



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

## Γεωφυσική έρευνα για τον λεπτομερή εντοπισμό της στρωματογραφίας της νήσου Κεφαλονίας

### Διπλωματική Εργασία



**Καζαμιάκης Σταύρος**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΙΟΥΛΙΟΣ, 2018



# Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την διπλωματική μου εργασία, θα ήθελα να εκφράσω την βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που με βοήθησαν, ο καθένας με τον δικό του ξεχωριστό τρόπο σε αυτήν μου την προσπάθεια.

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αποστολόπουλο Γεώργιο, αναπληρωτή καθηγητή του Τομέα Μεταλλευτικής και υπεύθυνο για την παρούσα διπλωματική εργασία, τόσο για την αρχική ανάθεση του θέματος της εργασίας αλλά και τη συνολική στήριξη και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Επίσης είμαι ευγνώμων γιατί η συνολική του παρουσία αποτέλεσε κίνητρο για την ενασχόληση μου με τη Γεωφυσική.

Επιπλέον, ευχαριστώ τον κ. Γεώργιο Αμολοχίτη, γεωφυσικό και μέλος Ε.ΔΙ.Π του τομέα Μεταλλευτικής, για την σημαντική συνεισφορά του στη διαδικασία των γεωφυσικών μετρήσεων στην Κεφαλονιά.

Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Σταύρο Καριζώνη απόφοιτο της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών για την σημαντική του βοήθεια στην διαδικασία των γεωφυσικών μετρήσεων αλλά και τις ωραίες στιγμές που περάσαμε στο νησί της Κεφαλονιάς.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Odysseus Unbound Foundation και ιδιαιτέρως τον κ. John Crowsaw τόσο για την δυνατότητα πραγματοποίησης της έρευνας όσο και για τη συνεισφορά σε όλα τα στάδια της και τη μοναδική φιλοξενία. Καθώς και τον κ. John Underhill Professor of Stratigraphy in the Grant Institute of Geology in the School of Geosciences at The University of Edinburgh για την αξιότιμη προσφορά τους σε γεωλογικά στοιχεία και πληροφορίες που αφορούν την ευρύτερη περιοχή μελέτης της εργασίας μου.

Θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου Παράσχο και Ηλιάδα για την απέραντη στήριξη τους σε κάθε μου επιλογή αλλά και την βοήθεια τους στο να πετύχω όποιον στόχο έχω θέσει.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Ελευθέριο καθώς με βοήθησε να αντιμετωπίσω οποιαδήποτε δυσκολία και να μην τα παρατάω ποτέ και αποτελεί πρότυπο καθόλη τη διάρκεια της ζωής μου.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην αναφέρω ευχαριστίες σε όλους εκείνους και εκείνες που βρίσκονται δίπλα μου σε οποιαδήποτε βήμα μου, δίνοντας μου δύναμη και χαρίζοντας μου ωραίες στιγμές.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την διεξαγωγή της γεωφυσικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στη περιοχή Θήνια, στο νησί της Κεφαλονιάς. Σκοπός της εκπονηθείσας μελέτης είναι να διερευνηθεί τόσο η στρωματογραφία της περιοχής όσο και το εάν υπάρχουν ανθρωπογενείς δομές, είτε να εντοπιστεί τέτοια κατανομή ιζημάτων που να έχει επηρεαστεί από αυτές τις πιθανές δομές. Αρχικά έγινε σχεδιασμός της έρευνας με την βοήθεια πληροφοριών από τη γεωλογική μελέτη που προηγήθηκε. Επιπλέον, για τον σχεδιασμό της γεωφυσικής έρευνας χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από παρόμοιες δημοσιευμένες περιπτώσεις μελετών γεωφυσικής έρευνας που πραγματοποιήθηκαν σε περιοχή αρχαιολογικού ενδιαφέροντος και στρωματογραφίας. Αφού σχεδιάστηκε η γεωφυσική έρευνα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με 2 διαφορετικές γεωφυσικές μεθόδους, το γεωραντάρ (GPR) και την ηλεκτρική μέθοδο (ERT). Η επεξεργασία και η ερμηνεία των δεδομένων που προέκυψαν από αυτές τις μεθόδους έγιναν στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, παρατηρήθηκε η δομή του υπεδάφους στο σχεδιασμένο βάθος διασκόπησης, με σημαντικές ανωμαλίες που παρουσιάζουν τη γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής και πιθανές ενδιαφέρουσες ενδείξεις τεκτονικής.

# Abstract

The subject of the present thesis is the geophysical field work that was carried out in Thinia site of Kefallinia Island, Greece. The purpose of the conducted study was to investigate the stratigraphy of the specific area as well the existence of possible anthropogenic structures and the detection of the sedimentation that has been influenced by these possible structures. Initially, the geophysical investigation was designed and approached based on information gathered during a past geological study; similar case studies of geophysical research conducted in areas of archaeological importance, were also taken into account. Two different methods, the ground penetrating radar (GPR) and the electrical method (ERT) were used to take measurements. The geophysical data were processed in the Laboratory of Applied Geophysics in the School of Mining and Metallurgical Engineering of the National Technical University of Athens. The interpretation of the geophysical data showed the sub-surface structure of the planned depth, with notable features for the geomorphological evolution of the area and possibly some indications of tectonic interest.

# Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	12
1.1. Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας .....	16
1.2. Δομή Διπλωματικής Εργασίας .....	16
Κεφάλαιο 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	17
2. Θεωρητικό Μέρος .....	18
2.1. Ηλεκτρική Μέθοδος .....	18
2.1.1. Γενικά .....	18
2.1.1.1. Ηλεκτρικές Μέθοδοι .....	18
2.1.2. Μέθοδος Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης .....	19
2.1.2.1. Ηλεκτρική Ειδική Αντίσταση-Νόμος του Ohm.....	19
2.1.2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αντίσταση .....	20
2.1.2.3. Ηλεκτρόδιο Ρεύματος σε Άπειρο Ομογενή Χώρο.....	23
2.1.2.4. Ηλεκτρόδιο Ρεύματος σε Ημιάπειρο Ομογενή Χώρο .....	24
2.1.2.5. Ηλεκτρόδιο Ρεύματος και Δυναμικού στην Επιφάνεια Ομογενή Χώρου .....	24
2.1.2.6. Φαινόμενη Ειδική Αντίσταση .....	25
2.1.2.7. Διατάξεις Ηλεκτροδίων .....	25
2.1.2.8. Επιλογή Κατάλληλης Διάταξης. ....	27
2.1.2.9. Εξοπλισμός Υπαίθρου .....	28
2.1.3. Γεωηλεκτρικές Διασκοπήσεις.....	30
2.1.3.1. Ηλεκτρική Βυθοσκόπηση .....	30
2.1.3.2. Οριζόντιες Ηλεκτρικές Χαρτογραφήσεις Ειδικής Αντίστασης.....	31
2.1.4. Μέθοδος Δισδιάστατης Ηλεκτρικής Τομογραφίας .....	32
2.2. Γεωραντάρ-GPR (Ground Penetrating Radar).....	34
2.2.1. Γενικά .....	34
2.2.2. Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος γεωραντάρ .....	35
2.2.3. Μετρήσεις στο ύπαιθρο.....	36
Κεφάλαιο 3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ .....	39
3. Εφαρμογές της Γεωφυσικής για τον Εντοπισμό Ανθρωπογενών (Αρχαιολογικών) Σχηματισμών και στρωματογραφίας.....	40
3.1. Εφαρμογή Α: Γεωφυσική έρευνα για το μεσαιωνικό χωριό του κάστρου Rancorbo. (Μπούργκος, Ισπανία) .....	40

3.1.1.Γενικά.....	40
3.1.2.Περιοχή Έρευνας .....	41
3.1.3.Γεωφυσική Μελέτη.....	41
3.1.3.1.Γεωραντάρ (GPR) .....	41
3.1.3.2. Τομογραφία ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης (ERT) .....	43
3.1.4.Αποτελέσματα .....	44
3.1.4.1.Γεωφυσική Έρευνα.....	44
3.1.4.2. Αξιολόγηση εκσκαφών .....	46
3.1.5. Συμπεράσματα .....	47
3.2. Εφαρμογή Β: Γεωφυσική έρευνα για την επιθεώρηση της Ελληνορωμαϊκής Νεκρόπολης στο Kilo 6. (Golden Mummies Valley, Bahariya Oasis, Αίγυπτος).....	48
3.2.1.Γενικά.....	48
3.2.2.Απόκτηση Δεδομένων.....	50
3.2.3 Επεξεργασία Δεδομένων .....	52
3.2.4. Ερμηνεία Δεδομένων.....	54
3.2.5. Δεδομένα τομογραφίας ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης σε 3D .....	58
3.2.6. Σύγκριση προφίλ GPR και προφίλ ERT.....	59
3.2.7. Συμπεράσματα .....	59
3.3. Εφαρμογή Γ: Γεωφυσική Έρευνα για τον εντοπισμό της βραχομάζας στο Clericy, Κεμπέκ, Καναδάς.....	59
3.3.1. Γενικά .....	59
3.3.2. Απόκτηση Δεδομένων.....	61
3.3.3. Επεξεργασία Δεδομένων .....	62
3.3.4. Αποτελέσματα .....	62
3.3.5. Συμπεράσματα .....	66
Κεφάλαιο 4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΤΜΟ ΤΗΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΘΗΝΙΑ.....	67
4. Εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων για τον εντοπισμό της στρωματογραφίας και της τεκτονικής στη θέση Θήνια. ....	68
4.1. Γενικά.....	68
4.2. Ιστορία της περιοχής Θήνια, Κεφαλονιάς .....	69
4.3. Γεωλογία της περιοχής .....	71
4.3.1. Γεωλογία των νήσων Κεφαλονιάς και Ιθάκης.....	71
4.3.2. Νεοτεκτονική Δομή των νήσων Κεφαλονιάς – Ιθάκης .....	75
4.3.4 Γεωλογική δομή κόλπου Ληξουρίου-Αγίας Κυριακής .....	79

Κεφάλαιο 5 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΘΡΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	81
5. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΘΡΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	82
5.1. Γενικά.....	82
5.2. Ηλεκτρική Τομογραφία (Electrical Resistivity Tomography) .....	83
5.2.1. Γενικά .....	83
5.2.2. Εξοπλισμός .....	85
5.2.3. Επεξεργασία Μετρήσεων.....	86
5.2.4. Αποτελέσματα Ηλεκτρικής Μεθόδου .....	87
5.3.1. Γενικά .....	99
5.3.2. Τομές Γεωραντάρ.....	101
5.4.1. Συμπεράσματα .....	103
5.4.2. Σχόλια.....	105
Βιβλιογραφία.....	106



# Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1 Απεικόνιση του Νόμου του Ohm σε ημιάπειρο ομογενή κύλινδρο.....	19
Εικόνα 2.2 Διαφορετικές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης επηρεαζόμενο από το πορώδες του υλικού (ψαμμίτης).....	21
Εικόνα 2.3 Απεικόνιση της ροής ρεύματος σε άπειρο ομογενή χώρο. ....	23
Εικόνα 2.4 Απεικόνιση της ροής ρεύματος σε ημιάπειρο ομογενή χώρο .....	24
Εικόνα 2.5 Ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού στην επιφάνεια ημιάπειρου ομογενούς χώρου.....	25
Εικόνα 2.6 Διατάξεις ηλεκτροδίων.....	26
Εικόνα 2.7 Διάταξη εξοπλισμού μέτρησης Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης.....	29
Εικόνα 2.8 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση με σταδιακή απομάκρυνση των ηλεκτροδίων από το κέντρο της διάταξης.....	31
Εικόνα 2.9 Οριζόντια χαρτογράφηση διάταξης Wenner και Dipole – Dipole, διάγραμμα φαινόμενης αντίστασης, προφίλ υπεδάφους.....	32
Εικόνα 2.10 Η διάταξη των ηλεκτροδίων για την πραγματοποίηση δισδιάστατης γεωηλεκτρικής τομογραφίας και η σειρά των μετρήσεων για την δημιουργία ψευδοτομής.....	33
Εικόνα 2.11 Διάρθρωση της επιφάνειας του υπεδάφους δισδιάστατου μοντέλου σε ορθογώνια πρίσματα, με τη βοήθεια προεπιλεγμένου αλγόριθμου.....	33
Εικόνα 2.12 Μοντέλο Απεικόνισης ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων.....	34
Εικόνα 2.13 Διάταξη και λειτουργία GPR. (Αποστολόπουλος Γεώργιος. 2013).....	36
Εικόνα 2.14 (a) Μέθοδος κοινού μεσαίου σημείου (Common – Midpoint) (b) Αποτελέσματα έρευνας common - Midpoint (c) Τυπική διάταξη λειτουργίας (common – offset) (d) Αποτελέσματα έρευνας common - offset.....	37
Εικόνα 2.15 Διάγραμμα υπολογισμού διακριτικής ικανότητας βάση της συχνότητας κεραίας του γεωραντάρ.....	37
Εικόνα 2.16 Διάγραμμα επιλογής διαστήματος μεταξύ δύο διαδοχικών, διακριτών μετρήσεων.....	38
Εικόνα 3.1 Γεωγραφική θέση του κάστρου Pancorbo.....	40
Εικόνα 3.2 Περιοχή μελέτης από τους χάρτες της Google.....	41
Εικόνα 3.3 Περιοχή έρευνας με τις τομές του γεωραντάρ.....	42
Εικόνα 3.4 Πριν και μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Μία από τις ανώμαλες περιοχές στο κόκκινο πλαίσιο.....	42
Εικόνα 3.5 Περιοχή έρευνας με τα ERT προφίλ (κίτρινες γραμμές) και τα προφίλ από το GPR (κόκκινες γραμμές).....	43
Εικόνα 3.6 Τρισδιάστατη τοποθέτηση των προφίλ Wenner-Schlumberger. Η περιεκτικότητα σε υγρασία αυξάνεται με το βάθος.....	44
Εικόνα 3.7 Τα ίχνη εμφανίζονται στο οριζόντιο επίπεδο της περιοχής μελέτης.....	45
Εικόνα 3.8 Χάρτης της ενέργειας ανίχνευσης ανωμαλιών στην περιοχή έρευνας.....	46
Εικόνα 3.9 Αρχαιολογικά ευρήματα στην περιοχή έρευνας (αριστερά). Ανασκαφές στις περιοχές 1-2 (δεξιά - πάνω) και 3 (δεξιά - κάτω).....	47
Εικόνα 3.10 Περιοχή έρευνας στην όαση Bahariya.....	48
Εικόνα 3.11 Μία εκ των τριών βάσεων αναφοράς.....	49

