

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ  
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ  
ΑΓΙΑΣ ΓΑΛΗΝΗΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ.**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ:ΧΑΤΖΗΚΟΚΟΛΑΚΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ**

**ΠΡΕΚΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΙΩΑΝΝΑ**

**ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ  
ΣΟΥΠΙΟΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ  
ΚΟΥΛΗ ΜΑΡΙΑ**

**ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011**



**Technological Educational Institute of Crete  
Branch of Chania  
DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES**



**THESIS**

**SUBJECT: PROCESSING AND ANALYSIS OF POWER  
DATA  
TOMOGRAPHY OF THE REGION OF SAINT GALINIS  
RETHYMNOU.**

**NAME: *CHATZIKOKOLAKI ALEXANDRA***

***PREKA PANAGIOTA IOANNA***

**COMMITTEE: PAPADOPOULOS ILIAS  
SOUPIOS PANTELIS  
KOULI MARIA**

***FEBRUARY 2011***





## **1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ασχολείται με την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας από την περιοχή Αγίας Γαλήνης Ρεθύμνου ώστε να διερευνηθεί η γεωφυσική και γεωτεχνική δομή του υπεδάφους και να εκτιμηθούν οι εδαφικές παράμετροι της περιοχής όπου πρόκειται να κατασκευαστεί μια νέα ξενοδοχειακή μονάδα.

## **1. SUMMARY**

This thesis deals with the processing and analysis of electrical tomography data from Agia Galini to explore the geophysical and geotechnical subsurface structure and to estimate soil parameters of the area is to construct a new hotel.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>5</b>
<b>2.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>7</b>
<b>3.ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....</b>	<b>9</b>
<b>4.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ.....</b>	<b>12</b>
<b>4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ.....</b>	<b>13</b>
<b>5.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>19</b>
<b>6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>27</b>
<b>7.ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>33</b>
<b>8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>34</b>

## 2.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις στο οικοπέδο ιδιοκτησίας του κ.Τρουλινού Νικόλαου στην

Αγ. Γαλήνη του νομού Ρεθύμνου διενεργήθηκαν στο πλαίσιο της συνεργασίας μεταξύ του

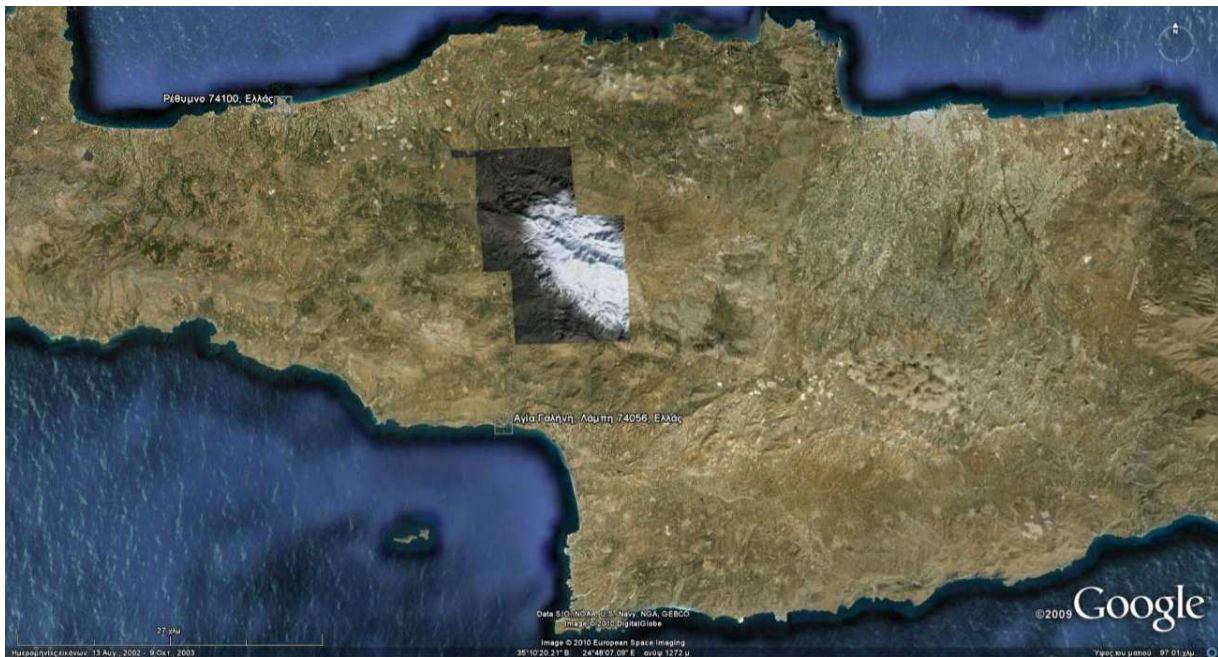
Εργαστηρίου Γεωφυσικής-Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Αρχαιοπεριβάλλοντος του Ινστιτούτου Μεσογειακών Σπουδών/Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (Ι.Μ.Σ.-Ι. Τ. Ε.) και του κ.Τρουλινού Νικόλαου, σύμφωνα με το ιδιωτικό συμφωνητικό που υπογράφηκε από τους παραπάνω συμβαλλόμενους στις 25 Αυγούστου 2010, ημέρα Τετάρτη. Η Αγ. Γαλήνη βρίσκεται στα νότια του Νομού Ρεθύμνης και σε απόσταση 60 km νοτιοδυτικά της πόλης του Ρεθύμνου (Εικ.2.1). Οι γεωφυσικές έρευνες επικεντρώθηκαν κατά μήκος οδούσεων σε συγκεκριμένες θέσεις της περιοχής ενδιαφέροντος καλύπτοντας μια συνολική έκταση 620 τετραγωνικών μέτρων. Σκοπός των γεωφυσικών διασκοπήσεων ήταν να διερευνηθεί η γεωφυσική και γεωτεχνική δομή του υπεδάφους και να εκτιμηθούν οι εδαφικές παράμετροι της περιοχής όπου πρόκειται να κατασκευαστεί μια νέα ξενοδοχειακή μονάδα. Στην περιοχή εφαρμόστηκε η μέθοδος της δισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας πραγματοποιώντας συνολικά **έξι (6) οδούσεις συνολικού μήκους 116 μέτρων.** Κατά μήκος όλων των τομών τα δεδομένα της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης συλλέχθηκαν με τις διατάξεις Βαθμίδας (Gradient) και Διπόλου-Διπόλου (Dipole-Dipole). Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των δισδιάστατων τομογραφιών έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να καλυφθεί όσο το δυνατό μεγαλύτερη έκταση του οικοπέδου. Στην εικόνα 2.2 φαίνεται λεπτομέρεια της περιοχής που διενεργήθηκε η γεωφυσική διασκόπηση με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας. Η γεωφυσική χαρτογράφηση της περιοχής πραγματοποιήθηκε στις 10 Σεπτεμβρίου 2010 από το Εργαστήριο Γεωφυσικής-Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Αρχαιοπεριβάλλοντος του Ινστιτούτου Μεσογειακών Σπουδών/Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (Ι.Μ.Σ.-Ι. Τ. Ε.). Τον συντονισμό των εργασιών υπαίθρου ανέλαβε ο Δρ.Παπαδόπουλος Νίκος και στις γεωφυσικές έρευνες συμμετείχαν οι παρακάτω ερευνητές:

Παπαδόπουλος Νίκος Γεωλόγος-Γεωφυσικός, Ερευνητής Δ' ΙΜΣ-Ι Τ Ε, Ρέθυμνο  
 Παπαδόπουλος Ηλίας Γεωλόγος-Γεωφυσικός, Καθηγητής Εφαρμογών του τμήματος Φυσικών

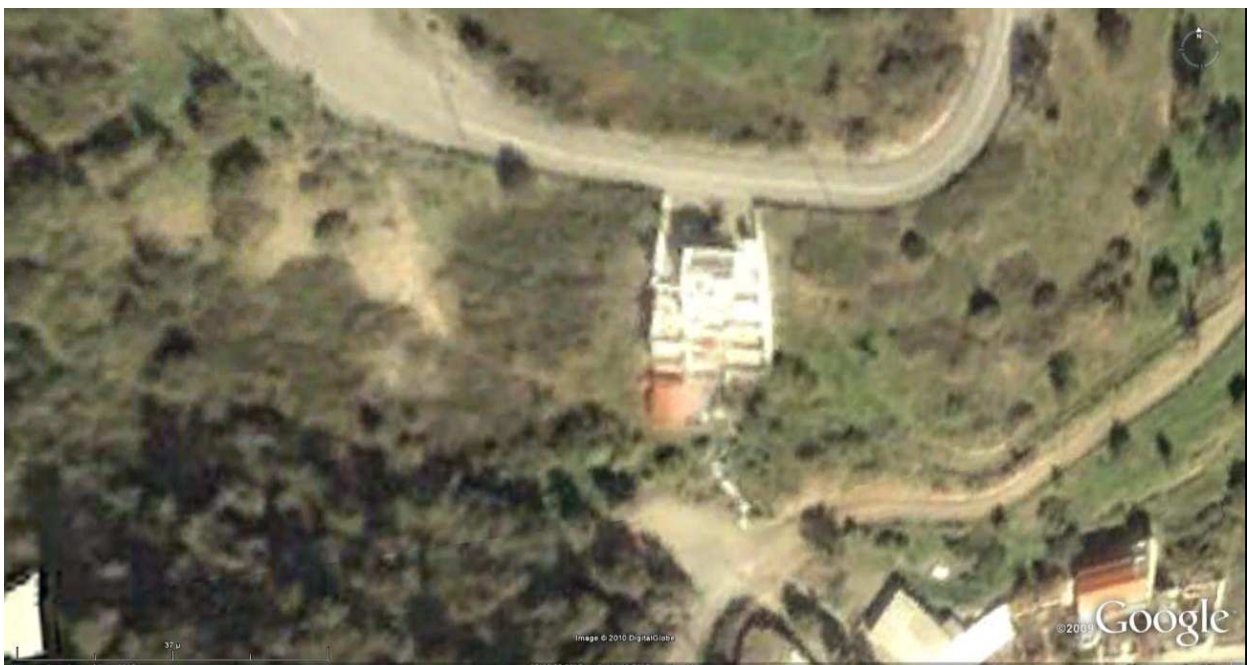
Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης, Χανιά

Helen Gohlke Τεχνολόγος Περιβάλλοντος





**Εικόνα 2.1:** Δορυφορική εικόνα της κεντρικής Κρήτης (από το Google Earth) όπου φαίνονται το Ρέθυμνο και η περιοχή της Αγ. Γαλήνης.



**Εικόνα 2.2:** Η περιοχή που πραγματοποιήθηκε η γεωφυσική διασκόπηση βρίσκεται νότια του επαρχιακού δρόμου Ρεθύμνου-Αγ. Γαλήνης και δυτικά του υφιστάμενου ξενοδοχείου Sky Beach Hotel (Δορυφορική εικόνα από το Google Earth).



### **3.ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

Η περιοχή που πραγματοποιήθηκαν οι γεωφυσικές διασκοπήσεις παρουσιάζει απότομη κλίση ( $\square 44^\circ$ ) προς τα νότια έχοντας μια υψομετρική διαφορά της τάξης των 28-30 μέτρων από τον επαρχιακό δρόμο στα βόρεια προς το νότιο όριο του οικοπέδου. (εικ. 2.1). Η απότομη κλίση του εδάφους και η έντονη βλάστηση που είχε το οικόπεδο αρχικά, αποτέλεσαν τις σημαντικότερες δυσκολίες για την ολοκλήρωση των γεωφυσικών μετρήσεων(Εικ.2.2). Για την διευκόλυνση των εργασιών υπαίθρου οι ιδιοκτήτες του οικοπέδου κ. Νίκος και κ. Μανώλης Τρουλινός καθάρισαν την περιοχή κατά μήκος των γραμμών που σχεδιάστηκε να πραγματοποιηθούν οι γεωφυσικές διασκοπήσεις.



**Εικόνα 3.1:** Πανοραμική άποψη της περιοχής του οικοπέδου που πραγματοποιήθηκαν οι γεωφυσικές διασκοπήσεις από τα νότια.





**Εικόνα 3.2:** Άποψη από τα νότια της απότομης τομογραφίας και της έντονης βλάστησης του οικοπέδου όπου πραγματοποιήθηκαν οι γεωφυσικές διασκοπήσεις.

Στην περιοχή επικρατεί ο σχηματισμός της Παντάνασσας που αποτελείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμους και αργίλους του ανωτέρου Μειόκαινου. Στα ανατολικά εμφανίζονται πρόσφατες αλλούβιες αποθέσεις από άμμους και ασύνδετα κροκαλοπαγή (al) και στα βόρεια εκτείνεται ο Ηωκαινικός φλύσχος της Ζώνης της Πίνδου (fo). Στην εικόνα 3.3 φαίνεται το απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη της περιοχής και στην εικόνα 3.4 παρουσιάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που υπάρχουν στο οικόπεδο και στην ευρύτερη περιοχή.



