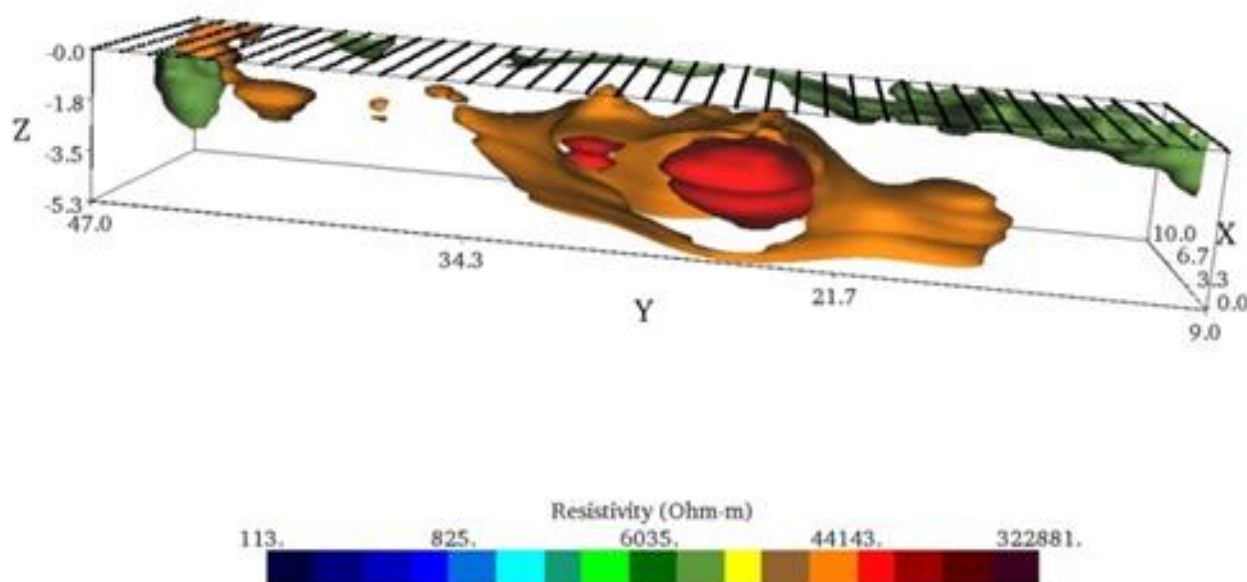


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**"Συμβολή της ηλεκτρικής τομογραφίας στην χαρτογράφηση
καρστικών εγκοίλων στην περιοχή του Αεροδρομίου Ν.
Χανίων"**



ΜΑΡΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΚΑΜΠΑΚΗ

Εξεταστική επιτροπή:

Καθ. Βαφείδης Αντώνιος (επιβλέπων)

Καθ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ

Επικ. Καθ. Στειακάκης Εμμανουήλ

ΧΑΝΙΑ,

ΙΟΥΝΙΟΣ 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την επεξεργασία και ερμηνεία της γεωφυσικής διασκόπησης, για τον εντοπισμό καρστικών εγκοίλων κατά την εκσκαφή της επέκτασης του Κρατικού Αερολιμένα Χανίων. Η γεωφυσική έρευνα έγινε με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Τα δεδομένα προέκυψαν μετά από σχετικές μετρήσεις που κρίθηκε απαραίτητο αλλά και αναγκαίο να πραγματοποιηθούν κύρια στη θέση αλλά και στην ευρύτερη περιοχή για την ασφαλή ανέγερση της επέκτασης του κτιρίου. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών αλλά και μεθόδων αντιστροφής. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν τρεις μέθοδοι αντιστροφής δισδιάστατων δεδομένων (Least-Squares Inversion, Robust Inversion και Combined) και δύο λογισμικά (Res3Dinv) και (EarthImager3D) για την αντιστροφή των τρισδιάστατων γεωηλεκτρικών δεδομένων. Στην συνέχεια συγκρίθηκαν οι γεωηλεκτρικές τομές και προτάθηκε σαν πιο κατάλληλη μέθοδος αντιστροφής αυτή που ελαχιστοποιεί την νόρμα L1 (Robust).

Η τρισδιάστατη αντιστροφή απεικόνισε πολύ υψηλής αντίστασης δομή, η οποία σύμφωνα με τα γεωτρητικά δεδομένα και τις επιφανειακές παρατηρήσεις αποδίδεται σε έγκοιλο το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη στον σχεδιασμό της θεμελίωσης των νέων κτιρίων του Κρατικού Αερολιμένα Χανίων, ώστε να αποφευχθούν μελλοντικές αστοχίες.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Αντώνιου Βαφείδη. Η συγκεκριμένη εργασία πραγματεύεται την επεξεργασία και την ερμηνεία της ηλεκτρικής τομογραφίας για τον εντοπισμό καρστικών εγκοίλων κατά την εκσκαφή της επέκτασης του Κρατικού Αερολιμένα Χανίων με την χρήση κατάλληλων λογισμικών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά καταρχάς τον επιβλέποντα κ. Αντώνιο Βαφείδη, καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Κρήτης, για την συμβολή και τη συνεχή καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αλλά και για την υποστήριξη και τη πολύτιμη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας, μέχρι την τελική φάση της ολοκλήρωσης της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δρ. Ν. Οικονόμου, ΕΔΙΠ του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, για την σημαντική συμβολή του κατά την επεξεργασία των δεδομένων, με σκοπό τη διαμόρφωση της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τον κ. Ν. Ανδρονικίδη, ΕΤΕΠ του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής για τις γνώσεις αλλά και τις εύστοχες παρατηρήσεις του, κατά τη χρήση των λογισμικών προγραμμάτων.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς τα λοιπά μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθ. κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου και τον Επικ. Καθ. κ. Εμμανουήλ Στειακάκη για την αποδοχή τους για την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας, οι οποίοι με τίμησαν ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Επιπλέον, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε συναδέλφους μου.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με την οικονομική και ψυχολογική τους στήριξη, με βοήθησαν να εργασθώ σε ένα άνετο περιβάλλον όλα αυτά τα χρόνια και μου έμαθαν να προσπαθώ για την επίτευξη των στόχων μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	2
1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2
1.2 ΘΕΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	2
1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	3
1.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	3
1.3.2 ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΡΣΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	4
1.3.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	5
2.3 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	11
2.4 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ	11
2.5 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	12
2.5.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΟΛΟΥ – ΔΙΠΟΛΟΥ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	14
3.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RES2DINV)	14
3.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ	14
3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ (LEAST SQUARES METHOD)	14
3.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ (ROBUST)	15
3.2.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ (SMOOTHNESS COMBINED INVERSION METHOD)	16
3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	18
4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	18
4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ LEAST-SQUARES	18
4.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ LEAST-SQUARES... ..	19
4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ROBUST	19
4.3.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ROBUST	20
4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ COMBINED	21
4.4.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ COMBINED	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	22
5.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RES3DINV)	22

5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	22
5.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ LEAST – SQUARES.....	22
5.2.1.1 ΤΟΜΕΣ $y - z$	22
5.2.1.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΤΟΜΕΣ $x - y$	24
5.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ROBUST.....	27
5.2.2.1 ΤΟΜΕΣ $y - z$	27
5.2.2.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΤΟΜΕΣ $x - y$	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	30
6.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - EARTHIMAGER 3D	30
6.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	30
6.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ROBUST (trial 1)	30
6.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ SMOOTH (trial 2)	33
6.2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ SMOOTH (trial 3)	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	37
7.1 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	37
7.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	46
8.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	46
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	48
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	49
Ι) ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΕΓΚΟΙΛΩΝ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	50
ΙΙ) ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ	52

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γεωφυσικές μέθοδοι τελευταίως παρουσιάζουν σημαντική τεχνολογική πρόοδο, με συνέπεια να εφαρμόζονται ευρέως στην απεικόνιση του υπεδάφους.

Έχουν καθιερωθεί πλέον σε τομείς όπως ο εντοπισμός εγκοίλων - που είναι και το αντικείμενο της παρούσας μελέτης - η μεταλλευτική έρευνα, η αναζήτηση κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου, η εφαρμοσμένη μηχανική και η αρχαιομετρία. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραδοσιακές γεωφυσικές τεχνικές που αρχικά εφαρμόζονταν στην αναζήτηση κοιτασμάτων πετρελαίου και μεταλλευμάτων βρίσκουν πια πρόσφορο έδαφος και στην απεικόνιση των εδαφικών σχηματισμών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο να αναδείξει την σημαντικότητα της εφαρμογής των γεωφυσικών μεθόδων στα γεωτεχνικά έργα. Πιο συγκεκριμένα, στοχεύει στην εύρεση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους της περιοχής ανέγερσης της κτιριακής επέκτασης του Κρατικού Αερολιμένα Χανίων. Προς τούτο, πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας και επεξεργασία των μετρήσεων με την χρήση τριών εξειδικευμένων λογισμικών, Res2Dinv, Res3Dinv και EarthImager, για τον εντοπισμό καρστικών εγκοίλων στη θέση εκσκαφής της ανατολικής επέκτασης του κτιρίου του Κρατικού Αερολιμένα Χανίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία είχε στόχο την ερμηνεία της γεωφυσικής διασκόπησης αλλά και τη σύγκριση μεθόδων επεξεργασίας των γεωηλεκτρικών δεδομένων για την ανάδειξη *καρστικών δομών* με τη χρήση προγραμμάτων σε 2 και 3 διαστάσεις στην περιοχή ανατολικής επέκτασης του Αεροδρομίου Χανίων με τη μέθοδο της *ηλεκτρικής τομογραφίας*.

1.2 ΘΕΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο Κρατικός Αερολιμένας Χανίων ευρίσκεται στη χερσόνησο του Ακρωτηρίου και απέχει 15km από το κέντρο της πόλης.



*Εικόνα 1: Δορυφορική εικόνα του αεροδρομίου Χανίων
(el.wikipedia.org/wiki/Διεθνής_Αερολιμένας_Χανίων_«Ιωάννης_Δασκαλογιάννης»)*

1.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή ενδιαφέροντος, είναι ένα **τυπικό καρστικό πεδίο** στο οποίο έχουν δημιουργηθεί πολλές από τις τυπικές καρστικές μορφές. Η πλειονότητα των ανθρακικών όγκων που δεν βρίσκονται καλυμμένοι από το λεπτό επίστρωμα ερυθρογής εμφανίζουν καρστικές γλυφές που είναι μια επιφανειακή καρστική μορφή. Κατά θέσεις έχουν δημιουργηθεί μεγάλων διαστάσεων καρστικές ταπεινώσεις που έχουν πληρωθεί από terra rossa που αποτελεί και το εδαφικό ορίζοντα στην περιοχή. Με την εκσκαφή στην στενή περιοχή ενδιαφέροντος (ανατολική επέκταση) εμφανίστηκαν και υποεπιφανειακές καρστικές μορφές. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν τα κατά θέσεις εμφανιζόμενα τμήματα συστημάτων καρστικών οχετών τα οποία είχαν αναπτυχθεί κατά μήκος των επιφανειών ασυνέχειας αλλά και σπηλαιώσεις κάθε μεγέθους. Η ανάπτυξη ενός καρστικού συστήματος προϋποθέτει την ύπαρξη διόδων μέσα από τις οποίες θα εισέλθει και θα κυκλοφορήσει στη μάζα του πετρώματος το νερό, μαζί με τα όξινα ανθρακικά ή άλλα ανιόντα που θα προσβάλλουν το πέτρωμα. Οι αρχικές αυτές διόδους, δεν είναι άλλες από τις πάσης φύσεως τεκτονικές ασυνέχειες του πετρώματος (κυρίως ρήγματα και διακλάσεις) και επηρεάζουν την κυκλοφορία του νερού σε όλες τις κλίμακες, από τη μικροσκοπική (τριχοειδή φαινόμενα) μέχρι και τη μακροσκοπική (σε επίπεδο καρστικού συστήματος στο σύνολό του). Ο τεκτονικός ιστός του πετρώματος (γεωμετρία, συχνότητα, πυκνότητα, διασύνδεση, χάσματα των ασυνεχειών κ.λπ.) είναι πρωταρχικός καθοριστικός παράγοντας της ελευθερίας και του προσανατολισμού της κίνησης του νερού και της ταχύτητας με την οποία θα προχωρήσει η καρστικοποίηση. Εξάλλου, έχει διαπιστωθεί (ειδικά σε περιοχές με έντονη και συνεχιζόμενη τεκτονική δραστηριότητα, όπως η Ελλάδα) ότι η **ανάπτυξη των επιφανειακών και υπόγειων καρστικών μορφών, όπως οι γλυφές, φρέατα, δολίνες, οχετοί, σπήλαια κ.λπ., είναι σαφώς προσανατολισμένη σύμφωνα με ρηξιγενείς ζώνες και συστήματα τεκτονικών ασυνεχειών που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή και εξαρτώνται από την τεκτονική καταπόνηση (πλαστική και θραυστική) που έχουν υποστεί τα πετρώματα της περιοχής**. Εκτός όμως από την άμεση επίδραση της τεκτονικής με την έννοια της δημιουργίας των πρωταρχικών διόδων κυκλοφορίας του νερού, υπάρχουν και έμμεσες επιδράσεις που σχετίζονται με:

α) τη σχετική θέση και

β) την φύση του ανθρακικού σχηματισμού (ασβεστόλιθος, δολομίτης, ραουβάκης) καθώς επίσης και

γ) την θέση του αδιαπέρατου υπόβαθρου.

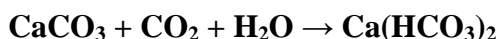
1.3.2 ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΡΣΤΙΚΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η δημιουργία των καρστικών φαινομένων συνδέεται πάντα με την παρουσία ορισμένων πετρωμάτων, τα οποία πρέπει να είναι ευδιάλυτα και να αφήνουν ελάχιστο υπόλειμμα, ώστε τα διάκενα να διευρύνονται με τη διεργασία της διάλυσης αλλά και να παραμένουν ανοικτά, για να είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσω αυτών στο υπέδαφος. Τα πετρώματα αυτά λέγονται «καρστικά» και είναι:

- Οι **εβαπορίτες**: γύψος, ανυδρίτης, ορυκτό αλάτι
- Τα **ανθρακικά**: ασβεστόλιθοι, δολομίτες
- Οι **ηφαιστίτες** (ηφαιστειακό καρστ)
- Οι **χαλαζίτες** και οι **υπερβασίτες** (μόνο από συνθήκες εξαιρετικά τροπικής υγρασίας).

Οι καρστικές μορφές είναι χαρακτηριστικές μορφές, οι οποίες εμφανίζονται κυρίως σε ανθρακικά πετρώματα. Καρστική διάβρωση καλείται η χημική διάλυση κυρίως των ασβεστολίθων. Ο σχηματισμός των καρστικών μορφών οφείλεται κυρίως στη διαλυτική δράση του νερού όταν αυτό είναι πλούσιο σε διοξείδιο του άνθρακα. Η δράση του νερού είναι μηχανική και χημική.

Η καρστική διάβρωση των ασβεστολίθων οφείλεται στην διαλυτική δράση που έχει το νερό όταν περιέχει CO_2



και διακρίνεται σε επιφανειακή και υπόγεια.

Οι υπόγειοι σχηματισμοί ανήκουν στις ενδοκαρστικές μορφές. Το ενδοκάρστ δεν είναι πρωτογενές φαινόμενο, γιατί λαμβάνει χώρα ιζηματογένεση χωρίς το σχηματισμό συγγενετικών κοιλοτήτων. Ταυτόχρονα δημιουργείται η στρώση και τα διάκενα της στρώσης. Γενικά ένα πέτρωμα που δέχεται καρστικοποίηση, υπόκειται κατ' αρχή σε επιφανειακή καρστικοποίηση οπότε σχηματίζονται αρχικά γλυφές σχήματος V, εύρους μερικών m. Ο λόγος για τον οποίο προχωρεί η υπόγεια καρστικοποίηση είναι η διαφορά ύψους ανάμεσα στην επιφάνεια του ασβεστολίθου και το τοπικό επίπεδο βάσης. Έτσι θεωρητικά δεν υπάρχει όριο μέχρι το οποίο μπορεί να προχωρήσει σε βάθος η καρστικοποίηση. Τέτοιες μορφές αποτελούν και τα σπήλαια.

Τα σπήλαια είναι υπόγεια έγκοιλα μεγάλων διαστάσεων που συναντώνται σε ανθρακικά πετρώματα. Πιο συγκεκριμένα, αποτελούν το σύνολο πολλών οριζόντιων ή υποριζόντιων αγωγών, που συνδέονται με την επιφάνεια του εδάφους, με ένα ή περισσότερα ανοίγματα.

1.3.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή ενδιαφέροντος είναι μια κλασική περιοχή επικάρστ που εξελίχθηκε σε μια επιφάνεια καρστικής επιπέδωσης. Οι ποσότητες ύδατος από τις αυξημένες βροχοπτώσεις στην περιοχή, εκφορτίζονται όχι επιφανειακά αλλά κυρίως μέσω του ενεργού υπόγειου καρστικού συστήματος. Η εισροή του μετεωρικού νερού στο καρστικό σύστημα γίνεται είτε συγκεντρωτικά, μέσω των εισόδων που αποτελούν τα φρέατα, οι μικρές δολίνες, είτε από όλη τη μάζα του πετρώματος, μέσω των πάσης φύσεως ασυνεχειών. Το επιφανειακό τμήμα αυτής της ζώνης τροφοδοσίας, θεωρητικά θα έπρεπε να ανήκει στην ακόρεστη ζώνη, δηλαδή η επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα και τα αδιαπέρατα πετρώματα (του υποβάθρου) που τον δημιουργούν να βρίσκονται πολύ βαθύτερα. Δεν συμβαίνει όπως αυτό διότι έχει εντοπιστεί επιφανειακή υδροφορία στην ευρύτερη περιοχή σε βάθη που δεν ξεπερνούν τα 3-4 μέτρα.

Σχετικά με τα ανωτέρω:

α) Στην περιοχή επικρατούν από λευκά – γκρίζα μάρμαρα και μαύρα βιτουμενιούχα δολομιτικά μάρμαρα και ραουβάκες. Η πλαστική τεκτονική έχει οδηγήσει σε μια χωρική επαναληψιμότητα αυτών των λιθολογιών και στην στενή περιοχή ενδιαφέροντος.

β) Όπως φαίνεται και από το σύνολο των μικρών και μεγαλύτερων σπηλαιώσεων αυτά είναι άμεσα συνδεδεμένα με τμήματα των μαύρων βιτουμενιούχων δολομιτικών μαρμάρων με πολύ χαρακτηριστικές κυψελώδεις δομές που επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό αυτών των τμημάτων ως ραουβακών ενός χαρακτηριστικού τύπου πετρώματος για το σύνολο της περιοχής εξάπλωσης των πετρωμάτων της ενότητας του Τρυπαλίου στην δυτική Κρήτη. Η κυψελώδης δομή των ραουβακών αποδόθηκε (από τους Raulin (1869) έως και Manoutsoglou & Steiakakis 2011) στη διαλυτοποίηση γύψων που συνυπήρχαν κατά θέσεις με τους δολομίτες κατά την δημιουργία του αρχικού δολομιτικού πετρώματος στο ρηχό παλαιοπεριβάλλον δημιουργίας του.

γ) Σχετικά με το αδιαπέρατο υπόβαθρο, στην ευρύτερη περιοχή του Ακρωτηρίου το αδιαπέρατο αυτό υπόβαθρο αποτελείται από αδιαπέρατους σχηματισμούς (πολύ πιθανώς τους τυπικούς «πλακώδεις ασβεστόλιθους» ήτοι τις εναλλαγές μεταμορφωμένων μεσοπλακωδών ασβεστολίθων με ενδιαστρώσεις κερατολίθων της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων), και οριοθετείται από μια τεκτονική επωθητική επαφή όπως αυτή εμφανίζεται στον λατομικό χώρο πλησίον του οικισμού Χορδάκι. Η «επιφάνεια» αυτή δημιούργησε (και πιθανώς να συνεχίζει να δημιουργεί) για τους υπερκείμενους κατακερματισμένους ανθρακικούς σχηματισμούς της ενότητας του Τρυπαλίου μια «τεχνητή» βάση επιταχυνόμενης καρστικοποίησης που προσομοιάζει αρκετά με τις διαβρωτικές διεργασίες της επιφάνειας. Ήτοι στην περιοχή της μεταβαλλόμενης εποχιακά αλλά και επεισοδιακά ελεύθερης επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα εντός των κερματισμένων (μετα)ανθρακικών συνήθως εμφανίζονται περισσότερες καρστικές δομές.

Οι καρστικές δομές που παρατηρήθηκαν στα τεχνικά πρηνή της ανατολικής επέκτασης είναι διαφόρων διαστάσεων από διάμετρο μερικών μέτρων έως και μερικών εκατοστών. Οι σπηλαιώσεις μπορεί να είναι είτε πληρωμένες με σταλαγμίτες, σταλακτίτες και γενικότερα σπηλαιοθέματα από τραβερτίνη με το χαρακτηριστικό κόκκινο – καφέ χρώμα των οξειδίων του σιδήρου και αντίστοιχα της terra rossa είτε να είναι κενές σπηλαιοθεμάτων.



Εικόνα 2: Πληρωμένες σπηλαιώσεις (Τεχνική έκθεση γεωλογικής επισκόπησης, Εμμ. Μανούτσογλου 2014)



Εικόνα 3: Κενές σπηλαιώσεις (Τεχνική έκθεση γεωλογικής επισκόπησης, Εμμ. Μανούτσογλου 2014)

Την ευρύτερη περιοχή διατέμνουν μικρά και μεγάλα ρήγματα στις διευθύνσεις BBA/NNΔ και BBΔ/NNΔ.

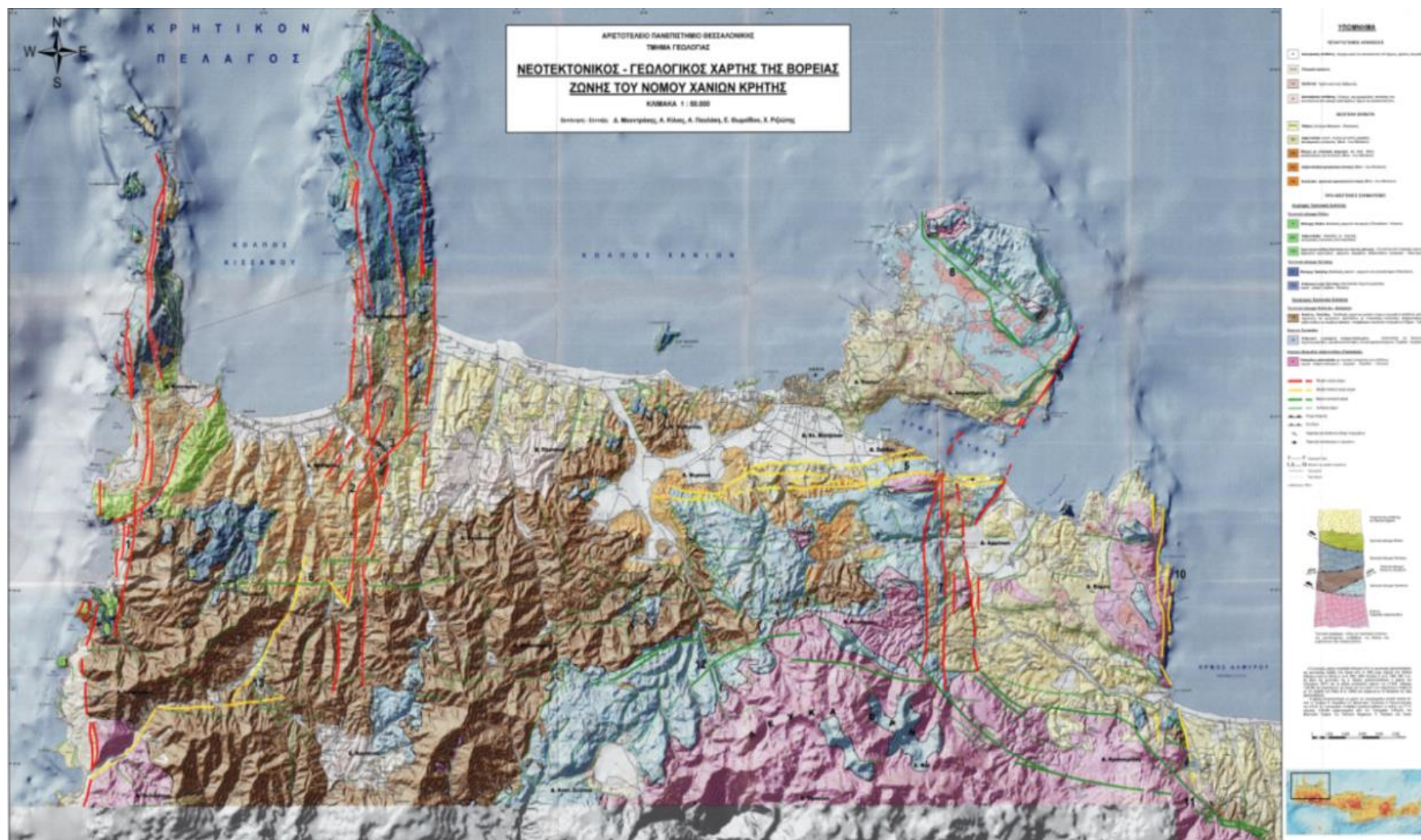
Στις ίδιες διευθύνσεις αναμένουμε ρήγματα και στο υπόλοιπο της περιοχής σε θέσεις που δεν είναι εφικτές οι μετρήσεις.

Στις θέσεις διασταυρώσεων των ρηγμάτων αναμένονται μεγαλύτερων διαστάσεων καρστικές σπηλαιώσεις.

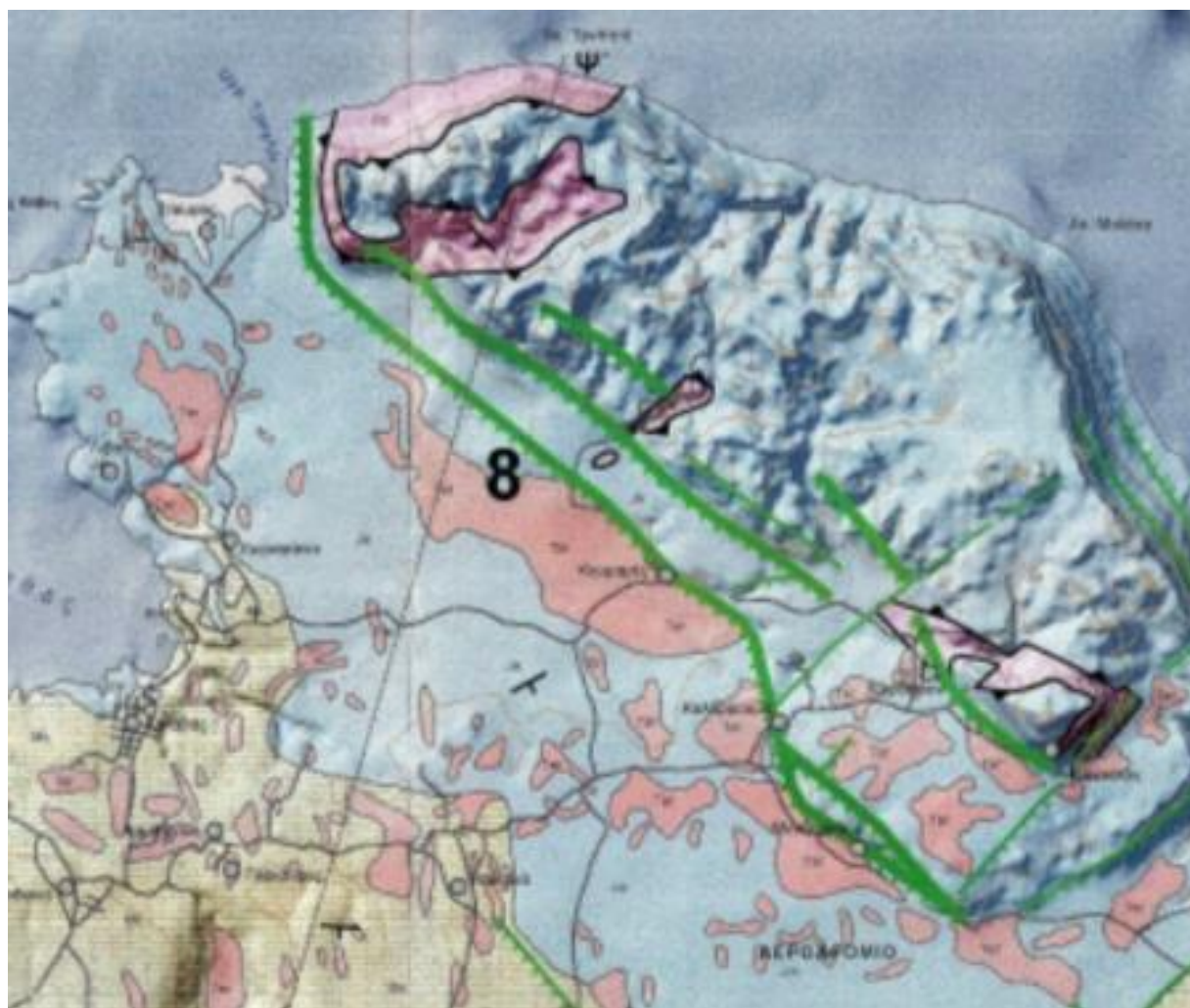
Η πλειονότητα των σπηλαίων της περιοχή συνδέεται και με την αρχική χωρική κατανομή ενός συγκεκριμένου πετρώματος του ραουβάκη της ενότητας του Τρυπαλίου που και αυτός πέραν της μεταμόρφωσης και πλαστικής παραμόρφωσης έχει υποστεί και θραυσιγενή τεκτονική που επιτάχυνε την καρστικοποίησή του ιδιαίτερα στην περιοχή του επικάρστ.

Ο έλεγχος της ύπαρξης καρστικού εγκοίλου είναι ιδιαίτερα σημαντικός όταν πρόκειται να γίνει οποιαδήποτε ανέγερση, για την αποφυγή ανεπιθύμητων υποχωρήσεων του εδάφους. Εδαφική υποχώρηση είναι ο υποβιβασμός της επιφάνειας του εδάφους λόγω αλλαγών είτε στη στάθμη κάποιου υπόγειου ρευστού είτε στη μεταβολή της αντοχής του εδάφους. Μέτρο αποκατάστασης αποτελεί η πλήρωση του εγκοίλου με σκυρόδεμα ώστε να μην είναι κενό. Επιπλέον, ο έλεγχος γίνεται στις περιπτώσεις που το έγκοιλο βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

Γεωλογική επισκόπηση επέκτασης του Αερολιμένα Χανίων

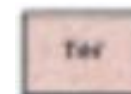


Εικόνα 4: Γεωλογικός χάρτης του νομού Χανίων (Τεχνική έκθεση γεωλογικής επισκόπησης, Εμμ. Μανούτσου 2014)



Εικόνα 5: Γεωλογικός χάρτης περιοχής 8 του αεροδρομίου Χανίων (Τεχνική έκθεση γεωλογικής επισκόπησης, Εμμ. Μανούτσογλου 2014)

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ



Ερυθρογή – Προϊόν
καρστικής διάβρωσης



Ανθρακικά πετρώματα
ανακρυσταλλωμένα.
Ασβεστόλιθοι και δολομίτες
παχυστρωματώδεις,
κροκαλολατυπαγείς, έντονα
καρστικοποιημένοι.



Μεγάλο ανενεργό ρήγμα
Ανενεργό ρήγμα



Ενώθηση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εφαρμόζονται για τον καθορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Αυτό επιτυγχάνεται με την μέτρηση της ηλεκτρικής τάσης, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο καθορισμός και η μελέτη της κατανομής των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Για την επιτυχή εφαρμογή των ηλεκτρικών μεθόδων είναι απαραίτητη η ύπαρξη σημαντικής αντίθεσης στις ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ του υπό μελέτη σχηματισμού και του ευρύτερου γεωλογικού περιβάλλοντος.

Οι ηλεκτρικοί μέθοδοι , χρησιμοποιούνται ευρέως στη χαρτογράφηση γεωλογικών σχηματισμών, στην: κοιτασματολογία, τεκτονική, υδρογεωλογία τεχνική γεωλογία, γεωθερμία, στη στρωματογραφία και στην αρχαιολογία.

2.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συντελεί στην λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Με την ηλεκτρική τομογραφία επιδιώκεται ο καθορισμός της *γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους*, δηλαδή η *κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε δύο ή τρεις διαστάσεις*.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων και δίνεται από τον τύπο:

$$\rho = \frac{RA}{L}, \text{ όπου:}$$

R: η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού

A: το εμβαδόν τομής του αγωγού

L: το μήκος του αγωγού.

Μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) είναι το Ωm .

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

Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα και η

τιμή της εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}, \text{ όπου:}$$

a : η απόσταση των ηλεκτροδίων,

ΔV : η διαφορά δυναμικού και

I : η ένταση του ρεύματος που διέρχεται από τα ηλεκτρόδια.

2.3 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Με την αντιστροφή γίνεται ο υπολογισμός της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις φαινόμενες αντιστάσεις. Στα περισσότερα γεωφυσικά προβλήματα που χρησιμοποιείται η αντιστροφή, τα δεδομένα συνδέονται με μη γραμμικές σχέσεις με τις παραμέτρους του μοντέλου. Έτσι και στην περίπτωση της αντιστροφής των φαινόμενων αντιστάσεων το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Επιπλέον, το πρόβλημα είναι υπερπροσδιορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων υπερβαίνει τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου. Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζονται επαναληπτικές τεχνικές που χρησιμοποιούν την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Αρχικά όμως γίνεται προσέγγιση του μη γραμμικού προβλήματος με το γραμμικό, με τη βοήθεια της σειράς Taylor.

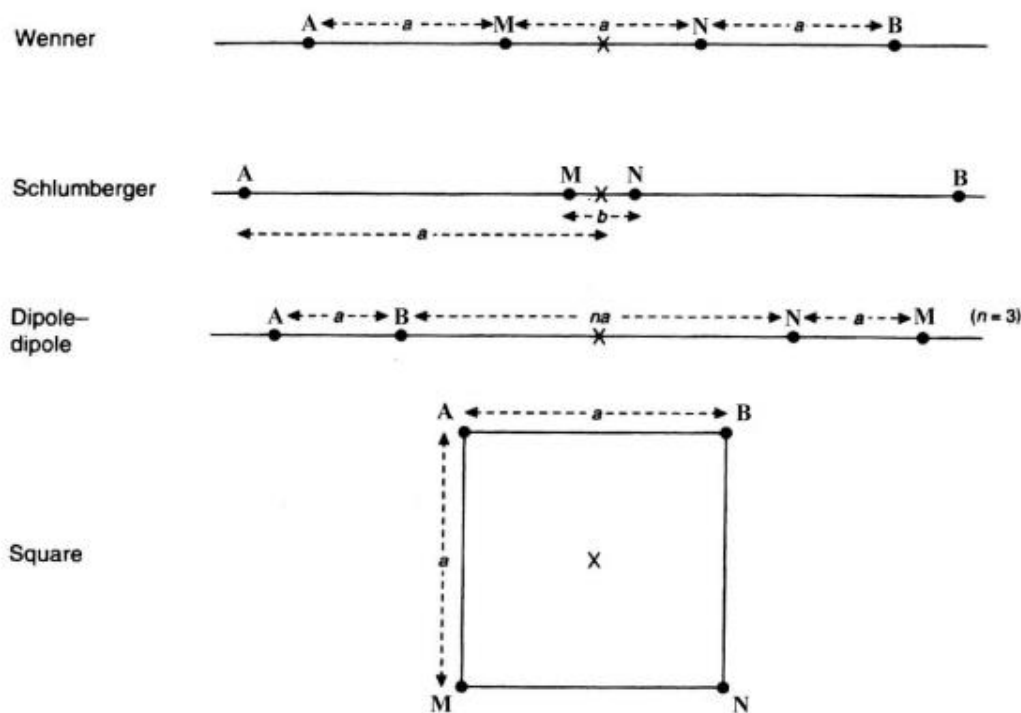
2.4 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ

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 μοντέλο, για την ελαχιστοποίηση της διαφοράς μεταξύ της υπολογιζόμενης και της μετρούμενης τιμής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Με την διαδικασία αυτή υπολογίζεται ένα νέο βελτιωμένο μοντέλο. Η βελτίωση αυτή αφορά μόνο τις παραμέτρους του μοντέλου. Η διαδικασία συνεχίζεται υπολογίζοντας για το βελτιωμένο μοντέλο τις φαινόμενες αντιστάσεις, οι οποίες συγκρίνονται στη συνέχεια με τις πραγματικές μετρήσεις. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο που να δίνει φαινόμενες αντιστάσεις όσο το δυνατόν πιο κοντά στις μετρήσεις.

2.5 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

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 διατάξεις τεσσάρων ηλεκτροδίων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές επειδή ελαχιστοποιούν τα αποτελέσματα της αντίστασης επαφής, δηλαδή της ηλεκτρικής αντίστασης στην θέση του ηλεκτροδίου. Για την επιλογή της διάταξης, κυριότεροι παράγοντες που λαμβάνουμε υπόψη μας είναι το βάθος διασκόπησης καθώς και η διακριτική ικανότητα της κάθε μεθόδου.

Έτσι έχουμε διατάξεις διπόλου – διπόλου, πόλου – διπόλου, Wenner και Schlumberger.

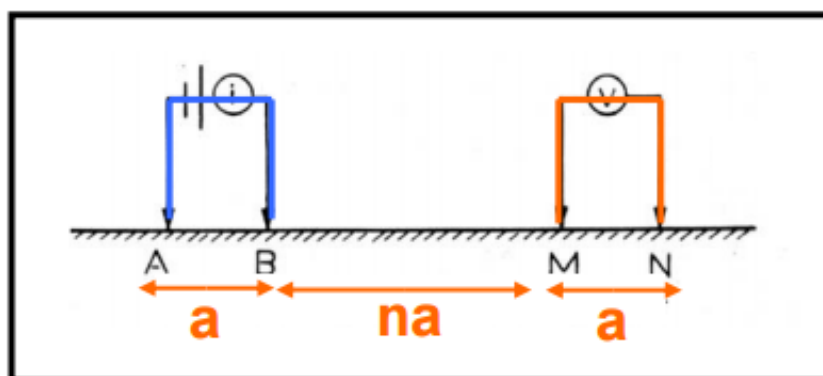


Εικόνα 6: Διατάξεις ηλεκτρικής τομογραφίας

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.

2.5.1 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΟΛΟΥ – ΔΙΠΟΛΟΥ

Στην διάταξη διπόλου – διπόλου, η οποία και χρησιμοποιήθηκε, οι μετρήσεις έγιναν τοποθετώντας τα ηλεκτρόδια ρεύματος συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης. Η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Το a είναι το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι ίση με na .



Εικόνα 7: Διάταξη διπόλου – διπόλου.

Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_a = \pi na (n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{I}, \text{ όπου:}$$

$\pi na (n+1)(n+2)$: ο γεωμετρικός συντελεστής της διάταξης των ηλεκτροδίων,

ΔV : η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού και

I : η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Εφόσον πρόκειται να καταγραφεί ένα προφίλ ηλεκτρικής αντίστασης, τότε η καλύτερη διάταξη ηλεκτροδίων είναι διπόλου – διπόλου. Η γεωμετρική μορφή του διπόλου καθορίζει και τη διακριτικότητα που θα προκύψει από το προφίλ και πρέπει να επιλέγεται πάντοτε πριν τις μετρήσεις ανάλογα με το γεωφυσικό στόχο. Είναι δηλαδή αδύνατο, να ανιχνευθούν κοιλότητες μεγέθους πέντε μέτρων με δίπολο διαστάσεων μεγαλύτερες από πέντε μέτρα. Η ανάλυση επίσης μειώνεται με το βάθος. Γενικά, ένας κανόνας είναι να επιλέγεται μήκος διπόλου περίπου στο ήμισυ των αναμενόμενων γεωφυσικών στόχων.

Το πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι η απόσταση na ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού. Όσο μεγαλύτερο είναι το n τόσο μεγαλύτερο είναι το βάθος διεύδυσης του ηλεκτρικού ρεύματος. Επιπλέον, έχει μεγάλη ευαισθησία στις πλευρικές μεταβολές της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι παρουσιάζει μικρό λόγο σήματος προς θόρυβο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RES2DINV)

Το Res2Dinv είναι ένα πρόγραμμα επεξεργασίας και μοντελοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου. Το πρόγραμμα αυτό χωρίζει το υπέδαφος σε έναν αριθμό παραλληλογράμμων και θεωρεί σταθερή την πραγματική ειδική αντίσταση σε κάθε ορθογώνιο. Ξεκινώντας από αρχικό μοντέλο, υπολογίζονται οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό και συγκρίνονται με τις μετρημένες τιμές της φαινόμενης αντίστασης. Με διαδοχικές επαναλήψεις μειώνεται συνεχώς το σφάλμα, δηλαδή η διάφορα μεταξύ θεωρητικών και μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, και τελικά επιλέγεται ένα μοντέλο με σχετικά μικρό σφάλμα, σε σχέση με το αρχικό, όταν οι επόμενες επαναλήψεις δεν μειώνουν περαιτέρω το σφάλμα αυτό, δηλαδή όταν η επαναληπτική διαδικασία παρουσιάζει σύγκλιση.

Το λογισμικό αυτό διαθέτει τρεις διαφορετικές μεθόδους αντιστροφής. Η πρώτη είναι η LEAST-SQUARES INVERSION, η δεύτερη η ROBUST και η τρίτη η COMBINED INVERSION.

3.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ

Όλες οι μέθοδοι αντιστροφής προσπαθούν ουσιαστικά να καθορίσουν ένα πρότυπο για το υπέδαφος η ανταπόκριση του οποίου συμφωνεί με τα μετρημένα στοιχεία που υπόκεινται σε ορισμένους περιορισμούς. Στην μέθοδο που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα, Res2Dinv οι πρότυπες παράμετροι είναι οι τιμές ειδικής αντίστασης, ενώ τα δεδομένα είναι οι μετρημένες τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης. 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.

3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ (LEAST SQUARES METHOD)

Όλα τα μοντέλα που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ y και c μπορούν να παρασταθούν από τη γενική συνάρτηση:

$$y = f(x, a, b, \dots, b), \text{ όπου:}$$

a, b, \dots, b είναι παράμετροι της συνάρτησης.

- Αποδεχόμαστε ότι οι τιμές x στερούνται σφάλματος (η παρασκευή προτύπων είναι πολύ ακριβής με σφάλματα τη τάξεως 0,1%, δηλαδή μικρότερα από τα μετρήσιμα σφάλματα). Οι τιμές x τίθενται στον οριζόντιο άξονα.
- Οι τιμές y , είναι η εξηρημένη μεταβλητή, και εμπεριέχουν σφάλμα. Τίθενται στο κάθετο άξονα.
- Στόχος της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων είναι να υπολογισθούν εκείνες οι τιμές των παραμέτρων a, b, \dots, b , για τις οποίες το μοντέλο θα έχει την καλύτερη προσαρμογή στα πειραματικά δεδομένα ($x - y$).
- Για τις περισσότερες αναλυτικές τεχνικές η καμπύλη βαθμονόμησης (αναφοράς) περιγράφεται από μια ευθεία γραμμή (γραμμικό μοντέλο) και έτσι χρησιμοποιείται η γραμμική μέθοδος προσαρμογής ελαχίστων τετραγώνων (**linear least square regression**).
- Η σχέση μεταξύ κάθε ζεύγους παρατηρήσεων (x, y) παριστάνεται ως:

$$y = a + bx + e$$

δηλαδή το σήμα y συνίσταται από ένα καθορισμένο μέγεθος ($a + bx$) που προβλέπεται από το γραμμικό μοντέλο και ένα τυχαίο συστατικό (σφάλμα) e .

Στόχος της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων είναι να βρεθούν οι εκτιμήτριες των αληθινών τιμών a και b . Αυτό πετυχαίνεται με τον υπολογισμό τιμών a και b για τις οποίες το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων (δηλαδή των e) να γίνεται ελάχιστο :

$$\sum e \rightarrow 0$$

Το κριτήριο των ελαχίστων τετραγώνων έχει ως εξής: Η “γραμμή της καλύτερης προσαρμογής” λέγεται ότι είναι αυτή που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των σημείων της γραφικής παράστασης από τα σημεία της ευθείας γραμμής (με τις αποστάσεις να μετριοούνται κάθετα). Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων είναι υπολογιστικά απλή και “τιμωρεί” τα μεγάλα λάθη σχετικά περισσότερο από ότι “τιμωρεί” τα μικρά λάθη.

3.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ (ROBUST)

Η μέθοδος Robust χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου το υπέδαφος αποτελείται από γεωλογικούς σχηματισμούς που να μεν είναι ομοιογενείς στο εσωτερικό τους, παρουσιάζουν δε απότομες αλλαγές μεταξύ τους. Παρουσιάζει καλά αποτελέσματα όταν το υπέδαφος αποτελείται από διαφορετικά γεωλογικά στρώματα, π. χ εδαφικός σχηματισμός και βράχος. Με την μέθοδο Robust, ελαχιστοποιείται η απόλυτη διαφορά μεταξύ των πραγματικών και των συνθετικών δεδομένων της αντίστασης. Με αυτό τον τρόπο στο μοντέλο που παράγεται, διακρίνονται καλύτερα οι διαχωριστικές επιφάνειες μεταξύ των περιοχών που παρουσιάζουν διαφορετικές τιμές

της ηλεκτρικής αντίστασης. Κάθε περιοχή χαρακτηρίζεται από σχεδόν σταθερή τιμή αντίστασης. Επιπλέον, η συγκεκριμένη μέθοδος αντιστροφής είναι λιγότερο ευαίσθητη στις μετρήσεις με υψηλό θόρυβο, συνεπώς ικανή να δώσει μικρό σφάλμα ειδικής αντίστασης.

3.2.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ (SMOOTHNESS COMBINED INVERSION METHOD)

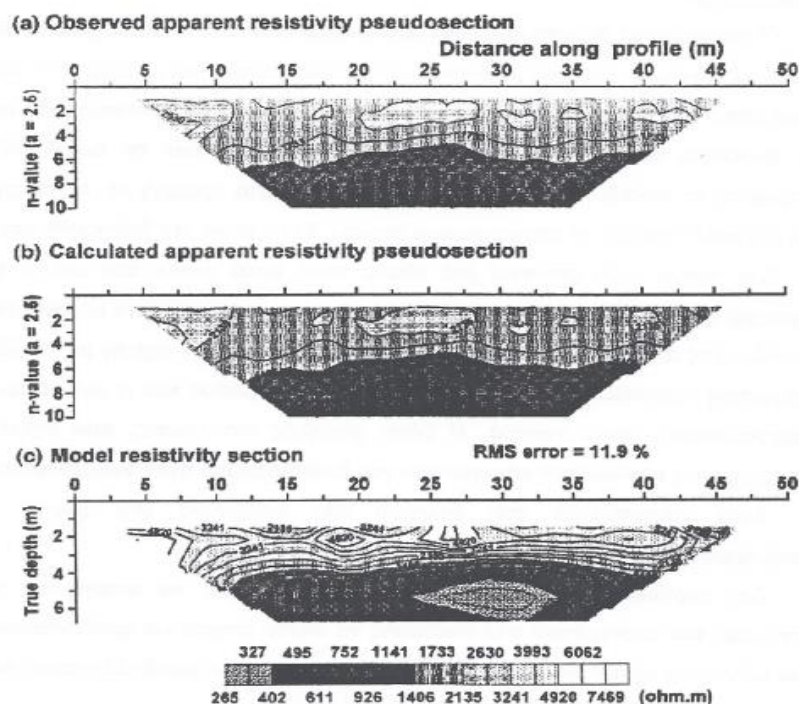
Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου λόγω του μεγάλου εύρους των τιμών της ειδικής αντίστασης, οι τιμές ευαισθησίας των δεδομένων είναι σημαντικά διαταραγμένες. Έτσι, δεν είναι εύκολος ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους. Σε περιπτώσεις όπου η διασκόπηση πραγματοποιείται πάνω σε σχηματισμούς με πολύ μικρή τιμή ειδικής αντίστασης, η διαδρομή του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να διαταράσσεται με τέτοιο τρόπο ώστε το υπέδαφος να μην χαρτογραφείται σωστά. Ως συνέπεια, προτάσσονται πολύ χαμηλές τιμές ευαισθησίας στο μοντέλο αντιστροφής, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλη διαταραχή ακριβώς κάτω από τον αγώγιμο σχηματισμό. Συνδυάζοντας την μέθοδο Marquardt (κανονικοποίηση μηδενικού βαθμού με χρήση της νόρμας L2) ή ridge regression και τη μέθοδο Occam ή Smoothness Constrained (κανονικοποίηση με περιορισμούς εξομάλυνσης), η διαταραχή μπορεί να ελαχιστοποιηθεί. Η μέθοδος Marquardt μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μόνη της, αν και θεωρείται ότι παρουσιάζει αστάθεια για μετρήσεις που περιέχουν θόρυβο, όταν χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός παραμέτρων. Σύμφωνα με τον Loke (Manual Res2div 2002) σε περίπτωση όπου υπάρχουν συμπαγείς σχηματισμοί με οριζόντιες διαστάσεις ελαφρώς μικρότερες από το βάθος αυτή η μέθοδος δίνει καλύτερα αποτελέσματα.

3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ

Για καθεμία από τις παραπάνω μεθόδους αντιστροφής προκύπτουν τρεις γεωηλεκτρικές τομές για κάθε γραμμή μελέτης.

- Η πρώτη τομή αποτελεί απεικόνιση της ψευδοτομής των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Όπως αναφέρθηκε με την δημιουργία της ψευδοτομής προσδιορίζεται προσεγγιστικά η κατανομή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στο υπέδαφος
- Η δεύτερη αποτελεί απεικόνιση της ψευδοτομής των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και
- Η τρίτη αποτελεί απεικόνιση της γεωηλεκτρικής τομής από την αντιστροφή των δεδομένων.

Αναλυτικότερα:



Σχήμα 1: Γεωηλεκτρικές τομές για τον εντοπισμό σπηλαίων.

Στην απεικόνιση παρουσιάζεται η χρωματική κλίμακα, η οποία αντιστοιχεί στις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και το σφάλμα (RMS ή ABS) ανάλογα με την επιλεγμένη μέθοδο. Για την αλλαγή της κλίμακας, ώστε να μπορούν να είναι συγκρίσιμες οι γεωηλεκτρικές τιμές των τριών διαφορετικών μεθόδων, χρησιμοποιείται λογαριθμική επιλογή καθώς και οι τιμές της ελάχιστης τιμής και του αυξητικού παράγοντα, που έχουμε θεωρήσει πιο ικανοποιητικό. Για την μείωση του αρχικού σφάλματος αφαιρούσαμε τιμές δεδομένων, όπου ήταν αναγκαίο. Η διαδικασία αυτή έγινε σταδιακά, με ενδιάμεση αφαίρεση τιμών από 200 και πάνω, 150 και πάνω, 100 και πάνω και 80 και πάνω. Δεν συνεχίζουμε την αφαίρεση σε μικρότερες τιμές, κάτω από το 80, για να μην αποκλείσουμε τιμές δεδομένων που ίσως είναι σημαντικές.

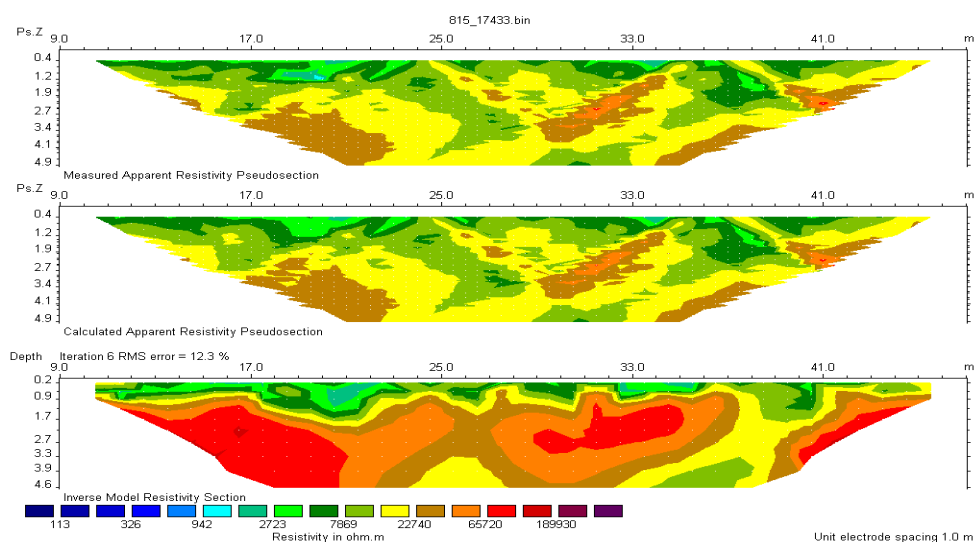
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

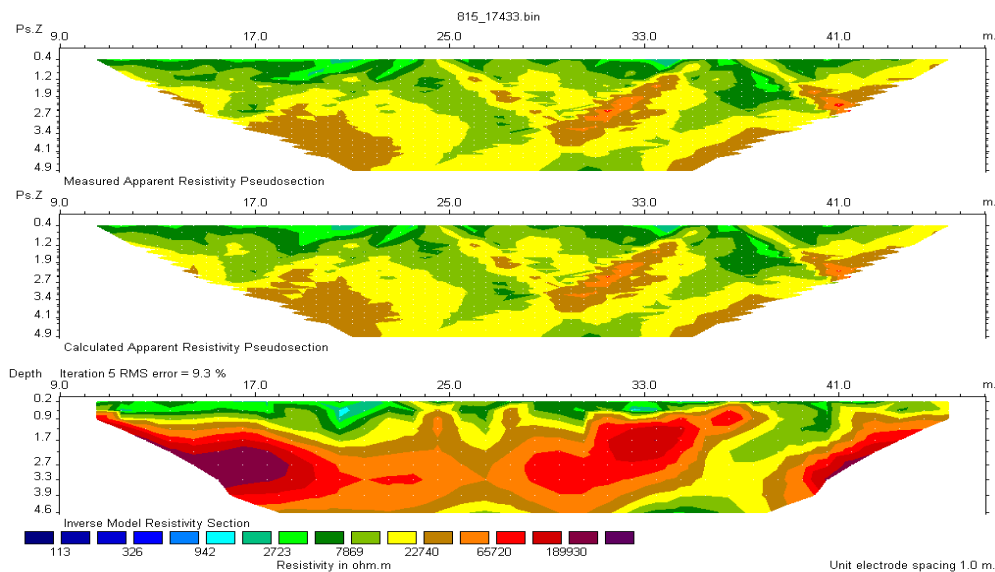
Για την υπό μελέτη **περιοχή 8**, όπως προαναφέρθηκε, είχαμε 21 γραμμές μελέτης, μήκους 47 m και μέγιστου βάθους διασκόπησης 10 m, οι οποίες διασκοπήθηκαν με διεύθυνση Νότου προς Βορρά. (ΝΔ – ΒΑ).

4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ LEAST-SQUARES

Με την εισαγωγή λοιπόν των αρχικών δεδομένων στο πρόγραμμα Res2Dinv και την επιλογή της μεθόδου Least- Squares, προκύπτουν για καθεμία από τις γραμμές, οι αντίστοιχες γεωηλεκτρικές τομές. Λόγω του υψηλού σφάλματος, αφαιρούμε αρχικά τιμές πάνω από 200 και προκύπτει νέα απεικόνιση τομών με μικρότερο σφάλμα. Στη συνέχεια, πάνω από 150 και έπειτα πάνω από 100 με νέες απεικονίσεις και ακόμη μικρότερο σφάλμα. Τέλος, αφαιρούμε τις τιμές πάνω από 80 για το καλύτερο δυνατό σφάλμα και το αντίστοιχο μοντέλο. Επιπλέον, για την διαμόρφωση της κλίμακας, χρησιμοποιούμε τη λογαριθμική επιλογή με ελάχιστη τιμή 112.8 και αυξητικό παράγοντα που ισούται με 1.7. Έτσι, έχουμε τις εξής γεωηλεκτρικές τομές για την γραμμή 15 που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα με τη συγκεκριμένη μέθοδο:



Σχήμα 2α: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 12,3%.



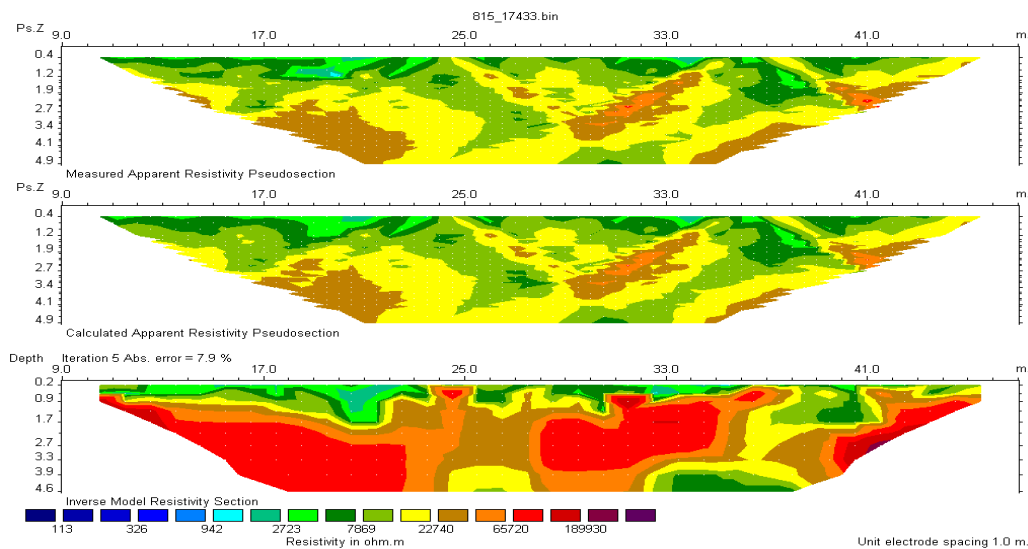
Σχήμα 2β: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 9,3%.

4.2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ LEAST-SQUARES

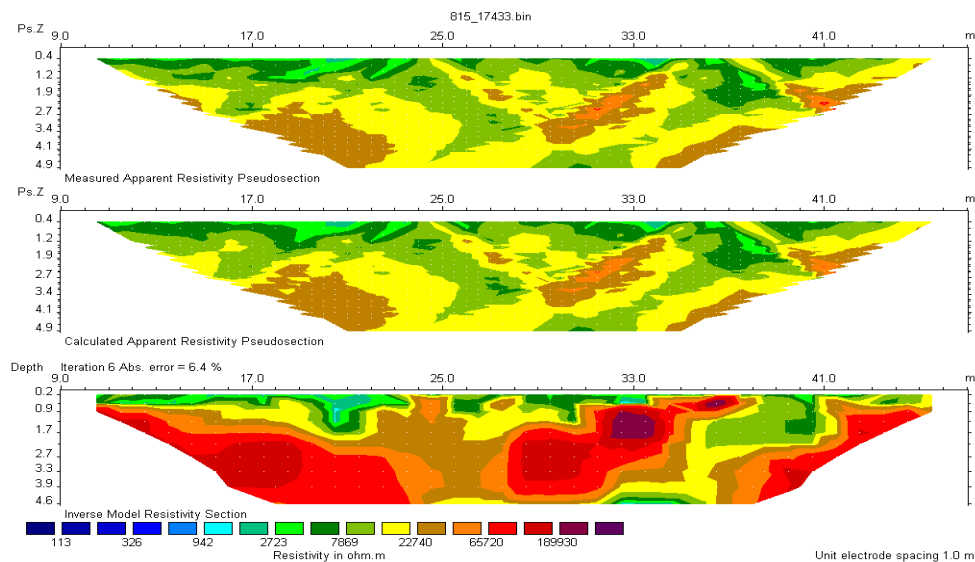
Παρατηρούμε λοιπόν, από τις παραπάνω απεικονίσεις ότι το σφάλμα (RMS) αρχικά ήταν 12,3% και με την αφαίρεση τιμών κατέληξε σε 9,3%. Αυτή η μείωση του σφάλματος παρατηρείται και σε όλες τις υπόλοιπες γραμμές μελέτης.

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ROBUST

Με την εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα Res2Dinv και την επιλογή της μεθόδου Robust, ακολουθεί η ίδια διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, αφαιρέσαμε τιμές πάνω από 200, 150, 100 και 80 και πήραμε τις αντίστοιχες βελτιωμένες γεωηλεκτρικές τομές, διαμορφώνοντας την κλίμακα όπως αναφέραμε και παραπάνω, δηλαδή χρησιμοποιήσαμε τη λογαριθμική επιλογή με ελάχιστη τιμή 112.8 και αυξητικό παράγοντα που ισούται με 1.7. Έτσι έχουμε τις αντίστοιχες γεωηλεκτρικές τομές για την γραμμή 15, που παρουσιάζει μικρό σφάλμα με τη συγκεκριμένη μέθοδο:



Σχήμα 3α: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 7,9%.