Εικόνα 3.12 Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας. ....	50
Εικόνα 3.13 Χάρτης των προφίλ GPR που έγιναν στην περιοχή έρευνας. ....	51
Εικόνα 3.14 Κατανομή των προφίλ ERT στην περιοχή έρευνας.....	51
Εικόνα 3.15 Στοιχεία κελιών.....	52
Εικόνα 3.16 Πιθανά ευρήματα στο προφίλ P29. ....	52
Εικόνα 3.17 Πιθανά ευρήματα στο προφίλ P30. ....	53
Εικόνα 3.18 Πιθανά ευρήματα στο προφίλ P31. ....	53
Εικόνα 3.19 Τα προφίλ P29,P30,P31 σε 3D απεικόνιση. ....	54
Εικόνα 3.20 Ανωμαλίες που βρέθηκαν στην περιοχή A1. ....	54
Εικόνα 3.21 Ανωμαλίες που βρέθηκαν στην περιοχή A2. ....	54
Εικόνα 3.22 Τέσσερα προφίλ στα 10,20, 30, 40 ns.....	55
Εικόνα 3.23 Σειρά χαρτών με χρονοδιάγραμμα από 10 έως 75 ns. ....	56
Εικόνα 3.24 Το προφίλ P1 της περιοχής A1. ....	56
Εικόνα 3.25 Το προφίλ P5 της περιοχής A1. ....	57
Εικόνα 3.26 Το προφίλ P6 της περιοχής A1. ....	57
Εικόνα 3.27 Το προφίλ P13 της περιοχής A2.....	57
Εικόνα 3.28 Το προφίλ P14 της περιοχής A2.....	57
Εικόνα 3.29 (α)Χάρτης από 0,25 m έως 5 m για την περιοχή A1 (b) Χάρτης από 0,5 έως 16 m την περιοχή A2.....	58
Εικόνα 3.30 Σύγκριση προφίλ GPR και ERT της περιοχής A2. (a) Προφίλ P9 (b) Προφίλ P10	59
Εικόνα 3.31 Τοποθεσία του Clericy, Κεμπέκ (χάρτης στην αριστερή γωνία) και διάφορα στοιχεία της έρευνας. ....	60
Εικόνα 3.32 α) Επιφανειακή γεωλογία και εκτάσεις που περιέχουν ιζήματα βαθέων υδάτων και μέχρι καταθέσεις. b) Η γεωλογία της βραχομάζας που κυριαρχείται από ρυόλιθο (κίτρινο) και ανδεσίτης (πράσινο). ....	61
Εικόνα 3.33 Προφίλ GPR της οδού Clericy όπου εύκολα παρατηρείται η ποικιλία των υλικών του υπεδάφους.....	63
Εικόνα 3.34 Φυσικές ιδιότητες υλικών. ....	64
Εικόνα 3.35 Προφίλ ERT στην οδό Rapides. ....	64
Εικόνα 3.36 Προφίλ GPR και ERT στην οδό Clericy.....	65
Εικόνα 3.37 Προφίλ GPR και ERT της οδού Rivage.....	65
Εικόνα 4.1 Το νησί της Κεφαλονιάς. Με κόκκινο βέλος προσδιορίζετε η περιοχή έρευνας μας. ....	68
Εικόνα 4.2 Περιοχή έρευνας από τους χάρτες Google Earth. ....	69
Εικόνα 4.3 Απλοποιημένος τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης της νήσου Κεφαλονιάς (Underhill,1989). ....	74
Εικόνα 4.4 Γεωλογική Δομή Κεφαλονιάς (Σχέσεις Και Αλληλεπιδράσεις Υπόγειων Νερών Και Φυσικών Καταστροφικών Φαινομένων, με Έμφαση στους Σεισμούς και στη Ρευστοποίηση Εδαφών, Μιχαλάκη Αικατερίνη, 2016) ....	75
Εικόνα 4.5 Νεοτεκτονικός Χάρτης της νήσου Κεφαλονιάς και Ιθάκης. ....	78
Εικόνα 4.6 Γεωλογικός - Τεκτονικός χάρτης του βορειοδυτικού τμήματος της νήσου Κεφαλονιάς, στον οποίο απεικονίζονται οι κύριες αποθέσεις στον Όρμο Μύρτου και στον Κόλπο Αγίας Κυριακής (Τεκτονική Ανάλυση των δύο μεγάλων επωθήσεων στις περιοχές Όρμου Μύρτου και Κόλπο). ....	79

Εικόνα 4.7 Γεωλογική τομή AA' στην οποία φαίνονται οι δύο κλάδοι της απόθεσης της Αγίας Κυριακής, οι κλίσεις των στρωμάτων καθώς και λεπτομέρεια του ασβεστολιθικού σχηματισμού ο οποίος εμφανίζεται στην παραλία της Αγίας Κυριακής. (Τεκτονική Ανάλυση των δύο μεγάλων.....	80
Εικόνα 5.1 Απεικόνιση των γεωηλεκτικών τομών (κόκκινες γραμμές) και των τομών του γεωραντάρ (μπλέ γραμμές) στην περιοχή έρευνας. ....	83
Εικόνα 5.2 Μεταφορά εξοπλισμού στη περιοχή έρευνας. ....	84
Εικόνα 5.3 Διαδικασία τοποθέτησης των γεωηλεκτρικών τομών. ....	84
Εικόνα 5.4 Όργανο μέτρησης: SYSCALPro. ....	85
Εικόνα 5.5 Γεωηλεκτρική τομή KEF-R1.Οι δύο πρώτες είναι role-dipole ενώ οι τελευταίες Schlumberger.....	87
Εικόνα 5.6 Γεωηλεκτρική τομή KEF-R2.Οι δύο πρώτες είναι role-dipole ενώ οι τελευταίες Schlumberger.....	89
Εικόνα 5.7 Γεωηλεκτρική τομή KEF-R3.Οι δύο πρώτες είναι role-dipole ενώ οι τελευταίες Schlumberger.....	91
Εικόνα 5.8 Γεωηλεκτρική τομή KEF-R4.Οι δύο πρώτες είναι role-dipole ενώ οι τελευταίες Schlumberger.....	93
Εικόνα 5.9 Γεωηλεκτρική τομή KEF-R5.Οι δύο πρώτες είναι role-dipole ενώ οι τελευταίες Schlumberger.....	95
Εικόνα 5.10 Ο χάρτης Google Earth με τα ERT προφίλ στην κορυφή και οι 5 ERT τομές που δίνουν τη πιο ρεαλιστική απεικόνιση του υπεδάφους με σειρά από Βορρά – Νότο όπως μετρήθηκαν στην περιοχή έρευνας. ....	97
Εικόνα 5.11Χάρτης που παρουσιάζει τα GPR Profiles στην περιοχή έρευνας Κατωχώρι (επάνω) και τα GPR Profiles με μπλε γραμμές στον χάρτη Google Earth (κάτω).....	100
Εικόνα 5.12Όλα τα GPR προφίλ σε 3D απεικόνιση. ....	101
Εικόνα 5.13Όλα τα GPR προφίλ σε 3D απεικόνιση. ....	101

# Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1 Γεωφυσικές μέθοδοι και οι ιδιότητες για κάθε μία.....	14
Πίνακας 2.1 Τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για χαρακτηριστικά πετρώματα. (Αποστολόπουλος Γεώργιος,2013).....	21
Πίνακας 2.2 Επίδραση γεωλογικών διεργασιών στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση. (Αποστολόπουλος 2008).....	22
Πίνακας 2.3 Καταλληλότητα κάθε διάταξης ανάλογα με την περίπτωση έρευνας.....	28
Πίνακας 2.4 Ταχύτητες διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ( $v$ ), τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς ( $K$ ) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $\sigma$ ) για διάφορους τύπους υλικών.....	35

# Κεφάλαιο 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

# 1. Εισαγωγή

Η γεωφυσική είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων της Γης, στηριζόμενη στις βασικές αρχές της φυσικής. Οι γεωφυσικές έρευνες του υπεδάφους της Γης περιλαμβάνουν την συλλογή μετρήσεων κοντά ή στο έδαφος της Γης οι οποίες επηρεάζονται από την εσωτερική κατανομή των φυσικών ιδιοτήτων. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων μπορεί να αποκαλύψει την εναλλαγή των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Η εφαρμοσμένη γεωφυσική έρευνα έχει μεγάλη πρακτική σημασία για το μηχανικό, αφού δίνει τη δυνατότητα μελέτης του φλοιού της γης και των επιφανειακών στρωμάτων, εντοπισμού δομών που σχετίζονται με την εμφάνιση κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου, μεταλλευμάτων, πηγών γεωθερμικής ενέργειας κλπ. Η εφαρμογή γεωφυσικών μελετών δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων της γης, γεγονός μεγάλης σημασίας για τον σχεδιασμό της κατασκευής και την παρακολούθηση μεγάλων τεχνικών έργων.

Η Γεωφυσική περιλαμβάνει την μελέτη της «στερεάς» Γης, της θάλασσας, της ατμόσφαιρας και της ιονόσφαιρας. Έχει επικρατήσει όμως διεθνώς, η Γεωφυσική να ταυτίζεται σχεδόν με τη Φυσική της «στερεάς» Γης, ενώ για τις άλλες επιστήμες χρησιμοποιούνται ειδικά ονόματα όπως Ωκεανογραφία, Μετεωρολογία, Φυσική της Ατμόσφαιρας κ.λπ.

Το αντικείμενο της γεωφυσικής έρευνας ήταν αρχικά ο εντοπισμός υπόγειων μεταλλοφόρων κοιτασμάτων. Καθώς τα χρόνια πέρασαν και η τεχνολογική ανάπτυξη ήταν ραγδαία, ο τομέας της γεωφυσικής διευρύνθηκε. Τώρα η επιστήμη της γεωφυσικής ασχολείται με τον ευρύτερο τομέα των υποδομών, έγκοιλων, αρχαιολογικών θαμμένων στόχων, βαθιούς δόμους, στους οποίους πιθανά να υπάρχουν υδρογονάνθρακες κ.ά. Με τα παραπάνω παρατηρούμε ότι η γεωφυσική επιστήμη είναι απαραίτητη σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς, κάνοντας την απαραίτητη σχεδόν για κάθε είδους έργο που πραγματοποιείται.

Η ορθή επιλογή μιας γεωφυσικής μεθόδου, βασίζεται στη διαφοροποίηση κάποιας φυσικής ιδιότητας των πετρωμάτων, από τη μέτρηση των τιμών της οποίας προσδιορίζεται η δομή του υπεδάφους. Αυτές οι φυσικές ιδιότητες, οι οποίες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη φύση και τη δομή των υπεδάφικών σχηματισμών, είναι η πυκνότητα, το ειδικό βάρος, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η μαγνητική επιδεκτικότητα, η ελαστικότητα καθώς και η θερμική αγωγιμότητα και η ραδιενέργεια.

Πίνακας 1.1 Γεωφυσικές μέθοδοι και οι ιδιότητες για κάθε μία.

<b>ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ</b>	<b>ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ ΦΥΣΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΣΤΟΧΟΣ</b>
Βαρυτική Μέθοδος	Ένταση πεδίου βαρύτητας	Προσδιορισμός της κατανομής της πυκνότητας των πετρωμάτων
Μαγνητική Μέθοδος	Ένταση γεωμαγνητικού πεδίου	Εντοπισμός μαγνητισμένων πετρωμάτων, μέσω της μαγνητικής επιδεκτικότητας και της παραμένουσας μαγνήτισης
Σεισμική Μέθοδος	Χρόνοι διαδρομής σεισμικών κυμάτων Περίοδοι σεισμικών κυμάτων Πλάτη σεισμικών κυμάτων	Καθορισμός της δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης, μέσω των ελαστικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων
Ηλεκτρική Μέθοδος	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση της γης Ηλεκτρικά δυναμικά	Καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού (ηλεκτρική αγωγιμότητα και επαγωγή)
Ραδιομετρική Μέθοδος	Φυσική ραδιενέργεια	Προσδιορισμός της φυσικής ραδιενέργειας των πετρωμάτων
Θερμική Μέθοδος	Ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης	Προσδιορισμός της θερμοκρασίας των πετρωμάτων

