

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***"Γεωφυσικές έρευνες περιοχής Παζινού για έλεγχο δυνατότητας
διοχέτευσης ομβρίων υδάτων"***

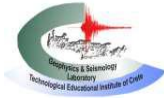
ΑΠΛΑΔΑΣ ΟΔΥΣΣΕΑΣ

ΒΑΓΙΑΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:

Φίλιππος Βαλλιανάτος

ΧΑΝΙΑ 2018



TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE

BRANCH OF CHANIA

DEPT OF NATURAL RESOURCES & ENVIRONMENT

SECTION OF WATER RESOURCES & GEOENVIRONMENT

LAB OF GEOPHYSICS & SEISMOLOGY



THESIS

**"Geophysical Survey of Pazinos area for the possibility of drain of
rainwater"**

APLADAS ODYSSEAS

VAGIANOS GEORGIOS

Supervisor

Prof. Filippos Vallianatos

CHANIA 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα της πτυχιακής αυτής εργασίας τον καθηγητή Φίλιππο Βαλλιανάτο για την ανάθεση του θέματος, καθώς και την Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη για την πολύτιμη βοήθειά της καθ 'όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μας εργασίας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους βοηθούς υπαίθρου, Παναγιώτη Φουντουλάκη και Σιάπκα Ιωάννη και για την βοήθειά τους στην συλλογή των δεδομένων από το ύπαιθρο.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειες μας για την ηθική και οικονομική στήριξή τους, καθώς για την εμπιστοσύνη τους που μας έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- 1. Εξεταστής:** Δρ Φίλιππος Βαλλιανάτος
- 2. Εξεταστής:** Δρ Ιωάννης Μακρής
- 3. Εξεταστής:** Δρ Μαρία Κούλη

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ Φίλιππος Βαλλιανάτος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	8
1.1 Εισαγωγή	8
1.2 Σκοπός	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΓΕΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	10
2.1 Γεωγραφική θέση και Μορφολογία της περιοχής.....	10
2.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες της περιοχής.....	10
2.3 Γεωλογική δομή της Κρήτης	12
2.3.1 Αλπικά και Προ-αλπικά πετρώματα	12
2.3.2 Μετά-αλπικά πετρώματα.....	13
2.3.3 Γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής	14
2.4 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης.....	16
2.5 Τεκτονική Δομή ευρύτερης περιοχής.....	16
2.6 Καρστικά φαινόμενα στην περιοχή έρευνας.....	18
2.7 Υδρολογικά και Υδρογεωλογικά στοιχεία ευρύτερης περιοχής.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	20
3.1 Εισαγωγή.....	20
3.1.1 Φυσικές Ιδιότητες.....	20
3.1.2 Στάδια γεωφυσικών διασκοπήσεων	21
3.1.3 Κατηγορίες Γεωφυσικών Μεθόδων.....	21
3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	22
3.2.1 Εισαγωγή.....	22
3.2.2 Μέθοδοι Ηλεκτρικής Διασκόπησης.....	22
3.2.3 Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση.....	24
3.2.4 Ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις των πετρωμάτων.....	24

3.2.5 Φαινόμενη Ειδική Αντίσταση.....	26
3.2.6 Διατάξεις Ηλεκτροδίων.....	27
3.2.7 Μέθοδος Ηλεκτρικής Τομογραφίας (ERT).....	29
3.2.8 Βάθος Διείσδυσης.....	29
3.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (TEM).....	30
3.3.1 Εισαγωγή.....	30
3.3.2 Αρχή Ηλεκτρομαγνητικών Μεθόδων.....	31
3.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων.....	31
3.3.4 Μέθοδος Παροδικών Κυματομορφών (TEM)	32
3.3.5 Όργανα Μετρήσεων.....	35
3.3.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδου TEM.....	36
3.3.7 Σφάλματα στην βυθοσκόπηση TEM.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΑΝΑΛΥΣΗ-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	38
4.1 Εισαγωγή.....	38
4.2 Εκτέλεση Ηλεκτρικών Τομογραφιών ERT.....	38
4.2.1 Επεξεργασία – Ανάλυση – Μοντελοποίηση – Αποτελέσματα	39
4.3 Εκτέλεση Ηλεκτρομαγνητικών Βυθοσκοπήσεων TEM.....	56
4.3.1 Επεξεργασία – Ανάλυση – Μοντελοποίηση – Αποτελέσματα	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ- ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	62
5.1 Ερμηνεία Ηλεκτρικών Τομογραφιών ERT.....	62
5.2 Ερμηνεία Ηλεκτρομαγνητικών Βυθοσκοπήσεων TEM.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	67
6.1 Συμπεράσματα Έρευνας.....	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	69
Παραστημα: Φωτογραφίες από τις μετρήσεις στην Ύπαιθρο.....	70

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μέρος του ερευνητικού έργου που ανατέθηκε από τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης - Αποχέτευσης Χανίων (ΔΕΥΑΧ) στο εργαστήριο Γεωφυσικής και Σεισμολογίας του ΤΕΙ Κρήτης και περιλαμβάνει την εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπήσεων, με σκοπό τον εντοπισμό πιθανών σπηλαιώσεων και εγκοίλων, όπου θα εξεταστεί η περίπτωση να διοχετεύονται σ' αυτά τα όμβρια υδάτα για την αντιμετώπιση των πλημμυρικών προβλημάτων της περιοχής. Στην περιοχή έρευνας, εφαρμόσαμε την μέθοδο ηλεκτρικής τομογραφίας (ERT) και επικουρικά την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM). Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 7 ηλεκτρικές τομογραφίες ERT και 5 βυθοσκοπήσεις TEM, εντός και εκτός των ορίων που είχε ορίσει η υπηρεσία για την συλλογή μιας ολοκληρωμένης απεικόνισης της δομής του υπεδάφους. Η επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας, πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού πακέτου RES2DINV, ενώ της βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων με την χρήση του TEM-RES. Από την ερμηνεία όλων των δεδομένων που συλλέξαμε για την περιοχή έρευνας, προκύπτουν τα εξής: α) οι 7 ηλεκτρικές τομογραφίες απεικονίζουν πιθανά έγκοιλα μικρού και μεσαίου μεγέθους NA της περιοχής που υπέδειξε η ΔΕΥΑΧ, β) στη θέση του ποιμνιοστασίου πραγματοποιήθηκε η βυθοσκόπηση TEM-01 που υπέδειξε σημαντική μεταβολή της αγωγιμότητας σε βάθος (περίπου 16m), πιθανά λόγω της επίδραση του νερού στις υπόγειες δομές, γ) δεν μπορεί να γίνει σύγκριση των βυθοσκοπίσεων TEM με τις ηλεκτρικές τομογραφίες, διότι δεν υπάρχει επαρκής χώρος επέκτασης των ηλεκτρικών οργάνων, εξαιτίας της απαγόρευσης εισόδου στην περιοχή του αεροδρομίου, και δεν μπορούμε να μελετήσουμε τόσο βαθιά, δ) οι πιθανές καρστικές δομές εντοπίζονται εκτός των ορίων της ΔΕΥΑΧ και ε) η εκτέλεση των συμπληρωματικών μετρήσεων δεν ήταν αποτελεσματική, λόγω των δύσκολων συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή.

ABSTRACT

This thesis is part of the research project commissioned by the Municipal Water Supply and Sewerage Company of Chania (DEYACH) in the Laboratory of Geophysics and Seismology of Technological Educational Institute of Crete and includes the implementation of geophysical investigations with the aim of identifying potential caverns and caves, to run into these rainwater to deal with flood problems in the area. In the area of research, we applied the electrical resistivity tomography (ERT) method and, in addition, the transient electromagnetic (TEM) method. A total of 7 ERT tomographies and 5 TEM soundings were performed within and outside the limits set by DEYACH to have a complete depiction of the subsoil structure. The processing and interpretation of the ERT data was performed using the RES2DINV package software, while TEM data exploding using TEM-RES. From the interpretation of all the data collected for the research area, the following results are obtained: a) the 7 tomographies show the potential small and medium caves SE of the area indicated by DEYACH; b) TEM-01 took place in the sheep-pen and showed a great decrease (at 16m), probably due to the effect of water on the underground structures; c) TEM soundings can not be compared with ERT tomographies because there is insufficient space to expand the electrical method, due to a ban on entering the airport area, so we can not study so deeply, d) the potential karst structures are located outside the DEYACH boundaries and e) the performance of the supplementary measurements was not effective due to the difficult conditions prevailing in the area.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μέρος του ερευνητικού έργου που ανατέθηκε από τη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης - Αποχέτευσης Χανίων (ΔΕΥΑΧ) στο εργαστήριο Γεωφυσικής και Σεισμολογίας του ΤΕΙ Κρήτης για την αναζήτηση τεχνικών λύσεων για την αντιμετώπιση των πλημμυρικών προβλημάτων της περιοχής του Παζινού (Δ.Ε. Ακρωτηρίου). Αρχικά, έπειτα από έρευνες στην γύρω περιοχή από τους μηχανικούς της ΔΕΥΑΧ, προέκυψε ότι δεν υπάρχουν ξεκάθαροι αποδέκτες ομβρίων (ρέματα), όπου να κατευθύνονται τα όμβρια της περιοχής. Στην συνέχεια, διεξήχθησαν συνεντεύσεις για την συζήτηση του συγκεκριμένου προβλήματος και σε συνδιασμό με τις μαρτυρίες των κατοίκων της περιοχής, προέκυψε ότι τα όμβρια ύδατα κατέληγαν σε έγκοιλα (χώνους). Σήμερα, ο χώνος αυτός είναι επιχωμένος μέσα στον χώρο της 115ΠΜ, εξαιτίας τεχνικών έργων που διεξήχθησαν στην στρατιωτική βάση. Έτσι, αποφασίστηκε η εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπήσεων παράπλευρα της περιφράξης, για τον εντοπισμό άλλων πιθανών σπηλαιώσεων και εγκοίλων στον συγκεκριμένο χώρο. Η συλλογή των γεωφυσικών μετρήσεων ξεκίνησε την 1η Δεκεμβρίου 2017 και ολοκληρώθηκε την 4η Φεβρουαρίου 2018.

1.2 Σκοπός

Σκοπός της πτυχιακής μας εργασίας είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων μέσα από την εκτέλεση και ερμηνεία των γεωφυσικών μετρήσεων στην περιοχή του Παζινού Δ.Ε. Ακρωτηρίου (Εικ.1.1), για τον εντοπισμό πιθανών σπηλαιώσεων και εγκοίλων, ώστε να επιτευχθεί η δυνατότητα διοχέτευσης ομβρίων υδάτων για την αντιμετώπιση των πλημμυρικών προβλημάτων της περιοχής του Παζινού.

Με την ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων (γεωηλεκτρική τομογραφία ERT, ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση παροδικών πεδίων TEM), γίνεται ταυτόχρονα και η αξιολόγηση όλων των γεωλογικών, υδρογεωλογικών και γεωτεχνικών δεδομένων που συλλέξαμε για την υπό μελέτη περιοχή.



Εικόνα 1.1: Δορυφορικές εικόνες της χερσονήσου του Ακρωτηρίου (κίτρινο αστέρι) και της περιοχής μελέτης (κίτρινο πλαίσιο), όπως καθορίστηκε από τη ΔΕΥΑΧ (πηγή Google Earth).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

2.1 Γεωγραφική θέση και Μορφολογία της περιοχής

Η χερσόνησος του Ακρωτηρίου βρίσκεται ΒΑ του νομού Χανίων και ανατολικά της πόλεως των Χανίων. Με το υπόλοιπο νησί ενώνεται με ένα «λαιμό», πλάτους περίπου 3Km, δημιουργώντας έτσι τον κόλπο των Χανίων προς τον Βορρά και τον κόλπο της Σούδας προς το Νότο.

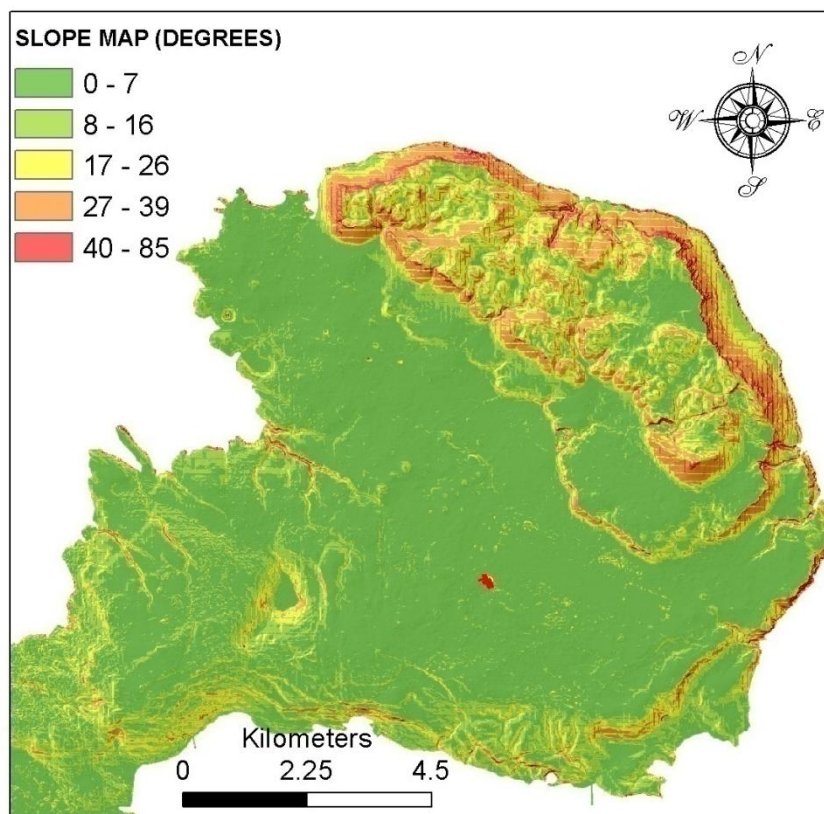
Η περιοχή μελέτης μας βρίσκεται ΝΑ της χερσονήσου του Ακρωτηρίου, με συντεταγμένες 35.528050° N και 24.130319° E, δυτικά πάνω στα όρια της περιφέρειας του αεροδρομίου της 115ΠΜ. Αυτή απέχει περίπου 12Km ανατολικά από την πόλη των Χανίων από την πόλη των Χανίων (Εικ. 1.1) και ορίζεται βόρεια του χωριού Παζινός και ΝΑ του χωριού Καθιανά. Η έκτασή της υπολογίζεται περίπου στα 0.01Km² (100x100m).

Η περιοχή γύρω από την τοποθεσία του έργου που μας έχει ανατεθεί, με βάση το υψόμετρο ανήκει στη χαμηλή ζώνη του Ακρωτηρίου. Στην ανατολική και τη νοτιοανατολική πλευρά της υπάρχουν απότομες βραχώδεις ακτές που οδηγούν στο Κρητικό πέλαγος. Η μορφολογία της περιοχής αναπτύσσεται σε χαμηλά υψόμετρα (περίπου 170m) και οι κλίσεις είναι ήπιες (κατά μέσο όρο από 2° ως 4°).

Στην ευρύτερη περιοχή παρατηρείται η δημιουργία πολλών χαραδρώσεων και σπηλαίων, εξαιτίας του γεωμορφολογικού ανάγλυφου και της γεωλογικής σύστασης του Ακρωτηρίου. Πιο συγκεκριμένα, στην περιφέρεια του Ακρωτηρίου υπάρχουν περίπου 100 αξιόλογα σπήλαια με αρχαιολογικό, ιστορικό και βιολογικό ενδιαφέρον.

2.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες της περιοχής

Η γεωμορφολογία της περιοχής του Ακρωτηρίου οφείλεται σε διάφορα γεωλογικά φαινόμενα και κυρίως από τα τεκτονικά γεγονότα που πραγματοποιήθηκαν από το Μειόκαινο έως σήμερα. Οι μακρο-μορφολογικοί χαρακτήρες της περιοχής δημιουργήθηκαν χάρις τη δράση των τεκτονικών αυτών γεγονότων. Η επαρκής σε πληροφορίες γεωμορφολογική της εικόνα, προήλθε από την διάβρωση και την αποσάθρωση των πετρωμάτων.



Εικόνα 2.1: Χάρτης κλίσεων της χερσονήσου του Ακρωτηρίου. Το κόκκινο αστέρι αντιπροσωπεύει την περιοχή μελέτης, η οποία ανήκει στη χαμηλή ζώνη.

Η γεωμορφολογική δομή του Ακρωτηρίου χαρακτηρίζεται από διάφορες ποικιλομορφίες (Εικ.2.1). Η έκτασή του αποτελείται από την ορεινή και την πεδινή ζώνη, οι οποίες παρουσιάζονται ως εξής:

- **Η ορεινή ζώνη** αποτελείται από ένα ορεινό όγκο με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, ο οποίος κατέχει το ΒΑ τμήμα του Ακρωτηρίου. Η δομή του χαρακτηρίζεται από ανθρακικά πετρώματα και παρουσιάζεται με πολυάριθμες βουνοκορφές υψομέτρων συνήθως 350-420m με υψηλότερη τη Σκλόκα (529m). Στον ορεινό όγκο υπάρχουν μικρά κυρίως φαράγγια και ρέματα, τα οποία δημιουργήθηκαν μέσω του συνδυασμού ρηξιγενούς τεκτονικής και γρήγορων ανυψωτικών κινήσεων. Το ανάγλυφο της χαρακτηρίζεται από την τραχύτητα και το βραχώδες τοπίο που επικρατεί σε ολή την ορεινή ζώνη, με τα πολύμορφα πρηνή με ισχυρές κλίσεις και με καρστικές δομές που έχουν σχηματίσει (έγκοιλα, σπήλαια, δολίνες κλπ.)
- Ο ορεινός όγκος μέσω μεταπτωτικών ρηγμάτων (ΒΔ-ΝΑ), μεταβαίνει στη **πεδινή ζώνη** με υψόμετρο από 0 έως 220m περίπου, που αποτελεί το Δ-ΝΔ τμήμα του Ακρωτηρίου. Η δομή του χαρακτηρίζεται κυρίως από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, μάργες και αλλουβιακούς σχηματισμούς. Στο κεντρικό

τμήμα δεσπόζει το τεκτονικό βύθισμα του Ακρωτηρίου που αναπτύσσεται με υψόμετρα 110-150m περίπου. Η μορφολογία της είναι ομαλή και το ανάγλυφό της ήπιο. Οι λόφοι στο νότιο τμήμα του Ακρωτηρίου, με υψόμετρο έως 220m περίπου και έντονες μορφολογικές κλίσεις αποτελούν εξαίρεση. Η **παραθαλάσσια ζώνη**, η οποία διαθέτει μεγάλη ποικιλομορφία, βρίσκεται περιμετρικά του Ακρωτηρίου. Ο ορεινός όγκος στα Β-ΒΑ βυθίζεται στη θάλασσα του Κρητικού πελάγους, δημιουργώντας έτσι βραχώδεις ακτές με μεγάλες απότομες κλίσεις, σε αντίθεση με το ΒΔ-ΝΑ τμήμα του Ακρωτηρίου.

2.3 Γεωλογική δομή της Κρήτης

Η Κρήτη δημιουργήθηκε ως ξηρά πριν από 23 εκατομμύρια χρόνια. Πριν από αυτήν την περίοδο, όλος ο ελλαδικός χώρος ήταν τμήμα ενός μεγάλου ωκεανού που χώριζε την Ευρώπη από την Αφρική. Όταν η Αφρική άρχισε να πλησιάζει την Ευρώπη, ο ωκεάνιος χώρος συρρικνώθηκε, δημιουργώντας την Μεσόγειο θάλασσα. Τα πετρώματα που είχαν σχηματιστεί παραμορφώθηκαν, ανυψώθηκαν και αναδύθηκαν από τη θάλασσα σχηματίζοντας τη σημερινή ξηρά της Ελλάδας.

Η Κρήτη αποτελεί σε παγκόσμια κλίμακα ένα από τα νέα ενεργά ορογενή γεγονότα που συνοδεύεται από αλληπάλληλα τεκτονικά γεγονότα που έχουν δράσει στην ευρύτερη σημερινή περιοχή του νησιού κατά τη διάρκεια των γεωλογικών χρόνων.

Η περιγραφή της γεωλογίας της Κρήτης που ακολουθεί είναι βασισμένη στο γεωλογικό οδηγό του Χαράλαμπου Φασσουλά (Fassoulas, C., 2000).

2.3.1 Αλπικά και Προ-αλπικά πετρώματα

Η γεωλογική δομή της Κρήτης χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη κυρίως αλπικών και προ-αλπικών πετρωμάτων, τα οποία δημιουργούν ένα οικοδόμημα τεκτονικών καλυμμάτων. Το οικοδόμημα αυτό δημιουργείται από κάποιες τεκτονικές ενοτήτες που τοποθετούνται η μια πάνω στην άλλη.

Τα αλπικά και προ-αλπικά πετρώματα της Κρήτης, διακρίνονται σε δύο καλύμματα:

i) Τα κατώτερα καλύμματα, στα οποία ανήκουν :

α) Η ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων, η οποία συναντάται στις ψηλότερες κορυφές της Κρήτης με πάχος που ξεπερνά τα πέντε χιλιόμετρα. Είναι σκληρά και συμπαγή πετρώματα με μικρή υδροπερατότητα, τα οποία διαβρώνονται πολύ εύκολα με αποτέλεσμα να δημιουργούν ρωγμές, επιτρέποντας την διέλευση του νερού. Επιπλέον, τα πετρώματα αυτά λειτουργούν ως υδατοσυλλέκτες και αποθήκες νερού, διότι στην τοποθεσία στην οποία βρίσκονται δέχονται μεγάλες ποσότητες βροχοπτώσεων και χιονιού.

β) Το Τεκτονικό Κάλυμμα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών: Το κάλυμμα των φυλλιτών – χαλαζιτών ανήκει στην ανώτερη, τεκτονικά, θέση των κατώτερων καλυμμάτων. Αποτελείται από δύο επιμέρους τμήματα, το ανώτερο με φυλλίτες, σχιστόλιθους, χαλαζίτες, μάρμαρα και μετά ηφαιστειακά πετρώματα και το κατώτερο με μετά-γραουβάκες, χαλαζίτες, σχιστόλιθους, δολομίτες και εβαπορίτες. Το κάλυμμα αυτό μεταμορφώθηκε κατά το Άνω Ολιγόκαινο /Κάτω Μειόκαινο σε συνθήκες υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας, (8-10 kb, 300-400°C). Σύμφωνα με τους (Fytrolakis, 1980) και (Seidel et al, 1982) τα πετρώματα των φυλλιτών-χαλαζιτών πιθανόν αντιπροσωπεύουν ένα προ-αλπικό ηπειρωτικό τεμάχιο. Οι σχιστόλιθοι και οι φυλλίτες είναι κυρίως αργιλικής σύστασης, δε διαβρώνονται εύκολα και παράλληλα είναι πετρώματα αδιαπέρατα από το νερό. Για το λόγο αυτό, στην επιφάνειά τους αναπτύσσονται τα περισσότερα ποτάμια μόνιμης επιφανειακής ροής.

γ) Η Ενότητα του Τρυπαλίου: Πάνω από τα πετρώματα αυτά υπάρχει υπάρχουν τα πετρώματα της Τρίπολης. Αυτά έχουν πάχος μερικών εκατοντάδων μέτρων και είναι πετρώματα μεγάλης υδροπερατότητας. Πολλές φορές συναντώνται σε άμεση επαφή με τους πλακώδεις ασβεστόλιθους χωρίς την παρεμβολή των φυλλιτών-χαλαζιτών.

ii) Τα ανώτερα καλύμματα, τα οποία διαχωρίζονται από τα κατώτερα καλύμματα μέσω ενός κύριου εφελκυστικού ρήγματος απόσπασης και αποτελούνται από:

α) Τα Αμεταμόρφωτα Ανθρακικά καλύμματα, τα οποία βρίσκονται στην βάση των ανώτερων καλυμμάτων και αποτελούν το τεκτονικό κάλυμμα Γαβρόβου-Τριπόλεως και το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου.

β) Τα προ-Ολιγοκαινικά μεταμορφωμένα καλύμματα, όπου βρίσκονται στην κορυφή των ανώτερων καλυμμάτων και αποτελούν το κάλυμμα του Βάτου-Μιαμού –Άρβης, των Αστερουσίων (κρυσταλλικά πετρώματα) και των Οφιολίθων.

Τέλος, πάνω από τα ανώτερα και τα κατώτερα καλύμματα, υπάρχουν με στρωματογραφική ασυμφωνία τα νεότερα ιζήματα Νεογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας (κροκαλολατυποπαγή, μάργες, ψαμμίτες κ.λ.π.).

2.3.2 Μετά-αλπικά πετρώματα

Τα μετά-αλπικά πετρώματα της Κρήτης αποτελούνται από τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, που εμφανίζονται ασύμφωνα πάνω στα κατώτερα και ανώτερα καλύμματα, μέσα σε λεκάνες με ανατολή-δύση ή βορρά-νότου, διεύθυνση.

Τα παλιότερα νεογενή ιζήματα ανήκουν στην ενότητα της Πρίνας. Αυτή αποτελείται από σκουρόχρωμα ασβεστολιθικά κράματα και κροκάλες, που είναι συνήθως πολύ καλά συγκολλημένα με ασβεστιτικό υλικό. Πολύ καλές εμφανίσεις

της υπάρχουν στην περιοχή δυτικά της Τυλίσου στην λεκάνη του Μυλοποτάμου της Κεντρικής Κρήτης, βόρεια της Ιεράπετρας στην ανατολική Κρήτη και στην περιοχή Τοπολιών δυτικά από τα Χανιά.

Τα ιζήματα της ενότητας Τεφελίου αποτέθηκαν με ασυμφωνία, κατά το ανώτερο Σερραβάλιο/ κατώτερο Τορτόνιο, πάνω στα πετρώματα του υποβάθρου ή της ενότητας της Πρίνας. Η ενότητα αποτελείται από χερσογενή, κλαστικά ιζήματα, όπως κροκαλοπαγή, άμμους και αργίλους που αντιπροσωπεύουν ένα περιβάλλον απόθεσης γλυκού, υφάλμυρου ή θαλάσσιου νερού. Πετρώματα της ενότητας Τεφελίου εμφανίζονται κυρίως στην Κεντρική Κρήτη και στα Χανιά.