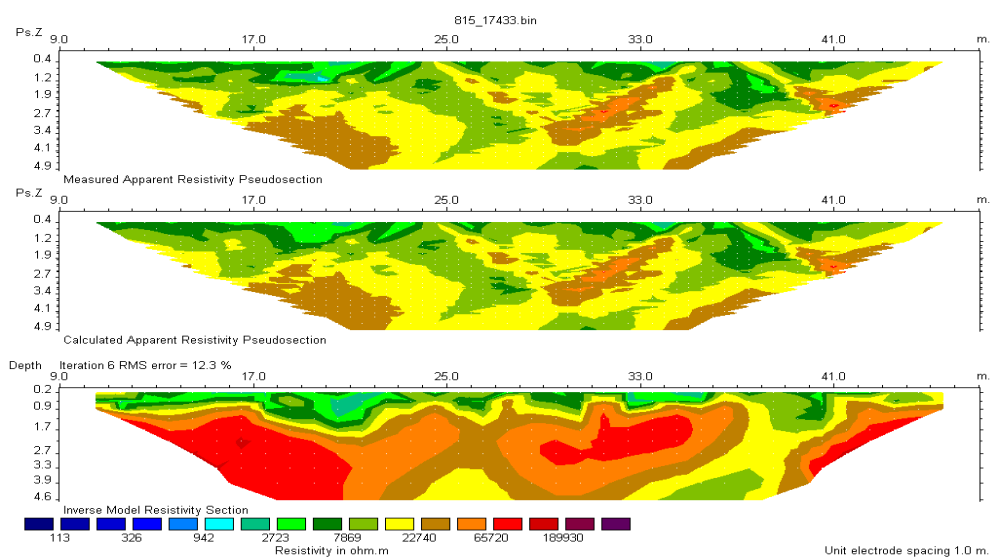
Σχήμα 3β: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 6,4%.

4.3.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ROBUST

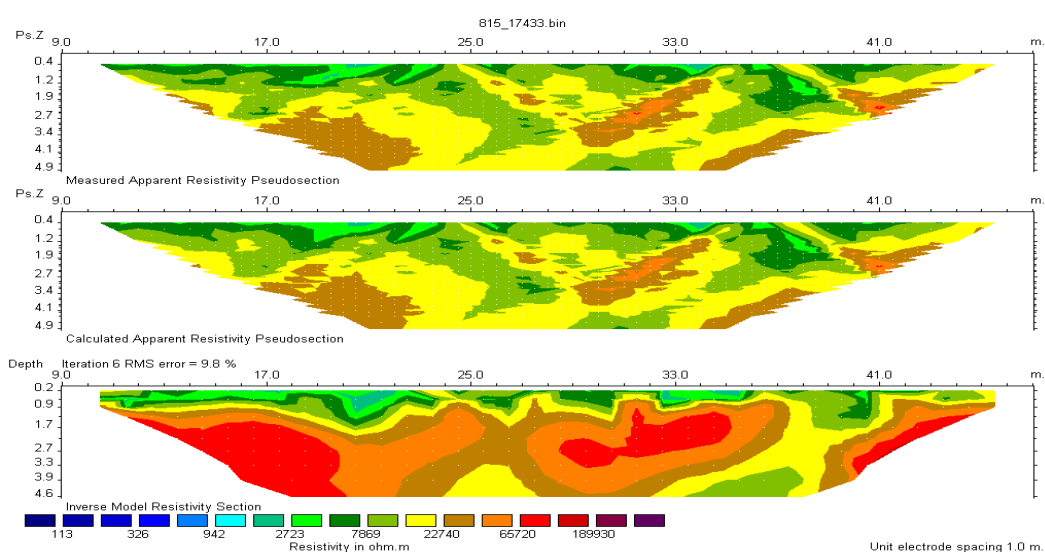
Παρατηρούμε λοιπόν και εδώ, από τις παραπάνω απεικονίσεις ότι το σφάλμα (ABS) αρχικά ήταν 7,9% και με την αφαίρεση τιμών κατέληξε σε 6,4%. Αυτή η μείωση του σφάλματος παρατηρείται και σε όλες τις υπόλοιπες γραμμές μελέτης.

4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ COMBINED

Με την εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα Res2Dinv και την επιλογή της μεθόδου Combined, ακολουθεί πάλι η ίδια διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, αφαιρέσαμε τιμές πάνω από 200, 150, 100 και 80 και πήραμε τις αντίστοιχες βελτιωμένες γεωηλεκτρικές τομές, διαμορφώνοντας την κλίμακα όπως αναφέραμε και παραπάνω, δηλαδή χρησιμοποιήσαμε τη λογαριθμική επιλογή με ελάχιστη τιμή 112.8 και αυξητικό παράγοντα που ισούται με 1.7. Έτσι έχουμε τις αντίστοιχες γεωηλεκτρικές τομές για την γραμμή 15, που παρουσιάζει μικρό σφάλμα με τη συγκεκριμένη μέθοδο:



Σχήμα 4α: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 12,3 %.



Σχήμα 4β: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 9,8%.

4.4.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ COMBINED

Παρατηρούμε λοιπόν και εδώ, από τις παραπάνω απεικονίσεις ότι το σφάλμα (RMS) αρχικά ήταν 12,3% και με την αφαίρεση τιμών κατέληξε σε 9,8%. Αυτή η μείωση του σφάλματος παρατηρείται και σε όλες τις υπόλοιπες γραμμές μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ RES3DINV)

Το Res3Dinv είναι ένα πρόγραμμα επεξεργασίας και μοντελοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου σε τρισδιάστατη μορφή, με το οποίο έγινε η επεξεργασία των δεδομένων της υπό μελέτη περιοχής (περιοχή 8). Το πρόγραμμα RES3DINV χρησιμοποιεί την αντίστροφη τεχνική των ελαχίστων τετραγώνων και αναγκάζεται να παράγει ένα 3D μοντέλο του υπεδάφους μόνο από τα εμφανή στοιχεία αντίστασης. Έχει τη δυνατότητα επιλογής και εξαγωγής οριζόντιων τομών $x - y$, αλλά και τομών $y - z$. Για την διαμόρφωση της κλίμακας, ώστε να έχουν όλες οι γεωηλεκτρικές τομές την ίδια κλίμακα, χρησιμοποιούμε τη λογαριθμική επιλογή με ελάχιστη τιμή 112.8 και αυξητικό παράγοντα που ισούται με 1.7. Στο λογισμικό αυτό, εμείς επιλέξαμε τις μεθόδους αντιστροφής Least-squares inversion και Robust.

5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

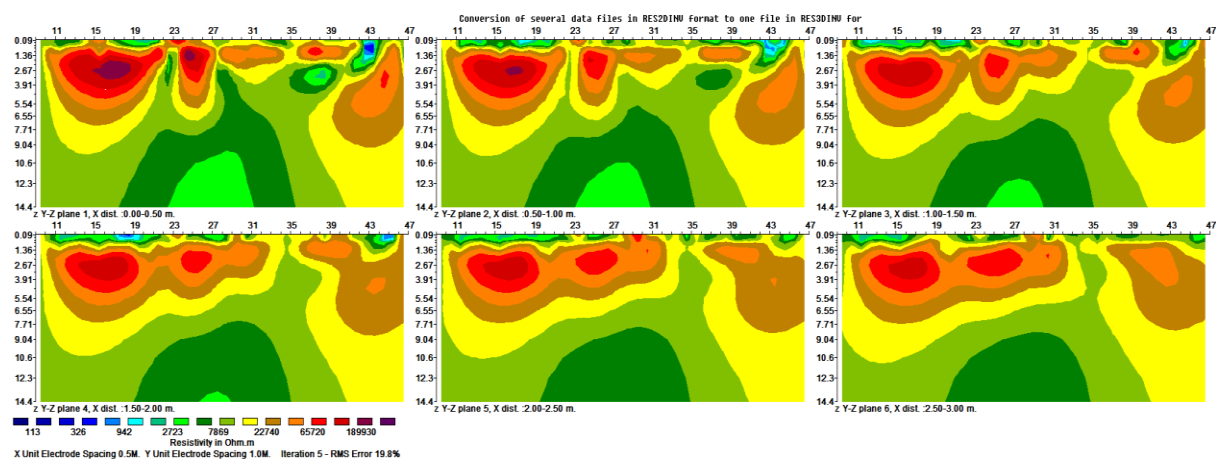
5.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ LEAST – SQUARES

Με τη μέθοδο αντιστροφής Least- Squares βγάλαμε κατακόρυφες τομές $y - z$ καθώς και οριζόντιες τομές $x - y$.

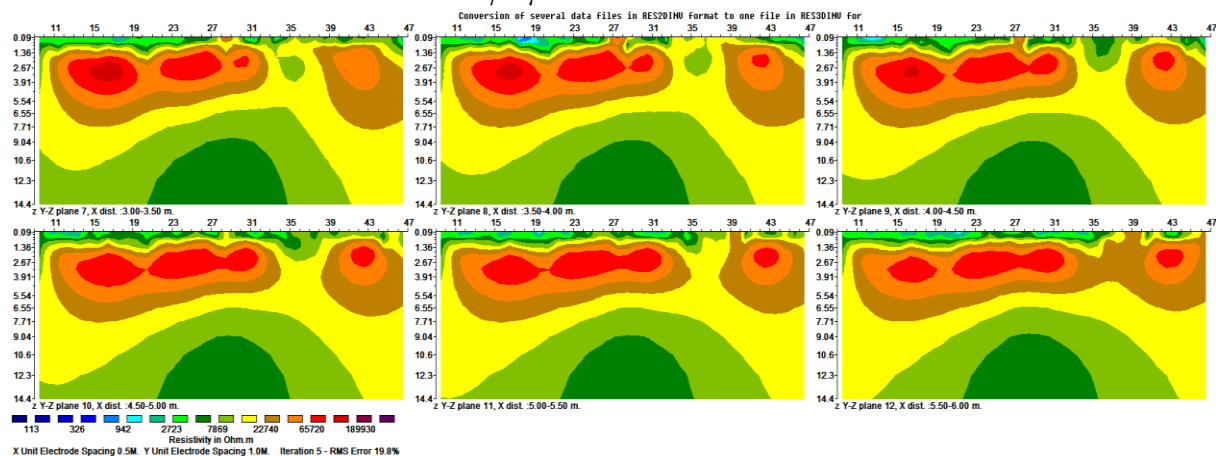
5.2.1.1 ΤΟΜΕΣ $y - z$

Με την εισαγωγή λοιπόν των αρχικών δεδομένων στο πρόγραμμα Res3Dinv και την επιλογή της μεθόδου Least- Squares, προκύπτουν για καθεμία από τις γραμμές, οι αντίστοιχες γεωηλεκτρικές τομές. Για την διαμόρφωση της κλίμακας, χρησιμοποιούμε, όπως και στο Res2Dinv, τη λογαριθμική επιλογή με ελάχιστη τιμή

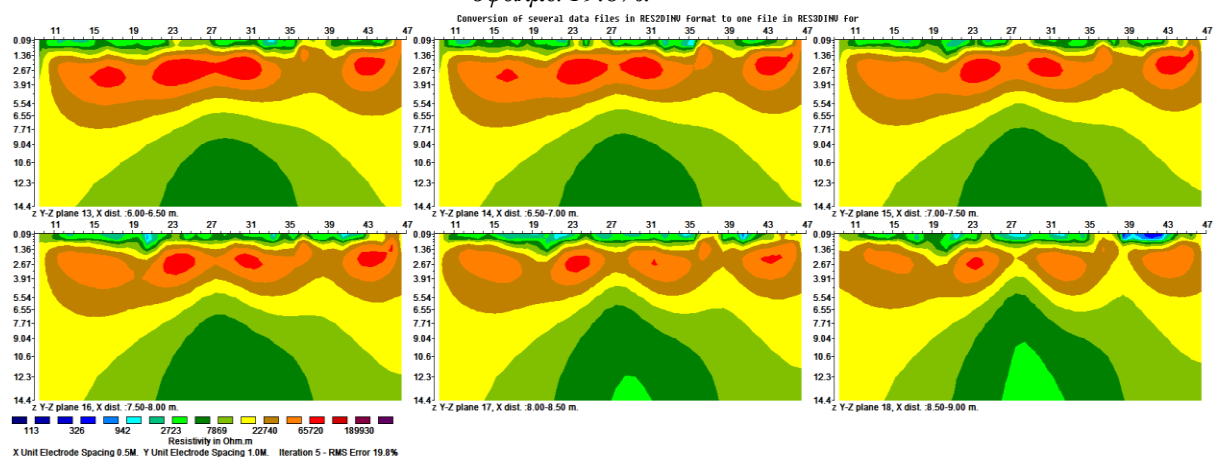
112.8 και αυξητικό παράγοντα που ισούται με 1.7. Έτσι, επιλέγοντας την απεικόνιση συνεχόμενων τομών, προκύπτουν:



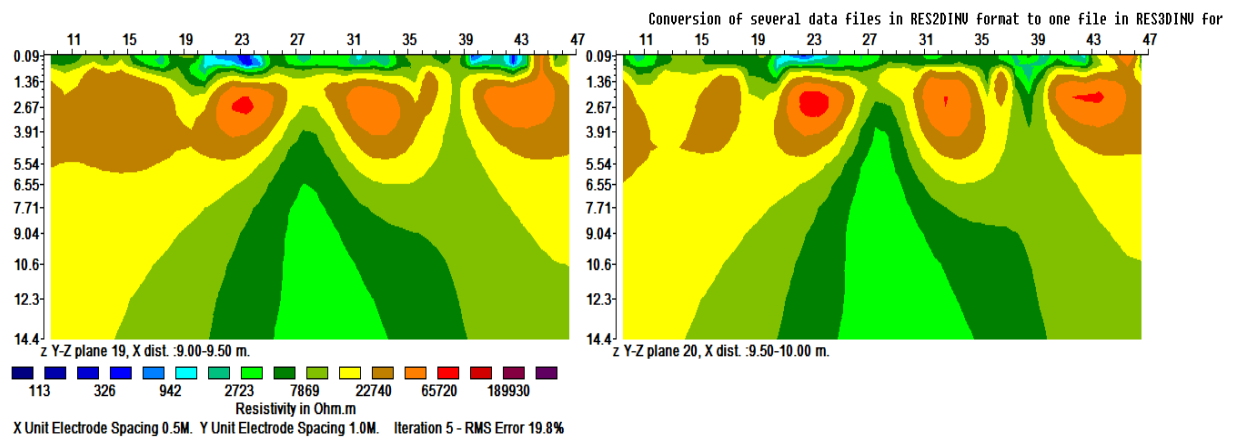
Σχήμα 5α: Γεωηλεκτρικές τομές σε οριζόντια απόσταση $x = 0$ έως 3 m με βήμα 0.5 m και σφάλμα 19.8%.



Σχήμα 5β: Γεωηλεκτρικές τομές σε οριζόντια απόσταση $x = 3$ έως 6 m με βήμα 0.5 m και σφάλμα 19.8%.



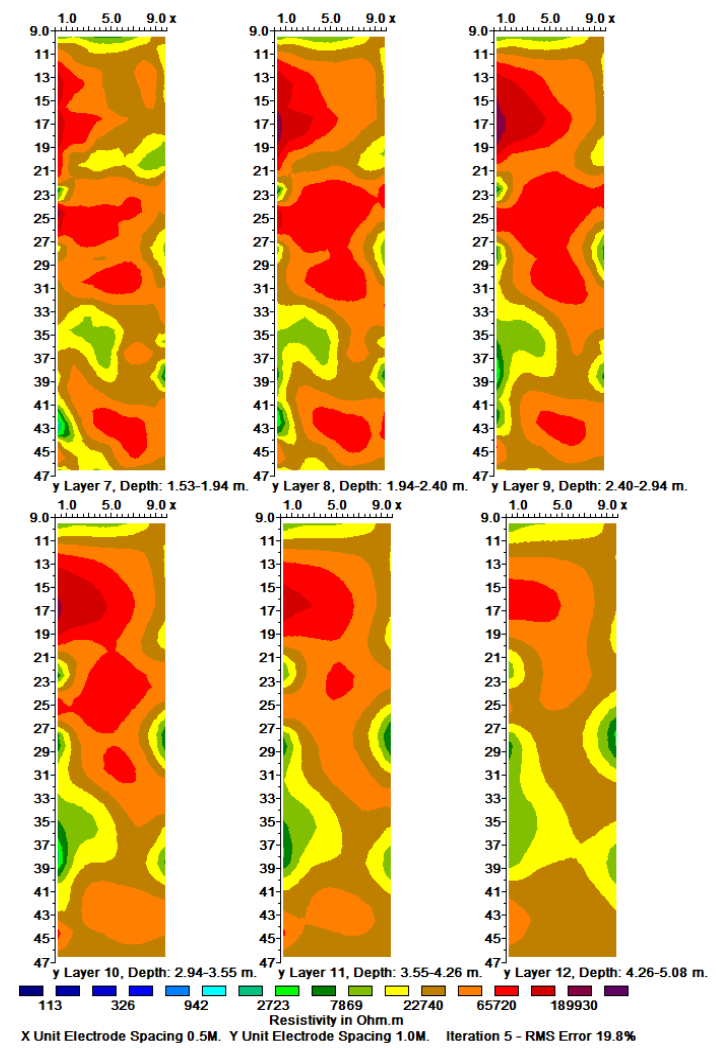
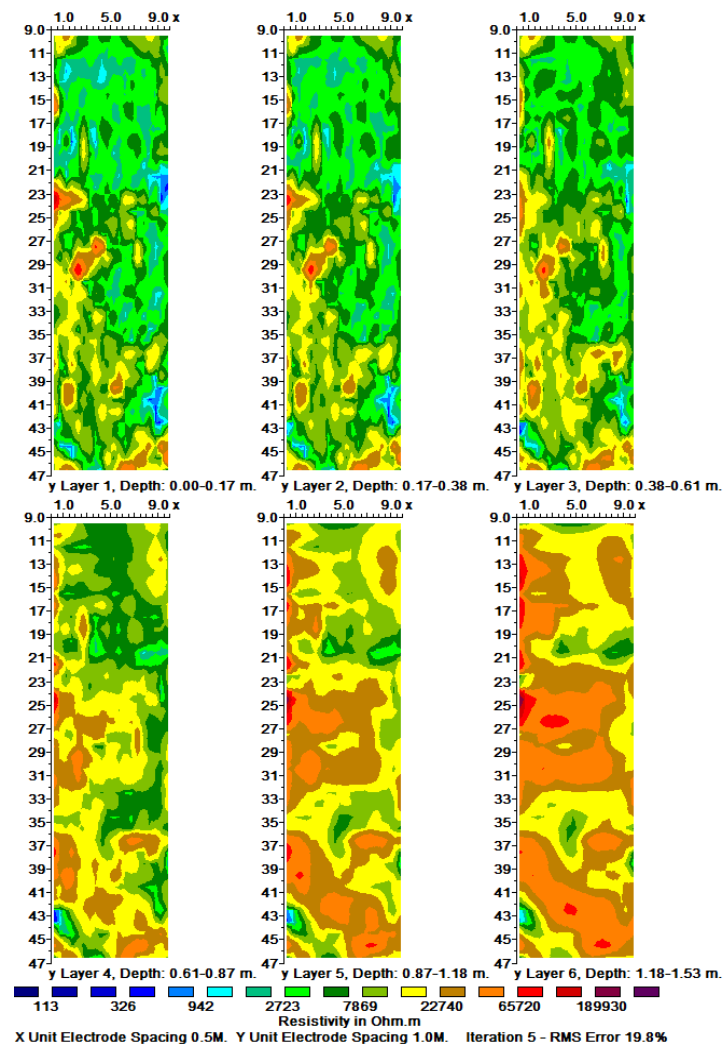
Σχήμα 5γ: Γεωηλεκτρικές τομές σε οριζόντια απόσταση $x = 6$ έως 9 m με βήμα 0.5 m και σφάλμα 19.8%.



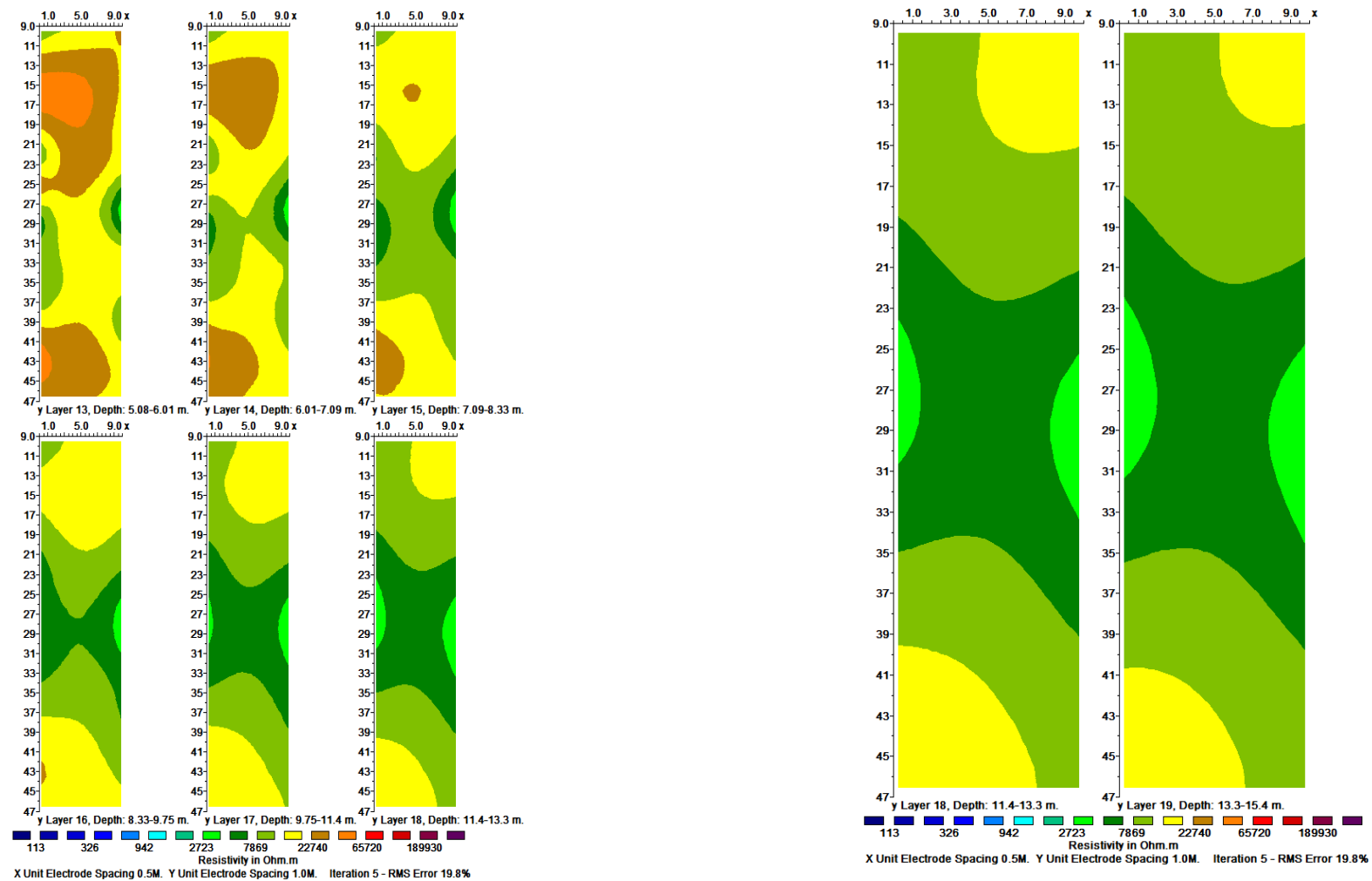
Σχήμα 5δ: Γεωηλεκτρικές τομές σε οριζόντια απόσταση $x = 9$ έως 10 m με βήμα 0.5 m και σφάλμα 19.8% .

5.2.1.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΤΟΜΕΣ $x - y$

Αλλάζοντας μόνο το είδος των τομών, από κάθετες σε οριζόντιες, και την κλίμακα με λογαριθμική επιλογή, ελάχιστη τιμή 112.8 και αυξητικό παράγοντα που ισούται με 1.7 , προκύπτουν οι εξής τομές:



Σχήμα 6α: Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές σε βάθος $z = 0$ έως 1.53 m και $z = 1.53$ έως 5.08 m αντίστοιχα και σφάλμα 19.8%.

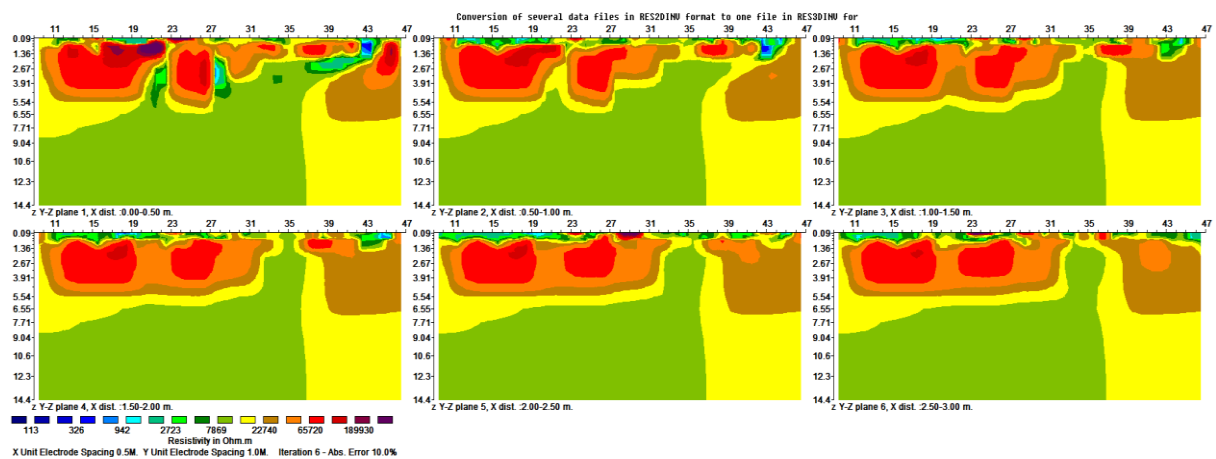


Σχήμα 6β: Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές σε βάθος $z = 5.08$ έως 13.3 m και $z = 13.3$ έως 15.4 m αντίστοιχα και σφάλμα 19.8%.

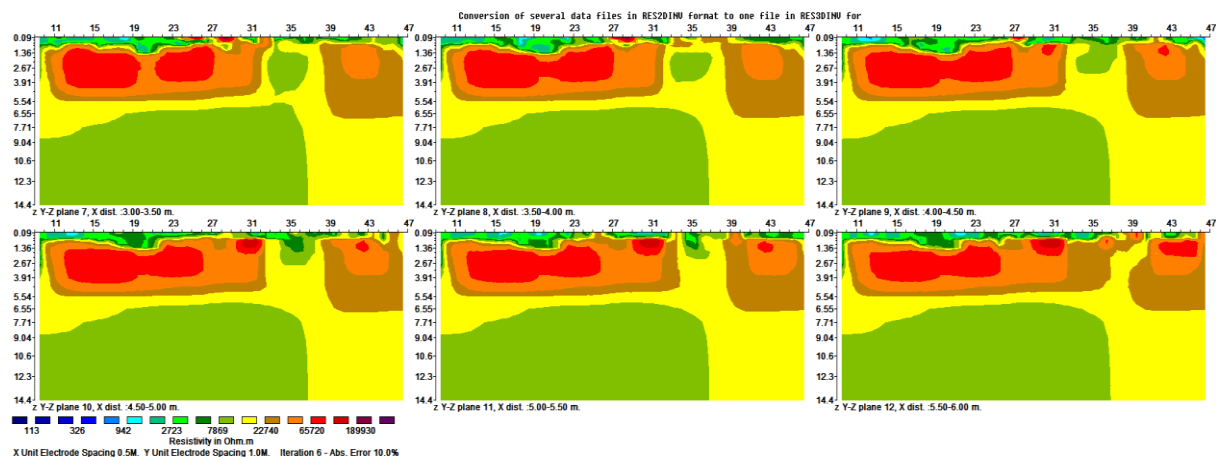
5.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ROBUST

5.2.2.1 ΤΟΜΕΣ $y - z$

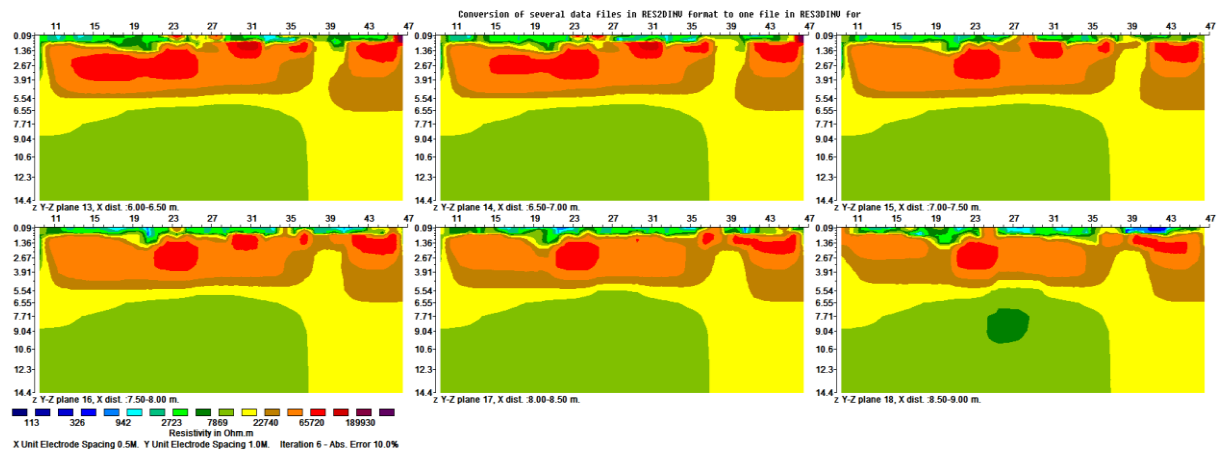
Με την εισαγωγή λοιπόν των αρχικών δεδομένων στο πρόγραμμα Res3Dinv και την επιλογή της μεθόδου Robust, προκύπτουν για καθεμία από τις γραμμές, οι αντίστοιχες γεωηλεκτρικές τομές. Για την διαμόρφωση της κλίμακας, χρησιμοποιούμε, όπως και στο Res2Dinv, τη λογαριθμική επιλογή με ελάχιστη τιμή 112.8 και αυξητικό παράγοντα που ισούται με 1.7. Έτσι, επιλέγοντας την απεικόνιση συνεχόμενων τομών, προκύπτουν:



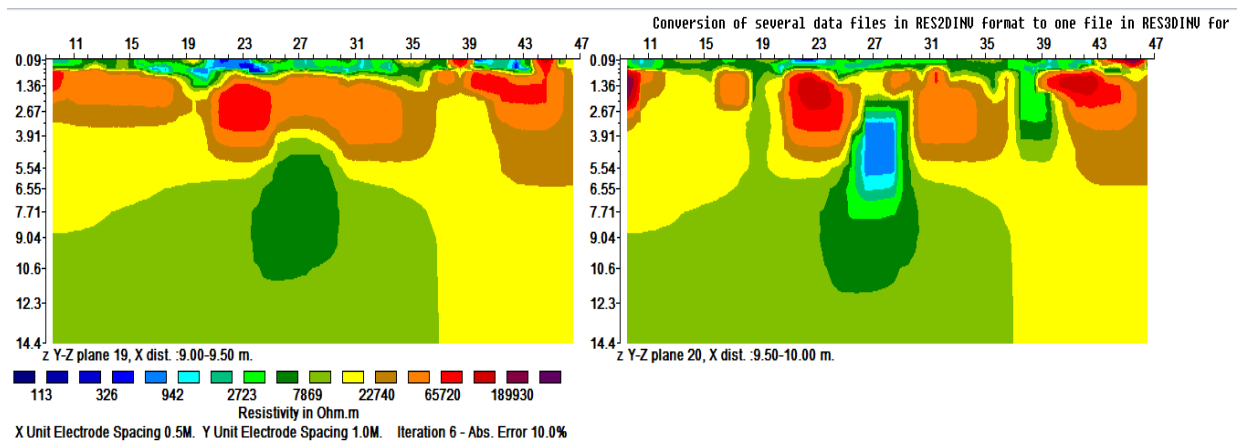
Σχήμα 7α: Γεωηλεκτρικές τομές σε οριζόντια απόσταση $x = 0$ έως 3 m με βήμα 0.5 m και σφάλμα 10.1% .



Σχήμα 7β: Γεωηλεκτρικές τομές σε οριζόντια απόσταση $x = 3$ έως 6 m με βήμα 0.5 m και σφάλμα 10.1% .



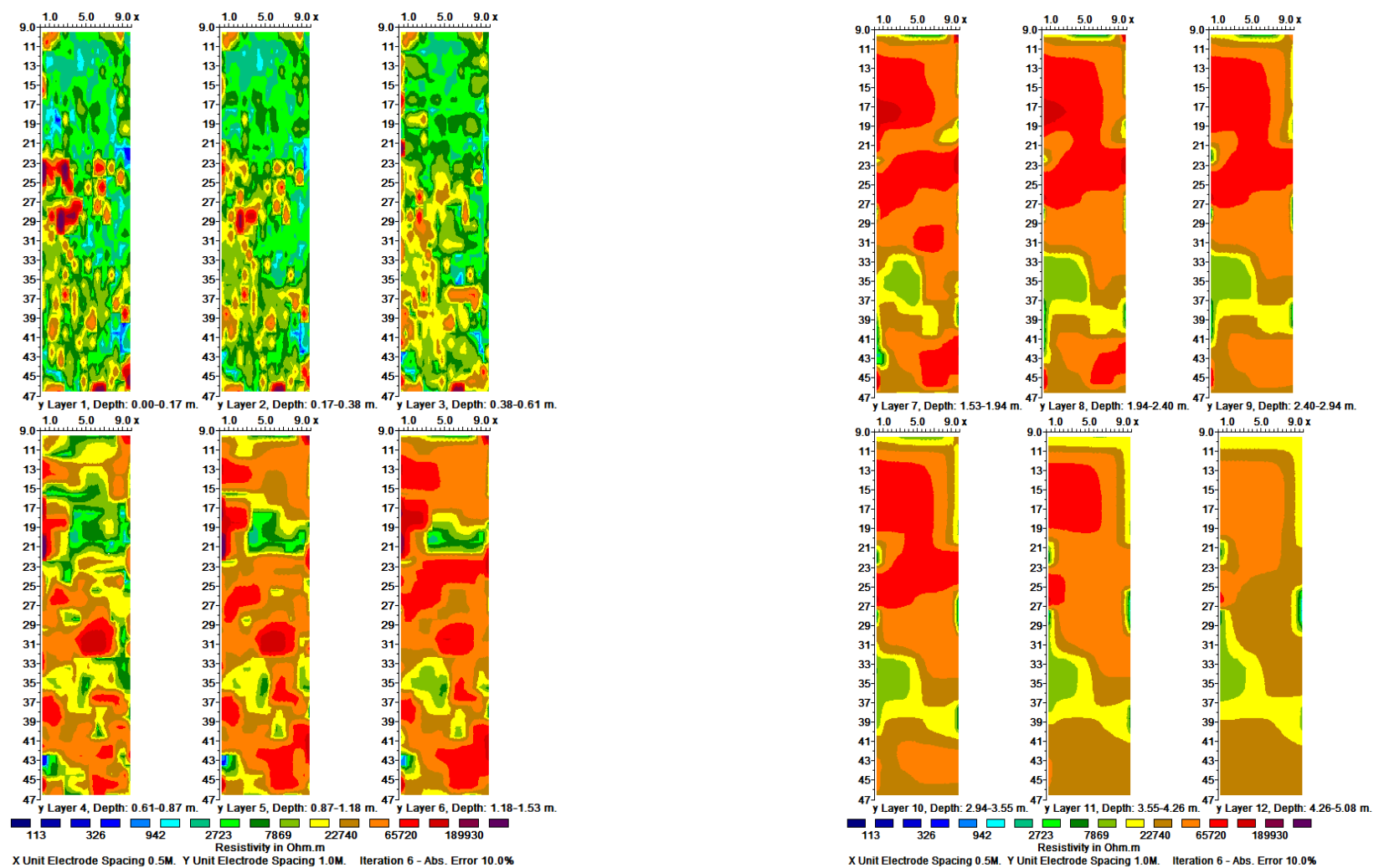
Σχήμα 7γ: Γεωηλεκτρικές τομές σε οριζόντια απόσταση $x = 6$ έως 9 m με βήμα 0.5 m και σφάλμα 10.1% .



Σχήμα 7δ: Γεωηλεκτρικές τομές σε οριζόντια απόσταση $x = 9$ έως 10 m με βήμα 0.5 m και σφάλμα 10.1% .

5.2.2.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΤΟΜΕΣ $x - y$

Αλλάζοντας πάλι μόνο το είδος των τομών, από κάθετες σε οριζόντιες, και την κλίμακα με λογαριθμική επιλογή, ελάχιστη τιμή 112.8 και αυξητικό παράγοντα που ισούται με 1.7 , προκύπτουν οι εξής τομές:



Σχήμα 8α: Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές σε βάθος $z = 0$ έως 1.53 m και $z = 1.53$ έως 5.08 m αντίστοιχα και σφάλμα 10%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - EARTHIIMAGER 3D

Το EarthImager 3D είναι ένα λογισμικό τρισδιάστατης αντιστροφής των φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων, το οποίο δίνει απεικονίσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Από τον όγκο λοιπόν των δεδομένων, μπορούν να προκύψουν τρισδιάστατες απεικονίσεις μιας ή περισσότερων τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης υπό τη μορφή ισότιμων επιφανειών. Η εικόνα μπορεί να περιστραφεί ως προς οποιαδήποτε κατεύθυνση καθώς και μεγεθύνεται μέσα και έξω, ώστε να έχουμε την κατάλληλη εστίαση στο σημείο ενδιαφέροντος μας.

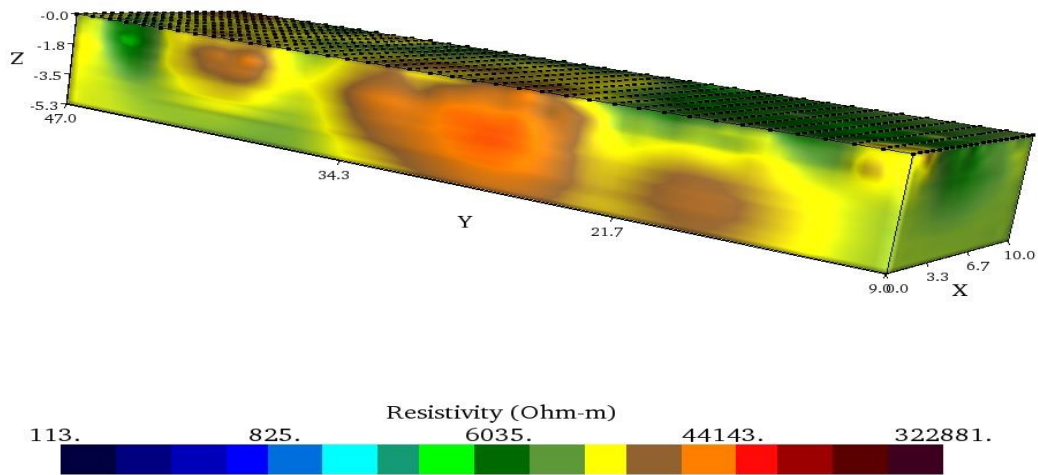
6.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Για την επεξεργασία των δεδομένων μας χρησιμοποιήσαμε τρεις διαφορετικές μεθόδους. Το trial 1 που είναι η μέθοδος αντιστροφής Robust, το trial 2 που είναι η μέθοδος αντιστροφής Smooth model και το trial 3 που είναι πάλι με τη μέθοδο Smooth. Για τα trial 2 και 3, που χρησιμοποιήθηκε η ίδια μέθοδος αντιστροφής, η διαφορά καθορίστηκε στο ποσοστό του σφάλματος που θα σταματήσει. Έτσι, για το trial 2 επιλέξαμε σφάλμα $RMS = 5\%$ και στο trial 3 επιλέξαμε σφάλμα $RMS = 1\%$.

6.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ROBUST (trial 1)

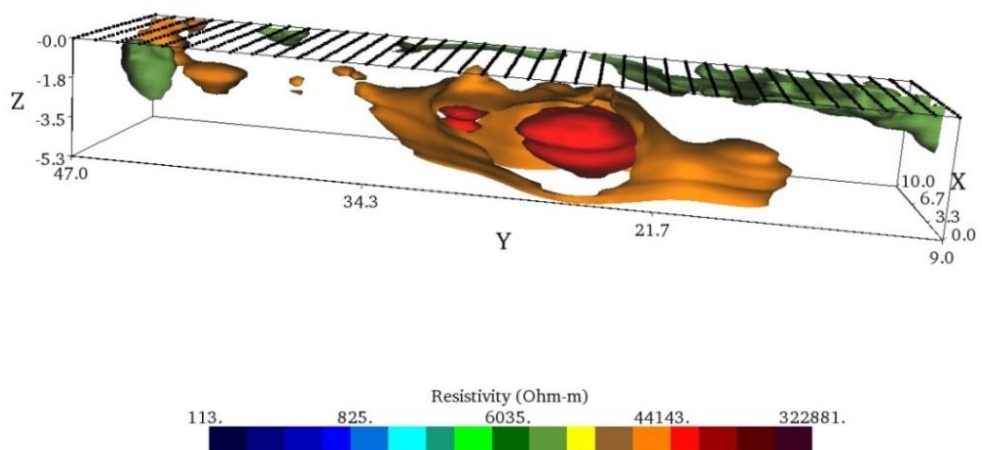
Με την εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα EarthImager 3D και την επιλογή της μεθόδου Robust, προκύπτουν γεωηλεκτρικές τομές, με προσαρμοσμένη κλίμακα, ίδια με αυτή που χρησιμοποιήσαμε και στο λογισμικό Res3Dinv. Δηλαδή, προσπαθήσαμε να προσαρμόσουμε όσο πιο κοντά τις τιμές της χρωματικής κλίμακας, ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση των τομών. Έτσι, έχουμε:

Inverted Resistivity Image



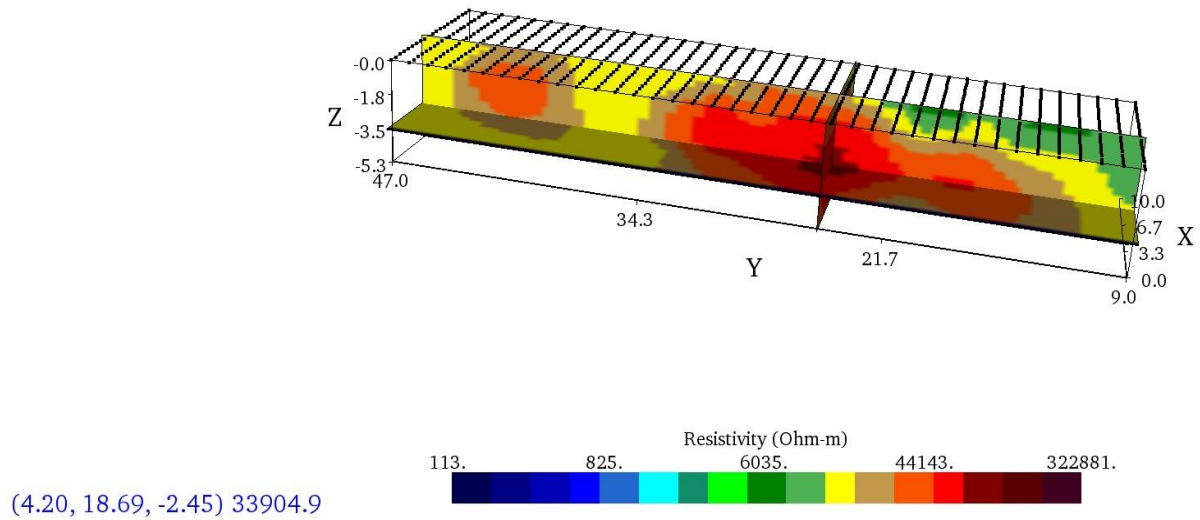
Σχήμα 9α: Τρισδιάστατη αναπαράσταση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Περιοχή ενδιαφέροντος από $y = 34.3$ έως $16m$.

3D Resistivity Contour Plot



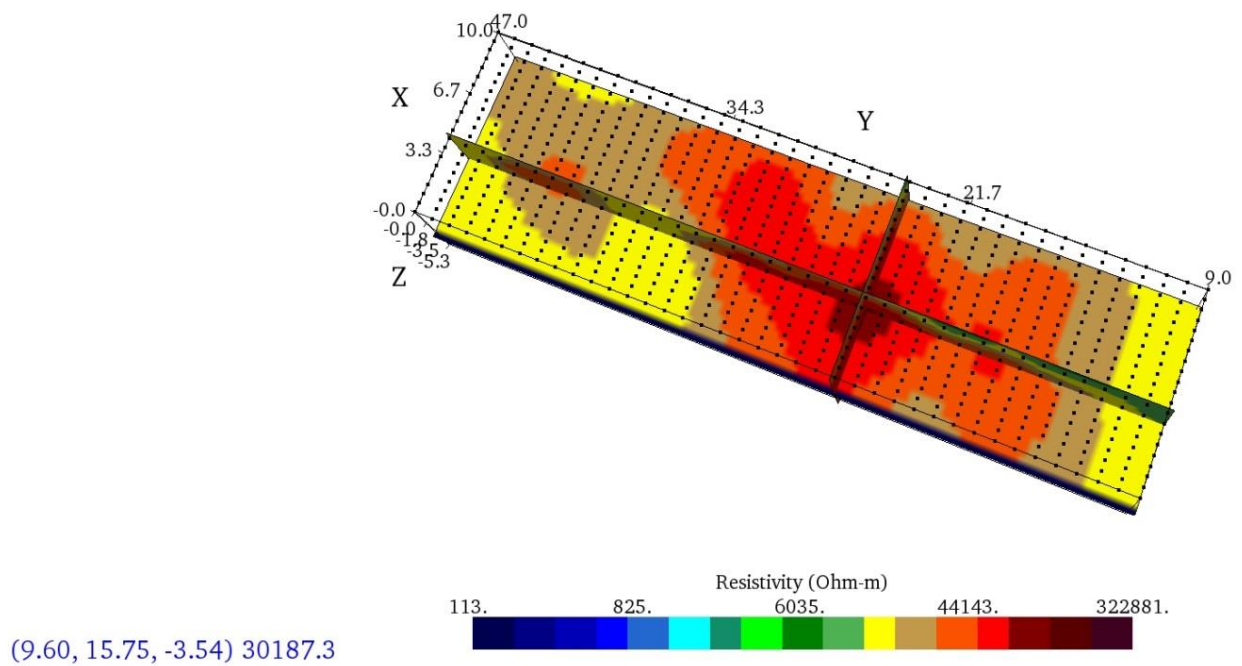
Σχήμα 9β: Τρισδιάστατη αναπαράσταση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Περιοχή ενδιαφέροντος με τιμές μεγαλύτερες $44.000 \Omega m$.

Dynamic Slices of Inverted Resistivity



Σχήμα 9γ: Γεωηλεκτρικές τομές που διέρχονται από το κέντρο του σπηλαίου.

Dynamic Slices of Inverted Resistivity

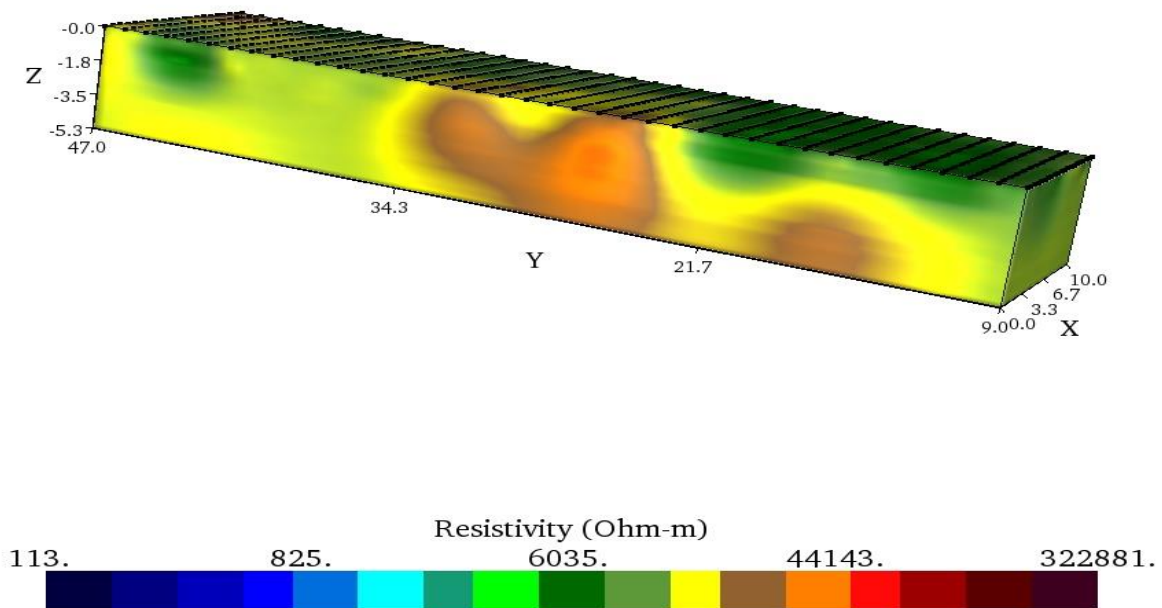


Σχήμα 9δ: Γεωηλεκτρικές τομές που διέρχονται από το κέντρο του σπηλαίου.

6.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ SMOOTH (trial 2)

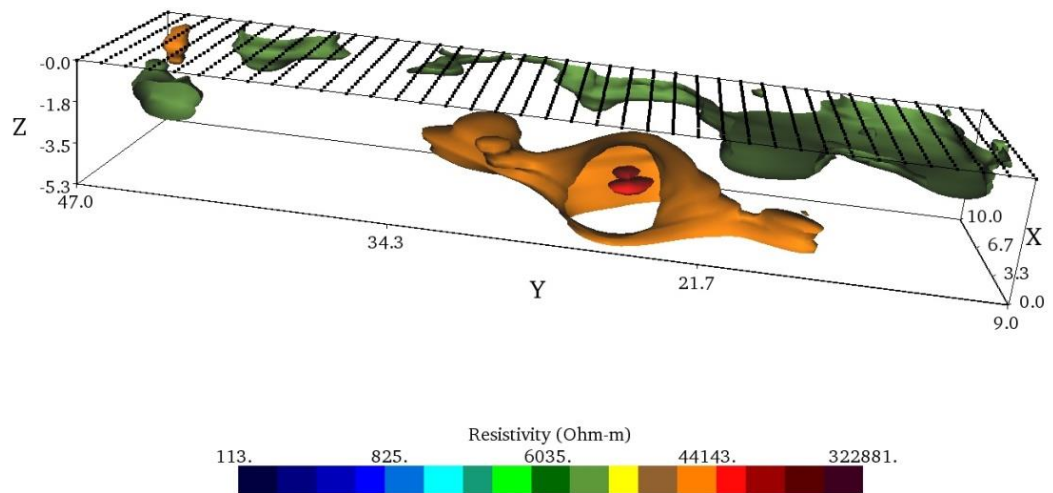
Με την εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα EarthImager 3D και την επιλογή της μεθόδου Smooth, προκύπτουν γεωηλεκτρικές τομές, με προσαρμοσμένη κλίμακα, ίδια με αυτή που χρησιμοποιήσαμε και στο λογισμικό Res3din. Επιπλέον, είχαμε καθορίσει όπως προαναφέρθηκε, να σταματήσουν οι επαναλήψεις μέχρις ότου το σφάλμα να είναι 5%. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις με σφάλμα ...%. Επομένως προέκυψαν τα εξής μοντέλα:

Inverted Resistivity Image



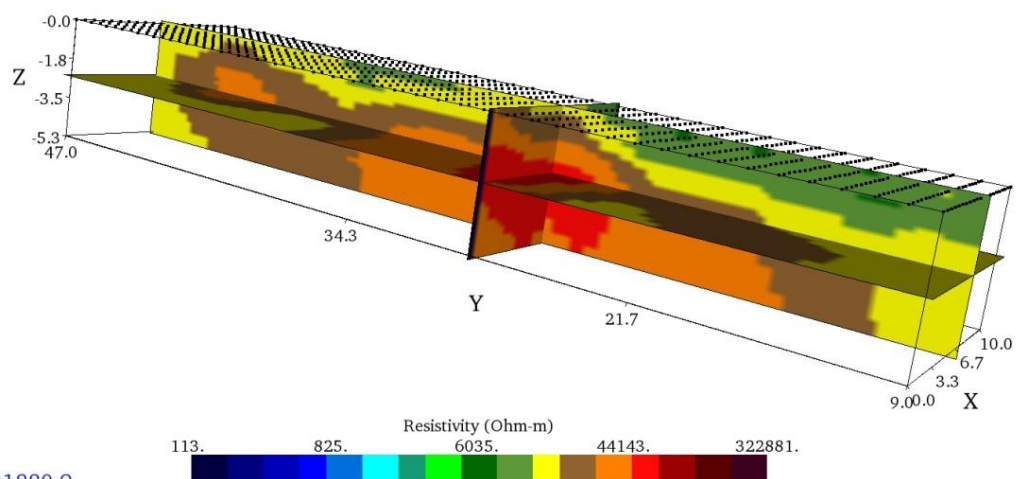
Σχήμα 10α: Τρισδιάστατη αναπαράσταση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Περιοχή ενδιαφέροντος από $y = 34.3$ έως $16m$.

3D Resistivity Contour Plot



Σχήμα 10β: Τρισδιάστατη αναπαράσταση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Περιοχή ενδιαφέροντος με τιμές μεγαλύτερες 44.000 Ωm.

Dynamic Slices of Inverted Resistivity



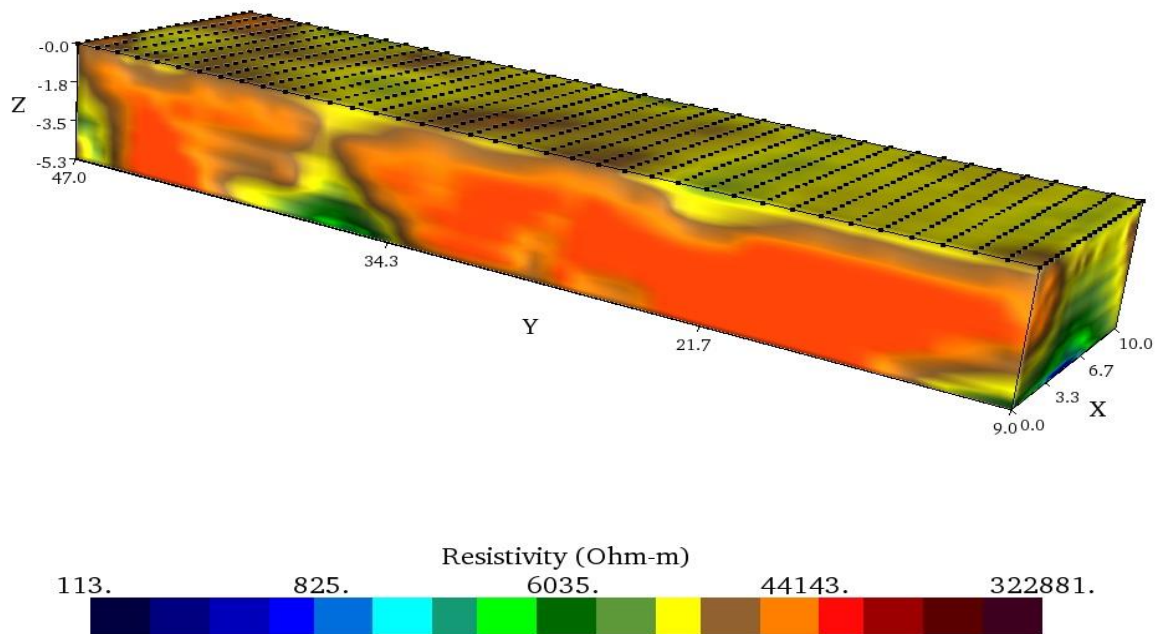
(5.22, 45.06, -1.91) 21880.9

Σχήμα 10γ: Γεωηλεκτρικές τομές που διέρχονται από το κέντρο του σπηλαίου.

6.2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ SMOOTH (trial 3)

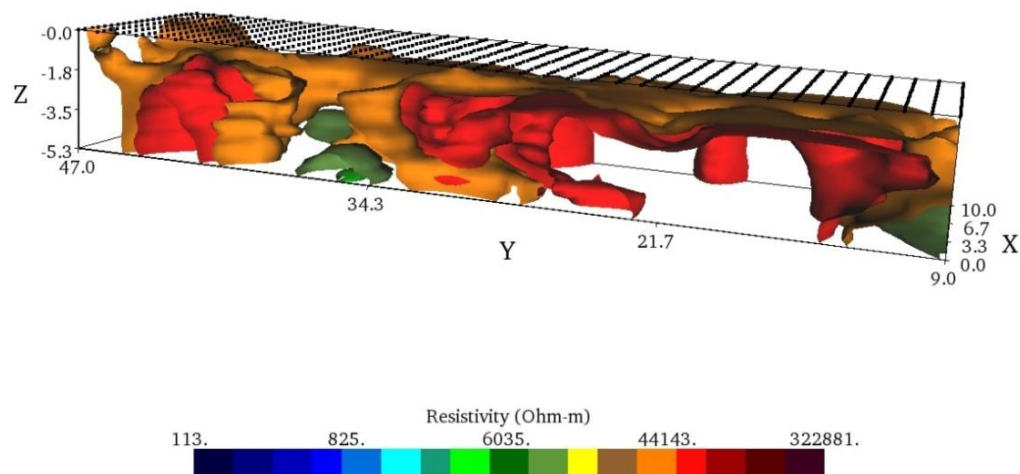
Με την εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα EarthImager 3D και την επιλογή της μεθόδου Smooth, προκύπτουν γεωηλεκτρικές τομές, με προσαρμοσμένη κλίμακα, ίδια με αυτή που χρησιμοποιήσαμε και στο λογισμικό Res3dinv. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έγιναν 9 επαναλήψεις με σφάλμα ...%. Έτσι, έχουμε:

Inverted Resistivity Image



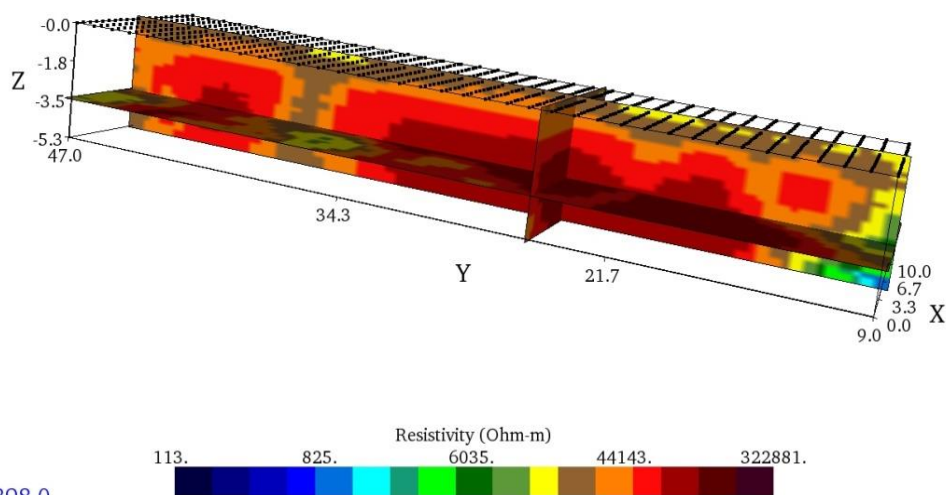
Σχήμα 11α: Τρισδιάστατη αναπαράσταση της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Περιοχή ενδιαφέροντος από $y = 34.3$ έως $16m$.

3D Resistivity Contour Plot



Σχήμα 11β: Τρισδιάστατη αναπαράσταση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Περιοχή ενδιαφέροντος με τιμές μεγαλύτερες 44.000 Ωm.

Dynamic Slices of Inverted Resistivity



(5.22, 46.28, -1.11) 35898.0

Σχήμα 11γ: Γεωηλεκτρικές τομές που διέρχονται από το κέντρο του σπηλαίου.