Σε αυτό το σημείο, είναι καλό να τονιστεί ότι οι γεωφυσικές μέθοδοι ανιχνεύουν μόνο “ανωμαλίες”, δηλαδή σημεία στα οποία, η τιμή κάποιας φυσικής ιδιότητας είναι εμφανώς διαφέρουσα από την τιμή των δομών που το περιβάλλουν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην είμαστε σε θέση να διακρίνουμε οτιδήποτε το ομογενές στη φύση. Μπορούμε όμως με την χρήση των γεωφυσικών μεθόδων να ξεχωρίσουμε κάποιας μορφής χωρική ή χρονική διαφοροποίηση.

Η λήψη μετρήσεων και η εύρεση “ανωμαλιών” στις παραπάνω ιδιότητες των πετρωμάτων, η ερμηνεία τους καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων-αποτελεσμάτων, αποτελούν το βασικό σκοπό μιας γεωφυσικής μελέτης.

Η γεωφυσική έρευνα επεξεργάζεται φυσικά φαινόμενα, όπως η βαρύτητα, ο μαγνητισμός, ο ηλεκτρισμός, η διάδοση σεισμικών κυμάτων κλπ, που υπάρχουν ή δημιουργούνται στο υπέδαφος, καθώς επίσης μελετά τις αντίστοιχες φυσικές

ιδιότητες, όπως είναι η πυκνότητα, η μαγνητική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων.

Η επιλογή της κατάλληλης γεωφυσικής μεθόδου για την επίλυση ενός γεωφυσικού προβλήματος ή να έχουμε τα βέλτιστα δυνατά αποτελέσματα εξαρτάται κυρίως, από τους εξής παράγοντες:

- Τις φυσικές ιδιότητες του σχηματισμού τον οποίο ερευνάμε καθώς και του περιβάλλοντος του. Με βάση τον παράγοντα αυτόν, συνήθως επιλέγεται η μέθοδος που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση τιμών, μεταξύ στόχου και περιβαλλόντων πετρωμάτων. Επομένως για τον εντοπισμό ενός μαγνητίτη θα χρησιμοποιήσουμε τη μαγνητική μέθοδο λόγω της έντονης μαγνητικής επιδεκτικότητας. Αντίστοιχα για τον εντοπισμό ενός υδροφόρου ορίζοντα, οι μέθοδοι που θα μας δώσουν τα καλύτερα αποτελέσματα είναι οι ηλεκτρικές ή σεισμικές, αφού το πέτρωμα θα όταν είναι κορεσμένο παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και διάδοσης σεισμικών κυμάτων σε αντίθεση με ένα κορεσμένο πέτρωμα.
- Το στάδιο της έρευνας στο οποίο βρισκόμαστε. Η εναέρια γεωφυσική μέθοδος χρησιμοποιείται για την γρηγορότερη και οικονομικότερη κάλυψη μεγάλων εκτάσεων διότι παίρνουμε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα λόγω του ότι δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια για τον προσδιορισμό του στόχου. Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε άλλες γεωφυσικές μεθόδους ανάλογα πάντα τον στόχο για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Για αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι για την μέγιστη επίτευξη των αποτελεσμάτων της έρευνας, χρησιμοποιούμε παραπάνω από μια γεωφυσική μέθοδο.



## 1.1. Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η πραγματοποίηση γεωφυσικής έρευνας στη περιοχή Θήνια, της νήσου Κεφαλληνίας.

Σκοπός της έρευνας μας, είναι να διερευνηθεί τόσο η στρωματογραφία της περιοχής όσο και ο εντοπισμός ανθρωπογενών δομών, είτε τον εντοπισμό ιζηματογενέσεων που προκλήθηκαν από αυτές τις πιθανές δομές.

Για την πραγματοποίηση του στόχου της Διπλωματικής Εργασίας, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθούν 2 διαφορετικές γεωφυσικές μέθοδοι, με βάση γεωλογικών και αρχαιολογικών στοιχείων:

- Ηλεκτρική μέθοδος (ERT).
- Γεωραντάρ (GPR).

## 1.2. Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Η δομή της εργασίας περιλαμβάνει τα εξής:

- ▽ Το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιλαμβάνει την εισαγωγή όπου γίνεται μια μικρή και ουσιαστική αναφορά στο αντικείμενο της εφαρμοσμένης γεωφυσικής.
- ▽ Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή του θεωρητικού μέρους της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στα θεωρητικά στοιχεία κάθε μεθόδου που εφαρμόστηκε στην έρευνα μας.
- ▽ Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε εφαρμογές της γεωφυσικής για τον εντοπισμό ανθρωπογενών δομών (αρχαιολογικών σχηματισμών). Σκοπός του κεφαλαίου είναι η εκτενής ανάλυση, 4 cases study άλλων γεωφυσικών ομάδων για την πραγματοποίηση παρόμοιας έρευνας με τη δική μας.
- ▽ Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της περιοχής έρευνας Κατωχώρι, της νήσου Κεφαλονιάς (Τοποθεσία, Ιστορικά στοιχεία και Γεωλογία περιοχής) όπου πραγματοποιήσαμε τις γεωφυσικές μεθόδους.
- ▽ Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του σχεδιασμού της γεωφυσικής έρευνας, που περιλαμβάνει τη κατάλληλη επιλογή γεωφυσικών μεθόδων, σειρά εφαρμογής, διατάξεις κάθε μεθόδου. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στην ύπαιθρο καθώς και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων που έγινε στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής. Τέλος, δίνονται εκτενώς τα συνολικά αποτελέσματα και συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία και διατυπώνονται σχόλια για την έρευνα που πραγματοποιήθηκε.
- ▽ Τέλος στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που αξιοποιήθηκε για την ανάπτυξη και επιχειρηματολογία των κεφαλαίων.