**Εικόνα 3.3:** Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής όπου πραγματοποιήθηκαν οι γεωφυσικές διασκοπήσεις. (Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ-φύλλο Μέλαμπες)



**Εικόνα 3.4:** Λεπτομέρειες των κροκαλοπαγών σχηματισμών της περιοχής έρευνας στην βόρεια άκρη του επαρχιακού δρόμου απέναντι από το υφιστάμενο ξενοδοχείο.



## 4.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

Στις γεωφυσικές έρευνες στην περιοχή χρησιμοποιήθηκε το δωδεκάκαναλο όργανο SYSCAL PRO μαζί με τον πολυπλέκτη SWITCH PRO 96 (Εικ.4.1) της εταιρείας IRIS Instruments ηλεκτρικής τομογραφίας που ανήκει στο Εργαστήριο Γεωφυσικής-Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Αρχαιοπεριβάλλοντος. Το όργανο αυτό είναι πλήρως αυτοματοποιημένο, με αυτονομία και αρκετή εσωτερική μνήμη ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων. Στο όργανο μπορούν να συνδεθούν ταυτόχρονα μέχρι 96 ηλεκτρόδια. Η αυτόματη πραγματοποίηση των μετρήσεων της αντίστασης του υπεδάφους ελέγχεται από τον πολυπλέκτη (SWITCH PRO), που συνδέεται στο όργανο μέτρησης της αντίστασης (SYSCAL PRO), μέσω ενός ειδικού αρχείου που εισάγεται στο όργανο και περιλαμβάνει την γεωμετρία της διάταξης που χρησιμοποιείται. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η συλλογή πολλών δεδομένων υψηλής ποιότητας και ευκρίνειας σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επιπλέον το όργανο έχει την δυνατότητα να πραγματοποιήσει και να αποθηκεύσει ταυτόχρονα μέχρι δέκα μετρήσεις μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο περίπου κατά δέκα φορές τον χρόνο συλλογής των δεδομένων. Για παράδειγμα μια τομογραφία που απαιτούσε την συλλογή πάνω από 1000 μετρήσεις ολοκληρώθηκε σε περίπου 15 λεπτά, ενώ ένα απλό μονοκάναλο όργανο θα χρειαζόταν πάνω από 90 λεπτά.



**Εικόνα 4.1:** Τρόπος σύνδεσης του οργάνου SYSCAL PRO με τον πολυπλέκτη SWITCH PRO για την αυτόματη μέτρηση και καταγραφή της φαινόμενης αντίστασης του υπεδάφους

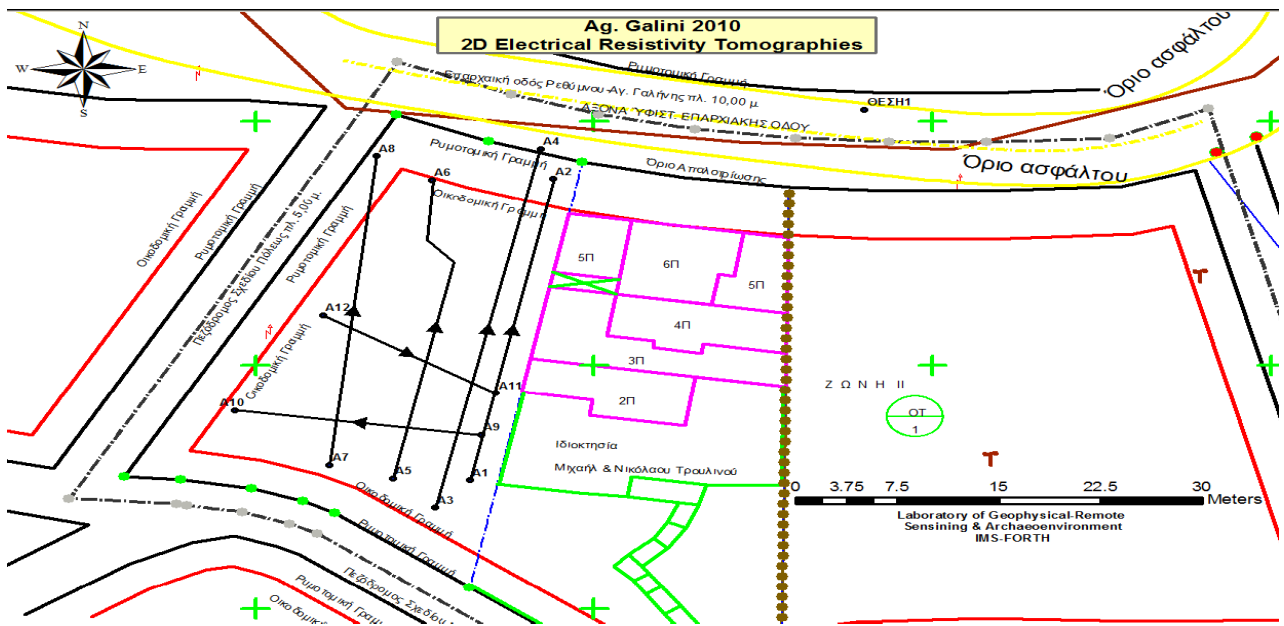
## **4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ**

Οι εργασίες πεδίου διήρκησαν μία μέρα και ολοκληρώθηκαν στις 10 Σεπτεμβρίου 2010. Ο χώρος που πραγματοποιήθηκαν οι γεωφυσικές διασκοπήσεις οριοθετήθηκε και καθορίστηκε με την βοήθεια του κ. Τρουλινού. Ο τρόπος διενέργειας των γεωφυσικών διασκοπήσεων υπαγορεύτηκε από της τοπογραφικές ιδιαιτερότητες (εμπόδια, πυκνή βλάστηση κ.λπ.) και την γενικότερη γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής έρευνας. Βασικός στόχος της γεωηλεκτρικής διασκόπησης αποτελούσε ο προσδιορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους και η συσχέτιση των πιθανά εντοπιζόμενων γεωφυσικών ανωμαλιών με την τοπική γεωλογική και γεωτεχνική δομή της περιοχής.

Στην περιοχή επιλέχτηκε να εφαρμοστεί η μέθοδος της δισδιάστατης γεωηλεκτρικής τομογραφίας που είχε στόχο την απεικόνιση της στρωματογραφίας του υπεδάφους κατά μήκος έξι συγκεκριμένων οδεύσεων. Η θέση των οδεύσεων **A1-A2, A3-A4, A5-A6, A7-A8, A9-A10, A11-A12** στο τοπογραφικό διάγραμμα απεικονίζονται στην εικόνα 3.3. Τα βέλη κατά μήκος των γραμμών αντιπροσωπεύουν την διεύθυνση των οδεύσεων. Εξαιτίας των επιφανειακών εμποδίων λόγω της πυκνής βλάστησης η τομή **A5-A6** ακολούθησε μια τεθλασμένη γραμμή και όχι ευθεία διεύθυνση. Το γεγονός αυτό λήφθηκε υπόψη στη μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων.

Σε όλες τις τομογραφίες εφαρμόστηκαν οι διατάξεις Διπόλου-Διπόλου και Βαθμίδας για την συλλογή των δεδομένων. Οι δυο αυτές διατάξεις θεωρήθηκαν ως οι πλέον κατάλληλες για την πραγματοποίηση της έρευνας καθώς είναι δυνατό να συλλεχθούν αξιόπιστα δεδομένα σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Το όργανο προγραμματίστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε σημείο μέτρησης της αντίστασης να δειγματοληπτείται τουλάχιστον τρεις φορές. Με αυτόν τον τρόπο ήταν δυνατό να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα αλλά και να καταγραφεί το σφάλμα της κάθε μέτρησης. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά για κάθε μια τομή συνοψίζονται στον πίνακα 4.1 ενώ στην εικόνα 4.3 αποτυπώνονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των πρωτοκόλλων μέτρησης που εισάχθηκαν στο όργανο για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.



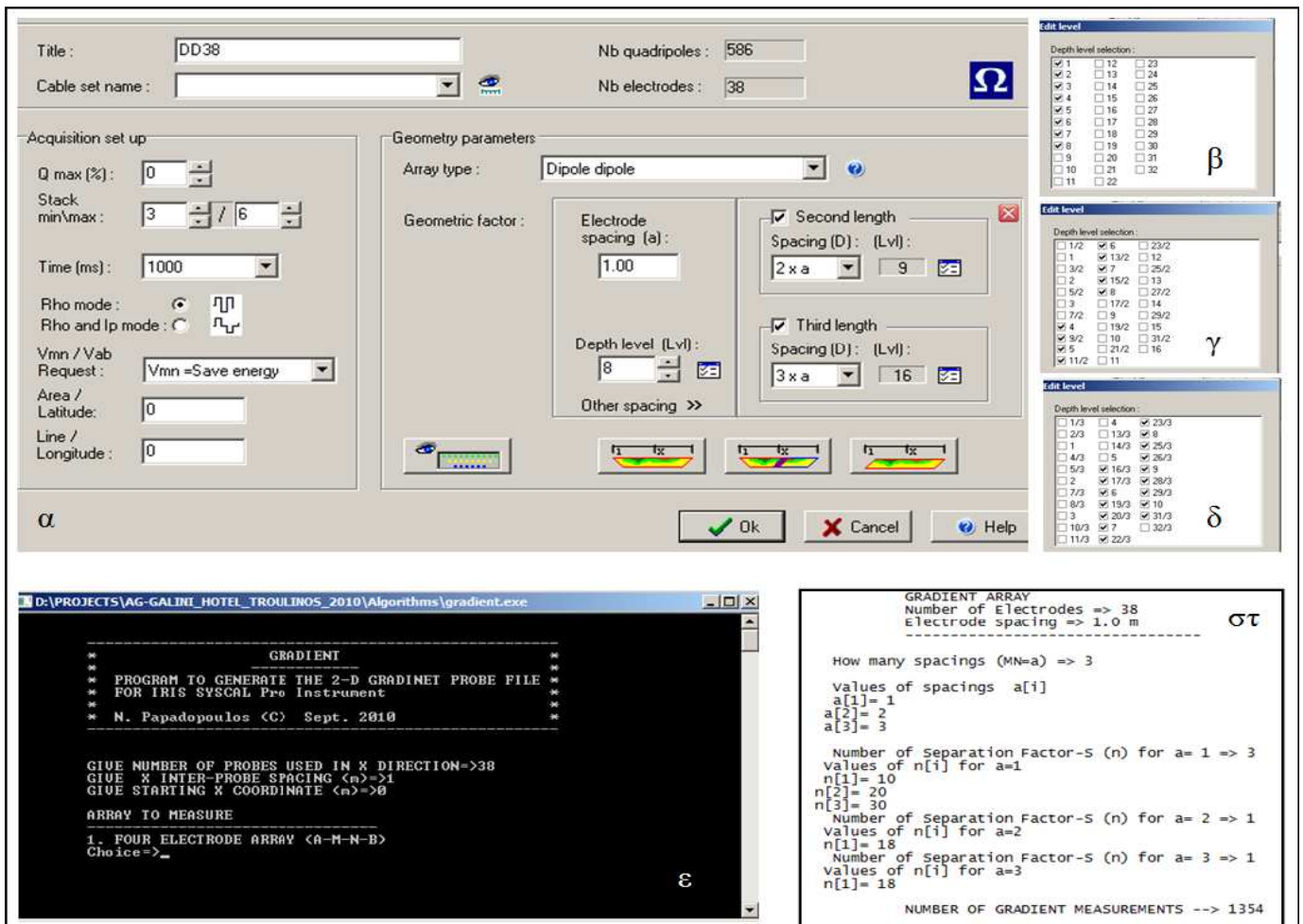


**Εικόνα 4.2:** Διεύθυνση των οδεύσεων κατά μήκος των οποίων πραγματοποιήθηκαν οι γεωηλεκτρικές τομογραφίες

Η συλλογή δεδομένων φαινόμενης αντίστασης κάνοντας χρήση διαφορετικών διατάξεων ηλεκτροδίων βοηθάει στην βελτιστοποίηση της ποιότητας της παραγόμενης εικόνας κατανομής των αντιστάσεων του υπεδάφους. Κάθε διάταξη έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και είναι δυνατό να δώσει επιπλέον πληροφορίες για την δομή του υπεδάφους. Γενικά, ο συνδυασμός δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές διατάξεις μπορεί να βοηθήσει στην παραγωγή ενός αξιόπιστου γεωηλεκτρικού μοντέλου, ειδικά στις περιπτώσεις που η γεωλογία της εκάστοτε περιοχής είναι εξαιρετικά πολύπλοκη ή δεν υπάρχει καμία εκ των προτέρων πληροφορία.

