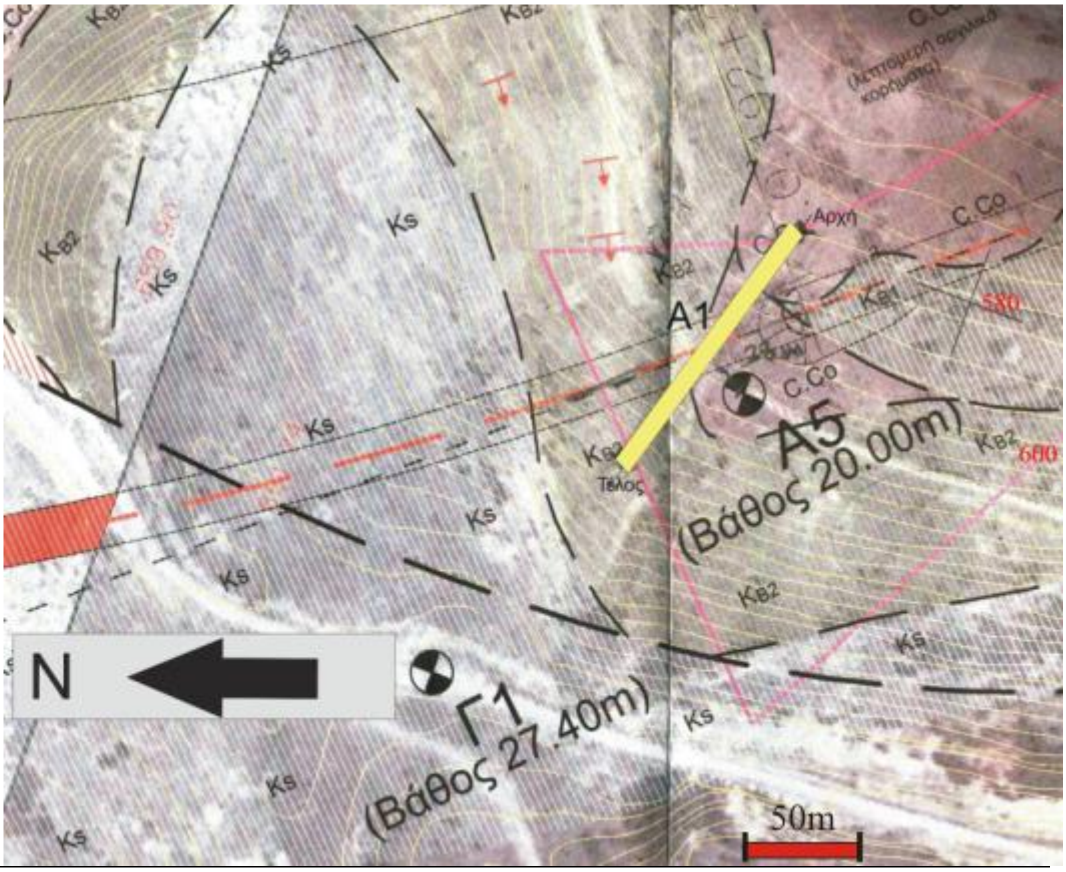
Σχήμα 3.27: Γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Ο συνδυασμός των διατάξεων και η χρήση της μεθόδου robust, επαληθεύει το γεγονός πως κοντά στη περιοχή μελέτης υπήρχε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό φαίνεται από τη γεωηλεκτρική τομογραφία του σχήματος 3.28 στην οποία παρατηρούνται πάρα πολύ υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ο οποίες καταλαμβάνουν τον μεγαλύτερο χώρο της περιοχής. Οι τιμές αυτές δεν είναι αξιόπιστες και δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη.



Σχήμα 3.28: γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο robust, με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

3.6 Παράδειγμα Επεξεργασίας Ηλεκτρικής Τομογραφίας (Γραμμής μελέτης Α1, της περιοχής Αμπελιά).

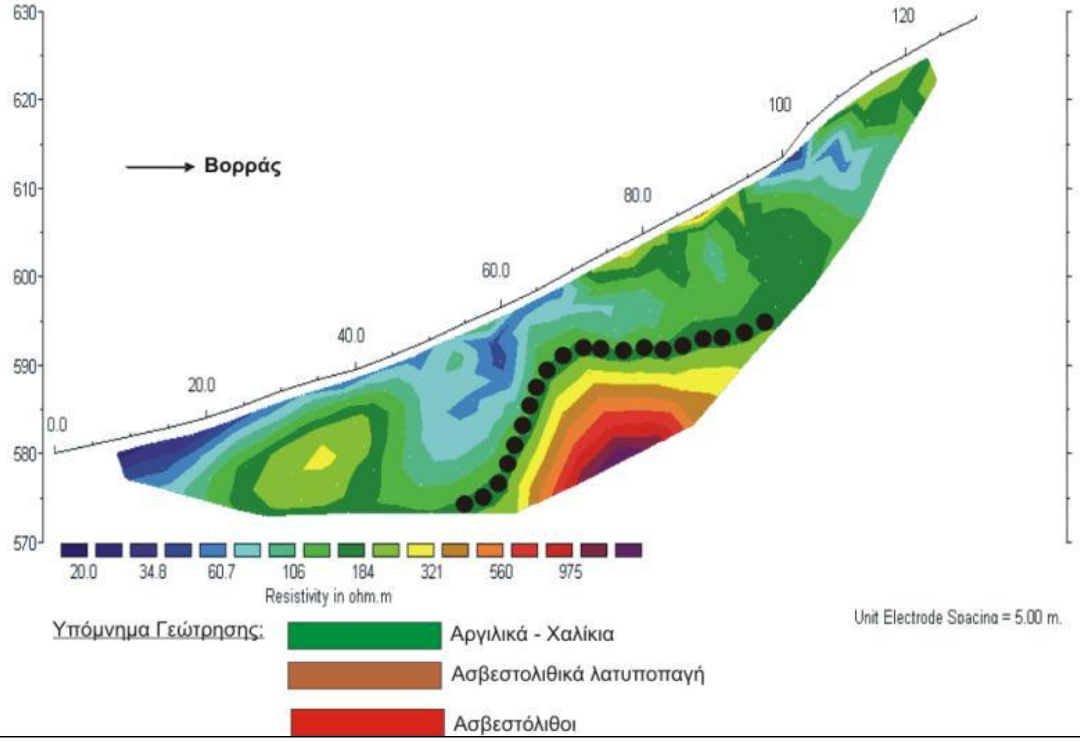


Σχήμα 3.29: Αεροφωτογραφία της περιοχής μελέτης «Αμπελιά» όπου φαίνονται οι ισοϋψείς (ισαπόσταση 4 m), η χάραξη της σήραγγας στη θέση «Αμπελιά» (στόμιο εισόδου με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) η γραμμή μελέτης Α1 (με έντονο κίτρινο χρώμα) και η γεώτρηση Α5.

Στη γραμμή μελέτης Α1, μήκους 130 m και διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, χρησιμοποιήθηκαν 27 ηλεκτρόδια με ισαπόσταση 5 m, τα οποία τοποθετήθηκαν με διεύθυνση εγκάρσια του δρόμου που οδηγεί στη γεώτρηση Α5. Η γεώτρηση Α5 διάτρησε 2 m αργίλους με χαλίκια, 6 m ασβεστολιθικών λατυπών και ασβεστόλιθους.

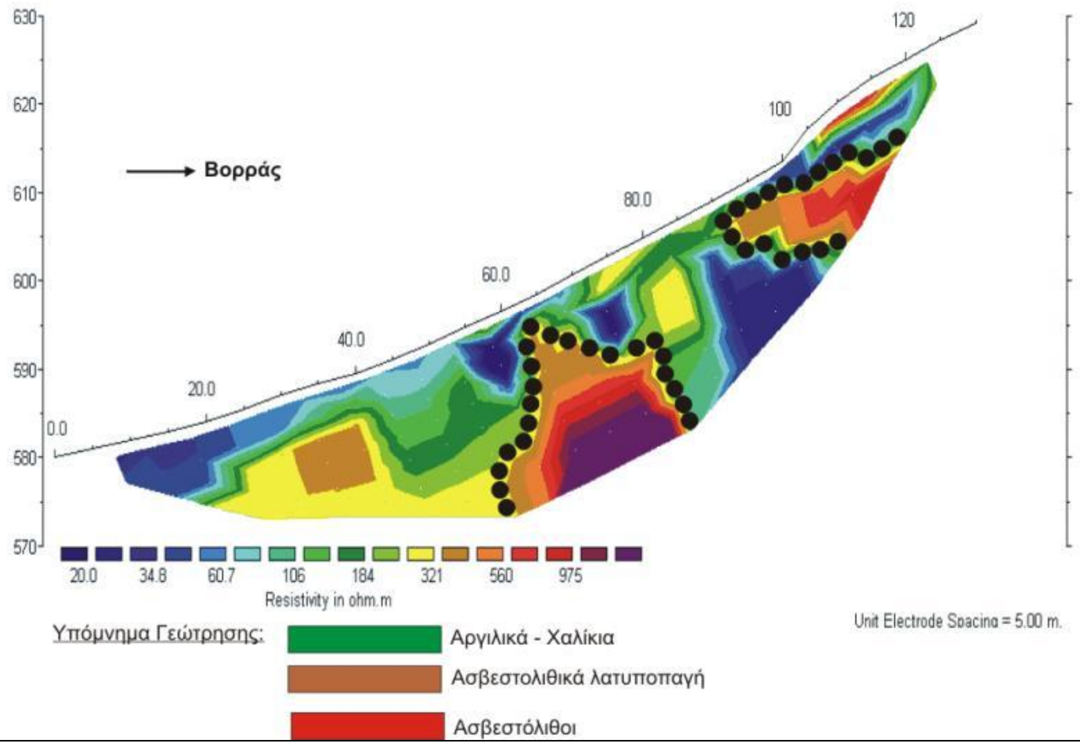
3.6.2 Διάταξη Wenner – Schlumberger:

Στο σχήμα 3.30 παρατηρούνται: ένα επιφανειακό στρώμα με χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 20 Ωm έως και 200 Ωm και ένα άλλο σε χαμηλότερο βάθος με υψηλότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 300 έως και 900 Ωm.



Σχήμα 3.30: Γραμμή μελέτης Α1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη διάταξη Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Με τη μέθοδο robust έχουμε πιο ευδιάκριτη εικόνα της περιοχής. Πραγματοποιείται αντιστροφή των ίδιων δεδομένων και οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εμφανίζονται υψηλότερες.



Σχήμα 3.31: Γραμμή μελέτης Α1, με τη μέθοδο robust, με τη διάταξη Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Η περιοχή μελέτης «Αμπελιά» έχει έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πως η υψομετρική διαφορά ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια, δεν πρέπει να ξεπερνά την μεταξύ τους απόσταση. Στη περίπτωση αυτή η υψομετρική διαφορά ήταν οριακά αποδεκτή.

Στη συνέχεια της διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζονται συνοπτικά τα τελικά μοντέλα από την αντιστροφή των δεδομένων για τις περιοχές:

- Γιάννενα – Αμπελιά (γραμμή μελέτης: Α1 και Α2)
- Μακύνεια (γραμμή μελέτης: Μ1 και Μ2)
- Καλυδώνα (γραμμή μελέτης: Κ1).

ΚΕΦΛΑΙΟ 4

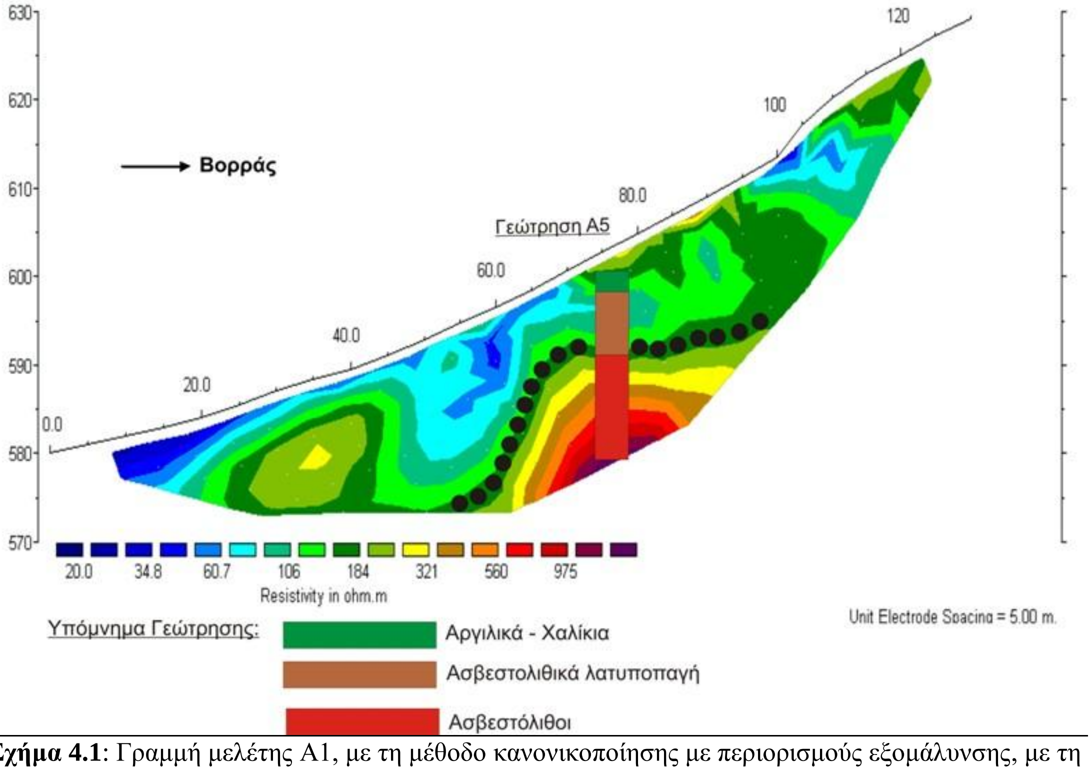
4.1 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1.1 Περιοχή Γιάννενα, «Αμπελιά».

Η γεωφυσική έρευνα είχε ως στόχο την απεικόνιση του υπεδάφους στα στόμια των σηράγγων της Ιόνιας Οδού και συγκεκριμένα στη θέση «Αμπελιά». Η απεικόνιση του υπεδάφους συμπεριλαμβάνει μη ορατά ρήγματα και γενικότερα δομές που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής σε σχέση με τα στόμια των εν λόγω σηράγγων. Έτσι με τις γεωφυσικές μεθόδους δίνονται πληροφορίες για την σε βάθος εμφάνιση των γεωλογικών σχηματισμών ανάμεσα στις υφιστάμενες γεωτρήσεις.

Στο σχήμα 4.1, φαίνεται η γραμμή μελέτης Α1 στη περιοχή «Αμπελιά», μήκους 130 m και διεύθυνσης περίπου ΒΔ–ΝΑ και αποτελείται από 24 κέντρα με ισαπόσταση 5 m, τα οποία τοποθετήθηκαν με διεύθυνση εγκάρσια του δρόμου που οδηγεί στη γεώτρηση Α5. Η γεώτρηση Α5 βρίσκεται δυτικά της γραμμής μελέτης σε απόσταση 28 m.

Σύμφωνα με τη γεώτρηση Α5, το επιφανειακό στρώμα με τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 30 – 70 Ωm αποδίδεται σε αργίλους με χαλίκια, το ενδιάμεσο στρώμα με τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από 150 – 200 Ωm, αποδίδεται σε ασβεστολιθικές λατύπες και το στρώμα με τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης πάνω από 250 Ωm σε ασβεστόλιθους. Κατά μήκος της γραμμής μελέτης Α1, το στόμιο της σήραγγας θα βρίσκεται κυρίως σε αργιλικά και λατύπες.

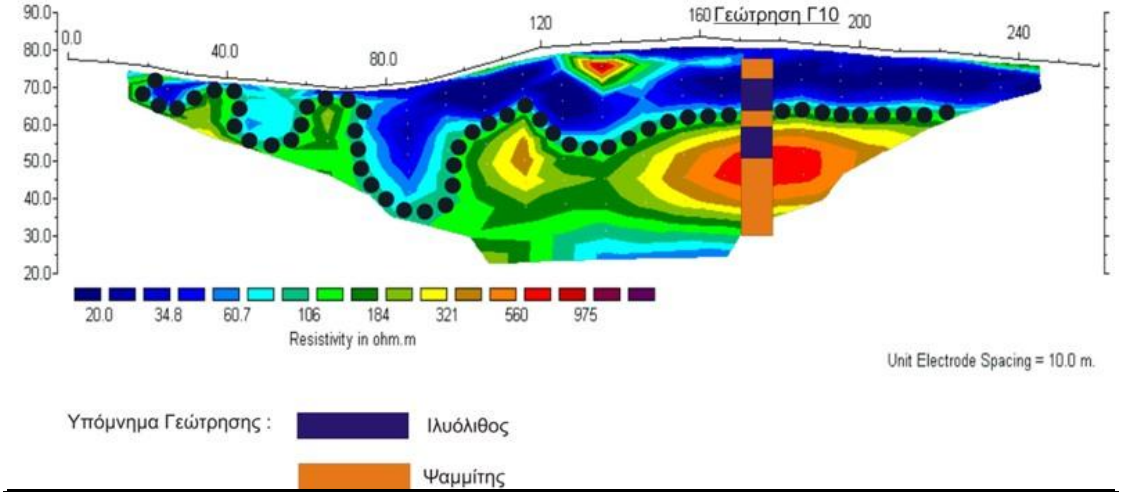


Σχήμα 4.1: Γραμμή μελέτης Α1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη διάταξη Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη της γεώτρησης Α5. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

4.1.2 Περιοχή Ευηνοχωρίου, «Καλυδώνα».

Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η γραμμή μελέτης Κ2 της περιοχής «Καλυδώνα» μήκους 260 m, διεύθυνσης περίπου ΒΔ–ΝΑ και αποτελείται από 27 κέντρα με ισαπόσταση 10 m.

Σύμφωνα με τις γεωτρήσεις, η γραμμή μελέτης Κ2 τέμνει σχεδόν κάθετα τη σήραγγα κοντά στο στόμιο της εισόδου. Στη περιοχή που υπάρχει η γεώτρηση Γ10 οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης οφείλονται σε ιλυόλιθους με λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη, ενώ οι υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κοντά στη γεώτρηση Γ10 οφείλονται σε ψαμμίτη



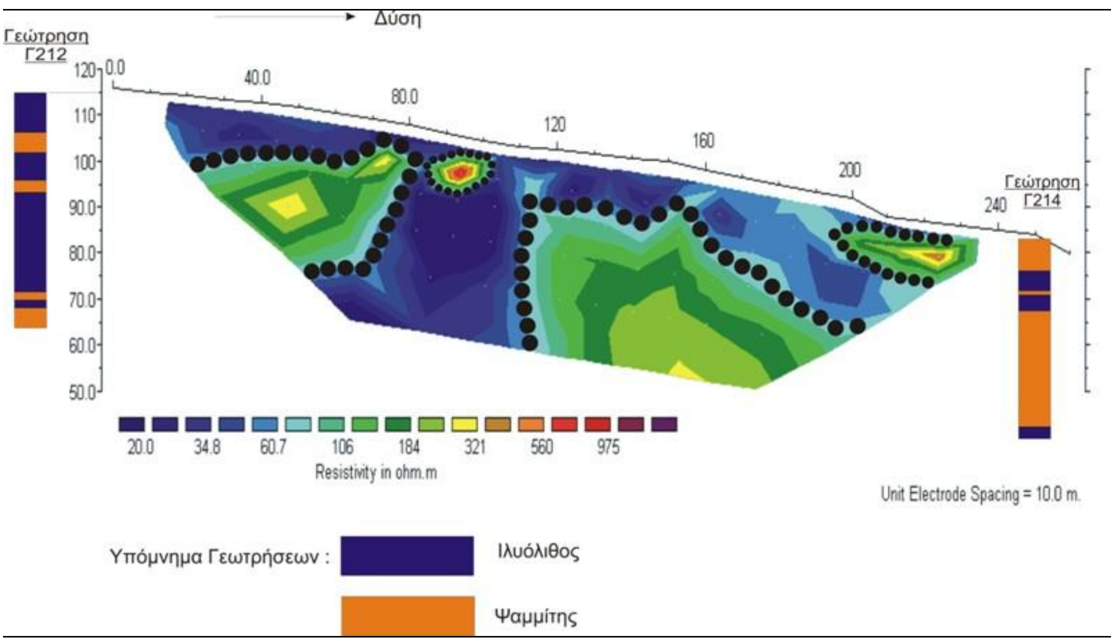
Σχήμα 4.2: Γραμμή μελέτης Κ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη συνδυασμένη χρήση των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη της γεώτρησης Γ10. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

4.1.3 Περιοχή Ευηνοχωρίου, «Μακύνεια».

Η απεικόνιση των σχηματισμών αυτών συντελεί στην αναγνώριση δομών που σχετίζονται με πιθανά ρήγματα, στη χαρτογράφηση της στρωματογραφίας και γενικότερα συγκεκριμένων περιοχών που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής σε σχέση με τα στόμια των εν λόγω σηράγγων. Έτσι με τις γεωφυσικές μεθόδους δίνονται πληροφορίες για την σε βάθος εμφάνιση των γεωλογικών σχηματισμών ανάμεσα στις υφιστάμενες γεωτρήσεις.

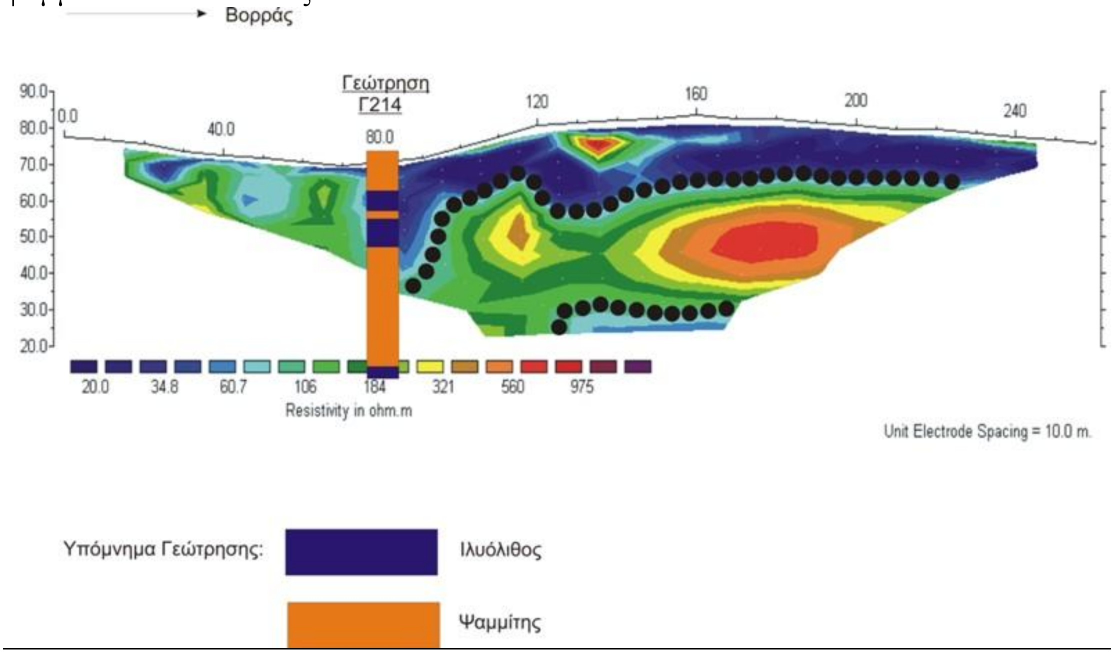
Στο σχήμα 4.3 φαίνεται η γραμμή μελέτης Μ1 μήκους 260 m, και διεύθυνσης περίπου Β–Δ. Αποτελείται από 24 κέντρα με ισαπόσταση 10 m.

Στη γεωηλεκτρική τομή Μ1, κοντά στη γεώτρηση 212, οι χαμηλές και οι ενδιάμεσες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδονται σε ιλιόλιθους. Οι σχετικά υψηλότερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, κοντά στη γεώτρηση 214, αποδίδονται σε ψαμμίτες. Σύμφωνα με τις γεωτρήσεις οι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι εναλλαγές ιλυόλιθων και ψαμμιτών. Κοντά στη γραμμή μελέτης Μ1 είναι πιθανή η ύπαρξη ρήγματος ή ασυνέχειας ή επαφής.



Σχήμα 4.3: Γραμμή μελέτης Μ1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη των γεωτρήσεων: Γ12 και Γ14. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

Στο σχήμα 4.4 φαίνεται η γραμμή μελέτης Μ2 η οποία είναι σχεδόν κάθετη με την Μ1. Παρατηρείται μετάβαση υψηλών τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε χαμηλότερες από νότο προς βορρά, που αποδίδεται κατά αντιστοιχία σε μετάβαση ψαμμιτών σε ιλιόλιθους.



Σχήμα 4.4: Γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη της γεώτρησης Γ214. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

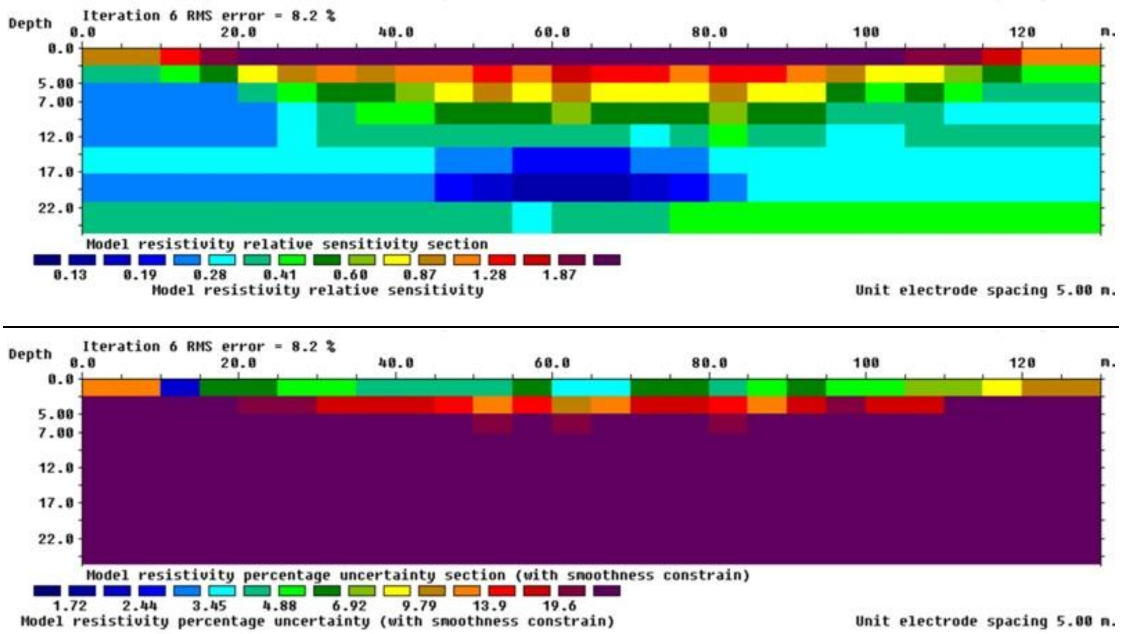
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ :

Η διπλωματική εργασία αυτή, είχε ως στόχο της την απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας κατά μήκος της Ιόνιας Οδού και πιο συγκεκριμένα στις περιοχές «Μακύνεια», «Καλυδώνα» και «Αμπελιά».
Η απεικόνιση αυτή έγινε με τις διατάξεις Wenner – Schlumberger, διπόλου - διπόλου και του συνδυασμού των δύο προαναφερθέντων διατάξεων. Ο συνδυασμός των διατάξεων αυτών, αποσκοπεί στην καλύτερη απεικόνιση των γεωλογικών σχηματισμών αφού η διάταξη Wenner – Schlumberger δίνει καλύτερα αποτελέσματα στην κατακόρυφη διάσταση, δηλαδή δίνει λεπτομερή ανάλυση της ειδικής αντίστασης σε βάθος, σε αντίθεση με τη διάταξη διπόλου – διπόλου, η οποία υπερτερεί των άλλων διατάξεων στην περίπτωση των γεωλογικών ανωμαλιών.
Έτσι ο συνδυασμός αυτών των δύο διατάξεων, μας δίνει μια καλύτερη συνολική εικόνα της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο σύνολο των στρωμάτων του υπεδάφους.
Όπως φαίνεται στο Κεφάλαιο 3, όπου γίνεται ανάλυση των γεωηλεκτρικών τομών της περιοχής μελέτης: «Καλυδώνα» και στη γραμμή μελέτης: Κ2, έχουμε εφαρμόσει και τις δύο διατάξεις αλλά και τον συνδυασμό αυτών, και η απεικόνιση ήταν σαφώς καλύτερη και διαφωτιστικότερη σε σχέση με τις άλλες γραμμές μελέτης στις άλλες περιοχές.
Για την περιοχή: «Γιάννενα – Αμπελιά», το επιφανειακό στρώμα με χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδεται σε αργίλους με χαλίκια, το ενδιάμεσο στρώμα με ενδιάμεσες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδεται σε ασβεστολιθικές λατύπες, ενώ το στρώμα με τις υψηλότερες τιμές σε ασβεστόλιθους. Προτείνεται η δημιουργία γεωλογικής μηκοτομής, βάσει των γεωφυσικών όσο και των διατρητικών στοιχείων, όπως επίσης έρευνα στα άλλα δύο στόμια τα οποία δεν διασκοπήθηκαν. Επίσης προτείνεται να εξεταστεί το ενδεχόμενο σχεδιασμού νέων γραμμών μελέτης και στις δύο σήραγγες, οι οποίες πιθανόν να διασχίζουν εγκάρσια την διεύθυνση των σηράγγων.
Για την περιοχή: «Καλυδώνα», η γραμμή μελέτης Κ1 διασχίζει τμήμα της σήραγγας. Σε αυτή τη γεωηλεκτρική τομή κυριαρχεί ο σχηματισμός των ψαμμιτών με κάποιες παρεμβολές ιλυολίθων. Επίσης στη γραμμή μελέτης Κ2 και στη περιοχή όπου υπάρχει η γεώτρηση Γ10 οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αποδίδονται σε ιλυόλιθους με λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη, ενώ οι σχετικά υψηλότερες τιμές αποδίδονται σε ψαμμίτη. Προτείνεται η δημιουργία γεωλογικής μηκοτομής και περαιτέρω έρευνα στο στόμιο εξόδου.
Για την περιοχή: «Μακύνεια», η γραμμή μελέτης Μ1 διασχίζει μέρος της σήραγγας ενώ οι γεωλογικοί σχηματισμοί σύμφωνα με τις γεωτρήσεις είναι εναλλαγές ιλυόλιθων και ψαμμιτών. Στη γραμμή μελέτης Μ2 η οποία είναι κάθετη με τη γραμμή μελέτης Μ1 παρατηρείται μετάβαση υψηλών τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που αποδίδεται κατά αντιστοιχία σε μετάβαση ψαμμιτών σε ιλυόλιθους. Προτείνεται η δημιουργία γεωλογικής μηκοτομής, βάσει των γεωφυσικών όσο και των διατρητικών στοιχείων, όπως επίσης έρευνα στο στόμιο εισόδου όταν αυτό καταστεί προσβάσιμο μετά από διανοίξεις, με σκοπό την διάτρηση των σχηματισμών.

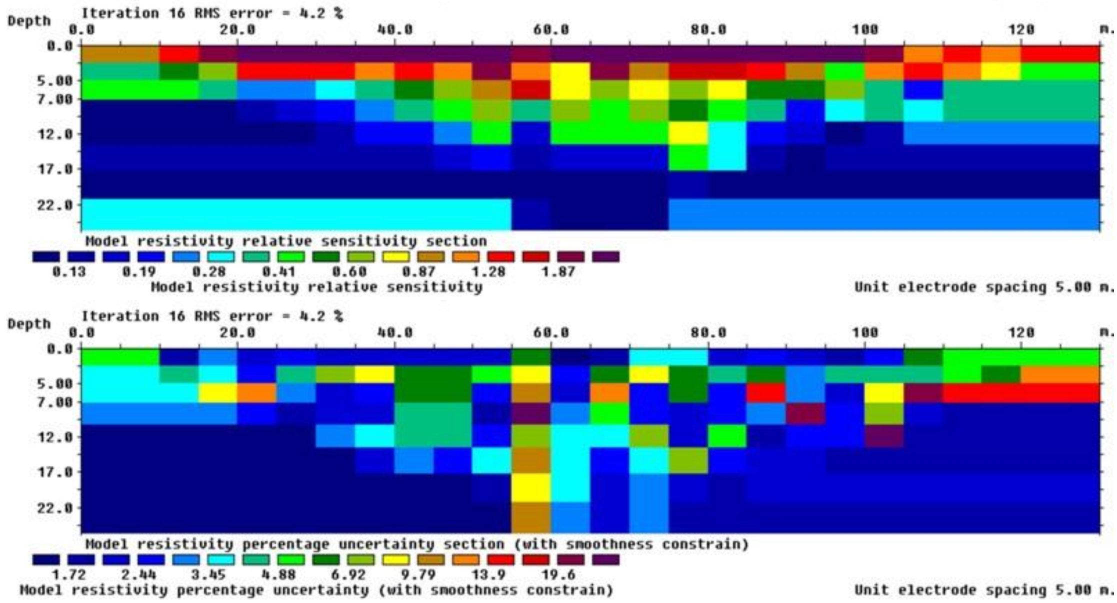
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

4.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: «ΓΙΑΝΝΕΝΑ-ΑΜΠΕΛΙΑ» (ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: Α1):