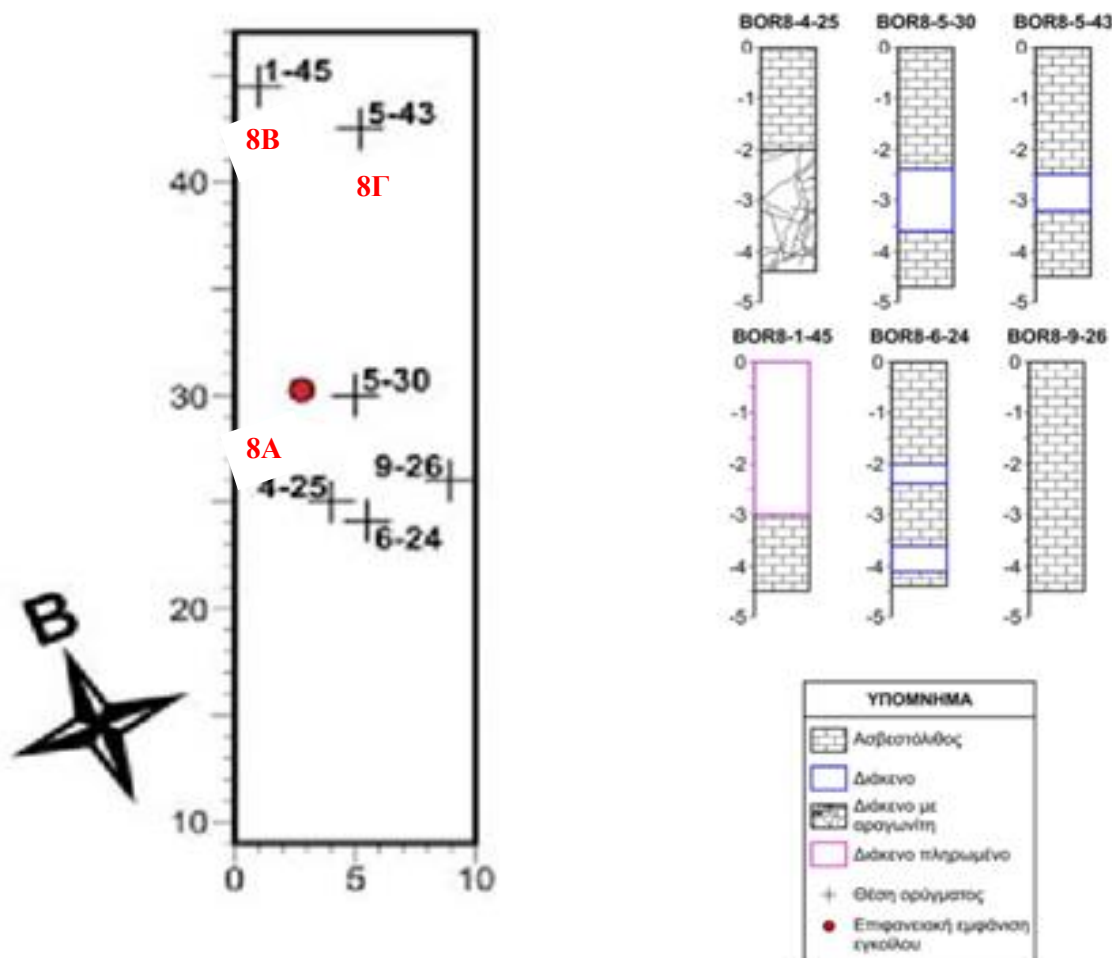
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για την ερμηνεία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν σε επιλεγμένες θέσεις ορύγματα με τη χρήση Wagon Drill. Ειδικότερα, στην Περιοχή 8 διατρήθηκαν 6 ορύγματα συνολικού μήκους 27m.

Γεωτρήσεις	x	y	Βάθος διάτρησης (m)
BOR8-1-45	1.00	44.50	4.5
BOR8-4-25	4.00	25.00	4.4
BOR8-5-30	5.00	30.00	4.7
BOR8-5-43	5.20	42.50	4.5
BOR8-6-24	5.50	24.10	4.4
BOR8-9-26	8.90	26.00	4.5

Πίνακας 1: Θέσεις (από την αρχή των αξόνων) και βάθη διάτρησης των ανορυχθέντων ορυγμάτων στην Περιοχή 8.



Εικόνα

6:Αναπαράσταση των γεωτρητικών στηλών της Περιοχής 8, όπως αυτές προέκυψαν από επί τόπου παρατηρήσεις του χειριστή του Wagon Drill και μελών της ερευνητικής ομάδας.

Όσον αφορά την ταξινόμηση των ορυγμάτων στην **Περιοχή 8** ανάλογα με την κατάσταση του ασβεστόλιθου, το υλικό πλήρωσης και το ενιαίο μήκος των εγκοίλων που έχουν διατρήσει, έχουμε:

Περιοχή	Υγής ασβεστόλιθος	Ενιαίο μήκος διάτρησης εγκοίλων				Κατακερματισμένος ασβεστόλιθος
		<0.5 m		>0.5 m		
		Κενό	Πληρωμένο	Κενό	Πληρωμένο	
8	9-26			5-30	1-45	
				5-43	4-25	
				6-24		

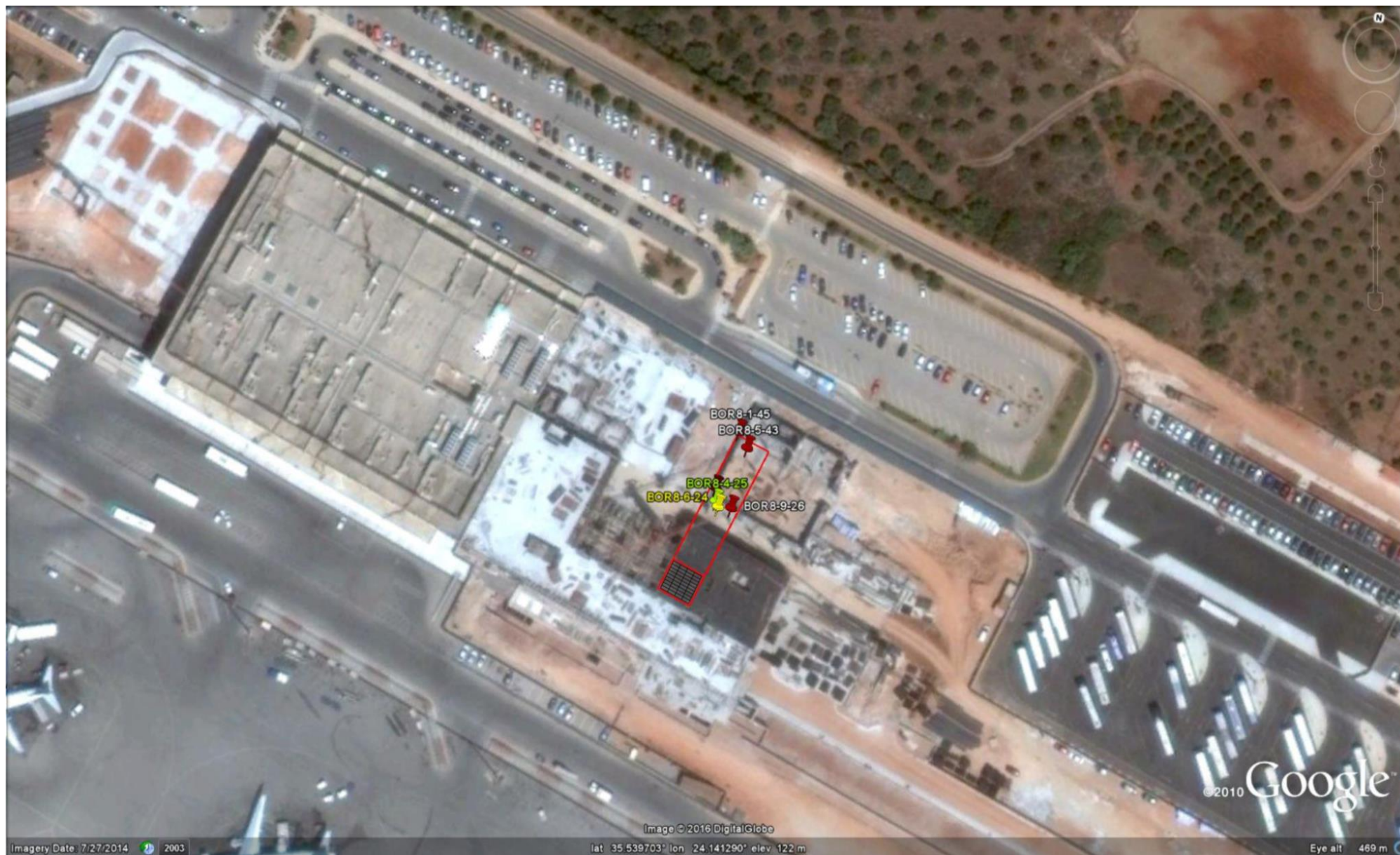
Πίνακας 2: Ταξινόμηση ορυγμάτων της περιοχής 8 ανάλογα με την κατάσταση του ασβεστόλιθου, το υλικό πλήρωσης και το ενιαίο μήκος διατρημάτων που έχουν υποστεί διάτρηση.

Στην Περιοχή 8, εντοπίστηκαν τρεις θέσεις ενδιαφέροντος, όπως φαίνεται και στην εικόνα παραπάνω. Στην θέση 8Α, οι πολύ υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($> 65 \text{ k}\Omega\text{m}$) αποδίδονται, σύμφωνα με τα ορύγματα BOR8-5-30, BOR8-6-24 και BOR8-4-25, σε **διάσπαρτα έγκοιλα** που το μέγεθός τους κυμαίνεται από 0.5 έως 2.5 m. Στην θέση 8Β, οι σχετικά χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($< 7 \text{ k}\Omega\text{m}$) αποδίδονται σύμφωνα με το όρυγμα BOR8-1-45, σε **έγκοιλο πληρωμένο** με προσχώσεις που το μέγεθός του υπερβαίνει τα 2m. Τέλος, στη θέση 8Γ, οι σχετικά υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($\sim 51 \text{ k}\Omega\text{m}$) αποδίδονται, με βάση το όρυγμα σε αυτή την περιοχή (BOR8-5-43), σε **διάσπαρτα έγκοιλα** που το μέγεθός τους δεν υπερβαίνει το 1 m.

Σχηματισμός	Ειδική αντίσταση
Υγής ασβεστόλιθος	1.000 – 10.000 Ωm
Κατακερματισμένος ασβεστόλιθος	10.000 – 70.000 Ωm
Ασβεστόλιθος με μικρά έγκοιλα	20.000 – 60.000 Ωm
Ασβεστόλιθος με έγκοιλα	50.000 – 250.000 Ωm
Πληρωμένα έγκοιλα	$< 7.000 \text{ k}\Omega\text{m}$

Πίνακας 3:
Εύρος τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στους γεωλογικούς

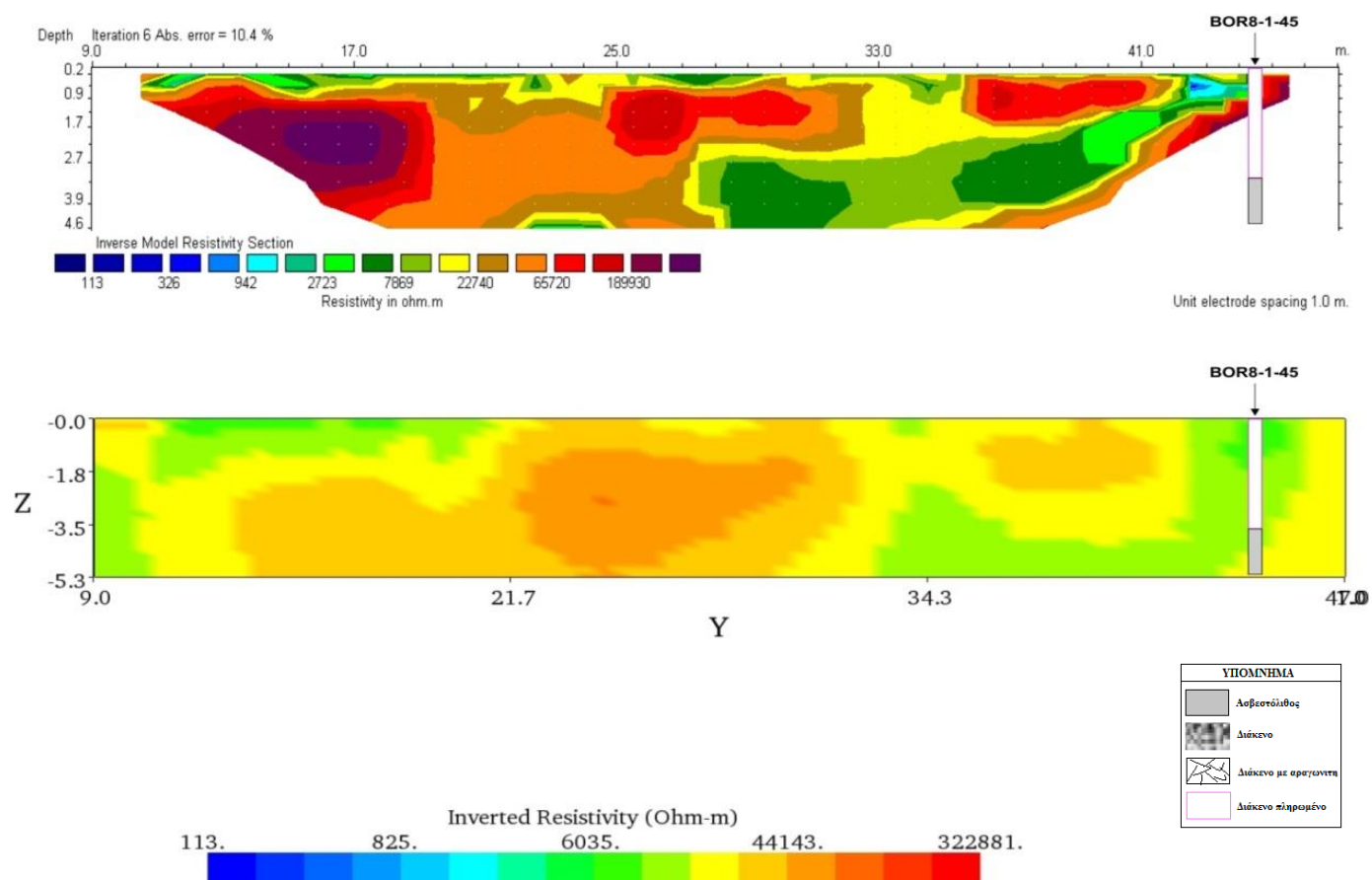
ς σχηματισμούς που εμφανίζονται στην περιοχή του αεροδρομίου.



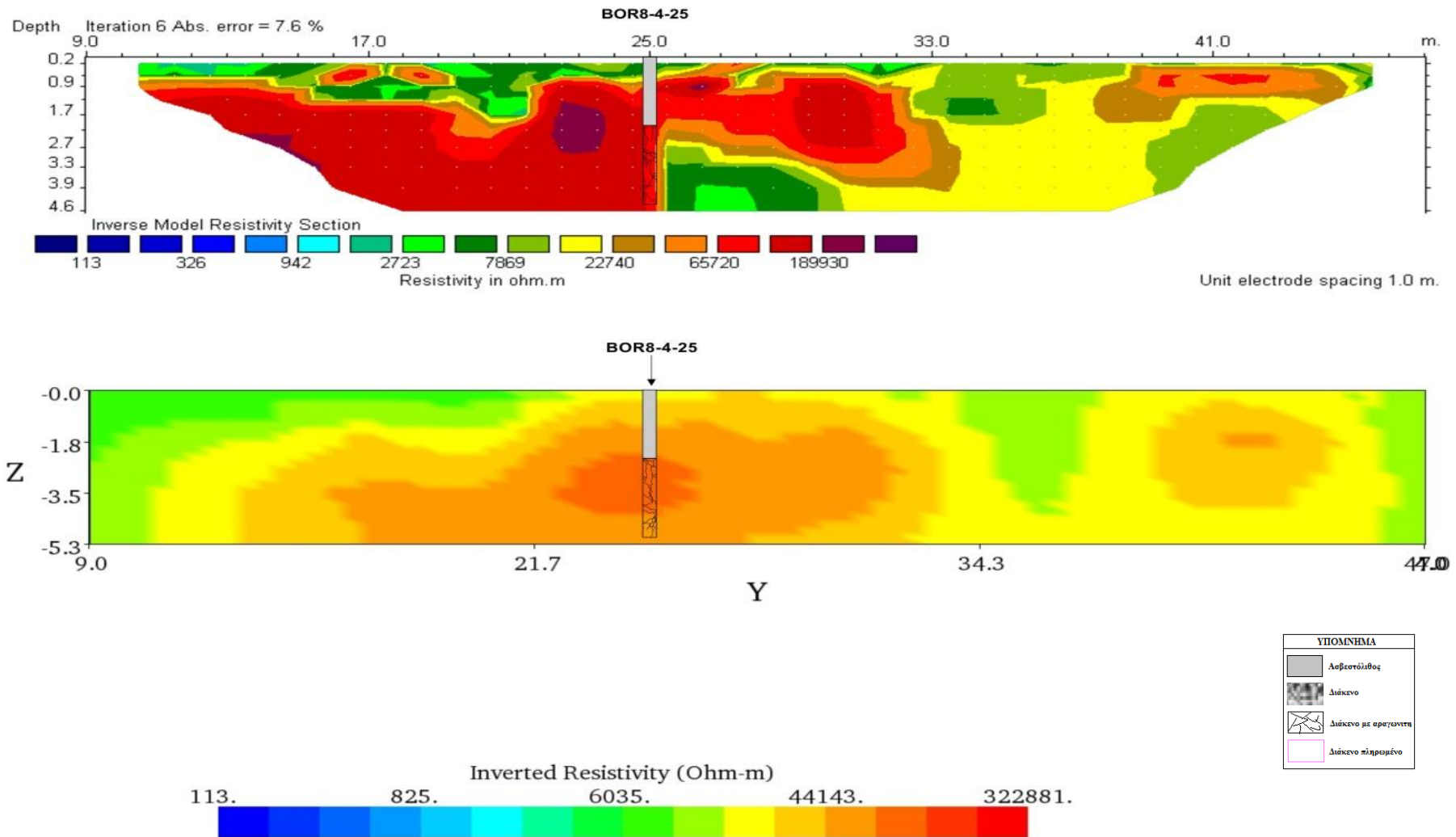
Εικόνα 6: Απεικόνιση κανάβου της περιοχής 8, στην οποία παρατίθενται οι θέσεις των ανορυχθέντων οργάνων

7.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

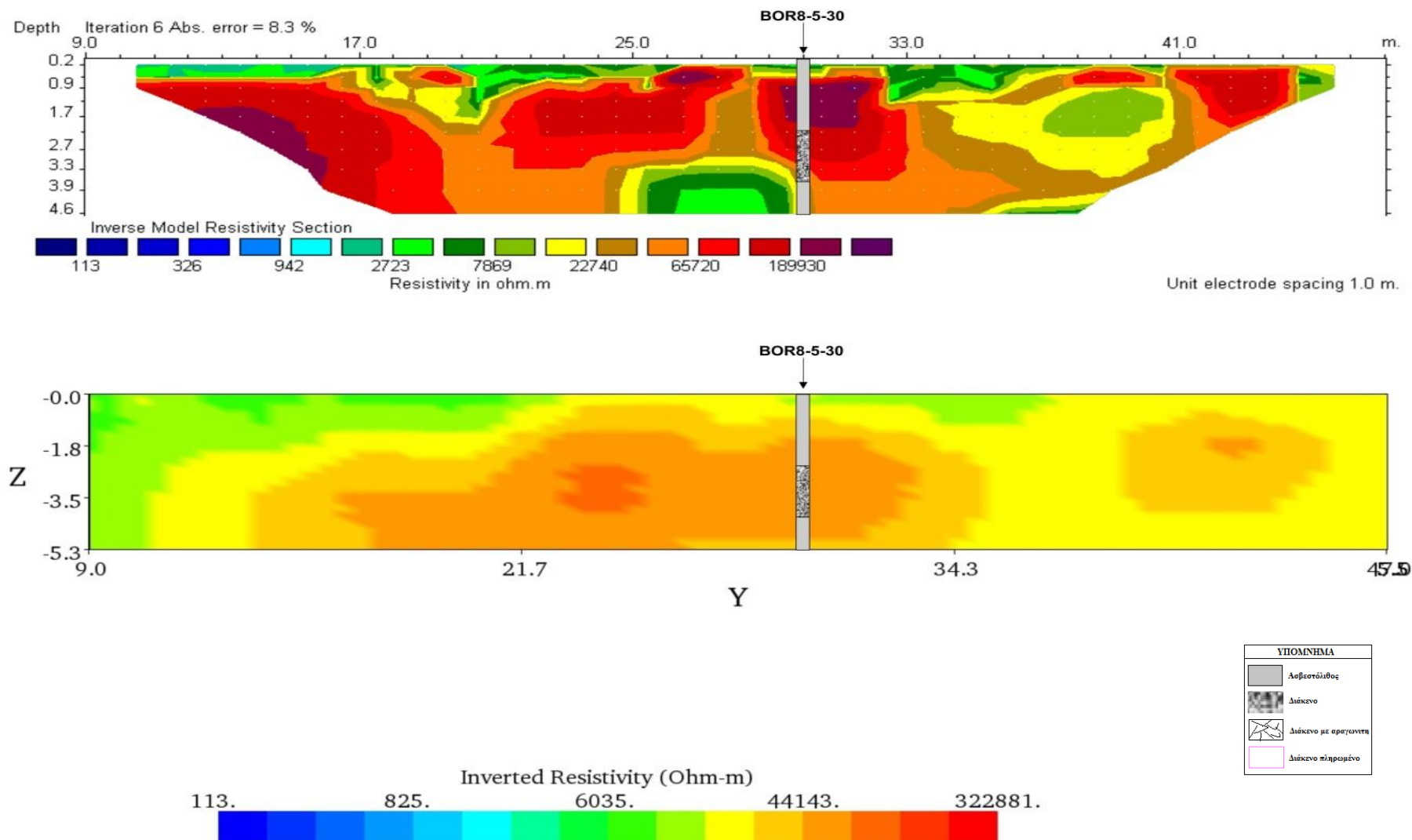
Με βάση τις θέσεις των ορυγμάτων στην περιοχή 8, οι οποίες φαίνονται στον πίνακα 1, σχεδιάστηκαν πάνω στις γεωηλεκτρικές τομές οι γεωτρητικές στήλες. Οι γεωηλεκτρικές τομές που επιλέχθηκαν ήταν αποτέλεσμα της μεθόδου Robust.



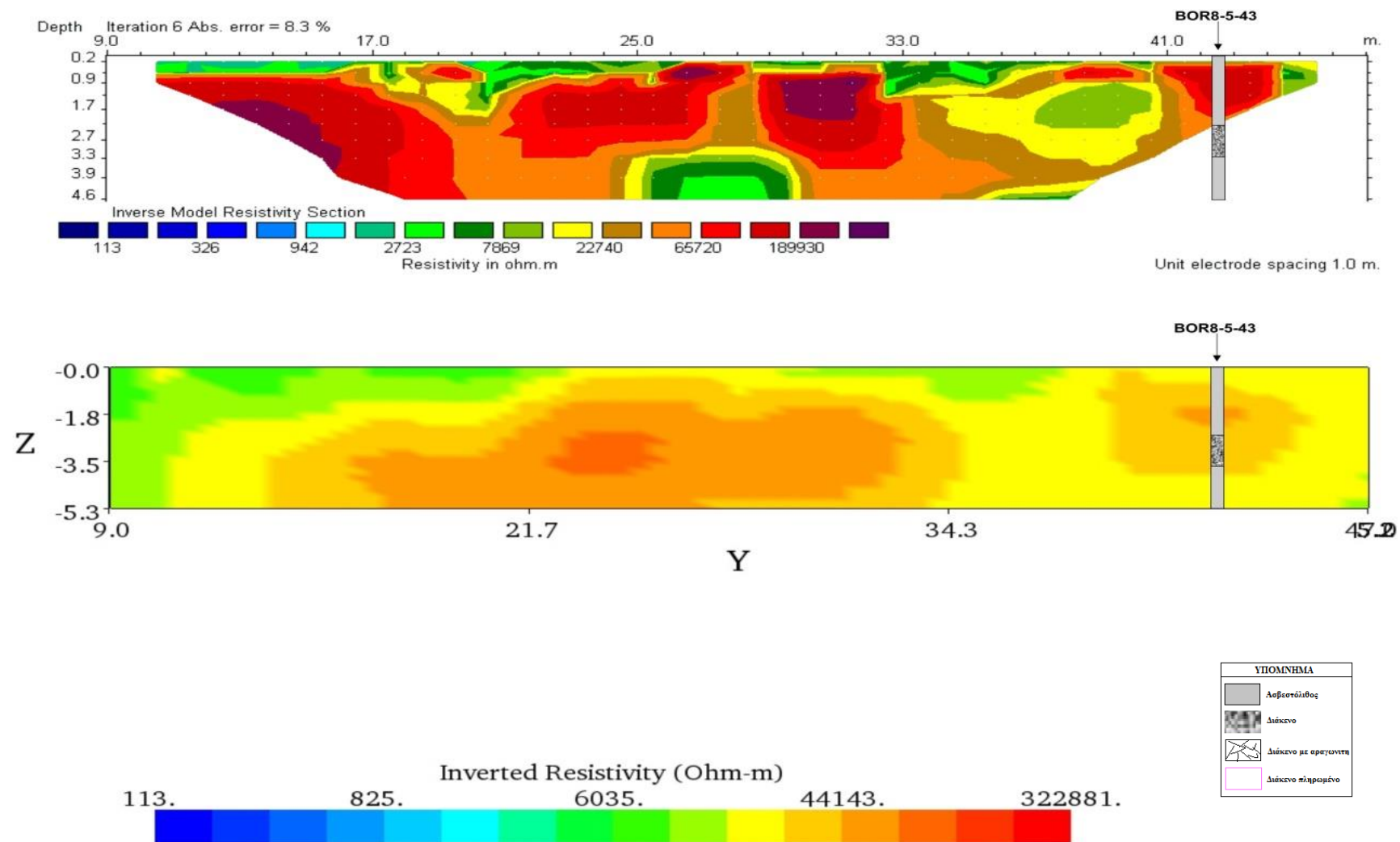
Σχήμα 12: Γεωηλεκτρικές τομές της 3^{ης} γραμμής μελέτης, που διέρχονται από τη θέση του ορύγματος BOR1-45 πάνω στην οποία έχει υπερτεθεί η αντίστοιχη γεωτρητική στήλη.



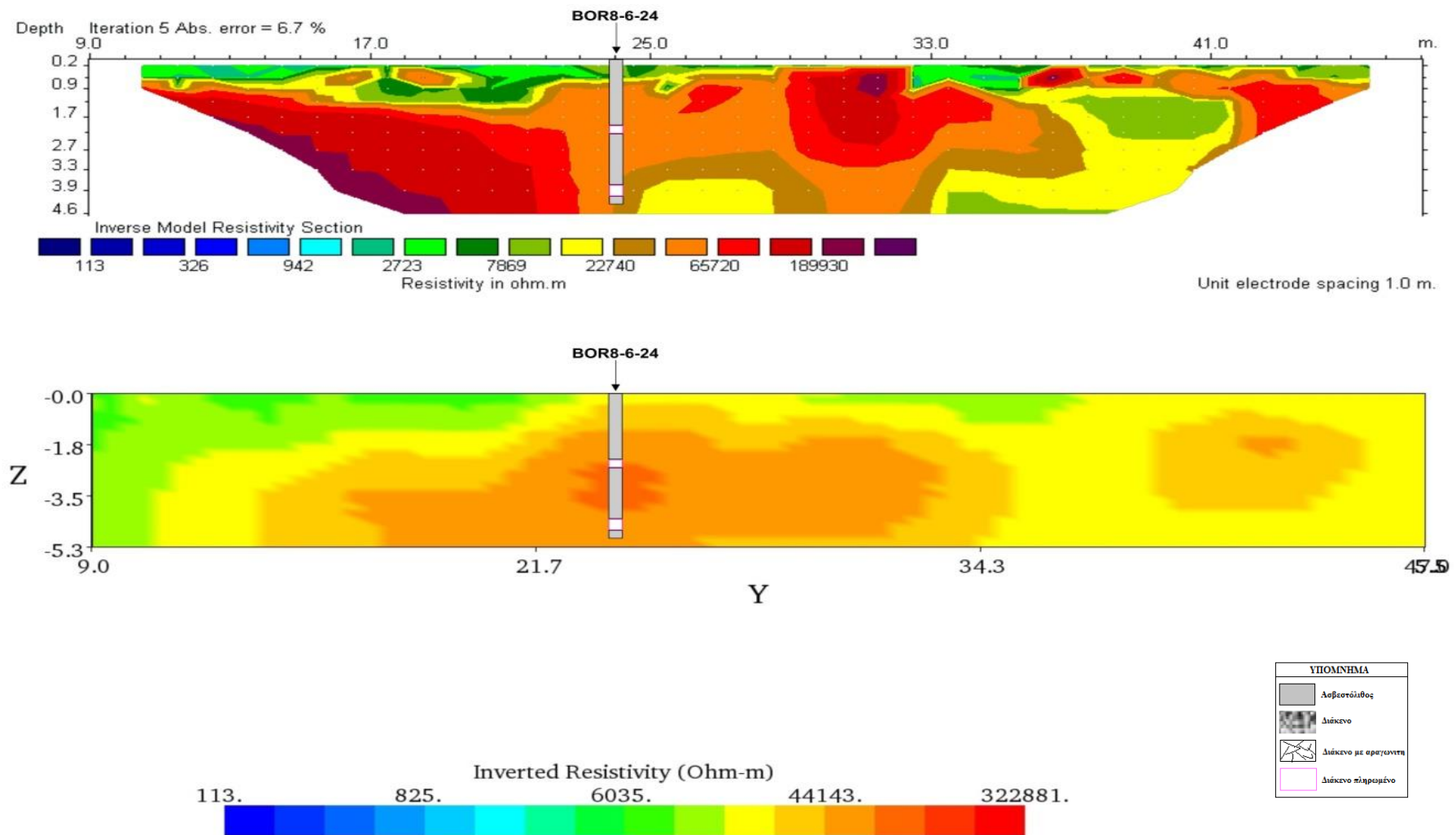
Σχήμα 13: Γεωηλεκτρικές τομές της 9^{ης} γραμμής μελέτης, που διέρχονται από τη θέση του ορύγματος BOR4-25 πάνω στην οποία έχει υπερτεθεί η αντίστοιχη γεωτρητική στήλη.



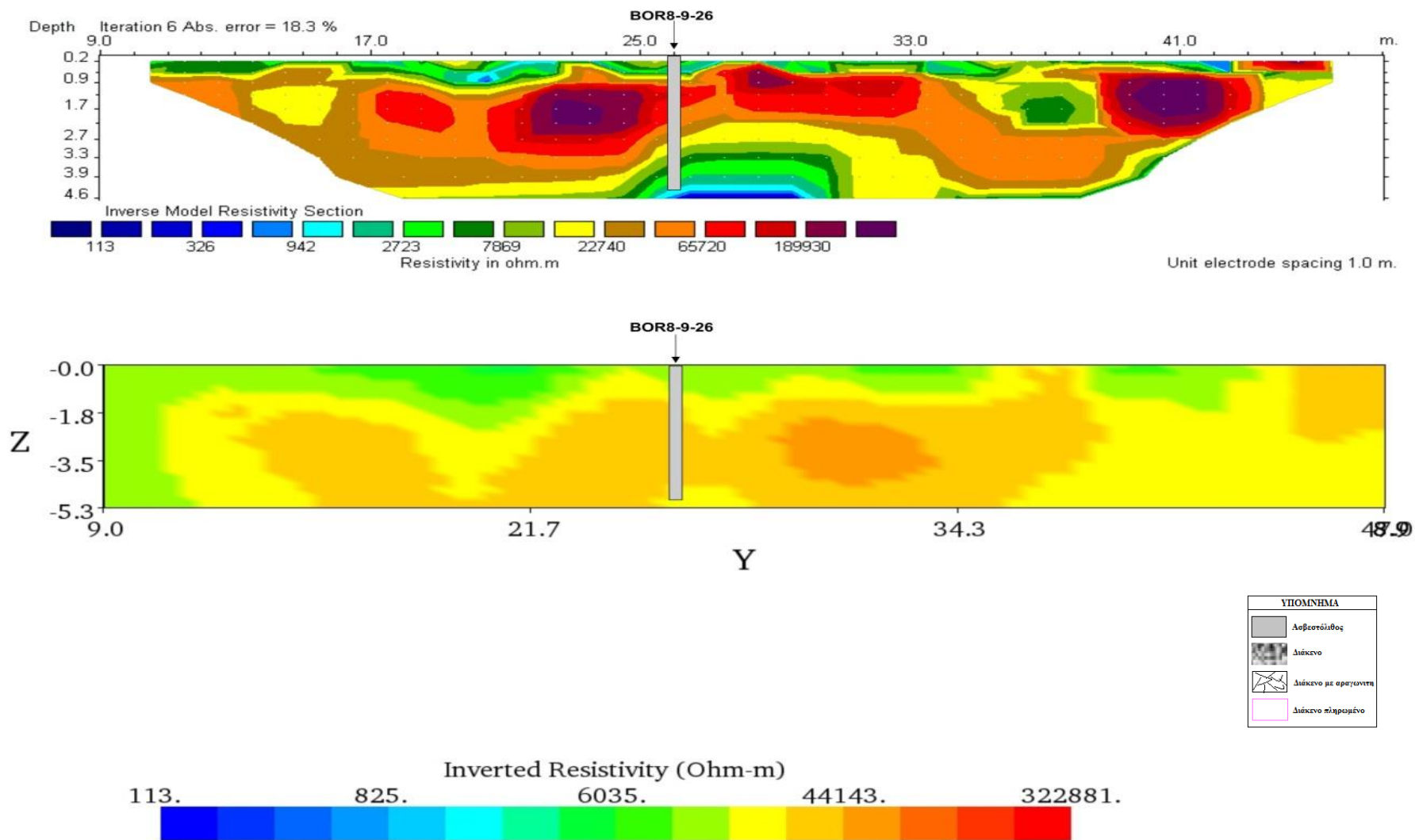
Σχήμα 14: Γεωηλεκτρικές τομές της 11^{ης} γραμμής μελέτης, που διέρχονται από τη θέση του ορύγματος BOR5-30 πάνω στην οποία έχει υπερτεθεί η αντίστοιχη γεωτρητική στήλη.



Σχήμα 15: Γεωηλεκτρικές τομές της $I1^{ns}$ γραμμής μελέτης, που διέρχονται από τη θέση του ορύγματος BOR5-43 πάνω στην οποία έχει υπερτεθεί η αντίστοιχη γεωτρητική στήλη.



Σχήμα 16: Γεωηλεκτρικές τομές της 12^{ης} γραμμής μελέτης, που διέρχονται από τη θέση του ορύγματος BOR6-24 πάνω στην οποία έχει υπερτεθεί η αντίστοιχη γεωτρητική στήλη.



Σχήμα 17: Γεωηλεκτρικές τομές της 19^{ης} γραμμής μελέτης, που διέρχονται από τη θέση του ορύγματος BOR9-26 πάνω στην οποία έχει υπερτεθεί η αντίστοιχη γεωτρητική στήλη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την επεξεργασία των δεδομένων των γεωφυσικών μετρήσεων στην Περιοχή 8, απεικονίστηκαν καρστικά έγκοιλα. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν δυσδιάστατες γεωηλεκτρικές τομές με το λογισμικό Res2Dinv και τρισδιάστατες γεωηλεκτρικές τομές με τα λογισμικά Res3Dinv και EarthImager.

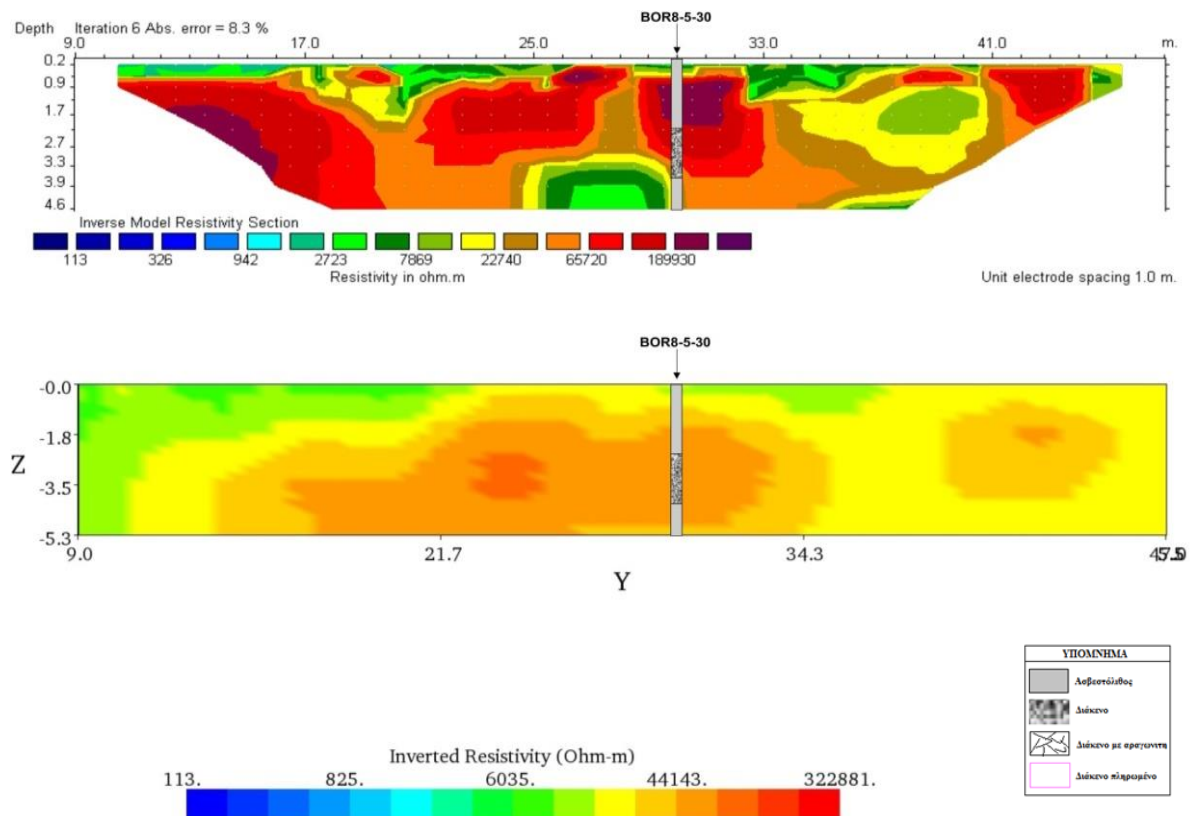
Με το λογισμικό Res2Dinv μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές μεθόδους αντιστροφής, Least - Squares Inversion, Robust Inversion και Combined. Σχεδόν σε όλες τις γραμμές, κρίθηκε απαραίτητη η σταδιακή αφαίρεση μετρήσεων για τη μείωση του σφάλματος. Τέλος, συγκρίθηκαν οι γεωηλεκτρικές τομές και επιλέχθηκαν αυτές της μεθόδου **Robust** που παρουσιάζει το **μικρότερο σφάλμα**.

Με το λογισμικό Res3Dinv μελετήθηκαν δυο διαφορετικές μεθόδους αντιστροφής, Least - Squares Inversion και Robust Inversion. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε κατακόρυφες τομές $y - z$ και οριζόντιες τομές $x - y$. Και σε αυτή τη περίπτωση, καλύτερο αποτέλεσμα έδωσε η μέθοδος **Robust**, η οποία παρουσίαζε σφάλμα 10.1%.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό EarthImager, το οποίο απεικόνισε σε τρεις διαστάσεις καρστικό έγκοιλο το οποίο επιβεβαιώθηκε από τα γεωτρητικά στοιχεία της γεώτρησης BOR-5-30 με βάθος διάτρησης 4,7 μέτρα. Με βάση τις πληροφορίες από τις γεωτρήσεις, οι ζώνες χαμηλότερης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($< 7.000 \Omega m$) αποδίδονται σε πληρωμένα έγκοιλα. Οι ζώνες με ενδιάμεσες και λίγο μεγαλύτερες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($1.000 - 10.000 \Omega m$) αποδίδονται σε υγιή ανθρακικό σχηματισμό. Σε μεγαλύτερες τιμές αντιστάσεων ($10.000 - 70.000 \Omega m$) εμφανίζεται κατακερματισμένος ανθρακικός σχηματισμός. Τέλος, παρατηρούνται ζώνες με ενδιάμεσες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($20.000 - 60.000 \Omega m$) αποδίδονται σε ανθρακικούς σχηματισμούς με μικρά έγκοιλα αλλά και ζώνες με υψηλότερες τιμές ($50.000 - 250.000 \Omega m$) που αποδίδονται σε ανθρακικούς σχηματισμούς με έγκοιλα.

Ειδικότερα, στην 11^η γραμμή μελέτης και στο σημείο που έγινε η γεώτρηση

(BOR-5-30) παρατηρούμε:



- Για την πάνω απεικόνιση που όπως προαναφέρθηκε είναι αποτέλεσμα του Res2Dinv, παρατηρούμε ότι κοντά στην επιφάνεια και σε βάθος μέχρι μισό μέτρο, οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μικρότερες από 7.000 Ωm. Όσο μεγαλώνει το βάθος, αυξάνονται και οι τιμές των ειδικών αντιστάσεων (μέχρι περίπου 190.000 Ωm) και βάθος μέχρι περίπου τα 4 μέτρα. Σε μεγαλύτερο βάθος έχουμε πάλι μείωση των τιμών των αντιστάσεων που κυμαίνεται από 20.000 Ωm έως 65.000 Ωm.
- Για την κάτω απεικόνιση, που είναι αποτέλεσμα του EarthImager, παρατηρούμε ότι κοντά στην επιφάνεια έχουμε τιμές αντιστάσεων που κυμαίνονται στα 6.000 Ωm. Όσο μεγαλώνει το βάθος έχουμε και εδώ αύξηση των ειδικών αντιστάσεων μέχρι τα βαθύτερα σημεία από 20.000 – 45.000 Ωm.

Το βέλτιστο αποτέλεσμα βγάζουν οι 3D τομές. Αυτό συμβαίνει διότι στις 3D απεικονίσεις, πραγματοποιείται αντιστροφή δεδομένων από πολλές παράλληλες γραμμές μελέτης. Όσον αφορά τις μεθόδους αντιστροφής, **πιο κατάλληλη είναι η μέθοδος Robust, η οποία παρουσίασε το μικρότερο σφάλμα σε όλες τις περιπτώσεις σε συνδυασμό με τις απεικονίσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Σημειώσεις μαθήματος Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής Ι, Αντώνιος Βαφείδης , Χανιά Δεκέμβριος 2011
- Σημειώσεις μαθήματος Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής ΙΙ, Α. Βαφείδης , Χανιά 2001
- Τεχνική έκθεση γεωλογικής επισκόπησης, Εμμ. Μανούτσογλου 2014
- <http://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/regression9.pdf>
- <http://www.landviser.net/>
- <http://www.geoservice.gr/?q=el>
- <http://www.igme.gr>
- <https://el.wikipedia.org/wiki>
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/>
- <http://www.geomatrix.co.uk/software/electrical-resistivity/res2dinv/>
- <http://www.metal.ntua.gr/uploads/3119/.pdf> Δρ.Ε.Λυκούδη (Αθήνα 2005)
- http://www.disigma.gr/media/blfa_files/chapter_FYSIKH_GEOGRAFIA.pdf
- <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Combined+Inversion>
- <http://www.geotomosoft.com/downloads.php>
- http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/ggp762e_lab/PDF/LAB_1_theory.pdf
- http://www.geo.auth.gr/762/PDF/LEC2_NEW.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Με την εισαγωγή των αρχικών δεδομένων στο πρόγραμμα **Res2Dinv** και την επιλογή της μεθόδου αντιστροφής Least- Squares, προκύπτουν για καθεμία από τις **21 γραμμές μελέτης** , οι αντίστοιχες γεωηλεκτρικές τομές. Αντίστοιχες τομές πρόεκυψαν με το ίδιο λογισμικό με τις αντιστροφές Robust Inversion και Combined.

Ανάλογες τρισδιάστατες γεωηλεκτρικές τομές απεικονίστησαν με των λογισμικά **Res3Dinv** και **EarthImager** με χρήση μεθόδων αντιστροφής που αναφέρονται παραπάνω.

Το ως άνω σύνολο των γεωηλεκτρικών τομών που απεικονίστησαν με την χρήση των ανωτέρω λογισμικών με την εφαρμογή των μεθόδων αντιστροφής περιλαμβάνονται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ** που ακολουθεί.

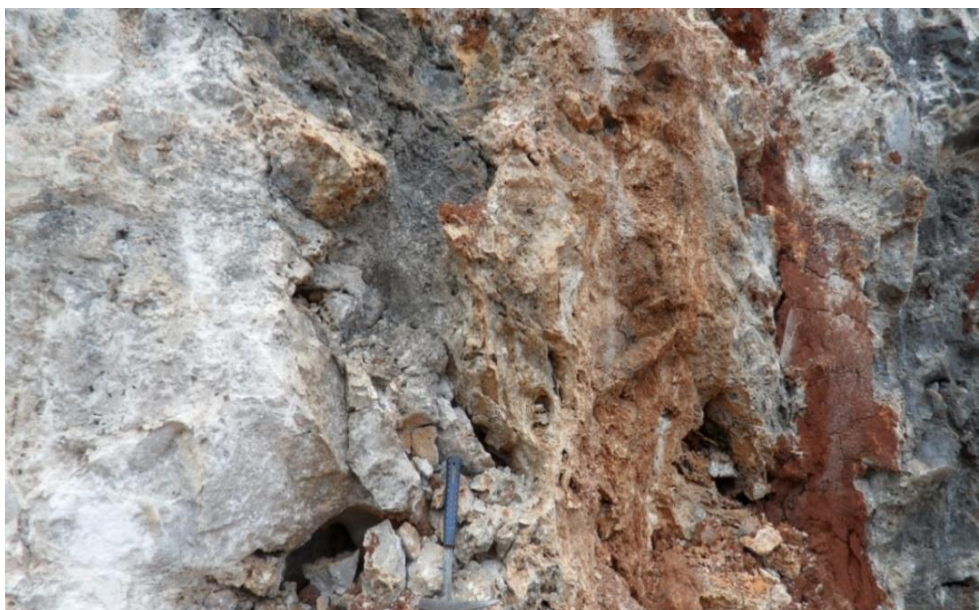
**Ι) ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΕΓΚΟΙΛΩΝ
ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ**



Εικόνα 7: Πληρωμένα σπήλαια μικρών σχετικά διαστάσεων



Εικόνα 8: Στρωματόμορφη κατανομή σπηλαιώσεων που συνδέονται με την χωρική διαστρωμάτωση του μαύρου ραουβάκη.

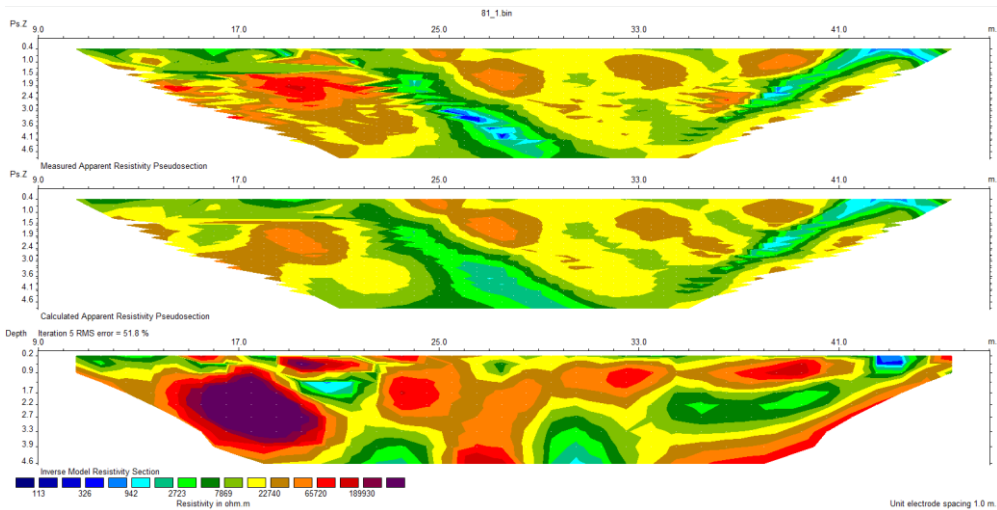


Εικόνα 9: Σπηλαιώσεις που συνδέονται με κατακόρυφα ρήγματα.

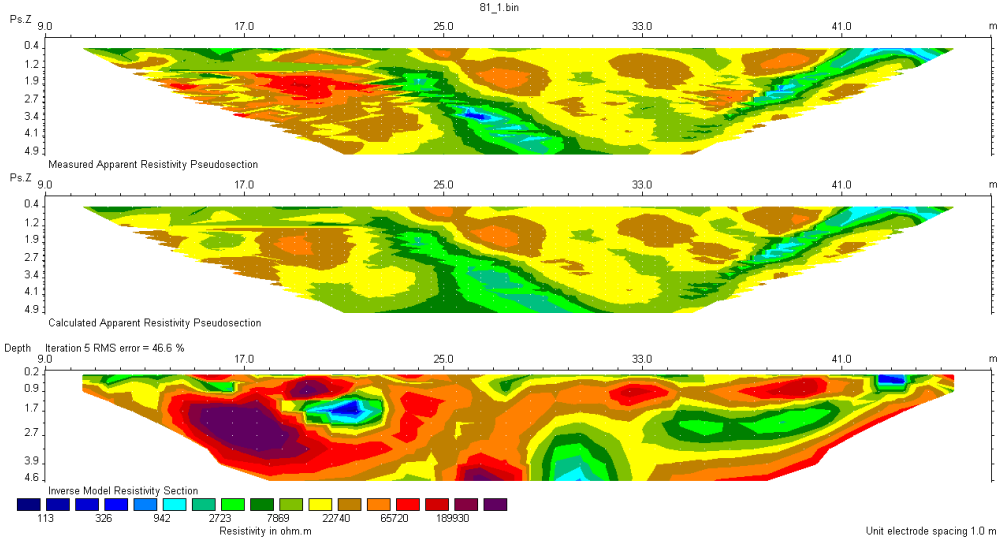


Εικόνα 10: Διάφορες μορφές καρστικών εγκοίλων στα τεχνητά πρανή του χώρου της ανατολικής επέκτασης.

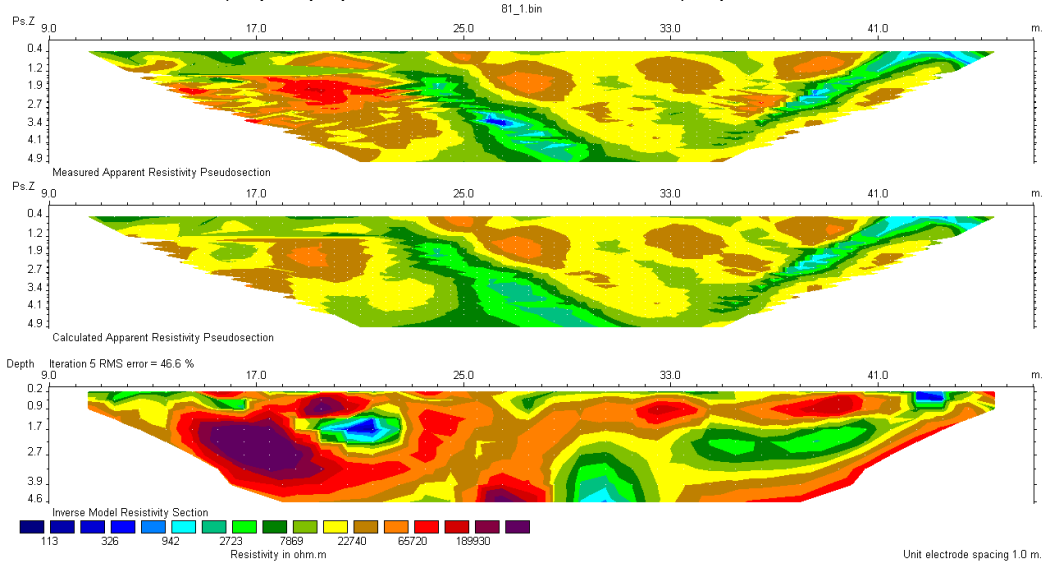
II) ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ



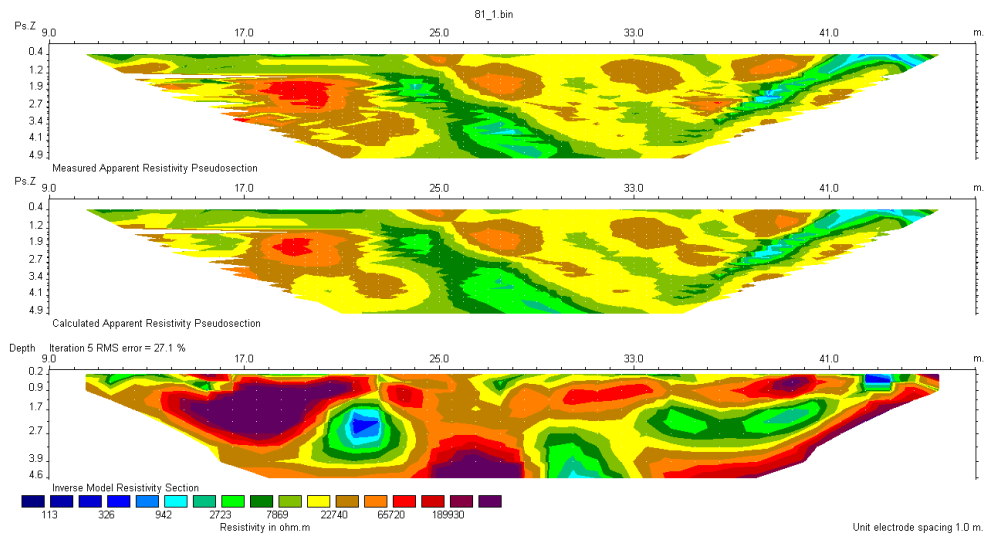
Σχήμα 1.1: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 51,8%.



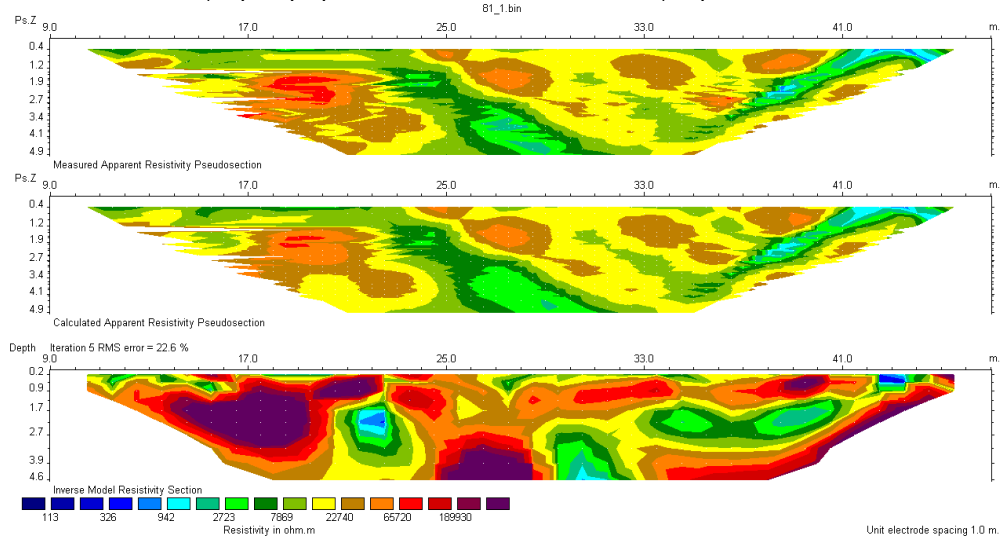
Σχήμα 1.1.1: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 200 και πάνω και σφάλμα 46,6%.



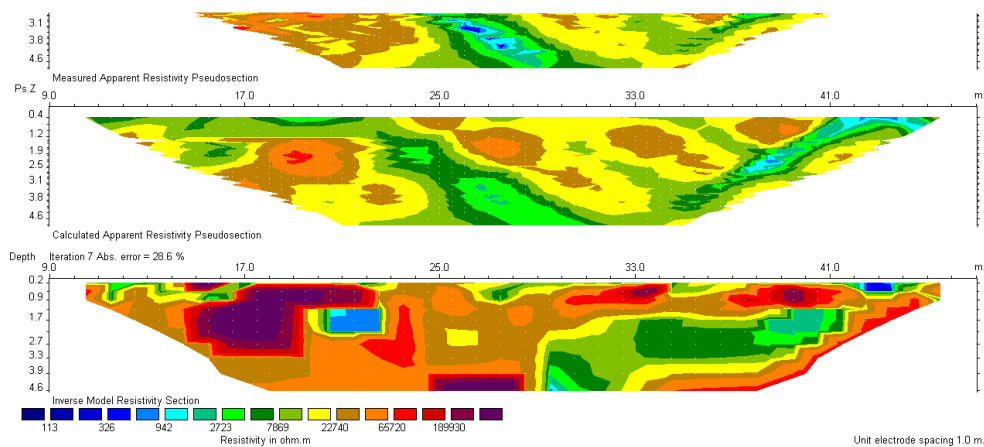
Σχήμα 1.1.2: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 38,5%.



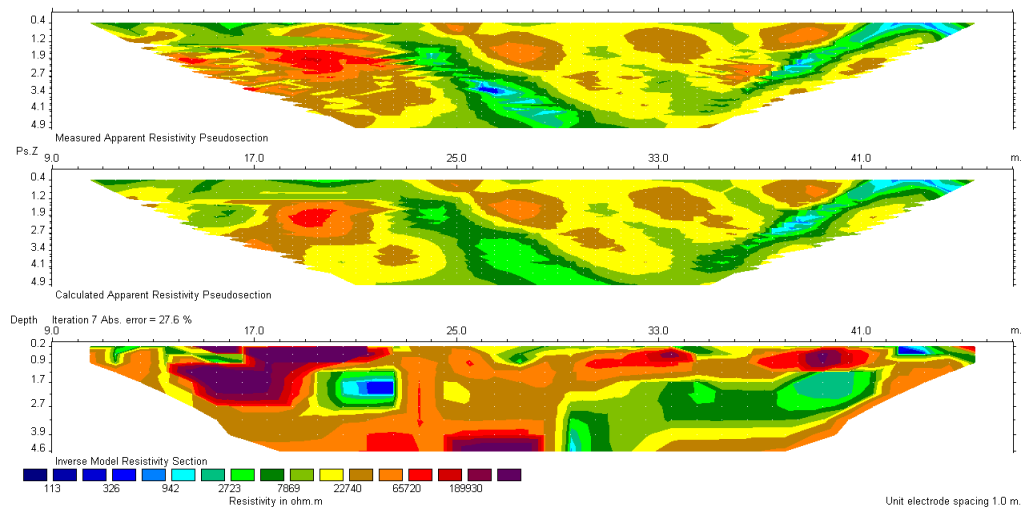
Σχήμα 1.1.3: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 27,1%.



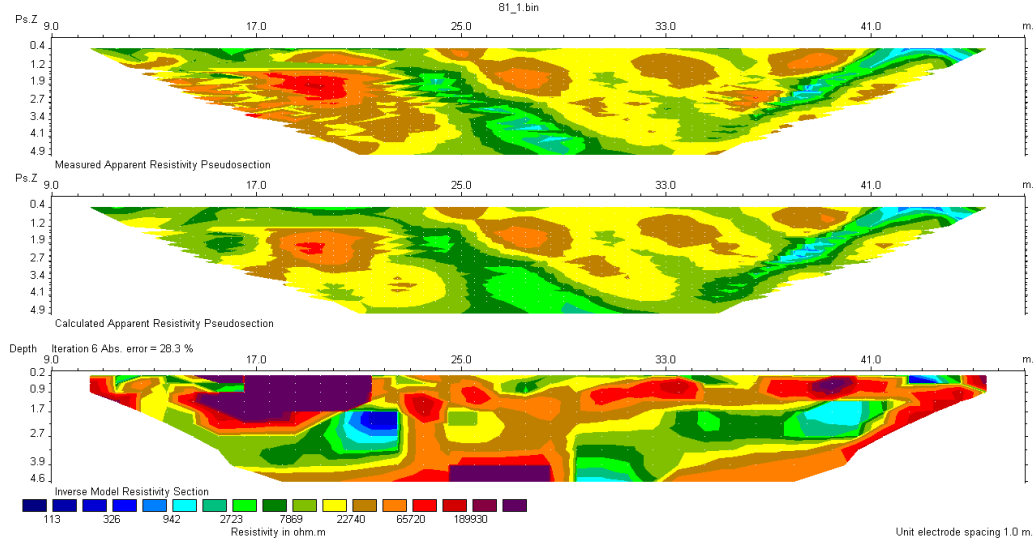
Σχήμα 1.1.4: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 22,6%.