ΤΟΜΗ	ΗΛΕΚ ΤΡΟΔ ΙΑ	ΜΗΚΟΣ( m)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔ ΙΩΝ α(m)	DD	GRA D	ΣΥΝ ΟΛΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ(m)
A1-A2(line 1)	33	32	1	469	1349	1818	9
A3-A4(line 2)	38	37	1	637	1390	2027	9
A5-A6(line 3)	33	32	1	469	1349	1818	9
A7-A8(line 4)	33	32	1	469	1349	1818	9
A9-A10(line 5)	19	18	1	315	293	608	6
A11-A12(line 6)	16	15	1	212	162	374	6
				2571	5892	8463	
				DD=ΔΙΠΟΛ ΟΥ- ΔΙΠΟΛΟΥ	GRA D=ΒΑ ΘΜΙΔ ΑΣ		

**Πίνακας 4.1:** Τεχνικές λεπτομέρειες συλλογής των τομογραφικών γεωηλεκτρικών δεδομένων.



**Εικόνα 4.3:** α) Γενικές επιλογές που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των πρωτοκόλλων μέτρησης της ειδικής φαινόμενης αντίστασης με την διάταξη Διπόλου-Διπόλου. β,γ,δ) Διαφορετικά επίπεδα βάθους για την περίπτωση που η απόσταση των ηλεκτροδίων ήταν  $a=1,2,3$  m αντίστοιχα. ε) Ειδικό πρόγραμμα που κατασκευάστηκε για την δημιουργία των πρωτοκόλλων μέτρησης με την διάταξη της βαθμίδας (Gradient). στ) Παράμετροι για την κατασκευή των πρωτοκόλλων μέτρησης με την διάταξη βαθμίδας.

Για την τοπογραφική αποτύπωση των σημείων που φαίνονται στην εικόνα 4.2 χρησιμοποιήθηκε η μονάδα GPS LEICA GS20 (Εικ. 4.4) του Εργαστηρίου Γεωφυσικής-Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Αρχαιοπεριβάλλοντος. Η ακρίβεια των συντεταγμένων (X,Y) των σημείων μετά από την διόρθωση που υπέστησαν τα αρχικά δεδομένα ήταν μικρότερη από ένα μέτρο. Τα δεδομένα καταγράφηκαν αρχικά στο Ελληνικό Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87) και στην συνέχεια οι συντεταγμένες των σημείων μετατράπηκαν στο σύστημα των τριών μοιρών του ΥΠΕΧΩΔΕ στο οποίο ήταν κατασκευασμένο το τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής κάνοντας χρήση του προγράμματος GOORD\_GR. Τα αποτελέσματα μετατροπής φαίνονται στον πίνακα 4.2.



**Εικόνα 4.4:** Μονάδα GPS LEICA GS20 που χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση των σημείων.

NAME	EAST(m)	NORTH(m)	ELEVATION(m)
A1	288690,8437	122163,1258	13,5503
A3	288688,272	122160,3233	12,6346
A9	288691,6845	122167,7746	16,8638
A11	288692,7725	122172,0773	20,2556
A5	288685,1893	122163,3071	16,5092
A7	288680,5239	122164,7083	16,7953
A10	288673,5341	122170,2969	14,598
ΘΕΣΗ 1	288719,9733	122201,1574	35,0807
A6	288688,0742	122193,9368	32,9182
A8	288683,9693	122196,4096	33,1082
A4	288696,0696	122197,1185	-
A2	288697,0093	122194,0605	-
A12	288679,9964	122180,0809	-

**Πίνακας 4.2:** Συντεταγμένες των σημείων των ηλεκτρικών τομογραφιών στο σύστημα των τριών μοιρών του ΥΠΕΧΩΔΕ.

Στις επόμενες εικόνες φαίνονται λεπτομέρειες από την διεξαγωγή των μετρήσεων υπαίθρου. Επίσης από την ΘΕΣΗ 1 που βρίσκεται στα βόρεια του υφιστάμενου ξενοδοχείου πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία εδάφους από το πρανές που βρίσκεται



στην άκρη του δρόμου με ένα χειροκίνητο τρυπάνι στην άκρη του οποίου υπήρχε ένας δειγματολήπτης για την αποθήκευση του εδαφικού δείγματος.





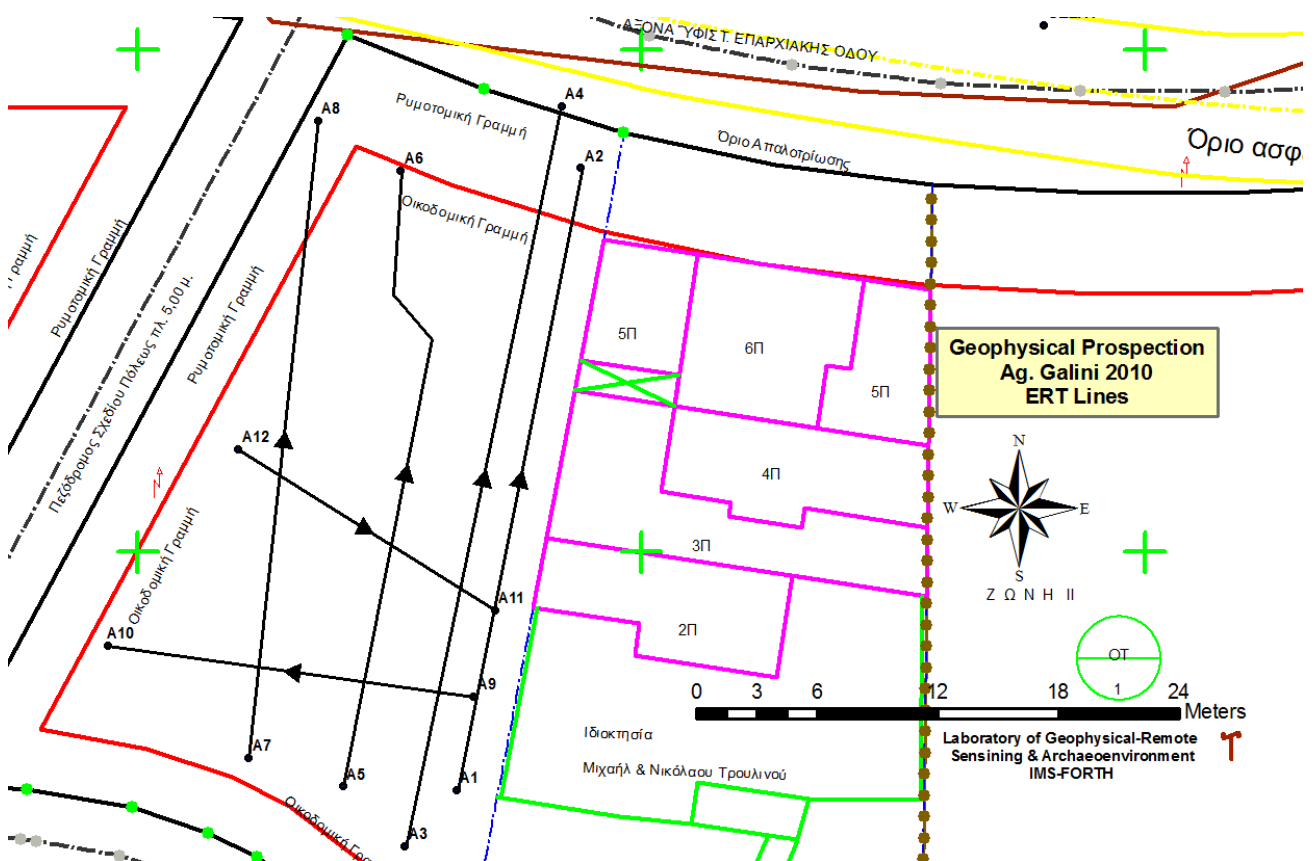


**Εικόνα 4.5:** Στις παραπάνω εικόνες φαίνονται λεπτομέρειες από τις μετρήσεις υπαίθρου με την ηλεκτρική τομογραφία.



## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ

Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η κάλυψη του οικοπέδου με τις συνολικά 6 δισδιάστατες γεωηλεκτρικές τομογραφίες. Οι τομές Line 1 (A1-A2), Line 2 (A3-A4), Line 3 (A5-A6) και Line 4 (A7-A8) είχαν διεύθυνση από Νότο προς Βορρά και ήταν σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους. Η τοποθέτηση των γραμμών έγινε κατά μήκος συγκεκριμένων οδούσεων οι οποίες καθαρίστηκαν από τη πυκνή βλάστηση έτσι ώστε να είναι δυνατή η ολοκλήρωση των μετρήσεων. Για το λόγο αυτό η απόσταση μεταξύ των γραμμών δεν μπορούσε να διατηρηθεί σταθερή και κυμάνθηκε από 2 μέτρα μεταξύ των γραμμών Line 1 και Line 2, σε 4 μέτρα μεταξύ των γραμμών Line 2 και Line 3 και σε 6 μέτρα μεταξύ των γραμμών Line 3 και Line 4. Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν 2 επιπλέον μικρότερες τομές με διεύθυνση Ανατολή-Δύση στα νότια του οικοπέδου (Line 5, Line 6).

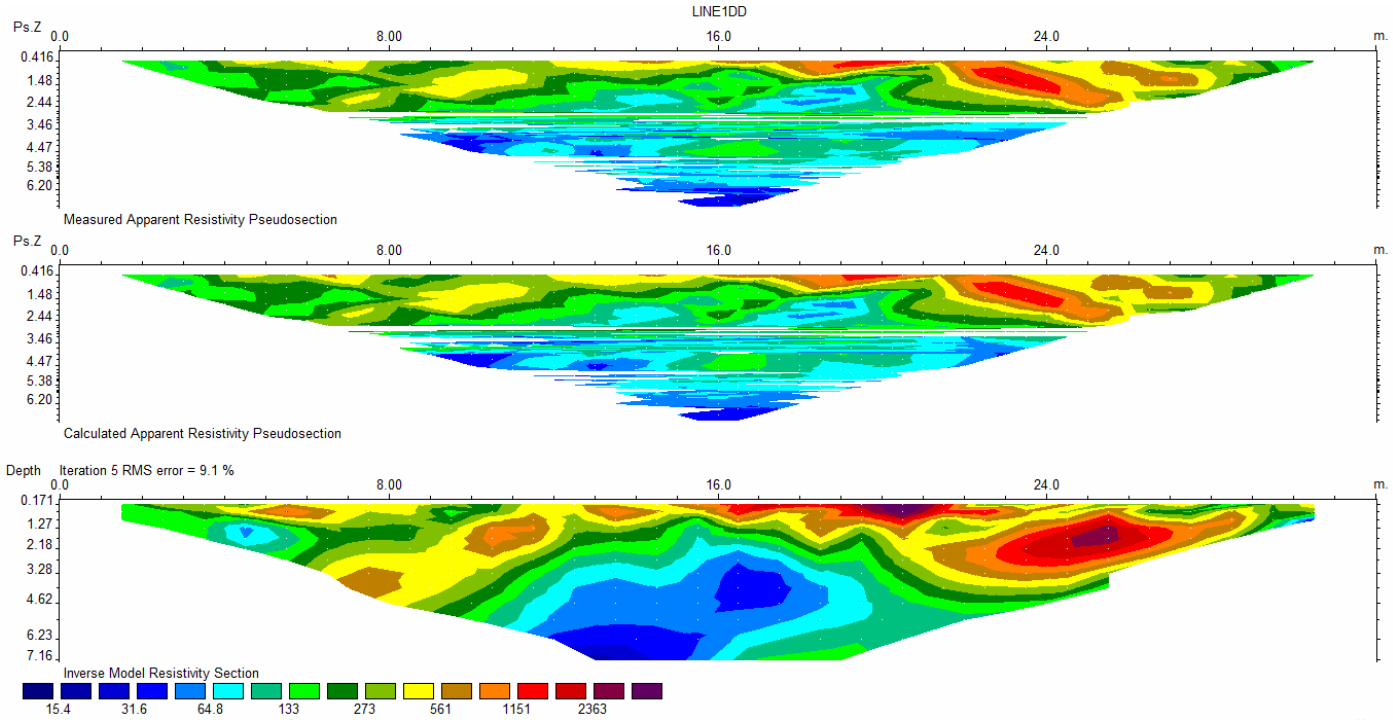


Στις εικόνες που ακολουθούν στις επόμενες σελίδες, παρουσιάζονται με τη μορφή εγχρωμών χαρτών τα αποτελέσματα της επεξεργασίας όλων των γεωηλεκτρικών τομών. Για τη παρουσίαση και τη δυνατότητα άμεσης σύγκρισης των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε για όλους τους χάρτες μία ενιαία χρωματική κλίμακα, στην οποία τα