2.3.3 Γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής

Η μελέτη των στοιχείων της γεωλογικής χαρτογράφησης που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, μας οδήγησε σε δυο γεωλογικούς σχηματισμούς από τους οποίους αποτελείται η περιοχή ενδιαφέροντος: α) τα κατώτερα καλύμματα της Κρήτης και β) τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς (Εικ. 2.2). Οι σχηματισμοί αυτοί περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη:

1) Ενότητα Πλακωδών Ασβεστόλιθων: Μια από τις πιο γνωστές γεωλογικές ενότητες της Κρήτης, η οποία ανήκει στην κατηγορία των κατώτερων καλυμμάτων και αποτελεί μεγάλο μέρος των Λευκών Ορέων. Αυτή κατέχει τη βαθύτερη ενότητα της περιοχής μελέτης και αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής του Ακρωτηρίου. Αποκαλύπτεται με τη μορφή τεκτονικού παραθύρου, με μικρές σχετικά εμφανίσεις στην ορεινή περιοχή της Σκλόκας και ανατολικά του χωριού Χορδάκι. Η εν λόγω ενότητα εμφανίζεται στην περιοχή ενδιαφέροντος με τη χαρακτηριστική λεπτοστρωματώδη έως μεσοστρωματώδη ανάπτυξη, τεφρόμαυρων ισχυρά ανακρυσταλλωμένων ασβεστόλιθων, που μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας και παρουσιάζονται με τη **μορφή μαρμάρων**. Ένα χαρακτηριστικό τους είναι ο **αποχωρισμός κατά «πλάκες»**, πάχους 10-30cm ή και παραπάνω, απ' όπου και πήραν την ονομασία τους, ενώ στα ανώτερα μέρη οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι μετατρέπονται σε παχυστρωματώδεις. Κατά θέσεις και σε πολύ περιορισμένη σχετικά κλίμακα, παρατηρούνται οι γνωστές για την ενότητα υπόλευκες **πυριτολιθικές παρεμβολές** που παρουσιάζονται με τη μορφή φακών και βολβών. Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι στην περιοχή μελέτης, αναπτύσσονται με μικρές σχετικά γωνίες κλίσεις των στρωσιγενών τους επιπέδων (100-300) και με επικρατέστερες διευθύνσεις νοτιοδυτικές. Οι παραπάνω γεωλογικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από τη σταθερή και ομοιόμορφη λιθοφασική τους εξέλιξη, αποτελώντας πελαγικά ιζήματα που σχηματίστηκαν σε ήρεμο περιβάλλον μεγάλου βάθους κατά τη χρονική περίοδο Ιουρασικού και νεότερα.

2) Ενότητα Τρυπαλίου: Στην ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων, εμφανίζεται επωθημένη η ανθρακική ενότητα του Τρυπαλίου μέσω των τεκτονικών επαφών, η οποία αποτελεί την μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης, με τα γκριζότεφρα και βραχώδη πετρώματά της, που χαρακτηρίζονται από το τραχύ τους ανάγλυφο και

από τις πολυάριθμες καρστικές δομές. Τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας αυτής αποτελούν το Β-ΒΑ τμήμα της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα την ορεινή μάζα από την περιοχή της Αγίας Τριάδας προς την ορεινή περιοχή Χωρδάκι-Μουζουρά-Σκλόκα, μέχρι και την ανατολική περιοχή του κάμπου (τεκτονικό βύθισμα) Ακρωτηρίου (Αεροδρόμιο, Κουμαρές-Κουρουπητός), όπου μέσω τεκτονικής επαφής συνδέονται πλέον με τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους τους νεογενούς. Η ενότητα του Τρυπαλίου στην περιοχή χαρακτηρίζεται από διάφορα πάχη, εξαιτίας του επωθητικού της χαρακτήρα. Αυτή αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα (Ιουρασικής και νεότερης ηλικίας), τα οποία δέχθηκαν ισχυρή τεκτονική καταπόνηση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την διάσπαση της ενότητας αυτής σε πολύ μικρά κομμάτια και την ανασυγκόλλησή τους σε διάφορα στάδια. Η σύστασή τους αποτελείται από τους ακόλουθους σχηματισμούς:

α) Κατώτερα στρωματογραφικά τμήματα. Λεπτοπλακώδεις έως στρωματώδεις υπόλευκοι, λευκότεφροι και σκοτεινότεφροι ανακρυσταλλωμένοι **ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι**, που ανά σημεία μοιάζουν με τους Πλακώδεις Ασβεστόλιθους, με μόνη διαφορά ότι δεν φέρουν πυριτόλιθους.

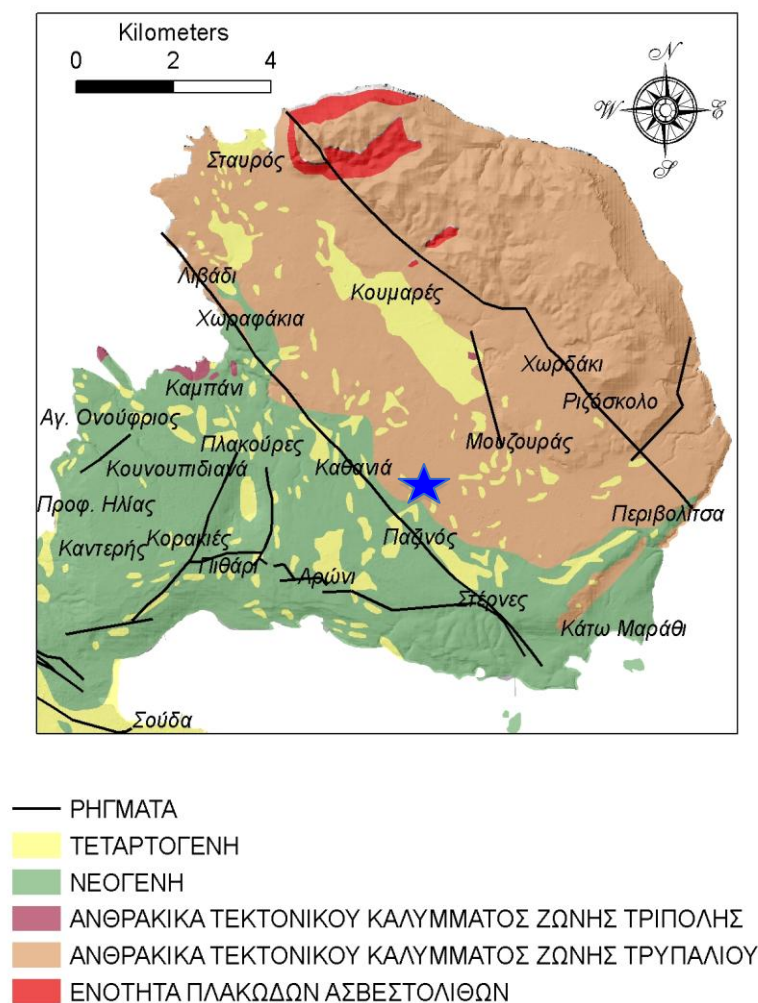
β) Μεσαία και ανώτερα στρωματογραφικά τμήματα. Λευκότεφροι έως τεφροί ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι που είναι ανακρυσταλλωμένοι και βιτουμενούχοι και **ανθρακικά κροκαλολατυποπαγή** που παρουσιάζονται σε μαζώδη ανάπτυξη και αποτελούν την συγκεκριμένη ενότητα.

3) Νεότερα ιζήματα Νεογενούς: Τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς που βρίσκονται νότια της περιοχής του Ακρωτηρίου (Στέρνες, Περβολίτσα και Μαράθι) επικάθονται πάνω στους προορογενετικούς σχηματισμούς με στρωματογραφική ασυμφωνία ή συνδέονται με τεκτονικές επαφές. Αυτά τα χωρίζουμε σε μέλη (από τα κατώτερα προς τα ανώτερα) με βάση τα λιθοφασικά τους χαρακτηριστικά:

α) Η Ασβεστομαργαϊκή σειρά. Σχηματισμός ηλικίας Άνω Μειόκαινου ως Κάτω Πλειόκαινου, που αποτελείται κυρίως από τους συμπαγείς λευκοκίτρινους έως λευκόφαιους, υφαλογενείς-βιοκλαστικούς **μαργαϊκούς ασβεστόλιθους** και ασβεστολιθικές ψαμιτομάργες. Παρουσιάζονται με χαρακτηριστική παχυστρωματώδη ανάπτυξη, με μικρές γωνίες κλίσεων των στρωσιγενών τους επιπέδων που έχουν διευθύνσεις ΒΑ-Α.

β) Μαργαϊκή σειρά. Αποτελείται στο σύνολο της σχεδόν από Πλειοκαινικής ηλικίας άσπρες-κιτρινωπές παχυστρωματώδεις και μαζώδεις **μάργες** που στους ανώτερους ορίζοντες μεταπίπτουν σε λευκοκίτρινους ψαμιτομάργες.

4) Πρόσφατες αποθέσεις τεταρτογενούς: Ο **αλλουβιακός μανδύας** καλύπτει την περιοχή του κάμπου του Ακρωτηρίου που αποτελείται από καστανέρυθρες αργίλους, ερυθρογή και διάσπαρτες ασβεστολιθικές λατύπες. Ο μανδύας αυτός δημιουργήθηκε από τα προϊόντα διάβρωσης των ανθρακικών πετρωμάτων και διαθέτει μικρά πάχη που κυμαίνονται από λίγα εκατοστά ως λίγα μέτρα. Εντός μικρών και μεγάλων καρστικών θυλάκων, που σχηματίζονται στα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας του Τρυπαλίου και περισσότερο στους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, βρίσκονται **αποθέσεις ερυθρογής**.



Εικόνα 2.2: Γεωλογικός χάρτης του Ακρωτηρίου. Το μπλε αστέρι αντιπροσωπεύει την θέση της περιοχής μελέτης.

2.4 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης

Η γεωλογική δομή της υπό μελέτης περιοχής αποτελείται από α) τους ανθρακικούς σχηματισμούς της ενότητας του Τρυπαλίου, όπου η περιγραφή τους έγινε αναλυτικά στην προηγούμενη παράγραφο, β) από τα καστανέρυθρα αργιλικά υλικά, τα οποία προήλθαν από τη διάβρωση των μητρικών τους πετρωμάτων και εναποτίθενται ως ένας λεπτός μανδύας σποραδικά στην περιοχή, και γ) από τον μαργαϊκό ασβεστόλιθο που εμφανίζεται κατά θέσεις στην περιοχή (Εικ. 2.2).

2.5 Τεκτονική Δομή ευρύτερης περιοχής

Κατά τη διάρκεια των γεωλογικών χρόνων, στην Κρήτη έχουν πραγματοποιηθεί διάφορα τεκτονικά γεγονότα.

Αυτά τα γεγονότα έχουν επιφέρει την δημιουργία μιας ρηξιγενούς τεκτονικής που αναπτύσσεται σε όλη την έκταση της Κρήτης και παρουσιάζονται με μικρές και μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες, οι οποίες τεμαχίζουν το νησί.

Η Αλπική και Νεοτεκτονική τεκτονική ανέπτυξαν ποικίλες παραμορφώσεις των πετρωμάτων, με την μορφή της πτυχογόνου και ρηξιγενούς τεκτονικής και δημιούργησαν την γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης (ημιορεινά συγκροτήματα, τις απότομες βραχώδεις ακτές, τις έντονες χαραδρώσεις και τις τεκτονικές λεκάνες).

Ποικίλες πτυχές εκδηλώνονται κυρίως στους στρωματώδεις σχηματισμούς της ενότητας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων.

Η περιοχή μελέτης αποτελείται κυρίως από την ρηξιγενή τεκτονική, η οποία αναπτύσσεται με τεκτονικές ασυνέχειες και παρουσιάζεται από ρήγματα και διακλάσεις που δημιουργούν θραυσιγενείς επιφάνειες.

Οι ρηξιγενείς ζώνες της περιοχής μελέτης έχουν τρεις κύριες διευθύνσεις: ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ. Οι κυριότερες τεκτονικές ασυνέχειες της περιοχής είναι (Εικ.2.2):

- **Οι μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες** διεύθυνσης **ΒΔ-ΝΑ**, που οριοθετούν τη δυτική πλευρά του ορεινού όγκου του Ακρωτηρίου και αντιπροσωπεύονται από δυο μεγάλα ρήγματα, που έχουν δημιουργήσει κατά το μήκος τους τα δυο χαρακτηριστικά ορεινά επίπεδα. Το ένα αναπτύσσεται κατά μήκος αυτής της διεύθυνσης (διεύθυνση κλίσης $220^{\circ}\text{NΔ}/85^{\circ}$) στο ύψος της περιοχής Χωρδακίου. Σε θέση ανατολικά του Χωρδακίου στο ύψος του δρόμου, παρουσιάζονται χαρακτηριστικοί καθρέπτες με μωλυντιοποιημένο υλικό. Το δεύτερο αναπτύσσεται με την ίδια διεύθυνση, παράλληλα και χαμηλότερα στο ύψος της περιοχής Μουζουρά και έχει συμβάλει στη δημιουργία του τεκτονικού βυθίσματος του Ακρωτηρίου που προεκτείνεται νοτιοδυτικά.
- Οι ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης **ΒΔ-ΝΑ**, που οριοθετούν το ανατολικό τμήμα της ορεινής μάζας του Ακρωτηρίου και έχουν συμβάλει στη δημιουργία απόκρημνων βραχωδών ακτών που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά πρηνή με ισχυρές κλίσεις.
- Οι ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης **ΒΑ-ΝΔ**, που οριοθετούν το νότιο τμήμα της ορεινής μάζας του Ακρωτηρίου και έχουν συμβάλει στη δημιουργία του τεκτονικού βυθίσματος που εκτείνεται νοτιότερα.
- Η ρηξιγενής ζώνες διεύθυνσης ομοίως **ΒΑ-ΝΔ** που διασχίζει την καρδιά του ορεινού όγκου και παρουσιάζει στην περιοχή ανατολικά του Καλόρουμα χαρακτηριστικούς καθρέπτες με διεύθυνση της επιφάνειας κλίσης $325^{\circ}\text{ΒΔ}/25^{\circ}$. Η ρηξιγενής ζώνες διεύθυνσης ομοίως **ΒΑ-ΝΔ** που διασχίζει το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης (Μαράθι-Περβολίτσα) και φέρνει σε

τεκτονική επαφή τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας του Τρυπαλίου με τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς.

- **Οι διακλάσεις** που κατακερματίζουν τα ανθρακικά πετρώματα που παρουσιάζονται με πυκνά δίκτυα ποικίλων διευθύνσεων με επικρατέστερες διευθύνσεις ανάλογες των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών. Σε ισχυρών κλίσεων πρηνή που διατρέχονται από διακλάσεις με ομόρροπες με αυτά επιφάνειες, επικρατούν συνθήκες αστάθειας με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καταπτώσεις μικρών ή μεγάλων τεμαχίων βράχων από τις αποκολλήσεις των κερματισμένων πετρωμάτων.

2.6 Καρστικά φαινόμενα στην περιοχή έρευνας

Η διάβρωση του εδάφους της υπό μελέτη περιοχής, οφείλεται στην φύση των ανθρακικών πετρωμάτων της ενότητας του Τρυπαλίου από τα οποία αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά και αναπτύσσεται με την καρστικοποίηση των ανθρακικών της πετρωμάτων, λόγω της σταδιακής χημικής τους διάλυσης από το νερό. Στην περιοχή έρευνας παρατηρείται κατά βάθος διάβρωση.

2.7 Υδρολογικά και Υδρογεωλογικά στοιχεία ευρύτερης περιοχής

Η υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών εξαρτάται από τη λιθολογική τους σύσταση και την κοκκομετρία τους, εφ' όσον πρόκειται για συμπαγή πετρώματα. Η συμπεριφορά αυτή των γεωλογικών σχηματισμών έναντι του νερού, προσδιορίζεται από το πορώδες και τη διαπερατότητά τους.

Συγκεκριμένα, η υδρολιθολογική συμπεριφορά των σχηματισμών της περιοχής, προσδιορίζεται ως εξής:

- ❖ **Οι ανθρακικοί σχηματισμοί της ενότητας του Τρυπαλίου** που δομούν την περιοχή και αποτελούν και το υπόβαθρό της, είναι **υδροπερατοί σχηματισμοί** και επισημαίνουμε ότι:
 - α) Η διαπερατότητα είναι μικρή στα κατώτερα στρωματογραφικά τμήματα, που αποτελούνται από ισχυρά ανακρυσταλλωμένους λεπτοπλακώδεις έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθους και δεν παρουσιάζουν έντονη τεκτονική. Αντίθετα, είναι πολύ μεγαλύτερη στα ανώτερα στρωματογραφικά τμήματα που αποτελούνται από παχυστρωματώδεις έως μαζώδεις ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και ανθρακικά κροκαλολατυποπαγή, που είναι έντονα τεκτονισμένοι.
 - β) Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει τη διαπερατότητα των πετρωμάτων της ενότητας του Τρυπαλίου, είναι **το δευτερογενές τους πορώδες που ελέγχεται από τη ρηξιγενή τους τεκτονική** και συγκεκριμένα από τη γεωμετρία, την πυκνότητα, το εύρος ανοίγματος των κενών χώρων που σχηματίζονται μεταξύ των τεκτονικών ασυνεχειών, καθώς και από το υλικό πληρώσεώς τους.

- γ) Από μελέτες που έχουν γίνει σε ανάλογους σχηματισμούς της ευρύτερης περιοχής των Λευκών Ορέων, προκύπτει ότι τα **ανθρακικά πετρώματα της ενότητας Τρυπαλίου** επειδή είναι έντονα καρστικοποιημένα και ρωγματωμένα, παρουσιάζουν **πολύ μεγάλο συντελεστή διαπερατότητας** που στην περιοχή των Μυλωνιανών υπολογίστηκε να κυμαίνεται από $1.4 \cdot 10^{-3}$ έως $2.1 \cdot 10^{-3}$ m/sec.
- ❖ Οι αλλουβιακές αποθέσεις που συναντώνται σποραδικά στην μελετούμενη περιοχή και αποτελούνται από αργίλους, ερυθρογή και διάσπαρτες λατύπες, που παρουσιάζουν πολύ μικρή περατότητα, γεγονός που οφείλεται στην περιεκτικότητά τους σε άργιλο. Θεωρητικά οι σχηματισμοί αυτοί είναι υδατοστεγείς.
 - ❖ Οι ζώνες ρηγμάτων που στην ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου είναι ιδιαίτερα εμφανείς, με βάση μελέτες που έχουν γίνει στην περιοχή της Κρήτης, διαπιστώθηκε ότι συμπερασματικά λειτουργούν είτε ως υπόγεια διαφράγματα στην κίνηση του νερού (ειδικότερα αυτές που αναπτύσσονται με διευθύνσεις Α-Δ), είτε ως υπόγειοι αγωγοί νερού (ειδικότερα αυτές που αναπτύσσονται με διευθύνσεις Β-Ν).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ****3.1 Εισαγωγή**

Η γεωφυσική είναι η επιστήμη που με βάση τους νόμους της φυσικής χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους χωρίς την απαραίτητη εκτέλεση γεωτρήσεων. Η ανάπτυξη και χρηματοδότηση αυτής της έρευνας ξεκίνησε από τις εταιρίες πετρελαίων και εκμετάλλευσης μεταλλείων.

Η εφαρμογή διαφόρων γεωφυσικών μεθόδων, καθώς και η ανάπτυξη, εξέλιξη νέων γεωφυσικών τεχνολογιών, παρείχαν πολλές πληροφορίες για το υπέδαφος χωρίς την απαραίτητη διάτρησή του.

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις μπορούν να εκτελεστούν στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε γεωτρήσεις, σε θέσεις μεταλλείων και εντός στοών.

Για την επιτυχή εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων και την επίλυση του προβλήματος, απαιτείται η πλευρική και κατακόρυφη διαφοροποίηση των σχηματισμών ως προς τις φυσικές τους ιδιότητες. Ο εντοπισμός μιας διαφοροποίησης στις φυσικές ιδιότητες, συνδέεται με τον εντοπισμό διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών ή τεκτονικών ασυνεχειών. Αυτό δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις, διότι διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί μπορούν και έχουν παρόμοιες ή ίδιες φυσικές ιδιότητες.

3.1.1 Φυσικές Ιδιότητες

Οι γεωφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούν διάφορες φυσικές ιδιότητες που σχετίζονται με το έδαφος και τα πετρώματα. Οι κύριες φυσικές ιδιότητες και οι μέθοδοι που σχετίζονται με αυτές παρουσιάζονται στο Πίνακα 3.1:

Πίνακας 3.1: Συσχέτιση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους με γεωφυσικές μεθόδους

Φυσικές Ιδιότητες	Γεωφυσικές Μέθοδοι
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	Αντίστασης / Αγωγιμότητας
Ηλεκτρομαγνητισμός	Αντίστασης / Αγωγιμότητας
Ταχύτητα Σεισμικών Κυμάτων	Σεισμικές
Πυκνότητα	Βαρυτικές
Μαγνητισμός	Μαγνητικές
Ραδιενεργά Στοιχεία	Ραδιομετρικές
Διηλεκτρική Σταθερά	Υπεδάφιο Ραντάρ

3.1.2 Στάδια γεωφυσικών διασκοπήσεων

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις περιλαμβάνουν **3 βασικά στάδια**:

- σχεδίαση έργου, εκτέλεση μετρήσεων και οικονομοτεχνική μελέτη.
- εκτέλεση των μετρήσεων και συλλογή των δεδομένων
- επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων.

Το πρώτο στάδιο μελέτης είναι πολύ σημαντικό, διότι πρέπει να επιλέξουμε την κατάλληλη μεθοδολογία και τους παραμέτρους που σχετίζονται με αυτή, καθώς και τα όργανα εφαρμογής της μεθόδου, ώστε να διεξάγουμε μια επιτυχής έρευνα. Η εκτέλεση των μετρήσεων υπαίθρου πρέπει να είναι σωστή για να έχουμε στην συνέχεια εύκολη επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων μας.

3.1.3 Κατηγορίες Γεωφυσικών Μεθόδων

1. Ηλεκτρική Μέθοδος: Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής μελετούν τις ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης, καθώς και τη πόλωση που δημιουργούν με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος (Σουπιός). Οι μέθοδοι αυτοί διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) σε εκείνες που βασίζονται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων (μέθοδος τελλουρικών ρευμάτων, μαγνητοτελλουρική και μέθοδος φυσικού δυναμικού) και β) σε εκείνες που βασίζονται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών, τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία (μέθοδοι ειδικής αντίστασης, ισοδυναμικών γραμμών και επαγόμενης πολικότητας) (Δεσποίνα).

2. Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος: Η θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης βασίζεται στον καθορισμό της γεωηλεκτρικής δομής στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης με βάση τις ιδιότητες του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που παράγεται μέσα στα στρώματα αυτά, σε σχέση με τις ιδιότητες του αρχικού (πρωτογενούς) πεδίου τις οποίες γνωρίζουμε όχι μόνο όταν αυτό παράγεται με τεχνητό τρόπο, αλλά και όταν παράγεται από φυσικά αίτια.

3. Σεισμική Μέθοδος: Η μέθοδος σεισμικής διασκόπησης προσδιορίζουν τις μεταβολές στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα της Γης.

4. Βαρυτική Μέθοδος: Οι βαρυτομετρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης καθορίζουν τις οριζόντιες μεταβολές της πυκνότητας των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης, με την μέτρηση των μεταβολών της έντασης του πεδίου βαρύτητας και των χωρικών παραγώγων αυτής.

5. Μαγνητική Μέθοδος: Οι μαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εντοπίζουν τις μεταβολές της μαγνήτισης των πετρωμάτων μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης, μετρώντας στην επιφάνεια της Γης μαγνητικές ανωμαλίες μικρής κλίμακας.

6. Ραδιομετρικές Μέθοδοι Διασκόπησης: Οι ραδιομετρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ραδιοακτινοβολίας που εκπέμπεται από πυρήνες στοιχείων μεγάλου ατομικού αριθμού. (Σουπιός όλα).

3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

3.2.1 Εισαγωγή

Με την εφαρμογή των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης, με μετρήσεις ηλεκτρικών ποσοτήτων στην επιφάνεια της Γης. Ηλεκτρικό ρεύμα εισάγεται στο έδαφος και η ποσότητα που μετράμε είναι η ηλεκτρική τάση. Η διαφορά δυναμικού που μετράτε μας δείνει μια ένδειξη της ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους.

Η θεωρία της ηλεκτρικής διασκόπησης έχει βασιστεί στον Kirsch 2006 και στον Sharma, 1997.

3.2.2 Μέθοδοι Ηλεκτρικής Διασκόπησης

Οι μέθοδοι της ηλεκτρικής διασκόπησης μπορούν να διακριθούν σε **δύο** γενικές κατηγορίες:

i) Παθητικές μέθοδοι, οι οποίες βασίζονται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων:

- **Μέθοδος Τελλουρικών Ρευμάτων:** Τα τελλουρικά ρεύματα είναι φυσικά ρεύματα που κινούνται μέσα στον φλοιό της Γης με την μορφή "σεντονιών", τα οποία παρουσιάζουν διακυμάνσεις στη διεύθυνση και στην έντασή τους. Αυτά μπορούν να εντοπιστούν μετρώντας τη διαφορά δυναμικού σε δύο ηλεκτρόδια που απέχουν μεταξύ τους, απόσταση μεγαλύτερη των 300 μέτρων. Κατά την εκτέλεση της μεθόδου αυτής μετράται η πυκνότητα του ρεύματος. Τα τέσσερα ηλεκτρόδια, M, N, M' και N' τοποθετούνται στο έδαφος και γίνεται συνεχής καταγραφή της διαφοράς δυναμικού στα ηλεκτρόδια. Από τα αποτελέσματα υπολογίζονται οι δύο συνιστώσες E_x και E_y του τελλουρικού πεδίου, ενώ το ολικό πεδίο ορίζεται

από την συνισταμένη των δύο. Στην τέλος μιας μελέτης, οι μετρήσεις τοποθετούνται στο χάρτη και παράγεται ένας χάρτης στον οποίο παρουσιάζονται οι κύριες γεωλογικές δομές.