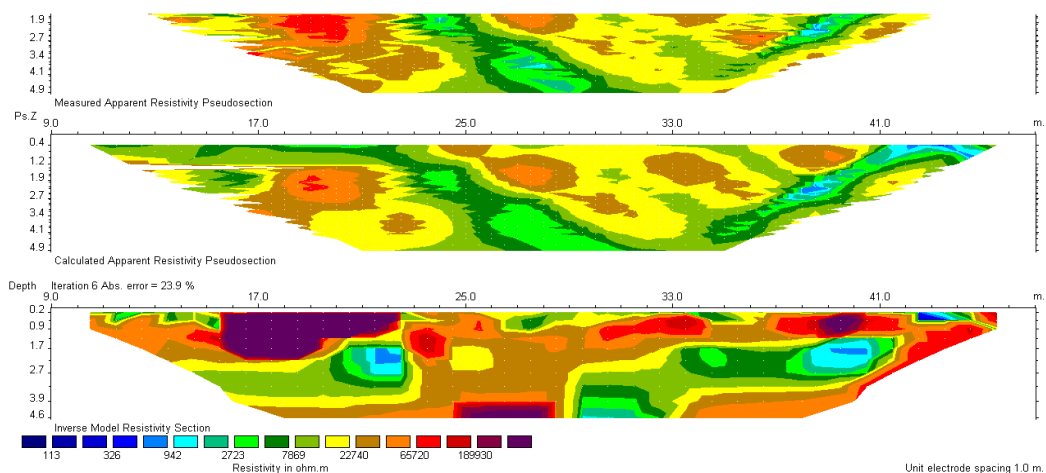
Σχήμα 1.2: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 28,6%.



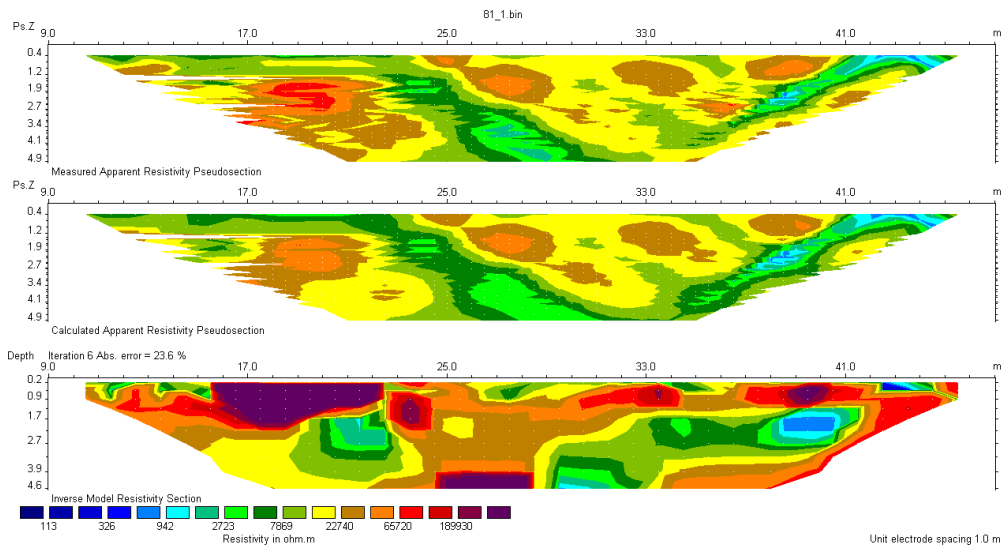
Σχήμα 1.2.1: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 200 και πάνω και σφάλμα 27,6%.



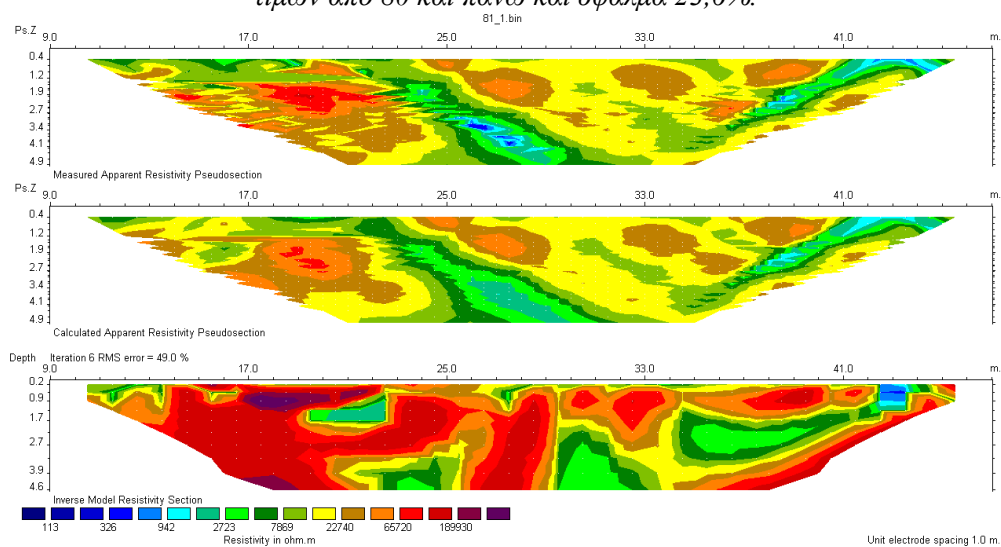
Σχήμα 1.2.2: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 28,3%.



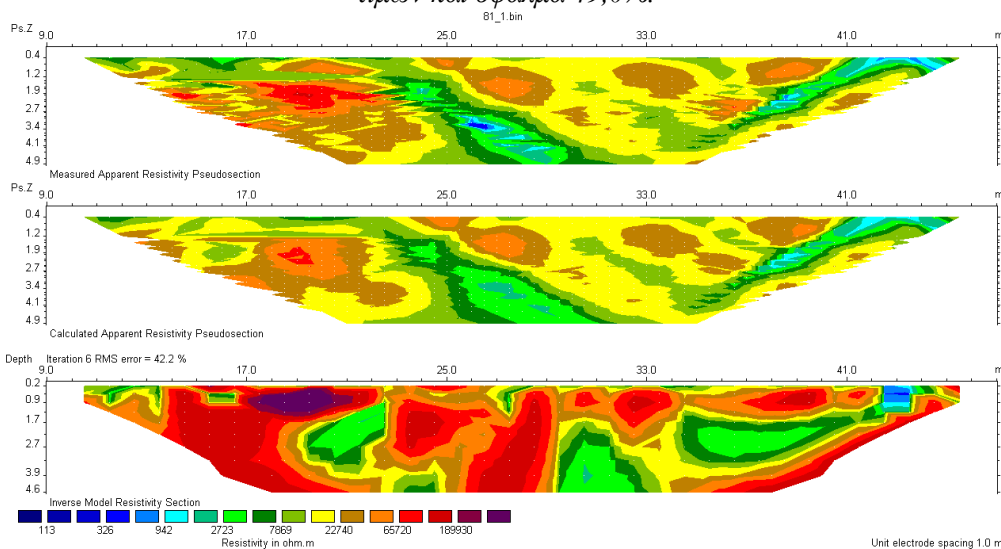
Σχήμα 1.2.3: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 23,9%.



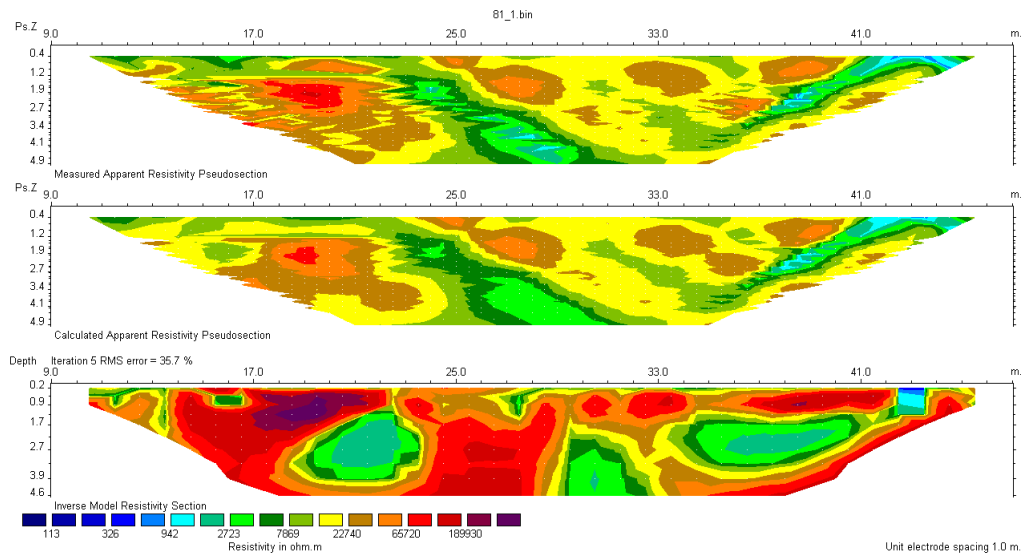
Σχήμα 1.2.4: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 23,6%.



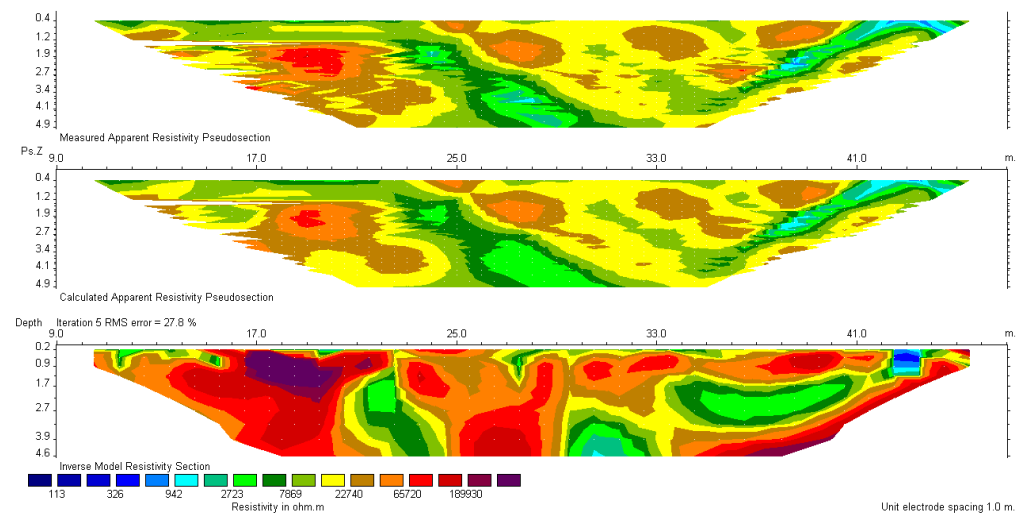
Σχήμα 1.3: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 49,0%.



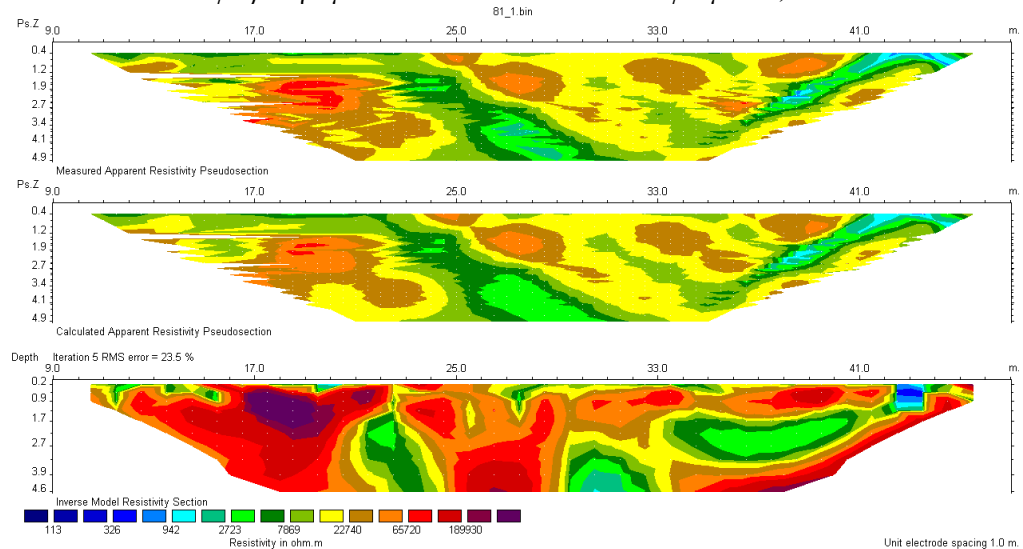
Σχήμα 1.3.1: Γεωηλεκτρική τομή I^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 200 και πάνω και σφάλμα 42,2%.



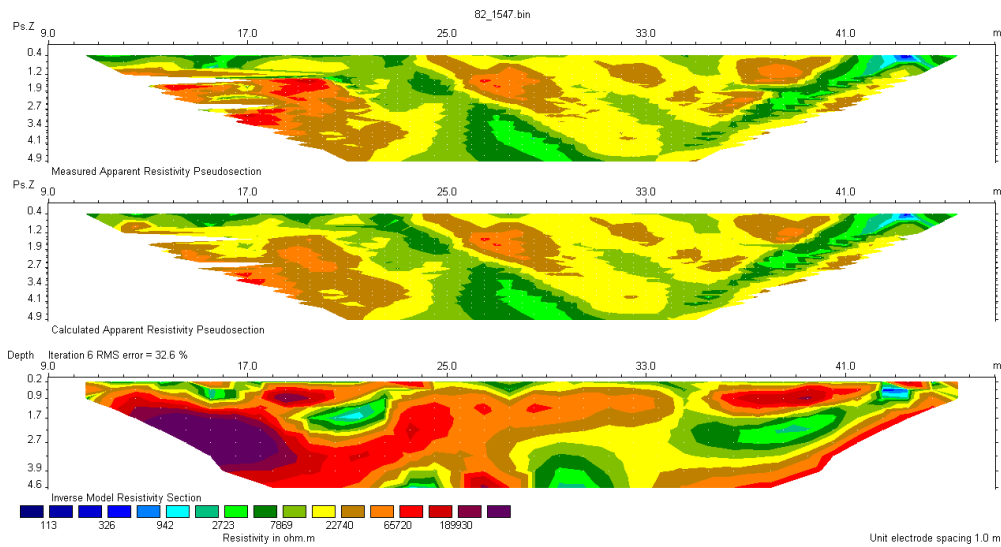
Σχήμα 1.3.2: Γεωηλεκτρική τομή πρώτης γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 35,7%.



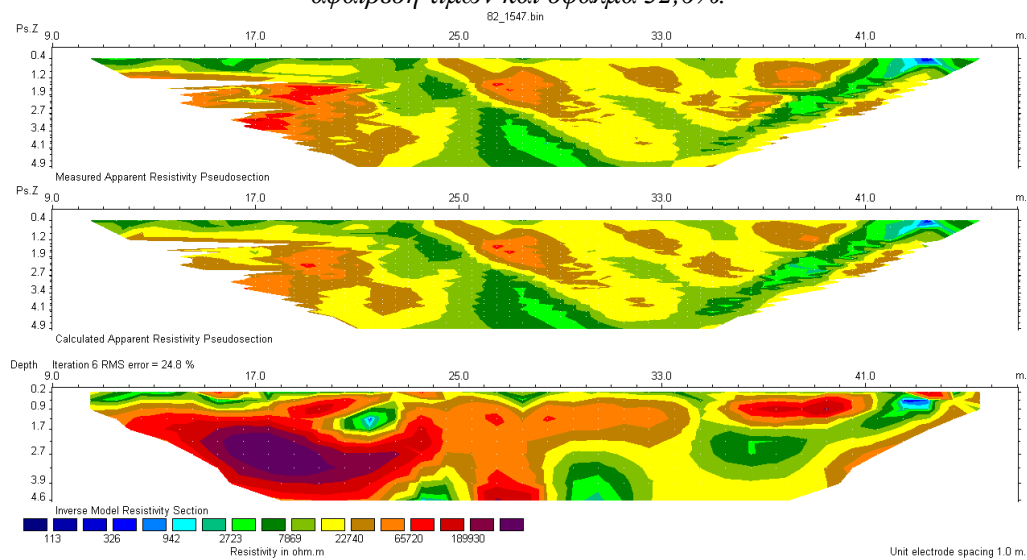
Σχήμα 1.3.3: Γεωηλεκτρική τομή πρώτης γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 27,8%.



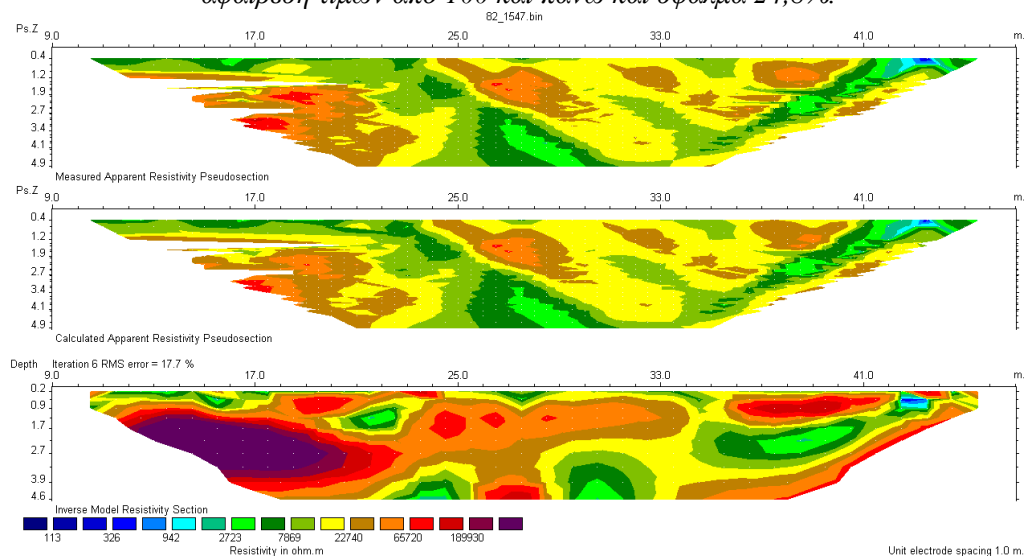
Σχήμα 1.3.4: Γεωηλεκτρική τομή πρώτης γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 23,5%.



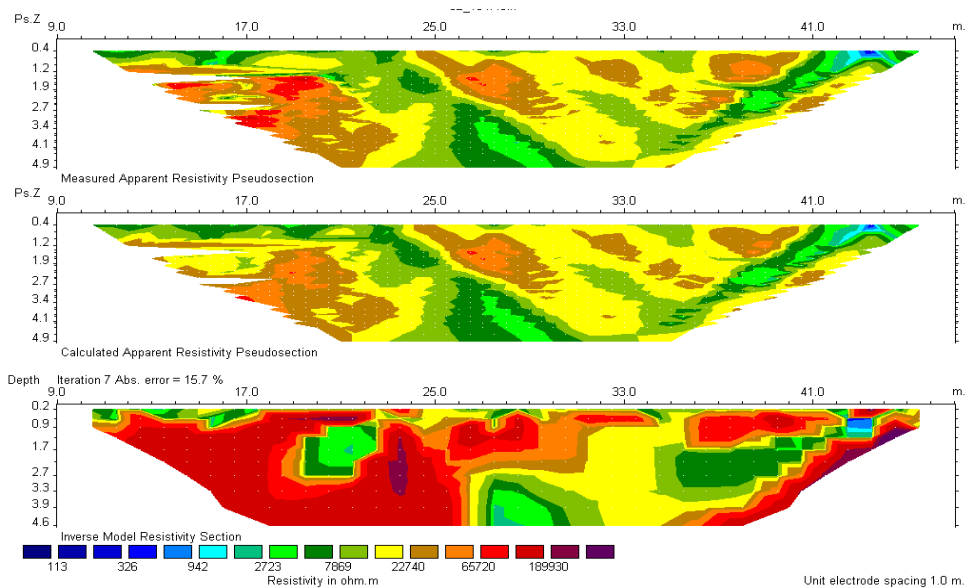
Σχήμα 2.1: Γεωηλεκτρική τομή 2^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 32,6%.



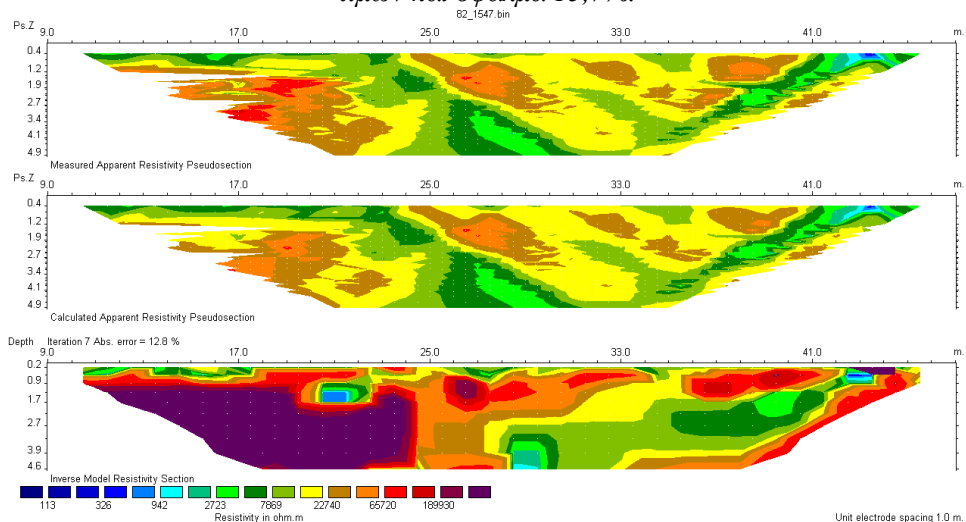
Σχήμα 2.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 2^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 24,8%.



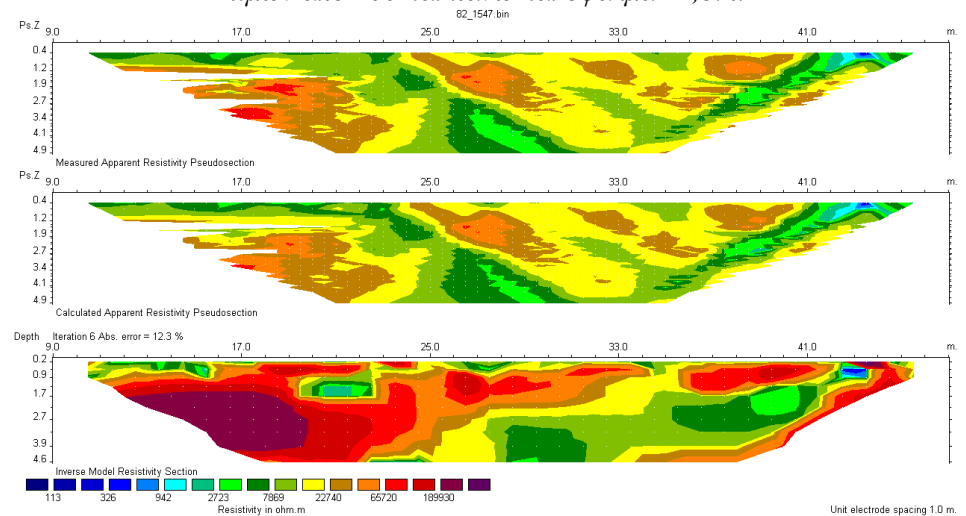
Σχήμα 2.1.2: Γεωηλεκτρική τομή 2^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 17,7%.



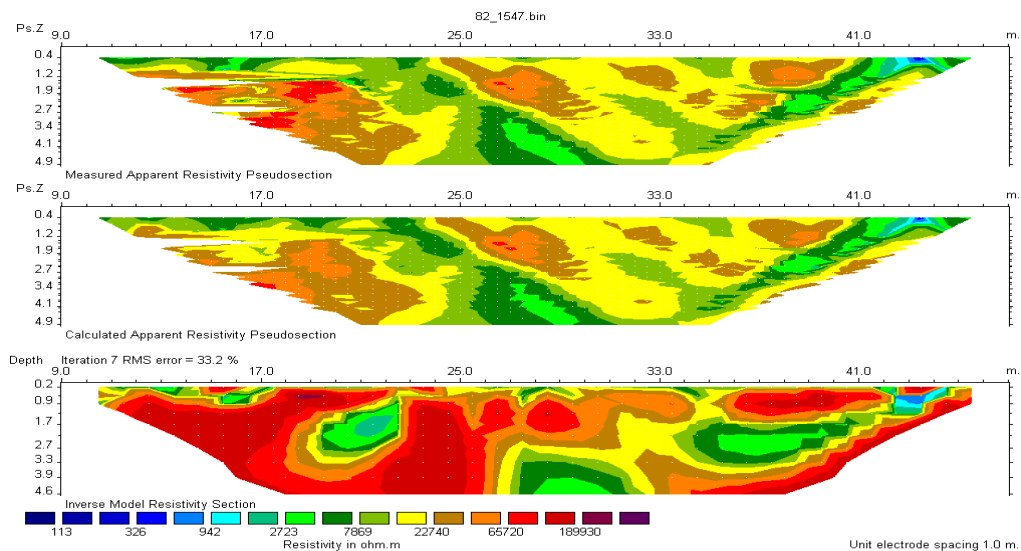
Σχήμα 2.2: Γεωηλεκτρική τομή 2^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 15,7%.



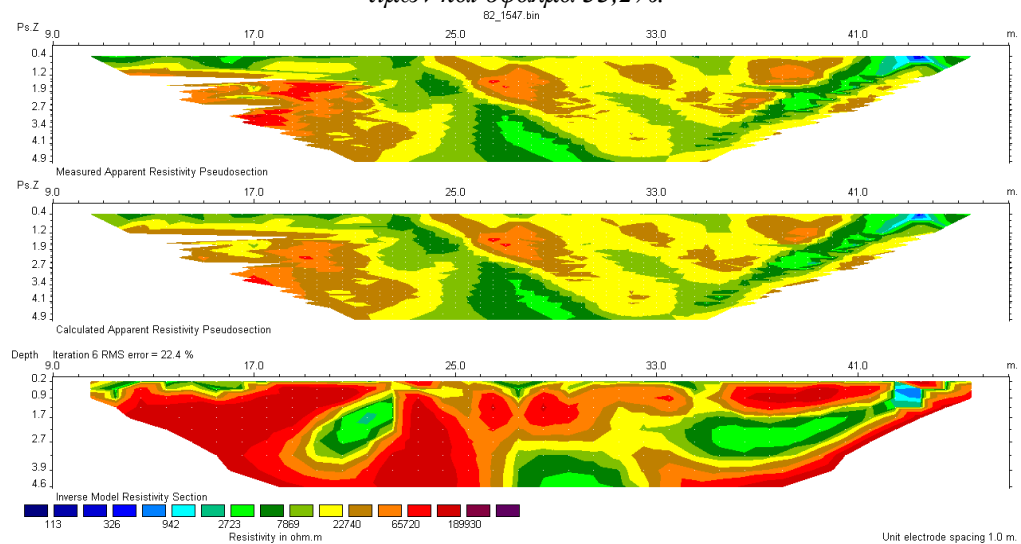
Σχήμα 2.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 2^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 12,8%.



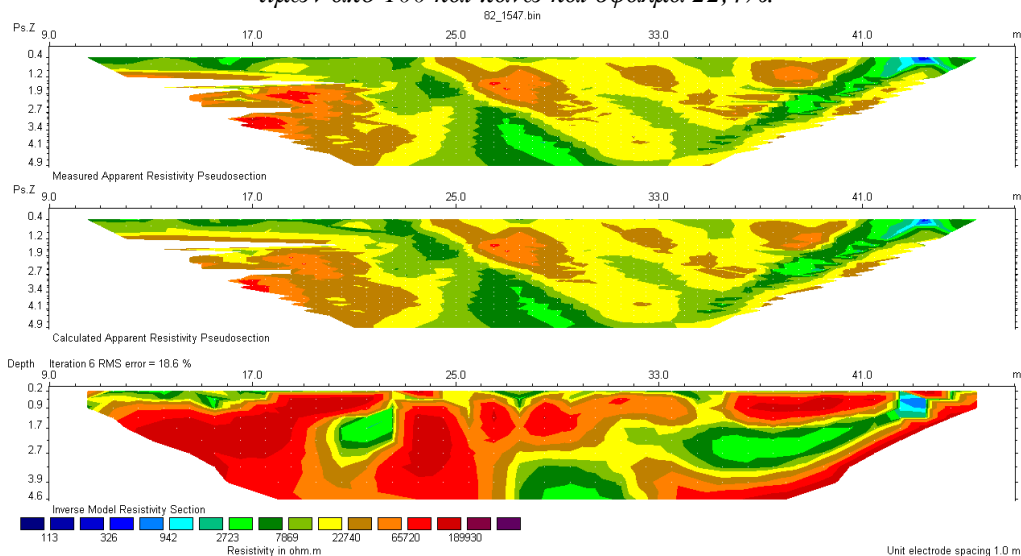
Σχήμα 2.2.2: Γεωηλεκτρική τομή 2^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 12,3%.



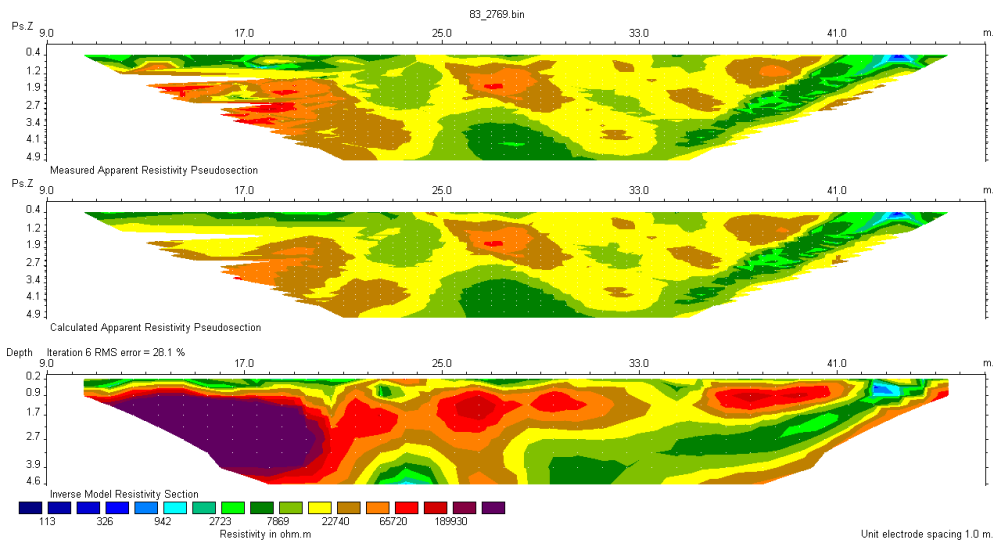
Σχήμα 2.3: Γεωηλεκτρική τομή 2^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 33,2%.



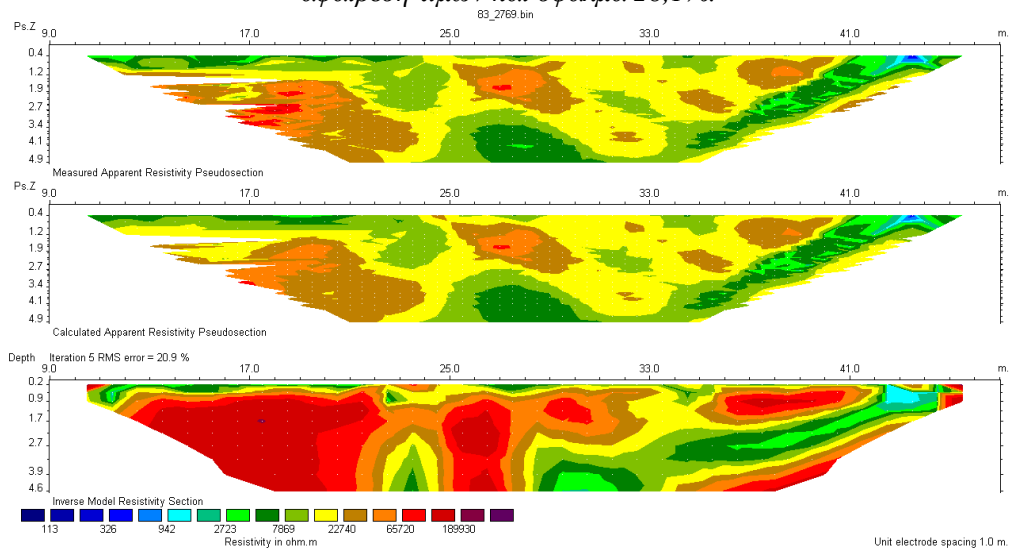
Σχήμα 2.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 2^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 22,4%.



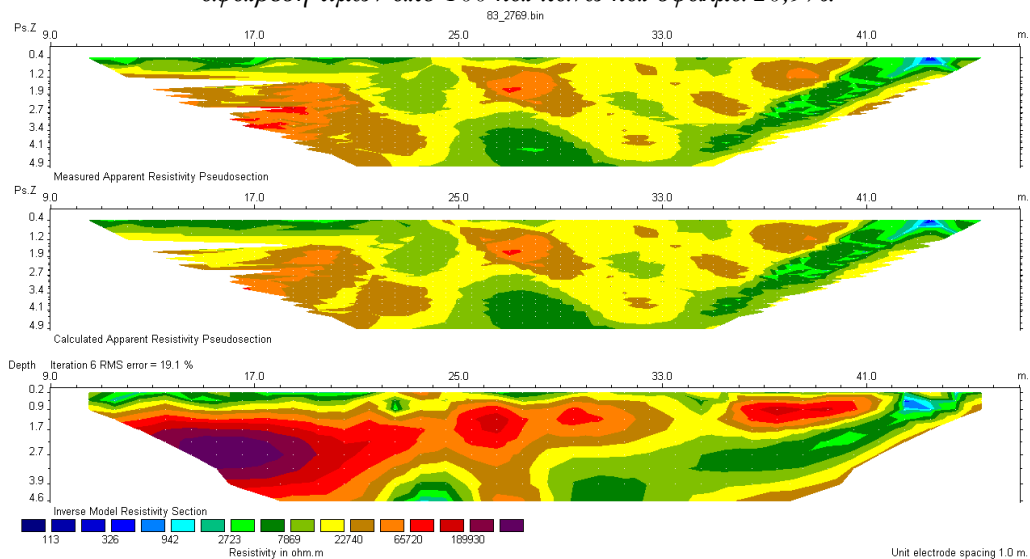
Σχήμα 2.3.2: Γεωηλεκτρική τομή 2^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 18,6%.



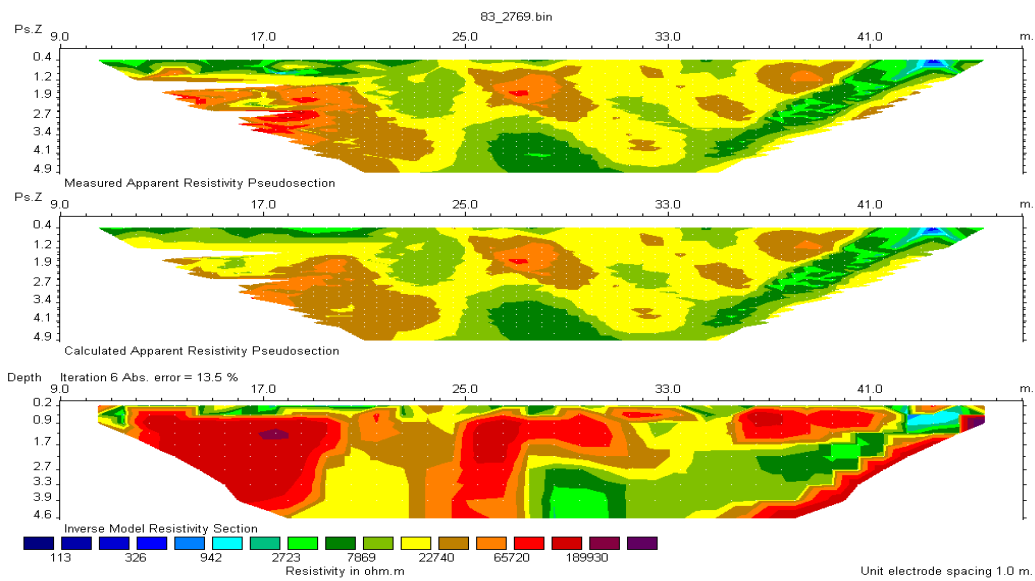
Σχήμα 3.1: Γεωηλεκτρική τομή 3^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 28,1%.



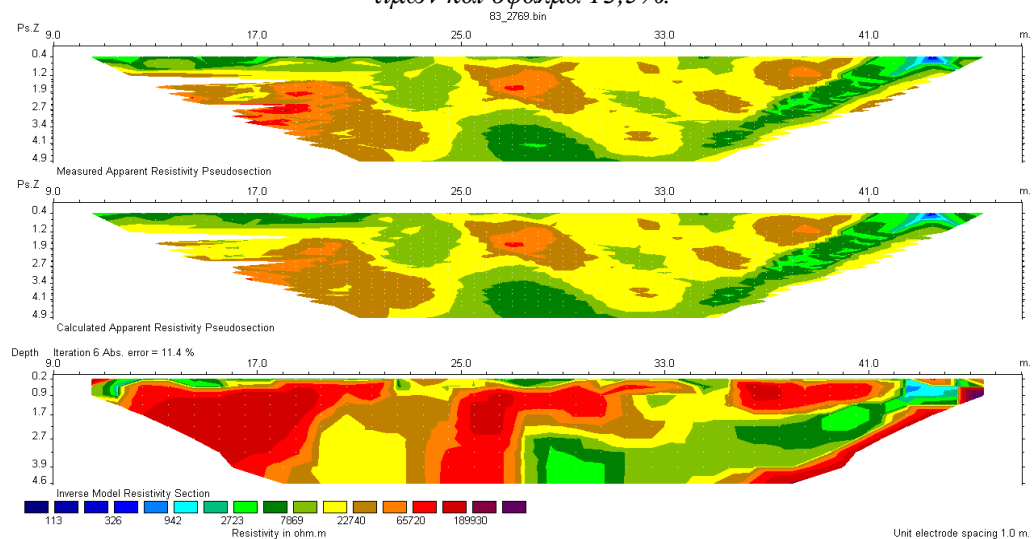
Σχήμα 3.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 3^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 20,9%.



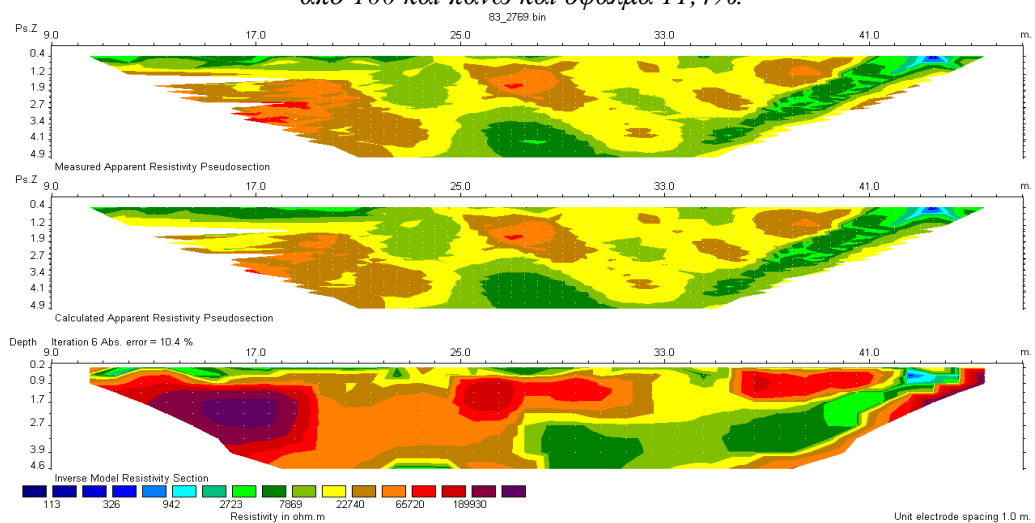
Σχήμα 3.1.2: Γεωηλεκτρική τομή 3^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 19,1%.



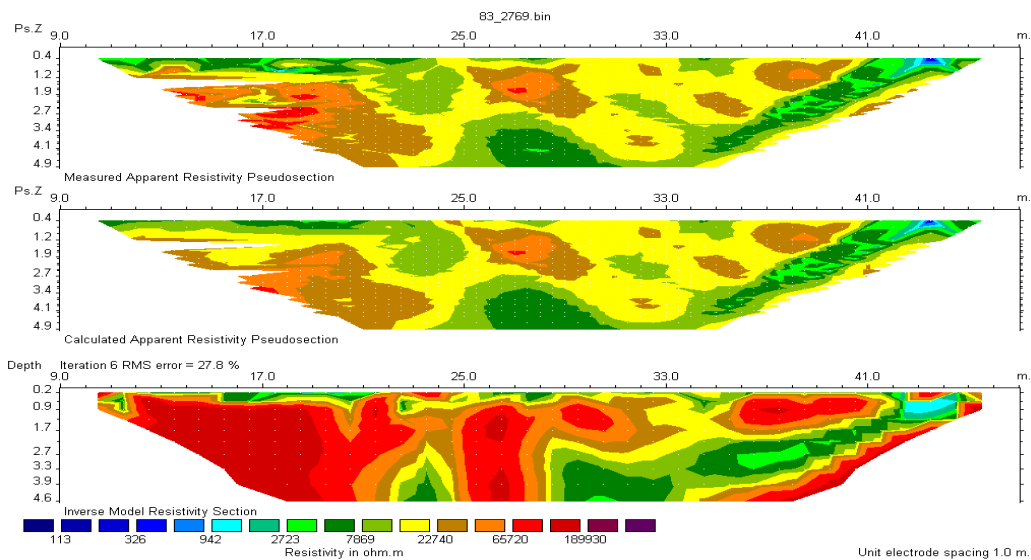
Σχήμα 3.2: Γεωηλεκτρική τομή 3^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 13,5%.



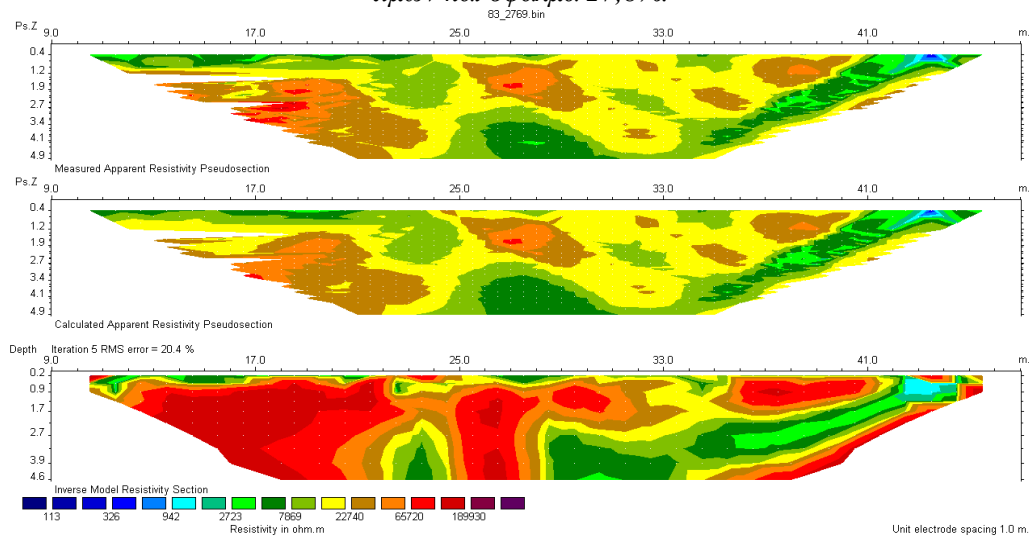
Σχήμα 3.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 3^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 11,4%.



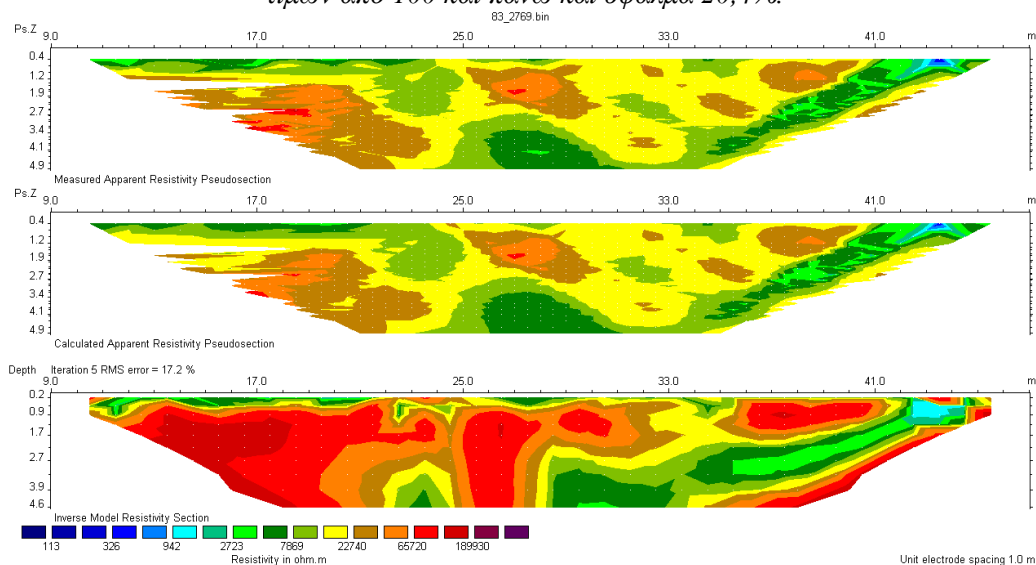
Σχήμα 3.2.2: Γεωηλεκτρική τομή 3^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 10,4%.



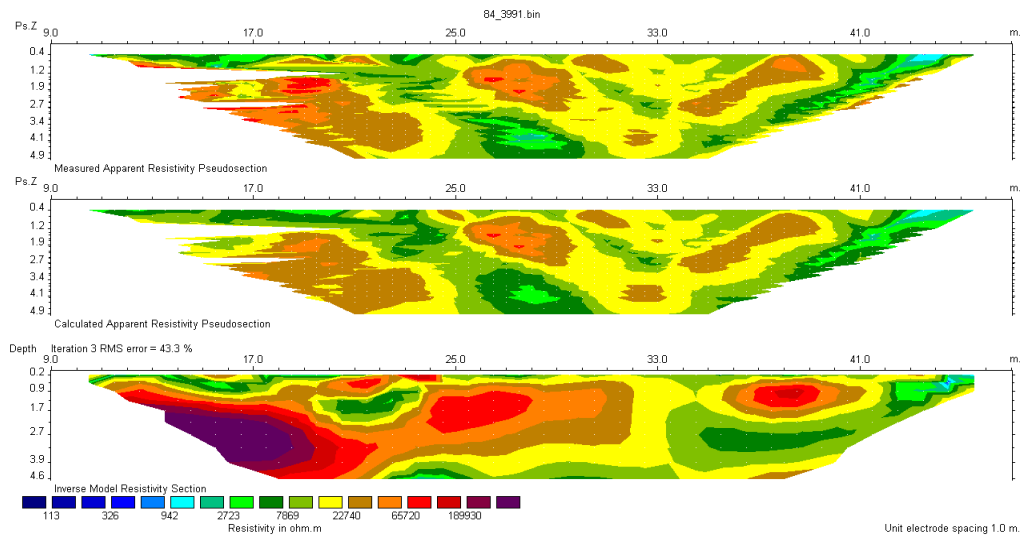
Σχήμα 3.3: Γεωηλεκτρική τομή 3^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 27,8%.



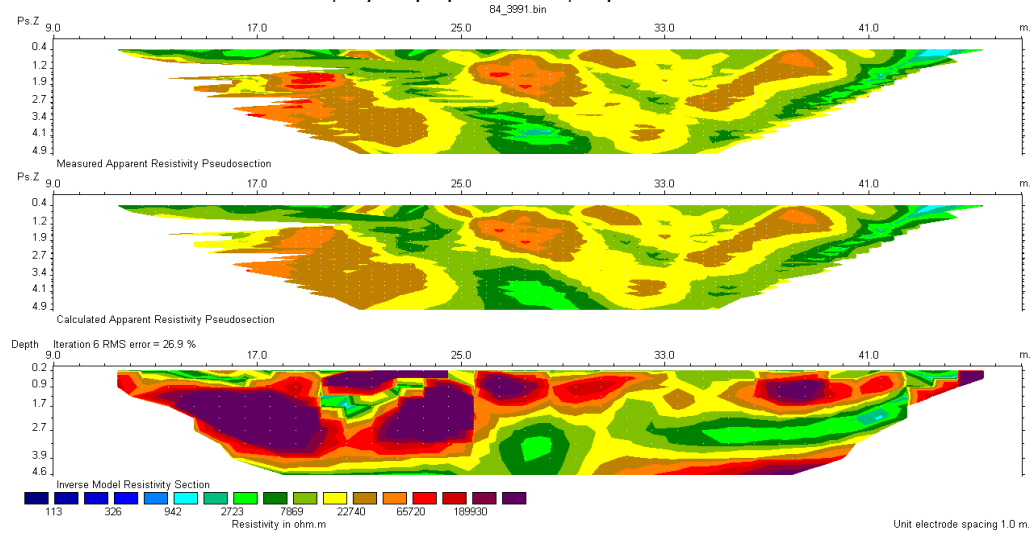
Σχήμα 3.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 3^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 20,4%.



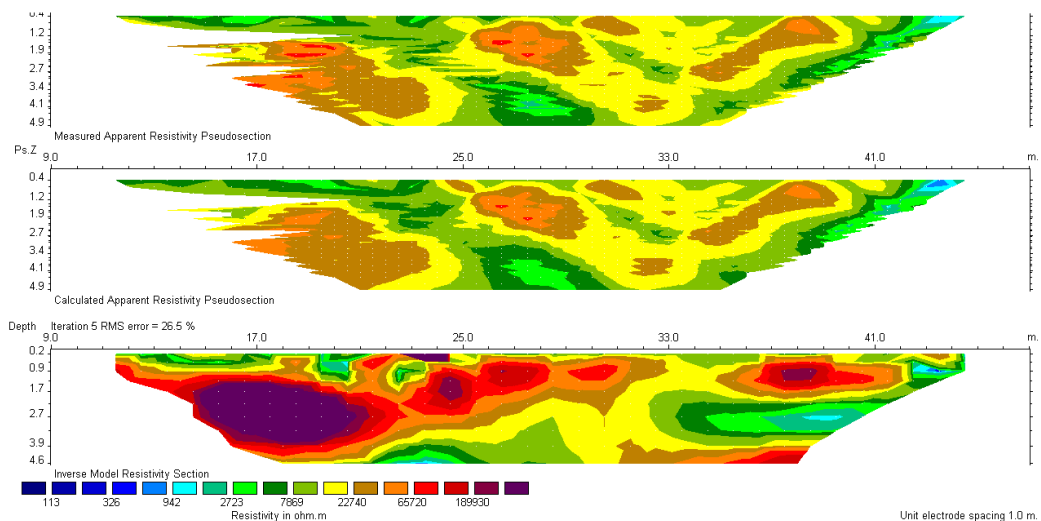
Σχήμα 3.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 3^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 17,2%.



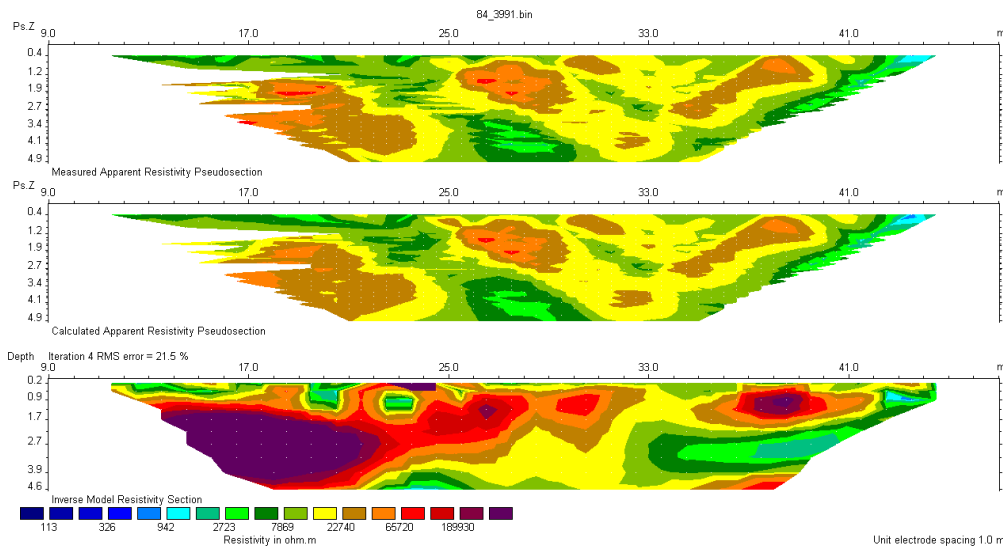
Σχήμα 4.1: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 43,3%.



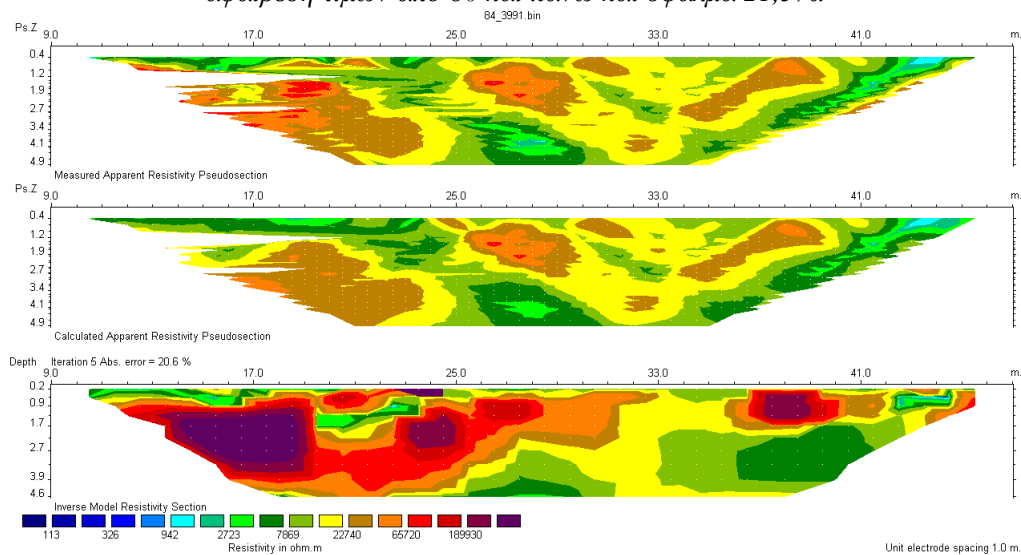
Σχήμα 4.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 26,9%.



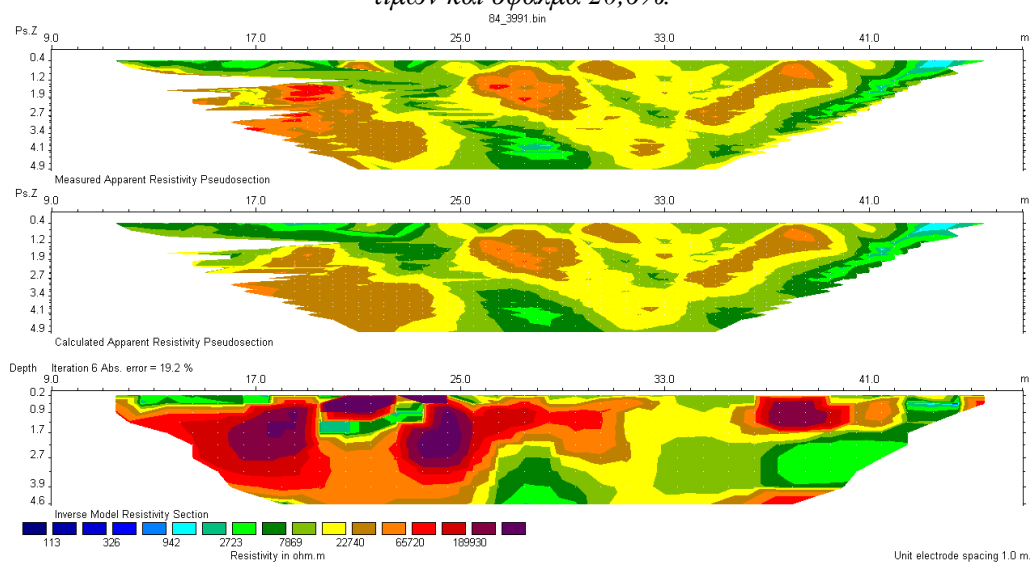
Σχήμα 4.1.2: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 26,5%.



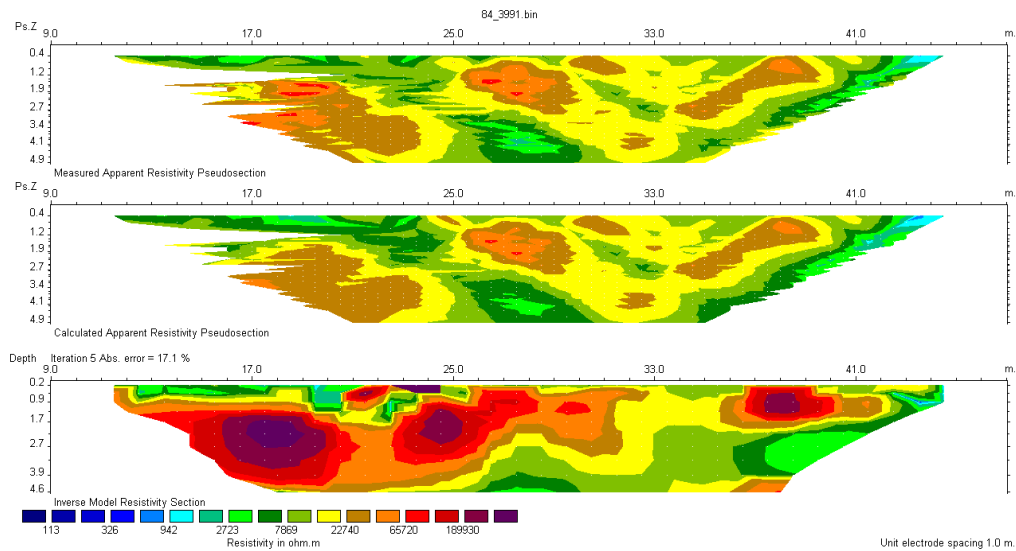
Σχήμα 4.1.3: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 21,5%.



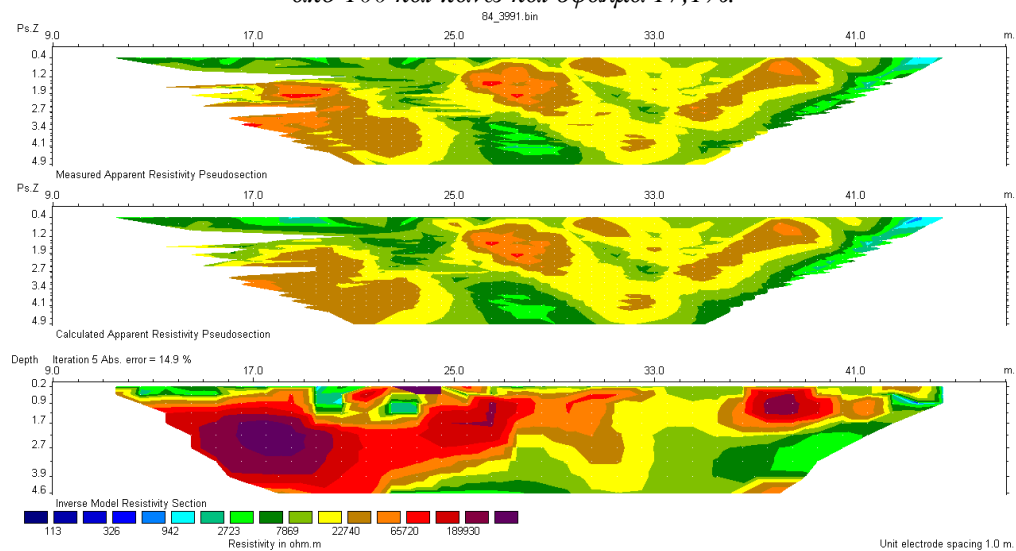
Σχήμα 4.2: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 20,6%.



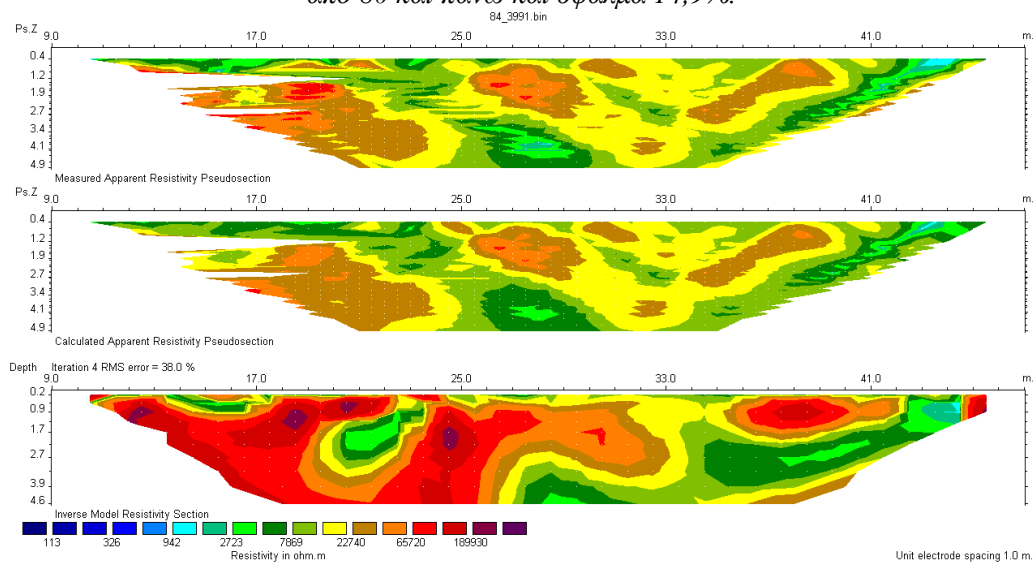
Σχήμα 4.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 19,2%.