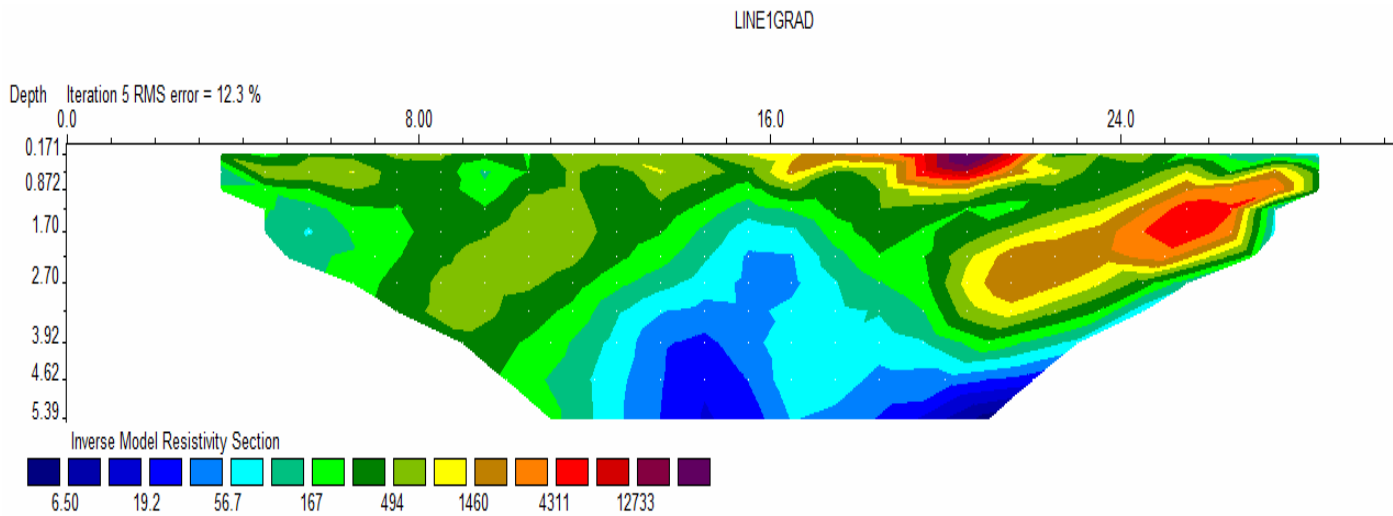
θερμά (αποχρώσεις κόκκινου) και τα ψυχρά (αποχρώσεις μπλε) χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλές και χαμηλές αντίστοιχα τιμές των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων του υπεδάφους. Για την κατασκευή των χαρτών χρησιμοποιήθηκε λογαριθμική κλίμακα για να εξομαλυνθούν οι ενδεχόμενες μεγάλες εναλλαγές των τιμών της ειδικής αντίστασης. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα γεωηλεκτρικά μοντέλα του υπεδάφους που προέκυψαν από τη δισδιάστατη αντιστροφή των δεδομένων των διατάξεων Διπόλου-Διπόλου και βαθμίδας για κάθε μία από τις 6 διαφορετικές τομές. Επίσης, τα δεδομένα Διπόλου-Διπόλου και βαθμίδας επεξεργάστηκαν ταυτόχρονα ούτως ώστε να προκύψει το συνδυαστικό γεωηλεκτρικό μοντέλο του υπεδάφους για κάθε μία όδευση. Παρουσιάζεται επίσης, ο χάρτης διασκόρπισης σημείων όπου φαίνεται η τρισδιάστατη χωροθέτηση των τομών και των αποτελεσμάτων στο χώρο του οικοπέδου. Παρουσιάζονται οριζόντιες, κατακόρυφες και πλάγιες τομές οι οποίες εξήχθησαν από το ψευδο-τρειςδιάστατο γεωηλεκτρικό μοντέλο της περιοχής, το οποίο κατασκευάστηκε από τη σύνθεση των αποτελεσμάτων των τομών θεωρώντας ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Κατασκευάστηκαν επίσης χάρτες τρισδιάστατων ισοεπιφανειών αντίστασης που αντιπροσωπεύουν ένα συγκεκριμένο γεωλογικό σχηματισμό και ισοβαθών που δείχνουν την μεταβολή του βάθους για ένα συγκεκριμένο σχηματισμό. Τα σφάλματα των μοντέλων με τη διάταξη Διπόλου-Διπόλου κυμάνθηκαν μεταξύ 2.9 % και 6.9 %, για την διάταξη βαθμίδας 1.9 %-3.2 % ενώ για τα συνδυαστικά γεωηλεκτρικά μοντέλα τα τελικά σφάλματα ήταν 2.8 %-4.7 %. Σε γενικές γραμμές και λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνικές δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων, λόγω της πυκνής βλάστησης, της απότομης κλίσης και της αδυναμίας μερικές φορές της σωστής τοποθέτησης των ηλεκτροδίων στο έδαφος λόγω ύπαρξης μπαζών σε μερικά σημεία, τα σφάλματα (RMS:μέσω τετραγωνικό σφάλμα) των τελικών μοντέλων βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια και μπορεί να θεωρηθεί ότι αυτά τα γεωηλεκτρικά μοντέλα αντικατοπτρίζουν την πραγματική γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους και κατ' επέκταση προσεγγίζουν με αρκετή πιστότητα τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής. Εκτός από τα σχετικά χαμηλά σφάλματα των τελικών μοντέλων, παρατηρείται επίσης η ισοδυναμία και συγκριτική ομοιότητα των γεωηλεκτρικών μοντέλων του υπεδάφους που προέκυψαν για κάθε μία τομή για τα δεδομένα των διατάξεων Διπόλου-Διπόλου, βαθμίδας και το συνδυασμό τους. Η επιβεβαίωση των τελικών αποτελεσμάτων με βάση τις διαφορετικές διατάξεις ενισχύει ακόμα περισσότερο την άποψη ότι τα μοντέλα αυτά περιγράφουν με μεγάλη ακρίβεια την γεωλογική δομή του υπεδάφους στην περιοχή.

# ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

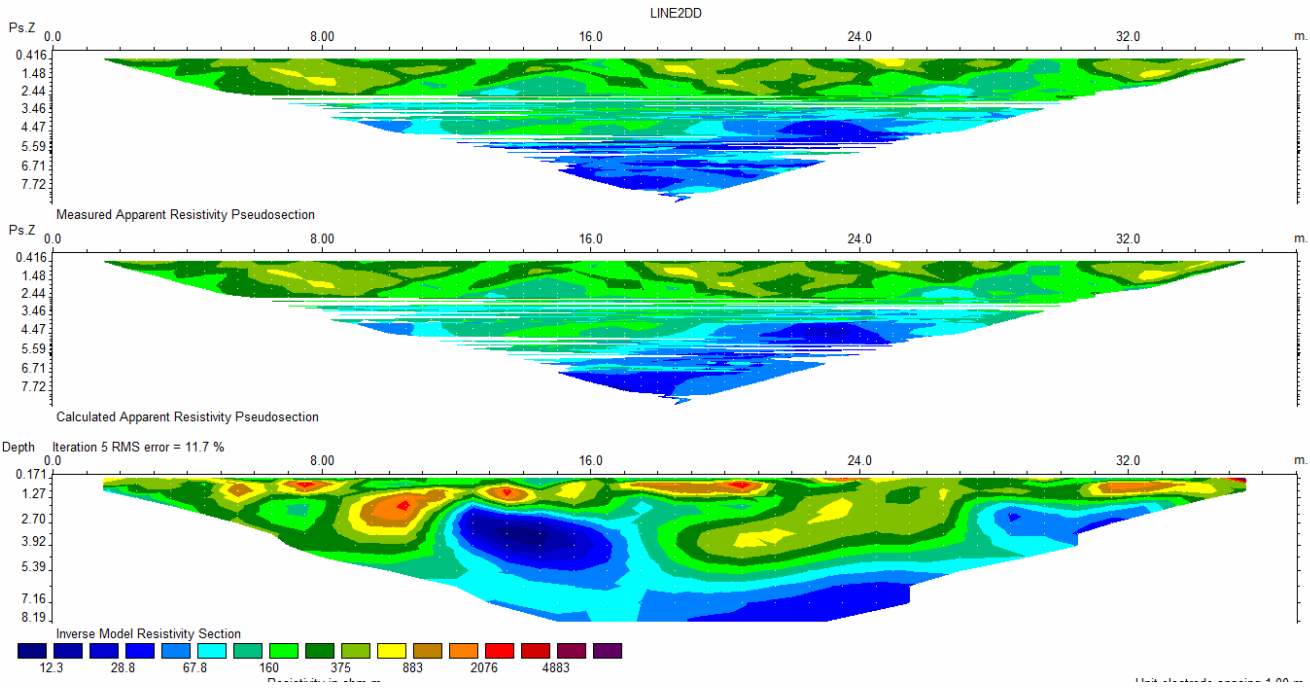
## Line1dd



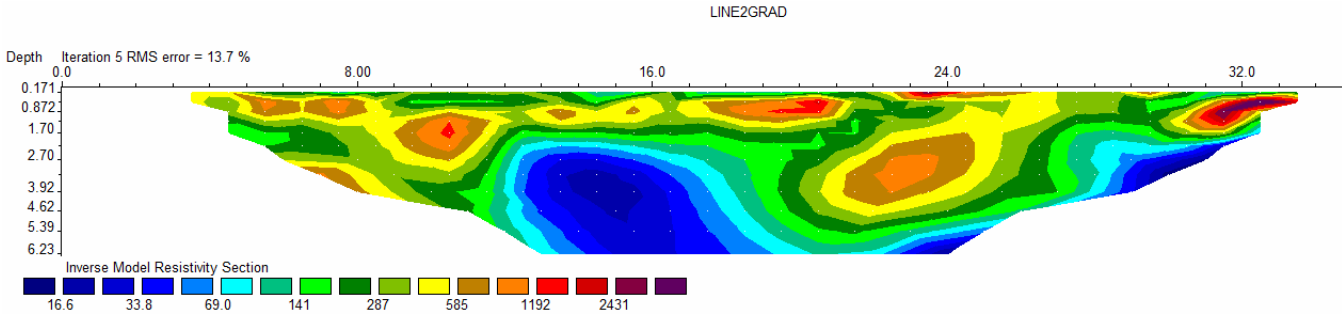
## Line1grad



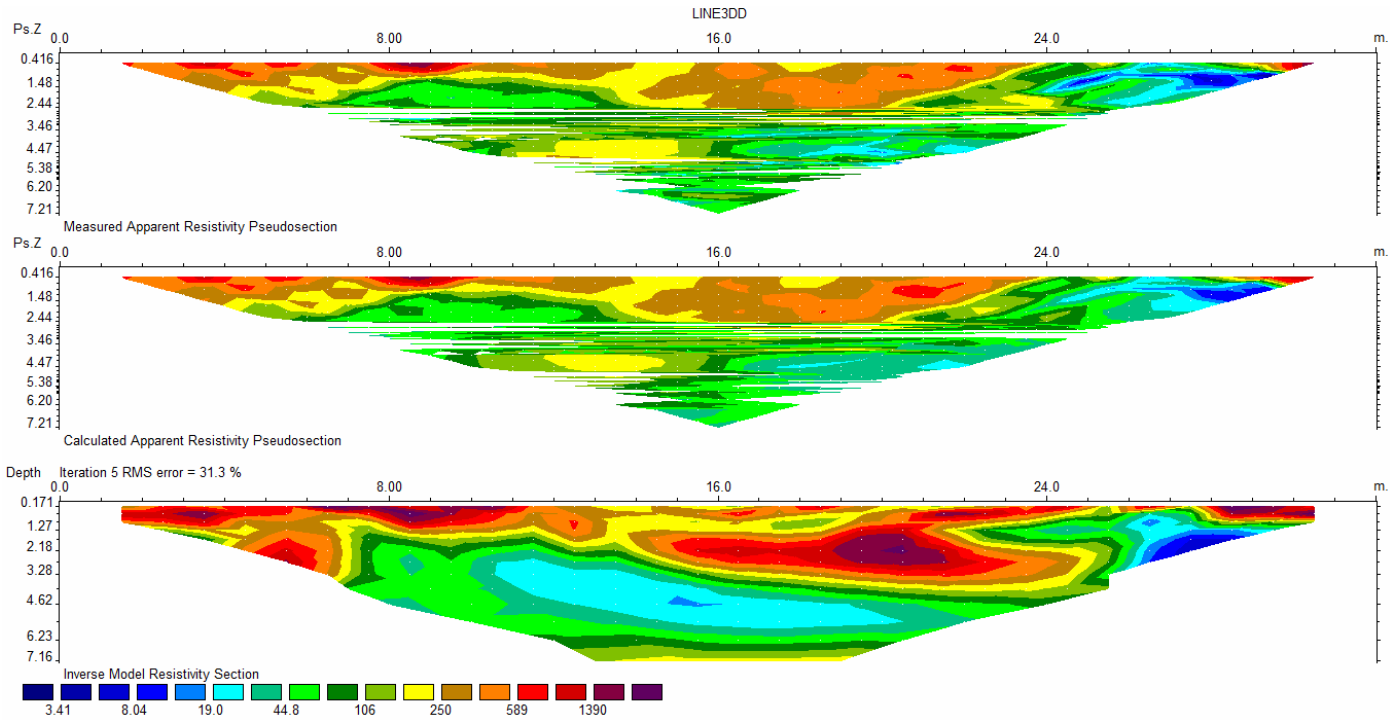
# Line2dd



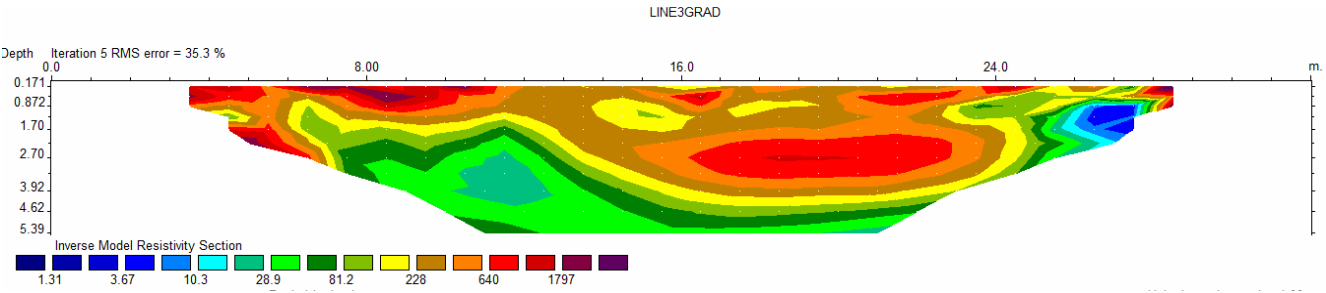
# Line2grad



# Line3dd

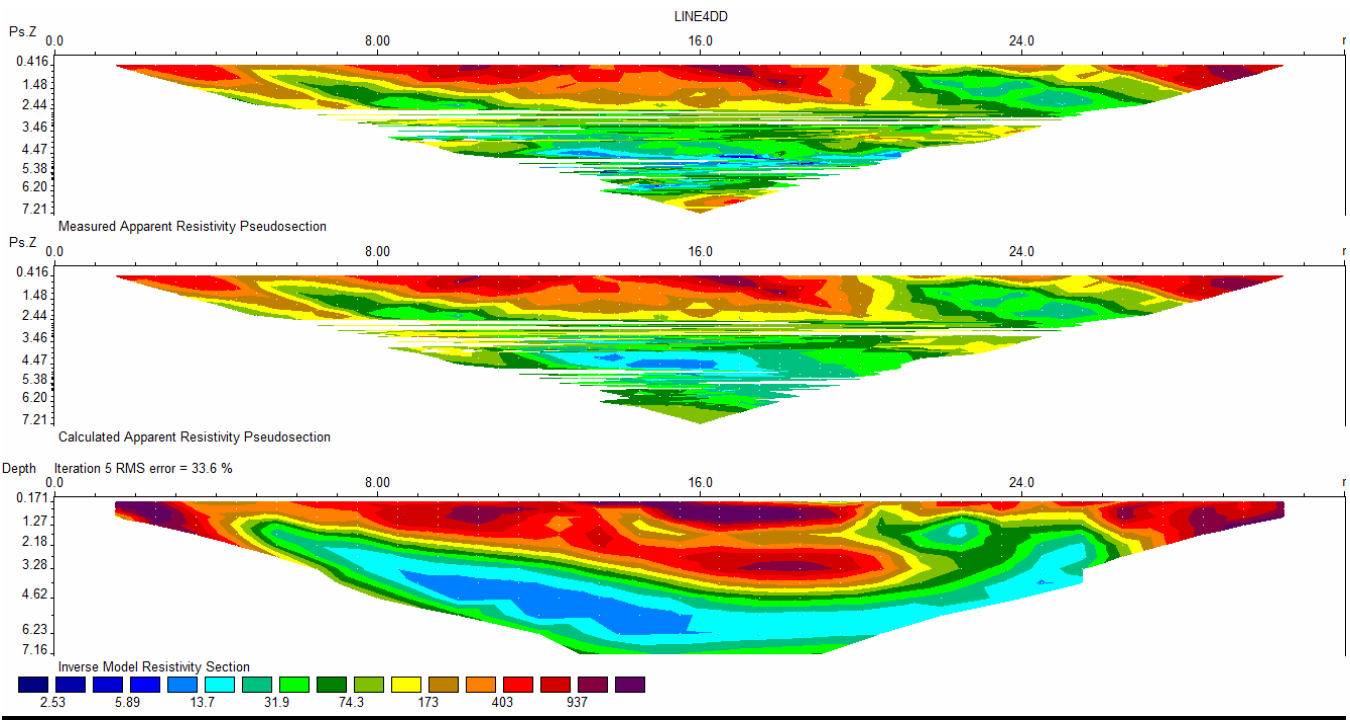


# Line3grad

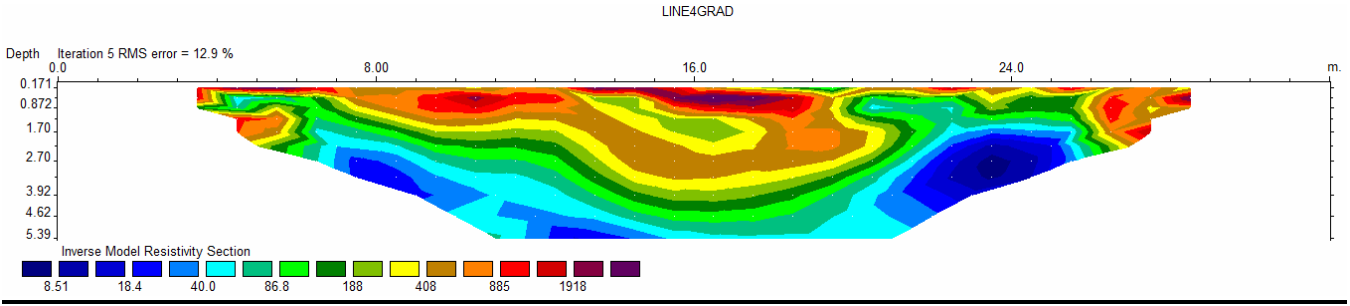




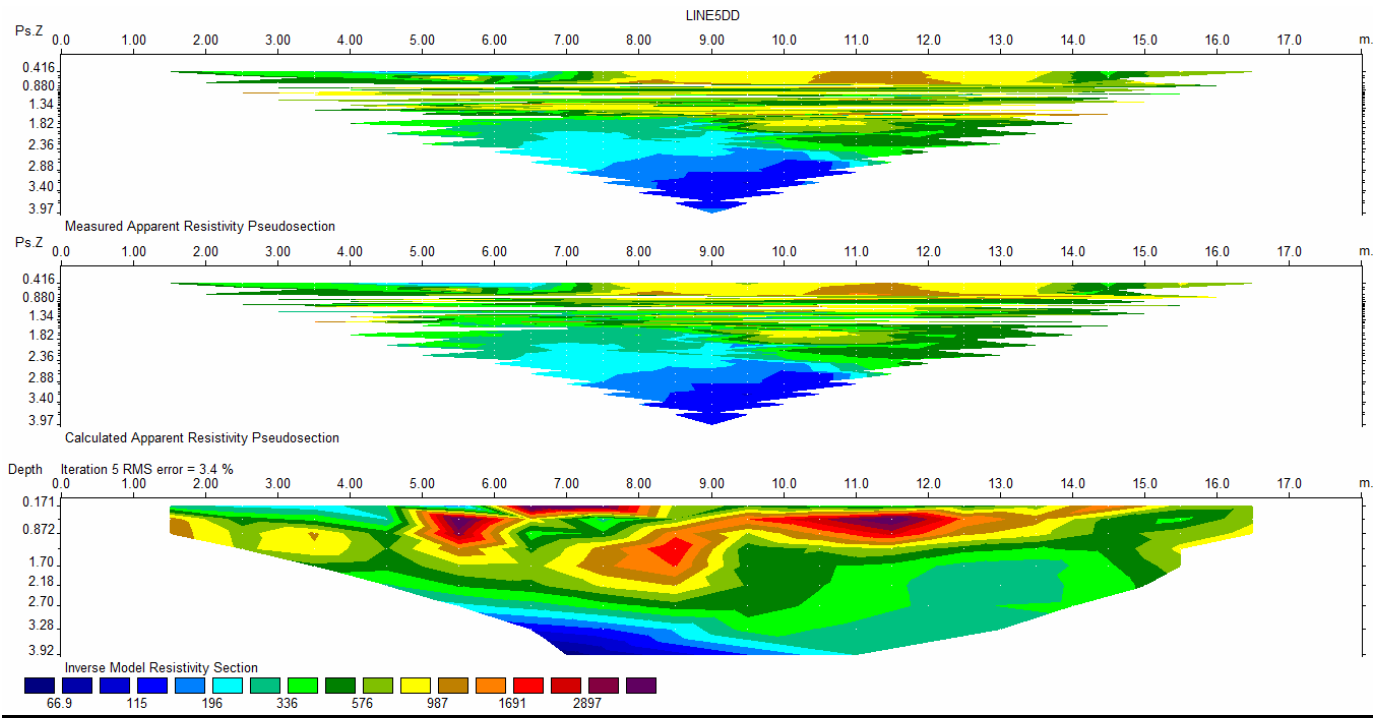
# Line4dd



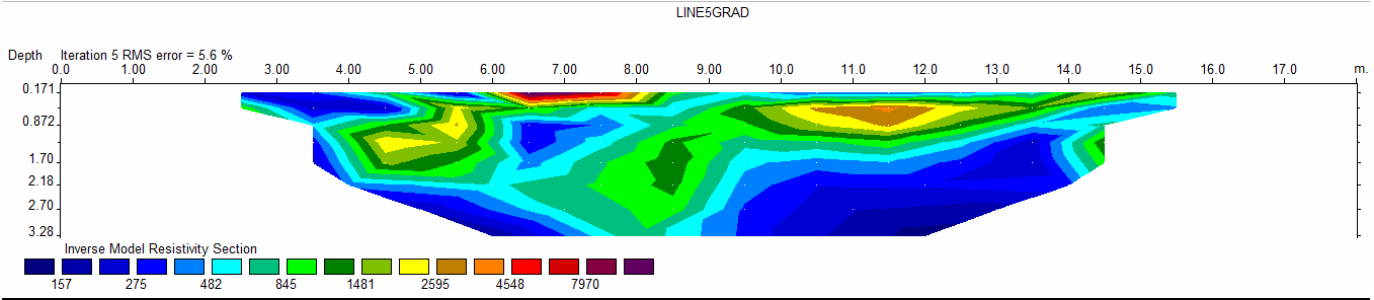
# Line4grad



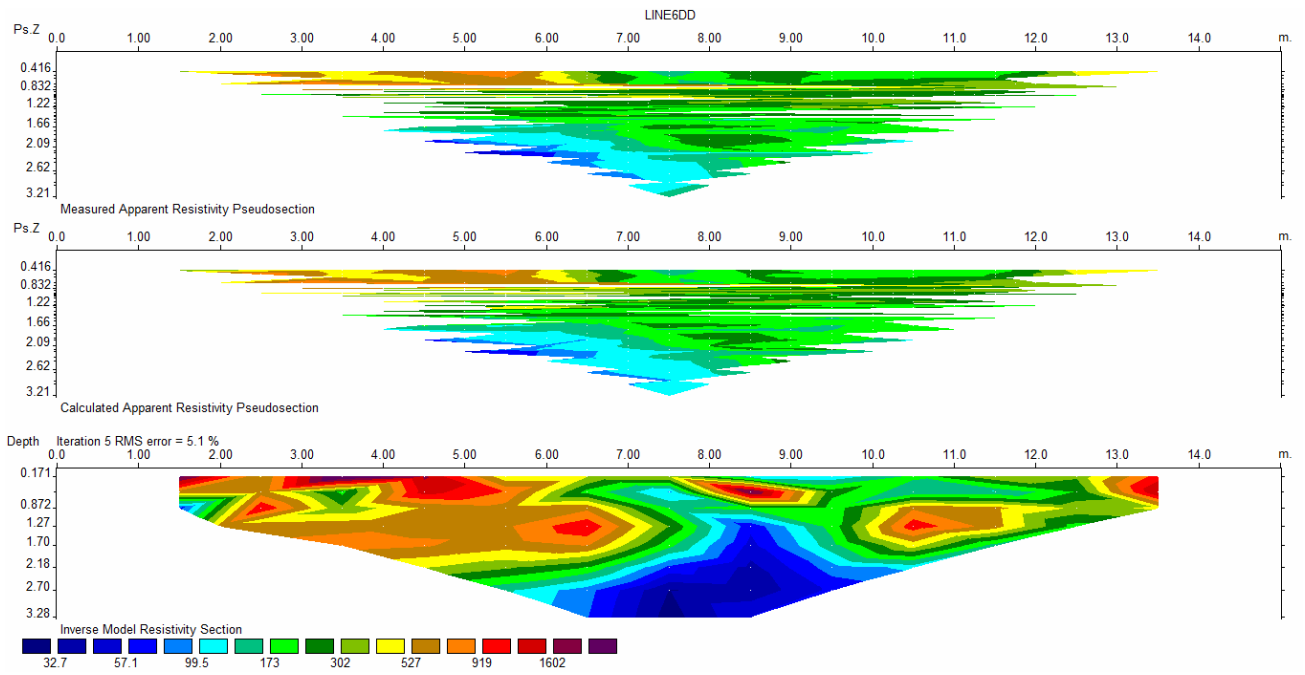
# Line5dd



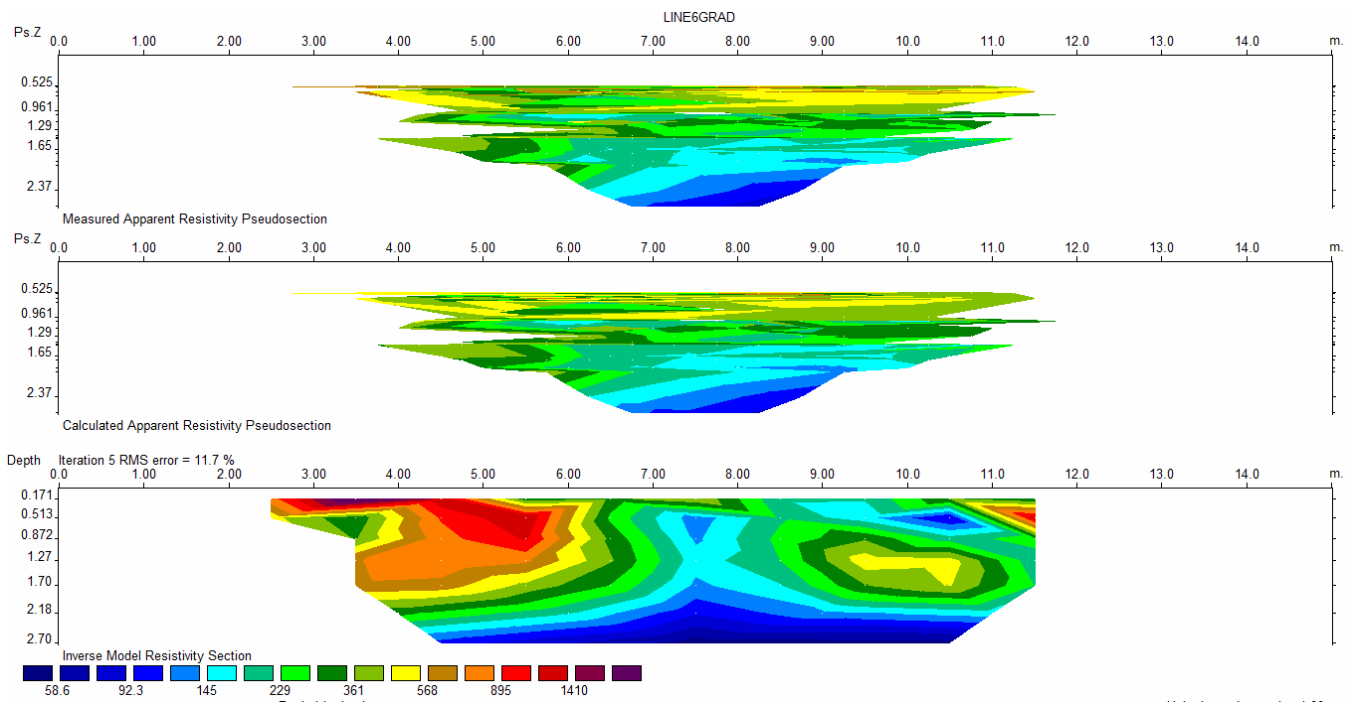
# Line5grad



# Line6dd

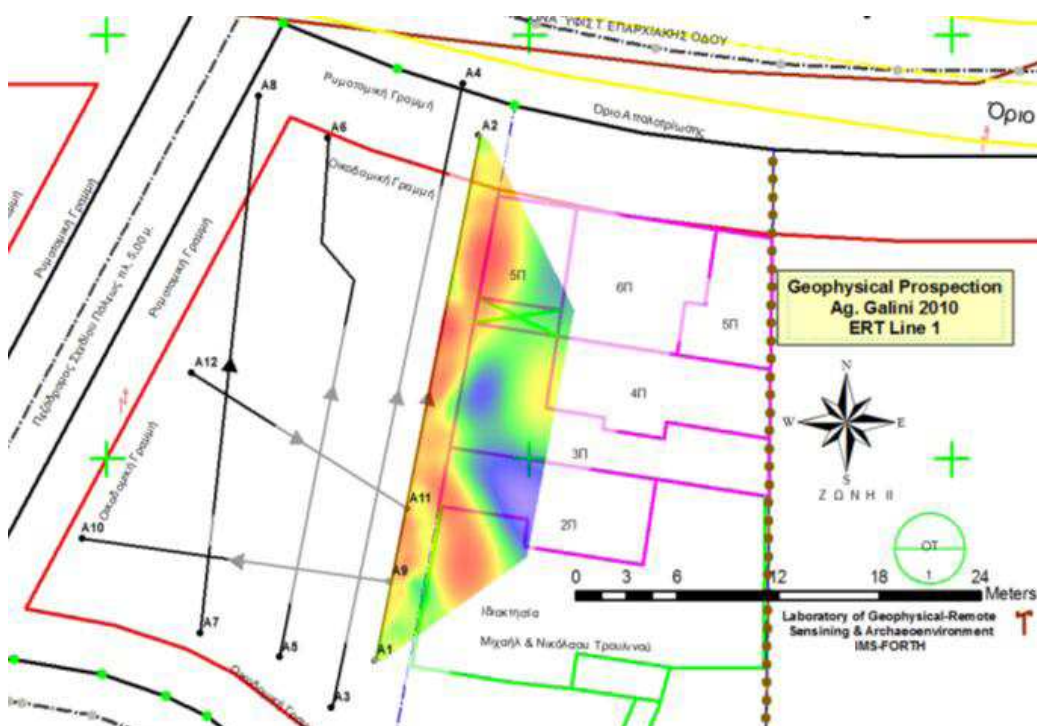


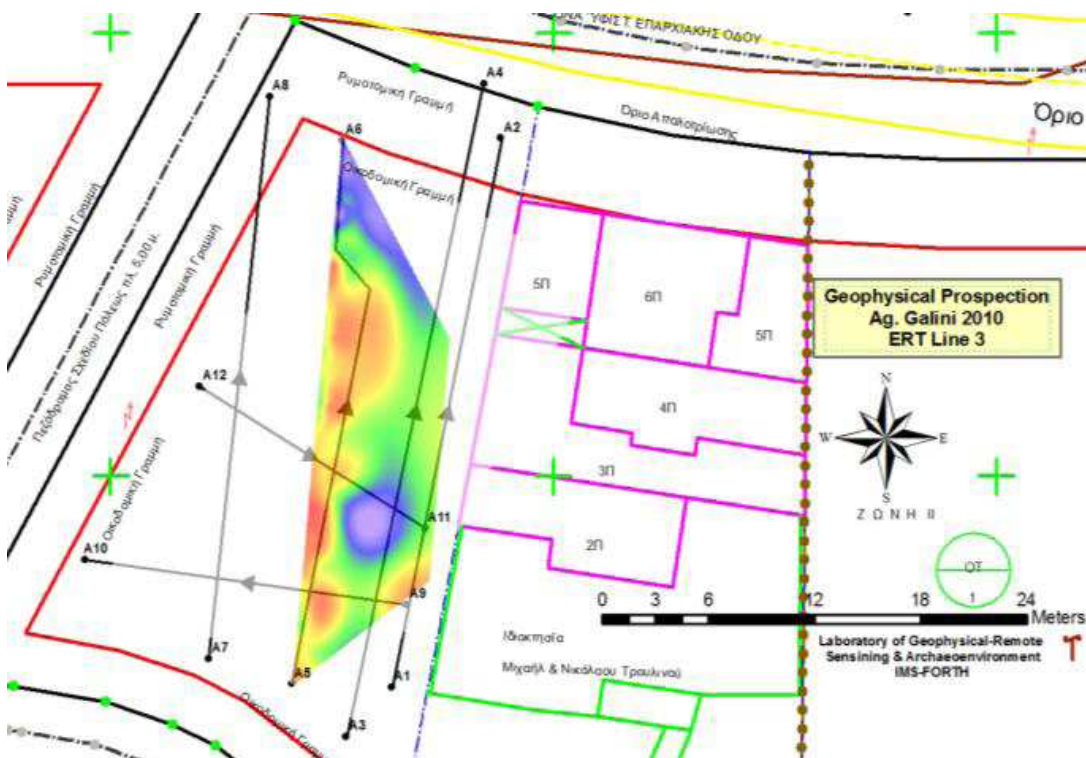
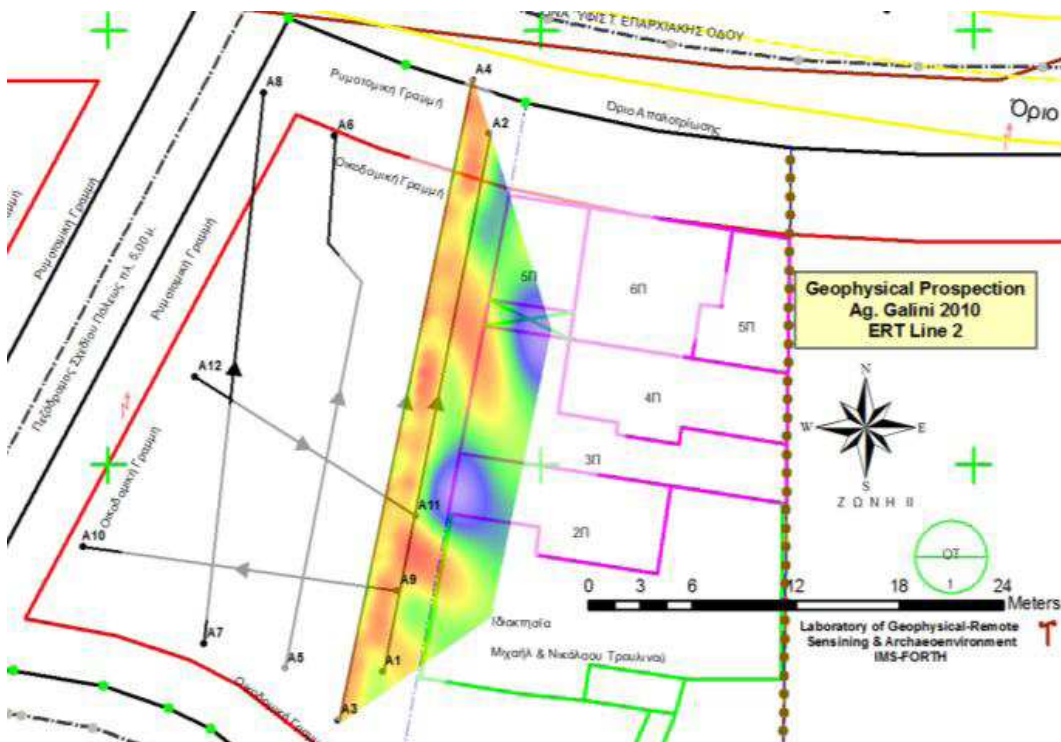
# Line6grad



## 6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ

Οι χάρτες της γεωηλεκτρικής τομογραφίας που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων της διάταξης Διπόλου-Διπόλου γεωαναφέρθηκαν και στο τοπογραφικό σύστημα των τριών μοιρών και εισήχθησαν σε μια πλατφόρμα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την ολοκληρωμένη διαχείριση και ερμηνεία της πληροφορίας. Το τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής αποτέλεσε το υπόβαθρο πάνω στο