- **Μαγνητοτελλουρική Μέθοδος Διασκόπησης:** Η μαγνητοτελλουρική μέθοδος διασκόπησης, διαθέτει κοινά χαρακτηριστικά με τη μέθοδο των τελλουρικών ρευμάτων. Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μετρά της μεταβολές πλάτους τόσο του ηλεκτρικού πεδίου E_x , όσο και του μαγνητικού πεδίου H_y , καθώς επίσης δίνεται η δυνατότητα του απευθείας υπολογισμού του μοντέλου αντιστάσεων με το βάθος. Τα όργανα της μεθόδου αυτής, έχουν αδυναμία στην καταγραφή μικρών και απότομων διακυμάνσεων του μαγνητικού πεδίου. Η μέθοδος αρχικά εφαρμόζεται για τη διερεύνηση βαθιών δομών, δομών πετρελαίου, καθώς και για υδρογεωλογικές μελέτες.
- **Μέθοδος του Φυσικού Δυναμικού:** Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε μετρήσεις του δυναμικού που οφείλονται σε φυσικά ηλεκτρικά ρεύματα τοπικού χαρακτήρα, τα οποία παράγονται με ηλεκτροχημική δράση μεταξύ μεταλλευμάτων και διαλυμάτων που βρίσκονται σε επαφή είτε λόγω ροής του υπεδάφιου νερού. Οι ποσότητες που μετράει το φυσικό δυναμικό δεν ξεπερνούν τις μερικές εκατοντάδες μιλλιβόλτ (mV) και η οργανολογία της είναι απλή. Η ερμηνεία των μετρήσεων γίνεται με ποιοτικές αλλά και με ποσοτικές μεθόδους.

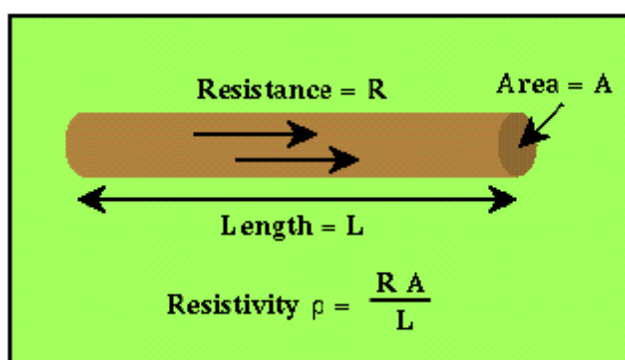
ii) **Ενεργητικές μεθόδους**, εκείνες που βασίζονται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία:

- **Μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης:** Η μελέτη και εφαρμογή της μεθόδου ξεκίνησε από το 1912 έως το 1914 από το Dobrin (1960). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό δυναμικό που σχετίζεται με την υπόγεια ροή ηλεκτρικού ρεύματος, που παράγεται από την πηγή συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Έχει ευρέα εφαρμογή σε υδρογεωλογικές, περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές μελέτες.
- **Μέθοδος Επαγόμενης Πολικότητας:** Πραγματοποιείται σε συνδυασμό με την μέθοδο της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης. Χρησιμοποιεί μετρήσεις των παροδικών χρονικών μεταβολών του δυναμικού όταν το ρεύμα που αρχικά διαβιβάζεται, παύει να διαβιβάζεται στο έδαφος. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό συγκεντρώσεων αργίλων και ηλεκτρικά αγώγιμων κόκκων μεταλλικών ορυκτών.

3.2.3 Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση

Μια από τις σπουδαιότερες ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης είναι η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Με τη μέθοδο αυτή, εισάγεται ηλεκτρικό ρεύμα στο υπέδαφος με τη χρήση δύο ηλεκτροδίων και μετράται η τάση σε άλλα δύο ηλεκτρόδια, ώστε να βρεθεί η γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους και έμμεσα να ληφθούν πληροφορίες για τη γεωλογική του δομή. Λόγω χαμηλού κόστους και μεγάλου εύρους εφαρμογών είναι η πιο διαδεδομένη γεωφυσική μέθοδος.

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων, (SI) είναι το Ωm . Εάν για παράδειγμα έχουμε έναν κυλινδρικό στερεό (Εικόνα 3.1), μήκους L και διατομής A που έχει αντίσταση R μεταξύ των δύο ακραίων διατομών του, τότε η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ δίνεται από τον τύπο:



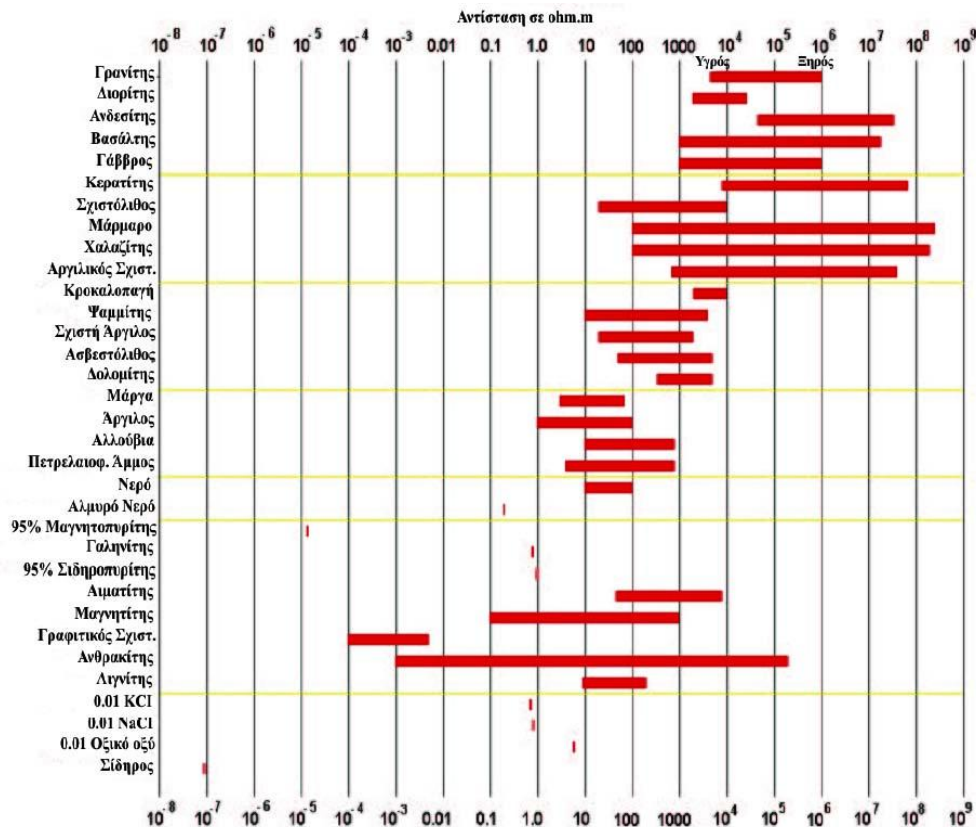
Εικόνα 3.1: Τρόπος υπολογισμού της ωμικής αντίστασης.

Οι **παράγοντες που επηρεάζουν** την ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι: α) το πορώδες των πετρωμάτων και η περιεκτικότητά τους σε διαλυμένα άλατα (ελάττωση του πορώδους του πετρώματος = αύξηση ειδικής αντίστασης), β) η λιθολογία των πετρωμάτων και η γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων (μεγαλύτερης ηλικίας στρώματα = μεγάλη ειδική ηλεκτρική αντίσταση), γ) η θερμοκρασία των πετρωμάτων (αύξηση θερμοκρασίας = ελάττωση ειδικής αντίστασης).

3.2.4 Ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις των πετρωμάτων

Η **ειδική ηλεκτρική αντίσταση** ρ των πετρωμάτων και των ορυκτών παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση. Στα περισσότερα πετρώματα το ρεύμα διέρχεται ηλεκτρολυτικά διαμέσου των υγρών των πόρων και η αντίσταση εξαρτάται από το πορώδες, την περιεκτικότητά τους σε νερό και τη ποιότητά τους. Η αντίσταση του εδάφους εξαρτάται από κάποιες παραμέτρους, όπως είναι η ορυκτολογική σύσταση, το πορώδες, η θερμοκρασία, καθώς και η γεωλογική ηλικία του

πετρώματος. Οι αντιστάσεις των πετρωμάτων είναι ενδεικτικές, καθώς μπορεί σε μια περιοχή άμμος και κροκάλες κορεσμένες σε γλυκό νερό να παρουσιάζουν αντίσταση από 15 - 40ohm-m, ενώ ο ίδιος σχηματισμός με τον ίδιο υδροφόρο σε άλλη γεωγραφική θέση να παρουσιάζουν αντιστάσεις από 100 - 250ohm-m.



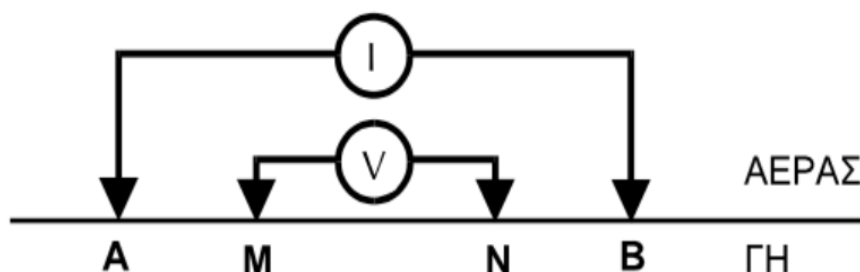
Εικόνα 3.2: Αντίσταση διάφορων πετρωμάτων και ορυκτών (Keller and Frischknecht 1966).

Τα μεταμορφωμένα και τα πυριγενή πετρώματα έχουν υψηλές τιμές αντίστασης, οι οποίες εξαρτώνται από τον βαθμό ρωγμάτωσής τους και από το ποσοστό του νερού που περιέχουν στους πόρους τους. Αντίθετα, τα ιζηματογενή πετρώματα, έχουν χαμηλότερες αντιστάσεις.

Οι τιμές της ειδικής αντίστασης εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες που μεταβάλλονται εύκολα. Για τον λόγο αυτό, οι διακυμάνσεις των τιμών της έχουν μεγάλο εύρος. Επιπλέον, δύο διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί μπορεί να έχουν παρόμοιες τιμές ειδικής αντίστασης. Άρα, πρέπει να υπάρχει μια σχετική σύγκριση των ειδικών αντιστάσεων στην ίδια περιοχή. Ο αναλυτής οφείλει να ερμηνεύει τις μετρήσεις σωστά και να υπολογίζει όλα τα δεδομένα της κάθε περιοχής (γεωλογικοί χάρτες, γεωτρήσεις κ.α.)

3.2.5 Φαινόμενη Ειδική Αντίσταση

Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση αντιπροσωπεύει την ειδική ηλεκτρική αντίσταση που θα είχε το υπέδαφος αν ήταν ομογενές και αποτελεί έναν σταθμισμένο μέσο όρο της πραγματικής αντίστασης του υπεδάφους. Κατά την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, διαβιβάζεται ηλεκτρικό ρεύμα στο υπέδαφος. Στην διαδικασία μέτρησης, χρησιμοποιούνται τέσσερα ηλεκτρόδια, τα οποία τοποθετούνται στο έδαφος σε βάθος μερικών εκατοστών (~10cm) και σε αποστάσεις μεταξύ τους που ποικίλουν από μερικά μέτρα μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιείται, συνδέεται με τα ηλεκτρόδια μέσω καλωδίων. Έτσι, διαβιβάζεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I μέσα στη γη με δυο ηλεκτρόδια ρεύματος A, B και μετράται σε διάφορες θέσεις η διαφορά δυναμικού V_{MN} μεταξύ δυο ηλεκτροδίων δυναμικού M, N. Με αυτό τον τρόπο, βρίσκουμε για κάθε μέτρηση η ηλεκτρική αντίσταση R.



Εικόνα 3.3: Μέτρηση φαινόμενης ειδικής αντίστασης)

$$R = V_{MN} / I_{AB}$$

Στην πραγματικότητα όμως η γη είναι ανομοιογενής και ανισότροπη, επομένως η μετρούμενη ηλεκτρική αντίσταση είναι συνάρτηση:

- της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους.
- της γεωμετρίας της μέτρησής μας (Θέσεις A, B, M, N).

Για να λάβουμε υπόψη την επίδραση της γεωμετρίας εισάγεται ο όρος της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ_α : $\rho_\alpha = V_{MN} / I_{AB} K$

, όπου K είναι ο λεγόμενος γεωμετρικός παράγοντας που εξαρτάται από τις αποστάσεις AB, AM, BM, BN. Η φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση ρ_α , μια φαινόμενη τιμή αντίστασης που θα είχε το έδαφος, εάν ήταν γεωηλεκτρικά ομογενές. Για αυτόν τον λόγο, είναι λανθασμένο να χρησιμοποιήσουμε απευθείας τις μετρήσεις της φαινόμενης αντίστασης για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

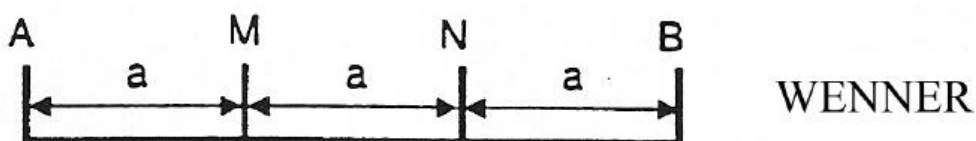
3.2.6 Διατάξεις Ηλεκτροδίων

Υπάρχουν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται σήμερα στην ύπαιθρο, με βάση το μέγεθος των δομών, την περιοχή μελέτης, τον εξοπλισμό και την εξοικείωση του προσωπικού. Οι διατάξεις που συχνότερα χρησιμοποιούνται είναι:

α) Η Διάταξη Wenner, κατά την οποία τα τέσσερα ηλεκτρόδια A, B, M και N εγκαθίστανται στο έδαφος σε ευθεία γραμμή και ισαπέχοντα. Η διάταξη αυτή διαθέτει γεωμετρική απλότητα, αλλά παρουσιάζει δυσκολίες κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων, γιατί πρέπει να μετακινούμε όλα τα ηλεκτρόδια κατά την εκτέλεση μιας νέας μέτρησης. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

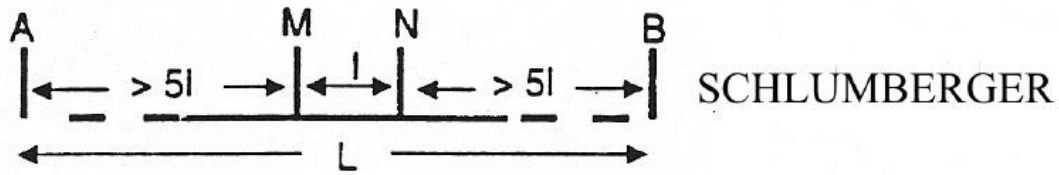
$$\rho_w = 2\pi \cdot a \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

,όπου παρατηρείται ότι η αντίσταση είναι συνάρτηση μόνο της απόστασης a των ηλεκτροδίων μεταξύ τους.



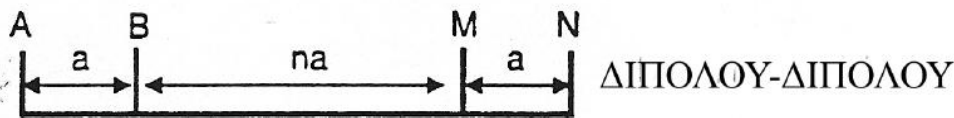
β) Η Διάταξη Schlumberger, κατά την οποία τα τέσσερα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στο έδαφος με την ίδια σειρά ηλεκτροδίων (A M N B) όπως και στη διάταξη Wenner, αλλά με απόσταση $AB \geq 5MN$. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο, διότι μεταβάλλουμε την απόσταση μόνο των δύο ηλεκτροδίων και χρησιμοποιεί σταθερού διπόλου τάσης, που περιορίζει τις ανεπιθύμητες επιδράσεις στις μετρήσεις που προκαλούνται από γεωλογικές πλευρικές ασυνέχειες. Υποθέτουμε ότι απόσταση $AB=2L$ και την $MN=2l$, τότε αποδεικνύεται ότι η φαινόμενη ειδική αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho_s = \frac{\pi L^2}{2l} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$



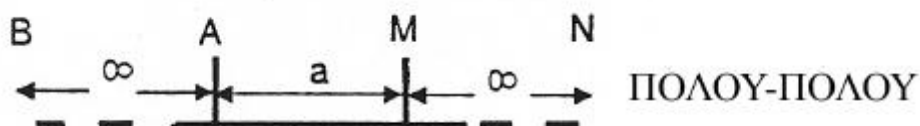
γ) Η Διάταξη Διπόλου-Διπόλου, κατά την οποία τα τέσσερα ηλεκτρόδια δεν τοποθετούνται στην ίδια ευθεία, αλλά η απόσταση των ηλεκτροδίων A και B και η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού M και N είναι μικρότερη από την απόσταση r , μεταξύ των κέντρων των δύο διπόλων. Η απόσταση μεταξύ του διπόλου ρεύματος και του διπόλου δυναμικού μπορεί να αυξηθεί σημαντικά και περιορίζεται μόνο από τον εδαφικό θόρυβο και από τη δυνατότητα των οργάνων να καταγράψουν την τάση και όχι από την απαίτηση για μεγάλα μήκη καλωδίων. Οι μετρήσεις κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής πραγματοποιούνται με αύξηση του r κατά βήματα. Αποδεικνύεται ότι η φαινόμενη ειδική αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \cdot r \cdot (r+1) \cdot (r+2) \cdot l \cdot \frac{\Delta V}{I}$$



δ) Η Διάταξη Πόλου-πόλου, όπου τα ηλεκτρόδια του ρεύματος B, και ένα από τα ηλεκτρόδια του δυναμικού N, είναι τοποθετημένα σε πολύ μεγάλη απόσταση από τα άλλα δύο (A, M), έτσι ώστε να μπορέσει να θεωρηθεί ότι βρίσκονται στο άπειρο. Επομένως, η φαινόμενη ειδική αντίσταση θα είναι:

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \cdot 2\pi \cdot a$$



Παρατηρούμε ότι η διάταξη διπόλου-διπόλου παρουσιάζει καλή ανάλυση στις κατακόρυφες και πλευρικές μεταβολές της αντίστασης. Επίσης στην συγκεκριμένη διάταξη, ο λόγος S/N έχει την μικρότερη τιμή. Όμως, εάν επιλέξουμε τις κατάλληλες παραμέτρους διασκόπησης, θα δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

3.2.7 Μέθοδος Ηλεκτρικής Τομογραφίας (ERT)

Η ηλεκτρική τομογραφία, η οποία συνδιάζει την μέθοδο όδευσης και βυθοσκόπησης, μας προσφέρει πληροφορίες, τόσο για την πλευρική, όσο και για την σε βάθος μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αυτό επιτυγχάνεται με διαδοχικές οδεύσεις πάνω από την περιοχή μελέτης και με την συνεχή αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα πολλαπλό καλώδιο (Griffiths και Barker, 1993) . Έτσι, μας δίνεται μια δισδιάστατη εικόνα της ερευνηθείσας περιοχής.

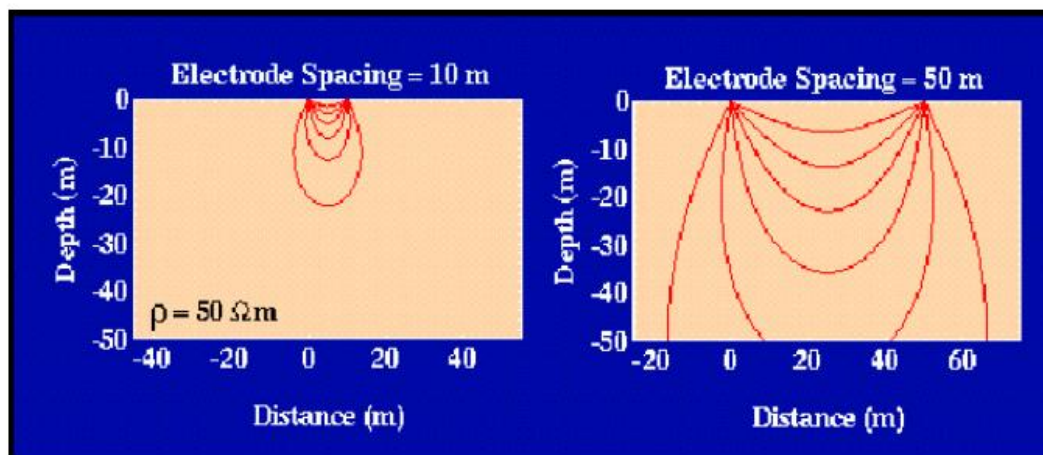
Κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, εκτελούμαι έναν μεγάλο αριθμό μετρήσεων, με αποτέλεσμα την αύξηση της διακριτικής ικανότητας και της ανάλυσης της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων, χρησιμοποιείται ένας μικροϋπολογιστής σε συνδιασμό με μια μονάδα ηλεκτρονικής μετατροπής για την αυτόματη επιλογή των τεσσάρων ηλεκτροδίων της κάθε μέτρησης.



Εικόνα 3.4: Εφαρμογή μεθόδου ERT στην ύπαιθρο

3.2.8 Βάθος Διείσδυσης

Το βάθος διείσδυσης του ρεύματος είναι ανάλογο με την απόσταση των ηλεκτροδίων. Όσο πιο μεγάλη είναι η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων τόσο αυξάνεται το βάθος διείσδυσης.



Εικόνα 3.5: Ροή ρεύματος σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων μέτρησης

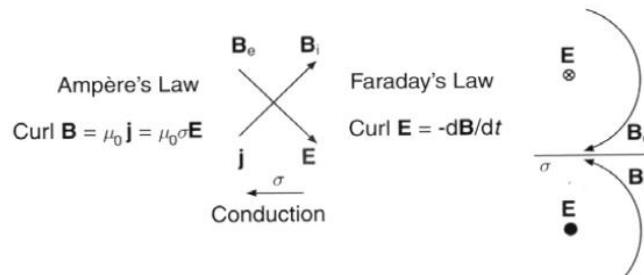
3.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (TEM)

3.3.1 Εισαγωγή

Κατά την εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης παράγεται (τεχνητά ή φυσικά) στην επιφάνεια της γης ένα πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το οποίο όχι μόνο φτάνει απευθείας και σχεδόν αμετάβλητο σε ένα δέκτη στην επιφάνεια της γης, αλλά διαδίδεται και μέσα στη γη όπου, αν συναντήσει ένα ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα (π.χ. μετάλλευμα), επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο αγώγιμο σώμα με συνέπεια τη γένεση ενός δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος, το οποίο επίσης φτάνει στο δέκτη και συμβάλλει με το πρωτεύον κύμα. Το δευτερογενές αυτό κύμα είναι της ίδιας συχνότητας με το πρωτεύον, έχει συνήθως πλάτος πολύ μικρότερο από το πρωτεύον, φθάνει στο δέκτη από διαφορετική διεύθυνση και παρουσιάζει μια διαφορά φάσης σε σχέση με το πρωτεύον.

Τον πομπό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το αγώγιμο ηλεκτρικό σώμα μέσα στη γη και τον δέκτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα θεωρούμε ως πηνία. Το πηνίο του πομπού διαρρέεται από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και παράγει το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο, ενώ στο πηνίο που αντιπροσωπεύει το αγώγιμο σώμα μέσα στη γη επάγεται εναλλασσόμενο ρεύμα με συνέπεια τη γένεση του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου κάποιας έντασης.

Η θεωρητική βάση των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης στηρίζεται στην θεωρία του **Maxwell** για τον ηλεκτρομαγνητισμό:



Εικόνα 3.6: Εξισώσεις Maxwell

3.3.2 Αρχή Ηλεκτρομαγνητικών Μεθόδων

Χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο κοντά στην επιφάνεια της γης, τα οποία επάγουν μέσα στο φλοιό της γης εναλλασσόμενα ηλεκτρικά ρεύματα που παράγουν δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα δευτερογενή κύματα έχουν την ίδια συχνότητα με τα αρχικά κύματα, αλλά οι υπόλοιπες ιδιότητές τους διαφέρουν (διεύθυνση, πλάτος, φάση), γιατί οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται και από τη γεωηλεκτρική δομή (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) των πάνω κυρίως στρωμάτων του φλοιού. Επομένως, τα δευτερογενή αυτά κύματα συμβάλλουν με τα αρχικά κύματα για να δώσουν ένα συνισταμένο κύμα, το οποίο καταγράφεται γνωρίζοντας έτσι τις ιδιότητες του.

3.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι σε αντίθεση με τις ηλεκτρικές, μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν μπορεί να γίνει ηλεκτρική σύνδεση με το έδαφος, εξαιτίας της μεγάλης ειδικής αντίστασής του. Η διασκόπηση μπορεί να εκτελεστεί σε μεγαλύτερα βάθη από ότι οι ηλεκτρικές.