**Κεφάλαιο 2**  
**ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

## 2. Θεωρητικό Μέρος

### 2.1. Ηλεκτρική Μέθοδος

#### 2.1.1. Γενικά

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι διασκόπησης του υπεδάφους βασίζονται στην ανίχνευση φυσικών φαινομένων μέσω της υπεδαφικής ροής ηλεκτρικού ρεύματος. Χρησιμοποιώντας τις ηλεκτρικές μεθόδους μετρώνται διαφορές δυναμικού, ρεύματα και ηλεκτρομαγνητικά πεδία που υπάρχουν φυσικά ή εισάγονται τεχνητά στην Γη. Χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα ή εναλλασσόμενο χαμηλής συχνότητας, προκειμένου να ανιχνευθούν οριζόντιες και κατακόρυφες διαφοροποιήσεις των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. (Αποστολόπουλος, 2008).

#### 2.1.1.1. Ηλεκτρικές Μέθοδοι

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι διακρίνονται σε παθητικές ή ενεργητικές ανάλογα με την χρησιμοποίηση φυσικών ή τεχνητών πεδίων.

##### Παθητικές μέθοδοι:

- **Μέθοδος του Φυσικού Δυναμικού (Self-Potential Method)**

Χρησιμοποιεί τις μετρήσεις των φυσικών ηλεκτρικών δυναμικών, τα οποία, είτε σχετίζονται με την αποσάθρωση κοιτασμάτων σουλφιδίων, είτε είναι ηλεκτροκινητικής ή γεωθερμικής προέλευσης. Εφαρμόζεται σε υδρογεωλογικές ή γεωθερμικές έρευνες.

- **Μαγνητοτελλουρική Μέθοδος (Magnetotelluric Method)**

Χρησιμοποιεί τις μετρήσεις φυσικών τελλουρικών ρευμάτων, τα οποία παράγονται από μαγνητική επαγωγή ηλεκτρικών ρευμάτων στην ιονόσφαιρα. Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων διαφόρων υλικών, τα οποία βρίσκονται σε σχετικά μεγάλα βάθη –μέχρι και τον μανδύα– μέσα στη γη.

##### Ενεργητικές μέθοδοι:

- **Μέθοδος της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης (Resistivity Method)**

Χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό δυναμικό που σχετίζεται με την υπόγεια ροή ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από πηγή συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος χαμηλής συχνότητας. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το μετρούμενο δυναμικό, και μπορούν επομένως να χαρτογραφηθούν με τη χρήση της μεθόδου, περιλαμβάνουν την παρουσία και ποιότητα των ρευστών, των πόρων και των αργίλων. Χρησιμοποιείται ευρέως σε

υδρογεωλογικές περιβαλλοντικές κα γεωτεχνικές μελέτες, με μέσα βάθη διασκόπησης.

- **Μέθοδος της Επαγόμενης Πολικότητας (Induce Polarization Method)**  
Πραγματοποιείται σε συνδυασμό με την μέθοδο της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης. Χρησιμοποιεί μετρήσεις των παροδικών (βραχύβιων) χρονικών μεταβολών του δυναμικού όταν, το ρεύμα που αρχικά διαβιβάζεται , παύει να διαβιβάζεται, έδαφος. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό συγκεντρώσεων αργίλων και ηλεκτρικά αγώγιμων κόκκων μεταλλικών ορυκτών.

## 2.1.2 Μέθοδος Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

### 2.1.2.1. Ηλεκτρική Ειδική Αντίσταση-Νόμος του Ohm.

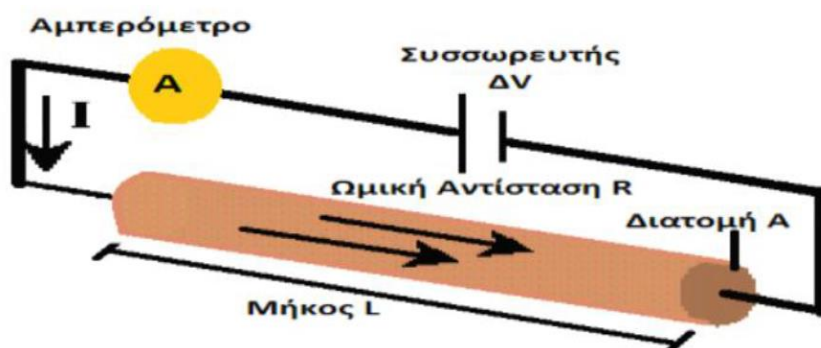
Το ηλεκτρικό ρεύμα διαδίδεται μέσα στα πετρώματα με τρεις τρόπους:

- **Ηλεκτρικά (Ωμικά):** Η ροή του ρεύματος στα υλικά περιέχει ελεύθερα ηλεκτρόνια.
- **Ηλεκτρολυτικά:** Το ρεύμα μεταφέρεται μέσω ιόντων με σχετικά χαμηλό ρυθμό.
- **Διηλεκτρικά:** Λαμβάνει χώρα σε φτωχούς αγωγούς ή μονωτές όπου τα ατομικά ηλεκτρόνια κάτω από την επίδραση εξωτερικού πεδίου μετακινούνται σχετικά με τον πυρήνα.