οποίο έγινε η υπέρθεση των χαρτών. Οι γραμμές Line1, Line2 και Line3 δείχνουν μεταξύ τους μια παρόμοια γεωηλεκτρική δομή με το βάθος, η οποία δείχνει την συνέχεια παρόμοιων γεωλογικών σχηματισμών πηγαινόντας από τα ανατολικά, που βρίσκεται η πρώτη τομή δίπλα στο υφιστάμενο ξενοδοχείο προς τα δυτικά που πραγματοποιήθηκε η τομή Line 3. Πιο συγκεκριμένα στην νότια πλευρά του οικοπέδου εντοπίζεται ένας σχηματισμός με ελαφρά κλίση προς το νότο που έχει ειδική αντίσταση μεγαλύτερη από 500 Ohm-m ( $\rho > 500$ , κόκκινο) και πάχος 5-6 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Ανεβαίνοντας προς τα βόρεια ο σχηματισμός αυτός λεπταίνει προς το κέντρο του οικοπέδου έχοντας πάχος 1-1.5 μέτρο και καταλήγει στα βόρεια να έχει πάχος 3-3.5 μέτρα. Κάτω από τον παραπάνω σχηματισμό βρίσκεται μια δομή με ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 70 και 500 Ohm-m ( $70 < \rho < 500$ , πράσινο) που συνεχίζεται σε όλη την έκταση, από τα νότια προς τα βόρεια κατά μήκος όλων των τομών. Τέλος, σε κατά τόπους θέσεις στο βόρειο (Line 3), κεντρικό και νότιο (Line 1, Line 2) τμήμα του οικοπέδου εγγράφονται κάποιες γεωφυσικές ανωμαλίες χαμηλών ειδικών αντιστάσεων που κυμαίνονται μεταξύ 10 και 70 Ohm-m ( $10 < \rho < 70$ , μπλε).