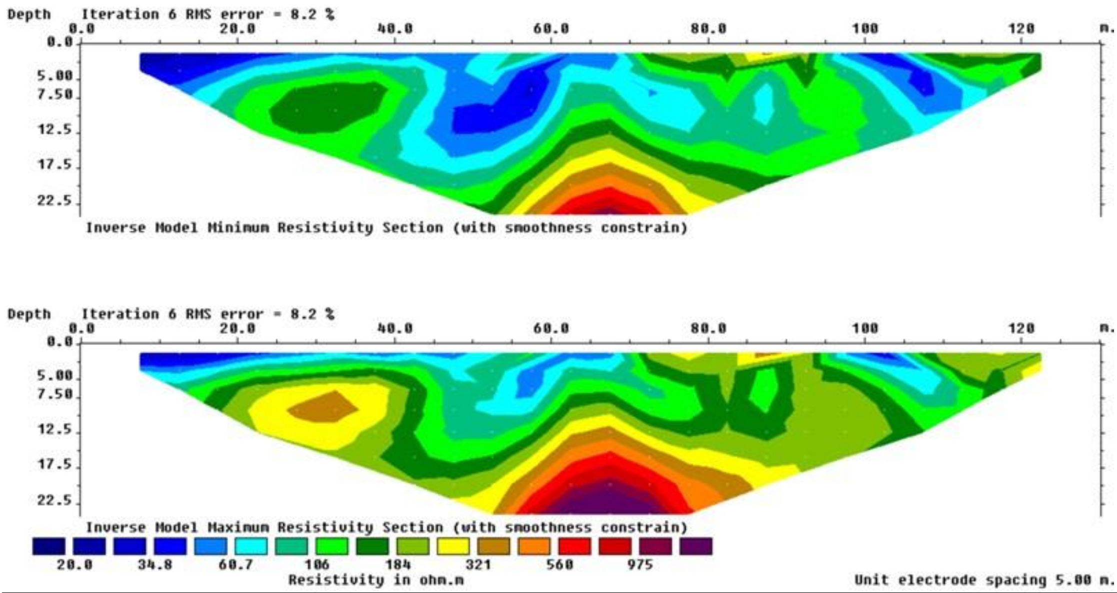
4.1.1 Διάταξη Wenner – Schlumberger:



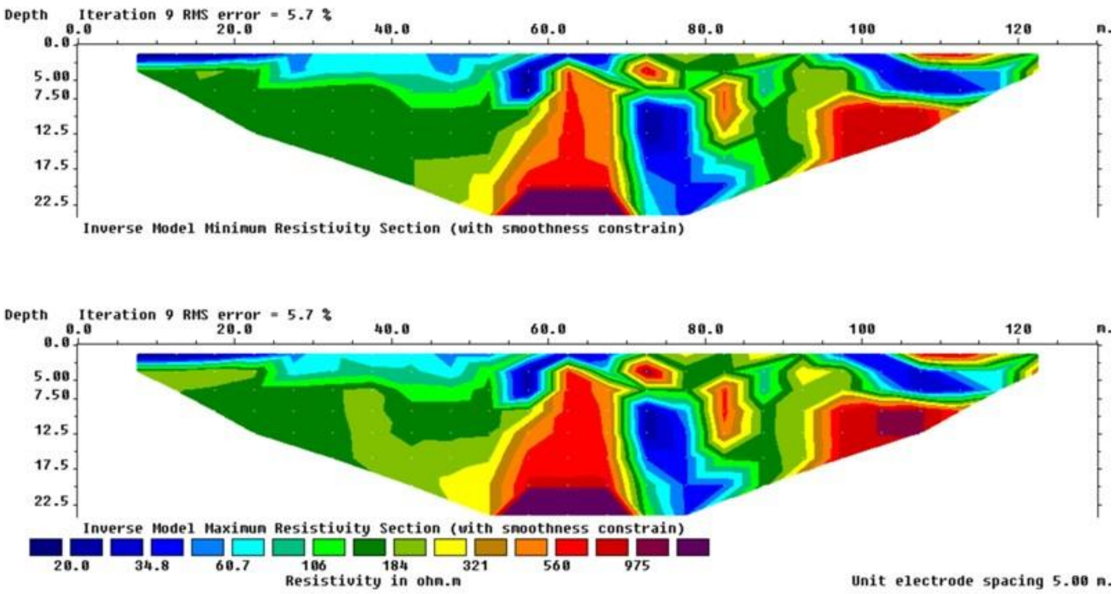
Σχήμα 4.1.1α : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Α1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



Σχήμα 4.1.1β : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης A1, με τη μέθοδο robust , με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



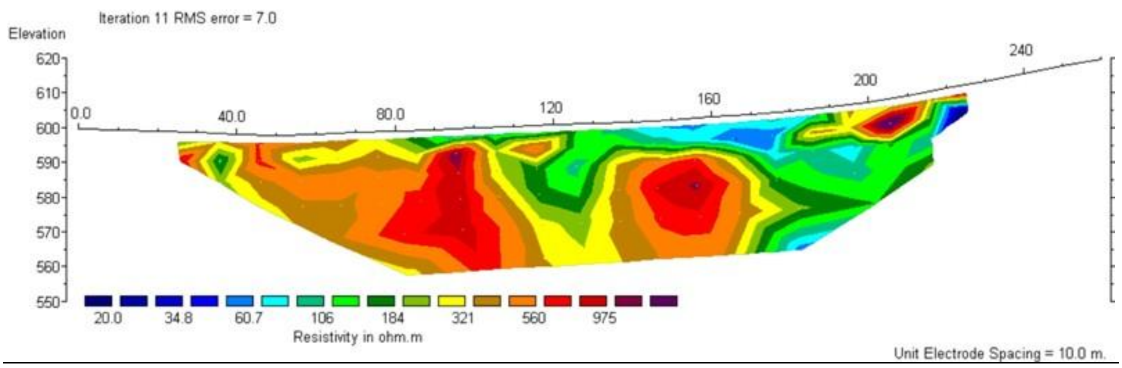
Σχήμα 4.1.1γ: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης A1 στη περιοχή «Αμπελιά» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, και με τη διάταξη Wenner – Schlumberger.



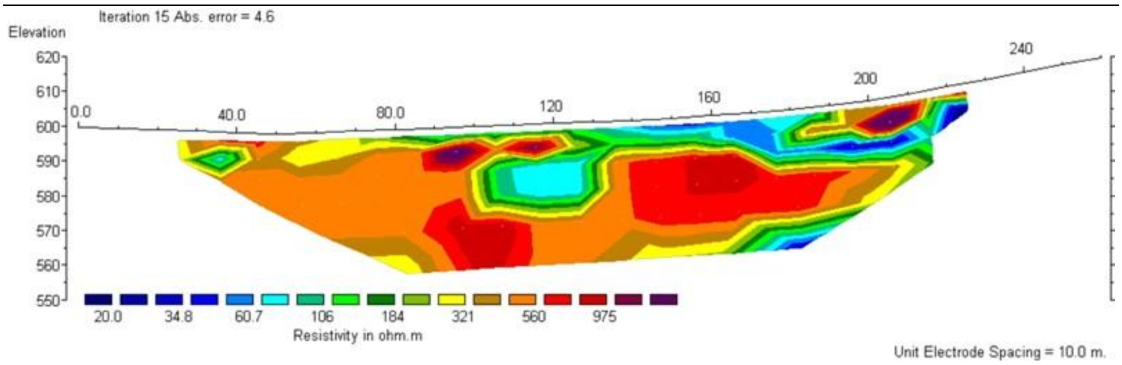
Σχήμα 4.1.1δ: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Α1 στη περιοχή «Αμπελιά» και τη χρήση της μεθόδου robust, και με τη διάταξη Wenner – Schlumberger.

4.2 ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: «ΓΙΑΝΝΕΝΑ-ΑΜΠΕΛΙΑ» (ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: Α2):

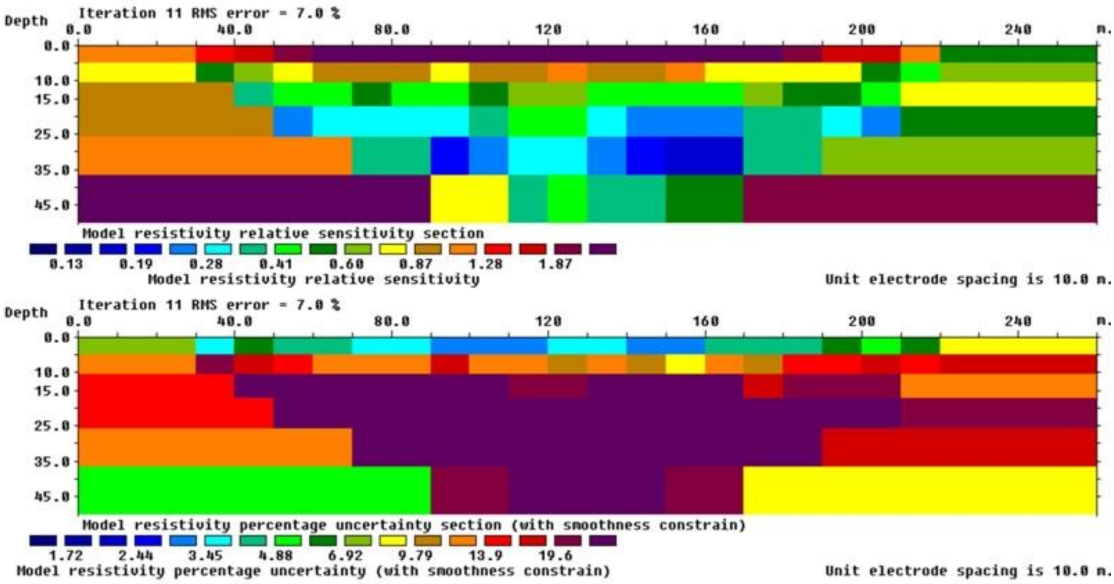
4.2.1 Διάταξη Wenner – Schlumberger:



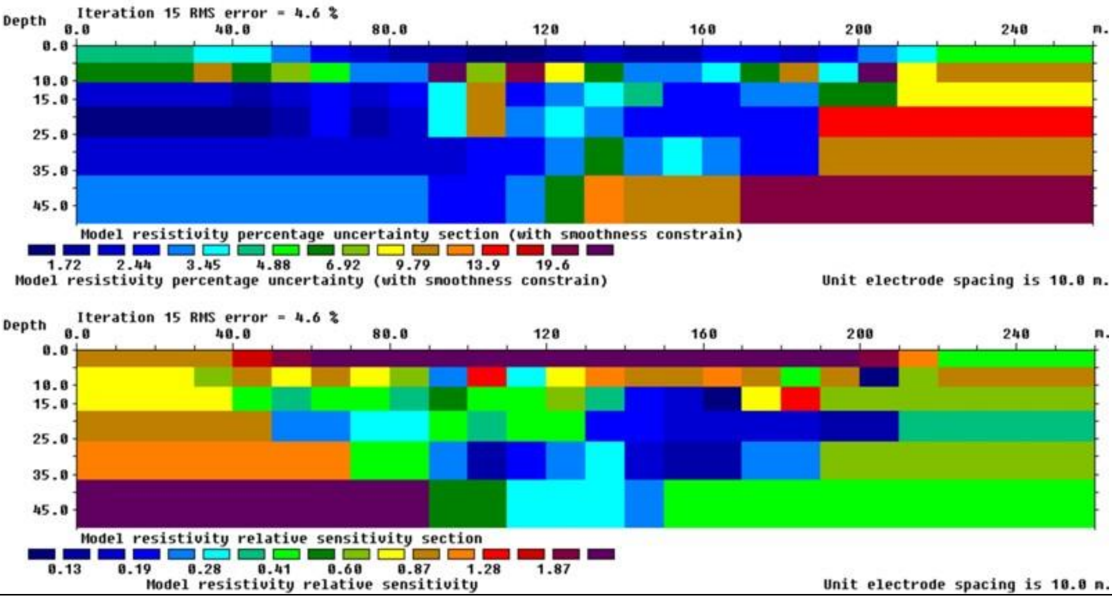
Σχήμα 4.2.1α : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Α2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



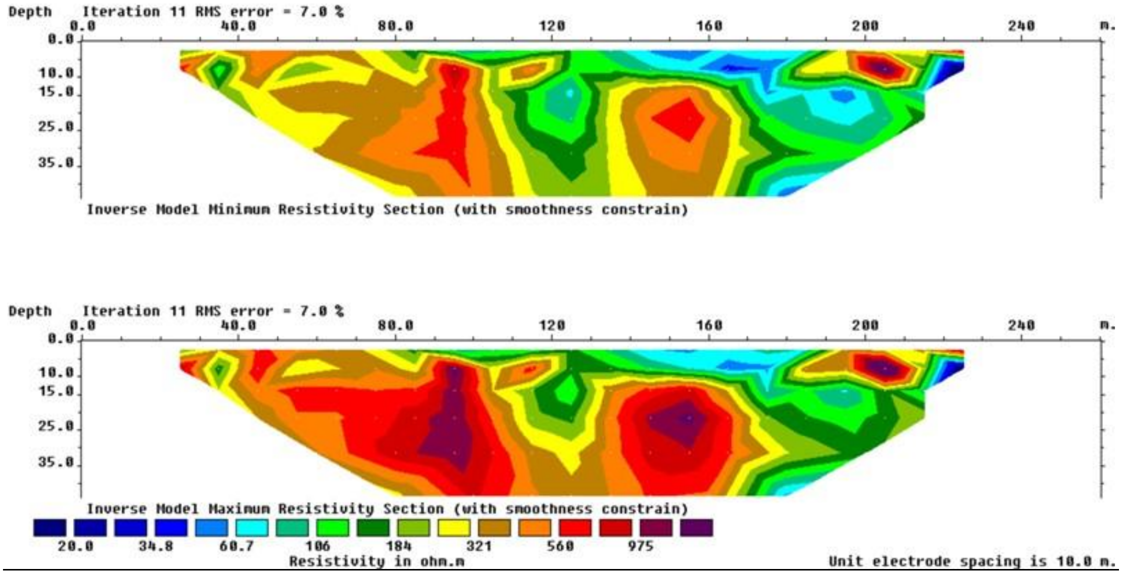
Σχήμα 4.2.1β : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Α2, με τη μέθοδο robust, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



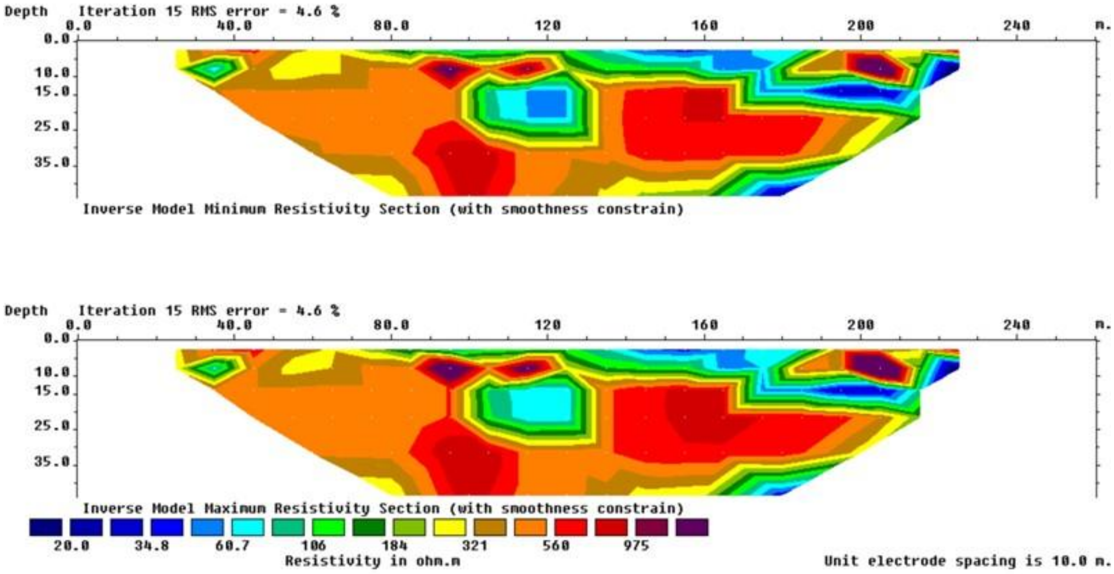
Σχήμα 4.2.1γ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Α2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



Σχήμα 4.2.1δ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Α2, με τη μέθοδο robust, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



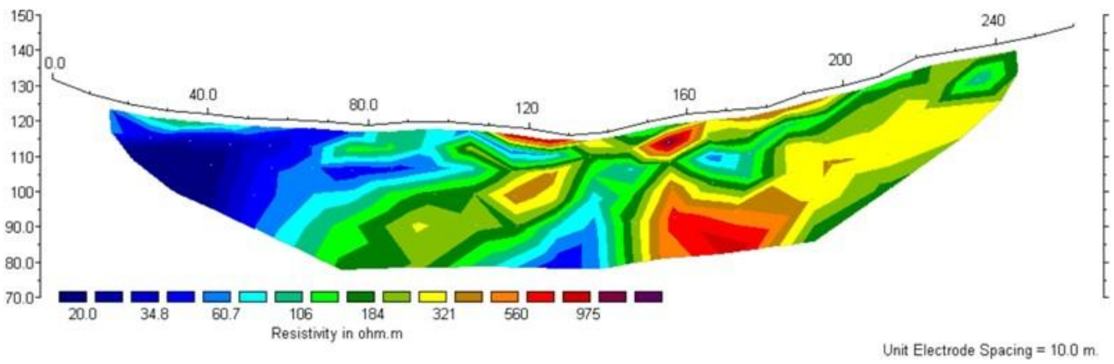
Σχήμα 4.2.1ε: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Α2 στη περιοχή «Αμπελιά» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, και με τη διάταξη Wenner – Schlumberger.