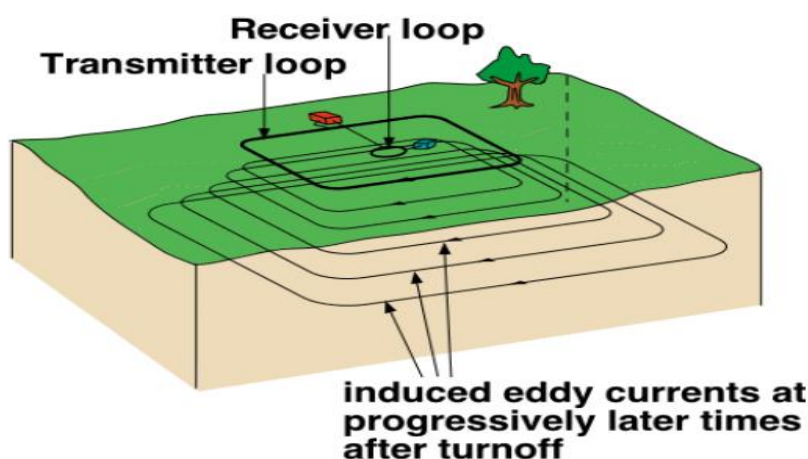
Το μειονέκτημα τους είναι ότι δεν μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση αγωγίμων σωμάτων σε μεγάλα βάθη, όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγωγίμο.

Όμως, οι μέθοδοι αυτοί εκτελούν καταγραφές σε μικρά βάθη. Για τον λόγο αυτό εφαρμόζονται στη διασκόπηση των μεταλλευμάτων και όχι του πετρελαίου.

3.3.4 Μέθοδος Παροδικών Κυματομορφών (TEM)

Η χρήση της μεθόδου των παροδικών κυματομορφών, ξεκίνησε στις αρχές του 20ου αιώνα. Η μεγάλη διάδοση της μεθόδου και η ευρεία χρήση της άρχισε στη δεκαετία του 1960. Η μέθοδος TEM έχει εφαρμοστεί σε μεταλλευτικές έρευνες, γεωθερμικά πεδία, περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές έρευνες, για τον εντοπισμό υδροφόρων και υφάλμυρων οριζόντων, καθώς και σε συνδυασμό με άλλες γεωφυσικές μεθόδους. Έχει γίνει αναφορά στην θεωρία των TEM σύμφωνα με τους McNeill (1980) και Nabighian and Macnae (1991).

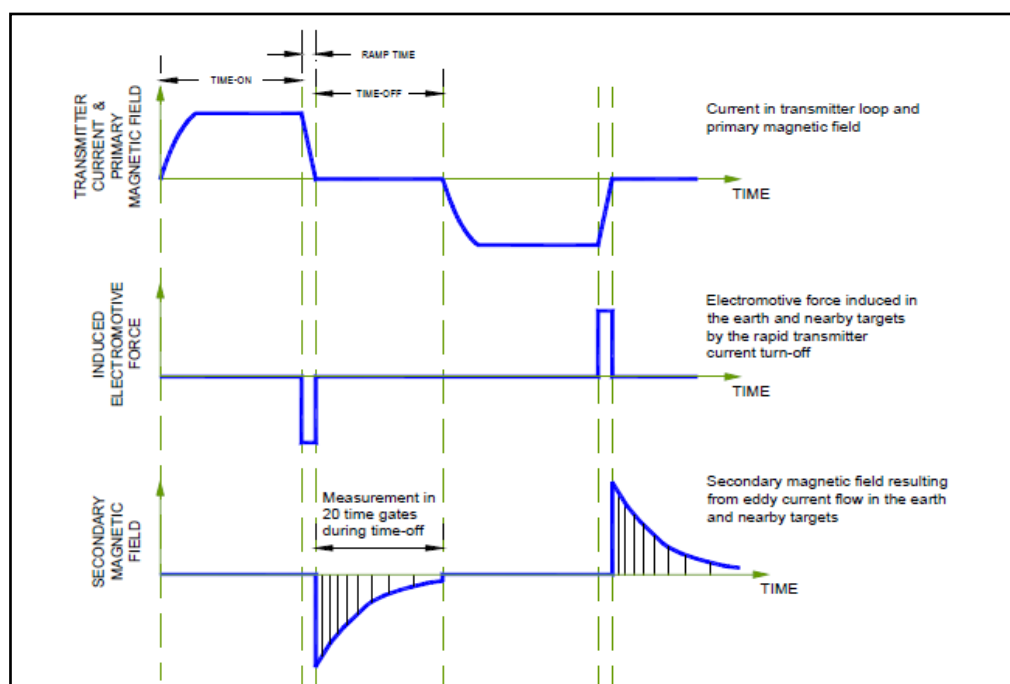
Όσον αφορά στο θεωρητικό μέρος της μεθόδου, δημιουργώντας έναν ορθογώνιο βρόχο στην επιφάνεια του εδάφους, υλοποιείται ένα κλειστό κύκλωμα, το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης. Το κύκλωμα αυτό αποτελεί τον πομπό εκπομπής (transmitter) των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Έπειτα από κάποιο χρονικό διάστημα, ικανό ώστε να μην παρατηρούνται ταλαντώσεις στο πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, το συνεχές αυτό ρεύμα διακόπτεται απότομα ($t=0$). Με χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, η πτώση του ρεύματος γίνεται γραμμικά από I_0 μέχρι 0 και διαρκεί χρόνο t_r .



Εικόνα 3.7: Διάταξη της μεθόδου TEM

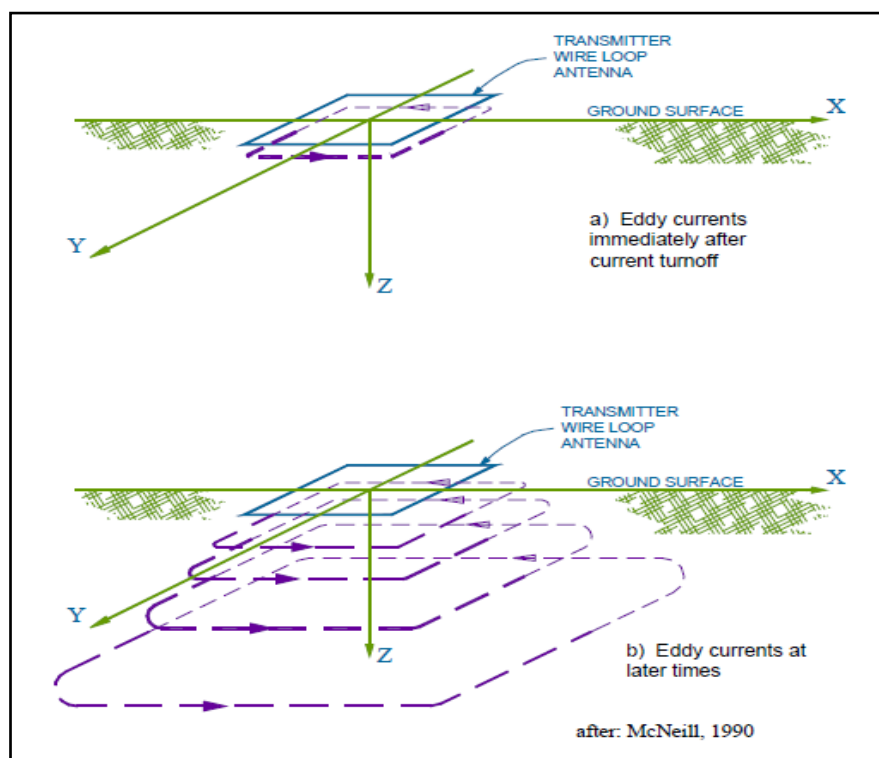
Με τη χρήση της μεθόδου TEM παίρνουμε μετρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών ρεύματος και κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Τα επαγωγικά ρεύματα διοχετεύονται μέσα στη γη και διαχέονται με μορφή μετώπου. Η ένταση των ρευμάτων αυτών μειώνεται με το βάθος και ανάλογα με τις γεωηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους. Στη συνέχεια, τα ρεύματα αυτά δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που ανιχνεύεται με κατάλληλο πηνίο - δέκτη και το μετρούμενο δυναμικό στο πηνίο είναι ανάλογο της έντασης του πηνίου. Κατά τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων της μέτρησης, γίνεται ο διαχωρισμός τους σε χρονικές πύλες. Στη συνέχεια, γίνεται επεξεργασία για την αναγνώριση- απομάκρυνση θορύβου, καθώς και μια προσεγγιστική αντιστροφή απεικόνιση και γραμμικοποιημένη αντιστροφή.

Η μέθοδος TEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση των εδαφών και των αλλαγών στους διαφόρους τύπους τους σε συγκεκριμένο εύρος βάθους. Είναι χρήσιμη στην άμμο και σε χαλίκι, για χαρτογράφηση υδροφόρων, για αργιλώδη στρώματα με περιορισμό της ροής των υπογείων υδάτων, για αγωγίμα στραγγίσματα στα υπόγεια ύδατα, για διεϊσδυση θαλασσινού νερού, καθώς και για το βάθος στο βραχώδες υπόστρωμα.



Εικόνα 3.8: Κυματομορφές TEM

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τη θεωρία της λειτουργίας της TEM, οι ηλεκτρομαγνητικές (EM) γεωφυσικές τεχνικές προκαλούν ηλεκτρικά ρεύματα στη γη χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Μια χρονική ποικιλία μαγνητικού πεδίου δημιουργείται χρησιμοποιώντας μια σπείρα ή έναν βρόχο καλωδίου στη γήινη επιφάνεια. Στην Εικόνα 3.8, παρατηρούμε την κυματομορφή του αρχικού μαγνητικού πεδίου που παράγεται από τη συσκευή αποστολής σημάτων και του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου (ηλεκτρεγερτική δύναμη) που συνοδεύει εκείνο το μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 3.9: Ροή ρευμάτων στροβίλου α) πρώτοι χρόνοι, β) ύστεροι χρόνοι

Η αποσύνθεση των δευτεροβάθμιων ρευμάτων εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου και τη γεωμετρία των αγωγικών στρωμάτων. Ο δέκτης TEM μετρά μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα δευτεροβάθμια ρεύματα. Στις ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές το προκαλούμενο σήμα παρουσιάζεται με ένα δυνατό παλμό ή με ένα παροδικό σήμα.

Τα ρεύματα που προκαλούνται στη γη είναι αρχικά συγκεντρωμένα κάτω από την συσκευή αποστολής σημάτων. Αυτό απεικονίζεται στην **Εικόνα 3.9**:

α) Τα ρεύματα αυτά θα διασκορπιστούν με τον χρόνο χαμηλά και μακριά από τη συσκευή αποστολής σημάτων.

β) Τα «δακτυλίδια καπνού», χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των ρευμάτων στο έδαφος. Αρχικά, διαβιβάζονται ισχυρά ρεύματα στο έδαφος δίπλα από τον βρόχο. Έπειτα, τα δακτυλίδια αυτά επεκτείνονται, αποδυναμώνονται και ταξιδεύουν κάτω μέσω της γης. Το ποσοστό διάχυσης εξαρτάται από τη γήινη αγωγιμότητα. Τα ρεύματα στα ανθεκτικά μέσα θα διασκορπίζονταν πολύ γρήγορα, ενώ στα αγωγή μέσα πιο αργά.

Οι δευτεροβάθμιες μετρήσεις πραγματοποιούνται στη χρονική σειρά από 10 μ s σε 10 ms μετά από τη 'διακοπή' του πρωτογενούς πεδίου. Οι μετρήσεις διεξάγονται σε 20 έως 30 χρονικά διαστήματα. Για την βαθύτερη ανάλυση των αγωγικών τμημάτων αυξάνεται ο χρόνος των μετρήσεων μέχρι το λεπτό. Οι μετρήσεις εκτελούνται, όταν το ρεύμα της συσκευής αποστολής σημάτων είναι κλειστό. Άρα, οι μετρήσεις ενδεχομένως να είναι πιο ευαίσθητες από του

δευτεροβάθμιου πεδίου. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων διεξάγεται παράγοντας ένα υποθετικό με στρώσεις γήινο μοντέλο, υπολογίζοντας την θεωρητική απάντηση για εκείνο το μοντέλο. Έπειτα, αυτό καθαρίζεται μέχρι η υπολογισμένη απάντηση να ταιριάζει με την παρατηρούμενη. Οι πρότυποι καθαρισμοί μπορούν να γίνουν με τη χρήση μιας αυτοματοποιημένης επαναληπτικής διαδικασίας.

3.3.5 Όργανα Μετρήσεων

TEM FAST 48HPC

Ένα σημαντικό όργανο που χρησιμοποιούμε κατά εφαρμογή της μεθόδου TEM είναι το TEM FAST 48HPC. Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του οργάνου (TEM-Fast 48 manual, 2007), είναι ένα φορητό γεωφυσικό σύστημα που βασίζεται στην προηγμένη τεχνολογία FAST-TEM με παροχή υψηλής ανάλυσης, την αποτελεσματική λειτουργία υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών ζωνών της πόλης με περιορισμένο διάστημα, ερήμους, βουνά, και κάθε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές. Περιέχει: α) γεννήτρια ορθογωνίων σφυγμών (συσκευή αποστολής σημάτων) β) ο μετρώντας φραγμός που παρέχει την εγγραφή των σημάτων (δέκτης), γ) φραγμός ελέγχου, δ) παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (μπαταρία).

Το TEM FAST 48HPC είναι ένα βολικό και υψηλής αποτελεσματικότητας εργαλείο που μπορεί να εφαρμοστεί για την επίλυση πολύ δύσκολων προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών ερευνών, υδρογεωλογικών ερευνών, αρχαιολογικών, μεταλλευτικών ερευνών και άλλων. Λειτουργεί με οποιοδήποτε επιτραπέζιο υπολογιστή της IBM, σημειωματάριο ή τον υπολογιστή χειρός μέσω πρότυπο διεπαφής RS 232. Δημιουργεί και στέλνει σύντομους παλμούς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στη γη και η απάντησή της, εξαρτάται από το ηλεκτρικό τμήμα του εδάφους.



Εικόνα 3.9: Δείγμα οργάνου TEM- FAST 48 (APPLIED ELECTROMAGNETIC RESEARCH (AEMR) TEM -FAST 48HPC, aemr.net, 2007)

Χρησιμοποιώντας τερματικό υπολογιστή και λαμβάνοντας υπόψη το σήμα και τον θόρυβο, ο χειριστής μπορεί να ορίζει τον αριθμό των παλμών που απαιτούνται για την ακριβή επεξεργασία των δεδομένων. Μετά τη συσσώρευση του σήματος, ο υπολογιστής γυρνάει το σύστημα σε κατάσταση με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και κάνει υπολογισμούς για εξομάλυνση της τάσης και της ανακρίβειας των μετρήσεων. Αλγόριθμοι των μετρήσεων και επεξεργασίας δεδομένων που εφαρμόζονται σε TEM FAST 48HPC επιτρέπουν τον αποκλεισμό των συστηματικών σφαλμάτων που συνδέονται με μπαταρίες, μεταβολή της θερμοκρασίας και αυξάνουν το σήμα του θορύβου αν το επίπεδο του σήματος είναι μικρό.

Πίνακας 3.2: Προδιαγραφές

Παράμετρος	TEM-FAST 48HPC
Χρόνος Πυλών	48 Γεωμετρικά Διάστιχα
Χρονικό Φάσμα	4 - 16000 μ s
Τρέχων Πομπός	1 A ή 4 A
Μέγεθος Βρόγχου	5 cm \times 5cm - 500m \times 500m
Εύρος Βάθους Θορύβου	1 m - 300m
Αδιάβροχο Κουτί	I P65
Διαστάσεις (mm)	330 \times 35 \times 110
Βάρος (kg)	1.5
Εσωτερική Μπαταρία	12 V, 2 A·h
Ευαισθησία	\sim 0.1 μ V
Επίδειξη	Σημειωματάριο ή φορητό υπολογιστή
Θερμοκρασία Λειτουργίας	45 °C

3.3.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδου TEM

Πλεονεκτήματα της μεθόδου TEM είναι: α) η ευαισθησία της σε αγωγούς σε μεγάλα βάθη, β) ο ελαφρύς εξοπλισμός έναντι άλλων γεωφυσικών μεθόδων, γ) ευχάριστη γρήγορη με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Μειονεκτήματα της μεθόδου TEM είναι: α) η χαμηλή ανάλυση των σκληρών στρωμάτων και β) ο υψηλός βαθμός της σύγκρισης αποτελεσμάτων με τους προκαλούμενους από τον άνθρωπο αγωγούς.

3.3.7 Σφάλματα στην βυθοσκόπηση TEM

Τα σφάλματα που εμφανίζονται στην εφαρμογή μετρήσεων TEM, οφείλονται σε διάφορες παραμέτρους, οι οποίες μπορεί να επηρεάζουν σημαντικά την ορθή γεωλογική ερμηνεία των μετρήσεων.

Οι **σημαντικότερες** από αυτές είναι:

- **Ο Γεωμετρικός θόρυβος:** Οι πηγές θορύβου, ο οποίες προέρχονται λόγω της γεωμετρίας κάθε διάταξης. Ομως, οι μετρήσεις διεξάγονται με απουσία του πρωτεύοντος πεδίου, με αποτέλεσμα τα γεωμετρικά λάθη να έχουν μικρό μέγεθος.
- **Η τοπογραφία,** η οποία παρουσιάζει μικρές ποσότητες σφαλμάτων στις μετρήσεις, διότι η διάδοση των κυμάτων παρουσιάζει τέτοια συμπεριφορά σαν να ήταν η επιφάνεια του εδάφους επίπεδη.
- **Ο ανθρωπογενής θόρυβος:** Στην περιοχή έρευνας, μπορεί να υπάρχουν διάφοροι μεταλλικοί αγωγοί, οι οποίοι επάγουν ηλεκτρικό ρεύμα (π.χ. μεταλλικοί φράχτες). Επίσης, τέτοιου είδους θόρυβοι έχουν την ικανότητα να διοχετεύουν επαγόμενα ρεύματα στα περιβάλλοντα πετρώματα.
- **Ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος:** Οι κυριότερες πηγές ηλεκτρομαγνητικού θορύβου που επηρεάζουν τις μετρήσεις είναι: i) τα γεωμαγνητικά σήματα (< 1 Hz) που προέρχονται μέσα και πάνω από την Ιονόσφαιρα, ii) πάνω από 1 Hz το φάσμα του φυσικού θορύβου προέρχεται κυρίως από ατμοσφαιρικά παράσιτα, iv) ο ανθρωπογενής ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος προκαλείται από της γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου και από τους σταθμούς χαμηλών συχνοτήτων VLF. Γενικά, τέτοιου είδους θόρυβοι εντοπίζονται εύκολα λόγω του ότι η πηγή από όπου προέρχονται είναι εμφανής.
- **Ο επαγωγικός θόρυβος:** Τέτοιου είδους σφάλματα προέρχονται όταν η οι μετρήσεις απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθούν. Η διόρθωση τους γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως στις μαγνητικές μεθόδους.

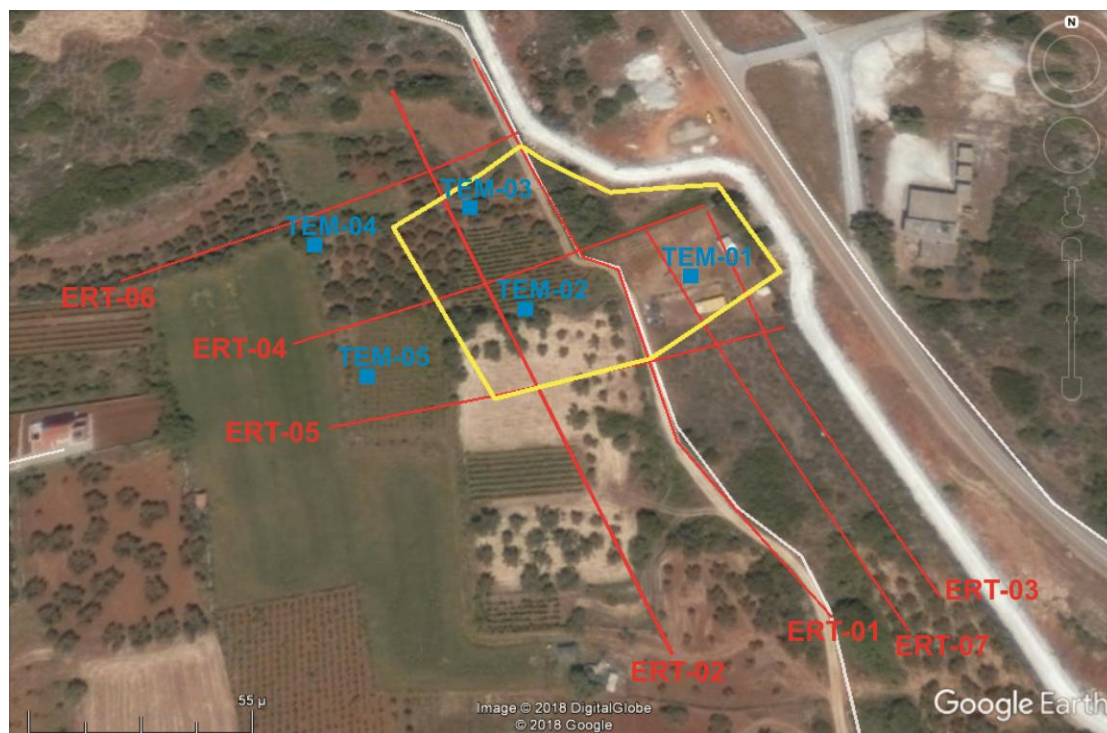
Γενικά, η **αφαίρεση του θορύβου** από τις μετρήσεις δεν είναι εύκολη διαδικασία. Σε μια τέτοιου είδους διαδικασία ακολουθείται αρχικά αποσυνέλιξη της απόκρισης του συστήματος για τον δέκτη, έπειτα αφαίρεση του θορύβου εξαιτίας των γραμμών μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος, κανονικοποίηση για την γεωμετρία του συστήματος και τέλος εαν είναι απαραίτητο αναγνώριση και αφαίρεση του θορύβου χαμηλής συχνότητας που προέρχεται από τους μικροπαλμούς του μαγνητικού πεδίου της Γης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΑΝΑΛΥΣΗ-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Η πραγματοποίηση των γεωφυσικών μετρήσεων στην περιοχή του Παζινού (Εικ. 4.1), ξεκίνησε στις 1η Δεκεμβρίου 2017 και ολοκληρώθηκε στις 4η Φεβρουαρίου 2018. Πιο συγκεκριμένα, εκτελέστηκαν 7 ηλεκτρικές τομογραφίες ERT(κόκκινες γραμμές) και 5 βυθοσκοπήσεις TEM (μπλε τετράγωνα) (Εικ. 4.1). Μετρήσεις εκτελέστηκαν και εκτός των ορίων που είχε ορίσει η υπηρεσία για την συλλογή μιας ολοκληρωμένης απεικόνισης της δομής του υπεδάφους.



Εικόνα 4.1: Δορυφορική εικόνα της περιοχής έρευνας (Πηγή Google Earth). Με κίτρινο πλαίσιο οριοθετείται η περιοχή έτσι όπως ορίστηκε από τη ΔΕΥΑΧ, με κόκκινες γραμμές παρουσιάζονται οι 7 ηλεκτρικές τομογραφίες ERT και με μπλε τετράγωνα οι 5 βυθοσκοπήσεις TEM.

4.2 Εκτέλεση Ηλεκτρικών Τομογραφιών ERT

Στην περιοχή εκτελέστηκαν συνολικά 7 ηλεκτρικές τομογραφίες (Εικ. 4.1) με την χρήση 48 ηλεκτροδίων. Οι ERT-01 και ERT-02 έχουν μήκος 235m με απόσταση των ηλεκτροδίων μεταξύ τους 5m, ενώ οι ERT-03, ERT-04, ERT-05, ERT-06, ERT-07

έχουν μήκος 141m με απόσταση των ηλεκτροδίων μεταξύ τους 3m. Οι μετρήσεις εκτελέστηκαν σε κάρναβο (Εικ. 4.1) σε απόσταση μεταξύ των τομογραφιών περίπου 25m με σκοπό να απεικονισθούν με τον πιο αντιπροσωπευτικό και ευκρινή τρόπο τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Οι τομογραφίες ERT-04, ERT-05 και ERT-06 είναι παράλληλες μεταξύ τους με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ, ενώ οι ERT-01, ERT-02, ERT-03 και ERT-07 είναι παράλληλες μεταξύ τους με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Τέλος, εκτελέστηκαν κάποιες συμπληρωματικές μετρήσεις από τις οποίες δεν πήραμε τα επιθυμητά αποτελέσματα, λόγω των δύσκολων συνθηκών που επικρατούσαν στην περιοχή.

Η εκτέλεση των γεωηλεκτρικών μετρήσεων υπαίθρου (ERT), πραγματοποιήθηκε με την χρήση του παρακάτω συστήματος:

- ❖ **IRIS Syscal R1 Plus, Switch 48 - IRIS Instruments**
- ❖ **2 καρούλια με πολύκλινα καλώδια** και απόσταση 5 μέτρα μεταξύ των ηλεκτροδίων.
- ❖ **48 μεταλλικά ηλεκτρόδια**
- ❖ **1 μπαταρία 12V**, για να υπάρχει η δυνατότητα μεγαλύτερης αυτονομίας στο ύπαιθρο
- ❖ **Υπολογιστής Laptop**
- ❖ **Καλώδιο RS232**, για την μεταφορά των δεδομένων από το σύστημα καταγραφής στον υπολογιστή (περαιτέρω επεξεργασία).