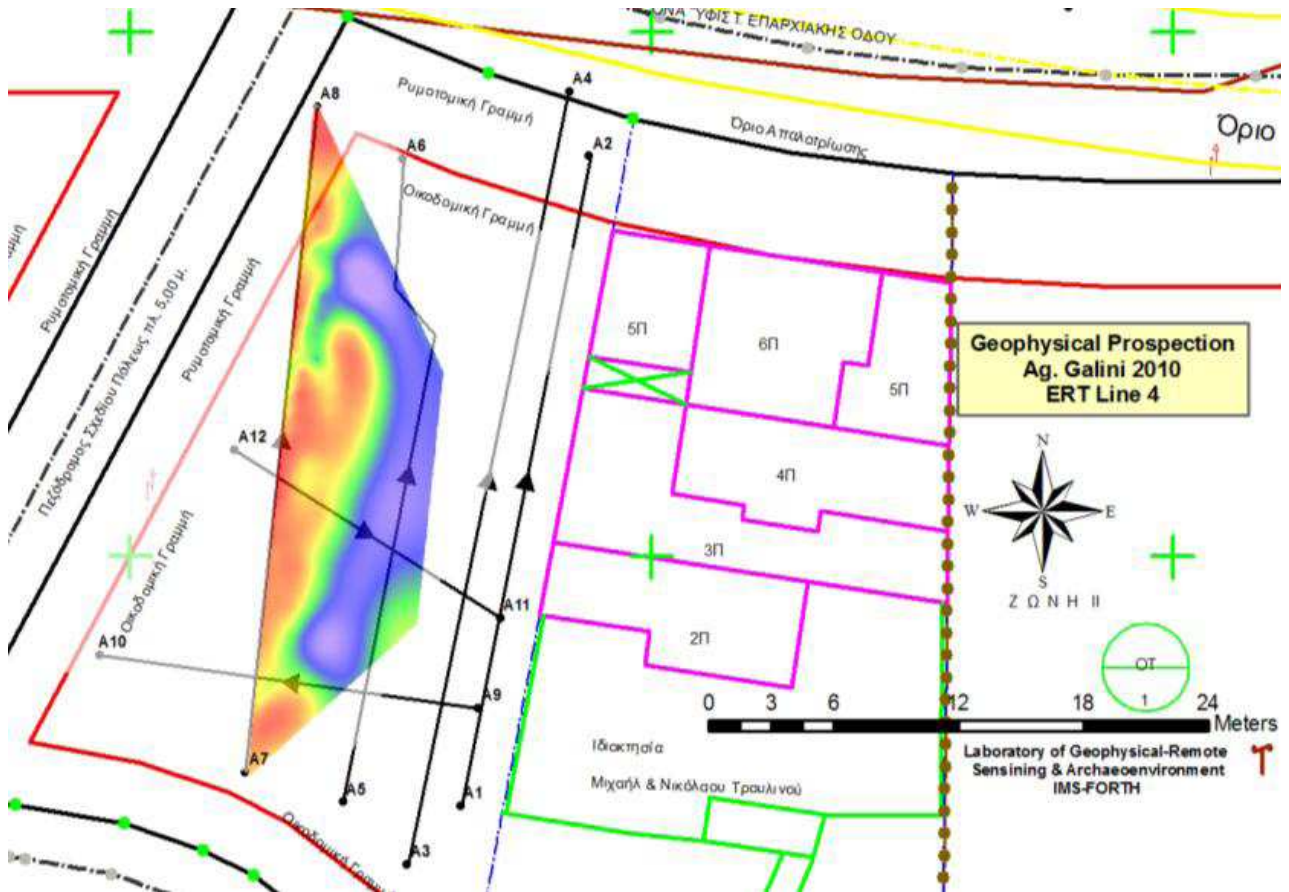


**Εικόνα 6.1:**Υπέρθεση των τομών Line 1, Line 2 και Line 3 στο τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής.

Οι ίδιοι γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί εντοπίζονται κατά μήκος της τομής Line 4 με μια σχετική διαφοροποίηση όσον αφορά τη δομή των υψηλών αντιστάσεων ( $\rho > 500$ , κόκκινο) η οποία στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται λεπτότερη στ βόρεια και νότια (1.5

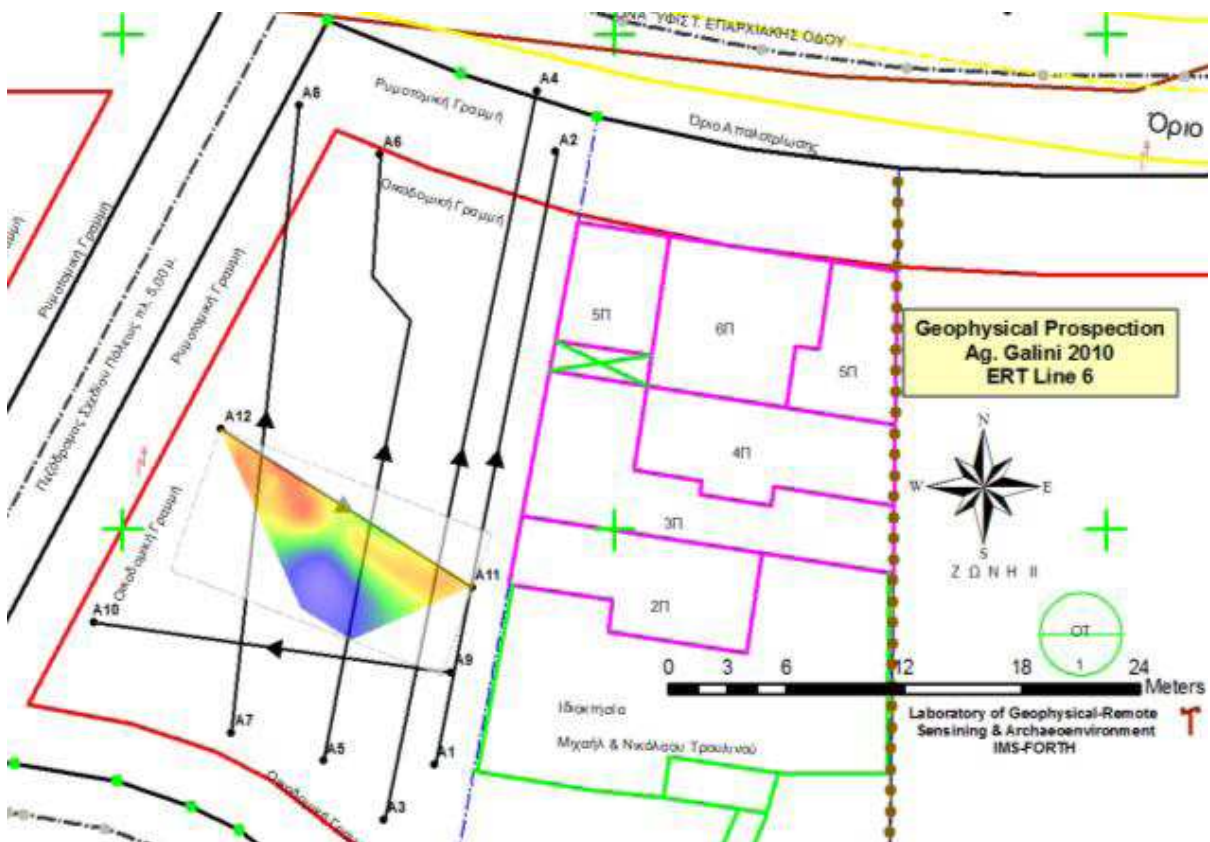
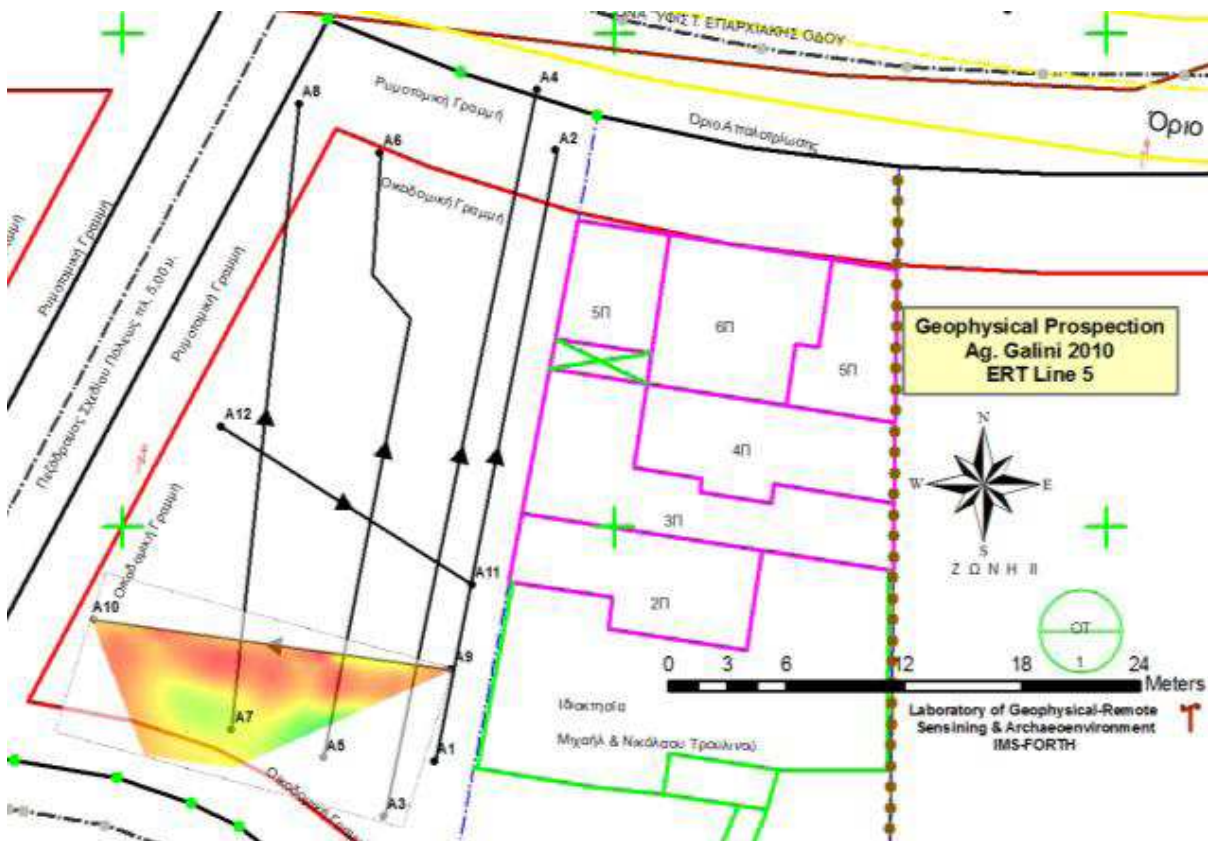


m) και παχύτερη (4 m) στο κέντρο του οικοπέδου. Η κυριότερη διαφορά εντοπίζεται στο γεγονός της ύπαρξης ενός πιο εκτεταμένου και συνεχόμενου στρώματος χαμηλών αντιστάσεων ( $10 < \rho < 70$ , μπλε) σε όλο το μήκος της τομής που βρίσκεται κάτω από το στρώμα των μεσαίων ειδικών αντιστάσεων ( $70 < \rho < 500$ , πράσινο).