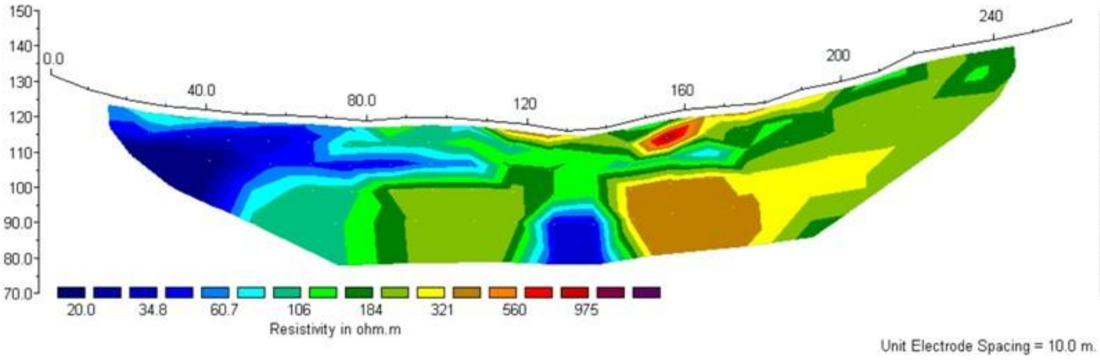
Σχήμα 4.2.1στ: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Α2 στη περιοχή «Αμπελιά» και τη χρήση της μεθόδου robust, και με τη διάταξη Wenner – Schlumberger.

4.3 ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: «ΚΑΛΥΔΩΝΑ» (ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: Κ1):

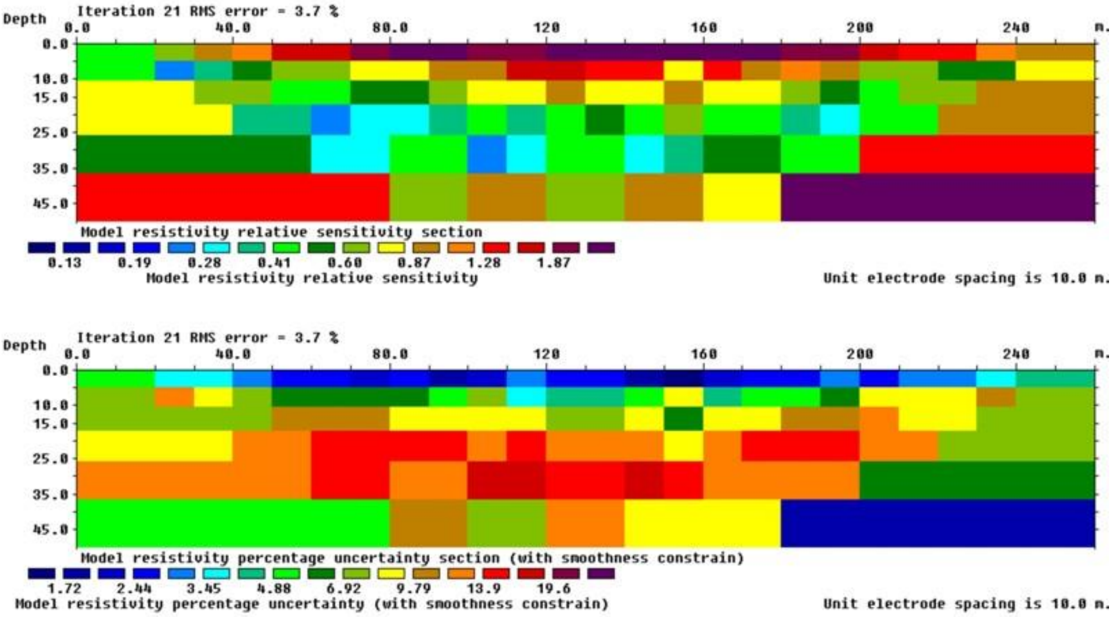
4.3.1 Διάταξη Wenner – Schlumberger:



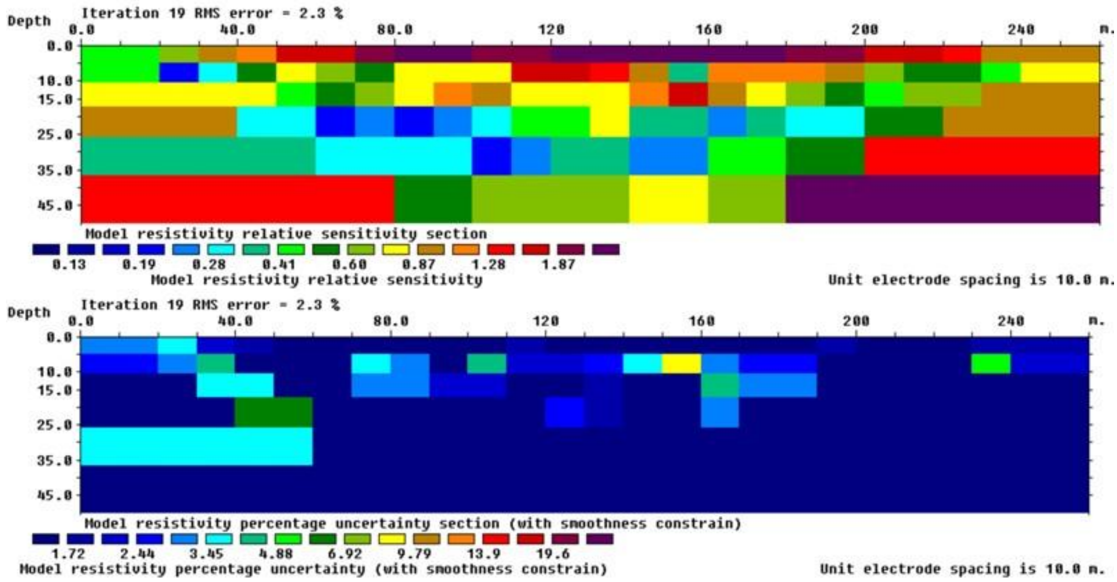
Σχήμα 4.3.1α : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



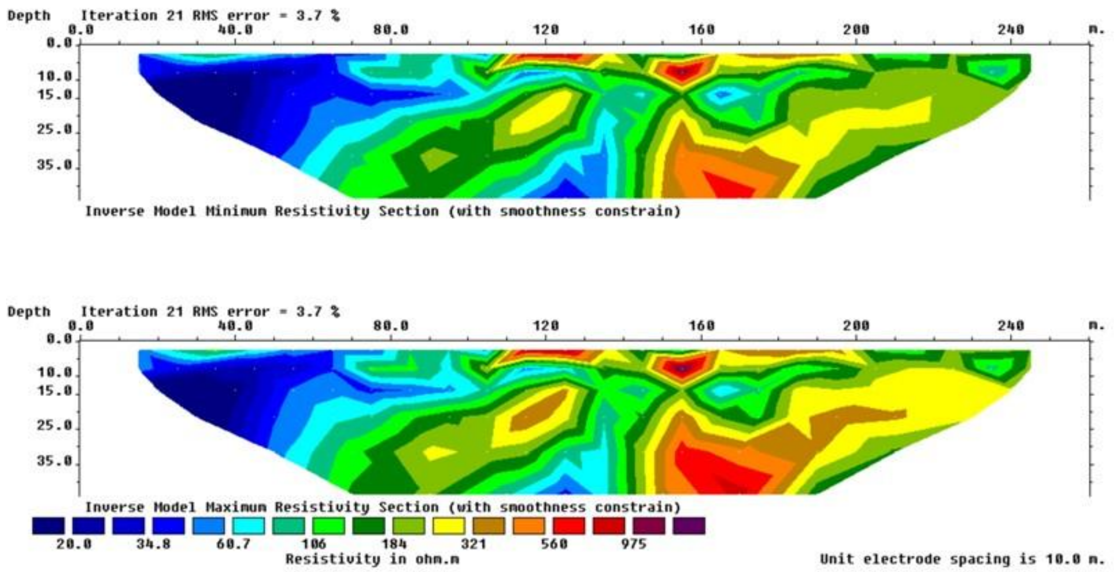
Σχήμα 4.3.1β : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη μέθοδο robust, και με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



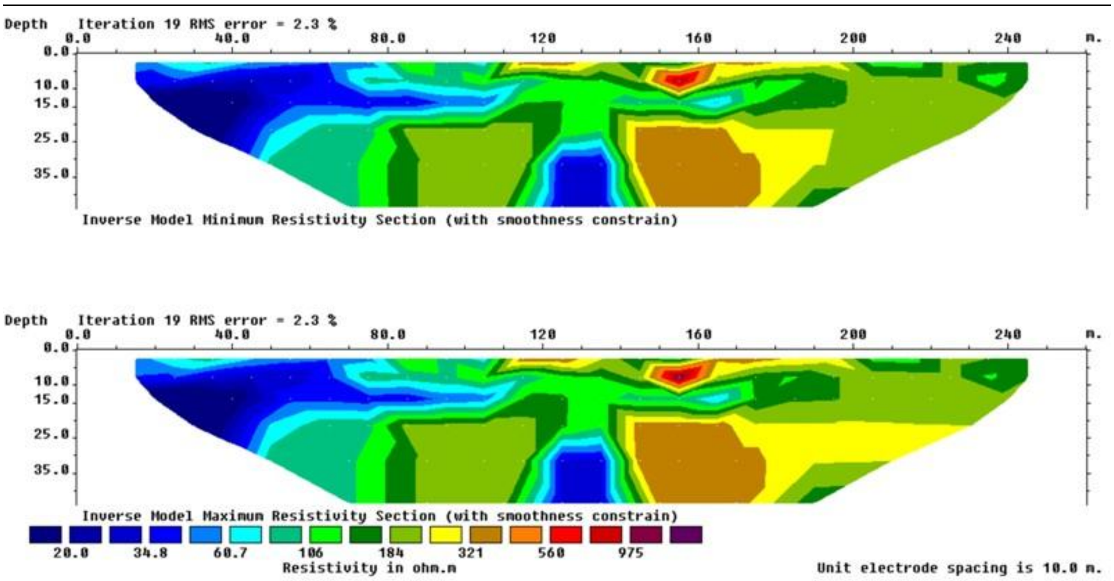
Σχήμα 4.3.1γ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



Σχήμα 4.3.1δ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης K1, με τη μέθοδο robust, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

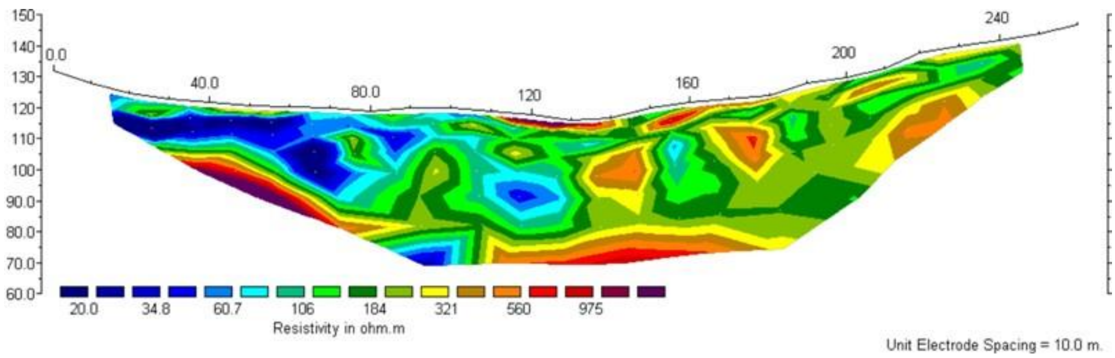


Σχήμα 4.3.1ε: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης K1 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, και με τη διάταξη Wenner – Schlumberger.

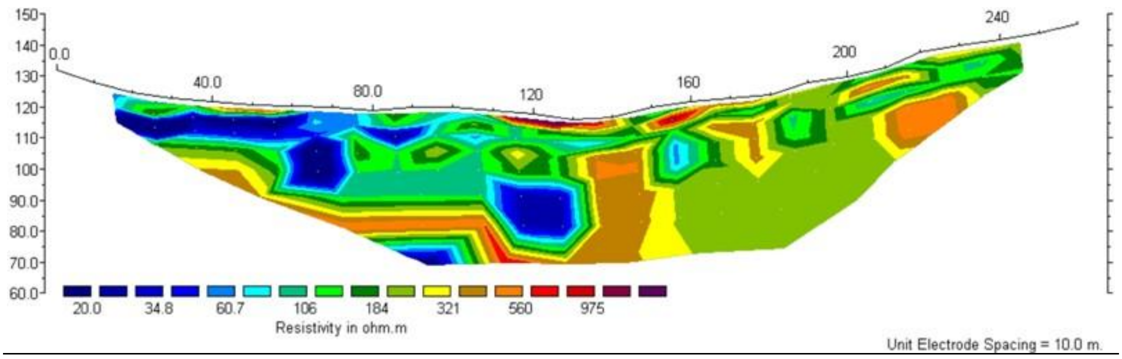


Σχήμα 4.3.1στ: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ1 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου robust, και με τη διάταξη Wenner – Schlumberger.

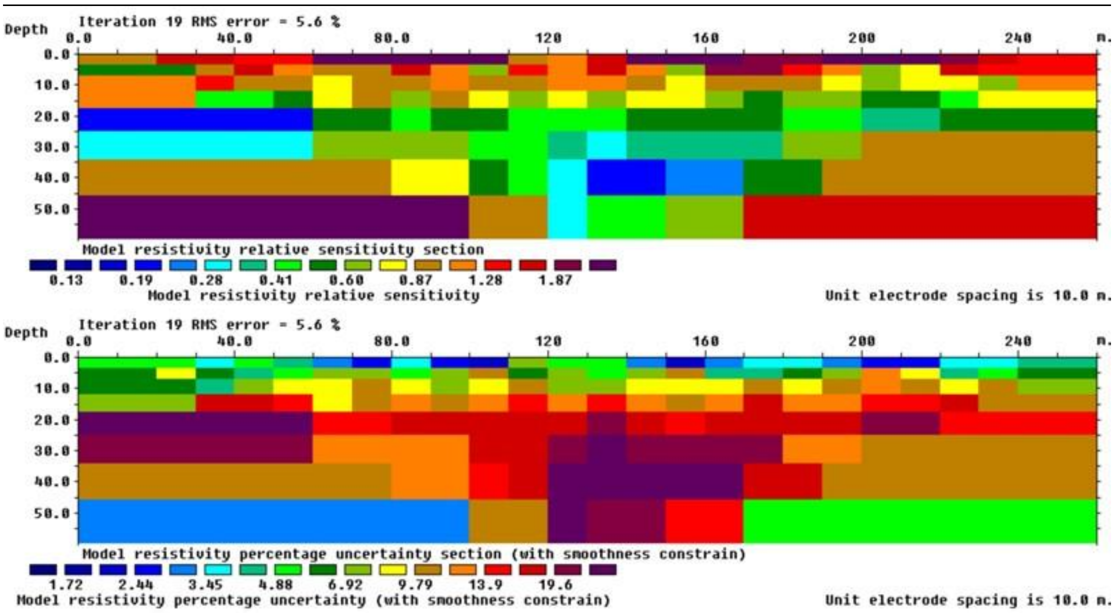
4.3.2 Διάταξη διπόλου – διπόλου:



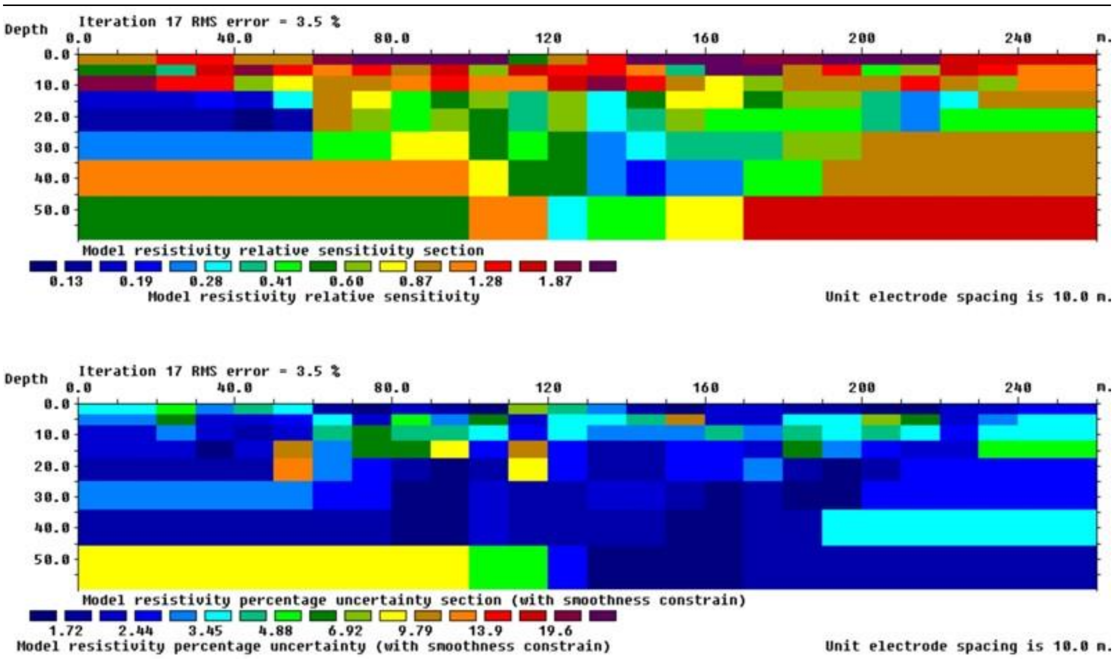
Σχήμα 4.3.2α : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