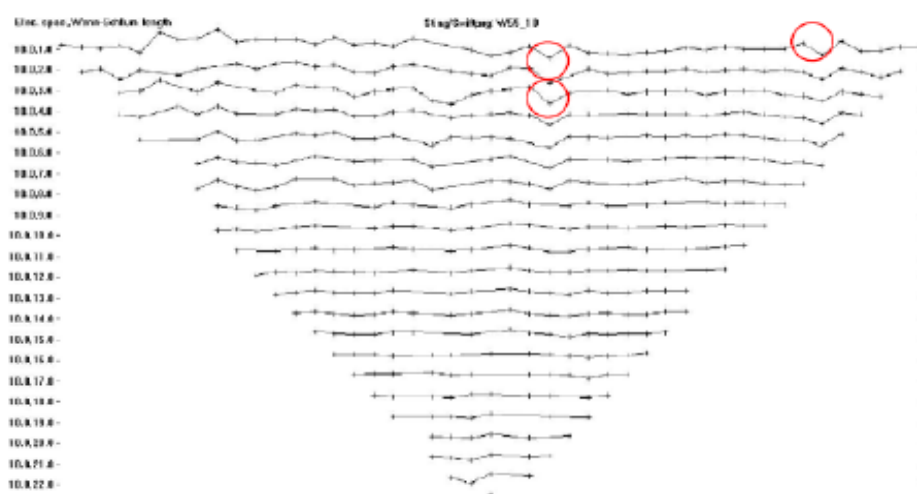
4.2.1 Επεξεργασία – Ανάλυση – Μοντελοποίηση – Αποτελέσματα

Μετά τη συλλογή των μετρήσεων, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία, ανάλυση και μοντελοποίηση των δεδομένων μέσω του λογισμικού **Res2Dinv**.

Το **Res2dinv** είναι ένα λογισμικό πρόγραμμα, το οποίο καθορίζει αυτόματα ένα δισδιάστατο (2-D) μοντέλο ειδικής αντίστασης από τα δεδομένα της ηλεκτρικής τομογραφίας. Το πρόγραμμα αυτό αντιστρέφει δεδομένα που συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό ηλεκτροδίων (25 έως 650). Σκοπός του είναι να καθοριστεί η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα του δισδιάστατου μοντέλου. Για την διάταξη διπόλου- διπόλου στο εγχειρίδιο αναφέρεται ότι τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε σειρά C1-C2-P1-P2, η οποία δίνει μια αρνητική φαινόμενη ειδική αντίσταση. Επομένως, για να ληφθεί η θετική τιμή

της ειδικής αντίστασης πρέπει να ρυθμίσουμε τη διάταξη, ώστε η σειρά να είναι C2-C1-P1-P2.

Τα δεδομένα εισάγονται από το αρχείο dat. και μόλις υλοποιηθεί η αντιστροφή των δεδομένων, παρουσιάζονται στην οθόνη τρεις τομές. Η πρώτη τομή είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η τρίτη είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Τα σφάλματα των υπολογισμένων και μετρούμενων τιμών των φαινόμενων αντιστάσεων ρα, μπορούν να μειωθούν αφαιρώντας τιμές με μεγάλη διακύμανση. Επίσης, ρυθμίζεται ο αριθμός των επαναλήψεων της διαδικασίας της αντιστροφής.



Εικόνα 4.2: Δεδομένα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με μορφή σχεδιαγράμματος (Οι κόκκινοι κύκλοι δείχνουν τα επιλεγμένα σημεία που πρέπει να αφαιρεθούν)

Η διαδικασία αντιστροφής των δεδομένων εκτελείται με την τεχνική των ελαχίστων τετραγώνων. Αυτά συλλέγονται με οποιαδήποτε από τις παρακάτω διατάξεις: Wenner, πόλλου-πόλλου, διπόλου- διπόλου, πόλου- διπόλου, Schlumberger, Wenner - Schlumberger και τις ορθογώνιες διατάξεις. Ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί ψευδοτομές που περιέχουν έως και 650 ηλεκτρόδια και 6500 σημεία δεδομένων.

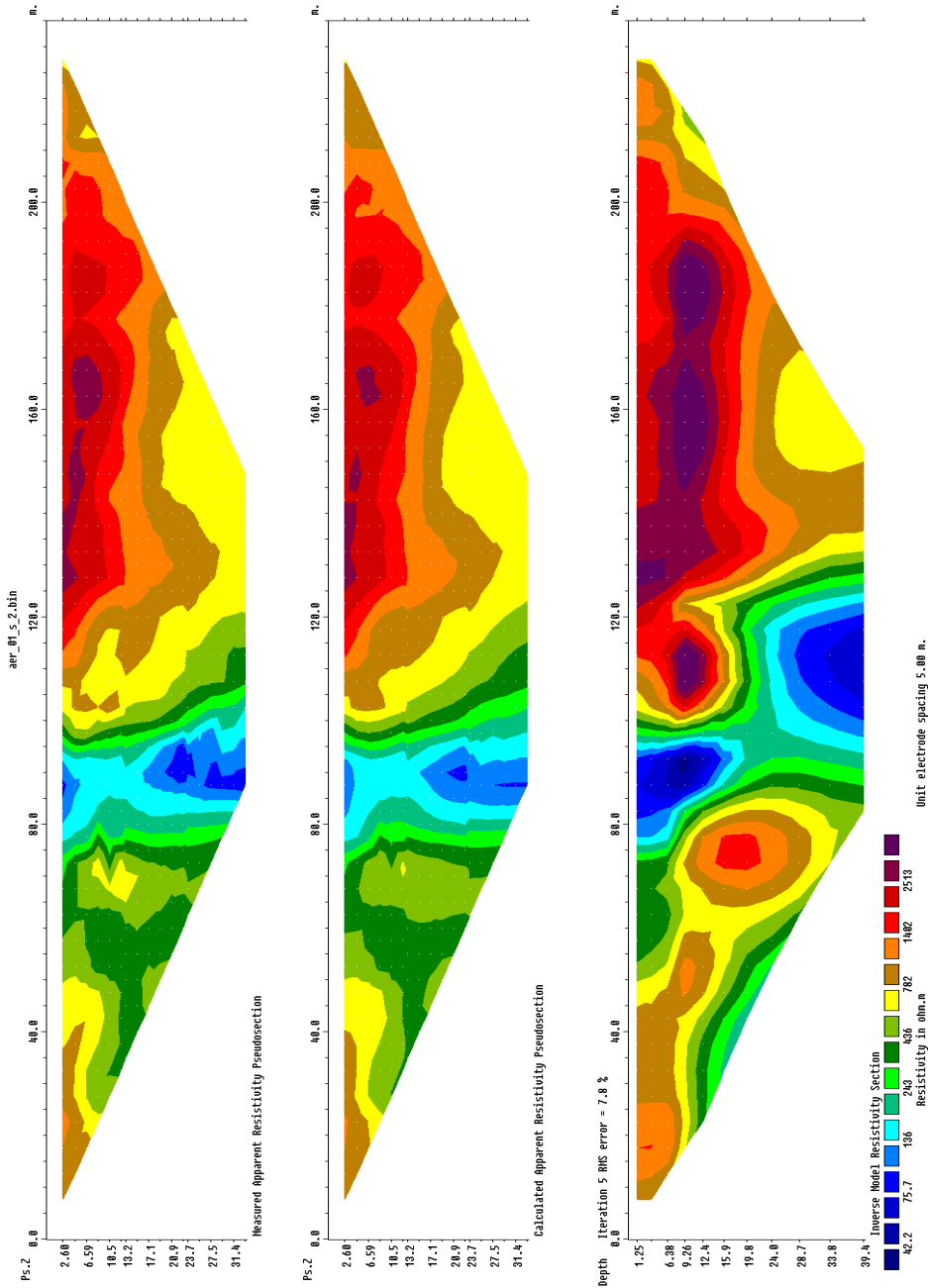
Το πρόγραμμα RES2DINV είναι φτιαγμένο έτσι ώστε να λειτουργεί, όσο το δυνατόν περισσότερο, με αυτόματο τρόπο. Για αυτό τον λόγο, διαθέτει ένα σύνολο παραμέτρων προεπιλογής που καθοδηγεί τη διαδικασία αντιστροφής. Ο χρήστης μπορεί να αλλάξει κάποιες από τις παραμέτρους, ώστε να βγει ακριβής η διαδικασία αντιστροφής.

Ένας άλλος παράγοντας που ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει είναι το μέγεθος και η κατανομή των ορθογώνιων πλεγμάτων που χρησιμοποιούνται από

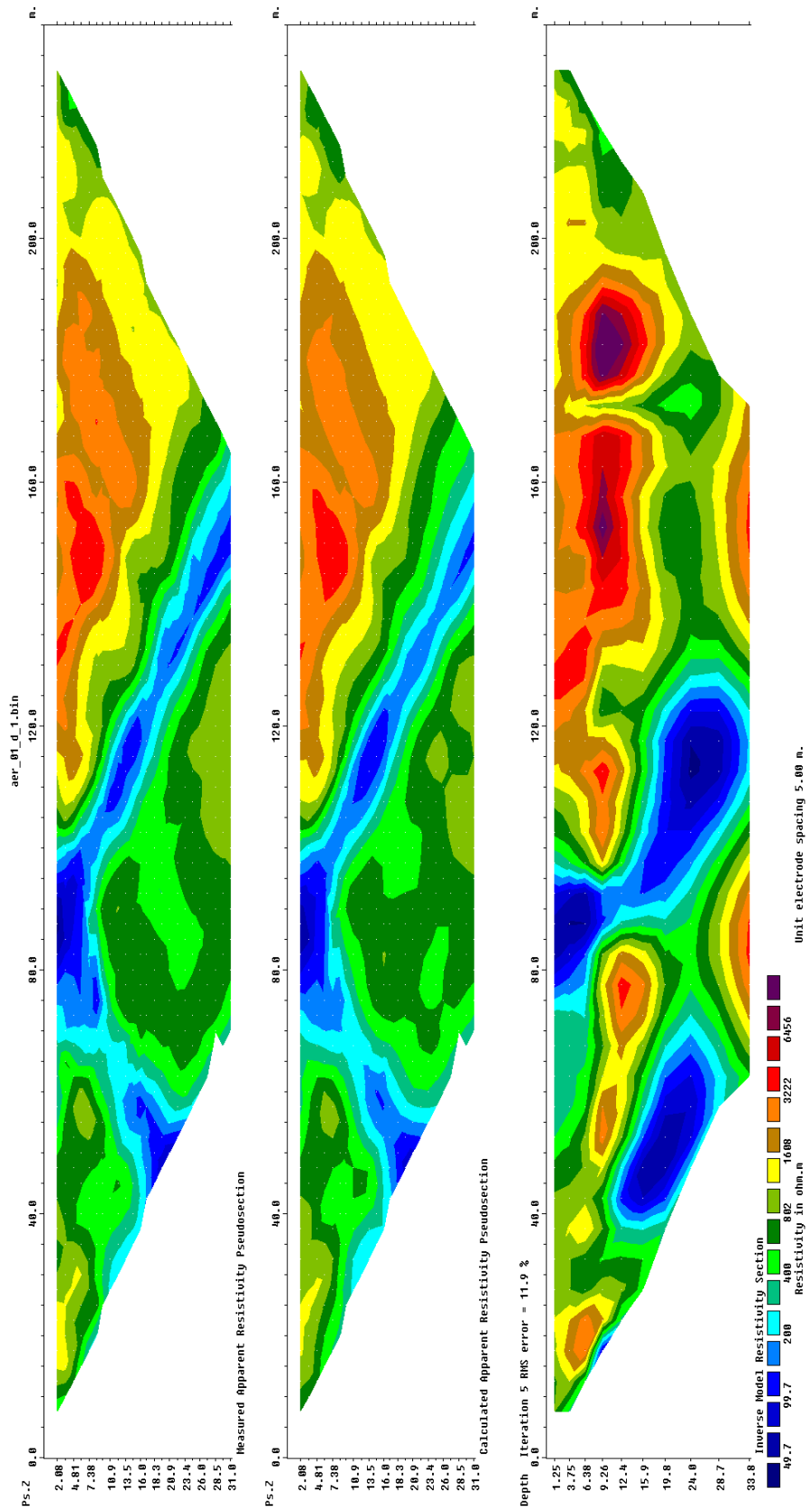
τη διαδικασία αντιστροφής (σχήμα). Το πρόγραμμα διαθέτει έναν αλγόριθμο, ο οποίος παράγει το μέγεθος και τη θέση των πλεγμάτων. Στο πρότυπο το βάθος του βαθύτερου στρώματος πρέπει να είναι σχεδόν ίδιο με το μεγαλύτερο της έρευνας και ο αριθμός των πλεγμάτων να μην υπερβεί τον αριθμό των δεδομένων με μεγάλο σφάλμα. Έτσι, παράγεται ένα πρότυπο όπου το πάχος του στρώματος αυξάνεται με το βάθος, και με τα μεγαλύτερα πλέγματα στις πλευρές και στα βαθύτερα στρώματα. Όμως, πολλές φορές αυτό δεν ακολουθεί απόλυτα την ψευδοτομή. Ο χρήστης για να παράξει ένα πρότυπο με ομοιόμορφα πλάτη πλεγμάτων, πρέπει να επιλέξει εκείνο όπου ο αριθμός των πλεγμάτων μπορεί να υπερβεί τον αριθμό δεδομένων. Τέλος, μια ακραία περίπτωση διαμόρφωσης είναι τα πλέγματα να έχουν ομοιόμορφο πάχος μέχρι τις άκρες της γραμμής ερευνών.

Αποτελέσματα μετρήσεων ERT:

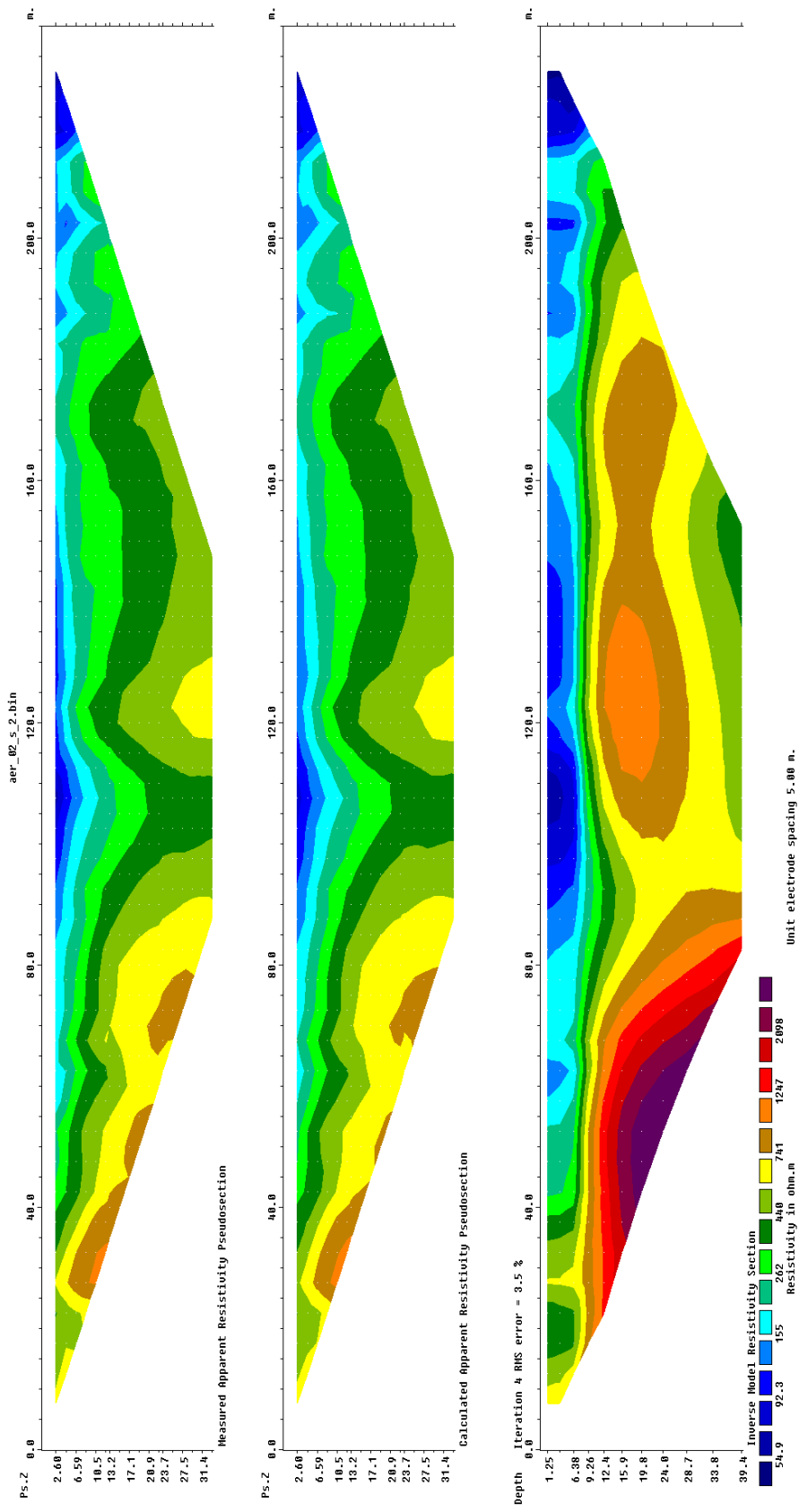
ERT-01 – Wenner-Schlumberger Array (spacing 5m, length 235 m)



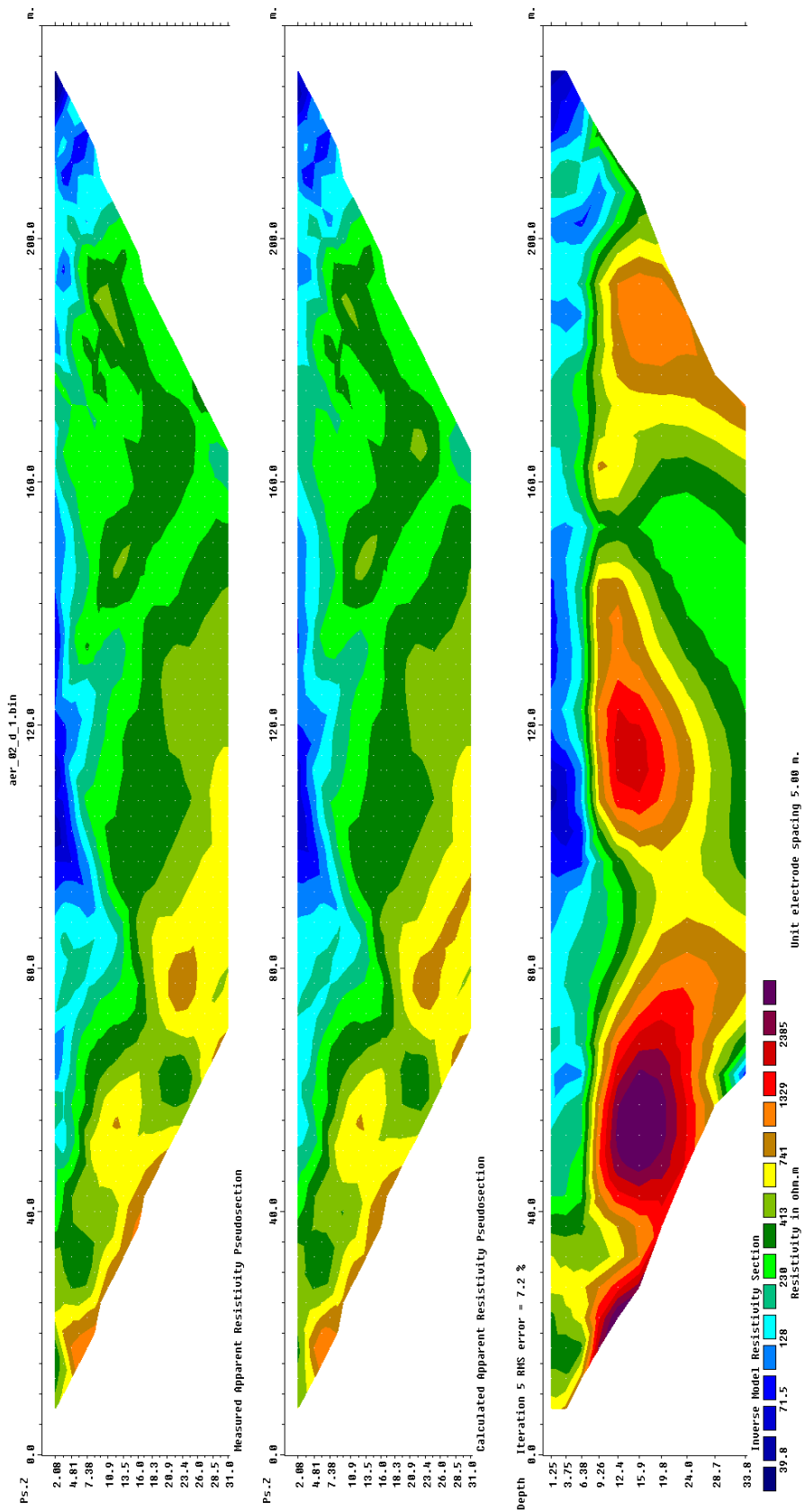
ERT-01 – Dipole-Dipole Array (spacing 5m, length 235 m)



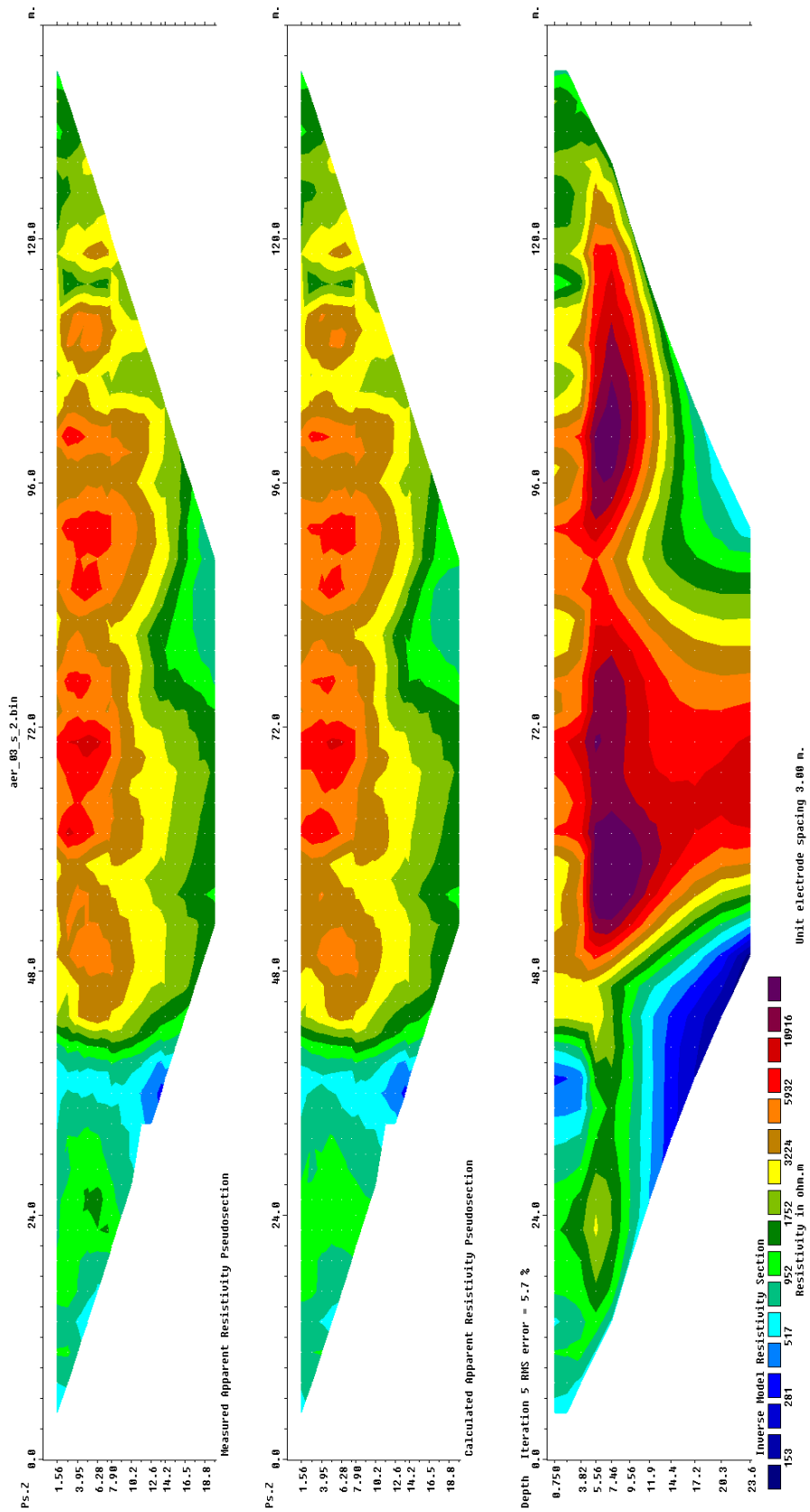
ERT-02 – Wenner-Schlumberger Array (spacing 5m, length 235 m)