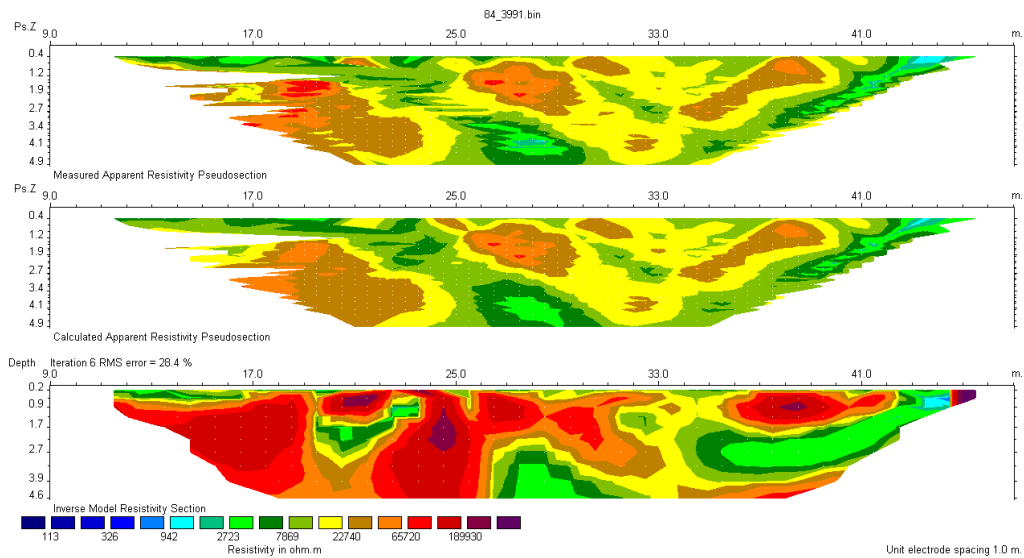
Σχήμα 4.2.2: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 17,1%.



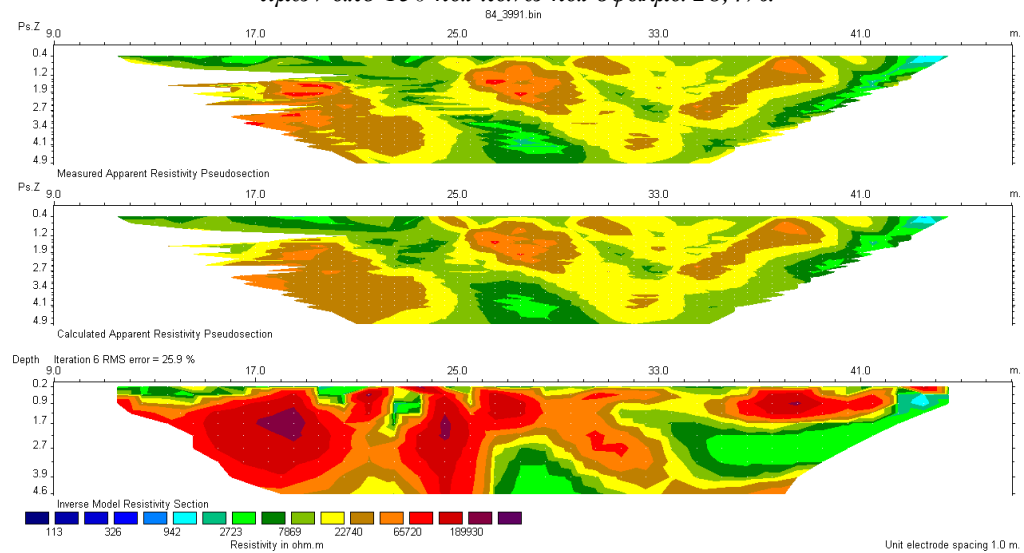
Σχήμα 4.2.3: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 14,9%.



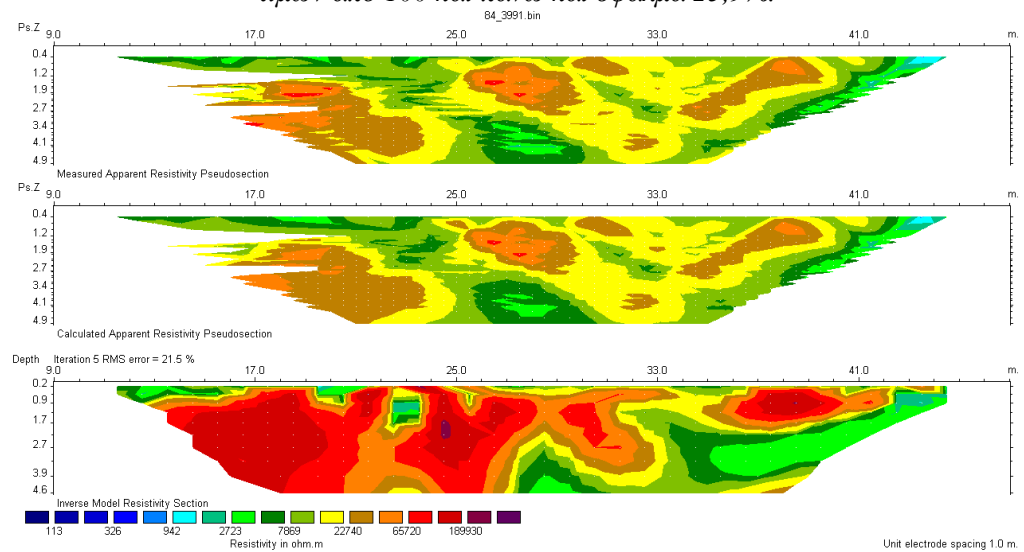
Σχήμα 4.3: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 38,0%.



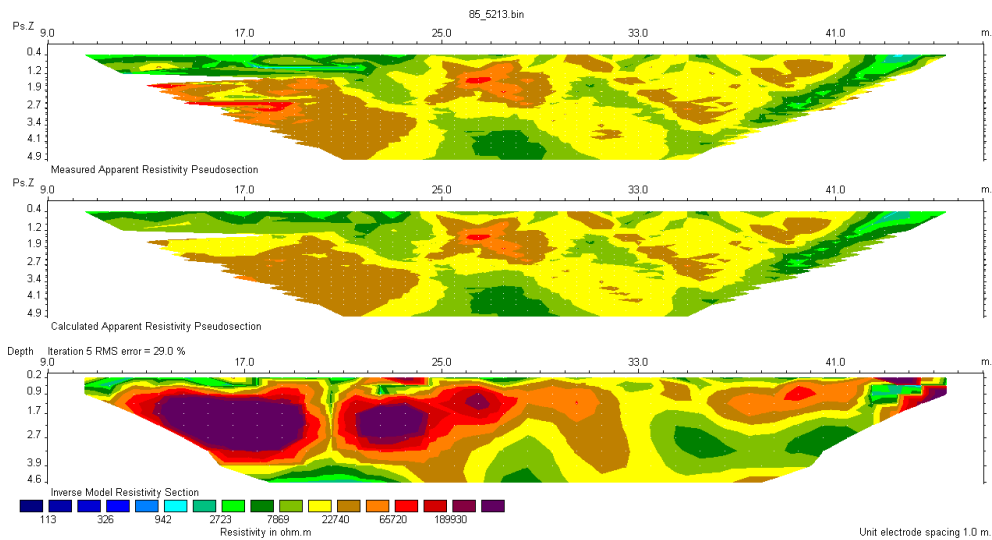
Σχήμα 4.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 28,4%.



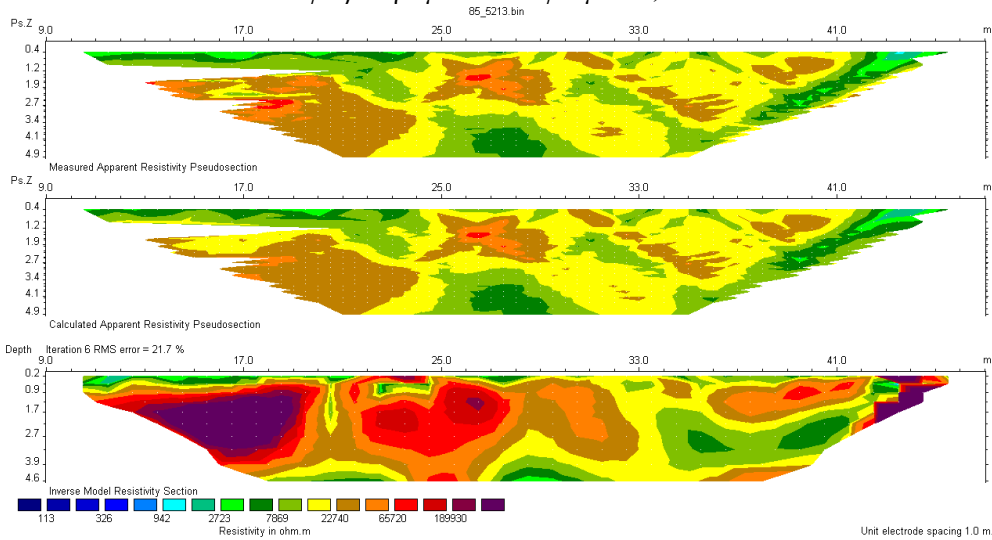
Σχήμα 4.3.2: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 25,9%.



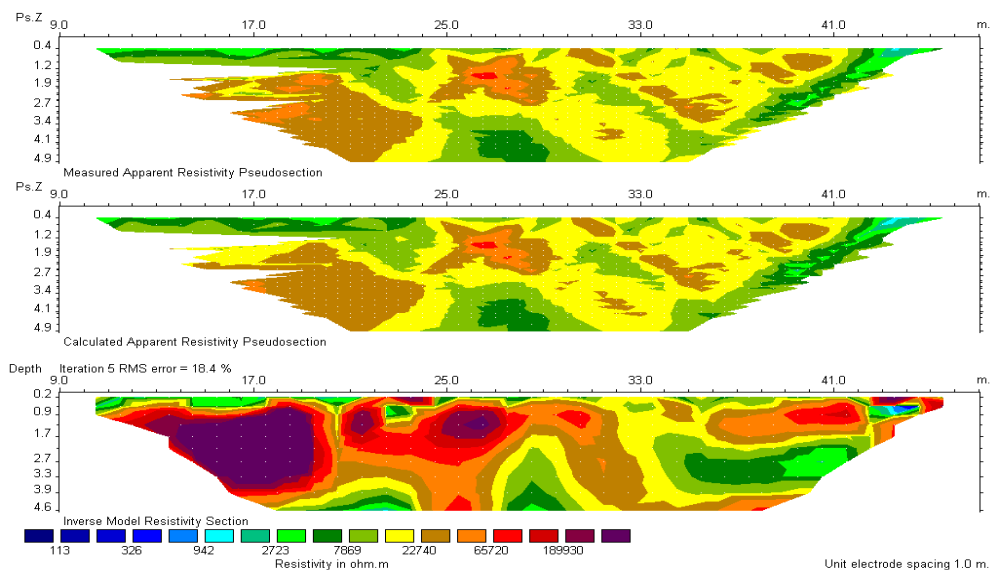
Σχήμα 4.3.3: Γεωηλεκτρική τομή 4^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 21,5%.



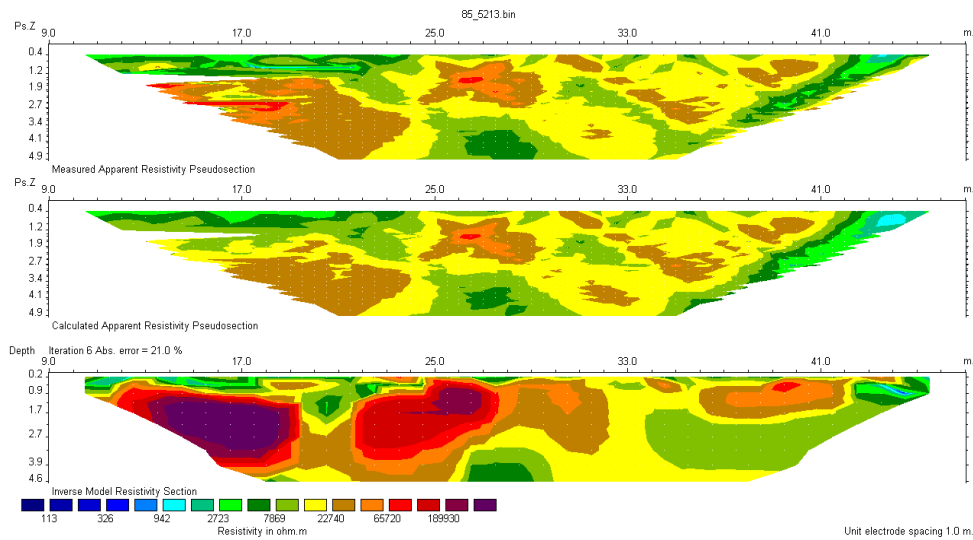
Σχήμα 5.1: Γεωηλεκτρική τομή 5^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 29,0%.



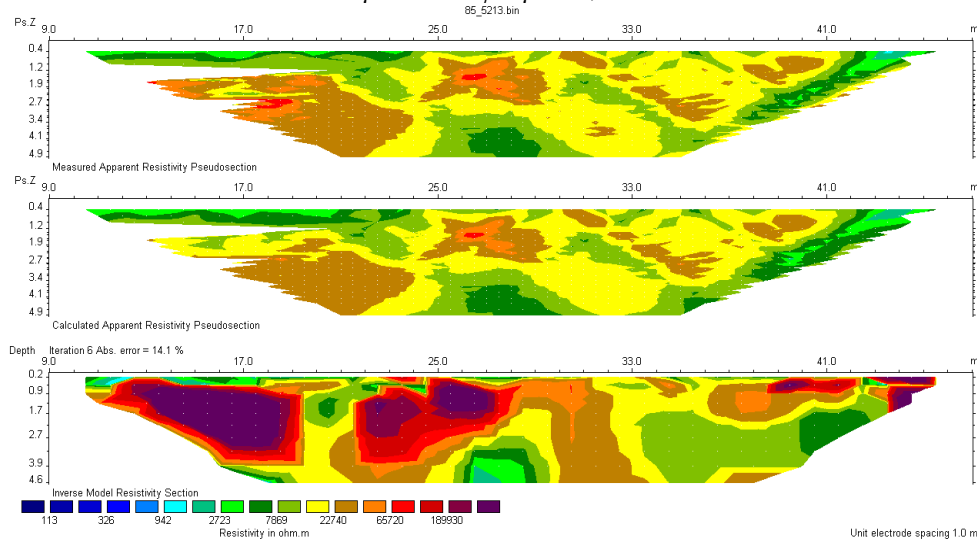
Σχήμα 5.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 5^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 21,7%.



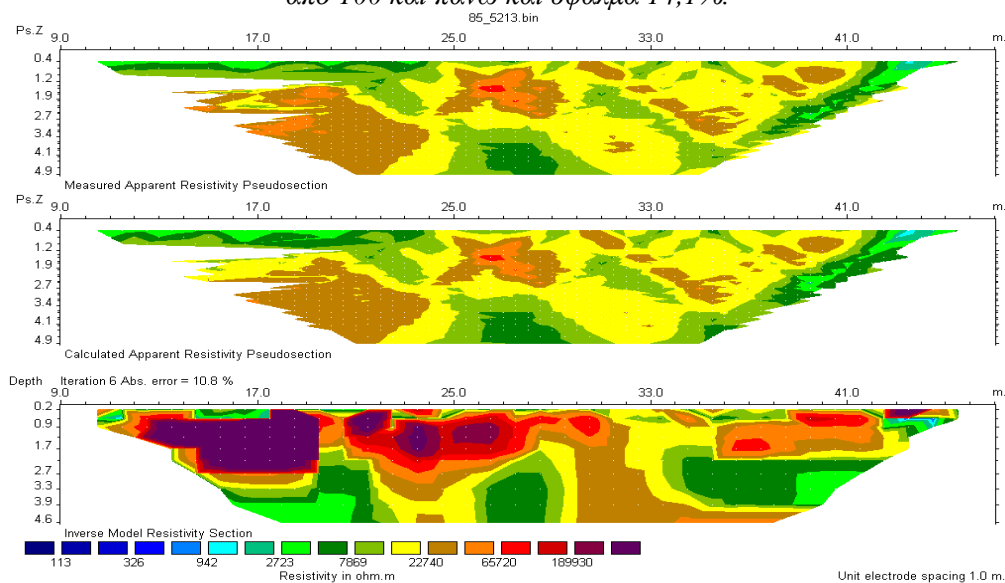
Σχήμα 5.1.2: Γεωηλεκτρική τομή 5^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 18,4%.



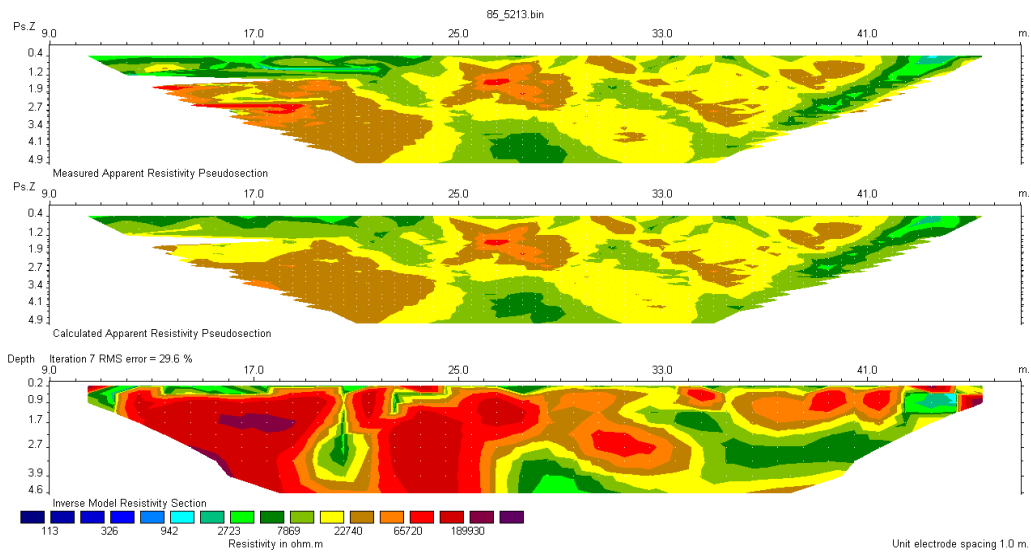
Σχήμα 5.2: Γεωηλεκτρική τομή 5^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 21,0%.



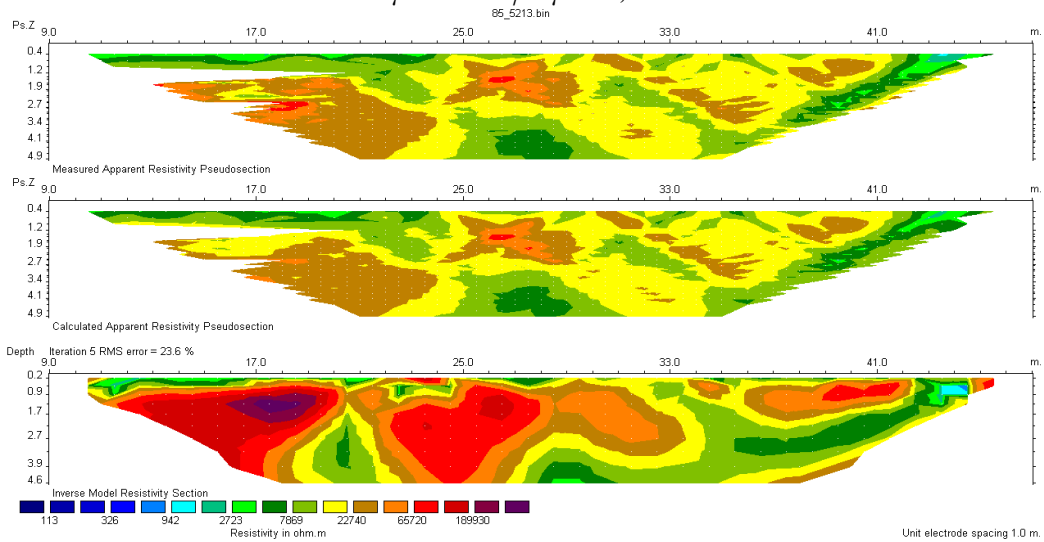
Σχήμα 5.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 5^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 14,1%.



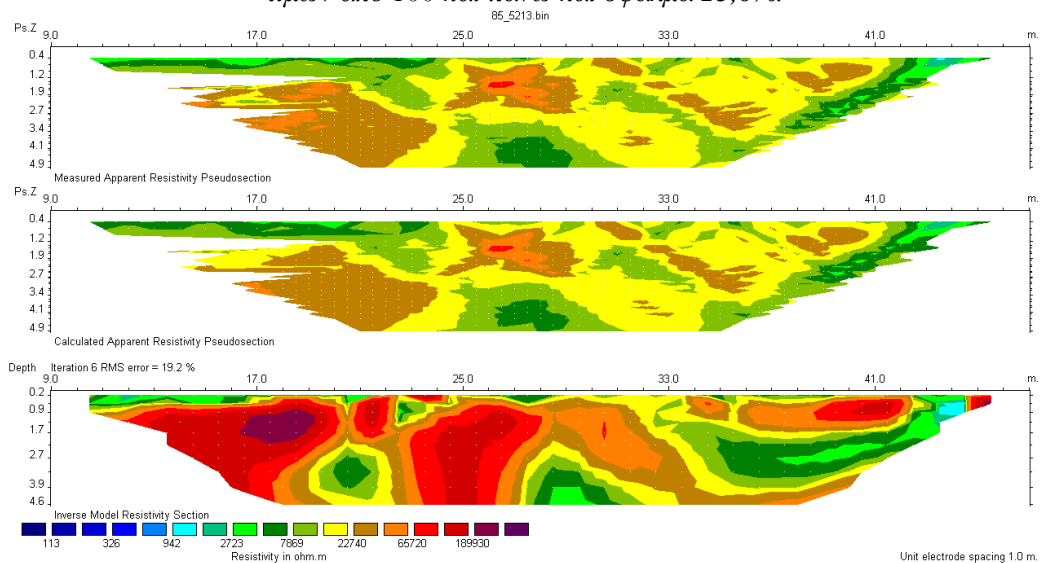
Σχήμα 5.2.2: Γεωηλεκτρική τομή 5^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 10,8%.



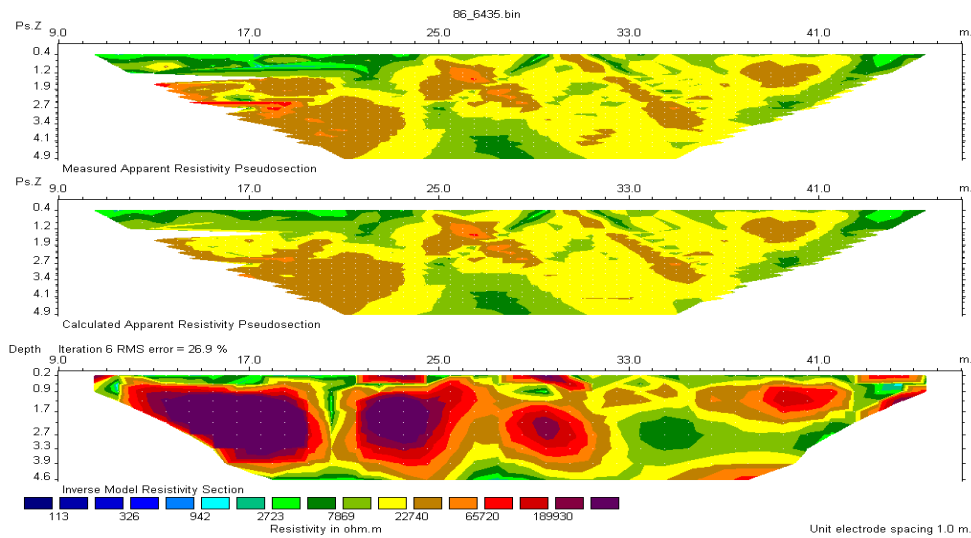
Σχήμα 5.3: Γεωηλεκτρική τομή 5^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 29,6%.



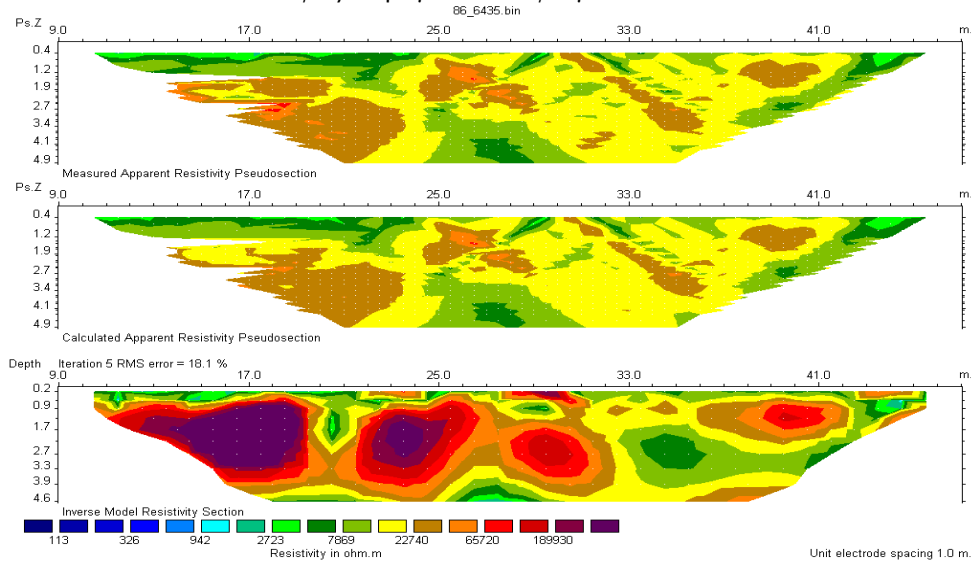
Σχήμα 5.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 5^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 23,6%.



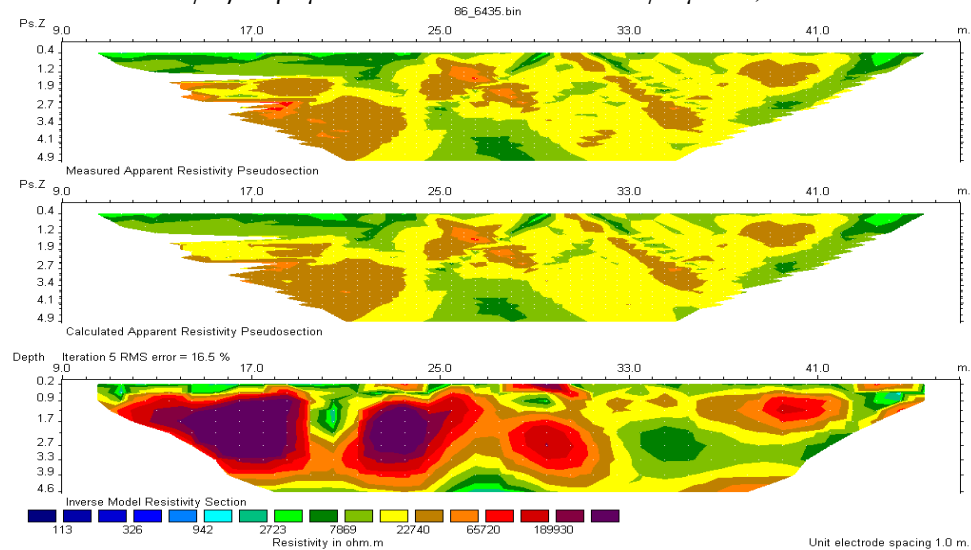
Σχήμα 5.3.2: Γεωηλεκτρική τομή 5^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 19,2%.



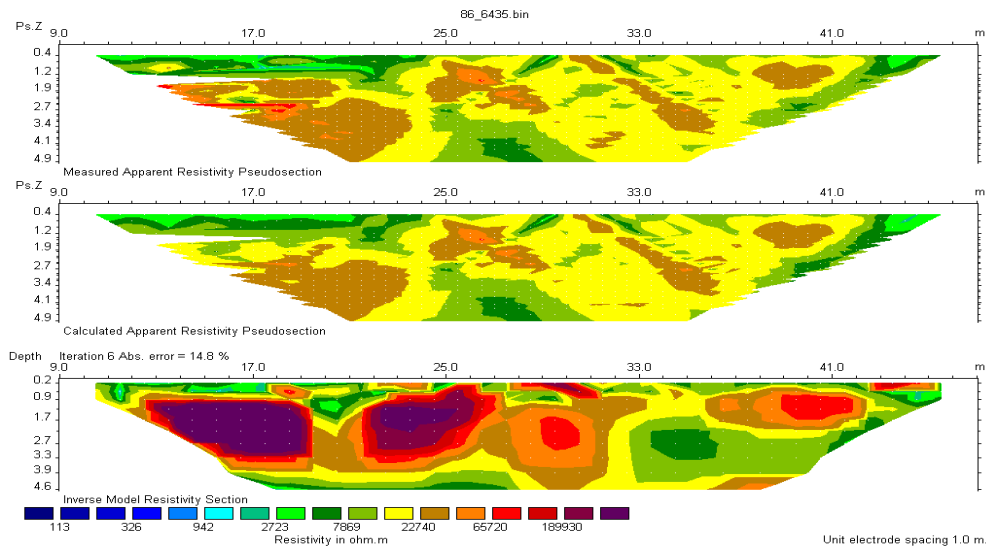
Σχήμα 6.1: Γεωηλεκτρική τομή 6^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 26,9%.



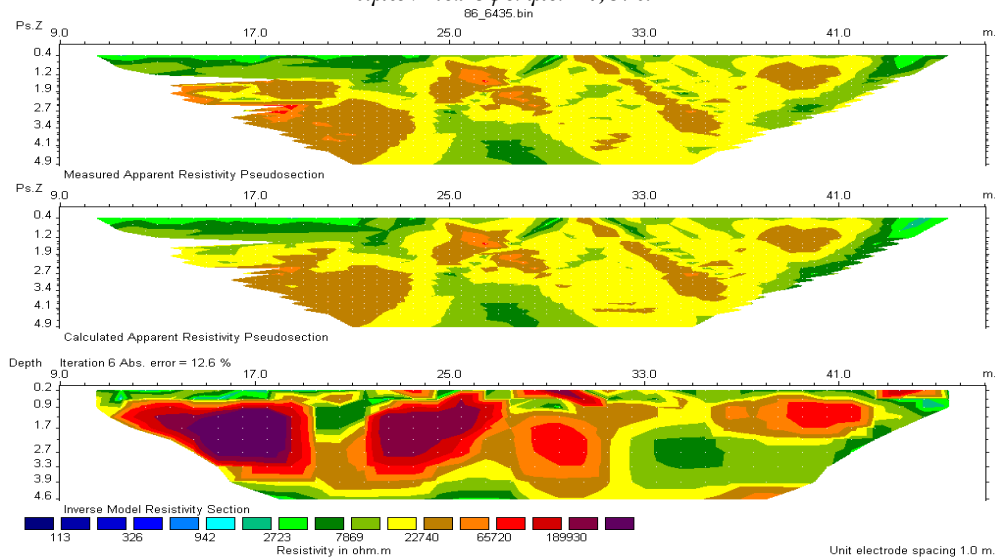
Σχήμα 6.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 6^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 18,1%.



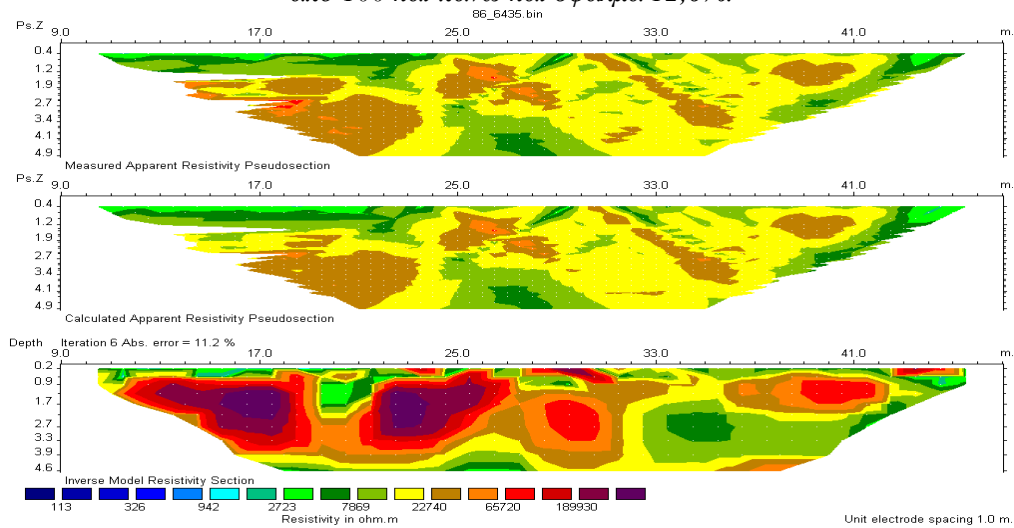
Σχήμα 6.1.2: Γεωηλεκτρική τομή 6^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 16,5 %.



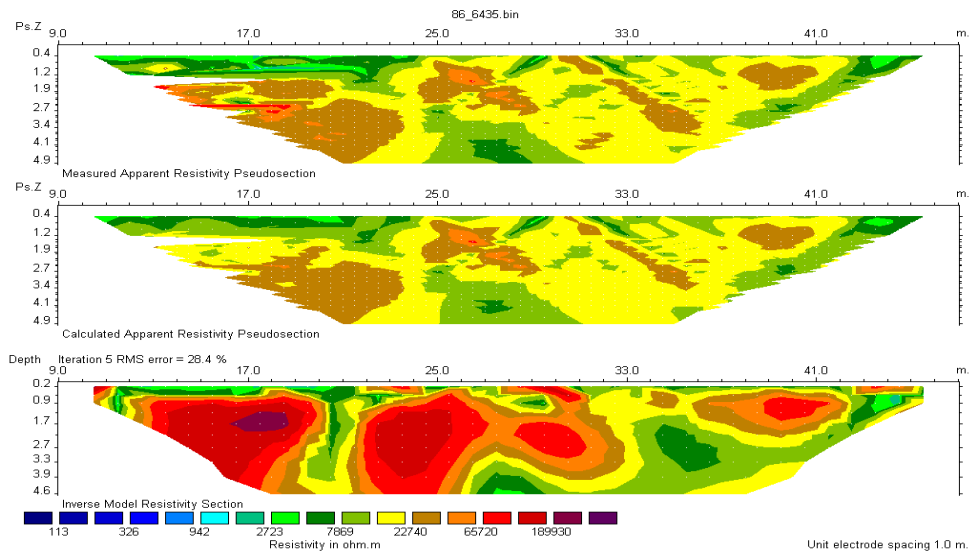
Σχήμα 6.2: Γεωηλεκτρική τομή 6^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 14,8%.



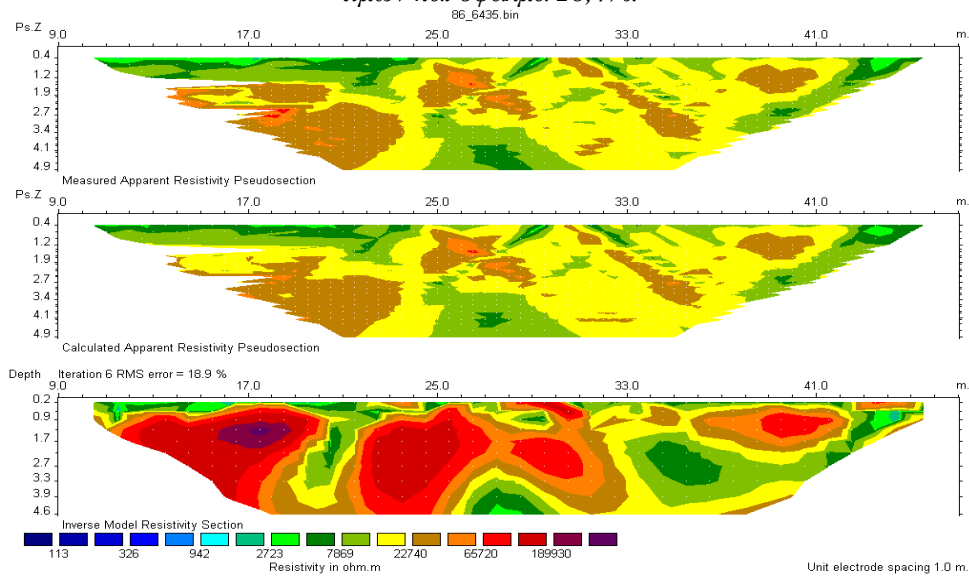
Σχήμα 6.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 6^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 12,6%.



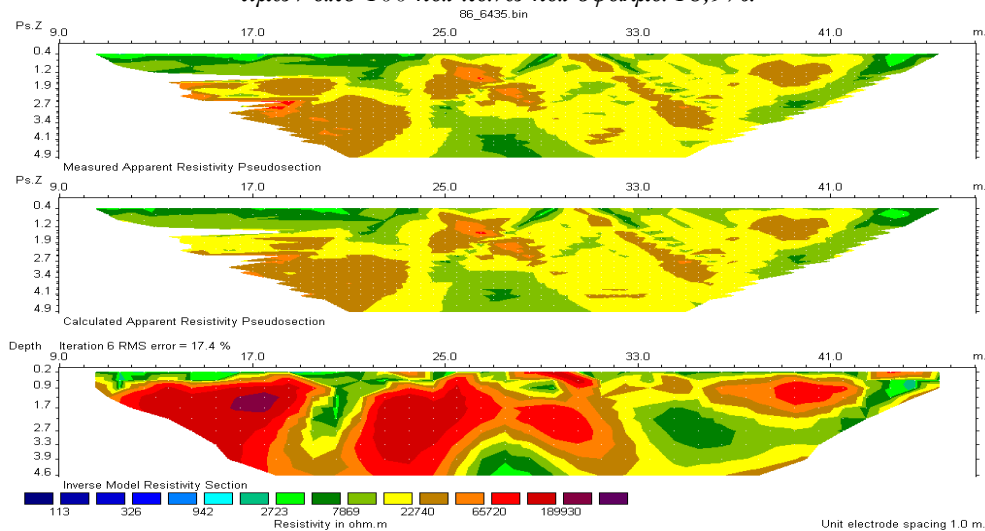
Σχήμα 6.2.2: Γεωηλεκτρική τομή 6^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 11,2%.



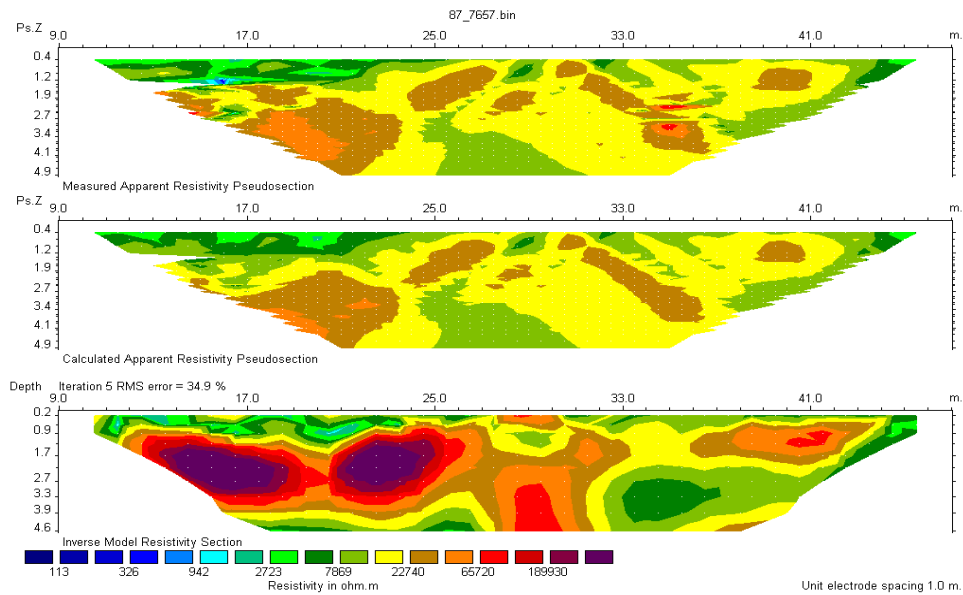
Σχήμα 6.3: Γεωηλεκτρική τομή 6^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 28,4%.



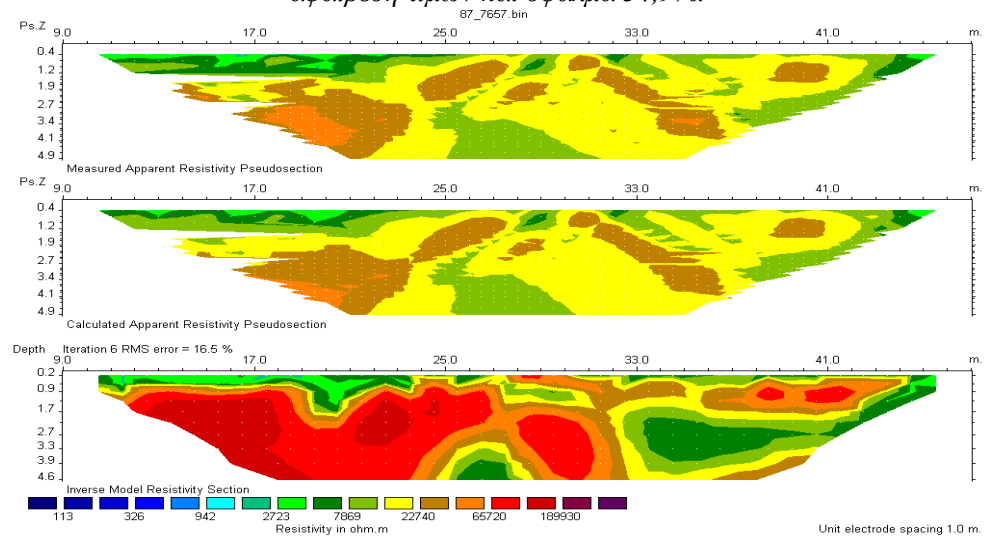
Σχήμα 6.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 6^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 18,9%.



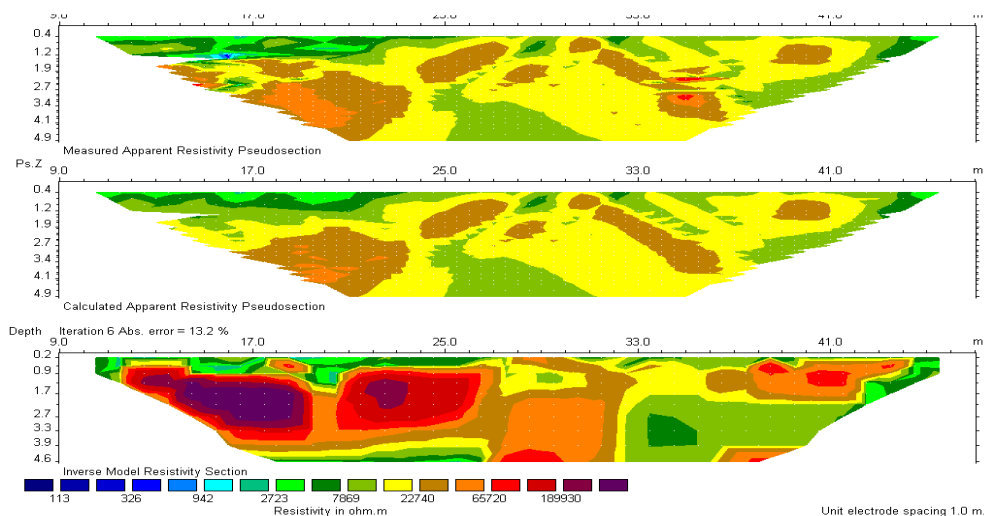
Σχήμα 6.3.2: Γεωηλεκτρική τομή 6^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 17,4%.



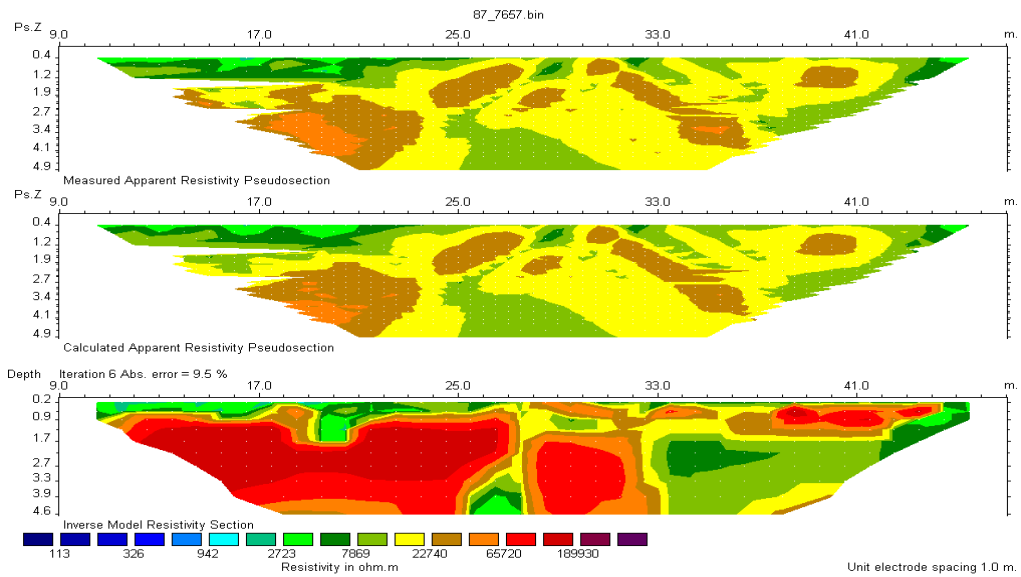
Σχήμα 7.1: Γεωηλεκτρική τομή 7^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 34,9%.



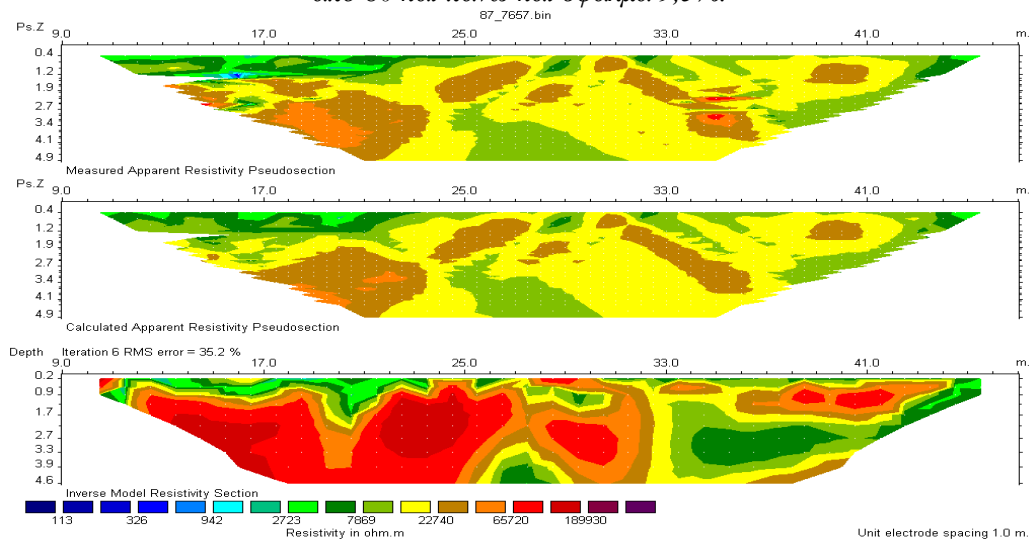
Σχήμα 7.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 7^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 16,5 %.



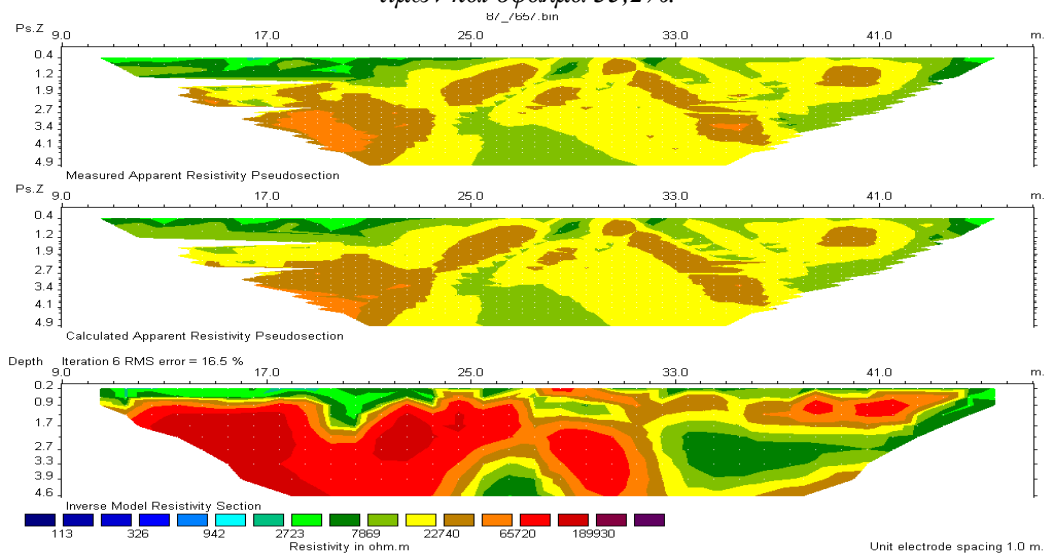
Σχήμα 7.2: Γεωηλεκτρική τομή 7^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 13,2%.



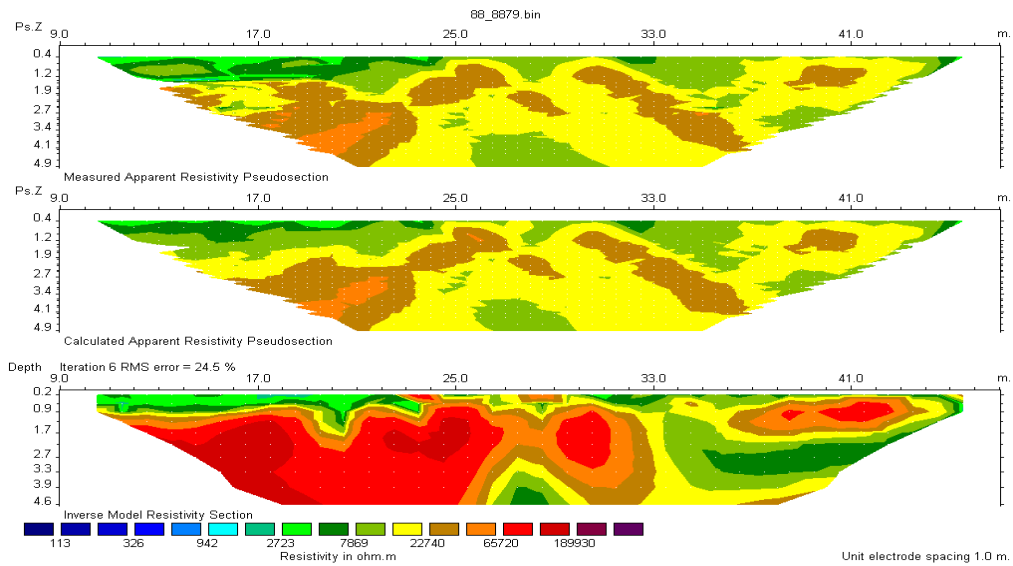
Σχήμα 7.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 7^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 9,5%.



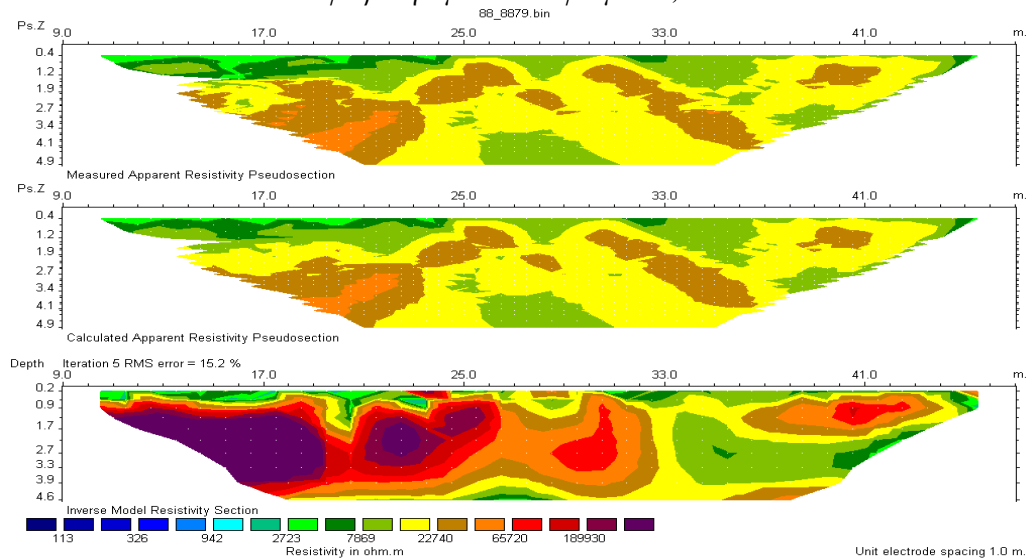
Σχήμα 7.3: Γεωηλεκτρική τομή 7^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 35,2%.



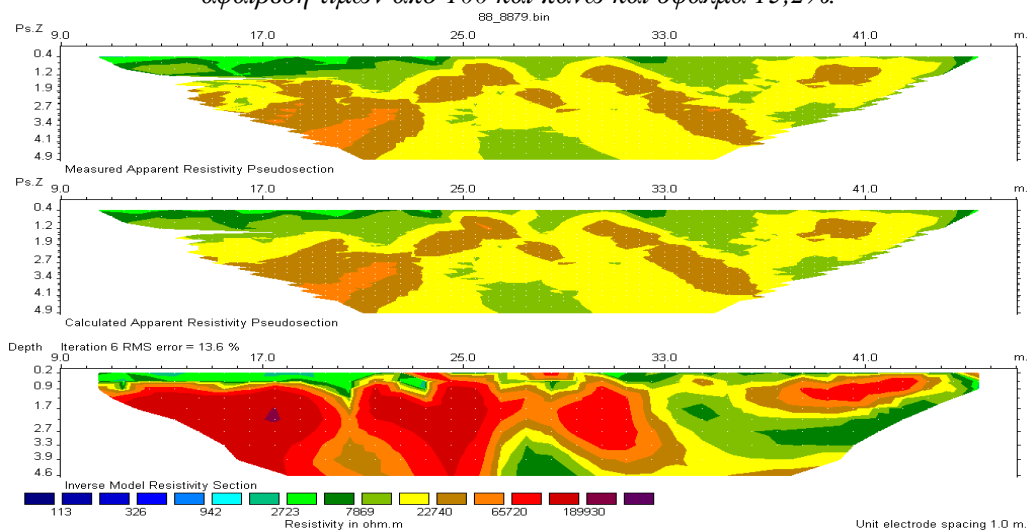
Σχήμα 7.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 7^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 16,5%.



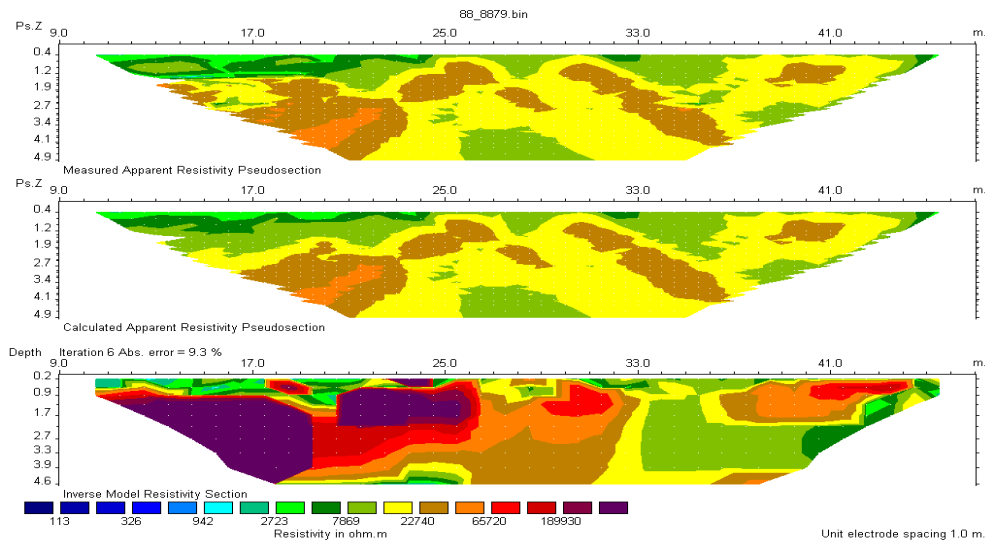
Σχήμα 8.1: Γεωηλεκτρική τομή 8^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 24,5%.



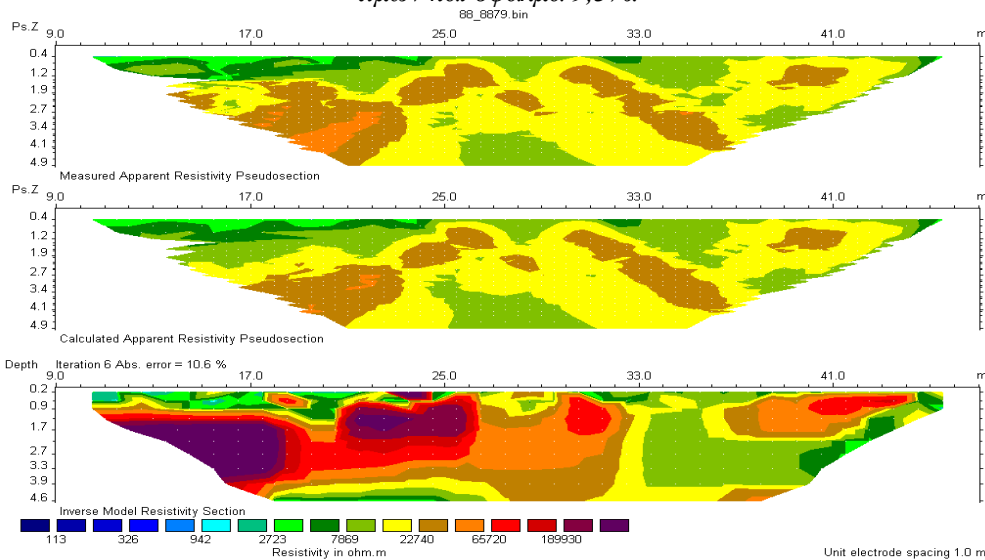
Σχήμα 8.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 8^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 15,2%.



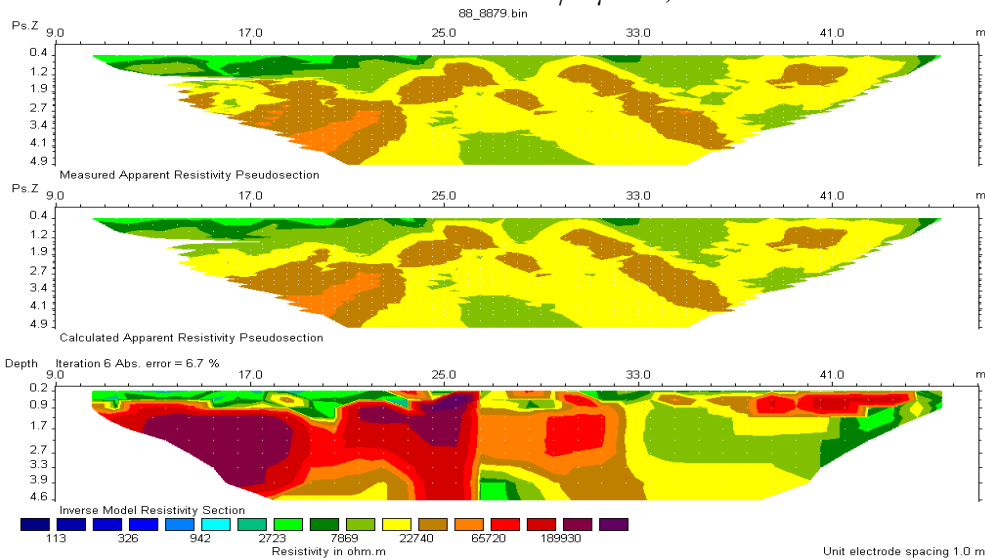
Σχήμα 8.1.2: Γεωηλεκτρική τομή 8^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 13,6%.