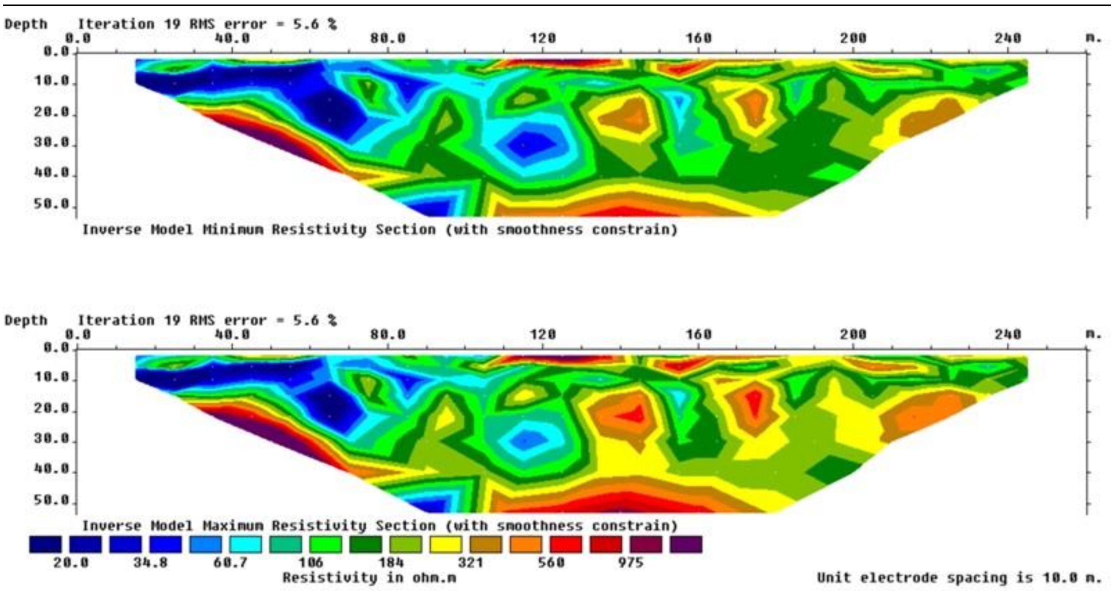
Σχήμα 4.3.2β : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη μέθοδο robust, με τη χρήση της διάταξης διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



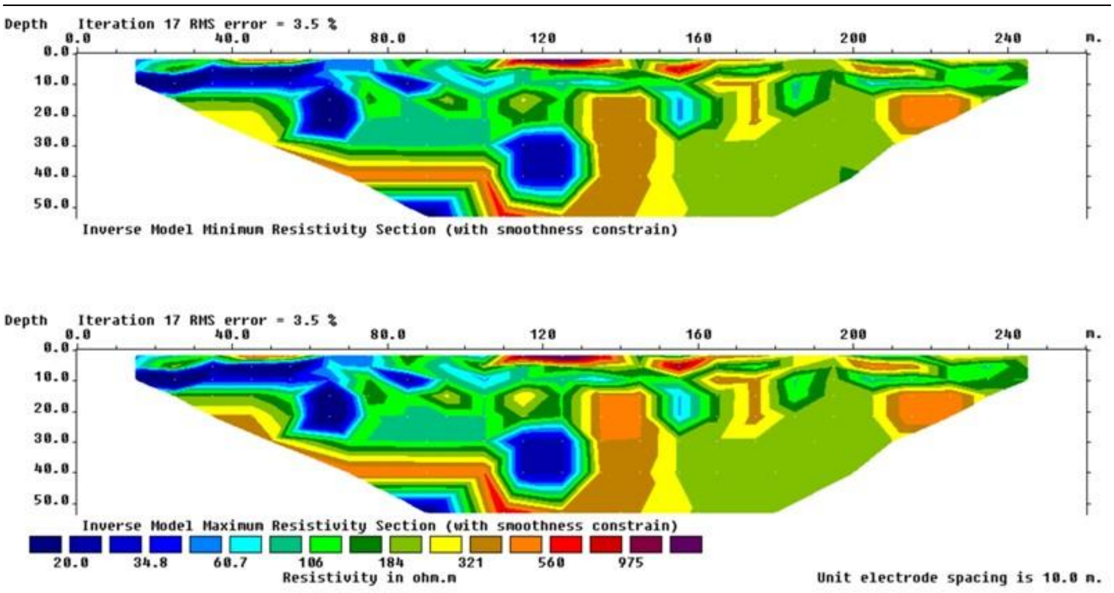
Σχήμα 4.3.2γ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης διπόλου- διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



Σχήμα 4.3.2δ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη μέθοδο robust, και με τη χρήση της διάταξης διπόλου -διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

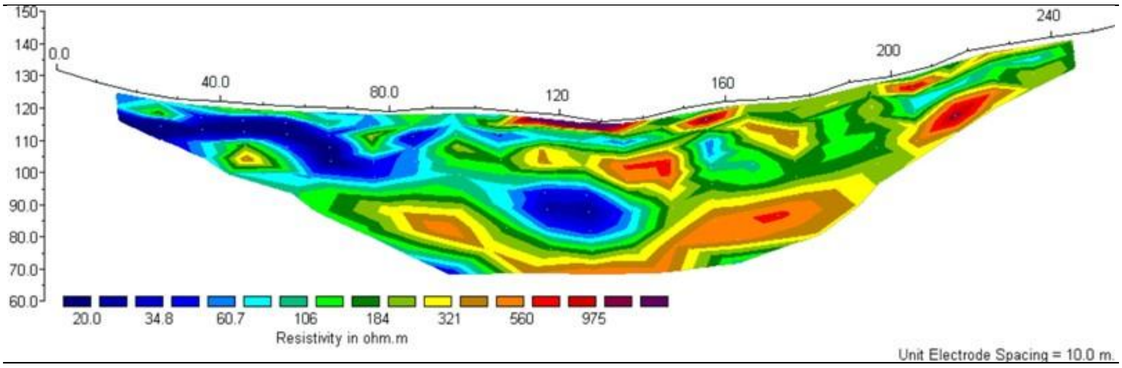


Σχήμα 4.3.2ε: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ1 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, και με τη διάταξη διπόλου - διπόλου.

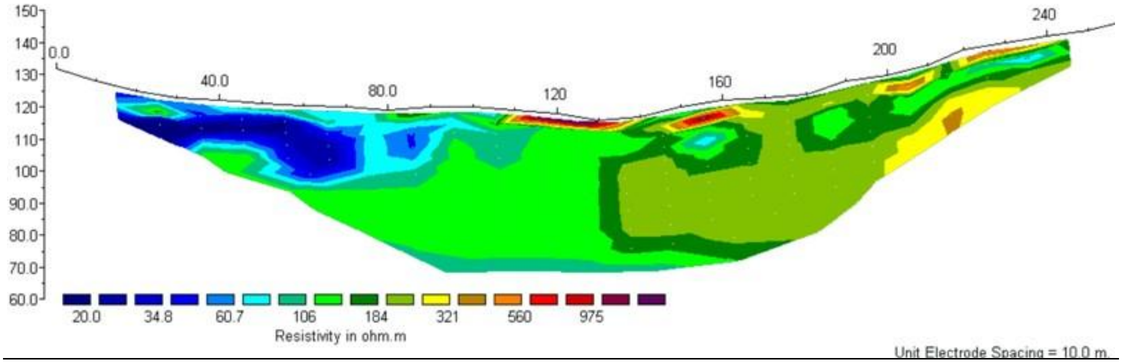


Σχήμα 4.3.2στ: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ1 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου robust, και με τη διάταξη διπόλου - διπόλου.

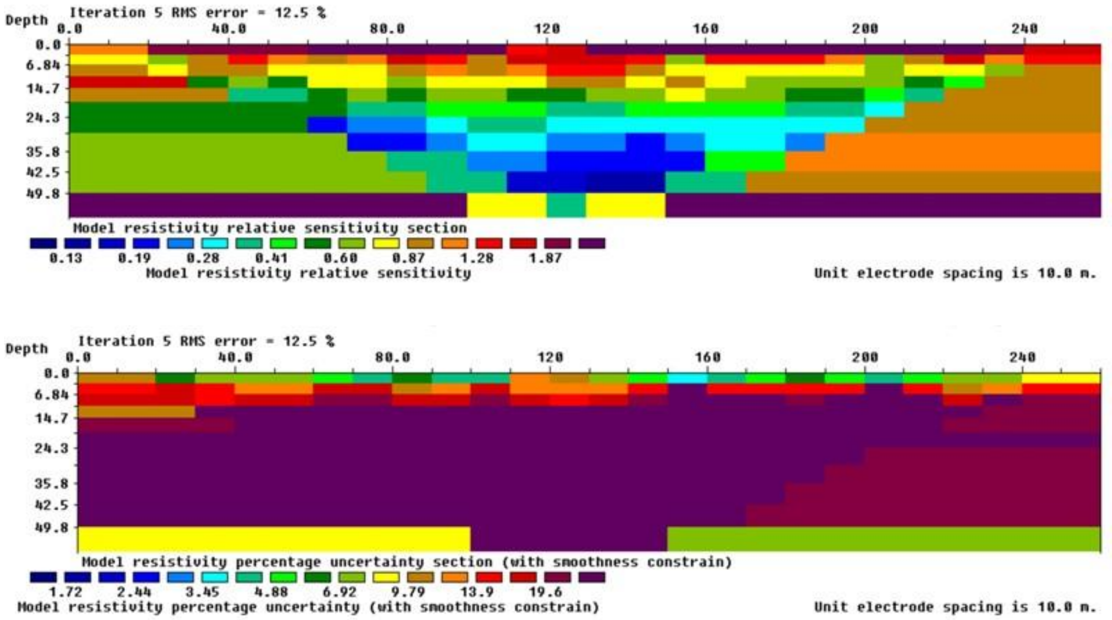
4.3.3 Συνδυασμός διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου:



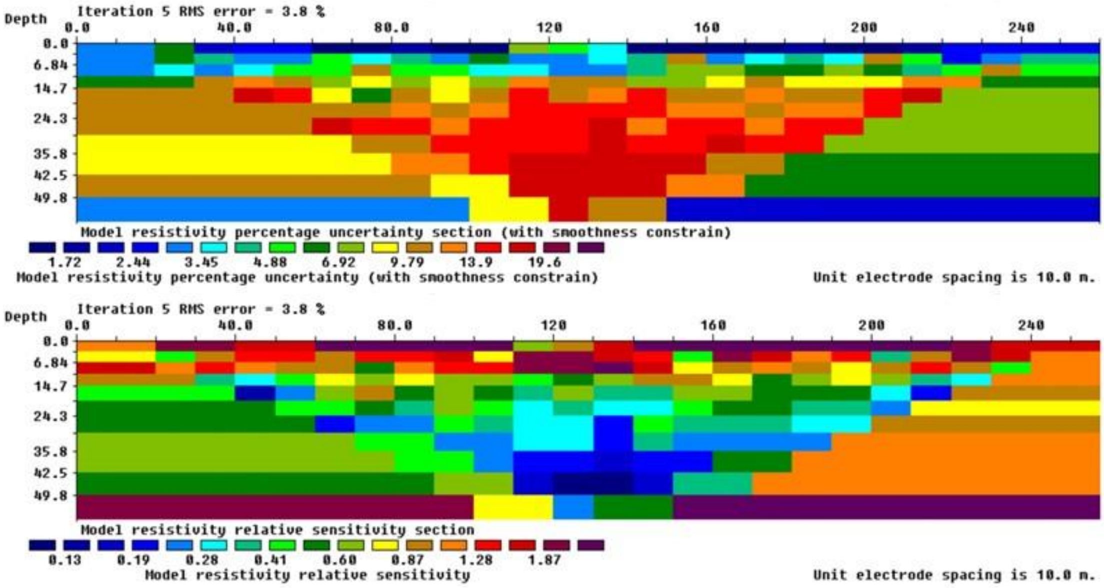
Σχήμα 4.3.3α : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με το συνδυασμό των διατάξεων: Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



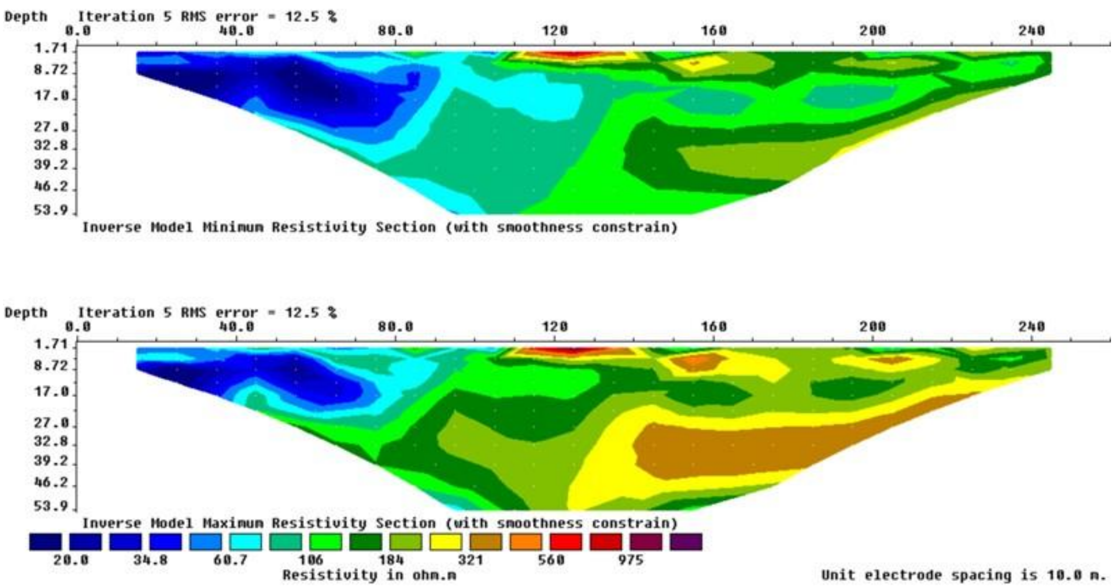
Σχήμα 4.3.3β : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη robust, με το συνδυασμό των διατάξεων: Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



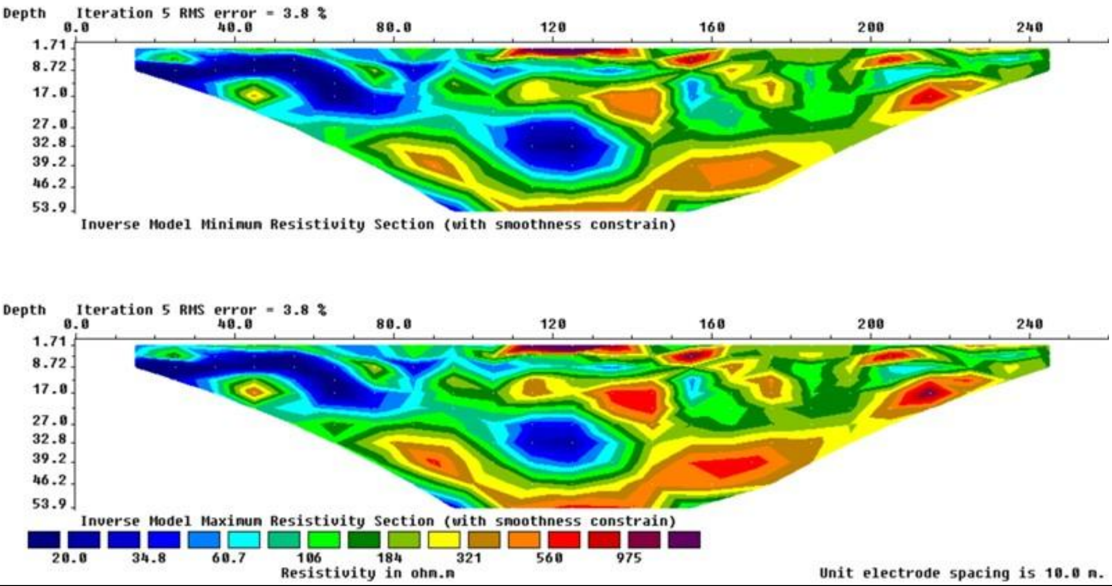
Σχήμα 4.3.3γ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης , και με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



Σχήμα 4.3.3δ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Κ1, με τη μέθοδο robust, και με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



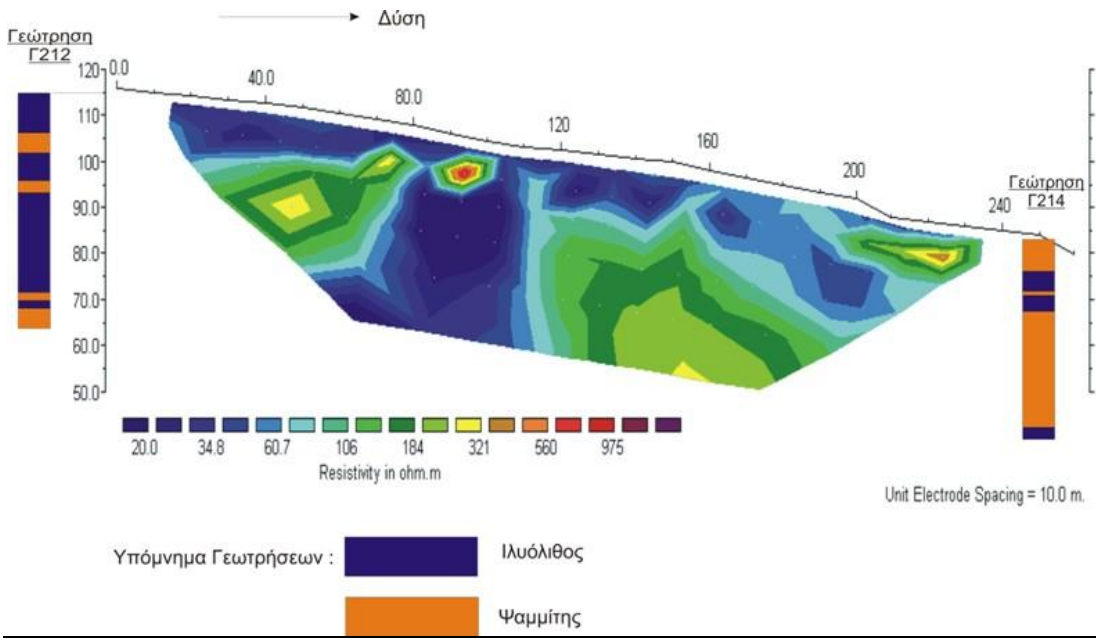
Σχήμα 4.3.3ε: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ1 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, και με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου.