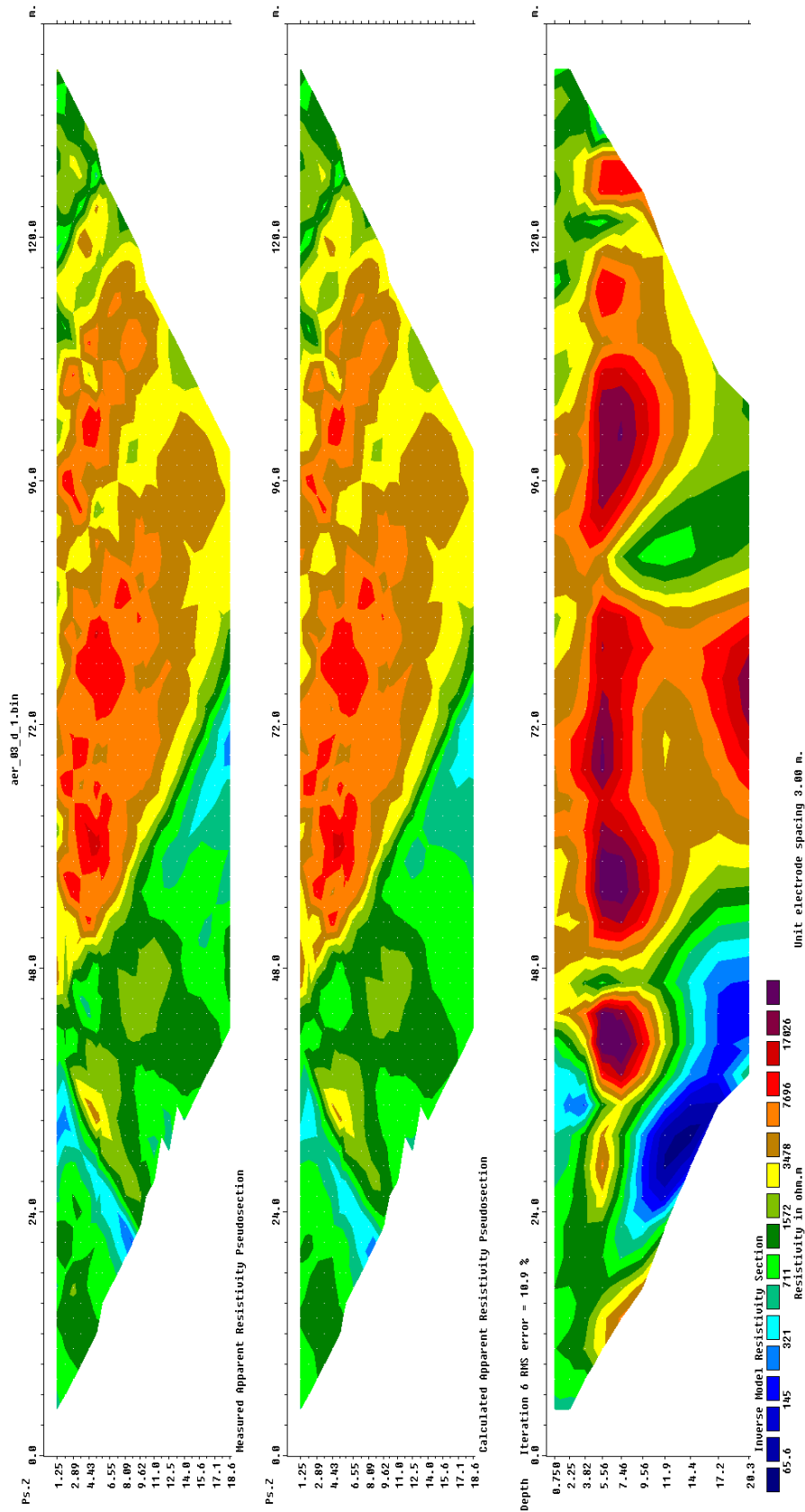
ERT-02 – Dipole-Dipole Array (spacing 5m, length 235 m)



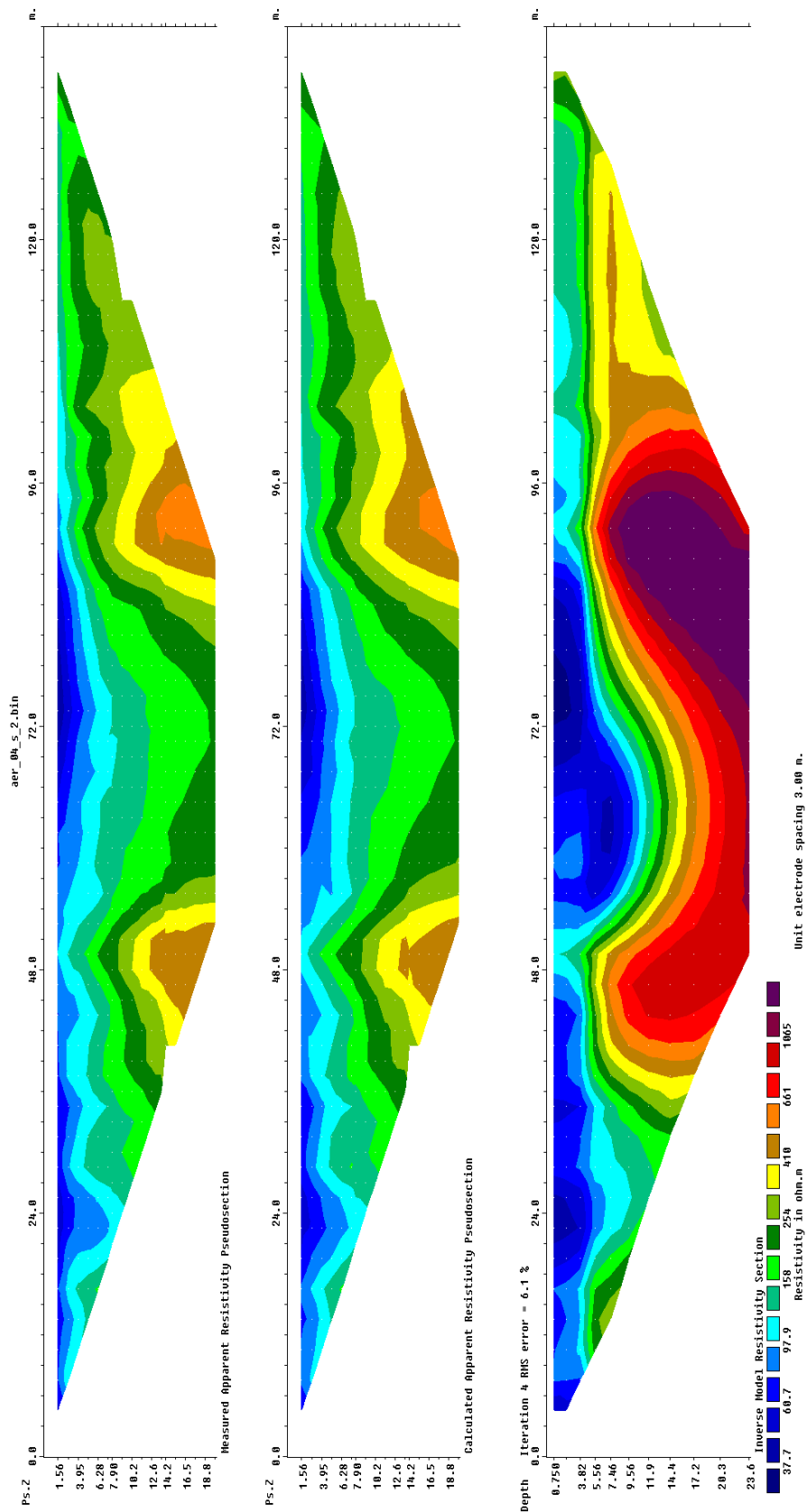
ERT-03 – Wenner-Schlumberger Array (spacing 3m, length 141 m)



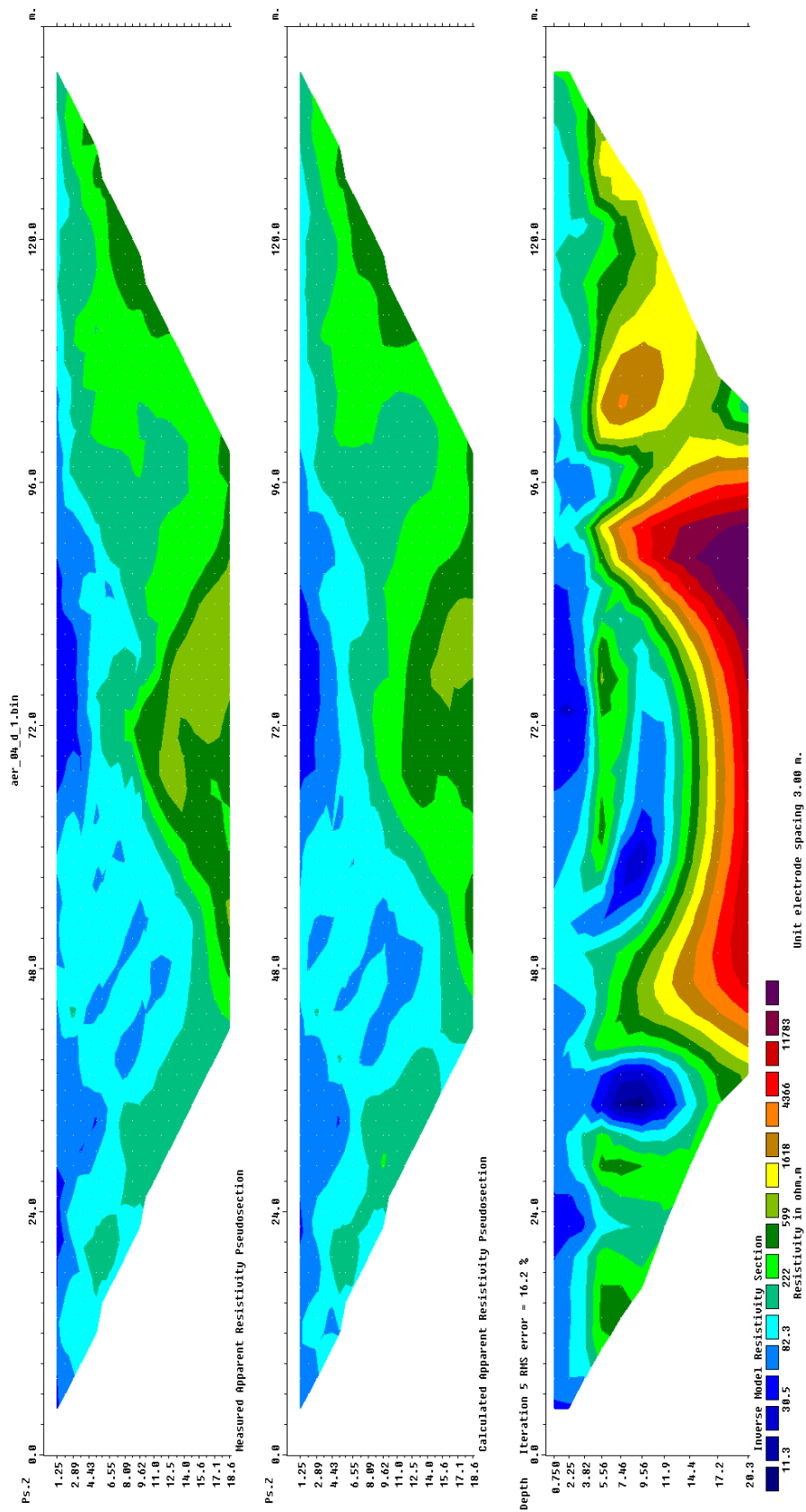
ERT-03 – Dipole-Dipole Array (spacing 3m, length 141 m)



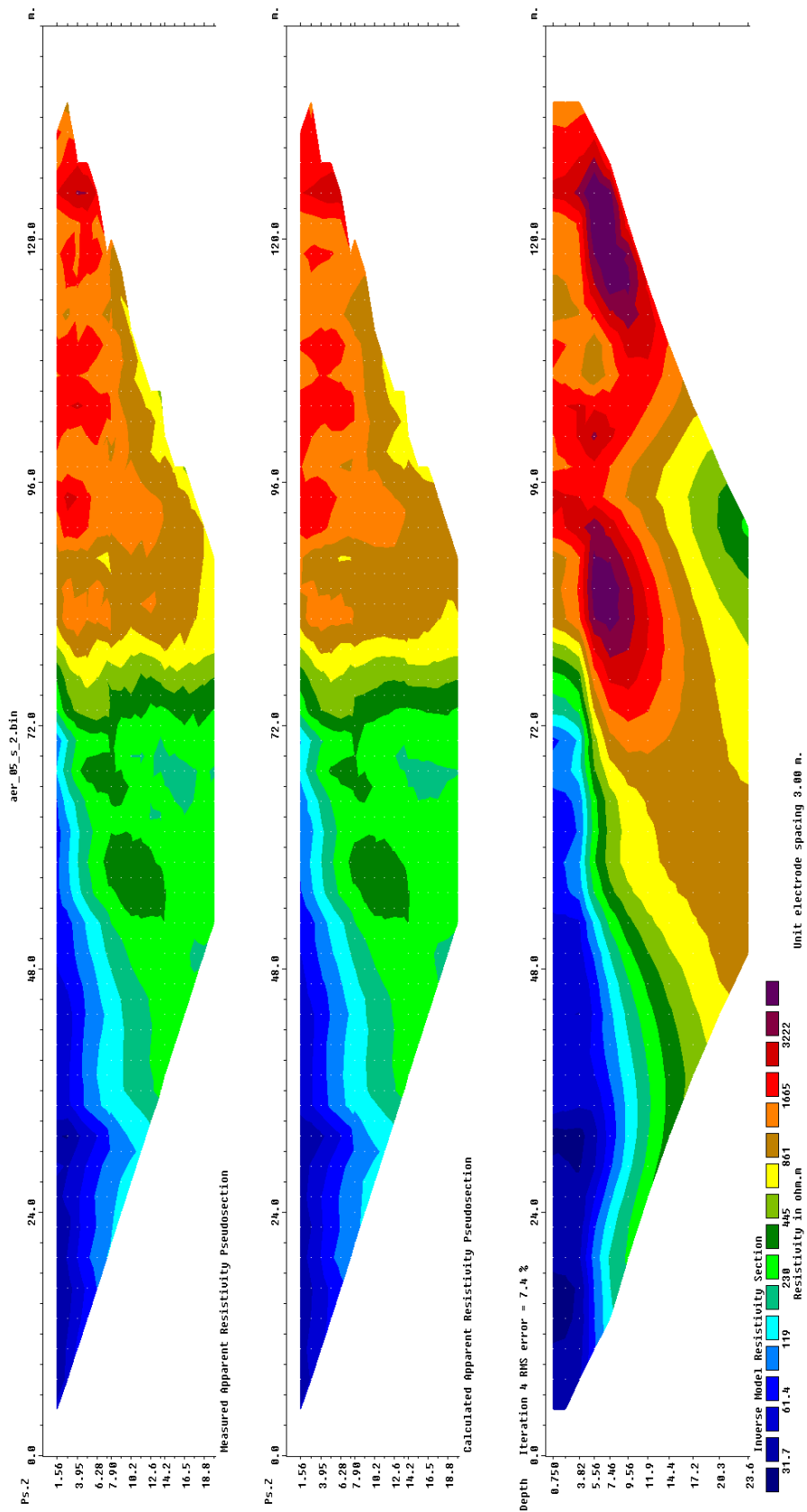
ERT-04 – Wenner-Schlumberger Array (spacing 3m, length 141 m)



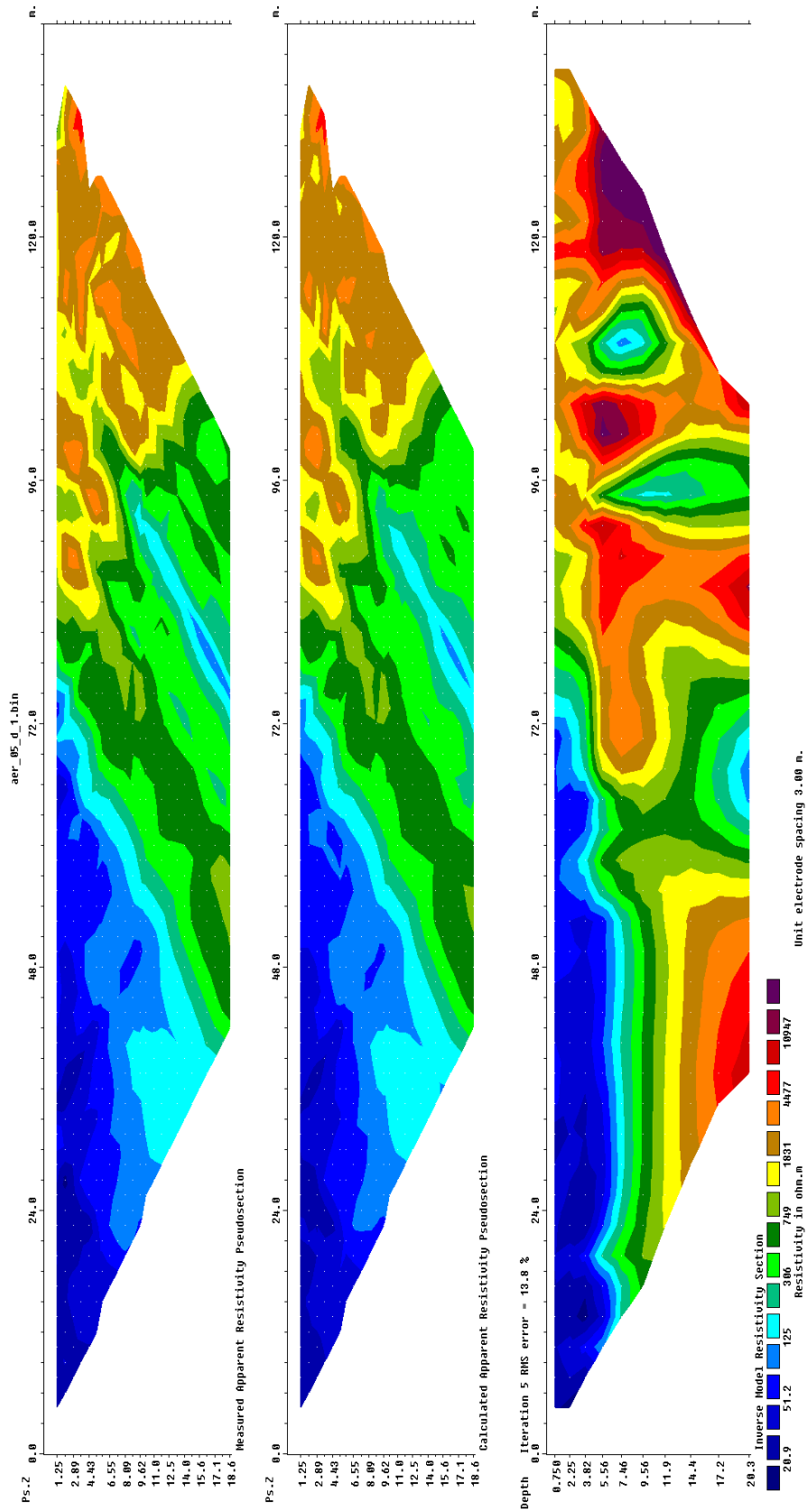
ERT-04 – Dipole-Dipole Array (spacing 3m, length 141 m)



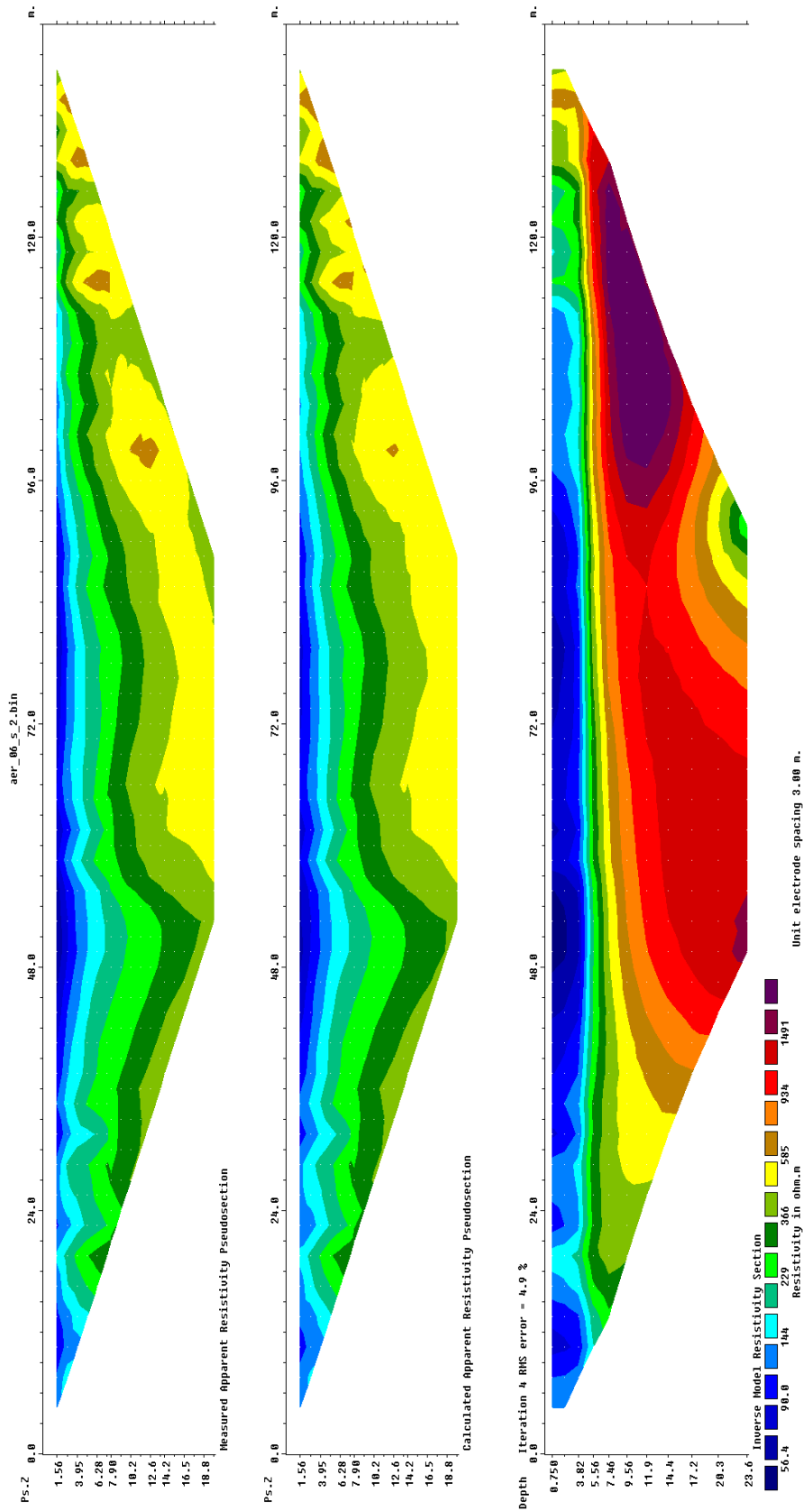
ERT-05 – Wenner-Schlumberger Array (spacing 3m, length 141 m)



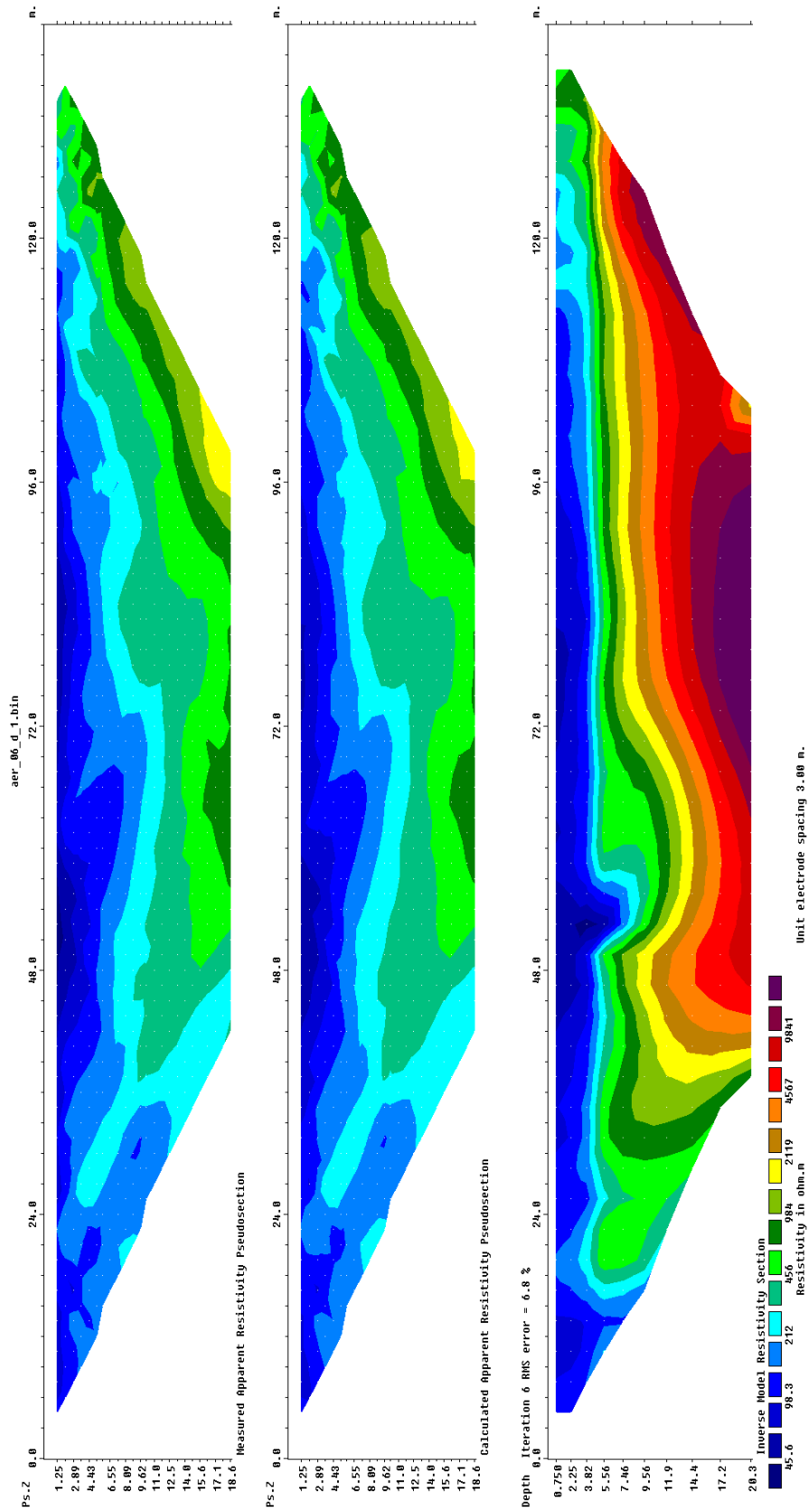
ERT-05 – Dipole-Dipole Array (spacing 3m, length 141 m)