**Εικόνα 6.2:** Υπέρθωση της τομής Line 4 στο τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής.

Στις τομές Line 5 και Line 6 εμφανίζεται πάλι ο σχηματισμός των υψηλών αντιστάσεων με πάχος 2.5-2.7 μέτρα και στη γραμμή Line 6 εντοπίζεται πάλι ο σχηματισμός των χαμηλών αντιστάσεων.

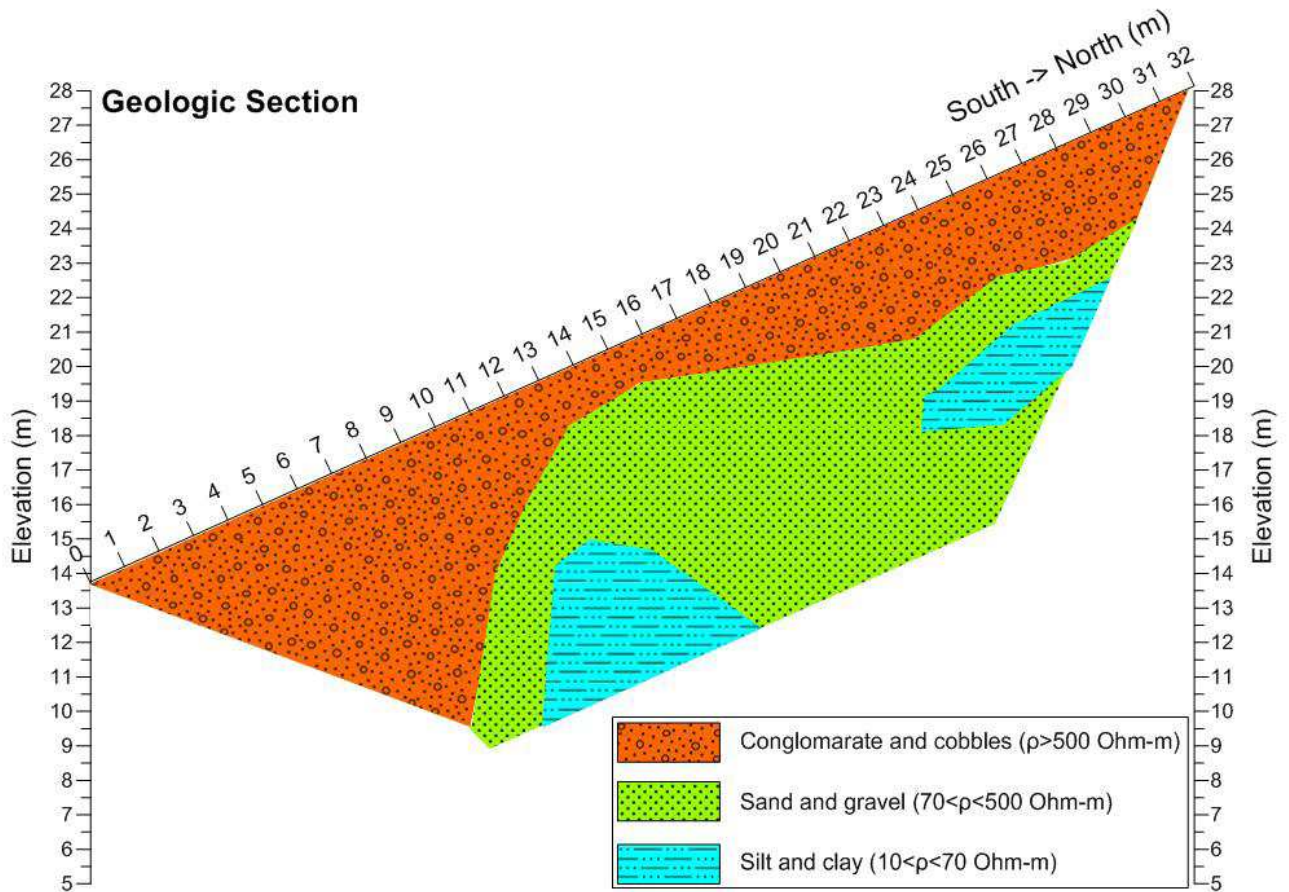


**Εικόνα 6.3:** Υπέρθηση των τομών Line 5 και Line 6 στο τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής.

Στην εικόνα 5.4 παρουσιάζεται μια γενικευμένη γεωλογική τομή διεύθυνσης Νότου-Βορρά στην οποία απεικονίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εντοπίστηκαν στο



οικόπεδο. Το γεωλογικό μοντέλο προήλθε από τη συνδυαστική και ενοποιημένη ερμηνεία όλων των γεωηλεκτρικών τομογραφιών που εκτελέστηκαν στην περιοχή και θεωρείται αντιπροσωπευτικό των γεωλογικών σχηματισμών που βρίσκονται μέχρι το βάθος των 8-9 περίπου μέτρων από την κεκλιμένη επιφάνεια του εδάφους. Ο σχηματισμός υψηλών αντιστάσεων ( $\rho > 500$ ) οφείλεται στην ύπαρξη κροκάλων και εξαλιωμένου κροκαλοπαγούς κατά θέση όπως φαίνεται στην εικόνα 5.5. Οι μεσαίες τιμές των ειδικών αντιστάσεων ( $70 < \rho < 500$ ) οφείλονται στην ύπαρξη άμμων και χαλικιών ενώ οι χαμηλές ειδικές αντιστάσεις προκαλούνται από την ύπαρξη λεπτόκοκκων υλικών ιλύς και αργίλου.



**Εικόνα 6.4:** Γενικευμένο γεωλογικό μοντέλο της περιοχής.





**Εικόνα 6.5:** Σχηματισμός άμμων, χαλικιών και κροκάλων και κροκαλοπαγούς που εγγράφεται με υψηλές τιμές ειδικών αντιστάσεων στις μετρήσεις της γεωηλεκτρικής τομογραφίας.

## **7. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στο οικοπέδο ιδιοκτησίας του Νικόλαου Τρουλινού πραγματοποιήθηκε μια γεωφυσική μελέτη καθορισμό της στρωματογραφικής διαδοχής των σχηματισμών που βρίσκονται εντός του οικοπέδου. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η μέθοδος της δισδιάστατης ηλεκτρικής τομογραφίας ως η πιο κατάλληλη τεχνική για τις ανάγκες της έρευνας εξαιτίας του απότομου ανάγλυφου και της ανάγκης προσδιορισμού των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους μέχρι το μέγιστο βάθος των 9 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Η εφαρμογή της μεθόδου κατά μήκος συγκεκριμένων οδύσεων έδωσε τη δυνατότητα να διερευνηθούν οι γεωηλεκτρικές και γεωλογικές συνθήκες σε όλη την έκταση του οικοπέδου. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων βοήθησε στον καθορισμό ενός γεωλογικού μοντέλου της περιοχής που ενσωματώνει τόσο τις πληροφορίες από τη γεωφυσική διασκόπηση όσο και από την επί τόπου παρατήρηση. Η επί τόπου παρατήρηση και η συλλογή εδαφικού δείγματος από μία θέση αποτέλεσε την επιπρόσθετη πληροφορία για την γεωτεχνική κατάταξη των εδαφικών σχηματισμών σε συγκεκριμένες γεωτεχνικές κατηγορίες εδαφών για τα οποία υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές όσον αφορά τις τιμές των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών τους. Μέσω βιβλιογραφικών αναφορών για εδάφη παρόμοιας δομής με αυτά που εντοπίστηκαν στην περιοχή έρευνας καθορίστηκαν ποσοτικά οι διάφορες ιδιότητες των εδαφών οι οποίες ήταν απαραίτητες για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας και των αναμενόμενων καθιζήσεων.

Σε γενικές γραμμές η συγκεκριμένη μελέτη μπορεί να θεωρηθεί ως επιτυχημένη όσον αφορά τους στόχους που από την αρχή είχε θέσει και δείχνει έναν εναλλακτικό τρόπο προσέγγισης για τον γεωτεχνικό χαρακτηρισμό των εδαφών σε περιοχές ανέγερσης νέων οικοδομημάτων χωρίς την ανάγκη να πραγματοποιηθεί δειγματοληπτική γεώτρηση, μέσω των γεωφυσικών διασκοπήσεων και της επί τόπου παρατήρησης. Η γεωφυσική μελέτη σε μια περιοχή προτείνεται να προηγείται της γεωτεχνικής καθώς τα αποτελέσματα των γεωφυσικών χαρτών μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για σχεδόν όλη την έκταση της υπό μελέτης περιοχής που θα βοηθήσουν και θα καθοδηγήσουν σε στοχευόμενες περιοχές ένα μελλοντικό γεωτρητικό πρόγραμμα. Στα πλεονεκτήματα των γεωφυσικών μεθόδων συγκαταλέγονται επίσης το σχετικά μικρό ποσοστό υλοποίησης αυτών και της φιλικότητας προς το περιβάλλον. Βέβαια οι γεωφυσικές μέθοδοι σε καμία περίπτωση δεν προσπαθούν να υποκαταστήσουν τις χρήσιμες πληροφορίες που συλλέγονται από την διάνοιξη των γεωτρήσεων, αλλά να ενεργήσουν συμπληρωματικά και παραπληρωματικά για την απόκτηση επιπλέον πληροφοριών που θα βοηθήσουν στην πιστότερη ανακατασκευή του γεωλογικού μοντέλου μιας περιοχής.

## **8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Begemann H., (1974) General report for central and Western Europe, Proc. of Eur. Symp. On Penetration testing, Stockholm, publi. By Nat. Swedish Building Research, 1975, Vol 2.1., pp 29-30.
- Binley, A., Cassiary, G., Middleton, R., Winship, P., (2002). Vadose zone flow model parameterization using cross-borehole radar and resistivity imaging. *Journal of Hydrology* 267, 147-160.
- Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδας.,(1972). Φύλλο Μέλαμπες, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.
- Cosensa Philippe, Eric Marmet, Faycal Rejiba, Yu Jun Cui, Allen Tabbagh, Yvelle Charlery(2006)Correlations between geotechnical and electrical data: A case study at Garchy in France, *Journal of Applied Geophysics* 60 (2006)165-178.
- DeGroot- Hedlin, C., and Constable, S., (1990) Occam's inversion to generate smooth, two dimensional models from magnetotelluric data *Geophysics*, 55:1613-1624.
- Edwards, L.S., (1977). A modified pseudosection for resistivity and induced polarization *Geophysics*, 42, 1020-1036.
- Lindeburg M. R., (2006). Civil engineering reference manual for PE exam, Tenth Edition, Profesional Publication Inc, CA.
- Murthy, V., (2008). Soil mechanics and foundation engineering, CBS Publisher and Distributors.
- Nishimura, Y., (2001). Geophysical prospection in Archaeology in D. R Brothwell and A. M. Pollard (eds.), *Handbook of Archaeological Sciences*, pp. 543-553, New York: John Wiley & Sons, Ltd.
- Sarris, A., (1992). "Shallow Depth Geophysical Investigation through the Application of Magnetic and Electric Resistance Techniques". A Ph.D. Dissertation, U of Nebraska-Lincoln, Dept. of Physics and Astronomy, Lincoln, U.S.A. (U.M.I. Dissertation Services, a Bell & Howell Company).
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., (1990) *Applied Geophysics*. Second edition. Cambridge University Press.
- Terzaghi, K and Peck, R. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Second edition. John Wiley and Sons, New York, 725 p.
- Tsourlos, P., Symanski, J.E and Tsokas G.N., (1999). The effect of terrain topography on commonly used resistivity arrays. *Geophysics*, 64, 1357-1363.
- Papadopoulos N.G., P Tsourlos, G.N.Tsokas and A. Sarris, (2007). Efficient ERT Measuring and Inversion Strategies for 3D Imaging of Buried Antiquities. *Near Surface Geophysics*, 5, 6, 349-362.
- Skempton, A. W. and McDonald D.H. (1956). Allowable Settlements of Buildings. *Proc. Int. Civ. Engrs*, Part 3, 5, London.
- Yi M.J. Kim, J.H. and Chung, S.H. (2003). Enhancing the Resolving Power of Least-Squares Inversion with Active Constraint Balancing. *Geophysics*, 68, 931-941.