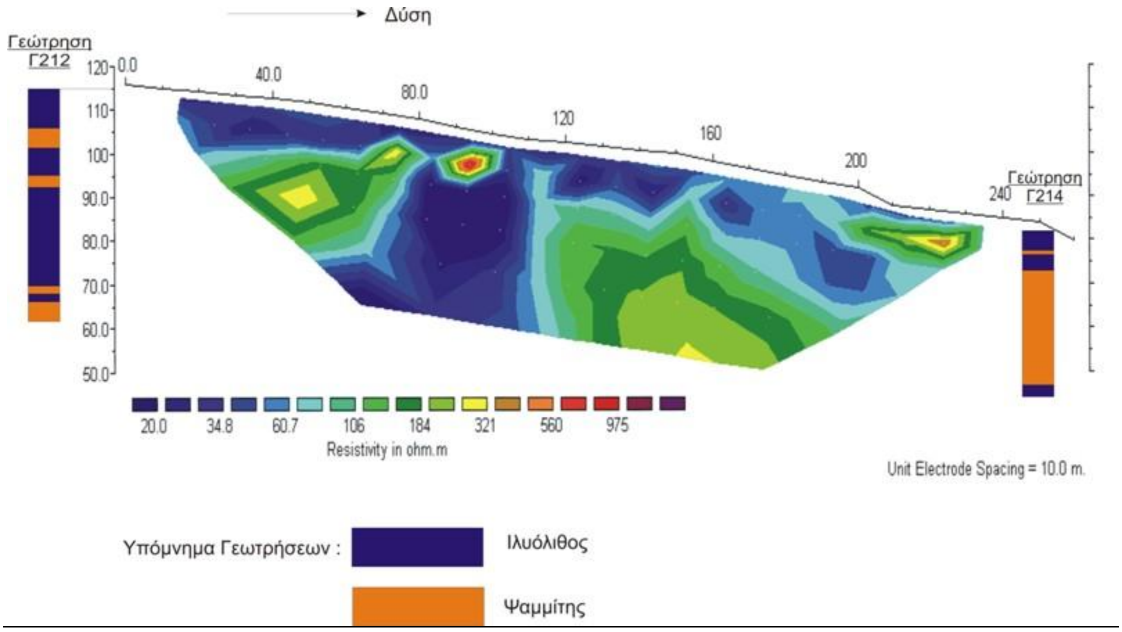
Σχήμα 4.3.3στ: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Κ1 στη περιοχή «Καλυδώνα» και τη χρήση της μεθόδου robust , και με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου.

4.4 ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: «ΜΑΚΥΝΕΙΑ» (ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: Μ1):

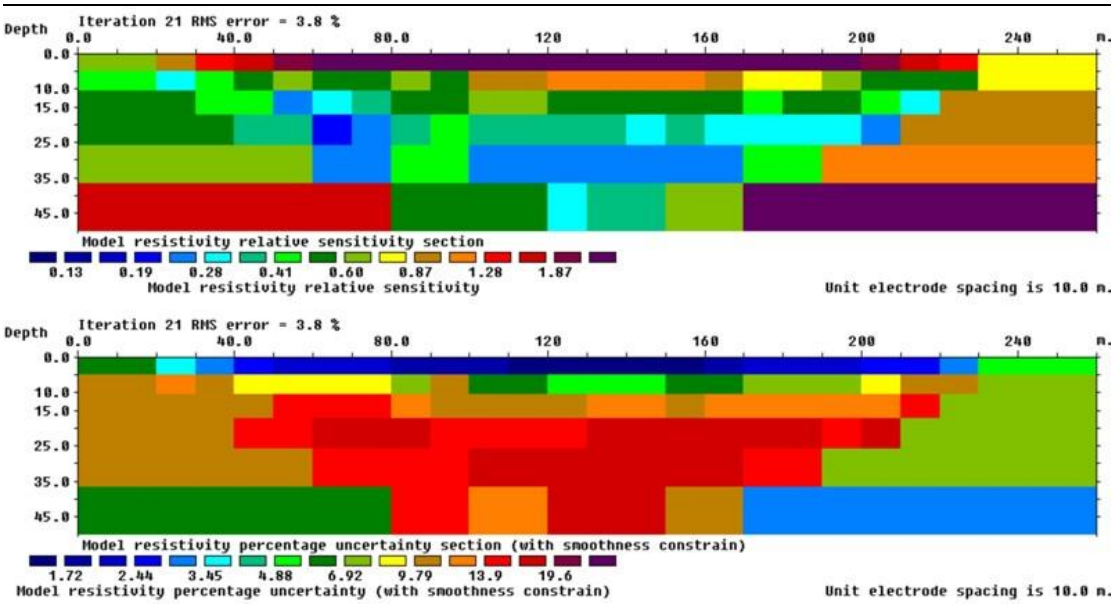
4.4.1 Διάταξη Wenner Schlumberger :



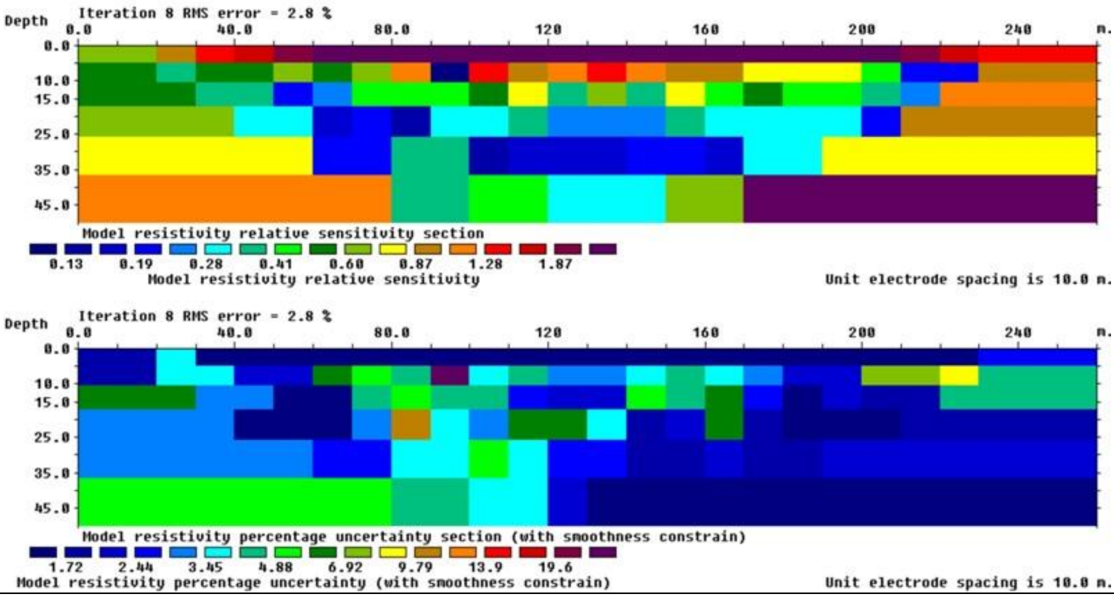
Σχήμα 4.4.1α : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Μ1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη των γεωτρήσεων Γ212 και Γ214. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



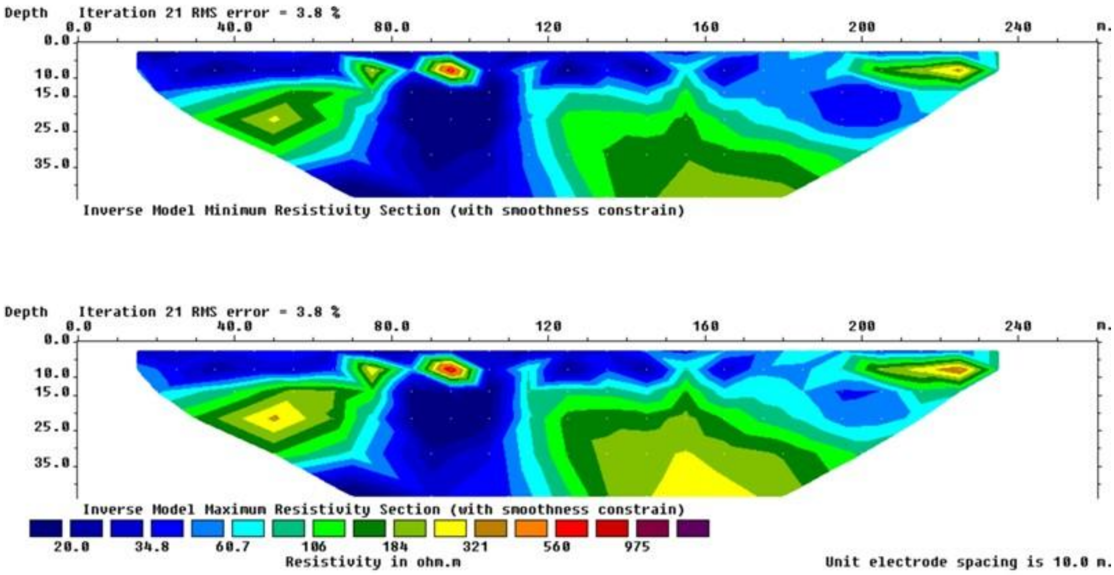
Σχήμα 4.4.1β : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Μ1, με τη μέθοδο robust, και με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη των γεωτρήσεων Γ212 και Γ214. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



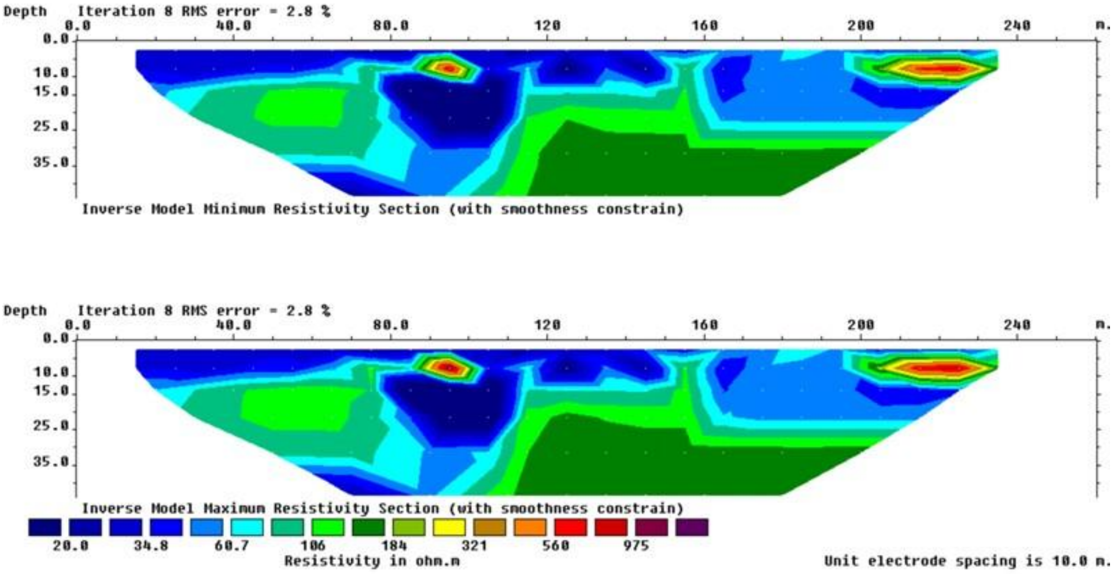
Σχήμα 4.4.1γ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Μ1, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



Σχήμα 4.4.1δ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Μ1, με τη μέθοδο robust, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



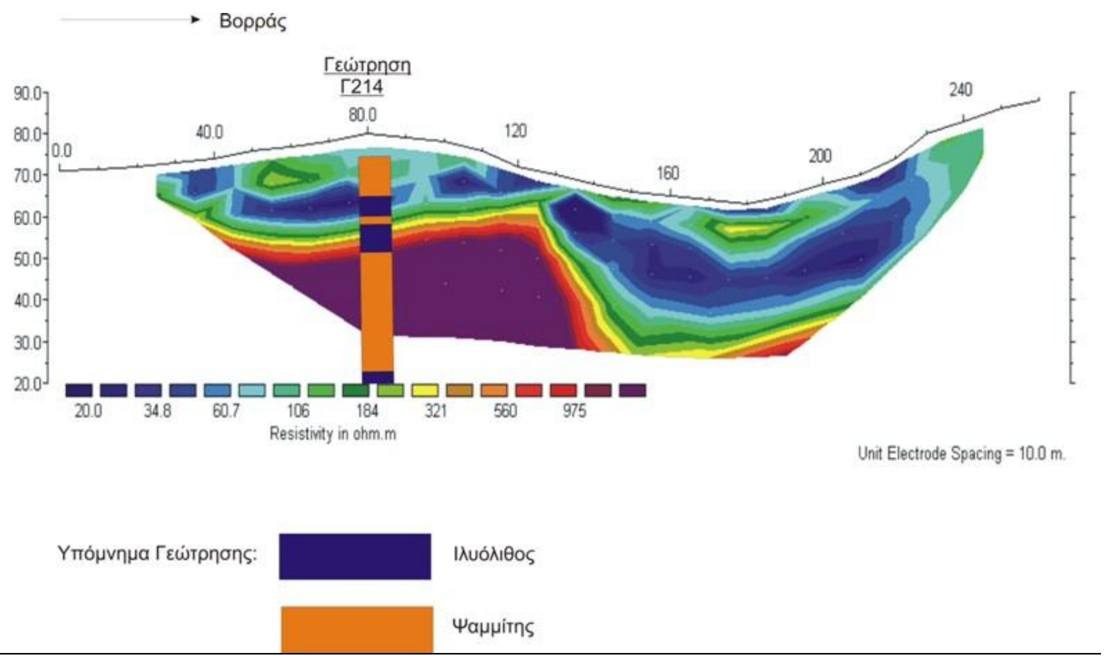
Σχήμα 4.4.1ε: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Μ1 στη περιοχή «Μακύνεια» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης , και με την χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger.



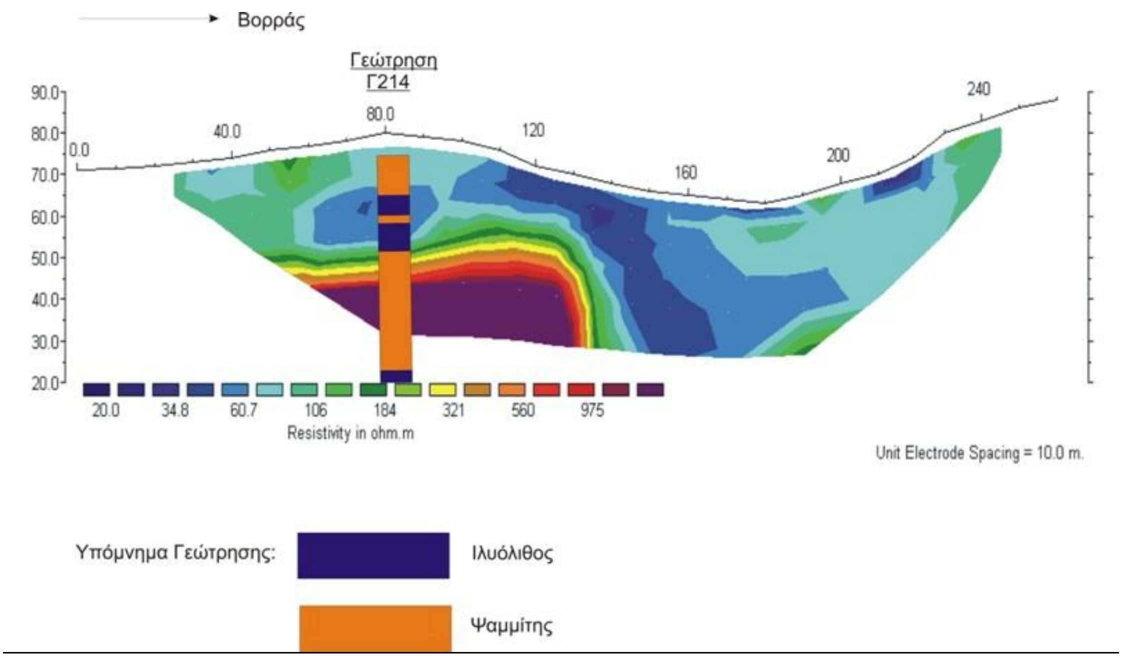
Σχήμα 4.4.1στ: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Μ1 στη περιοχή «Μακύνεια» και τη χρήση της μεθόδου robust, και με ην χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger.