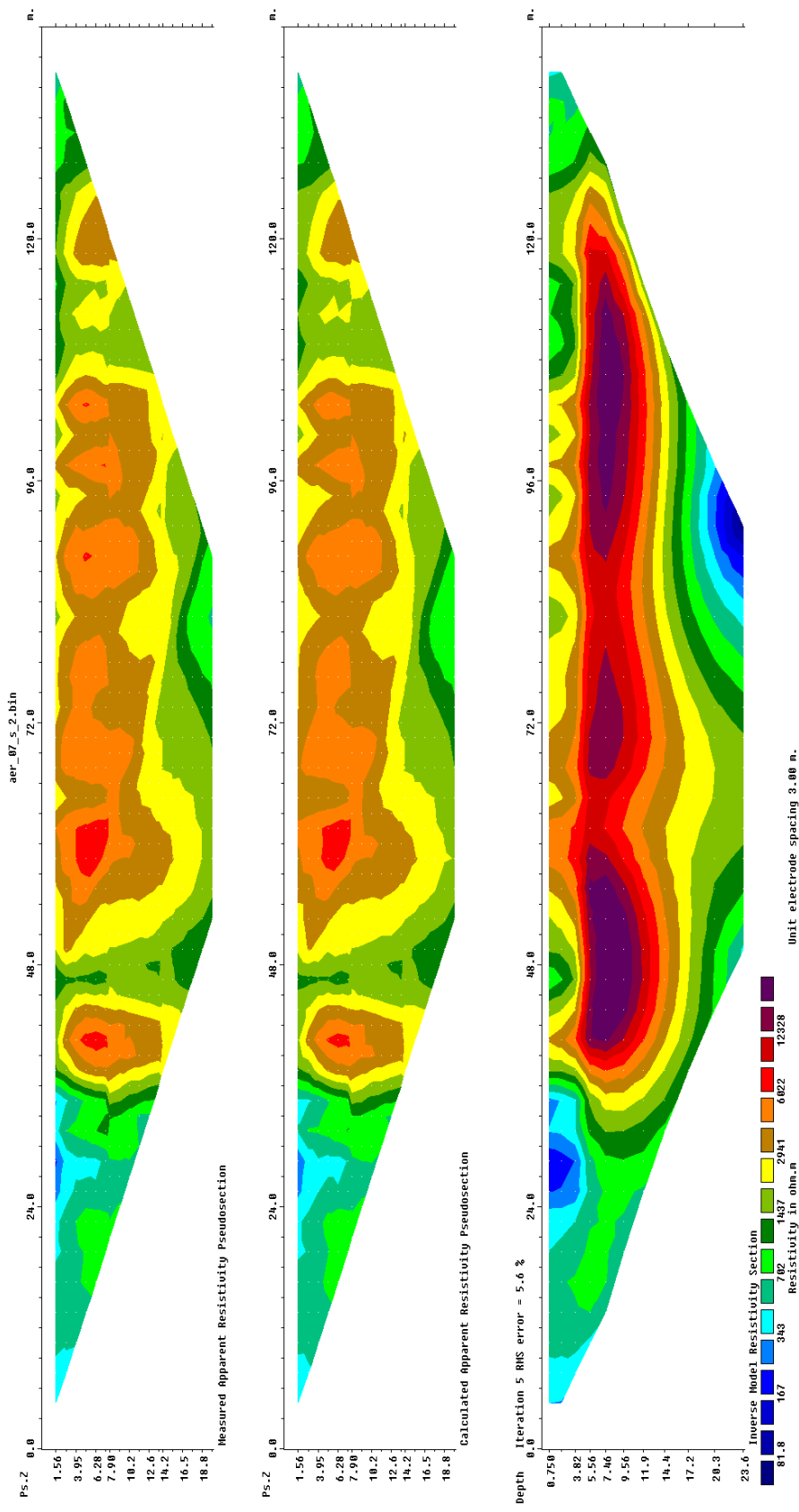
ERT-06 – Wenner-Schlumberger Array (spacing 3m, length 141 m)



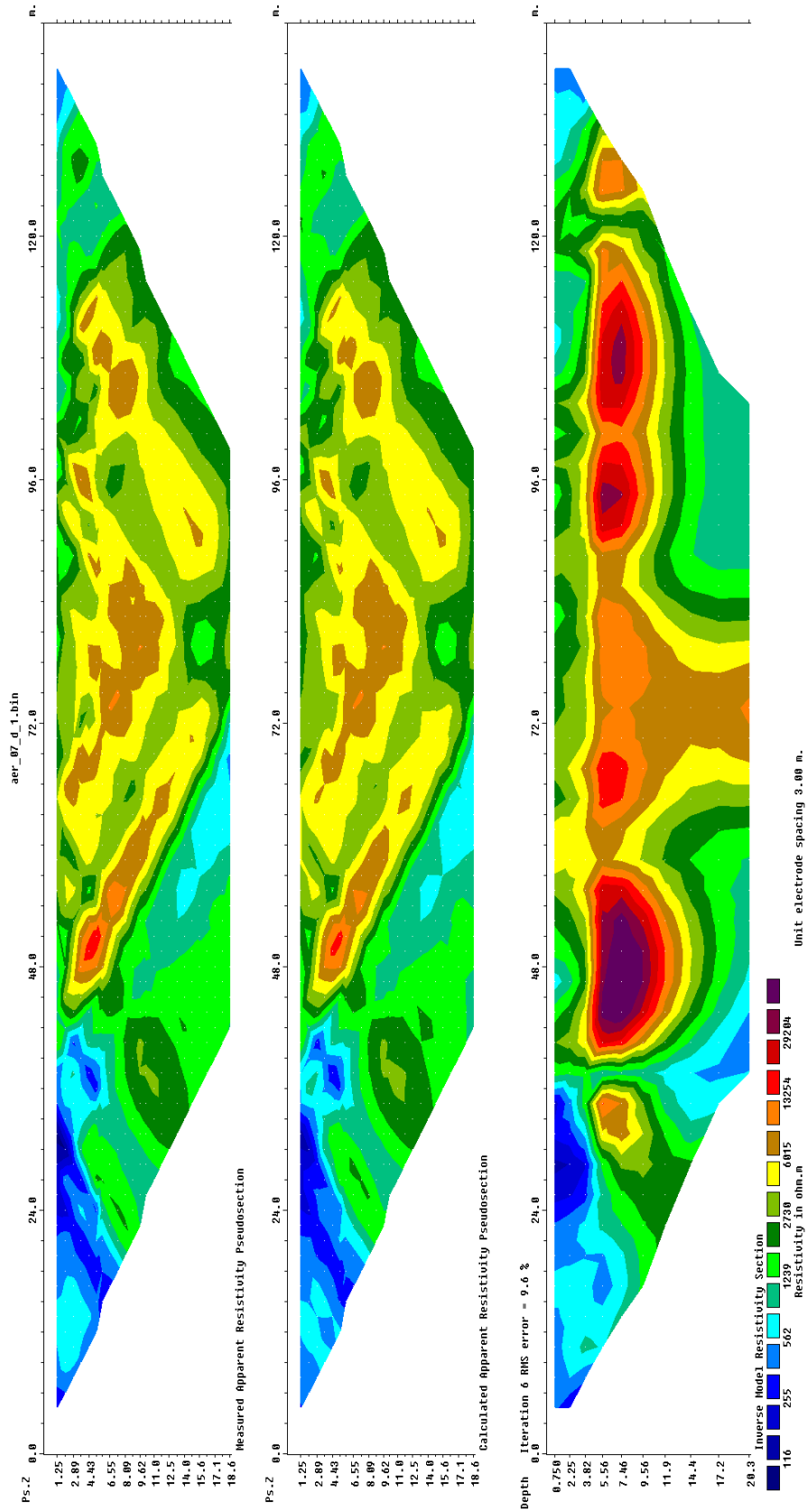
ERT-06 – Dipole-Dipole Array (spacing 3m, length 141 m)



ERT-07 – Wenner-Schlumberger Array (spacing 3m, length 141 m)



ERT-07 – Dipole-Dipole Array (spacing 3m, length 141 m)



4.3 Εκτέλεση Ηλεκτρομαγνητικών Μετρήσεων TEM

Η εκτέλεση των μετρήσεων TEM, πραγματοποιήθηκε **επικουρικά**, με σκοπό: α) την αναγνώριση των πετρωμάτων της περιοχής έρευνας, καθώς και β) τον εντοπισμό πιθανής υπόγειας υδροφορίας.

Γενικά, πραγματοποιήθηκαν 18 βυθοσκοπήσεις σε 5 θέσεις με απόσταση μεταξύ τους 50m (Πίνακας 4.1). Οι μετρήσεις αυτές εκτελέστηκαν εντός ή πολύ κοντά μεταξύ των ορίων της περιοχής που όρισε η ΔΕΥΑΧ. Στον πίνακα 6.1 υπάρχουν όλα τα στοιχεία των δεδομένων:

s/n	Name	TR	REC	Time	Stack	I (A)	F (Hz)
1	TEM_1A	50	50	5	5	3.7	50
2	TEM_1B	50	50	6	5	3.7	50
3	TEM_1C	50	50	6	5	3.7	50
4	TEM_1D	50	50	6	5	3.7	50
5	TEM_2A	50	50	5	5	3.7	50
6	TEM_2B	50	50	6	5	3.7	50
7	TEM_2C	50	50	6	5	3.7	50
8	TEM_3A	50	50	5	5	3.7	50
9	TEM_3B	50	50	6	5	3.7	50
10	TEM_3C	50	50	6	5	3.7	50
11	TEM_3D	50	50	6	5	3.7	50
12	TEM_4A	50	50	5	5	3.7	50
13	TEM_4B	50	50	6	5	3.7	50
14	TEM_4C	50	50	6	5	3.7	50
15	TEM_4D	50	50	6	5	3.7	50
16	TEM_5A	50	50	5	5	3.7	50
17	TEM_5B	50	50	6	5	3.7	50
18	TEM_5C	50	50	6	5	3.7	50

Πίνακας 4.1: Τα στοιχεία των μετρήσεων TEM που πάρθηκαν στα πλαίσια της έρευνας: ο αύξωντας αριθμός των μετρήσεων (*number of soundings*), το όνομα της θέσης (*name*), οι διαστάσεις του πομπού (*Tr*), οι διαστάσεις του δέκτη (*Rec*), ο χρόνος – χρονικά παράθυρα που επιλέχθηκαν (*Time*), το πλήθος των σωρεύσεων (*Stc*), η εφαρμοζόμενη ένταση του ρεύματος (*I*) και το εφαρμοζόμενο συχνοτικό φίλτρο απομάκρυνσης του βιομηχανικού θορύβου (*F*).

Η εκτέλεση των ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων (TEM), πραγματοποιήθηκε με την χρήση των παρακάτω **επιστημονικών οργάνων**:

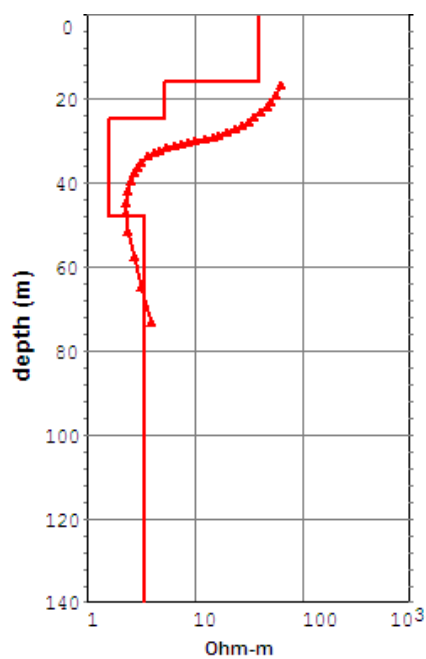
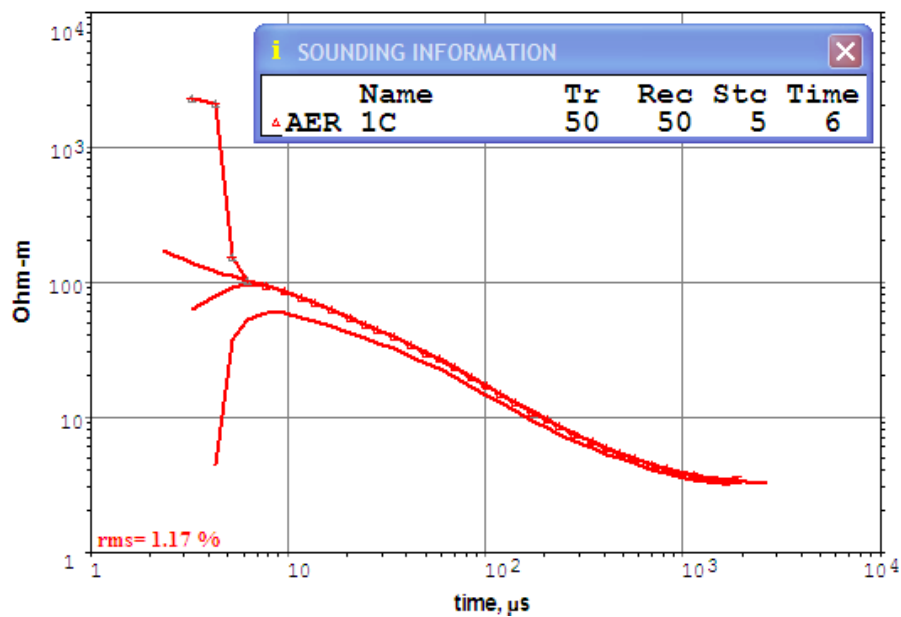
- **TEM-FAST 48-HPC, AEMR.** Ένα αυτόματο πολυκαναλικό - πολυσυχνотικό σύστημα μέτρησης κατανομής της αντίστασης με το βάθος.
- **Υπολογιστής Laptop.** Συλλογή και απεικόνιση των δεδομένων.
- **2 πολύκλιωνα καλώδια** χαλκού πολύ χαμηλής αντίστασης και συγκεκριμένης διατομής μήκους 100 μέτρα το καθένα.
- **2 μπαταρίες 12V**, οι οποίες συνδέονται σε σειρά για να αποδώσουν 24V και να υπάρχει η δυνατότητα μεγαλύτερης αυτονομίας στο ύπαιθρο.
- **Καλώδιο RS232**, για την μεταφορά των δεδομένων από το σύστημα καταγραφής στον υπολογιστή (περαιτέρω επεξεργασία).

4.3.1 Επεξεργασία – Ανάλυση – Μοντελοποίηση – Αποτελέσματα

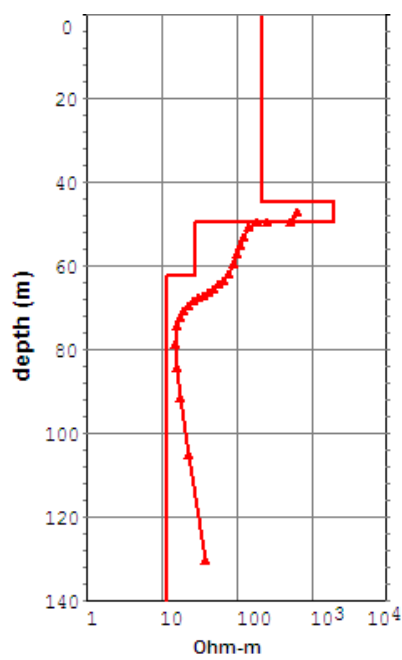
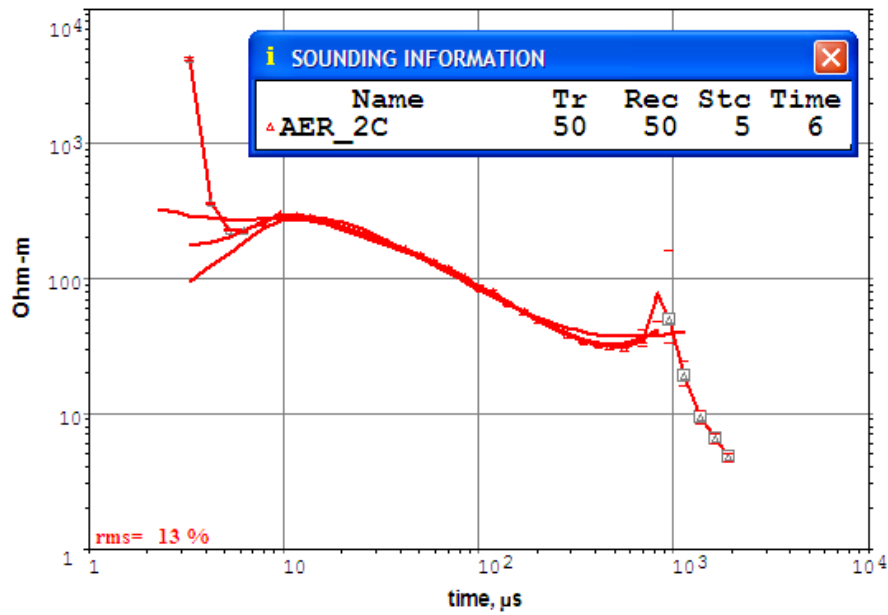
Αφού πάρθηκαν οι μετρήσεις από το ύπαιθρο, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία, ανάλυση και μοντελοποίηση των δεδομένων με την χρήση του λογισμικού TEM-RES.

Αποτελέσματα μετρήσεων TEM:

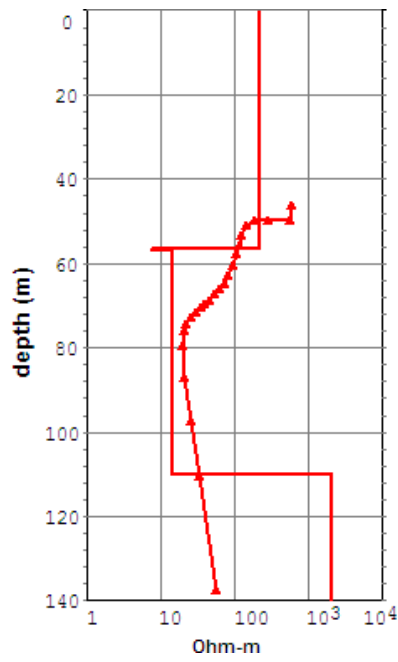
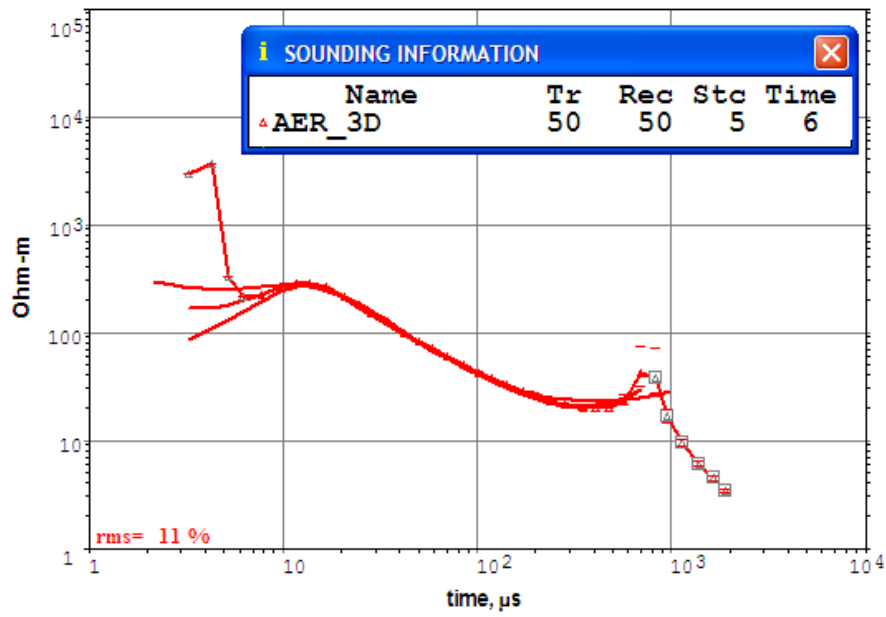
TEM-01 (Curve & 1D Model)



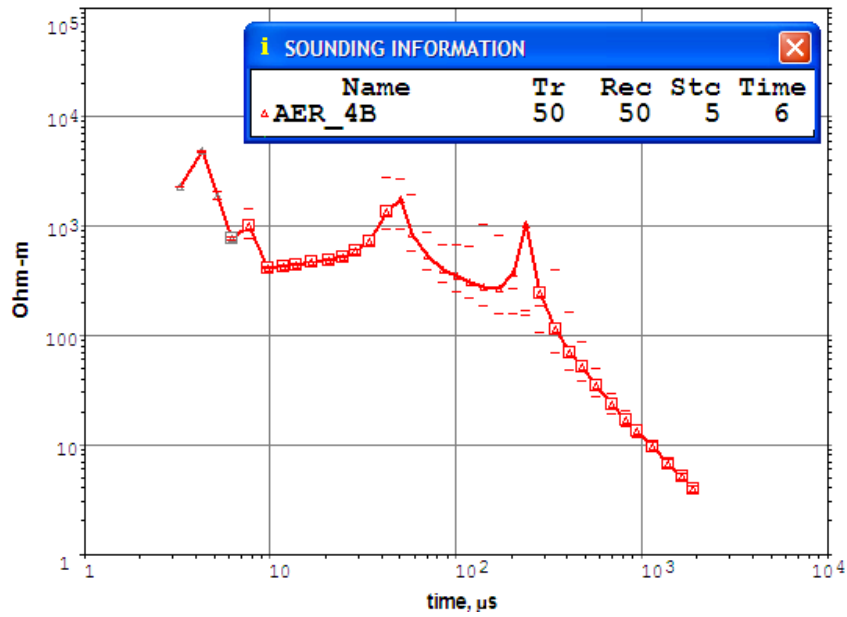
TEM-02 (Curve & 1D Model)



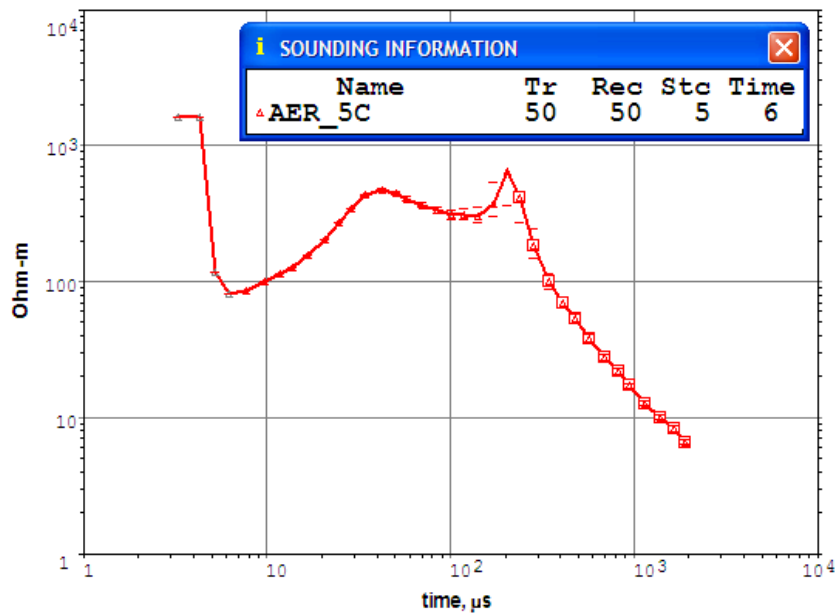
TEM-03 (Curve & 1D Model)



TEM-04 (Curve)



TEM-05 (Curve)



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ- ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

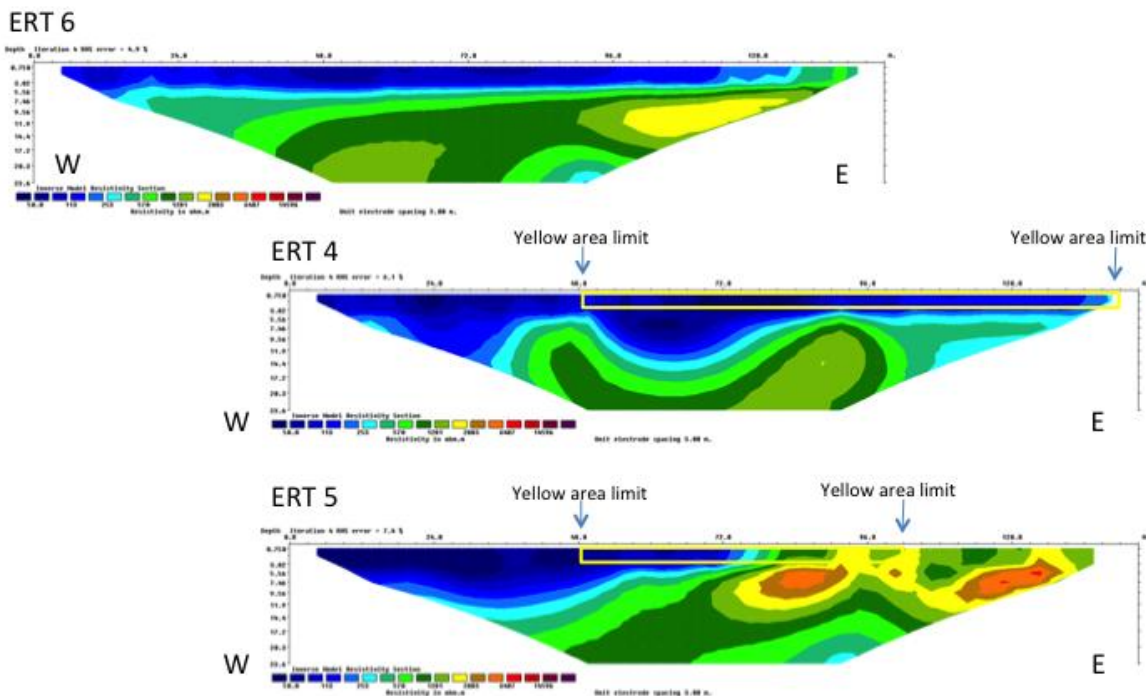
5.1 Ερμηνεία Ηλεκτρικών Τομογραφιών ERT

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι μετρήσεις εκτελέστηκαν σε **κάνναβο** (Εικ.6.1) με σκοπό να απεικονιστούν με τον πιο ευκρινή και αντιπροσωπευτικό τρόπο τα αποτελέσματά τους. Η **χρωματική κλίμακα** έχει αλλάξει σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιείται στις αντίστοιχες μετρήσεις που βρίσκονται στο παράρτημα, ώστε να είναι κοινή για όλες τις εικόνες για την άμεση σύγκριση αυτών. Οι **διατάξεις** που χρησιμοποιήθηκαν είναι η Dipole-Dipole και κυρίως η Wenner-Schlumberger, διότι παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στις οριζόντιες ασυνέχειες (π.χ. έγκοιλα), σε αντίθεση με τη διάταξη Dipole-Dipole που είναι πιο ευαίσθητη και κατάλληλη στον εντοπισμό κατακόρυφων ασυνεχειών (π.χ. ρήγματα).