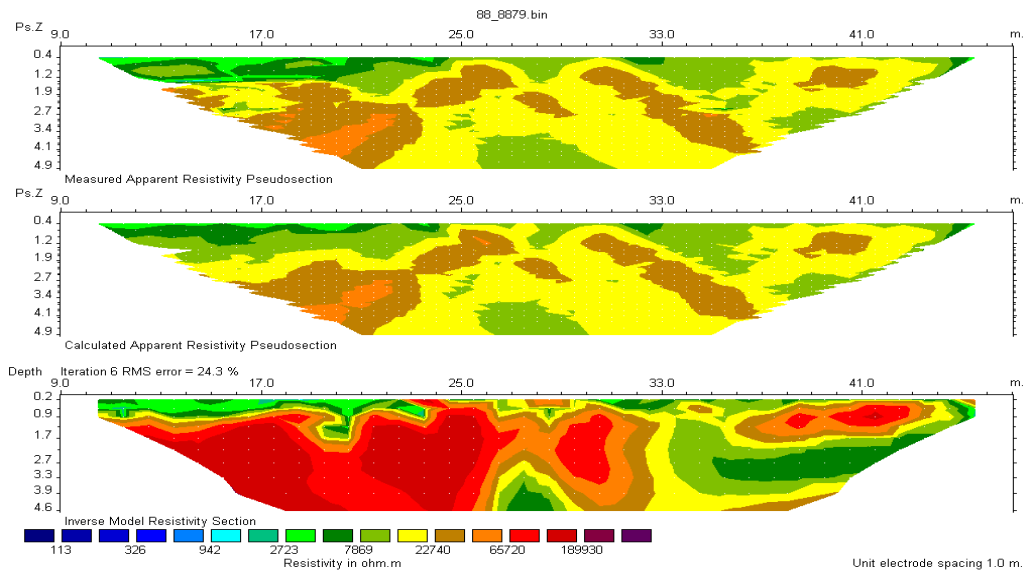
Σχήμα 8.2: Γεωηλεκτρική τομή 8^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 9,3%.



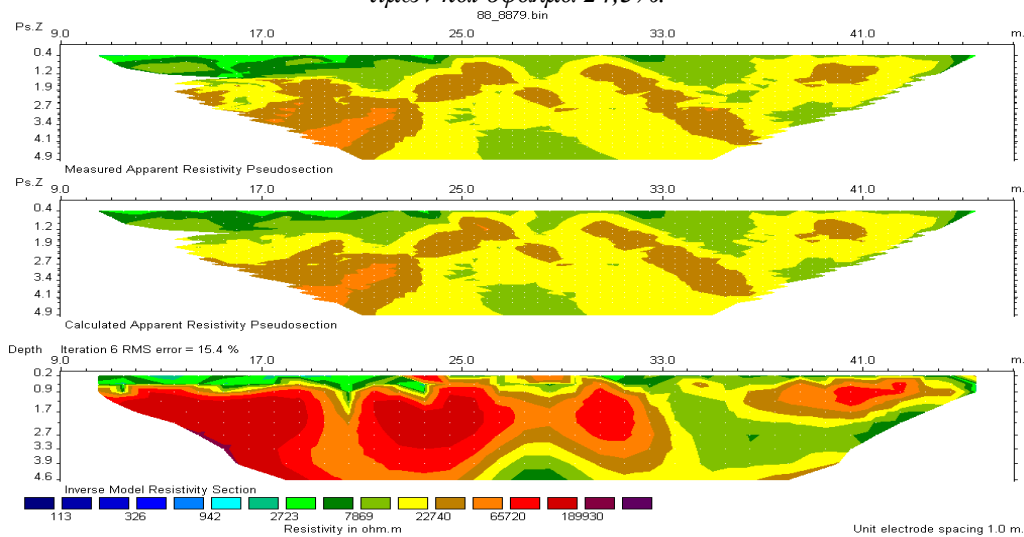
Σχήμα 8.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 8^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 10,6%.



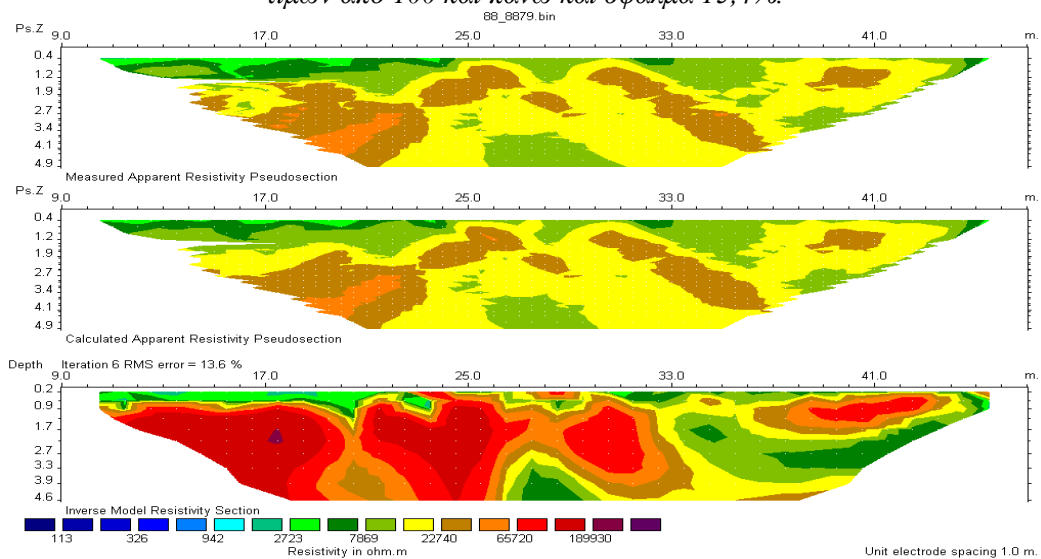
Σχήμα 8.2.2: Γεωηλεκτρική τομή 8^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 6,7%.



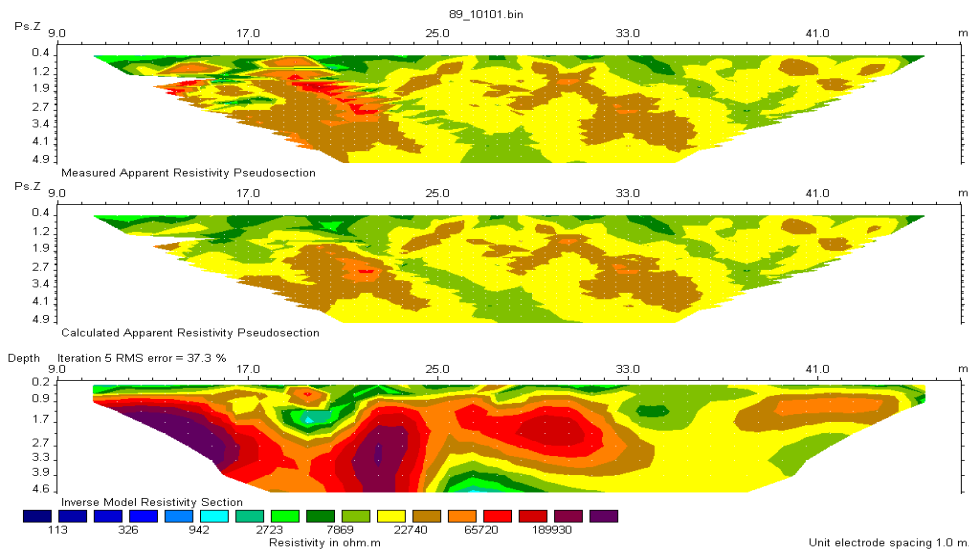
Σχήμα 8.3: Γεωηλεκτρική τομή 8^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 24,3%.



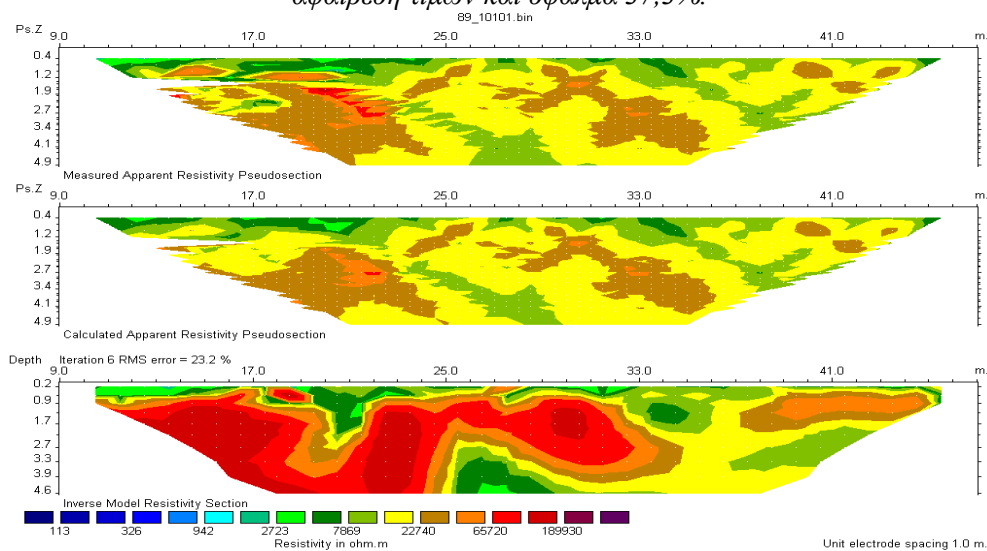
Σχήμα 8.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 8^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 15,4%.



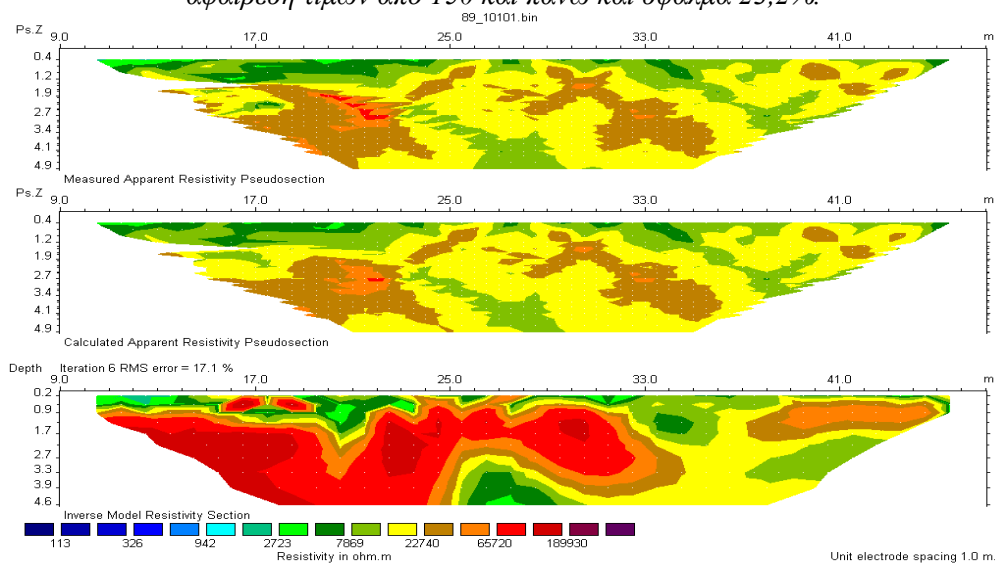
Σχήμα 8.3.2: Γεωηλεκτρική τομή 8^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 13,6%.



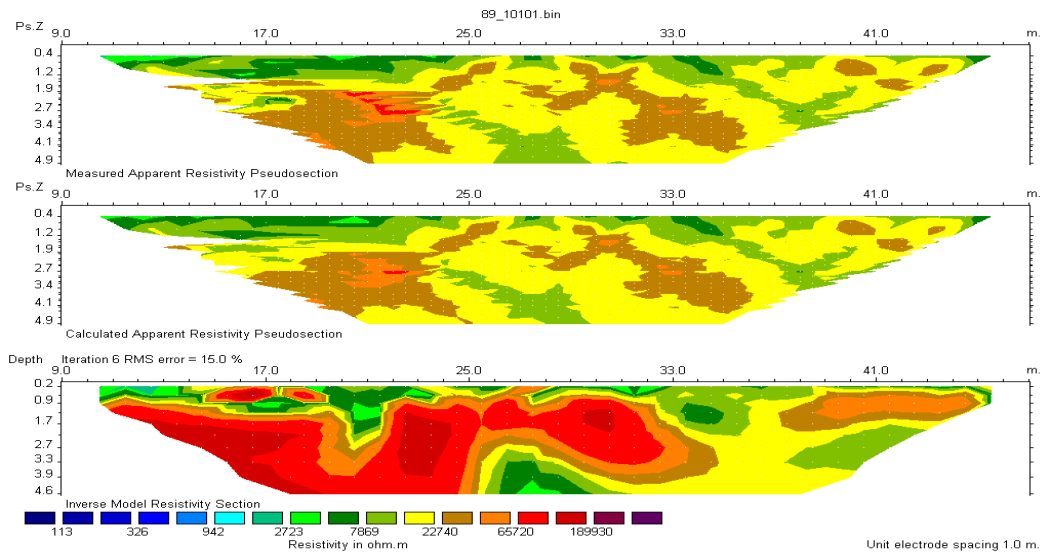
Σχήμα 9.1: Γεωηλεκτρική τομή 9¹⁵ γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 37,3%.



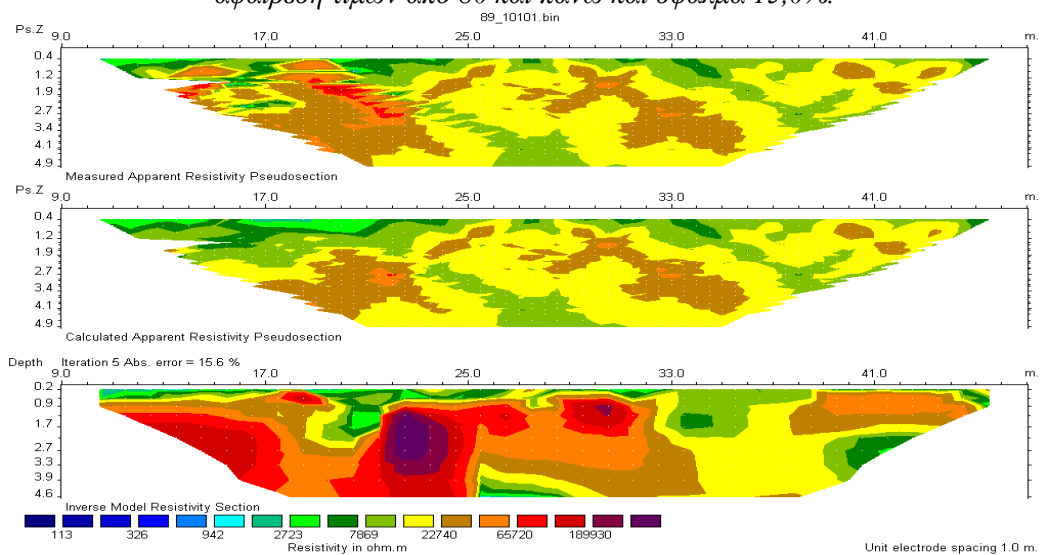
Σχήμα 9.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 9¹⁵ γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 23,2%.



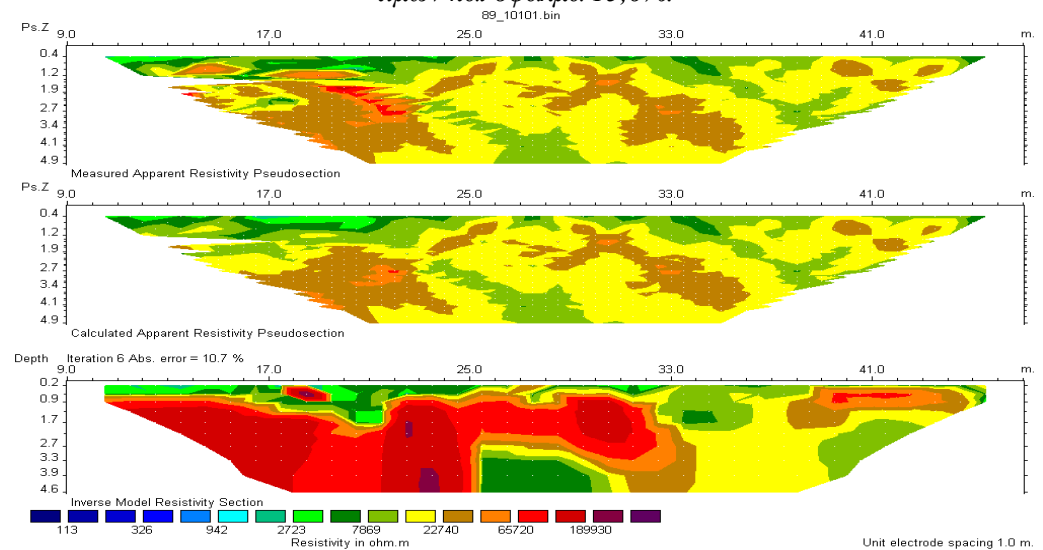
Σχήμα 9.1.2: Γεωηλεκτρική τομή 9¹⁵ γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 17,1%.



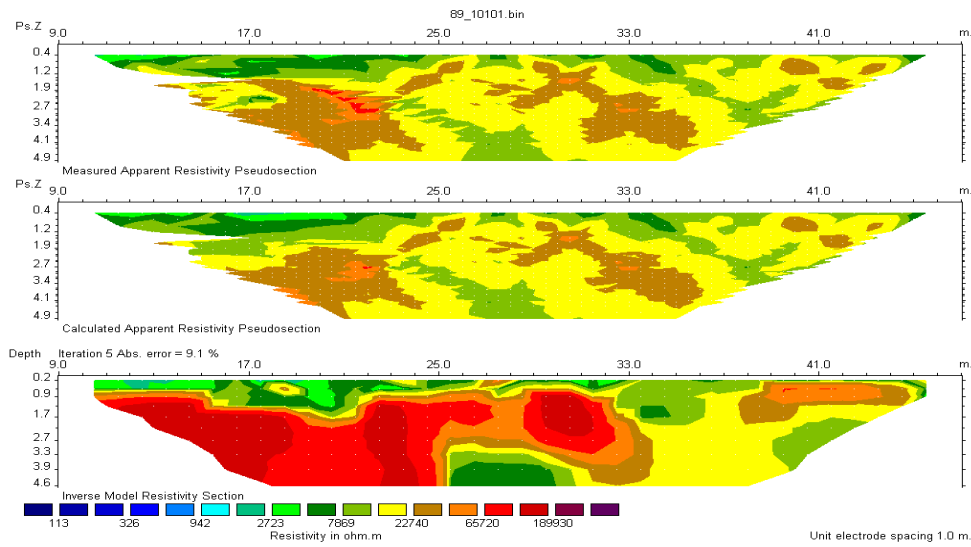
Σχήμα 9.1.3: Γεωηλεκτρική τομή 9^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 15,0%.



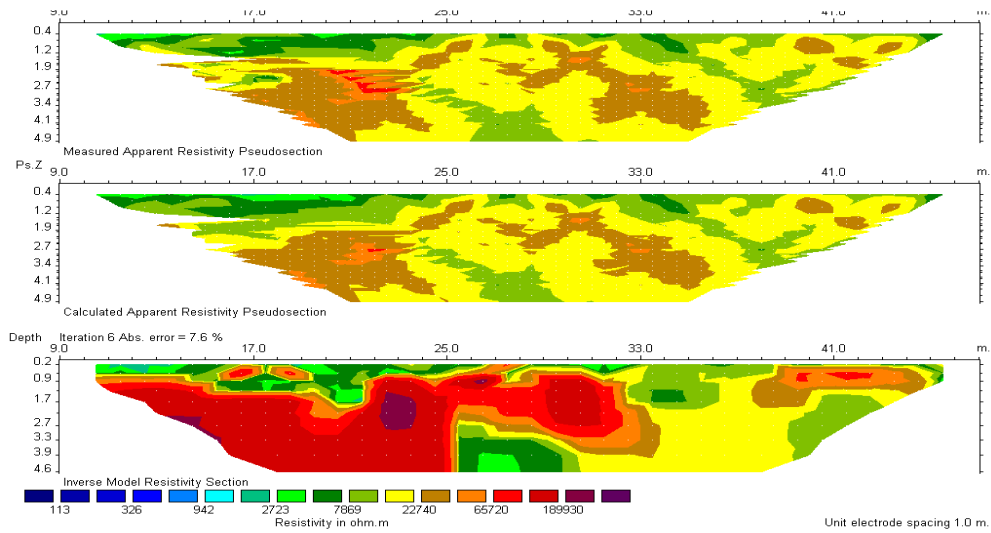
Σχήμα 9.2: Γεωηλεκτρική τομή 9^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 15,6%.



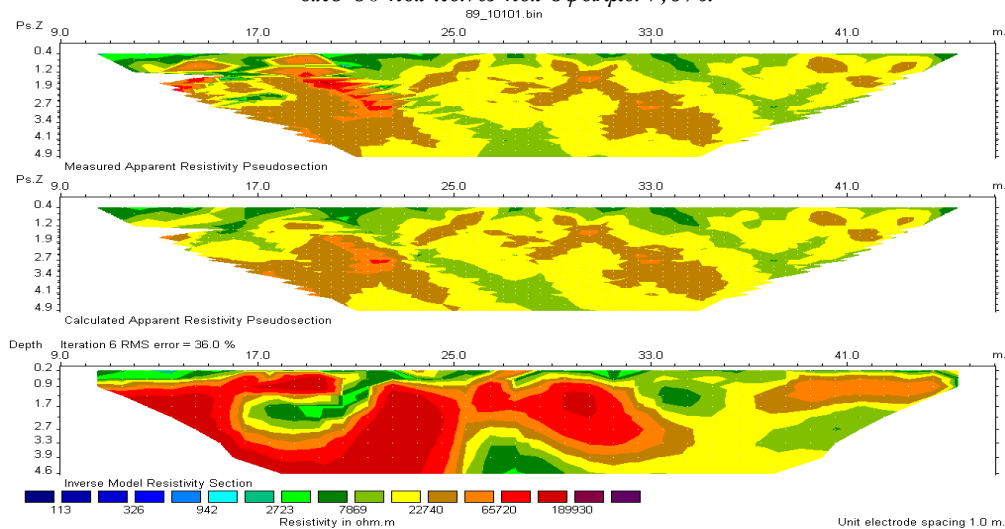
Σχήμα 9.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 9^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 10,7%.



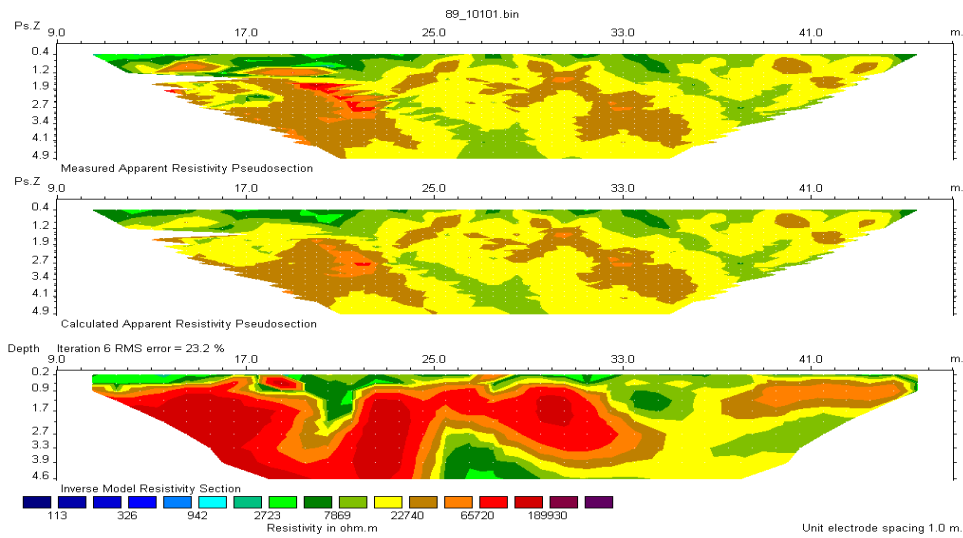
Σχήμα 9.2.2: Γεωηλεκτρική τομή 9^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 9,1%.



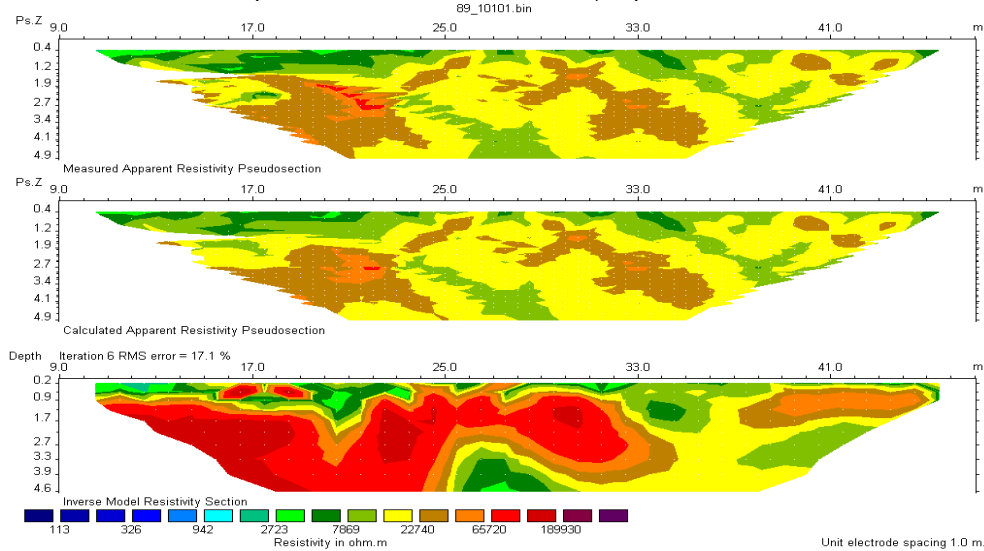
Σχήμα 9.2.3: Γεωηλεκτρική τομή 9^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 7,6%.



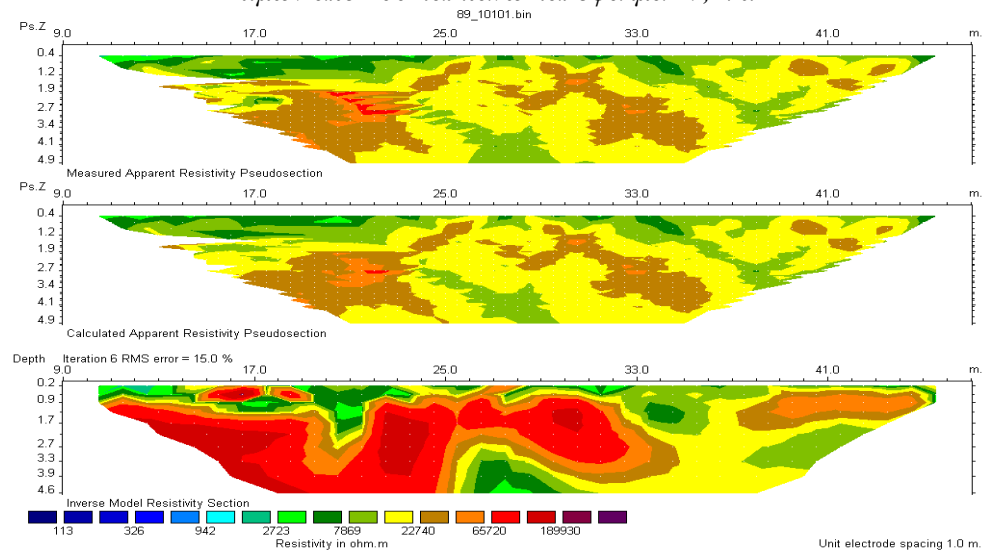
Σχήμα 9.3: Γεωηλεκτρική τομή 9^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 36,0%.



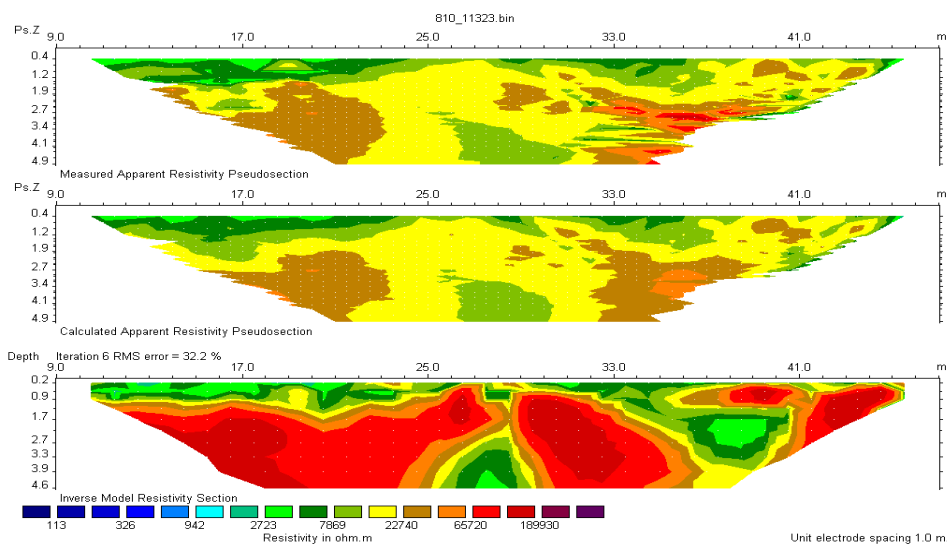
Σχήμα 9.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 9^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 23,2%.



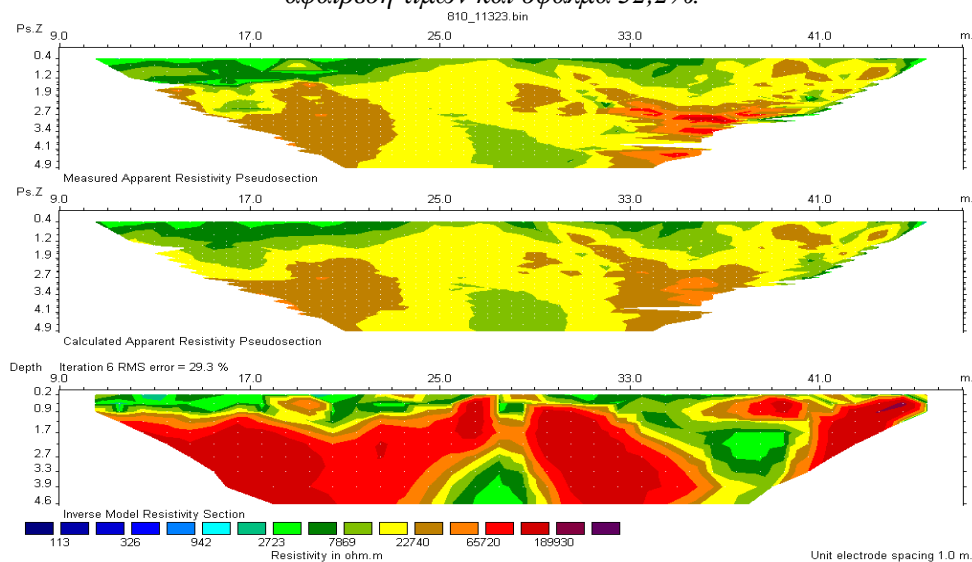
Σχήμα 9.3.2: Γεωηλεκτρική τομή 9^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 17,1%.



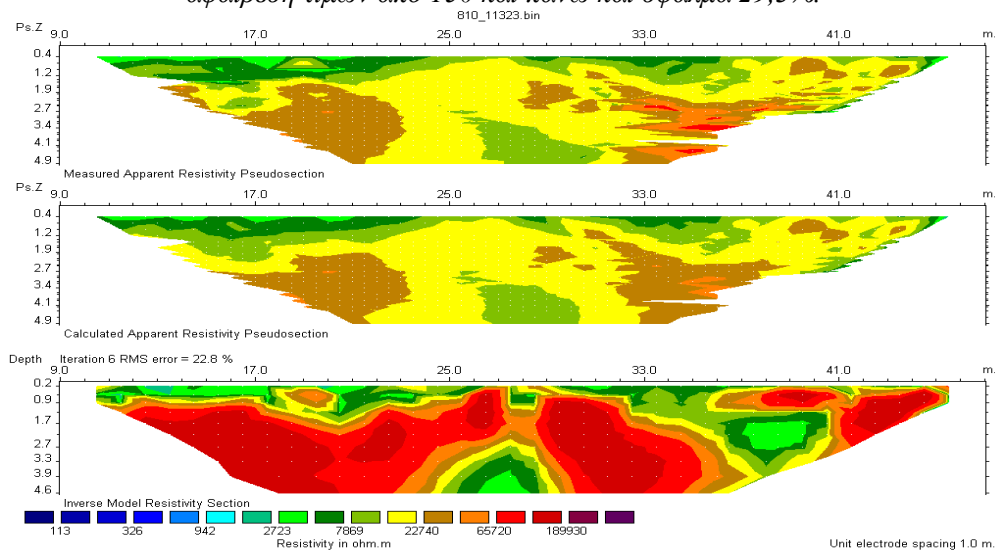
Σχήμα 9.3.3: Γεωηλεκτρική τομή 9^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Combined* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 15,0%.



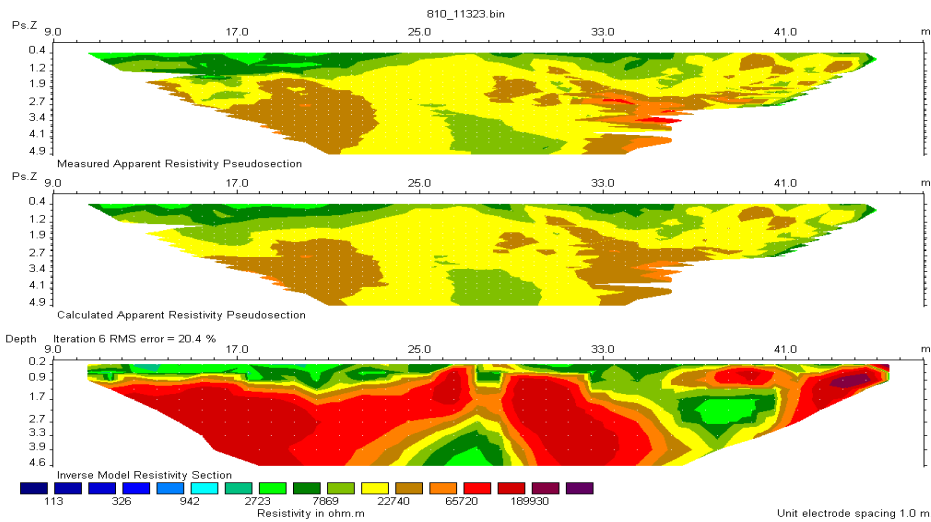
Σχήμα 10.1: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 32,2%.



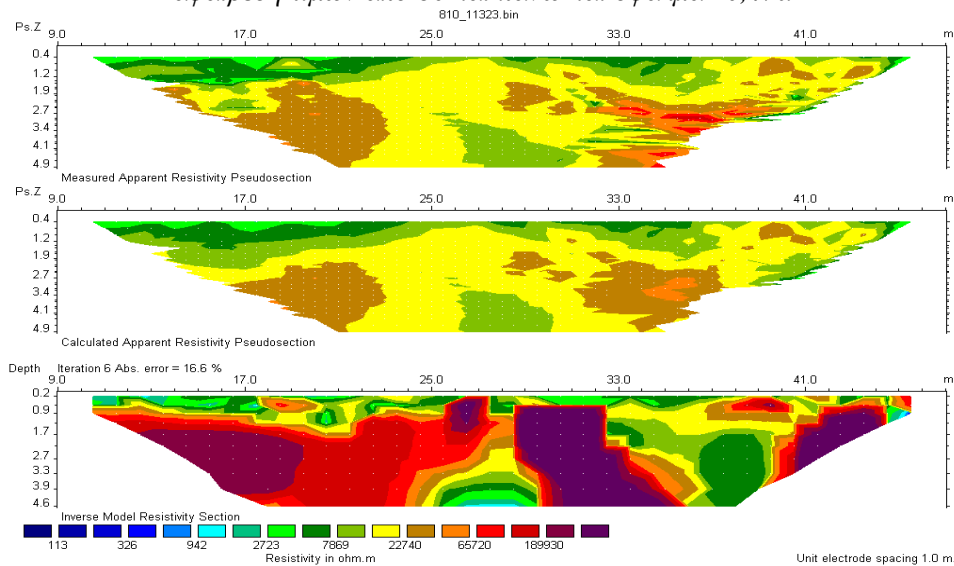
Σχήμα 10.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 29,3%.



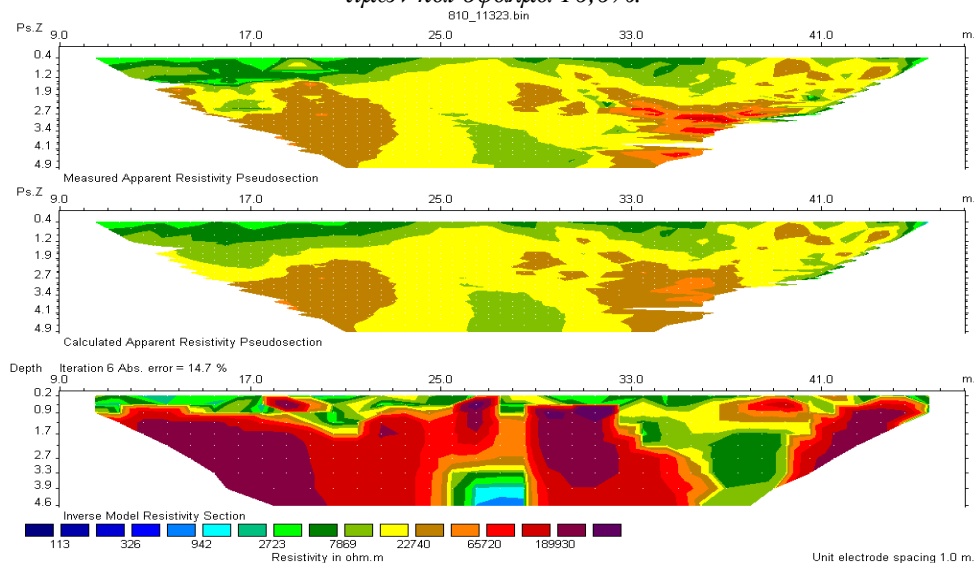
Σχήμα 10.1.2: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ns} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 22,8%.



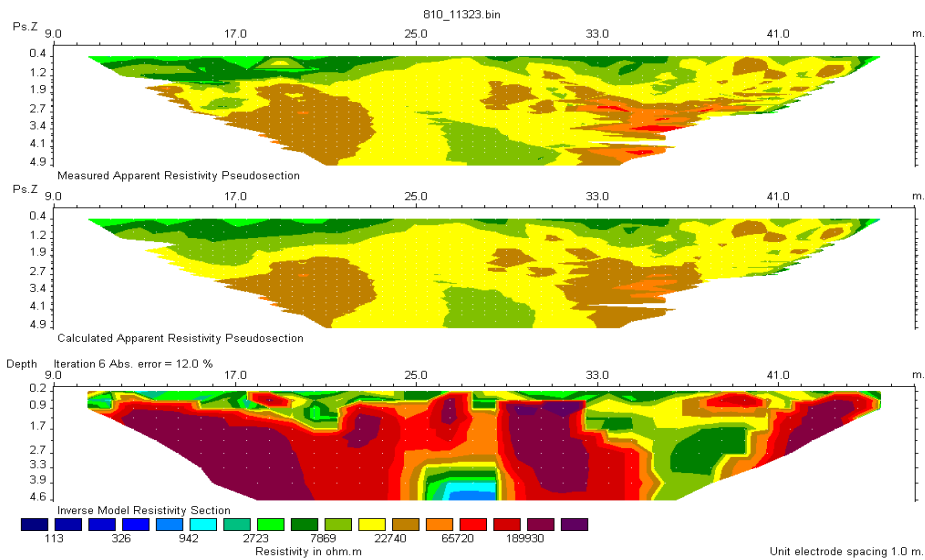
Σχήμα 10.1.3: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 20,4%.



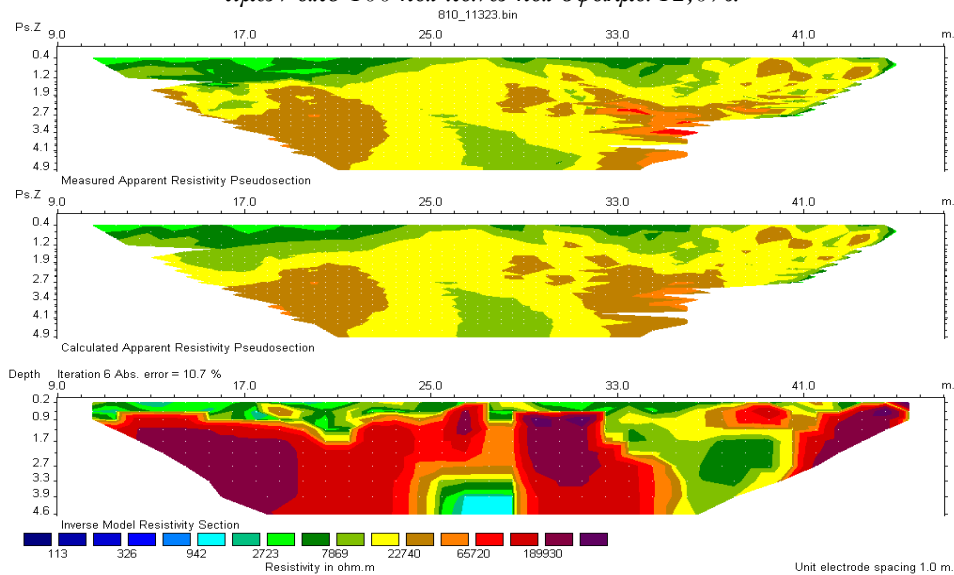
Σχήμα 10.2: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 16,6%.



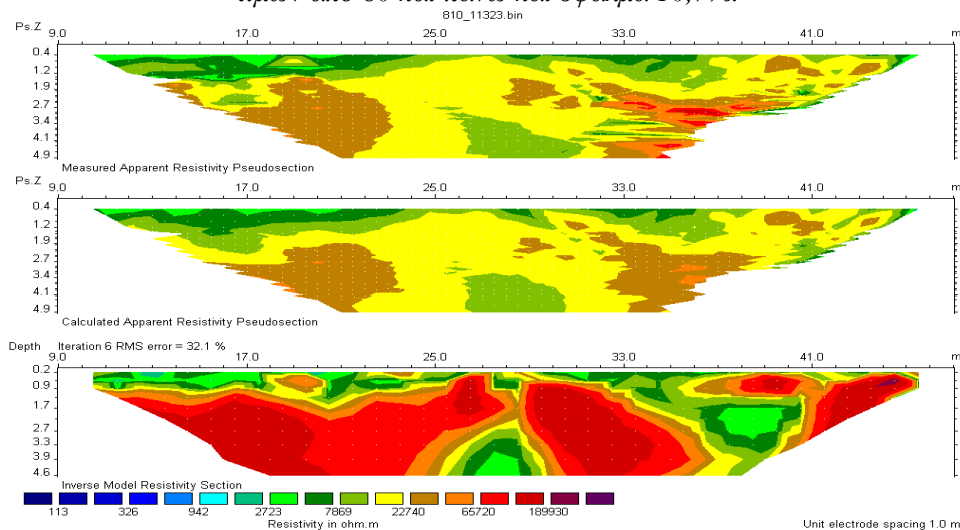
Σχήμα 10.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 14,7%.



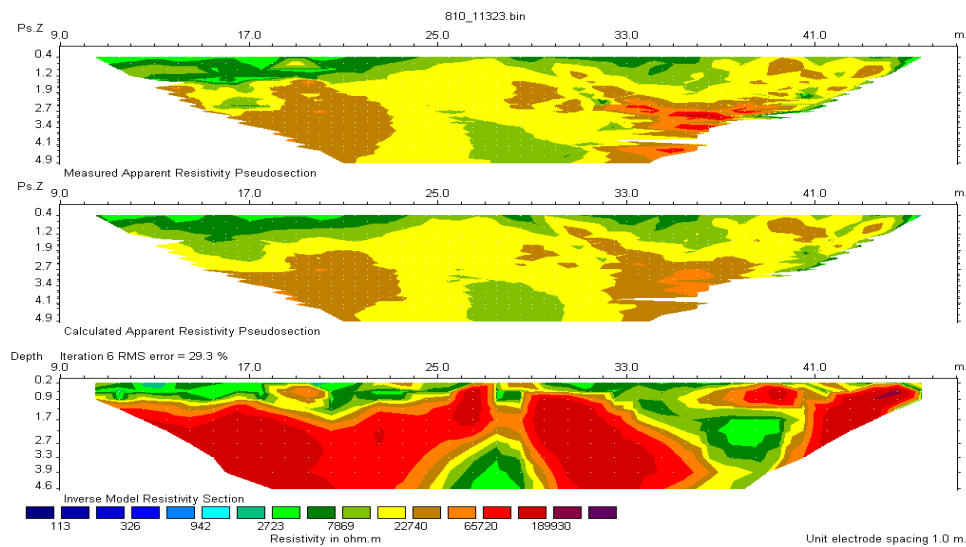
Σχήμα 10.2.2: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 12,0%.



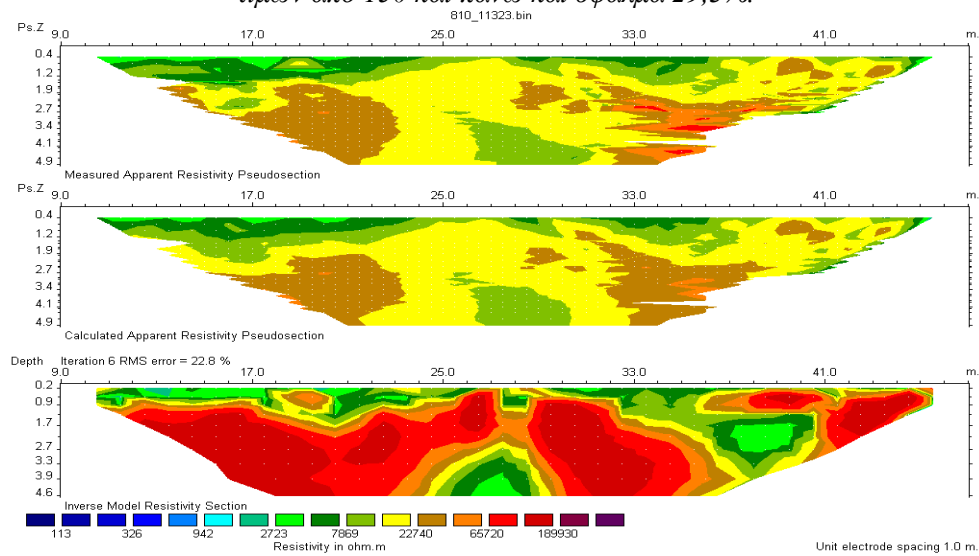
Σχήμα 10.2.3: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 10,7%.



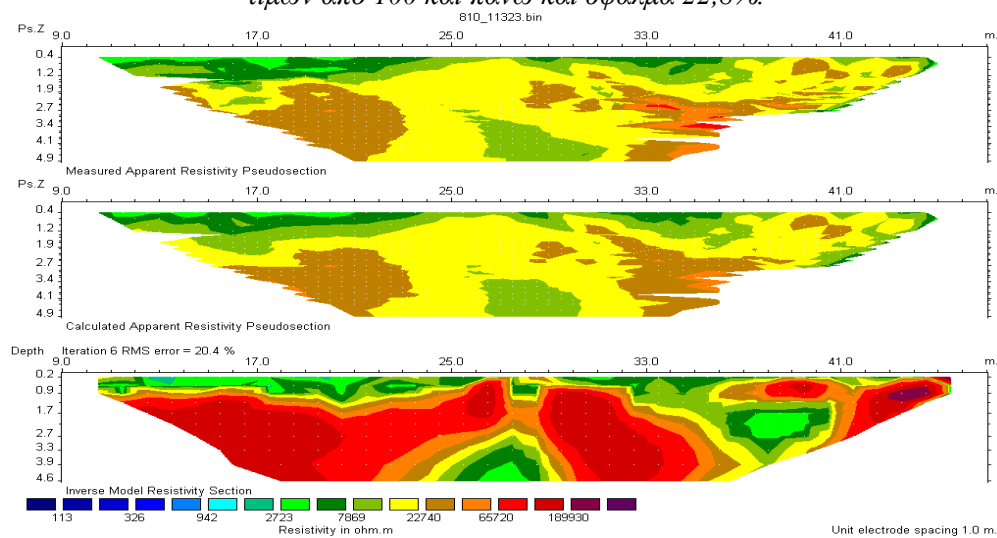
Σχήμα 10.3: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 32,1%.



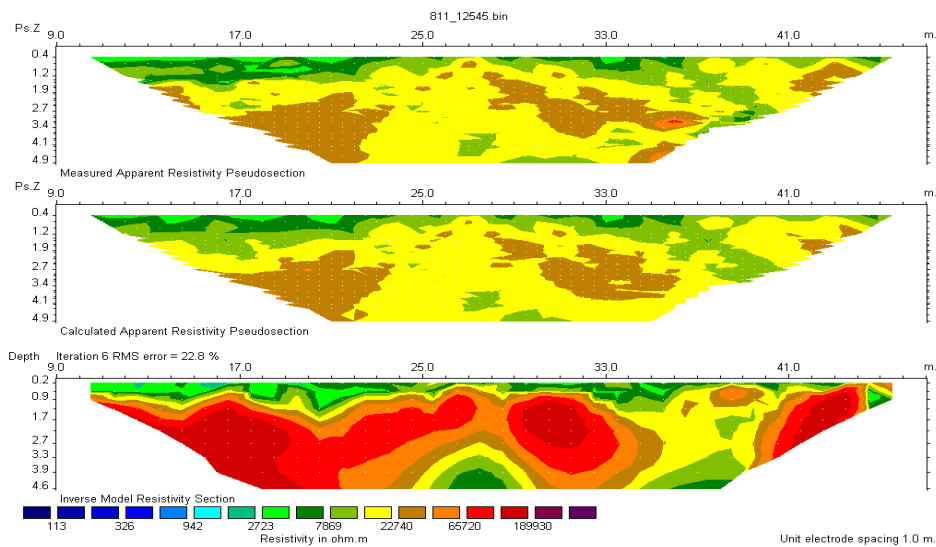
Σχήμα 10.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 150 και πάνω και σφάλμα 29,3%.



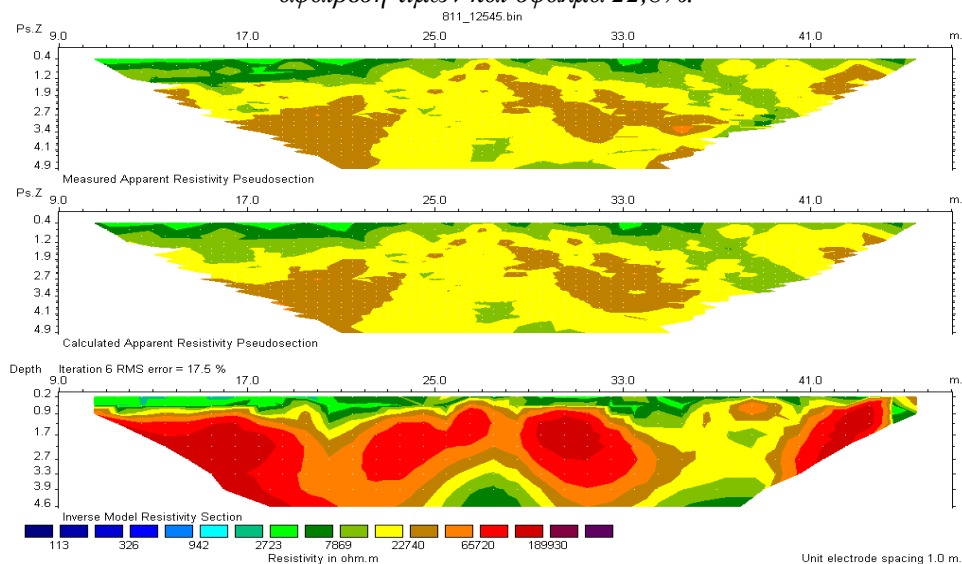
Σχήμα 10.3.2: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 22,8%.



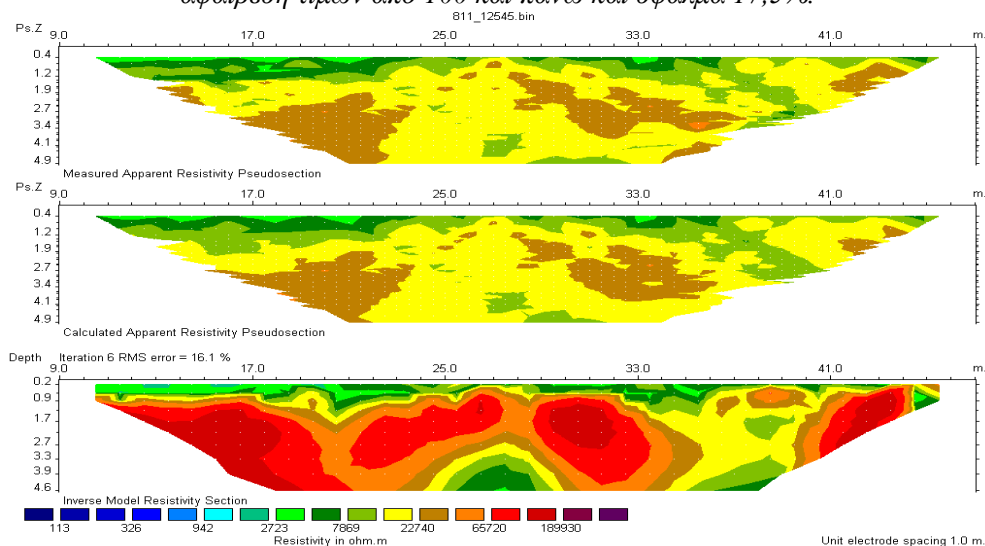
Σχήμα 10.3.3: Γεωηλεκτρική τομή 10^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 20,4%.



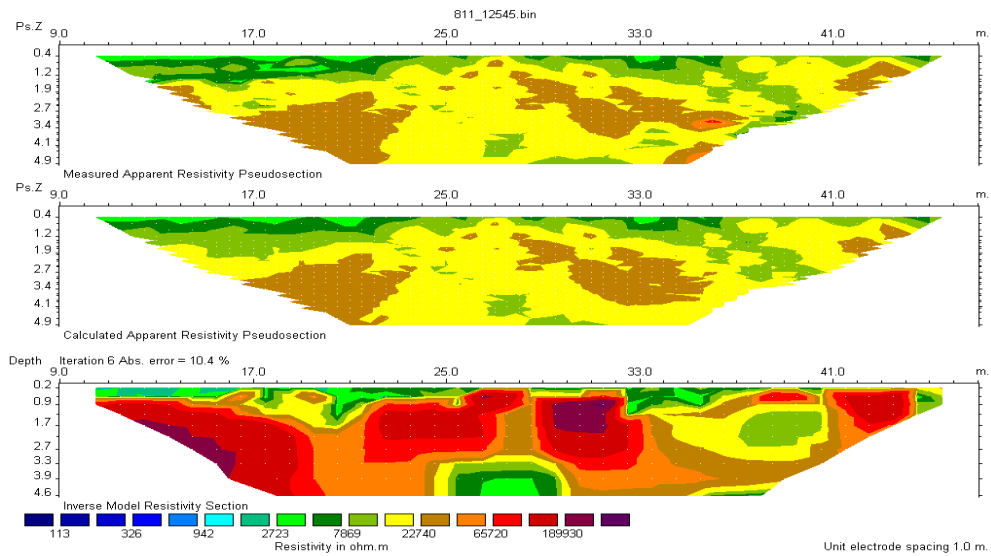
Σχήμα 11.1: Γεωηλεκτρική τομή 11^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 22,8%.



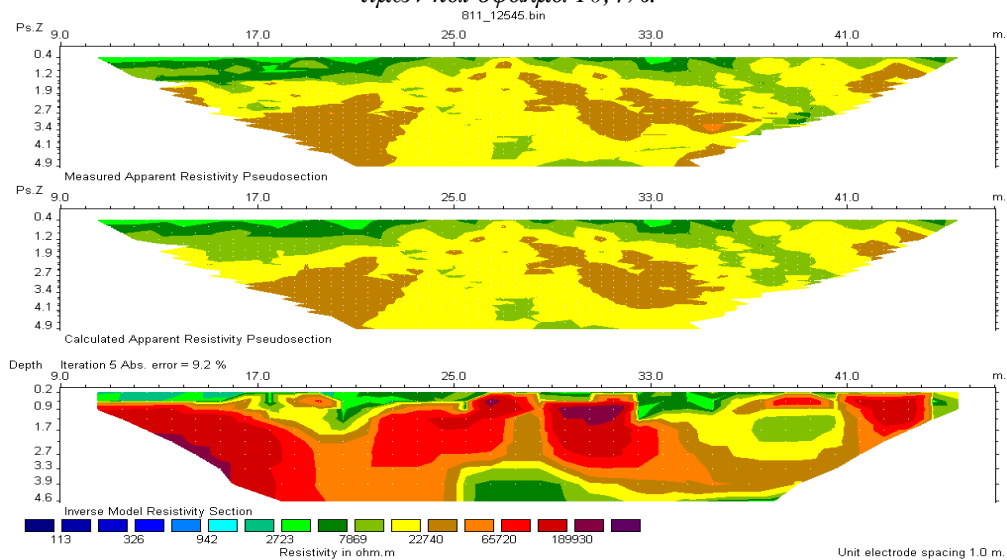
Σχήμα 11.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 11^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 17,5%.



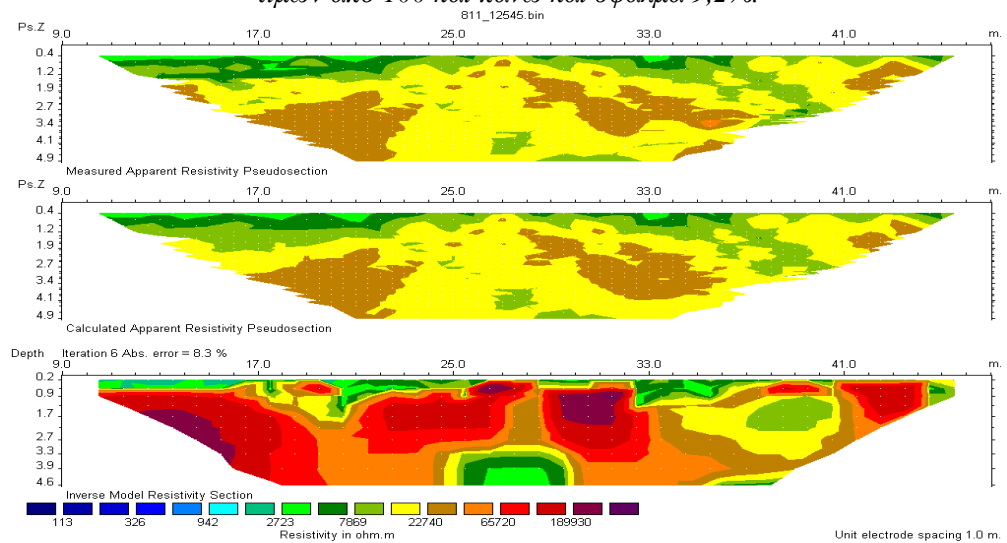
Σχήμα 11.1.2: Γεωηλεκτρική τομή 11^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 16,1%.



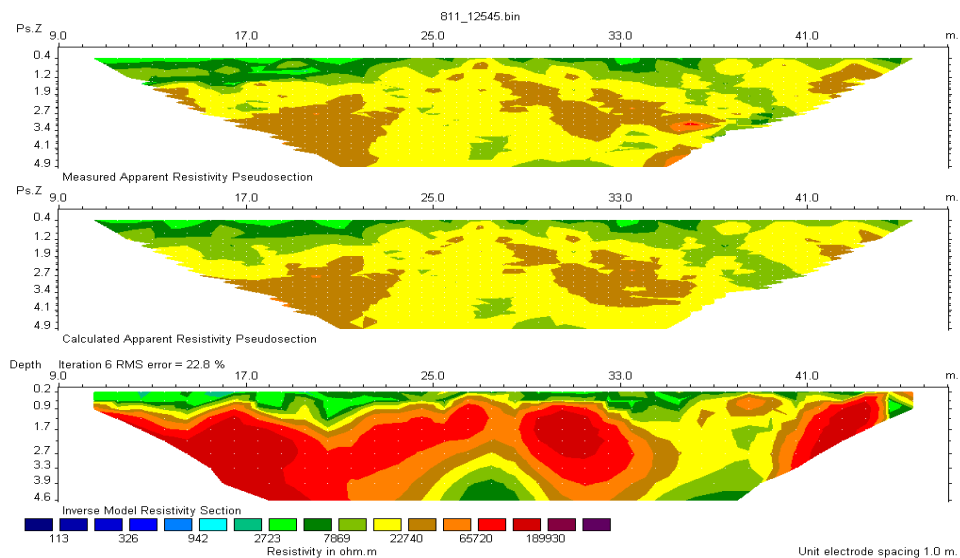
Σχήμα 11.2: Γεωηλεκτρική τομή 11^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 10,4%.