4.5 ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: «ΜΑΚΥΝΕΙΑ» (ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ: Μ2):

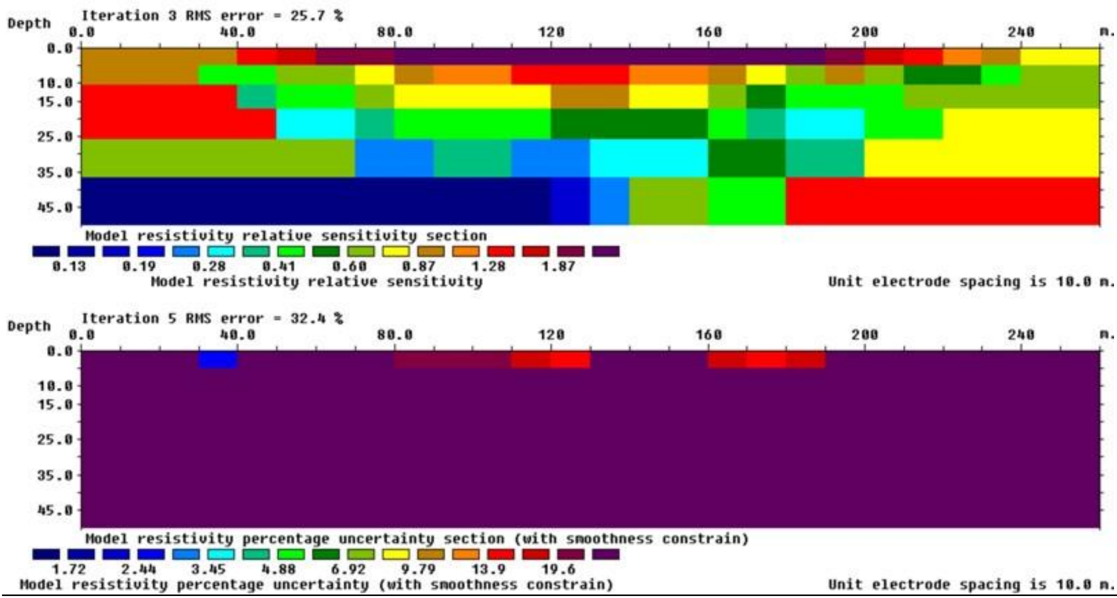
4.5.1 Διάταξη Wenner – Schlumberger:



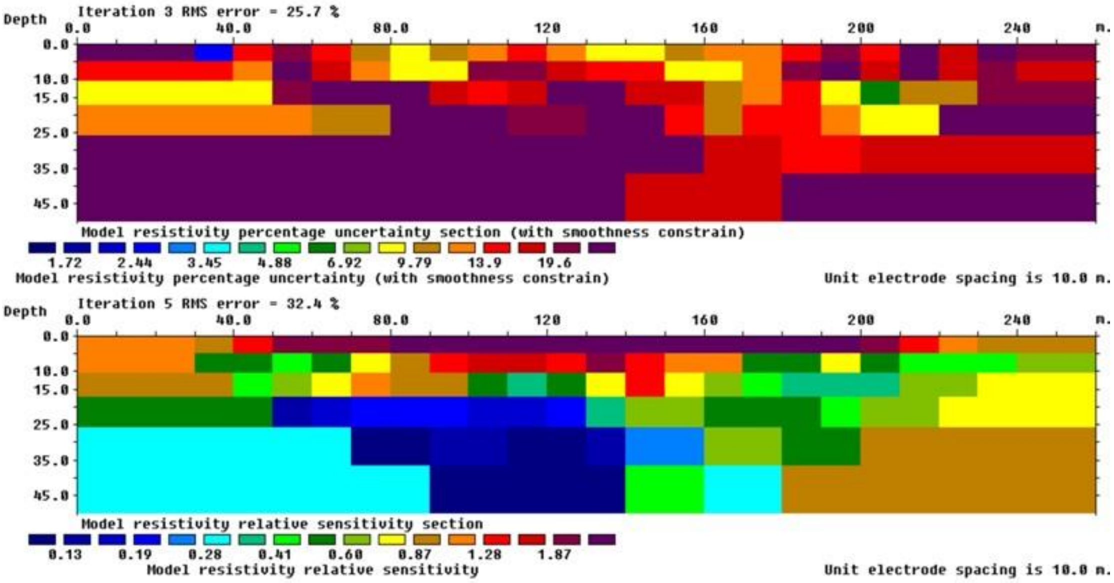
Σχήμα 4.5.1α : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη της γεώτρησης: Γ214. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



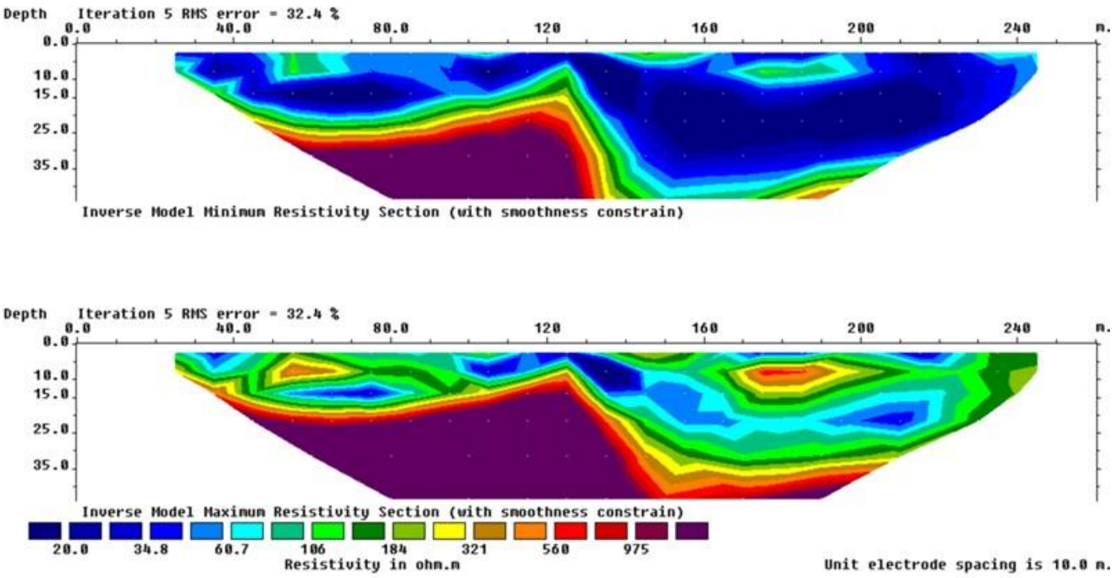
Σχήμα 4.5.1β : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο robust, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη ττης γεώτρησης : Γ14. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



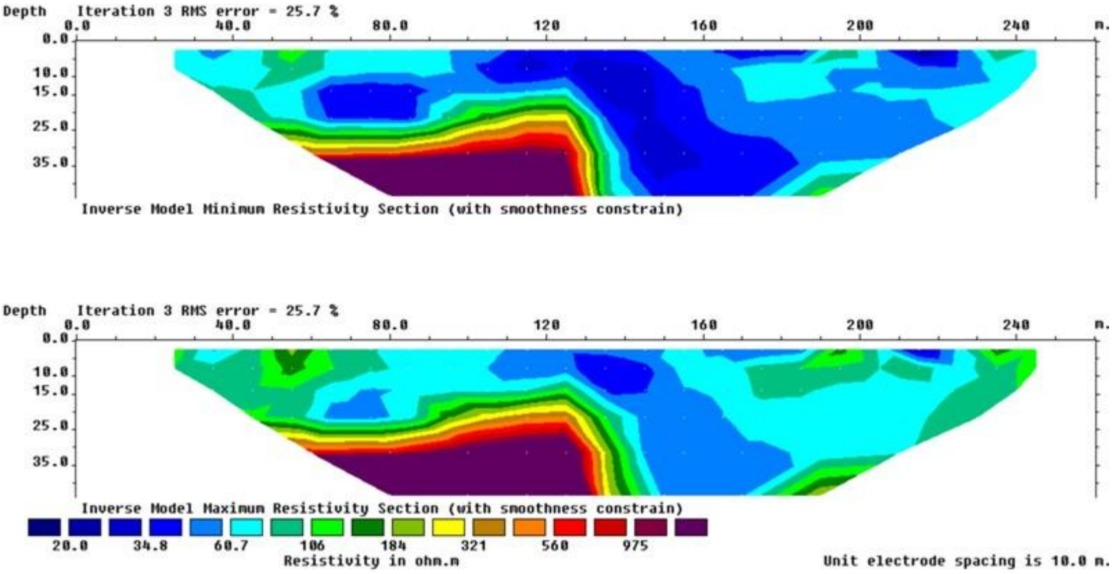
Σχήμα 4.5.1γ : Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



Σχήμα 4.5.1δ: Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης M2, με τη μέθοδο robust, με τη χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

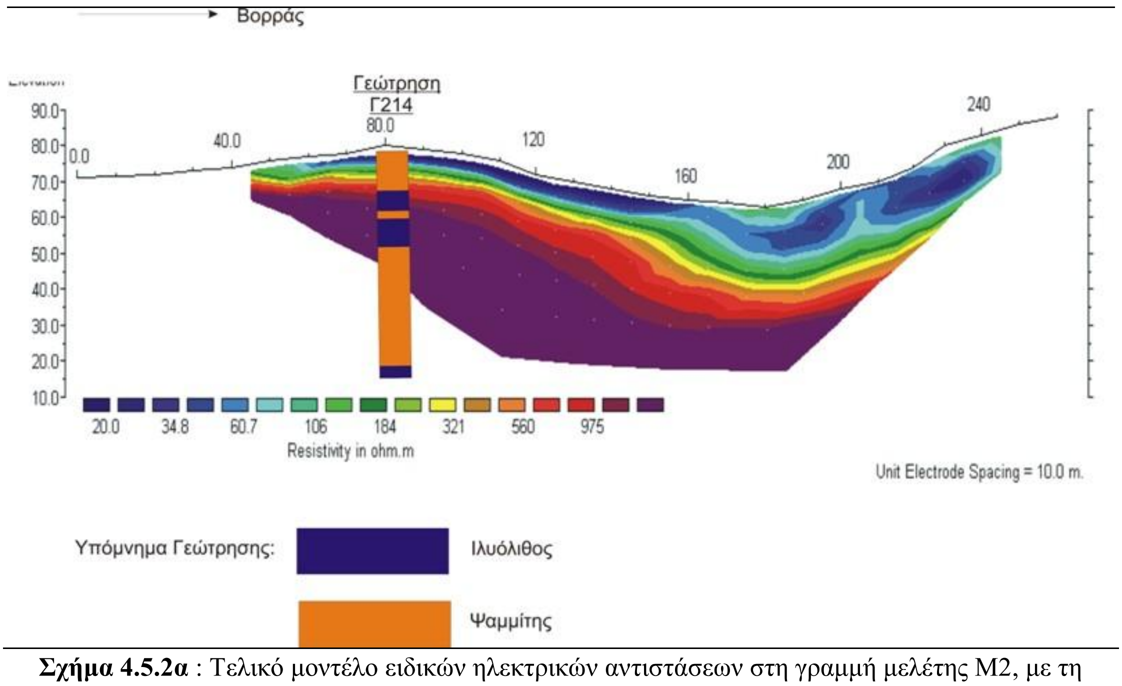


Σχήμα 4.5.1ε: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης M2 στη περιοχή «Μακύνεια» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης , και με ην χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger.

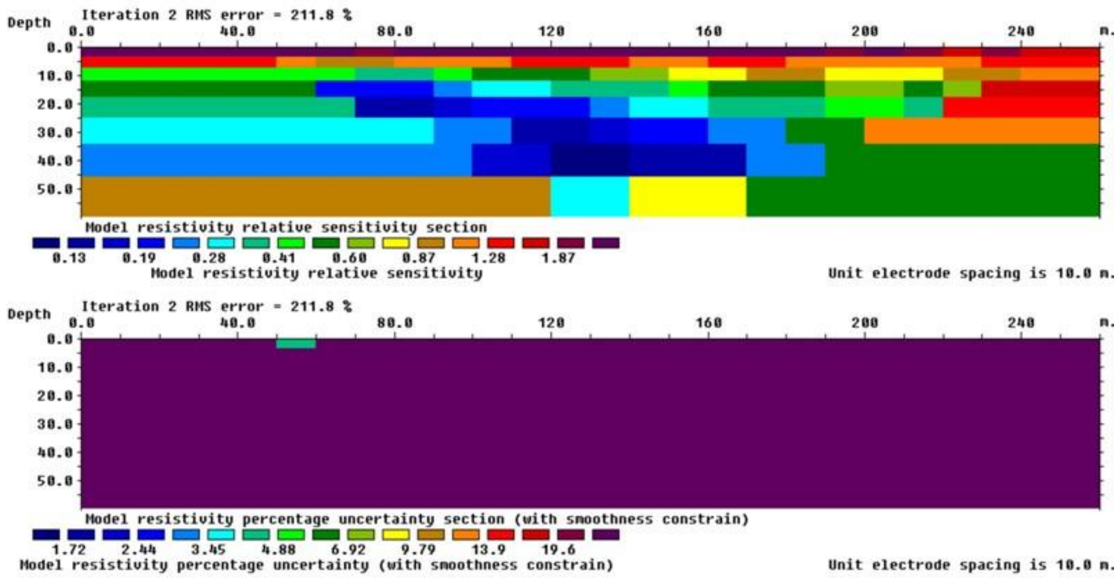


Σχήμα 4.5.1στ: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Μ2 στη περιοχή «Μακύνεια» και τη χρήση της μεθόδου robust , και με ην χρήση της διάταξης Wenner – Schlumberger.

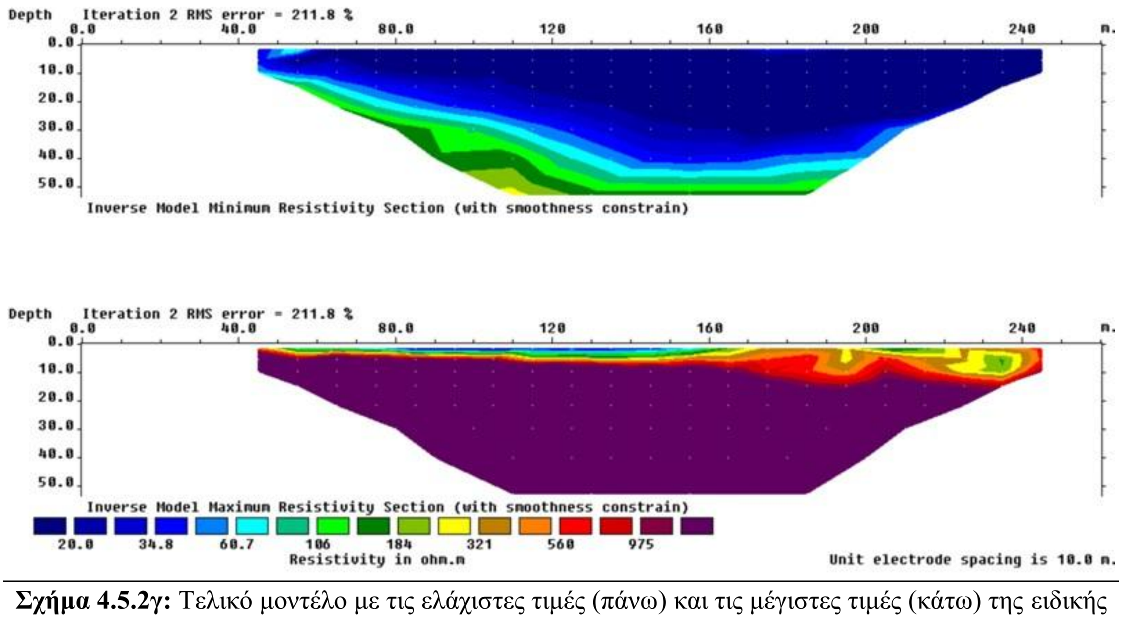
4.5.2 Διάταξη διπόλου – διπόλου:



Σχήμα 4.5.2α : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης , με τη χρήση της διάταξης διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη της γεώτρησης : Γ14. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

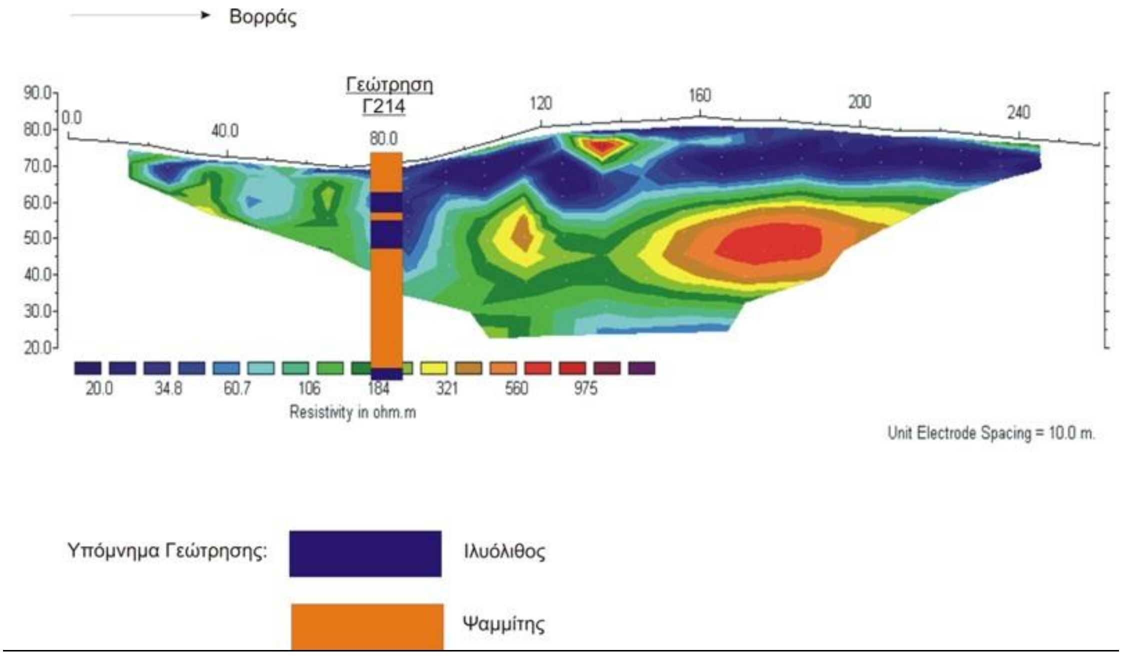


Σχήμα 4.5.2β: Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης M2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης , με τη χρήση της διάταξης διπόλου - διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).