Γενικά, οι τομογραφίες **ERT-06**, **ERT-4** και **ERT-5** (Εικ. 4.1), έχουν μήκος 141m, απόσταση των ηλεκτροδίων μεταξύ τους 3m, βάθος διασκόπησης περίπου 24m και είναι παράλληλες μεταξύ τους με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Οι τομογραφίες **ERT-4** και **ERT-5** είναι εκατέρωθεν του ποιμνιοστασίου, ιδιοκτησίας κ. Μανώλη Γαρεδάκη.

Στις τομογραφίες **ERT-06** και **ERT-4** (Εικ. 5.1) παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν εμφανή έγκοιλα, άλλα περίπου σε βάθος 6m εντοπίζεται πιθανή ασυνέχεια που διαχωρίζει το υπερκείμενο αγώγιμο υλικό από το υποκείμενο στρώμα υψηλότερης αντίστασης. Πιθανός, η ασυνέχεια αυτή αποτελεί το λιθολογικό όριο μεταξύ των νεότερων ιζημάτων με τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας του Τρυπαλίου (υπόβαθρο).

Στην τομογραφία **ERT-5** (Εικ. 5.1), η οποία είναι παράλληλη με ERT-06, ERT4, παρατηρούμε ότι στα δυτικά και μέχρι περίπου τα 70m υπάρχει η ίδια ασυνέχεια, ενώ στα ανατολικά (από τα 80m περίπου και μέχρι το τέλος της) εμφανίζεται μια πολύπλοκη δομή, όπου σε βάθος από 4 έως 12m περίπου υπάρχουν μικροδομές που πιθανώς σχετίζονται με την παρουσία εγκοίλων.



Εικόνα 5.1: Ψευδο-τριδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης για τις τρεις παράλληλες τηλετρικές μετρήσεις ERT-06, ERT-04 και ERT-05. Η χρωματική κλίμακα είναι η ίδια για όλες τις τομογραφίες για άμεση σύγκριση. Σημειώνεται επίσης με κίτρινο πλαίσιο το όριο της περιοχής έρευνας, όπως ορίστηκε από τη ΔΕΥΑΧ (Εικ. 4.1)

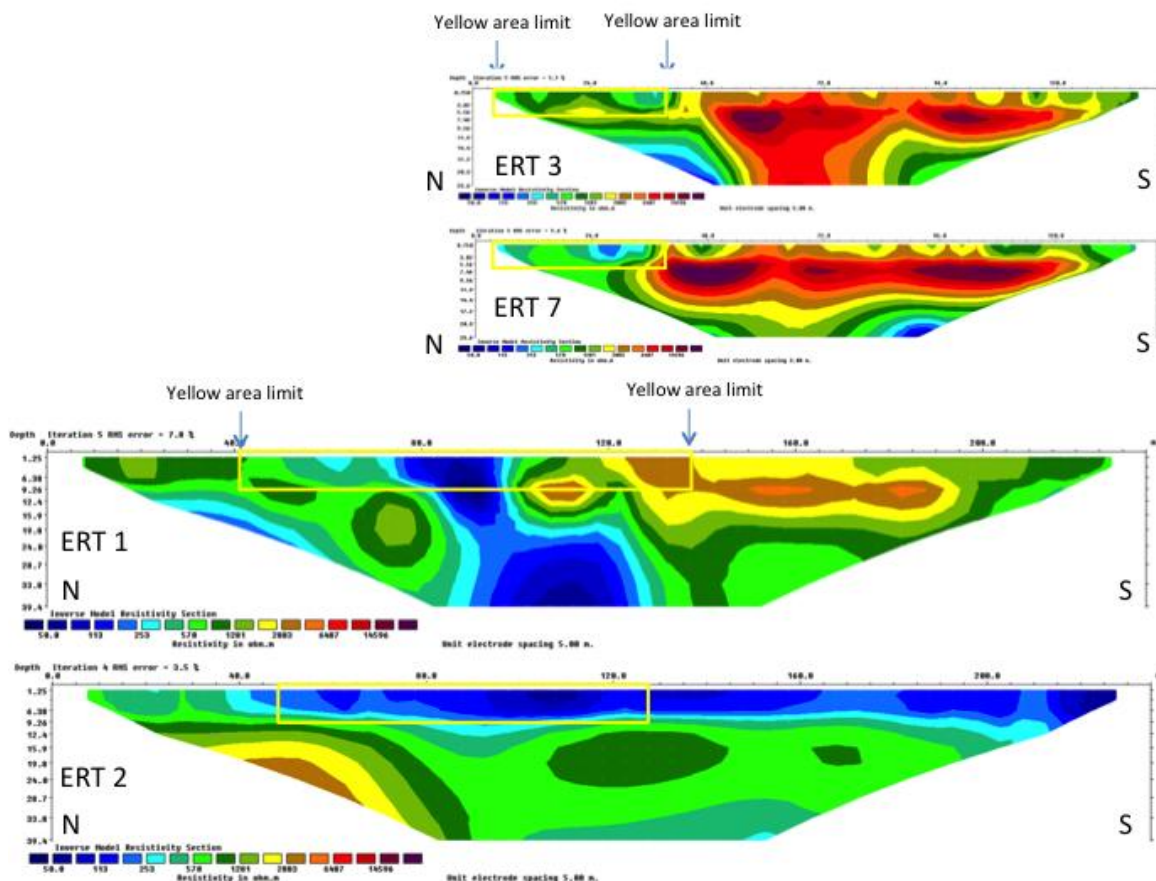
Οι τομογραφίες **ERT-03** και **ERT-07** έχουν μήκος 141m (Εικ. 4.1), βάθος διασκόπησης περίπου 24m και απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων 3m, ενώ οι **ERT-01** και **ERT-02** έχουν μεγαλύτερο μήκος 235m, βάθος διασκόπησης περίπου 40m και απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων 5m. Όλες είναι παράλληλες μεταξύ τους με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

Στην τομογραφία **ERT-02** (Εικ. 5.2), σε βάθος 6m παρατηρείται πιθανή ασυνέχεια μεταξύ υπερκείμενου αγώγιμου υλικού με υποκείμενο υλικό μεγαλύτερης αντίστασης, όπου σχετίζεται με το λιθολογικό όριο μεταξύ των νεότερων ιζημάτων με τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας του Τρυπαλιού (υπόβαθρο), στο οποίο επίσης παρατηρούνται μεγάλες δομές που το κέντρο τους βρίσκεται σε βάθος 16m περίπου. Η δομή αυτή απεικονίζεται με μεγαλύτερη ευκρίνεια εφαρμόζοντας τη διάταξη Dipole-Dipole όπως παρουσιάζεται στο Παράρτημα 1Α.

Η τομογραφία **ERT-01** (Εικ.5.2) , πάρθηκε κατά μήκος του αγροτικού δρόμου και όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3, παρουσιάζεται μία πολύπλοκη δομή. Σε βάθος περίπου 10m παρουσιάζεται ανωμαλία στη δομή της αγωγιμότητας (ειδικά στο ανατολικό κομμάτι), η οποία αποτελεί πιθανή παρουσία εγκοίλων. Η χαμηλής αγωγιμότητας δομή στο κεντρικό-δυτικό τμήμα της τομογραφίας μπορεί να συσχετιστεί με τα αποτελέσματα των μετρήσεων TEM εντός του ποιμνιοστασίου (βυθοσκόπηση TEM-01), που πιθανόν οι τιμές αυτές επηρεάζονται από την παρουσία υδροφορίας.

Οι τομογραφίες **ERT-07** και **ERT-03** (Εικ. 5.2), είναι παράλληλες των ERT-01 και ERT-02 και πιο ρηχές. Στις τομογραφίες αυτές απεικονίζονται δομές πολύ

υψηλής αντίστασης, με κέντρο βάθους περίπου 7-8m. Οι αντιστάσεις αυτών των δομών είναι υψηλότερες από εκείνων ERT-01 και ERT-05. Από την ερμηνεία συμπεραίνεται ότι οι δομές αυτές σχετίζονται με την παρουσία πιθανών καρστικών εγκοίλων.



Εικόνα 5.2: Ψευδο-τριδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης για τις τέσσερις παράλληλες ηλεκτρικές μετρήσεις ERT-03, ERT-07, ERT-01 και ERT-02. Η χρωματική κλίμακα είναι η ίδια για όλες τις τομογραφίες για άμεση σύγκριση. Σημειώνεται επίσης με κίτρινο πλαίσιο το όριο της περιοχής έρευνας, όπως ορίστηκε από τη ΔΕΥΑΧ (Εικ. 4.1)

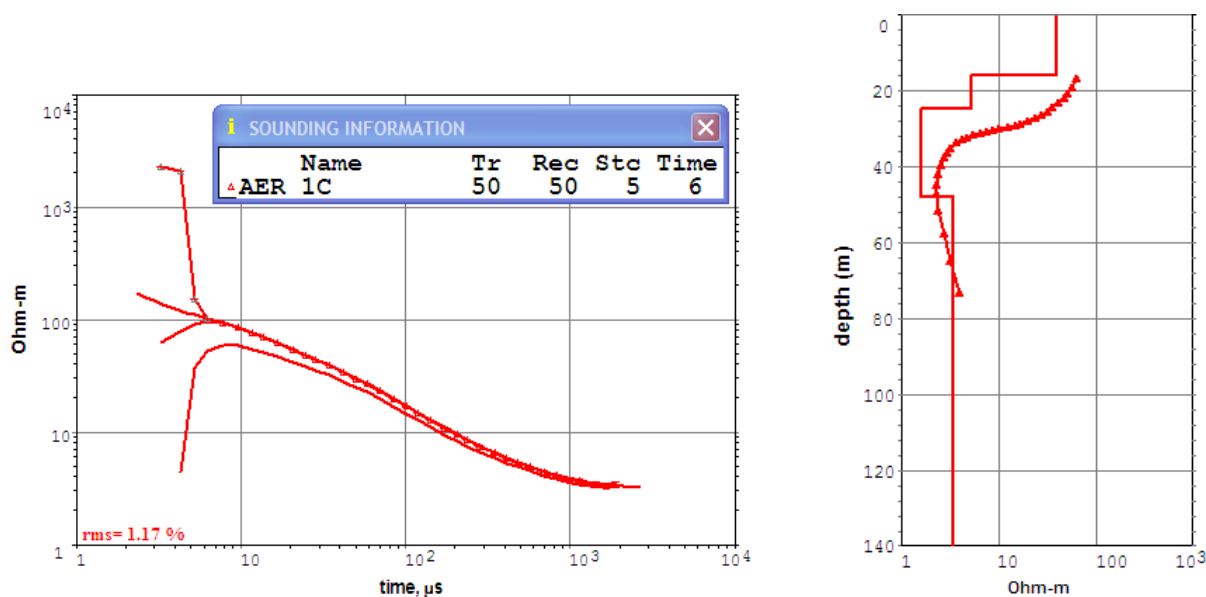
5.2 Ερμηνεία Ηλεκτρομαγνητικών Βυθοσκοπήσεων TEM

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, συνολικά πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις βυθοσκοπήσεων TEM σε 5 θέσεις. Τα δεδομένα των βυθοσκοπήσεων TEM-01, TEM-02 και TEM-03 είναι υψηλής ποιότητας, ενώ των TEM-04 και TEM-05 είναι ανεπαρκούς ποιότητας, που καθιστούσε πρόδηλη την αδυναμία αντιστροφής των δεδομένων ($RMS > 50\%$), ώστε να εξαχθεί 1-D μοντέλο.

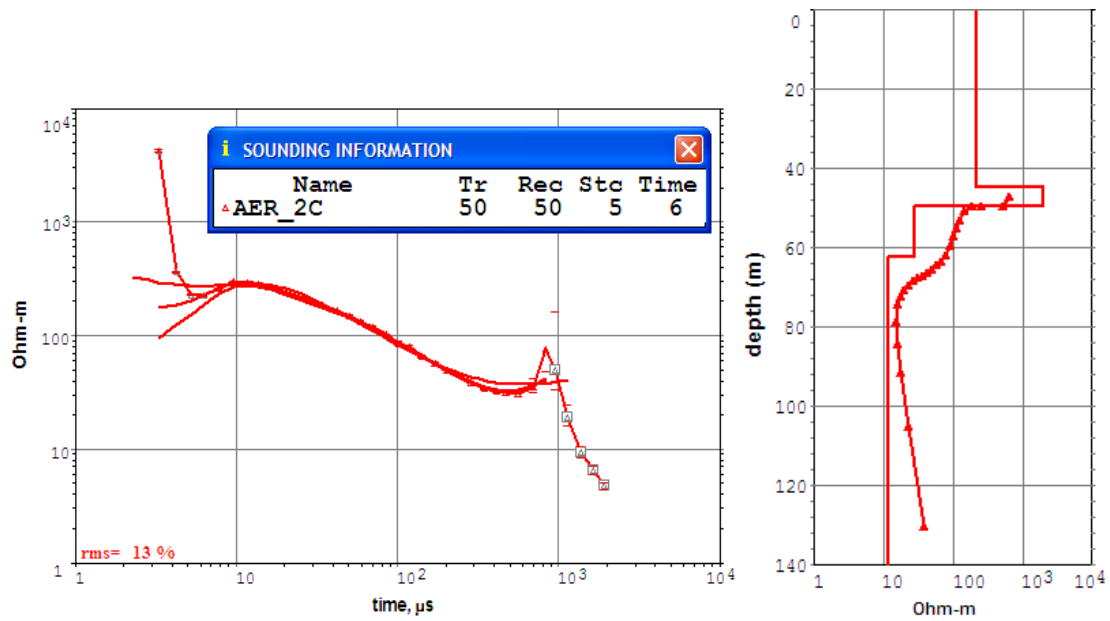
Η TEM-01 (Εικ. 5.3), εκτελέστηκε εντός του ποιμνιοστασίου. Η καμπύλη της φαινόμενης ειδικής αντίστασης με τον χρόνο, καθώς και το 1D μοντέλο της

φαινόμενης ειδικής αντίστασης με το βάθος αναπαριστώνται στην Εικόνα 5.. Το ανώτερο στρώμα διαθέτει χαμηλή αντίσταση (περίπου 50 Ohm-m), εξαιτίας των επιφανειακών ιζημάτων και της ενδεχόμενης ύπαρξης τοπικών καρστικών δομών για τις οποίες οι τιμές της ηλεκτρικής αντίστασης σε συνδυασμό με την πρόσφατη κατά την εποχή λήψης μετρήσεων βροχόπτωση ενδεχόμενα υποδεικνύει την μερική πλήρωσή τους με νερό. Αυτό συνδέεται με το ότι στη θέση αυτή εντοπίζεται πιθανή υπόγεια υδροφορία σε μικρό βάθος (περίπου 16m). Η σύγκριση της ηλεκτρικής τομογραφίας ERT-07 με την βυθοσκόπηση TEM-01 δεν μπορεί να διεξαχθεί, διότι δεν μας έχει παρασχεθεί η σχετική άδεια εισόδου στο αεροδρόμιο για να επεκτείνουμε το μήκος της τομογραφίας, ώστε να πάρουμε μετρήσεις σε μεγαλύτερα βάθη.

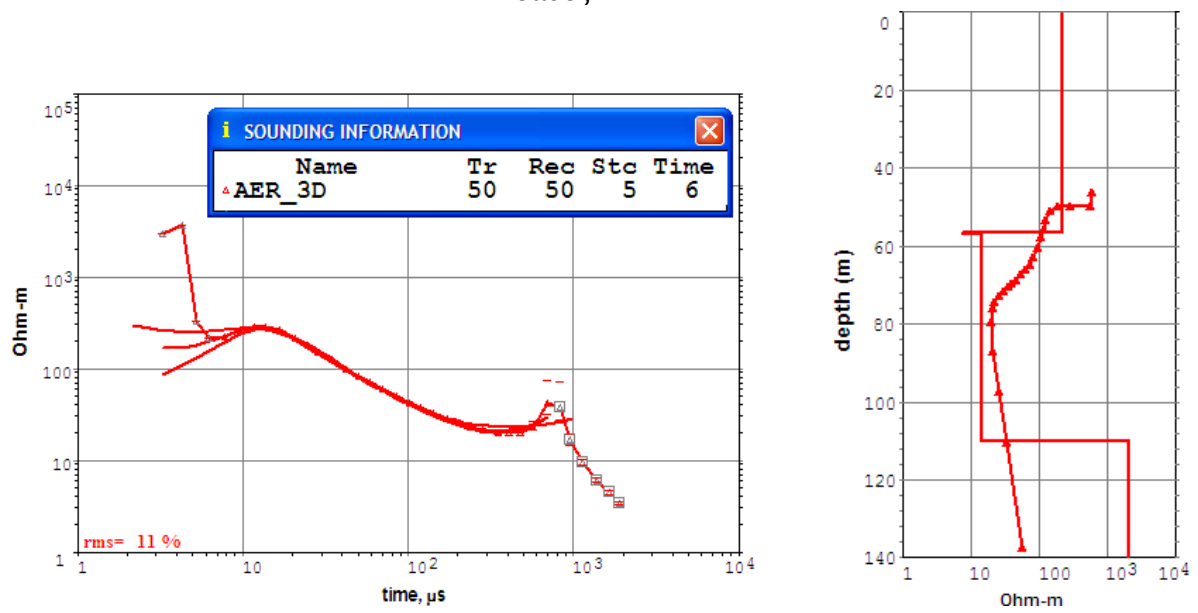
Η **TEM-02** (Εικ. 5.4), εκτελέστηκε 50m Δ-ΝΔ της TEM-01 και η TEM-03 50m Β-ΒΔ της TEM-02 (Εικ.6.1). Και οι δύο αυτές βυθοσκοπήσεις είναι σε ποιοτική συμβατότητα με την TEM-01. Στην συγκεκριμένη τοποθεσία, είναι πιθανή η ύπαρξη υπόγειας υδροφορίας σε βάθος περίπου 50m. Επίσης, ούτε σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να συγκρίνουμε τις βυθοσκοπήσεις TEM-02 και TEM-03 με την ηλεκτρική τομογραφία ERT-02, διότι το βάθος της υδροφορίας με τη μέθοδο TEM εκτιμάται από τα 50m και κάτω, και το μέγιστο βάθος διασκόπησης της ηλεκτρικής τομογραφίας είναι τα 40m.



Εικόνα 5.3: Για την TEM-01, αρχικά παρουσιάζεται η καμπύλη της φαινόμενης ειδικής αντίστασης με τον χρόνο και έπειτα το 1D μοντέλο της φαινόμενης ειδικής αντίστασης με το βάθος.



Εικόνα 5.4: Για την TEM-02, αρχικά παρουσιάζεται η καμπύλη της φαινόμενης ειδικής αντίστασης με τον χρόνο και έπειτα το 1D μοντέλο της φαινόμενης ειδικής αντίστασης με το βάθος.



Εικόνα 5.5: Για την TEM-03, αρχικά παρουσιάζεται η καμπύλη της φαινόμενης ειδικής αντίστασης με τον χρόνο και έπειτα το 1D μοντέλο της φαινόμενης ειδικής αντίστασης με το βάθος.

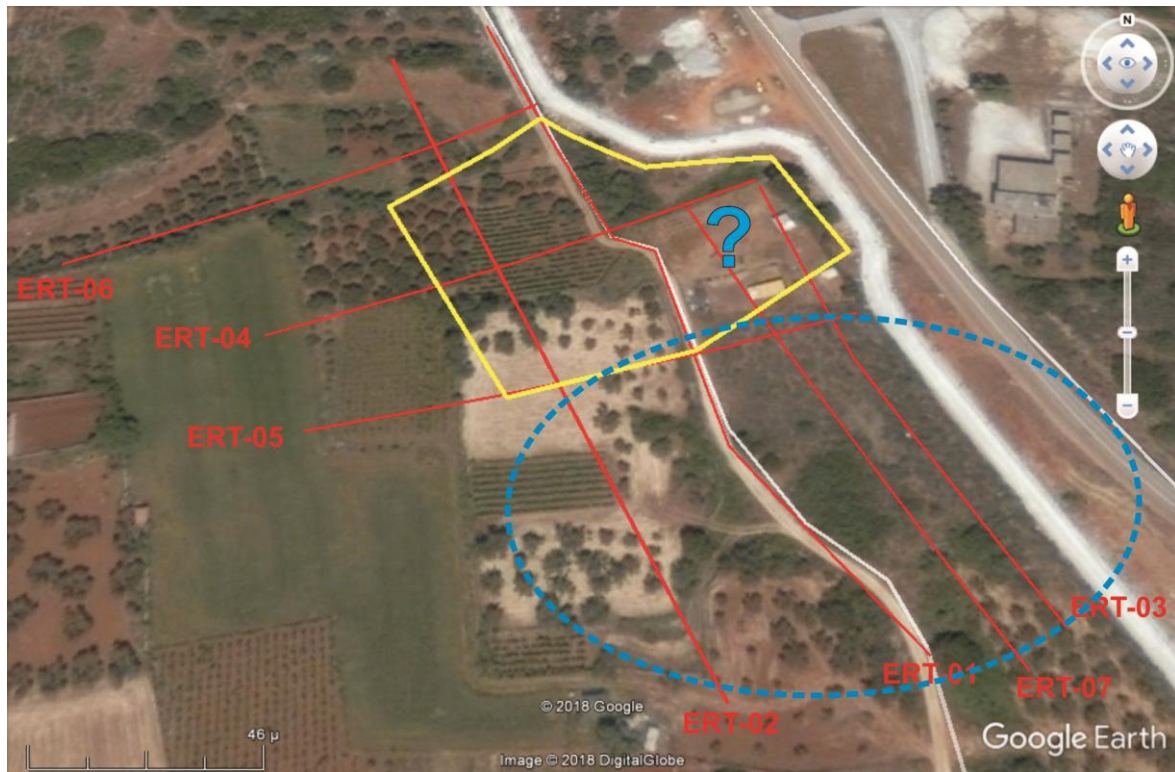
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συμπεράσματα Έρευνας

Με βάση τις πληροφορίες που συλλέξαμε για την περιοχή έρευνας (Εικ.4.1) από την ερμηνεία όλων των δεδομένων (Εικ. 6.1) προκύπτει ότι:

- Οι 7 ηλεκτρικές τομογραφίες (κόκκινες γραμμές), αναπαριστούν σε υψηλό βαθμό τη δομή του υπεδάφους και ανέδειξαν πιθανά έγκοιλα μικρού και μεσαίου μεγέθους ΝΑ της περιοχής που υπέδειξε η ΔΕΥΑΧ (κίτρινο πλαίσιο).
- Στη θέση του ποιμνιοστασίου πραγματοποιήθηκε η βυθοσκόπηση TEM-01 που υπέδειξε σημαντική μεταβολή της αγωγιμότητας σε σχετικά μικρό βάθος (περίπου 16m), πιθανόν λόγω της επίδραση του νερού στις υπόγειες δομές. Επίσης, δεν μπορεί να γίνει σύγκριση της βυθοσκόπησης TEM-01 με την ηλεκτρική τομογραφία ERT-07, διότι δεν υπάρχει επαρκής χώρος επέκτασης, εξαιτίας της απαγόρευσης εισόδου στην περιοχή του αεροδρομίου.
- Στην Εικόνα 6.1, με βάση τα αποτελέσματα της ερμηνείας των γεωφυσικών διασκοπήσεων, εντοπίζονται τα όρια των πιθανών των καρστικών δομών.
- Η εκτέλεση των συμπληρωματικών μετρήσεων δεν επέφερε επαρκή αποτελέσματα, λόγω των δύσκολων συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή.



Εικόνα 6.1: Δορυφορική Εικόνα της περιοχής μελέτης. Με κίτρινη γραμμή ορίζεται η περιοχή μελέτης όπως ορίστηκε από τη ΔΕΥΑΧ. Με μπλε έλλειψη εντοπίζονται τα όρια του πιθανού συμπλέγματος των καρστικών δομών, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ερμηνείας των γεωφυσικών διασκοπήσεων. Το ερωτηματικό «?», αποτελεί την θέση του ποιμνιοστασίου, όπου δεν έχουν διεξαχθεί σαφή συμπεράσματα για την συγκεκριμένη θέση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Fassoulas, C. (2000). *Field Guide to the Geology of Crete*. Heraklio: Natural History Museum of Crete Publ.

Fytrolakis, N. (1980). The geological structure of Crete. Problems, observations and conclusions. Habil. Thesis, Nat. Tech. Univ. Athens, pp. 143 (in Greek)

Griffiths D.H. and Barker R.D. (1993). Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.

Keller, G.V. and Frischknecht, F.C. (1966). *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press Inc., Oxford.

Kirsch, R (ed.) (2006) *Groundwater Geophysics: A tool for Hydrogeology*, XVII, Berlin: Springer

McNeill. J.D. (1980) *Applications of transient electromagnetic techniques*. Geonics Limited Technical Note TN-7

Nabighian, M.N. & Macnae, J.C. (1991). Time domain electromagnetic methods. *Electromagnetic methods in applied geophysics 2: Applications*, chapter 6, Nabighian, M.N, (Ed.) SEG Publ., 427-520.

Sharma, P.V. (1997). *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Seidel, E., Kreuzer, H. and Harre, W. (1982). A late Oligocene/Early Miocene high pressure Belt in the external Hellenides. *Geol. Jb. E* 23, 165-206

TEM-Fast 48 manual. (2007). The Netherlands: Applied Electromagnetic Research (AEMR) Version 7.3

Barsukov, P.O., Fainberg, E.B. & Khabensky, E.O. (2007). *Shallow Investigations by TEM-FAST Technique: Methodology and examples*. In: *Electromagnetic Sounding of the Earth's Interior*, Spichak, V.V. (Ed.), Holland: Elsevier, 55-77. (Σφάλματα στην βυθοσκοπηση)

Παράρτημα: Φωτογραφίες από τις μετρήσεις
στην Ύπαιθρο