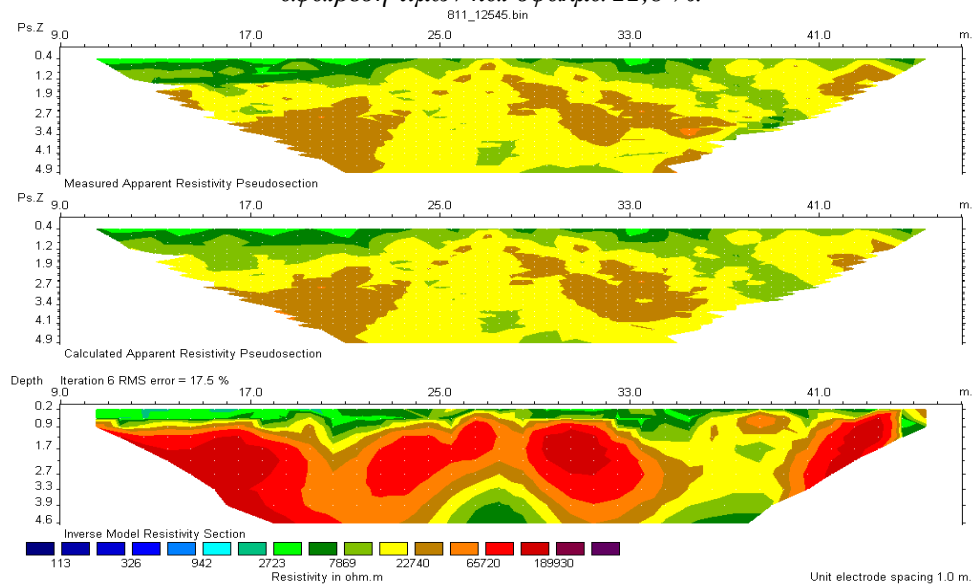
Σχήμα 11.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 11^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 9,2%.



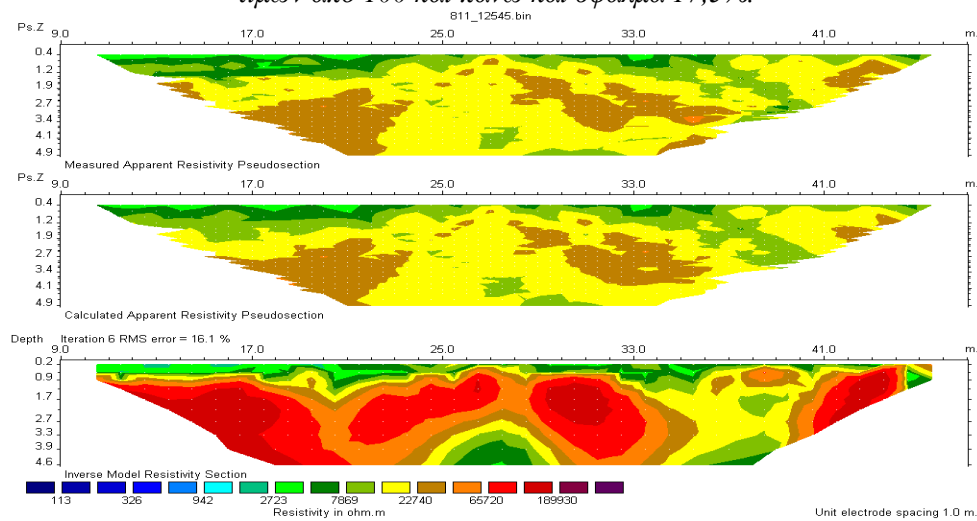
Σχήμα 11.2.2: Γεωηλεκτρική τομή 11^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 8,3%.



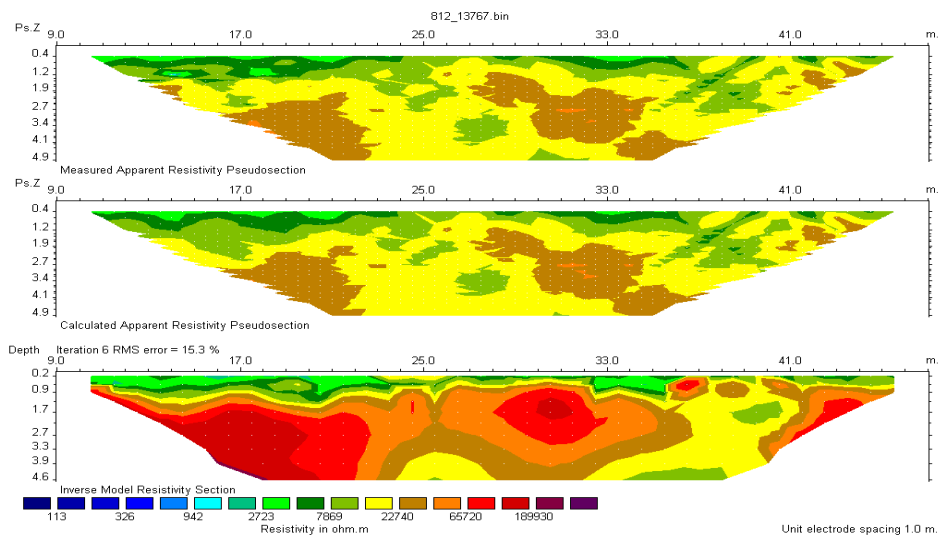
Σχήμα 11.3: Γεωηλεκτρική τομή 11^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 22,8 %.



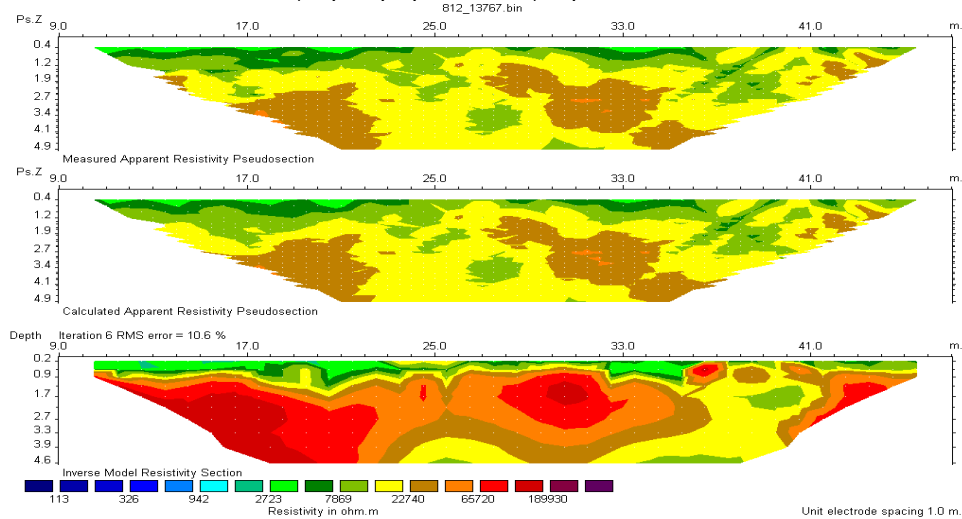
Σχήμα 11.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 11^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 100 και πάνω και σφάλμα 17,5%.



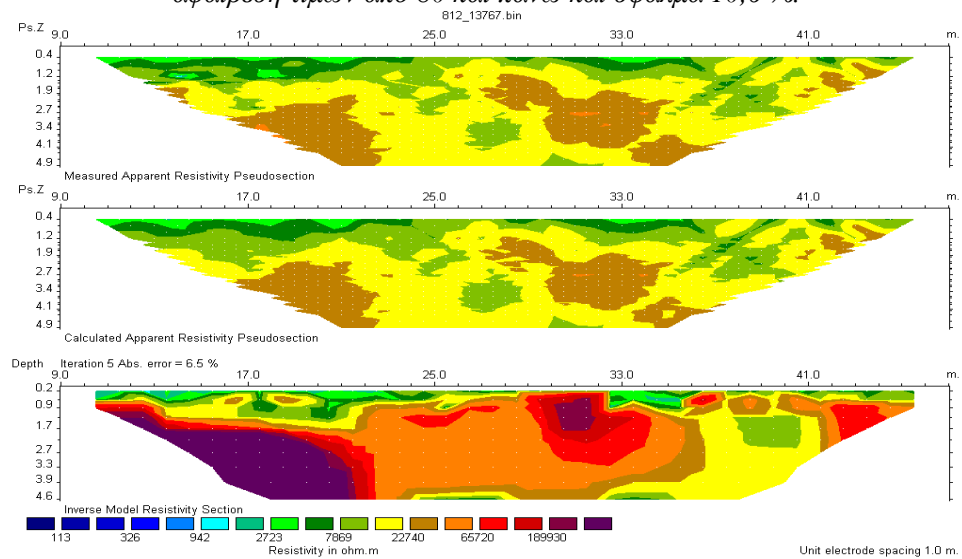
Σχήμα 11.3.2: Γεωηλεκτρική τομή 11^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 16,1%.



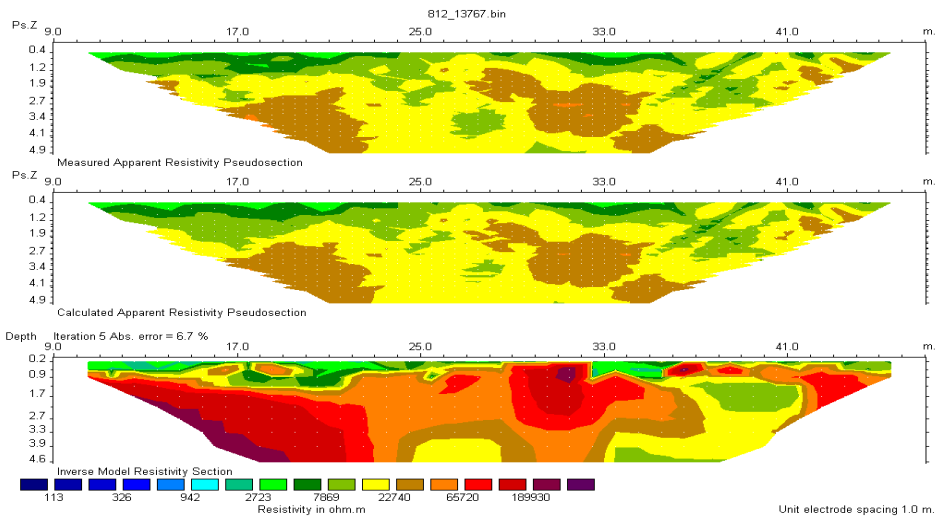
Σχήμα 12.1: Γεωηλεκτρική τομή 12^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 15,3%.



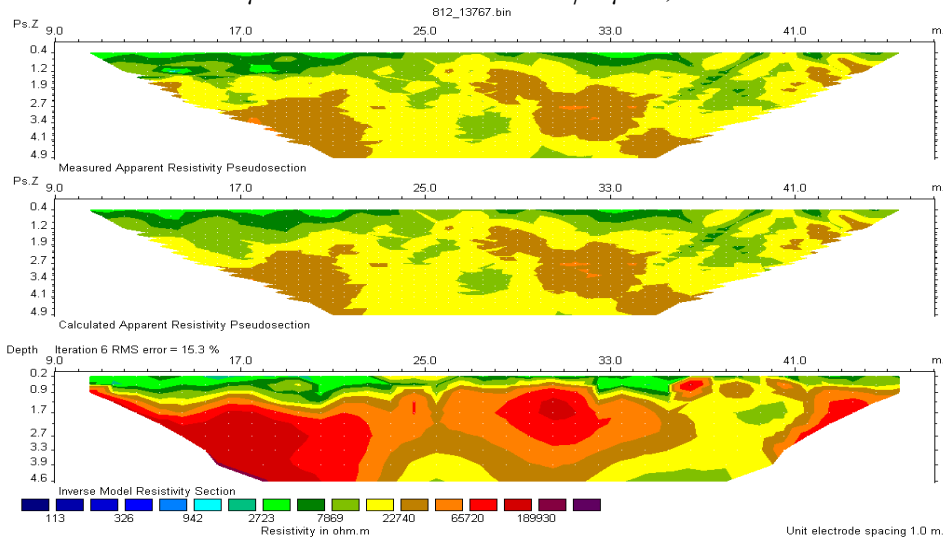
Σχήμα 12.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 12^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 10,6 %.



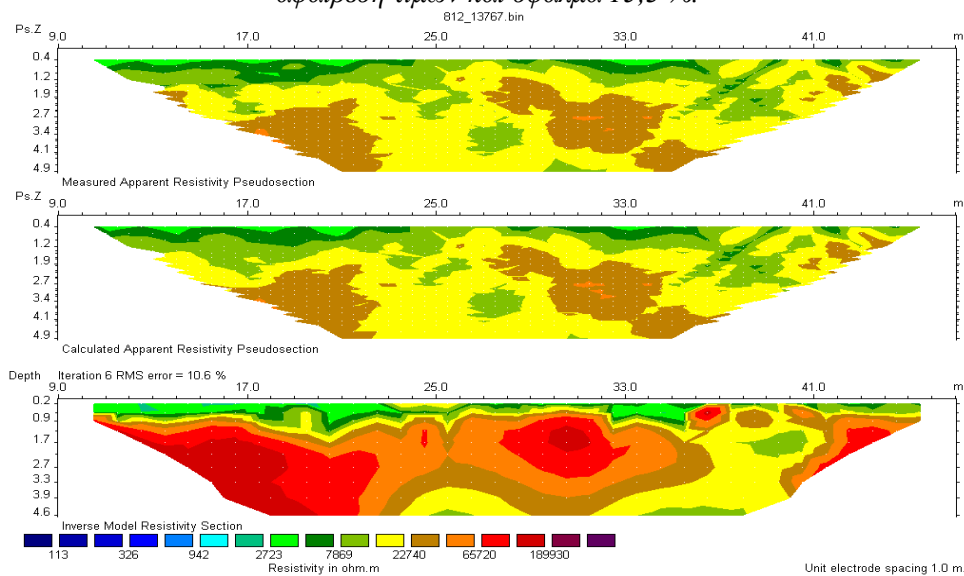
Σχήμα 12.2: Γεωηλεκτρική τομή 12^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 6,5%.



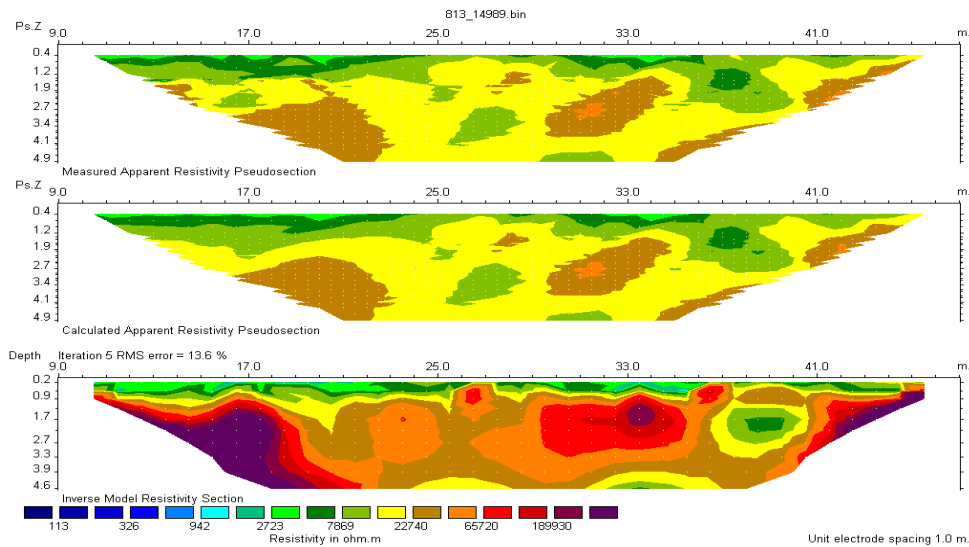
Σχήμα 12.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 12^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 6,7%.



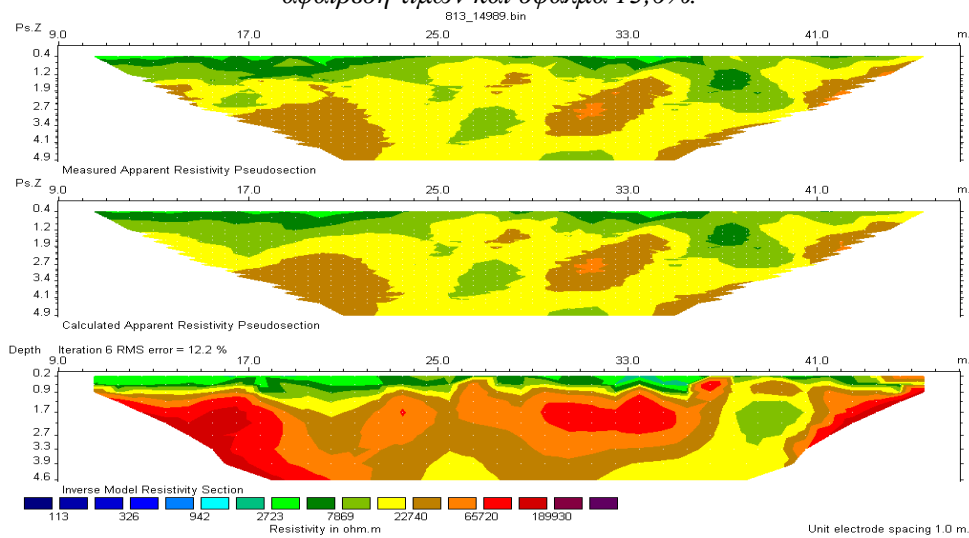
Σχήμα 12.3: Γεωηλεκτρική τομή 12^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 15,3 %.



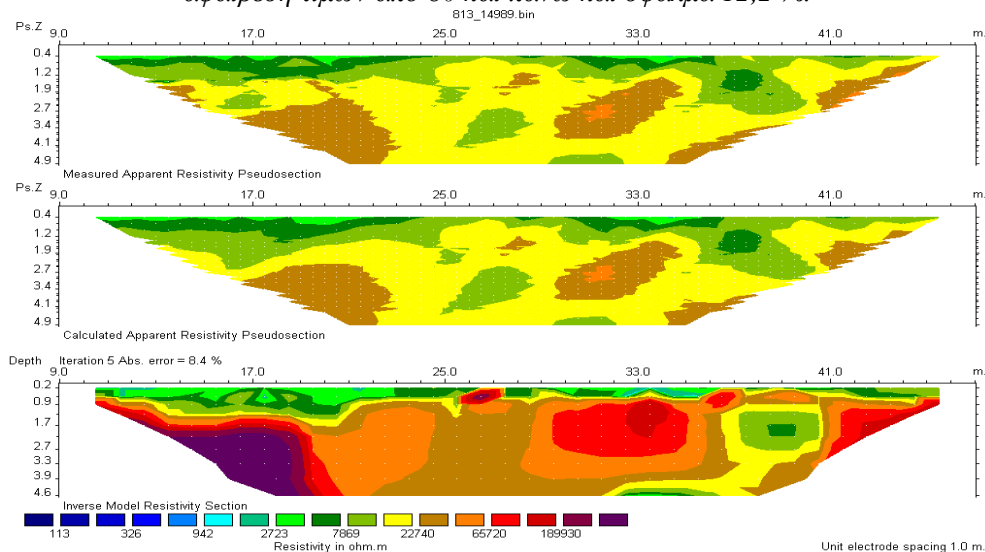
Σχήμα 12.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 12^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 10,6%.



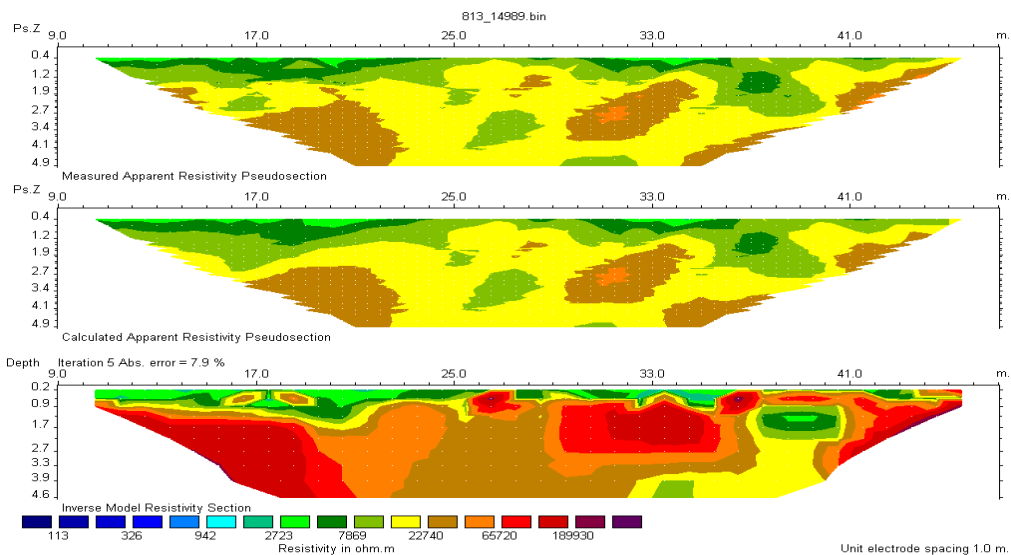
Σχήμα 13.1: Γεωηλεκτρική τομή 13^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 13,6%.



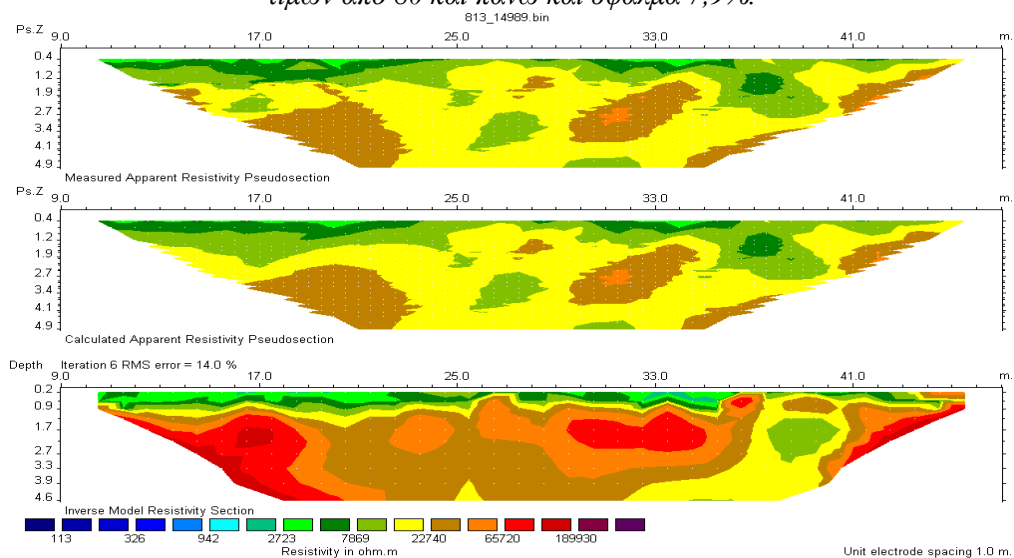
Σχήμα 13.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 13^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 12,2 %.



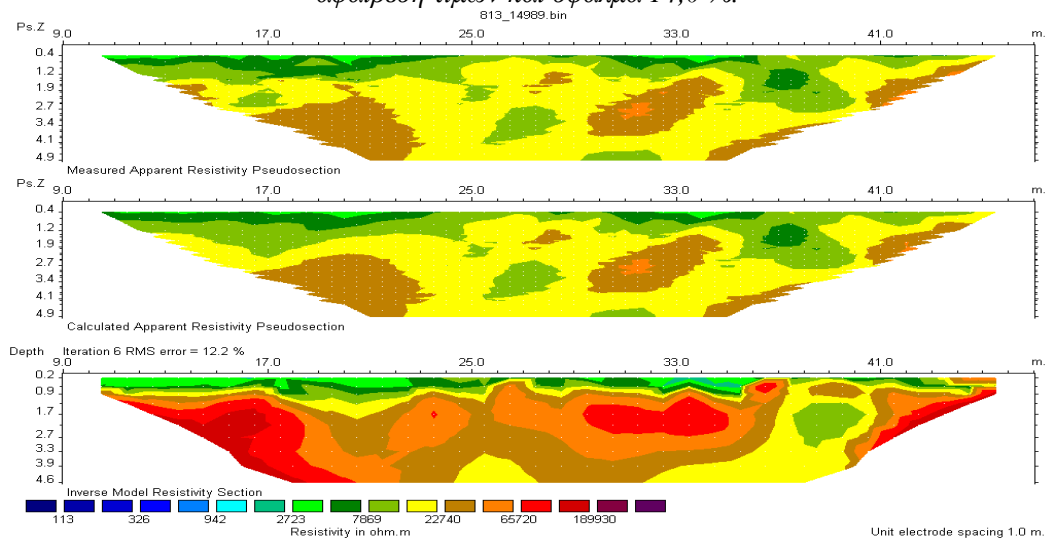
Σχήμα 13.2: Γεωηλεκτρική τομή 13^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 8,4%.



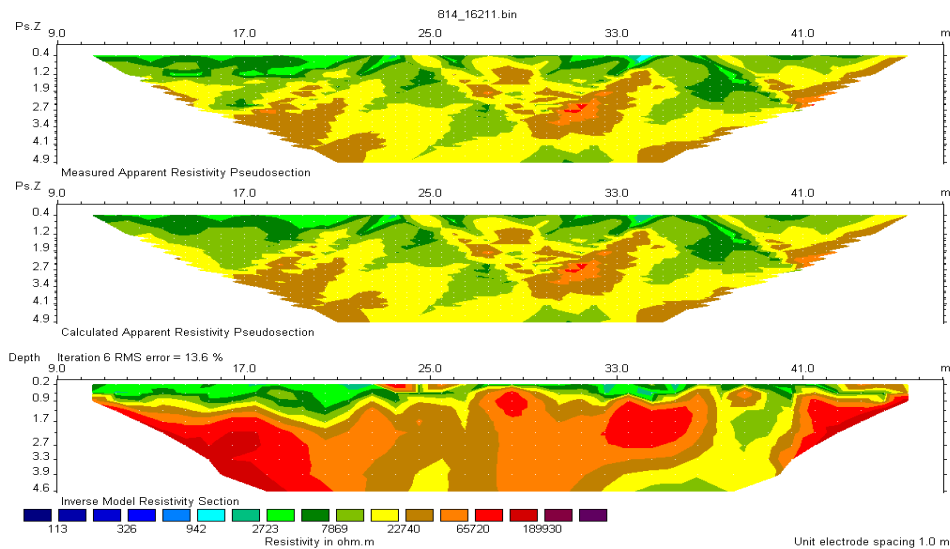
Σχήμα 13.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 13^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 7,9%.



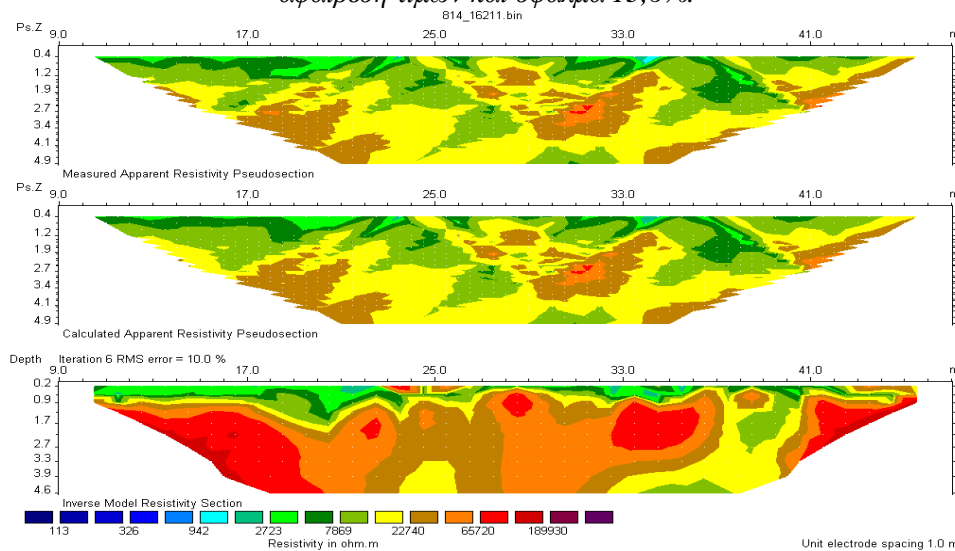
Σχήμα 13.3: Γεωηλεκτρική τομή 13^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 14,0 %.



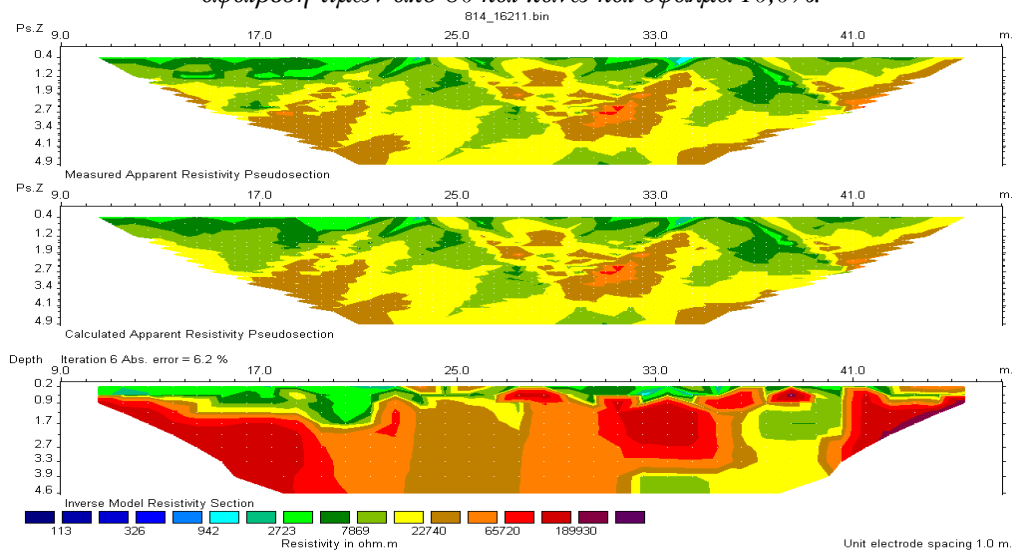
Σχήμα 13.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 13^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 12,2%.



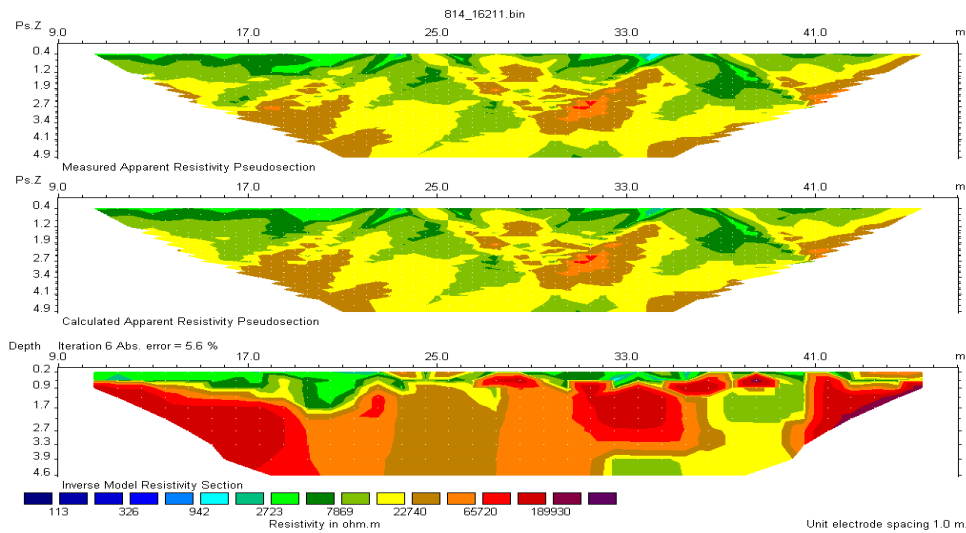
Σχήμα 14.1: Γεωηλεκτρική τομή 14^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 13,6%.



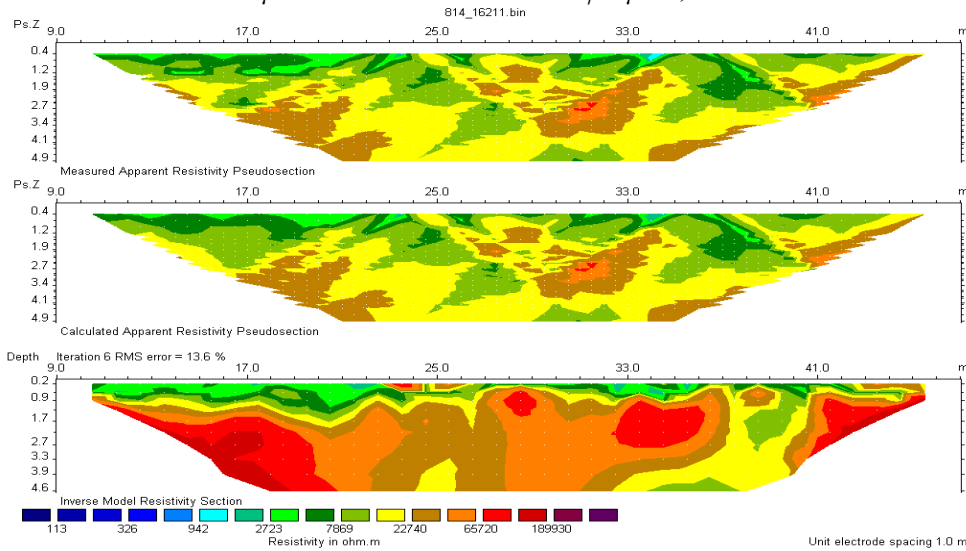
Σχήμα 14.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 14^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 10,0%.



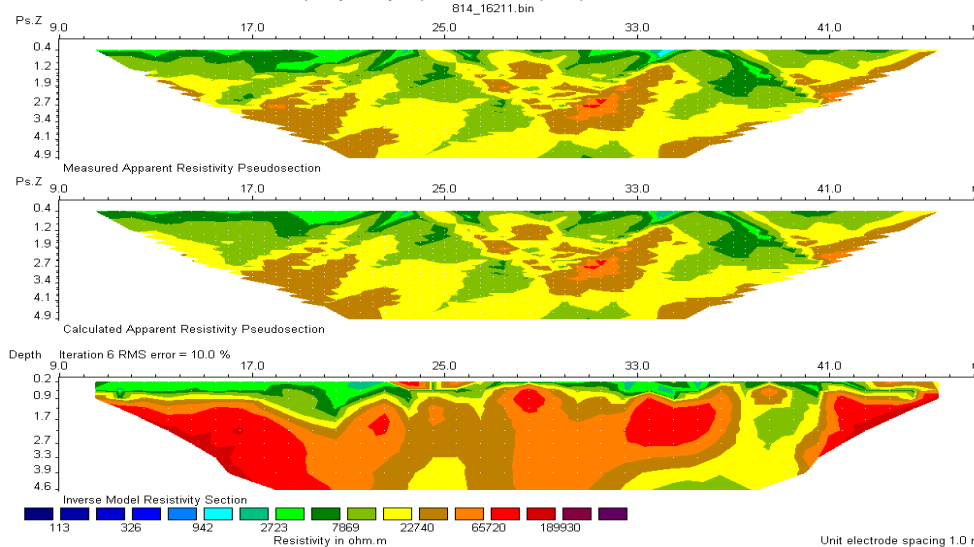
Σχήμα 14.2: Γεωηλεκτρική τομή 14^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 6,2%.



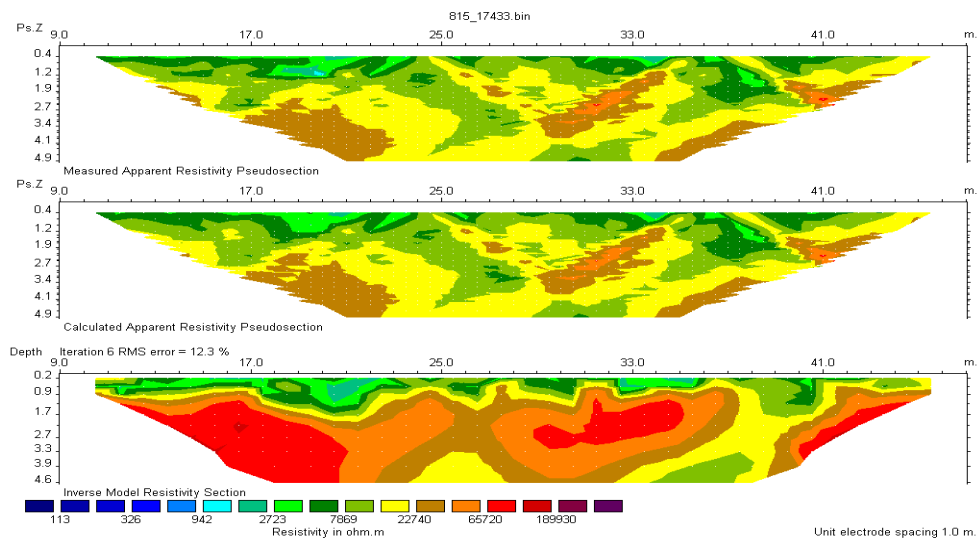
Σχήμα 14.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 14^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 5,6%.



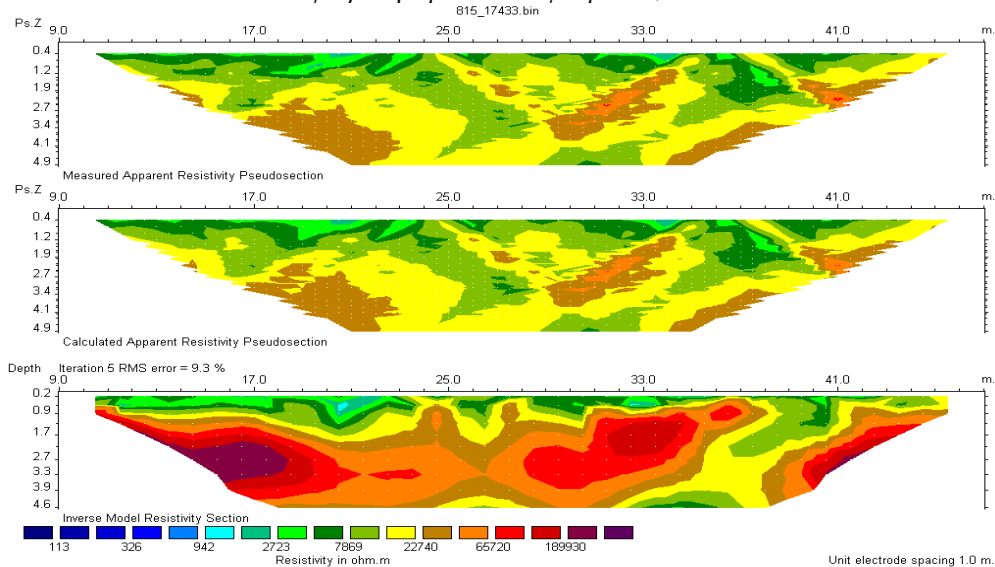
Σχήμα 14.3: Γεωηλεκτρική τομή 14^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 13,6 %.



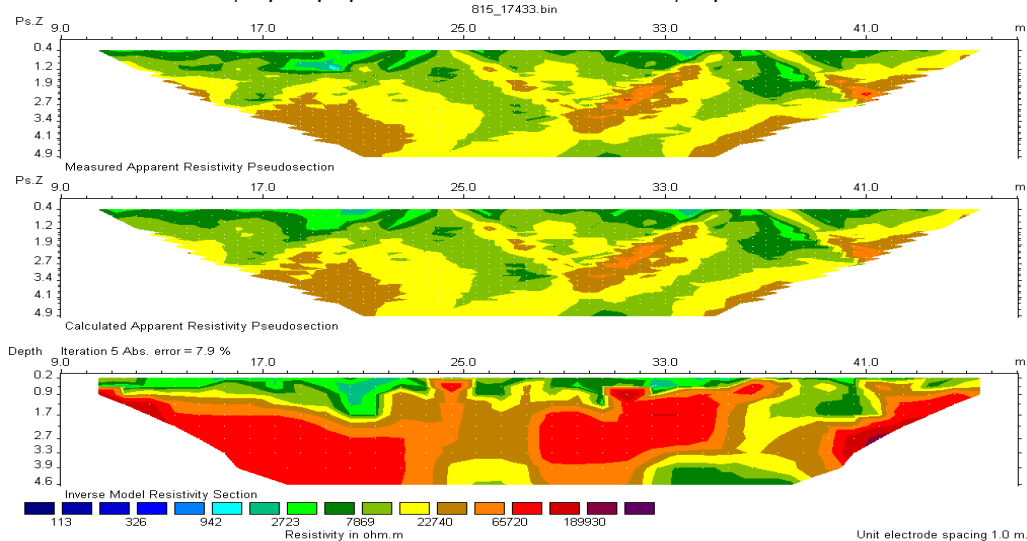
Σχήμα 14.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 14^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 10,0%.



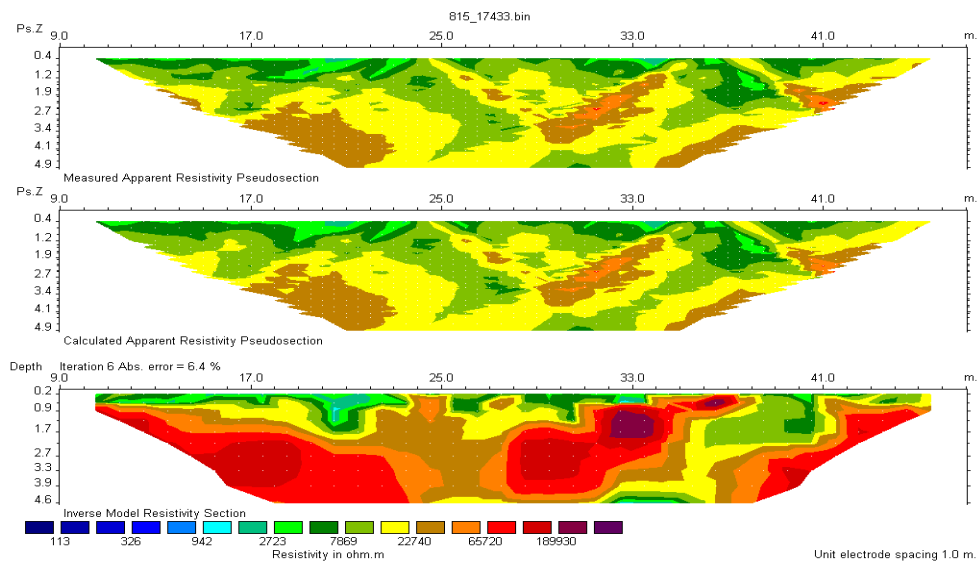
Σχήμα 15.1: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 12,3%.



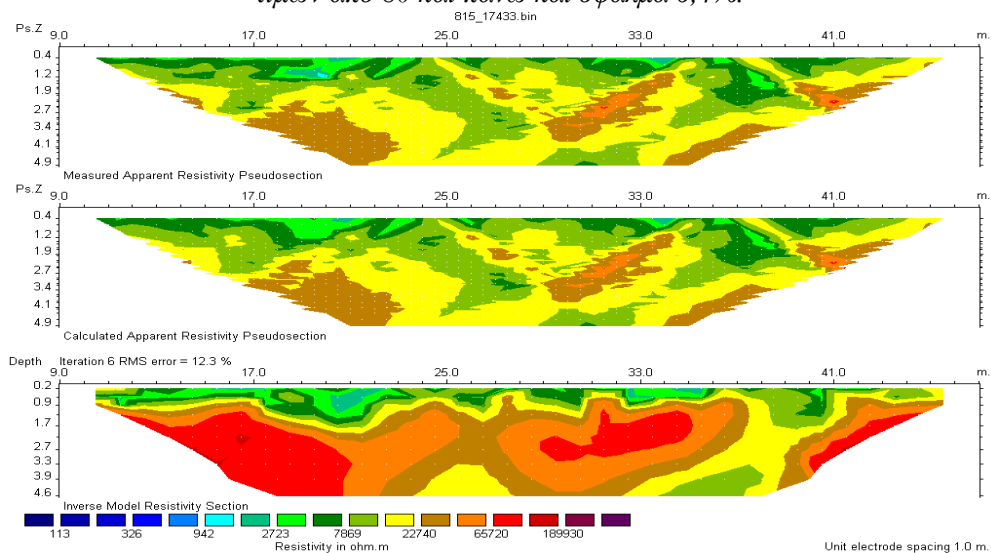
Σχήμα 15.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 9,3%.



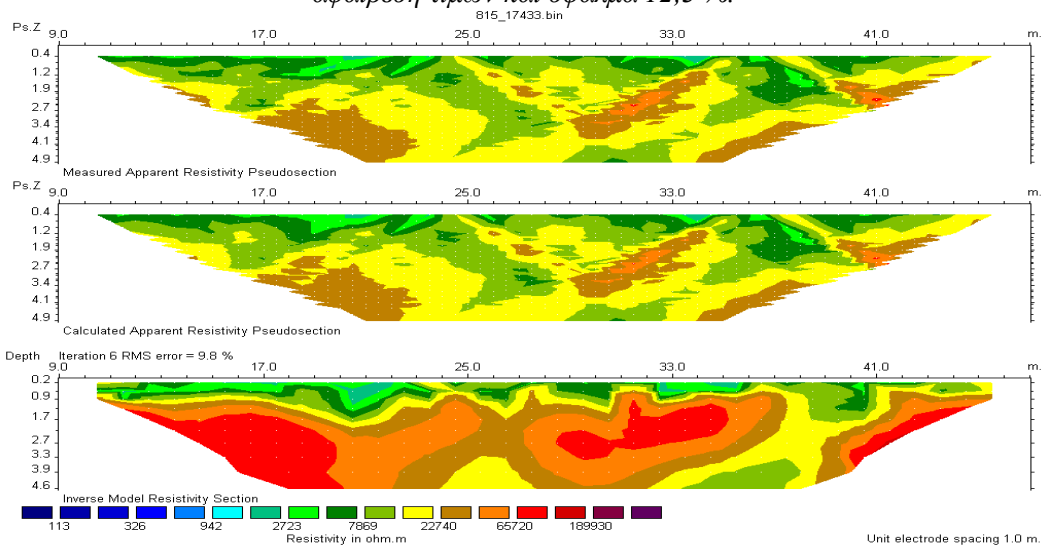
Σχήμα 15.2: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 7,9%.



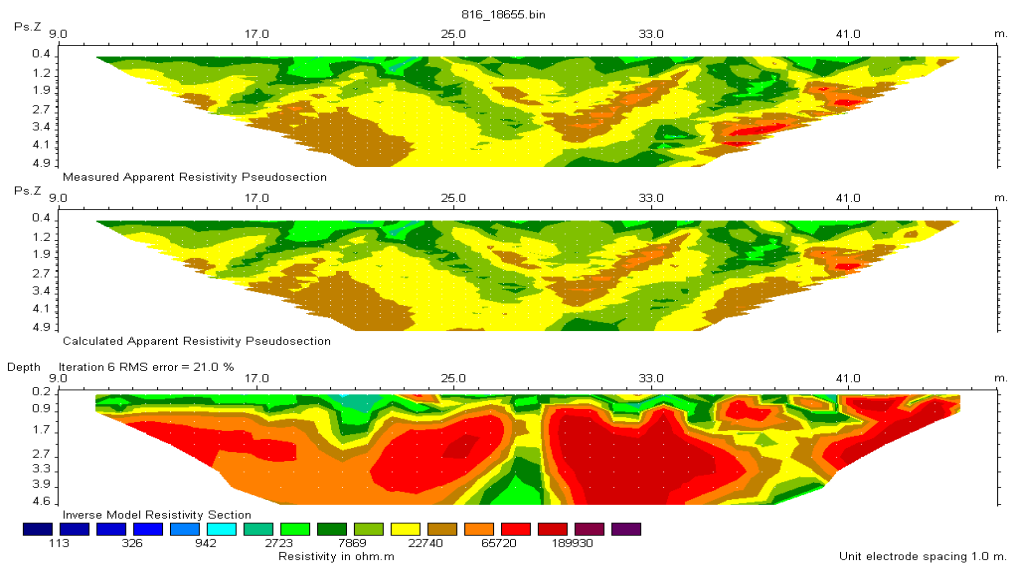
Σχήμα 15.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 6,4%.



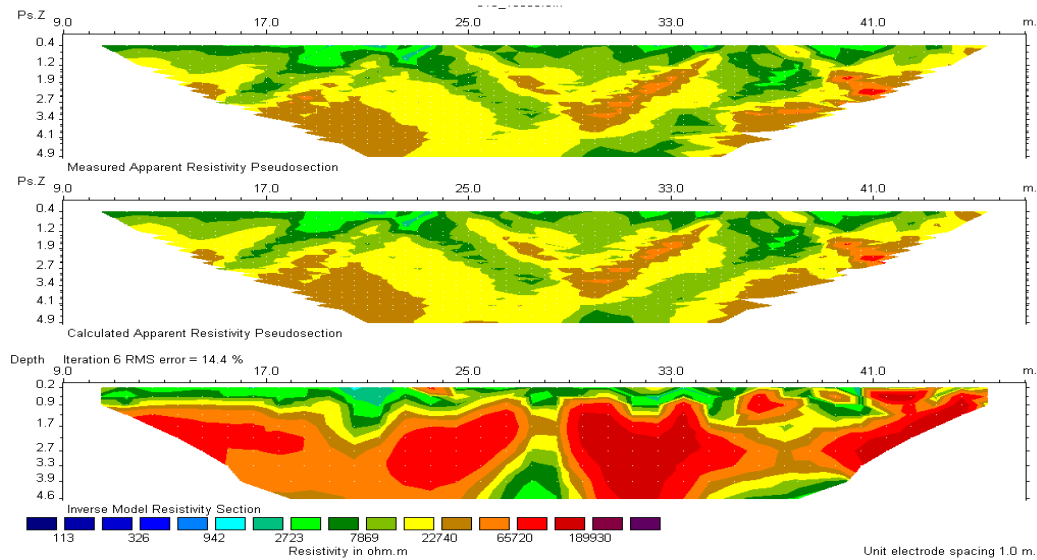
Σχήμα 15.3: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 12,3 %.



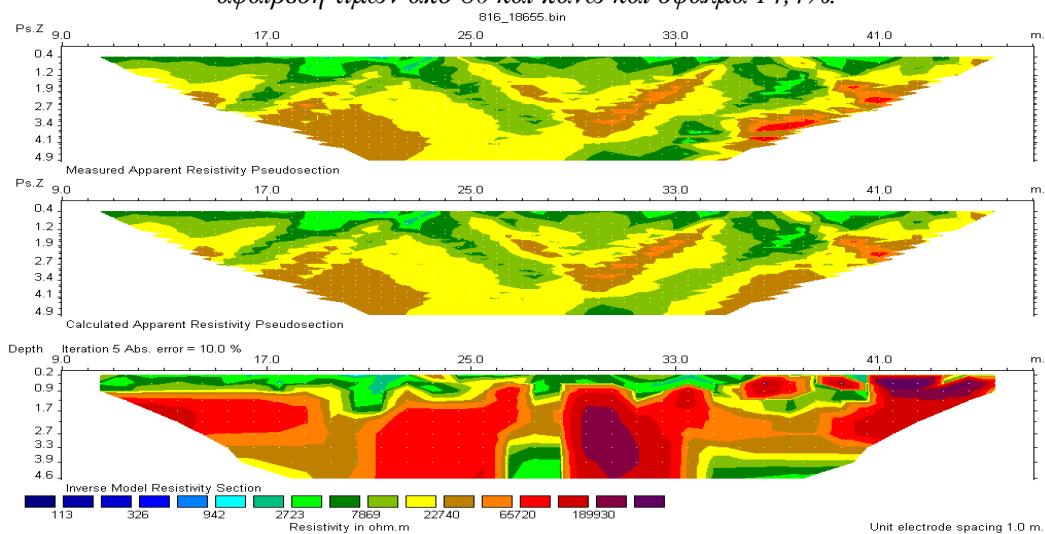
Σχήμα 15.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 15^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 9,8%.



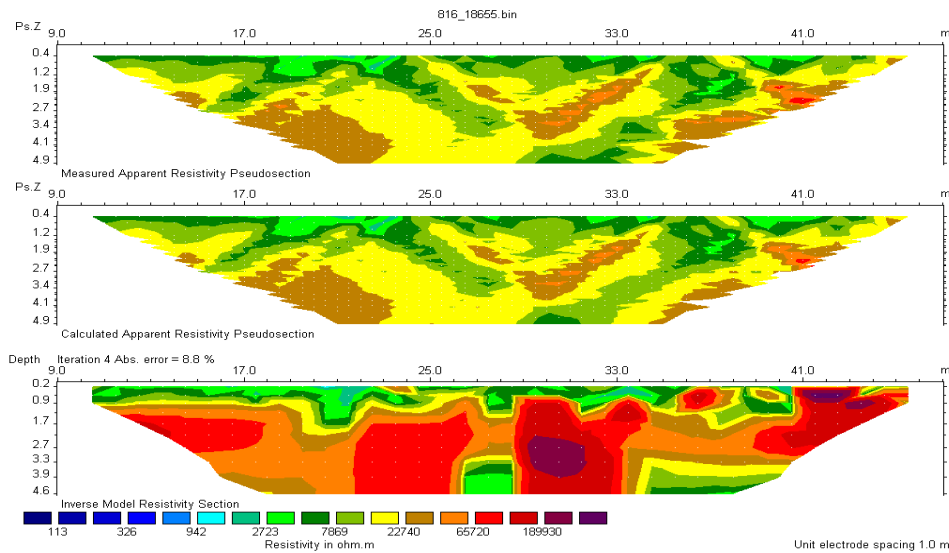
Σχήμα 16.1: Γεωηλεκτρική τομή 16^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 21,0%.



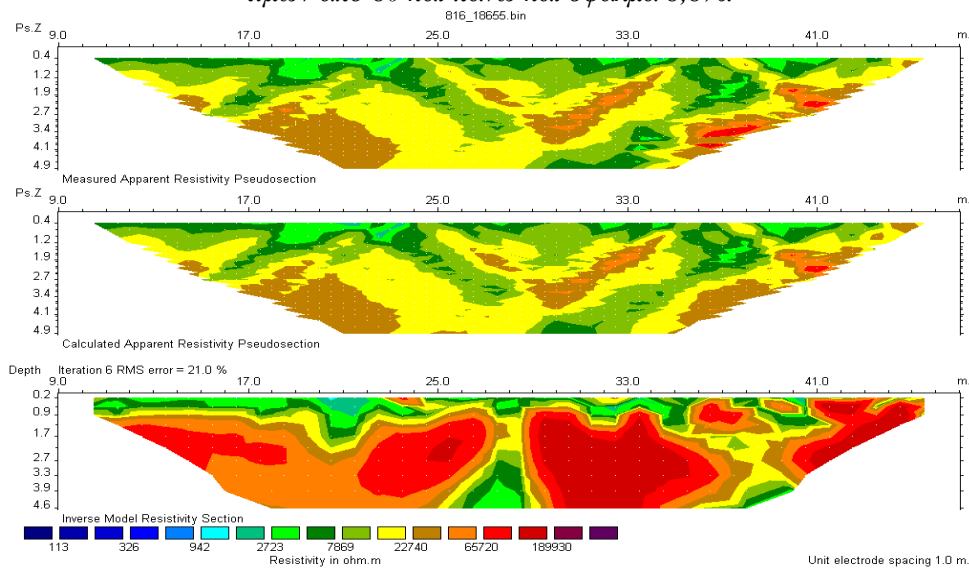
Σχήμα 16.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 16^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 14,4%.



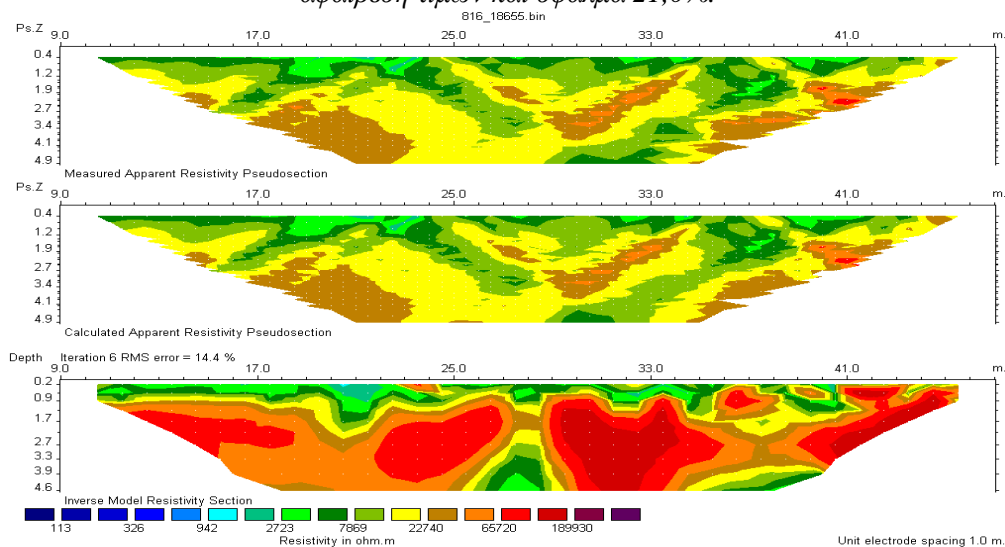
Σχήμα 16.2: Γεωηλεκτρική τομή 16^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 10,0%.



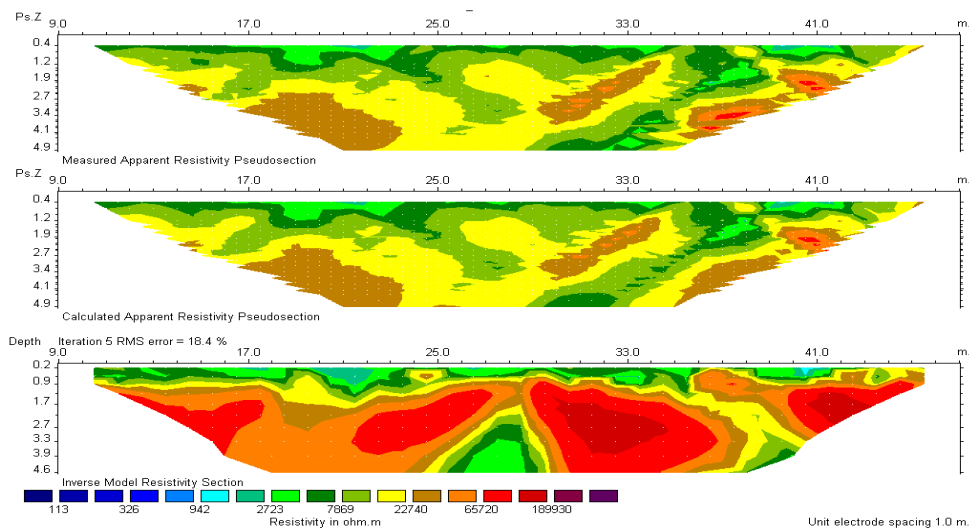
Σχήμα 16.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 16^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 8,8%.



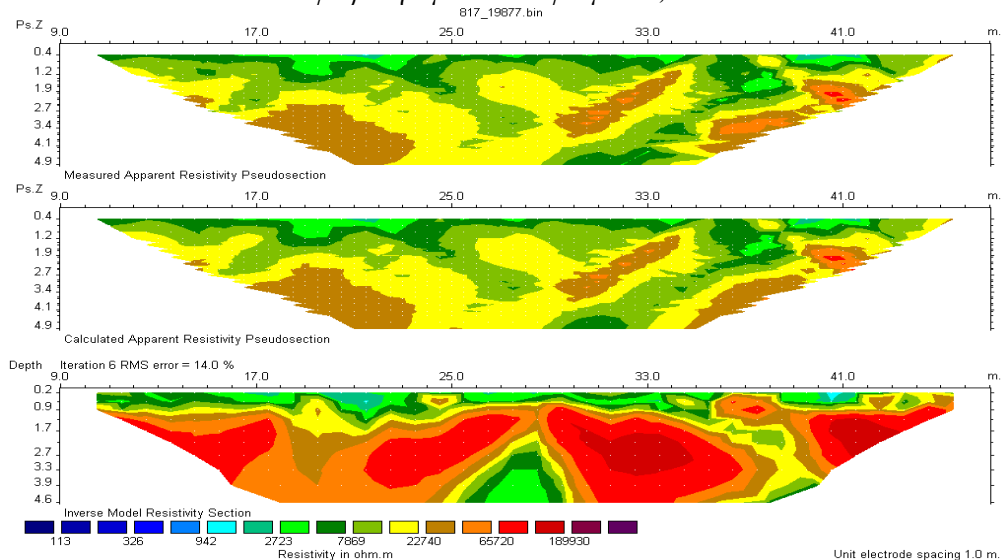
Σχήμα 16.3: Γεωηλεκτρική τομή 16^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 21,0%.