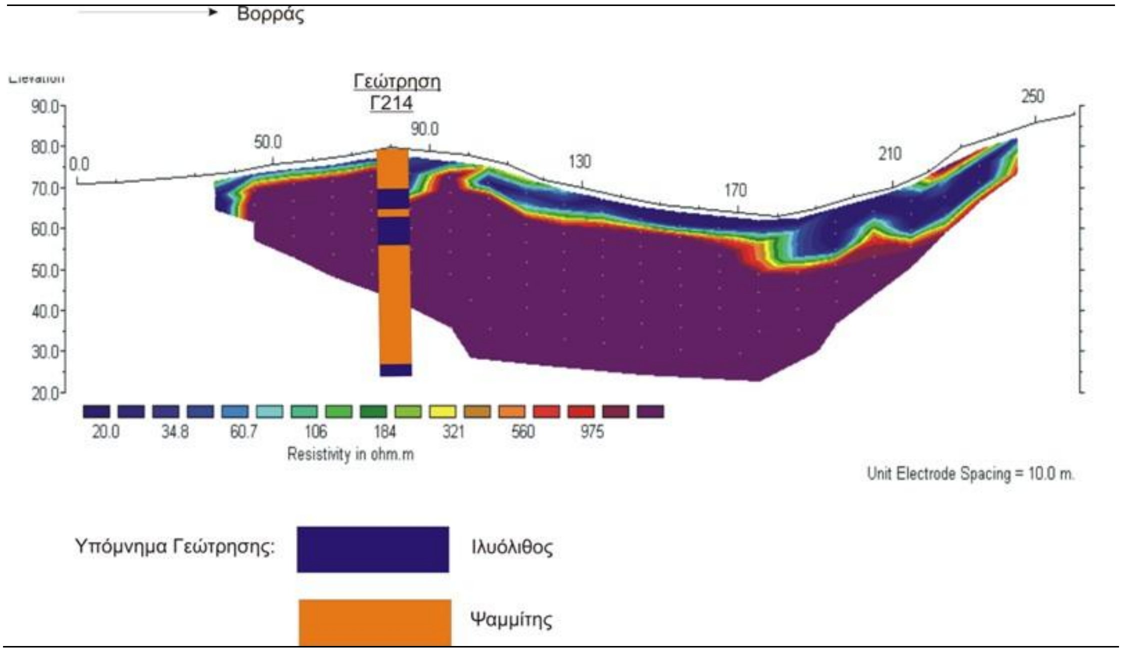


Σχήμα 4.5.2γ: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης M2 στη περιοχή «Μακύνεια» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης, και με ην χρήση της διάταξης διπόλου - διπόλου.

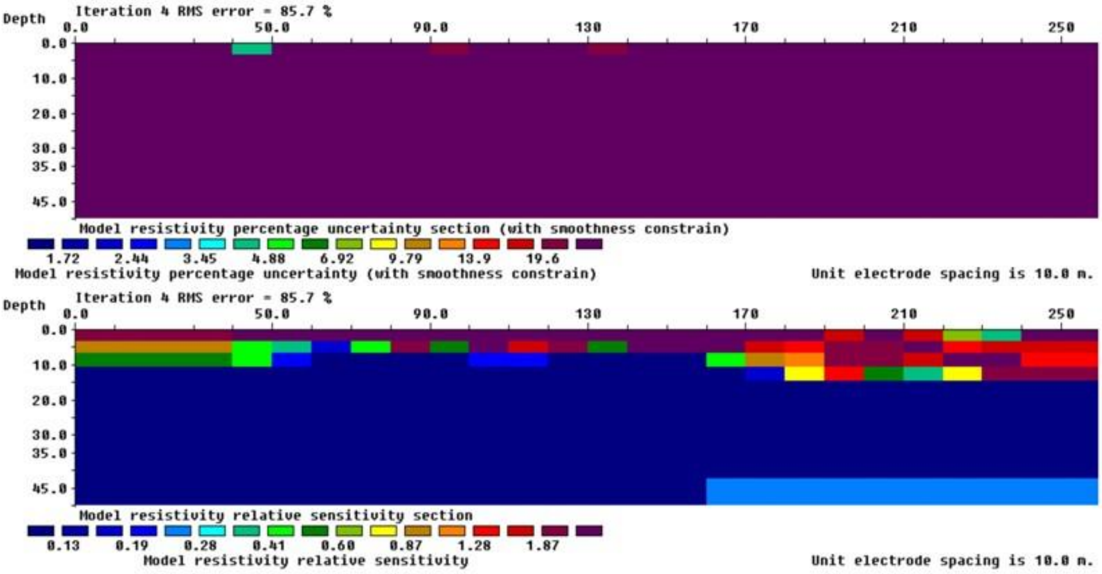
4.5.3 Συνδυασμός διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου:



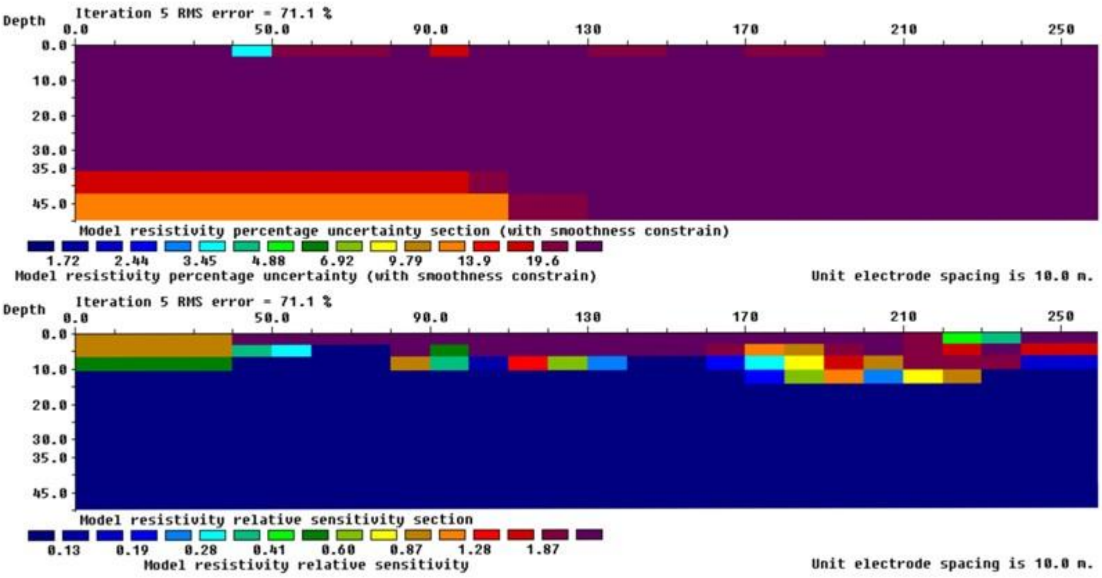
Σχήμα 4.5.3α : Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης , με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη ττης γεώτρησης : Γ14. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



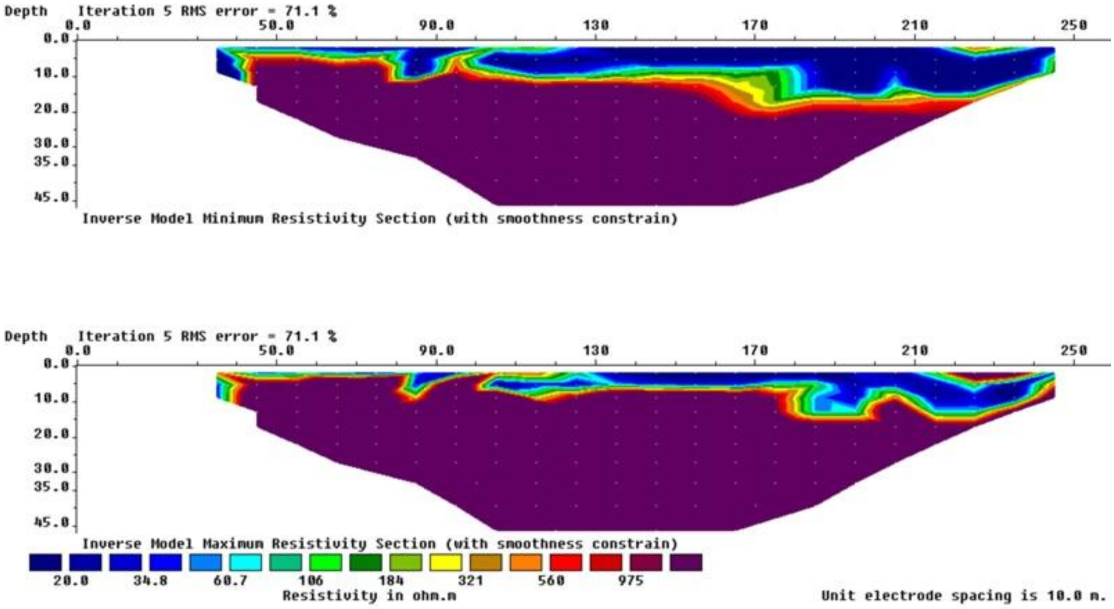
Σχήμα 4.5.3β: Τελικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στη γραμμή μελέτης Μ2, με τη μέθοδο robust, με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Έχει γίνει η εισαγωγή των απόλυτων υψομέτρων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και η χάραξη ττης γεώτρησης: Γ14. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



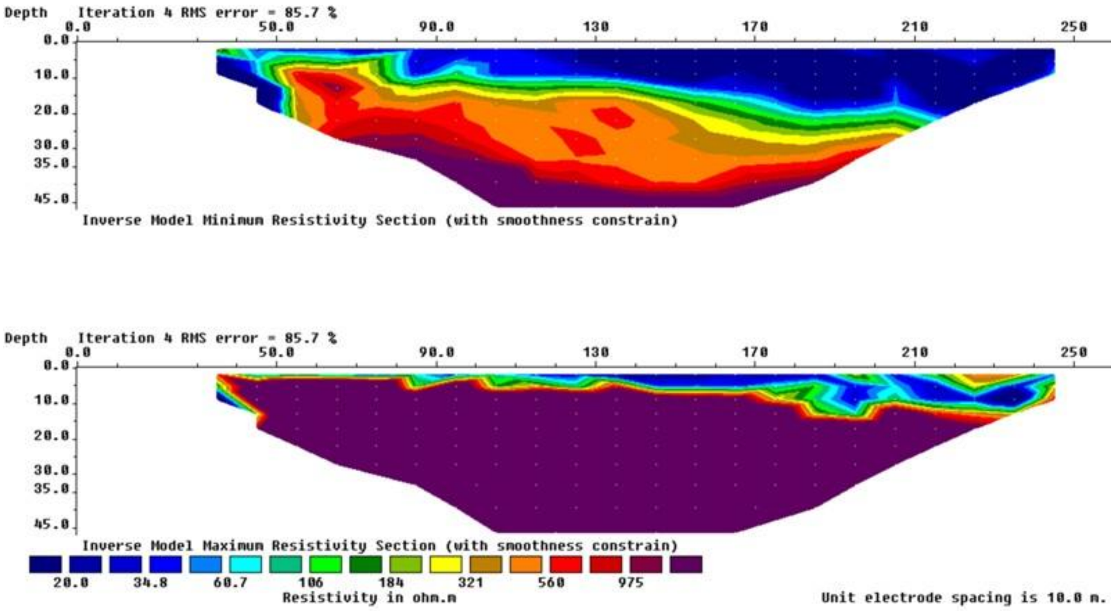
Σχήμα 4.5.3γ: Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης M2, με τη μέθοδο κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης , με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



Σχήμα 4.5.3δ: Ευαισθησία (πάνω) και αβεβαιότητα (κάτω) για το τελικό μοντέλο στη γραμμή μελέτης M2, με τη μέθοδο robust, με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην απόσταση του σταθμού παρατήρησης από την αρχή της γραμμής μελέτης σε μέτρα (m), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος σε μέτρα (m).



Σχήμα 4.5.3ε: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Μ2 στη περιοχή «Μακύνεια» και τη χρήση της μεθόδου κανονικοποίησης με περιορισμούς εξομάλυνσης , και με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου.



Σχήμα 4.5.3στ: Τελικό μοντέλο με τις ελάχιστες τιμές (πάνω) και τις μέγιστες τιμές (κάτω) της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τη γραμμή μελέτης Μ2 στη περιοχή «Μακύνεια» και τη χρήση της μεθόδου robust, και με τον συνδυασμό των διατάξεων Wenner – Schlumberger και διπόλου - διπόλου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Ελληνική Βιβλιογραφία:

1. Βαφείδης Α. (1994). «Αξιολόγηση σχηματισμών με γεωφυσικές μεθόδους», Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
2. Βαφείδης Α. (2001). «Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ», Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
3. Βαφείδης Α. (2004). «Γεωφυσική διασκόπηση στο οροπέδιο του Ομαλού, Νομού Χανίων». Τεχνική έκθεση.
4. Βαφείδης Α. (2004). «Συμβολή της ηλεκτρικής τομογραφίας και της σεισμικής διάθλασης στην επιλογή θέσης για τη δημιουργία λιμνοδεξαμενής στη Κουντούρα, Δ. Πελεκάνου, Ν. Χανίων».
5. Βαφείδης Α. (2006). «Γεωφυσική διασκόπηση στο τμήμα Λυγαριά-Περιβόλι του οδικού άξονα Ε65». Τεχνική έκθεση.
6. Ελευθεριάδης Ε. (2005). «Γεωφυσική διασκόπηση για τη διάκριση πετρωμάτων στα οποία παρατηρείται αλληλοκάλυψη των αντιστάσεων». Αρχαιο – τηλεπισκοπικά νέα, τεύχος 9.
7. Κρητικάκης Γ. (2001). «Συμβολή των σεισμικών μεθόδων ανάκλασης και διάθλασης σε γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές μελέτες». Εργασία στα πλαίσια του μεταπτυχιακού μαθήματος «Ειδικά Κεφάλαια Εφαρμοσμένης Γεωλογίας». Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
8. Παπαδόπουλος Ν. (2007). «Ανάπτυξη Αλγορίθμων για τη Τρισδιάστατη Αντιστροφή Γεωηλεκτρικών Δεδομένων που προέρχονται από Αρχαιολογικούς Χώρους», Διδακτορική διπλωματική, Θεσσαλονίκη.
9. Παπαζάχος Β. (1986). «Εισαγωγή Στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική», Εκδόσεις «Ζήτη», Θεσσαλονίκη.
10. Σούπιος Π. Παπαδόπουλος Ν. Παπαδάκη Η. Φασούλας Α. Παπαδόπουλος Μ. Κάντα Ε. Σεφέρου Ε. και Τουρτσινάκη Κ.(2006). «Γεωφυσική διασκόπηση εντός αστικού συγκροτήματος της πόλης των Χανίων». Αρχαιο – τηλεπισκοπικά νέα, τεύχος 9.
11. Τσόκας Γ. Τσούρμο Π. Σταμπολίδη Α. και Παπαδόπουλο Ν. (2005). «Χαρτογράφηση της διακύμανσης οροφής γεωλογικού υποβάθρου στο λόφο της Ακρόπολης καθώς και του πάχους του τείχους Ακρόπολης». Αρχαιο – τηλεπισκοπικά νέα, τεύχος 9.
12. Χορευτάκη Γ. (2004). «Ανάλυση μεθόδου επεξεργασίας δεδομένων γεωραντάρ για τον εντοπισμό δεδομένων και εγκοίλων σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς». Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
13. Hamdan H. (2002). «Γεωηλεκτρική διασκόπηση στη λεκάνη του ποταμού Κερίτη του Ν. Χανίων». Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
14. Hamdan H. (2002). «Τρισδιάστατη χαρτογραφική απεικόνιση πιθανών υδροφόρων σχηματισμών στη περιοχή Κίσσαμου, Ν. Χανίων»

Διεθνής Βιβλιογραφία:

1. Griffiths D.H and Barker R.D (1993). "Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology". Journal of applied Geophysics, 29,211,226.
2. Loke M.H and Barker R.D (1996). "Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method". Geophysical Prospecting, 44, 131-152.
3. Res2Dinv. 2D Resistivity and IP Inversion, (1995-2001). Εγχειρίδιο χρήσης Λογισμικού, Version 3.4, Geotomo Software, Malaysia.
4. Robinson, E.S and Coruh, C (1988). "Basic Exploration Geophysics", New York: Johny Wiley.

Διαδίκτυο:

1. **www.cyprus.gov.cy**
2. **www.ims.forth.gr**
3. **www.geo.auth.gr**