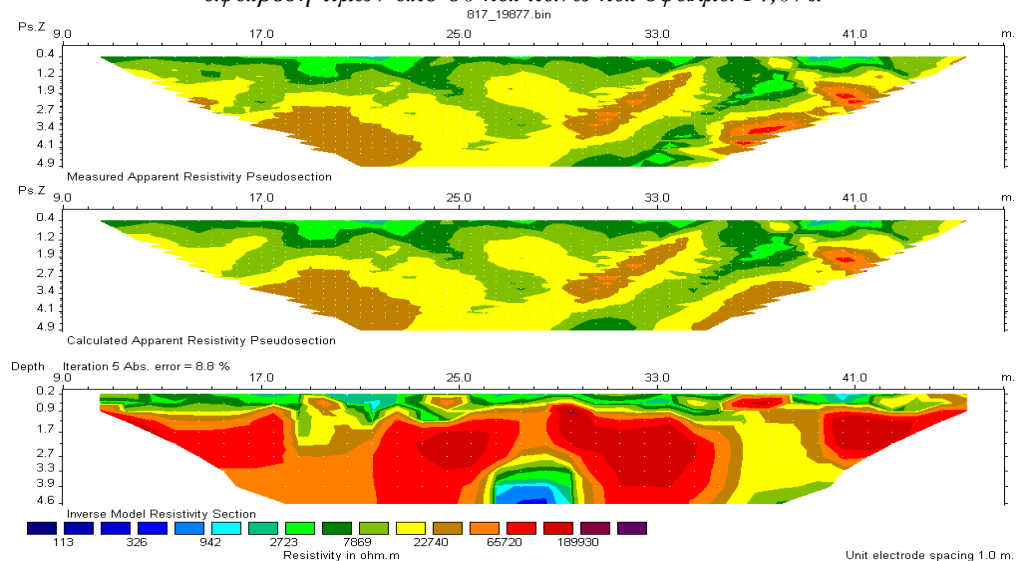
Σχήμα 16.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 16^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 14,4%.



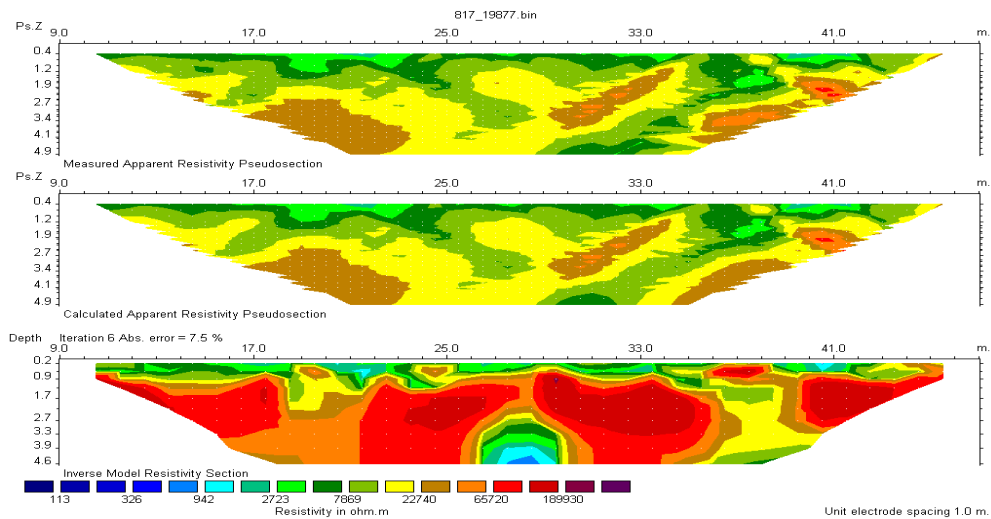
Σχήμα 17.1: Γεωηλεκτρική τομή 17^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 18,4%.



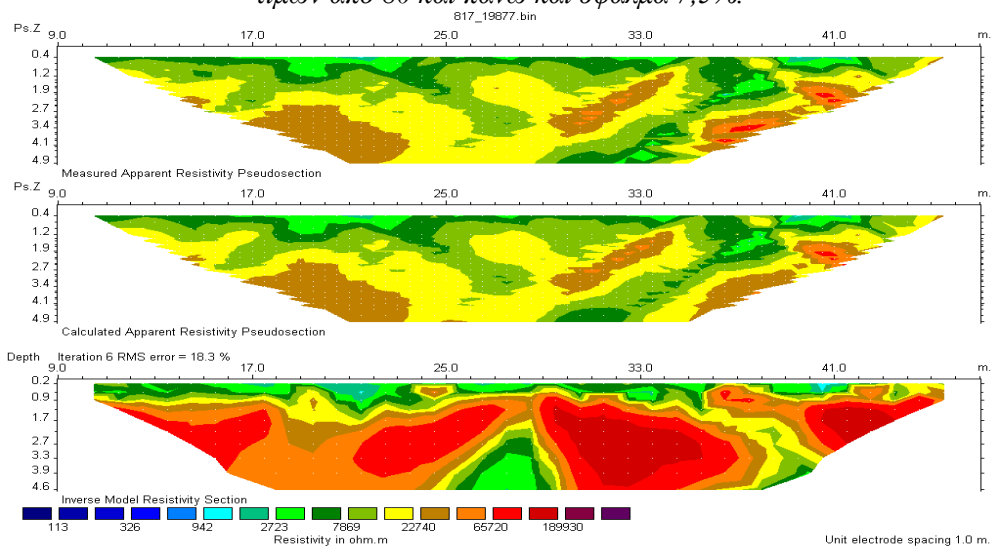
Σχήμα 17.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 17^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 14,0%.



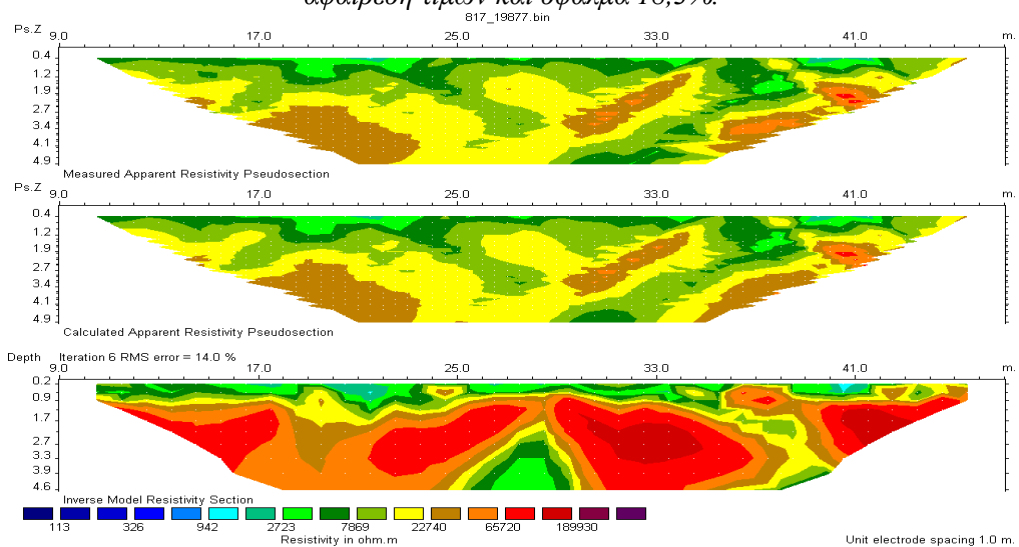
Σχήμα 17.2: Γεωηλεκτρική τομή 17^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 8,8%.



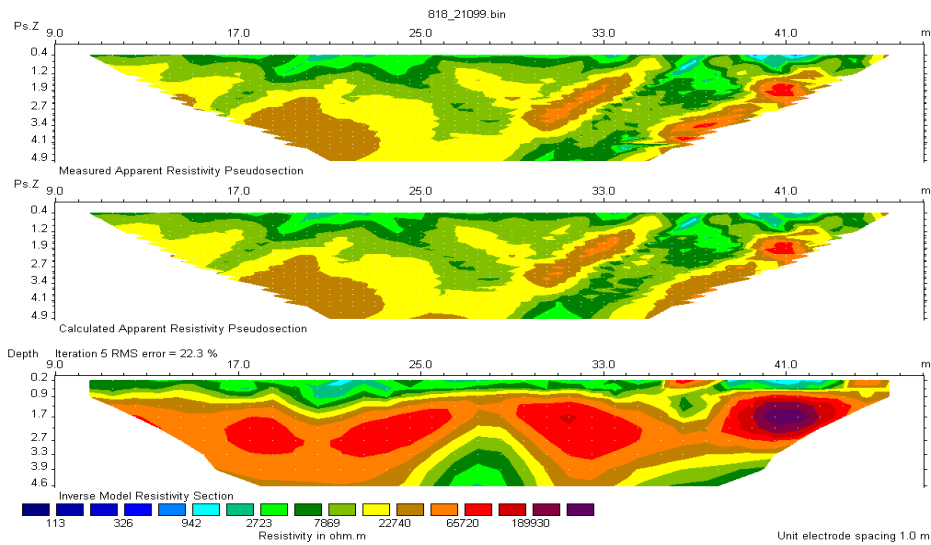
Σχήμα 17.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 17^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 7,5%.



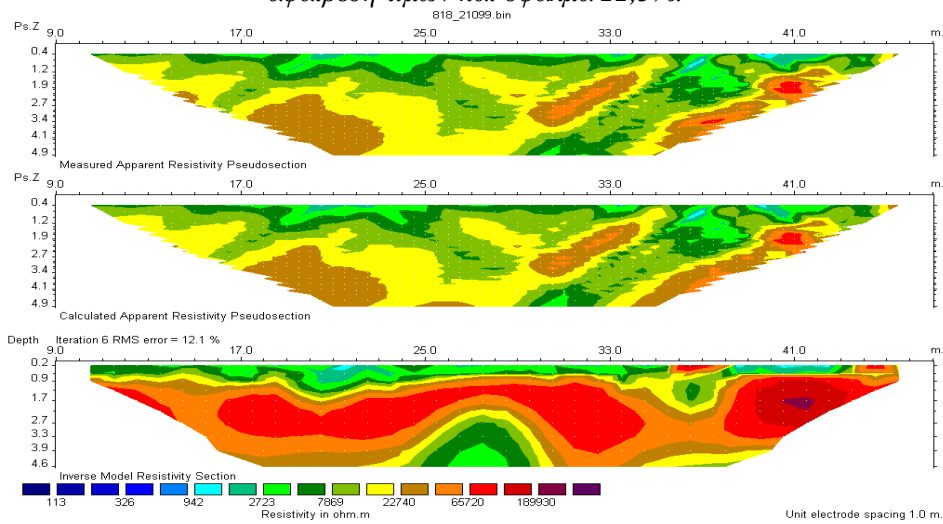
Σχήμα 17.3: Γεωηλεκτρική τομή 17^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 18,3%.



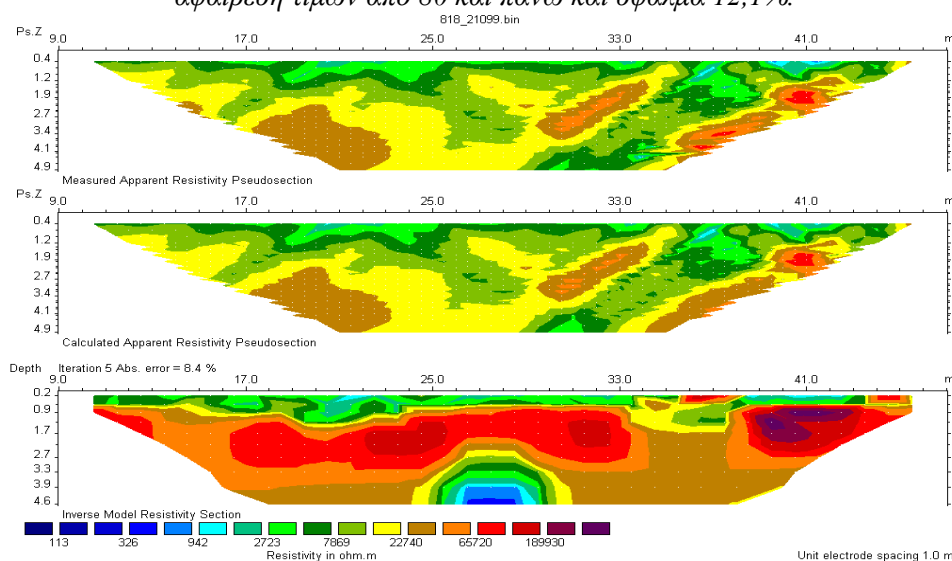
Σχήμα 17.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 17^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 14,0%.



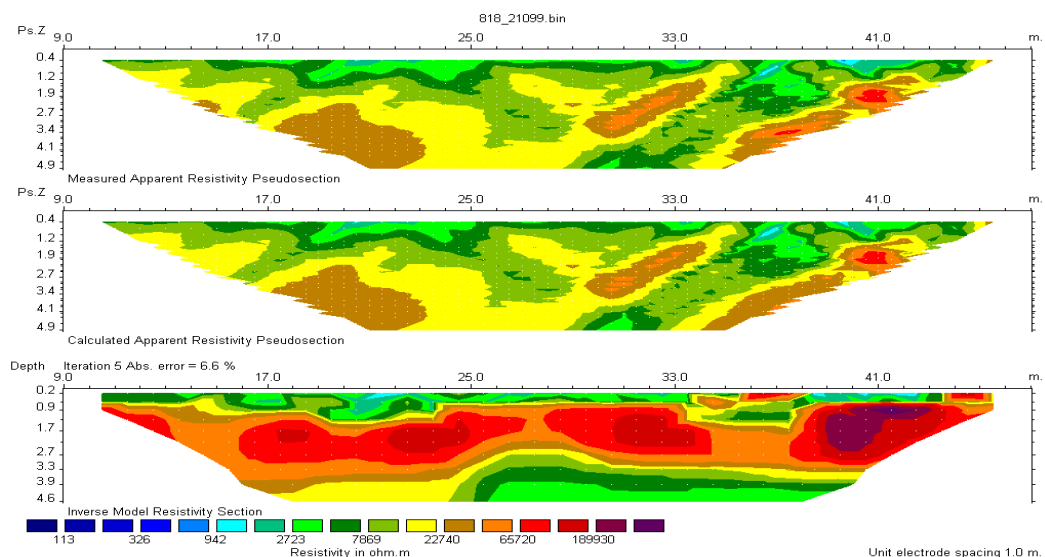
Σχήμα 18.1: Γεωηλεκτρική τομή 18^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 22,3%.



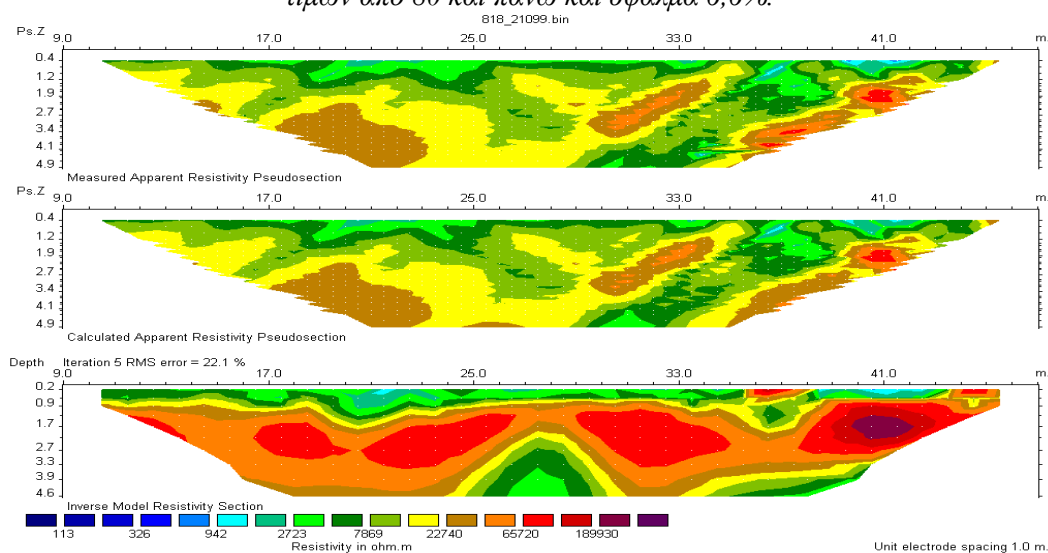
Σχήμα 18.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 18^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 12,1%.



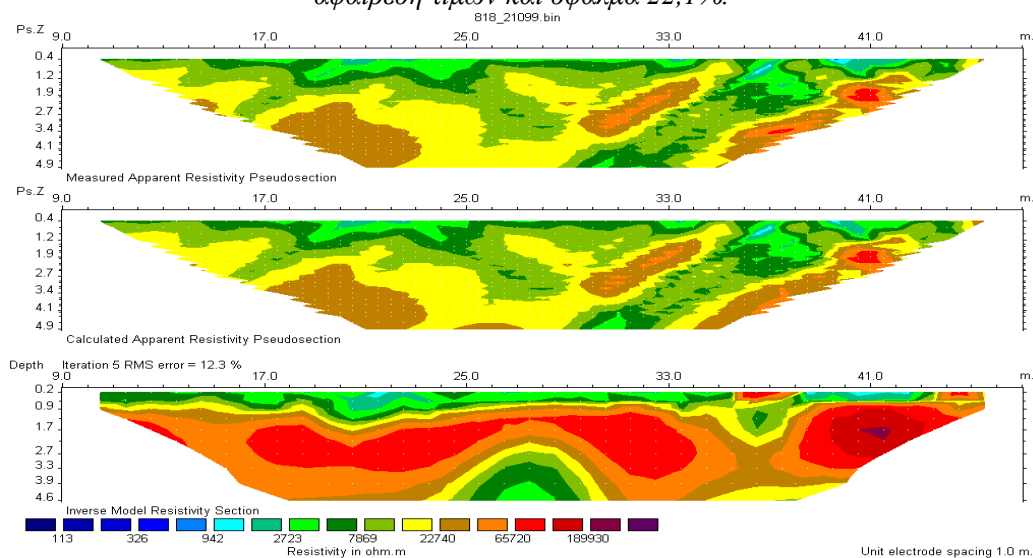
Σχήμα 18.2: Γεωηλεκτρική τομή 18^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 8,4%.



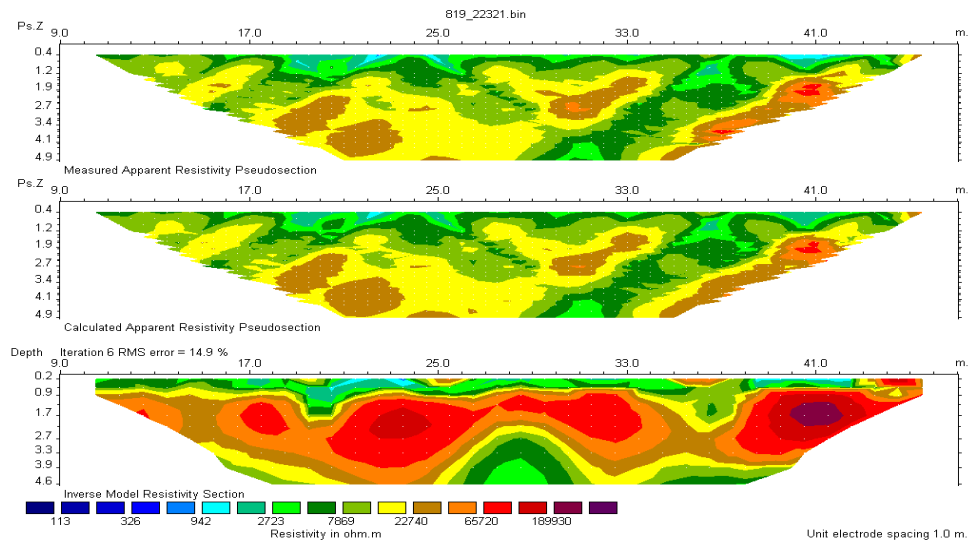
Σχήμα 18.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 18^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 6,6%.



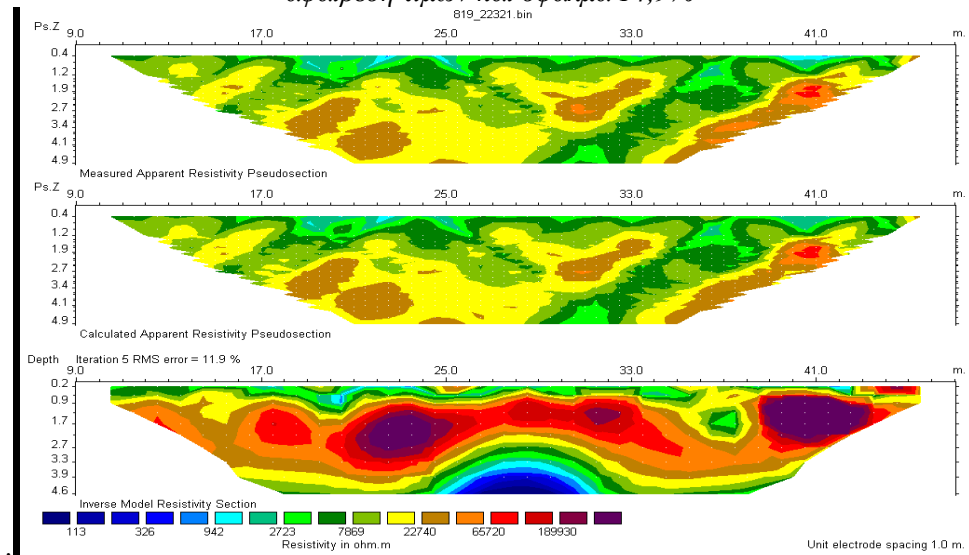
Σχήμα 18.3: Γεωηλεκτρική τομή 18^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 22,1%.



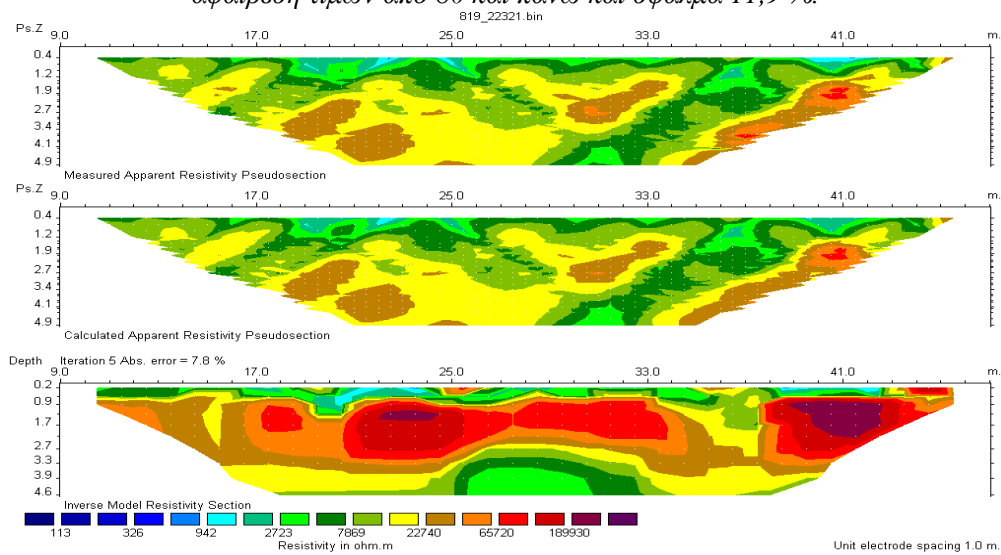
Σχήμα 18.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 18^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 12,3%.



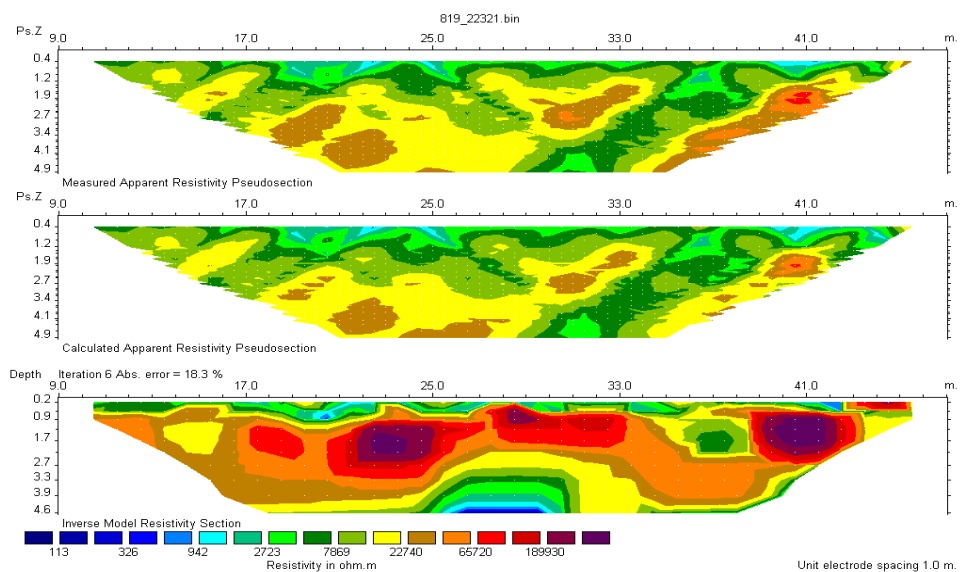
Σχήμα 19.1: Γεωηλεκτρική τομή 19^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 14,9%



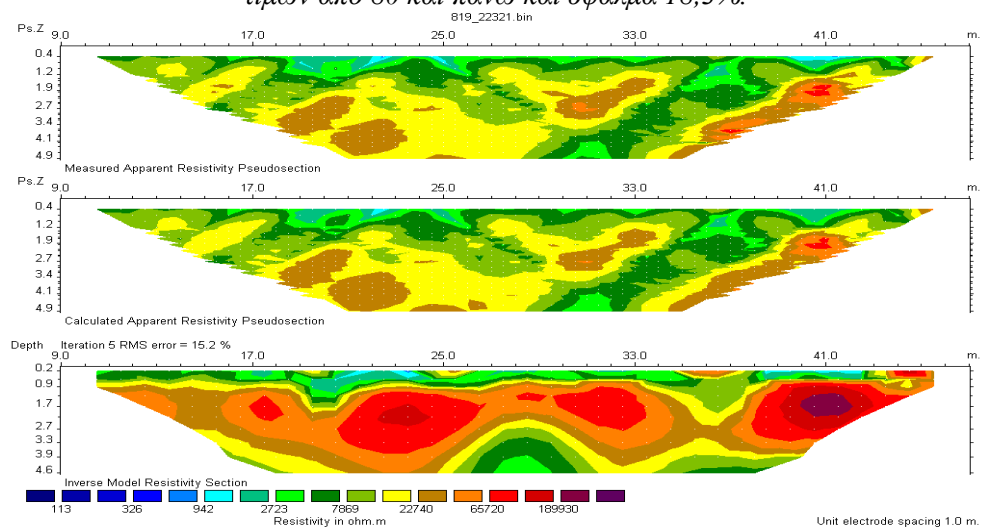
Σχήμα 19.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 19^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Least-Squares με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 11,9 %.



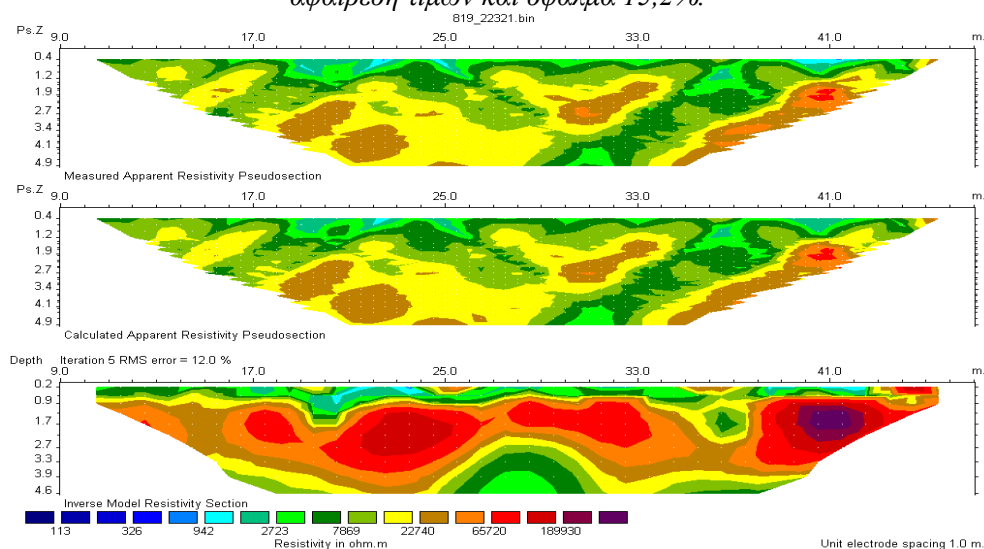
Σχήμα 19.2: Γεωηλεκτρική τομή 19^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 7,8%.



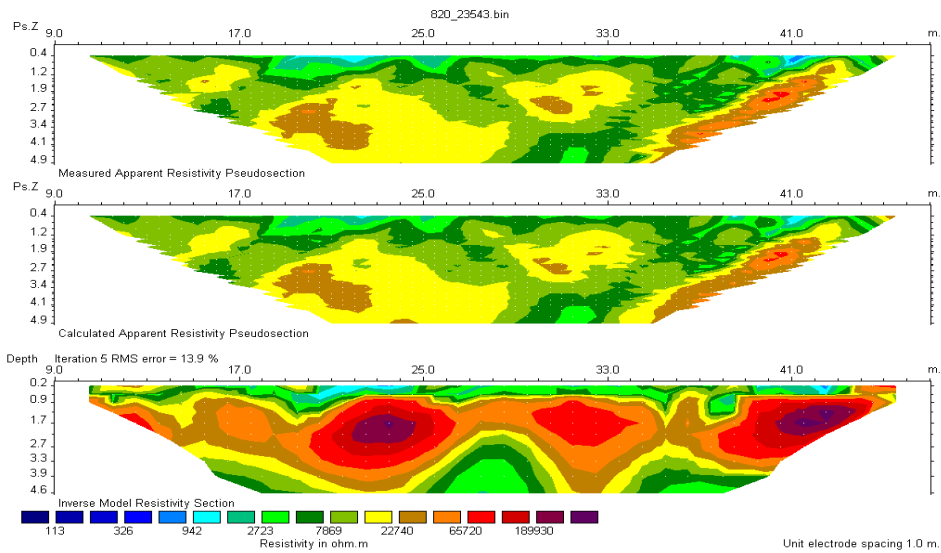
Σχήμα 19.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 19^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 18,3%.



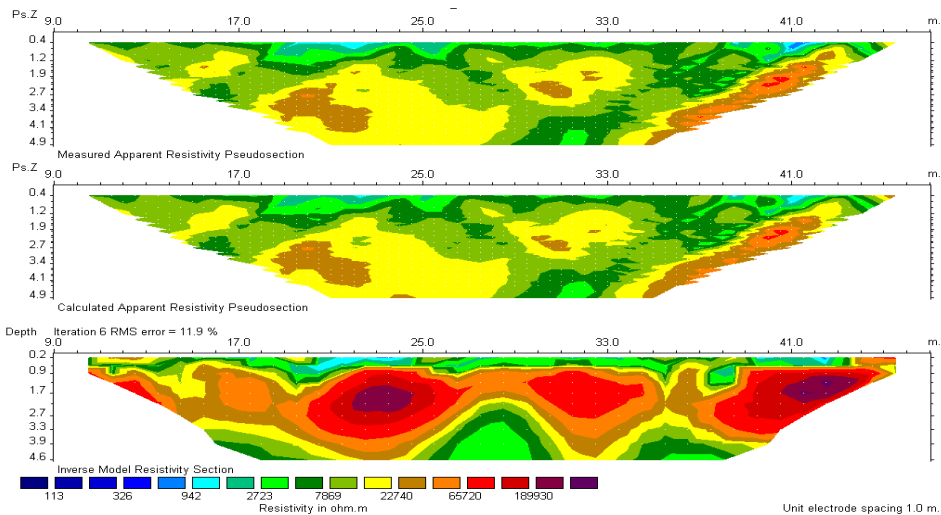
Σχήμα 19.3: Γεωηλεκτρική τομή 19^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 15,2%.



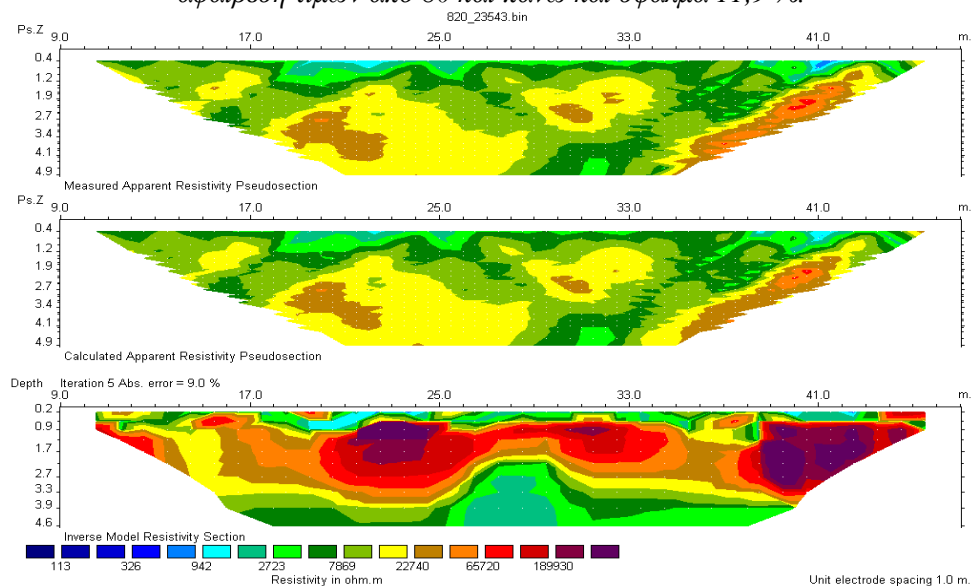
Σχήμα 19.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 19^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 12,0%.



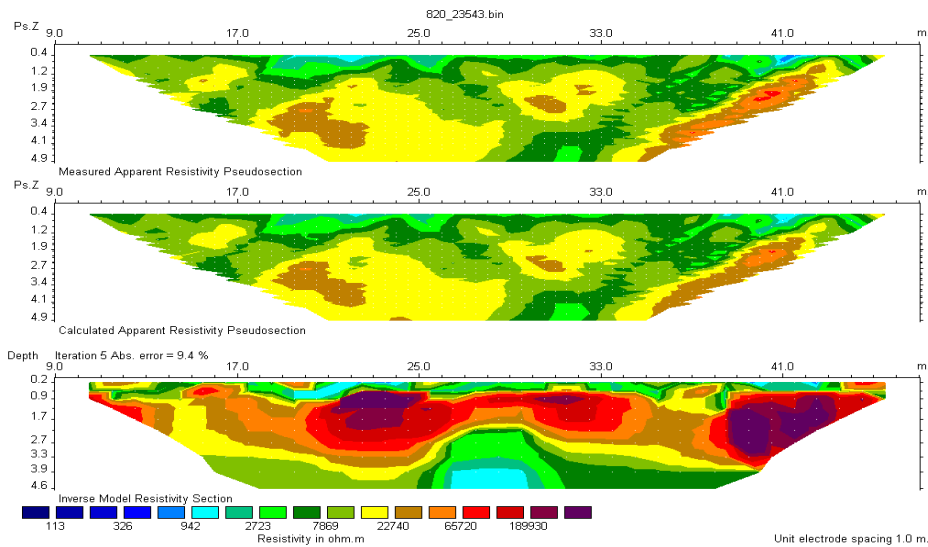
Σχήμα 20.1: Γεωηλεκτρική τομή 20^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 13,9%



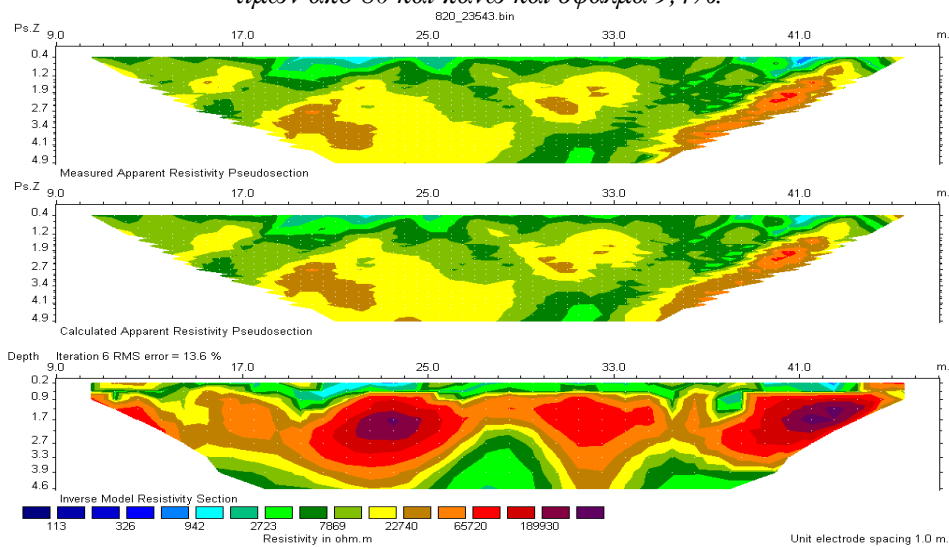
Σχήμα 20.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 20^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 11,9 %.



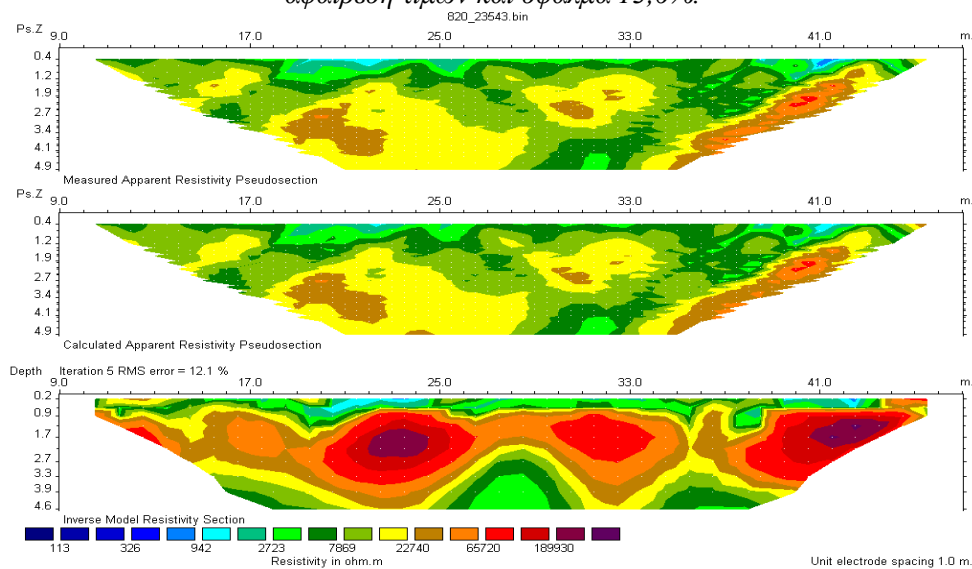
Σχήμα 20.2: Γεωηλεκτρική τομή 20^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 9,0%.



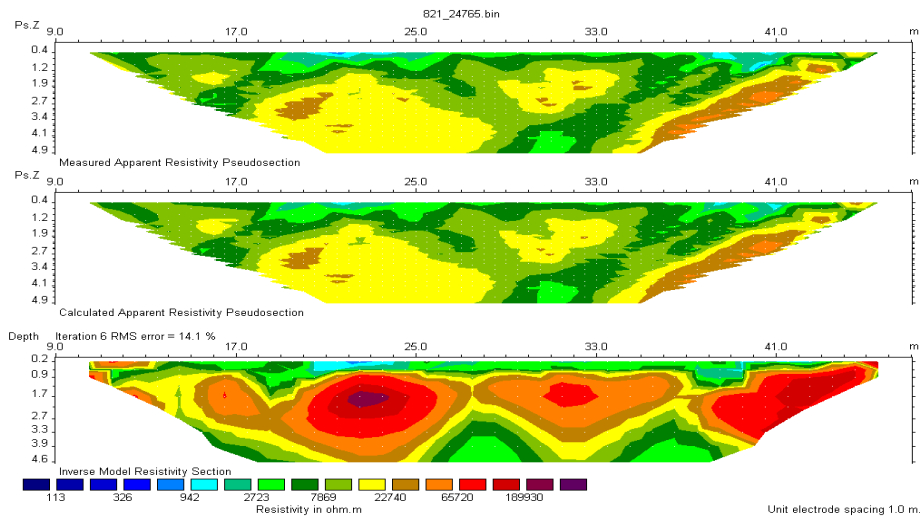
Σχήμα 20.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 20^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 9,4%.



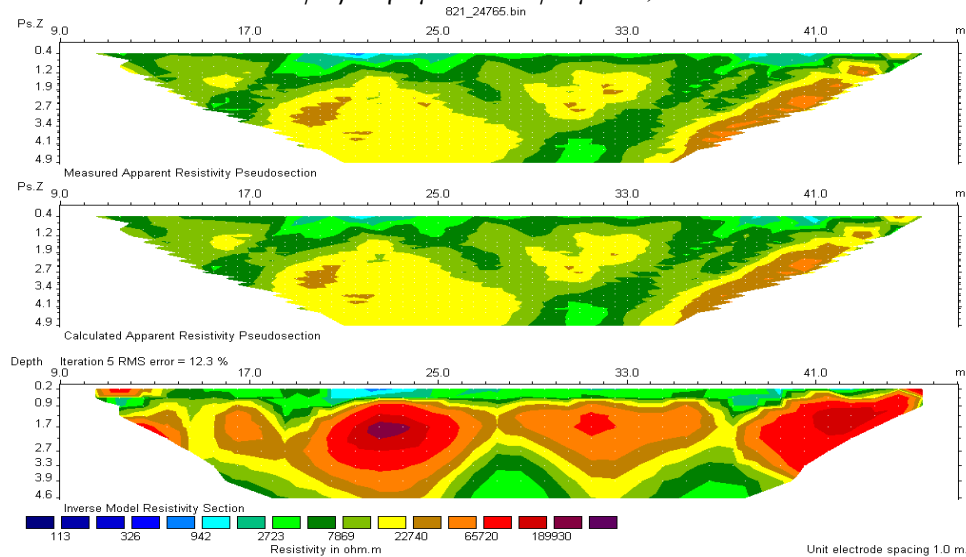
Σχήμα 20.3: Γεωηλεκτρική τομή 20^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 13,6%.



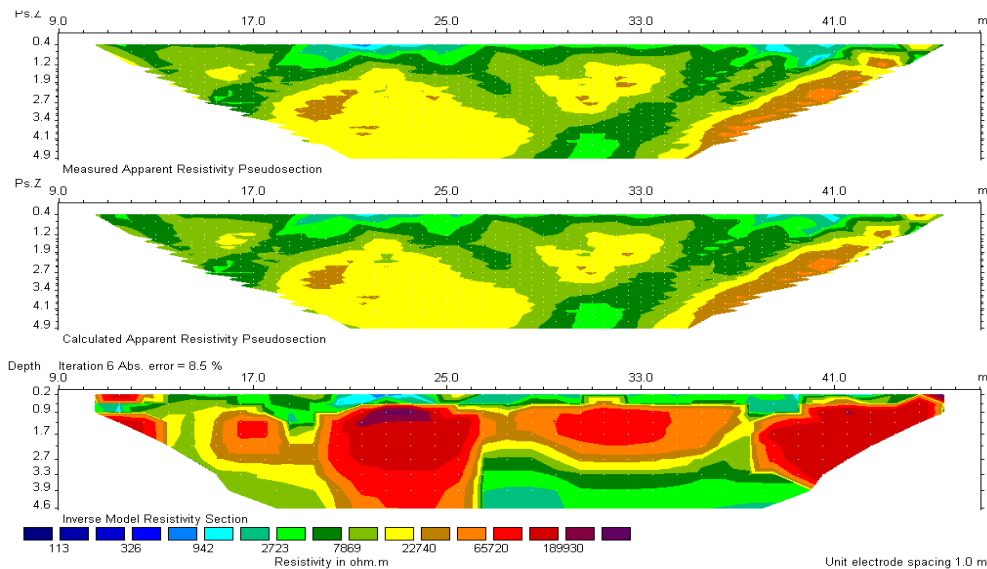
Σχήμα 20.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 20^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 12,1%.



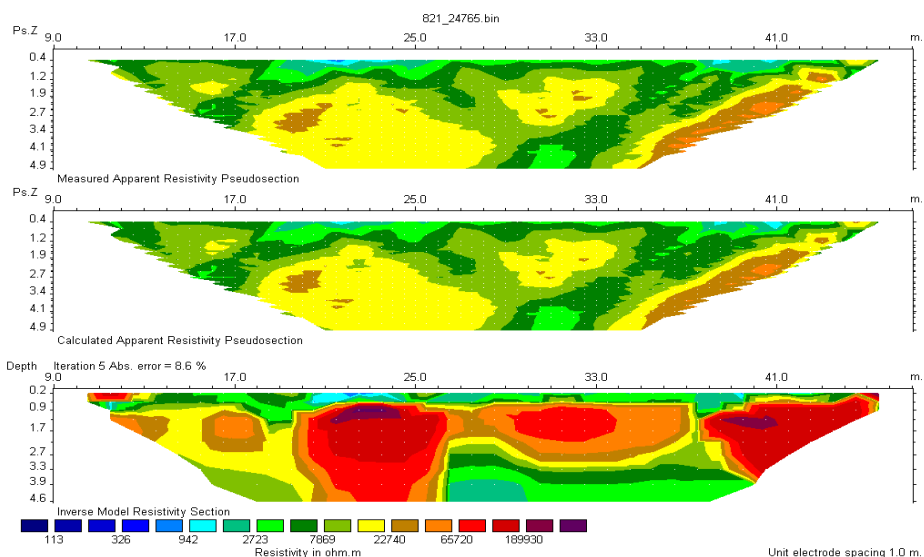
Σχήμα 21.1: Γεωηλεκτρική τομή 2D γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 14,1%



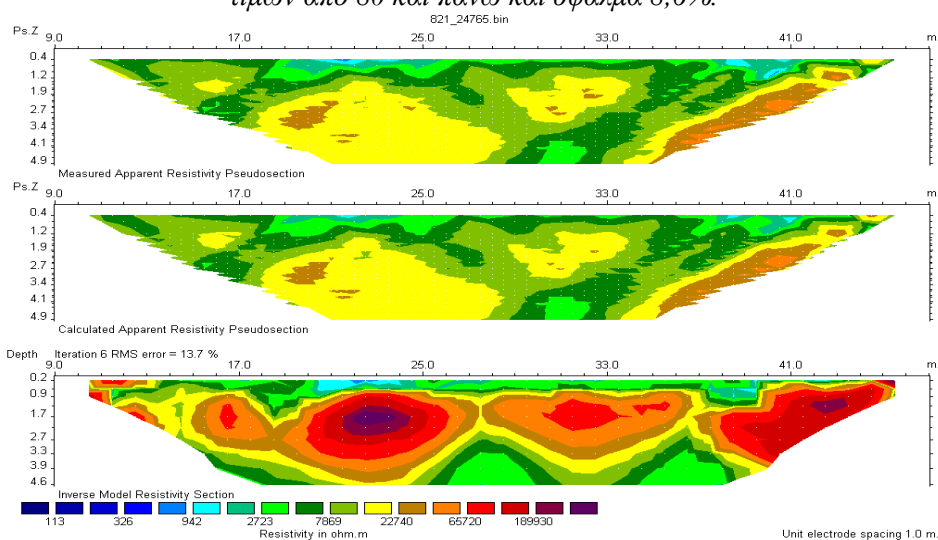
Σχήμα 21.1.1: Γεωηλεκτρική τομή 2D γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Least-Squares* με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 12,3 %.



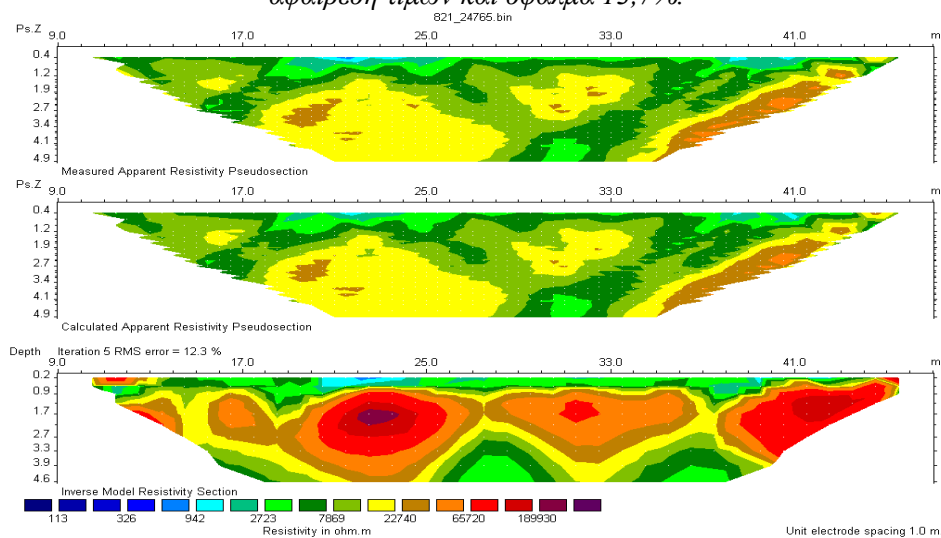
Σχήμα 21.2: Γεωηλεκτρική τομή 2D γραμμής μελέτης με τη μέθοδο *Robust* χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 8,5%.



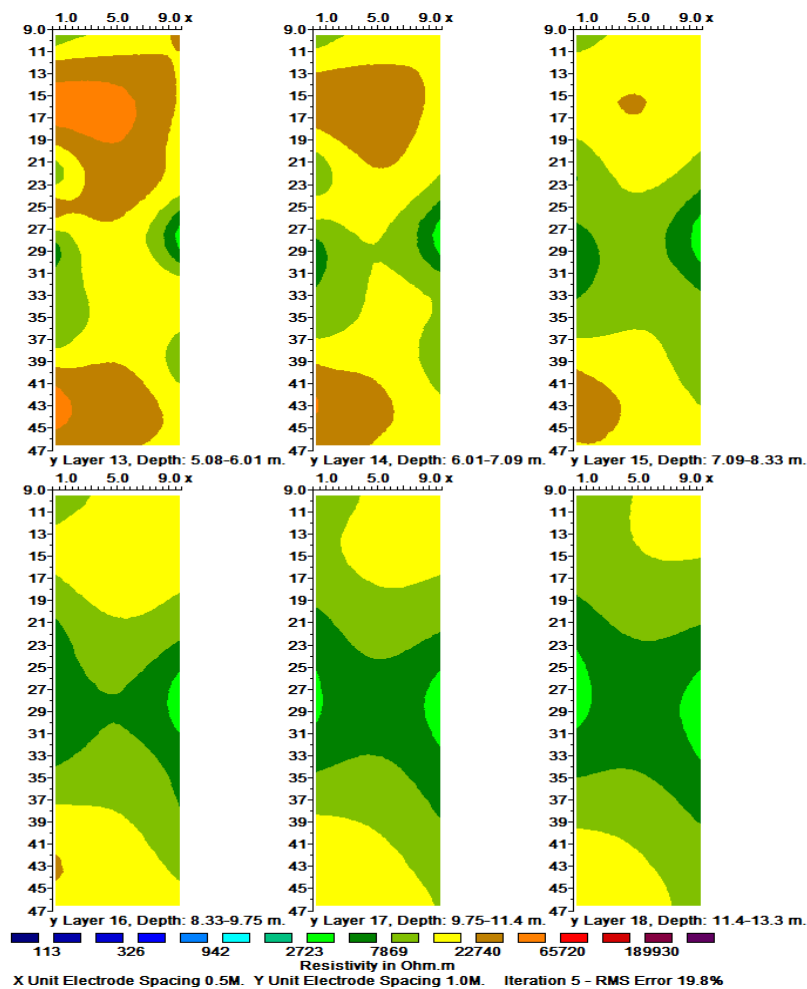
Σχήμα 21.2.1: Γεωηλεκτρική τομή 21^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Robust με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 8,6%.



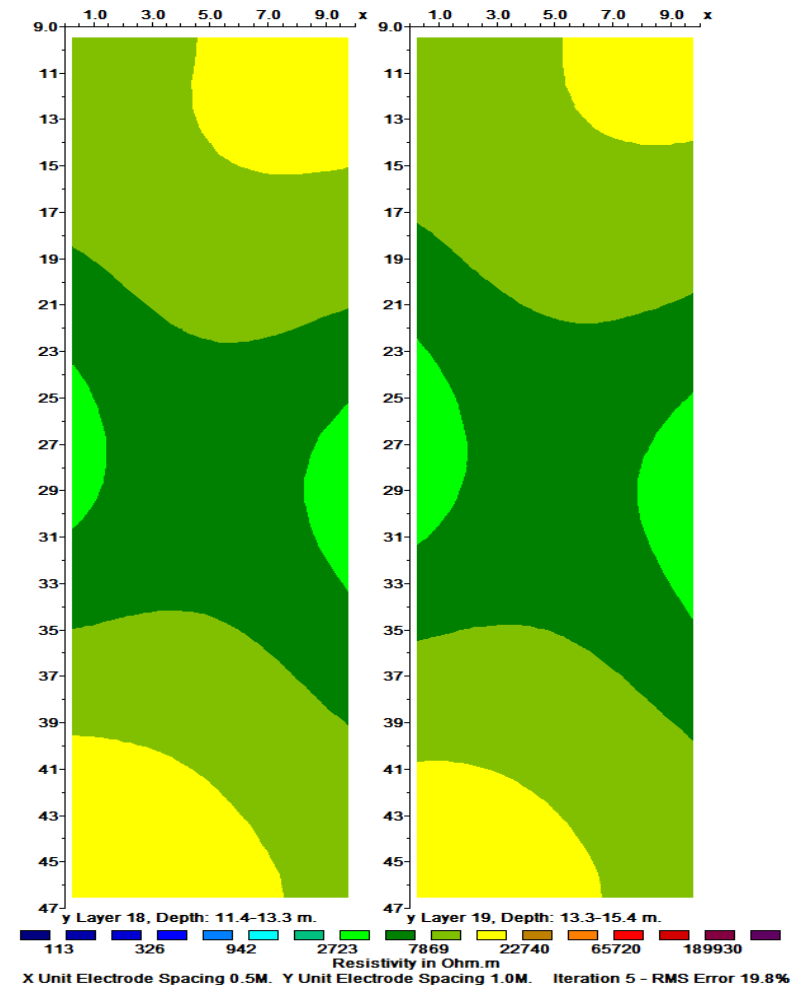
Σχήμα 21.3: Γεωηλεκτρική τομή 21^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined χωρίς αφαίρεση τιμών και σφάλμα 13,7%.



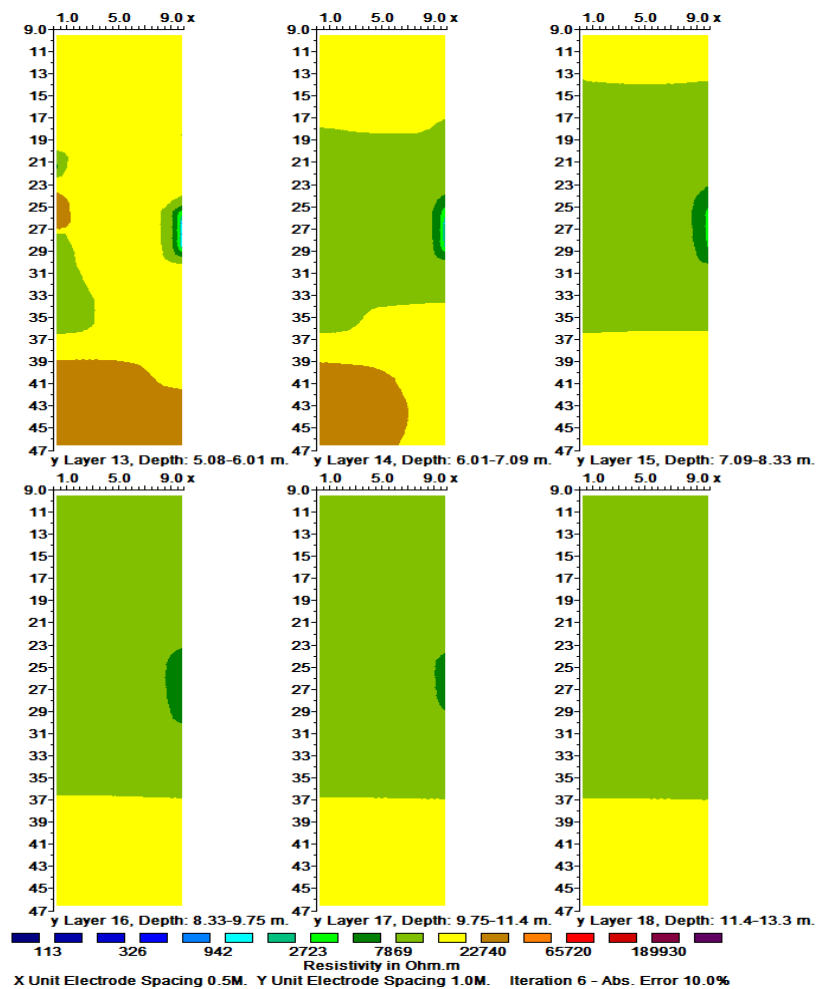
Σχήμα 21.3.1: Γεωηλεκτρική τομή 21^{ης} γραμμής μελέτης με τη μέθοδο Combined με αφαίρεση τιμών από 80 και πάνω και σφάλμα 12,3%.



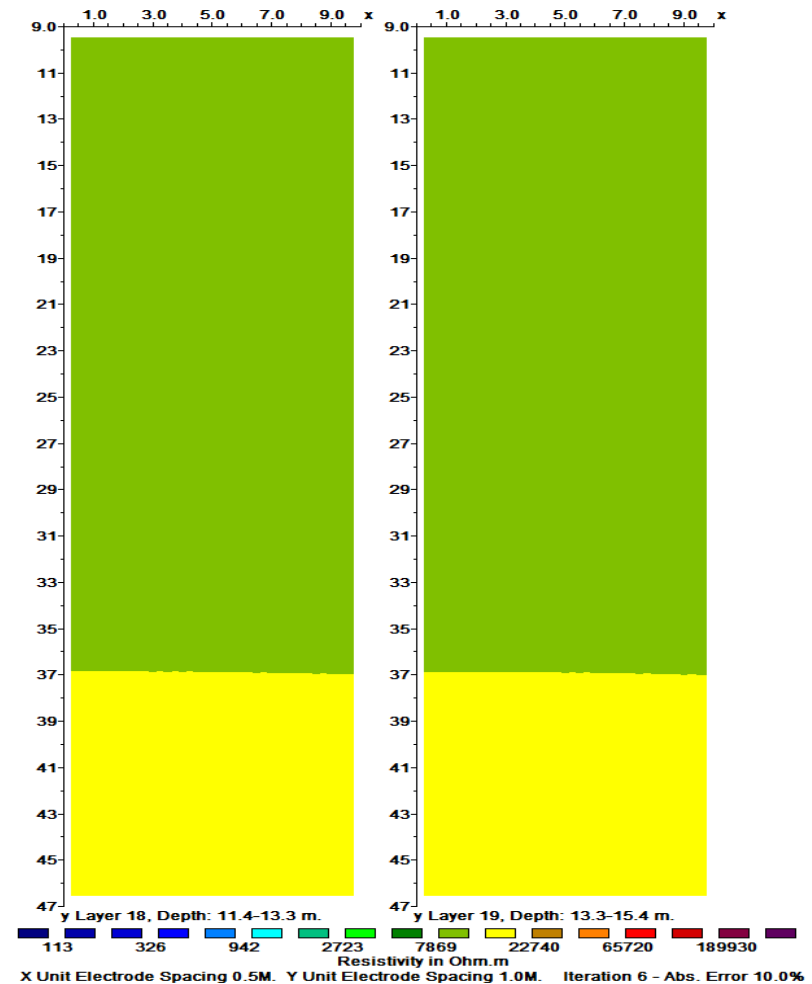
Σχήμα 22α: Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές σε βάθος $z = 5.08$ έως 13.3 m και σφάλμα 19.8% με τη μέθοδο Least - Squares



Σχήμα 22β: Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές σε βάθος $z = 13.3$ έως 15.4 m και σφάλμα 19.8% με τη μέθοδο Least - Squares



Σχήμα 23α: Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές σε βάθος $z = 5.08$ έως 13.3 m και σφάλμα 10% με τη μέθοδο Robust.



Σχήμα 23β: Οριζόντιες γεωηλεκτρικές τομές σε βάθος $z = 13.3$ έως 15.4 m και σφάλμα 10% με τη μέθοδο Robust.

"Συμβολή της ηλεκτρικής
τομογραφίας στην χαρτογράφηση
καρστικών εγκοίλων στην περιοχή
του Αεροδρομίου Ν. Χανίων"