Σύμφωνα με τον Νόμο του Ohm, σε ένα κυλινδρικό αγωγό μήκους  $L$  και διατομής  $A$ , που διαρρέεται από ρεύμα  $I$  και στα άκρα του μετράται η διαφορά δυναμικού  $\Delta V$ , επομένως η ηλεκτρική αντίσταση  $R$  δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

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

όπου,  $\Delta V$  η τάση σε (**Volt**) και  $I$  η ένταση του ρεύματος σε (**Ampere**). Η ηλεκτρική ωμική αντίσταση  $R$  έχει ως μονάδα μέτρησης το **Ohm**.



Εικόνα 2.1 Απεικόνιση του Νόμου του Ohm σε ημίπειρο ομογενή κύλινδρο.

Η ηλεκτρική ωμική αντίσταση  $R$ , εξαρτάται από τις γεωμετρικές διαστάσεις του αγωγού :

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

όπου  $\rho$  η ηλεκτρική ειδική αντίσταση του αγωγού, ανεξάρτητη των διαστάσεών του, που θεωρείται χαρακτηριστική θεμελιώδης παράμετρος του υλικού που είναι κατασκευασμένος ο αγωγός και περιγράφει πόσο εύκολα μπορεί ο αγωγός να διαβιβάσει ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα περισσότερα πετρώματα είναι κακοί αγωγοί και οι ειδικές αντιστάσεις τους θα ήταν πολύ υψηλές αν δεν είχαν πόρους με ρευστά, κυρίως νερό. Η αγωγιμότητα ενός πορώδους πετρώματος μεταβάλλεται με τον όγκο και την κατανομή των πόρων, αλλά πολύ περισσότερο με την αγωγιμότητα και το ποσό του περιεχομένου νερού. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα πετρώματα είναι ηλεκτρολυτικοί αγωγοί και η αγωγιμότητα είναι περισσότερο ηλεκτρολυτική παρά ωμική. Το ρεύμα διαδίδεται μέσω ιόντων (μορίων με περίσσεια ή έλλειψη ηλεκτρονίων). Η ειδική αντίσταση διαφέρει με την ευκινησία, την συγκέντρωση και τον βαθμό διαχωρισμού των ιόντων (εξαρτάται από την διηλεκτρική σταθερά του διαλύτη).

### 2.1.2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αντίσταση

Οι σημαντικότεροι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν τις τιμές της ηλεκτρικής πετρωμάτων και ορυκτών, είναι:

#### ❖ Είδος πετρώματος

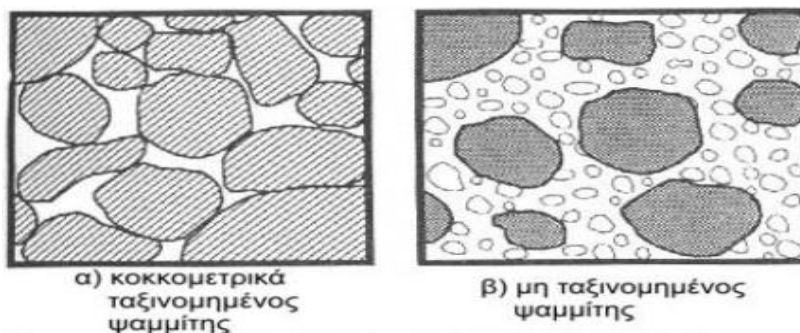
Όπως θα δούμε παρακάτω στον πίνακα που ακολουθεί κάθε είδος ορυκτού, εδάφους ή πετρώματος χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο εύρος τιμών ειδικής αντίστασης. Τα πυριγενή πετρώματα παρουσιάζουν, γενικά, τις υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης, ενώ τα ιζηματογενή τις χαμηλότερες, λόγω του – συνήθως – υψηλού περιεχομένου τους σε ρευστά. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα παρουσιάζουν ενδιάμεσες τιμές, παράλληλα με έντονες τάσεις αλληλοεπικάλυψης.

Πίνακας 2.1 Τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για χαρακτηριστικά πετρώματα. (Αποστολόπουλος Γεώργιος, 2013)

ΥΛΙΚΟ	ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ( $\Omega \cdot m$ )
Αέρας	$\infty$
Μαρμαρυγίας	$9 \times 10^{12} - 1 \times 10^{14}$
Χαλαζίας	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
Ασβεστίτης	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Ορυκτό άλας	$30 - 1 \times 10^{13}$
Σιδηροπυρίτης	$3 \times 10^{-1}$
Γαληνίτης	$2 \times 10^{-3}$
Γάββρος	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$
Συμπαγής Γρανίτης	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^6$
Αποσαθρωμένος Γρανίτης	$1 - 1 \times 10^2$
Ασβεστόλιθος	$50 - 1 \times 10^7$
Βασάλτης	$10 - 1 \times 10^7$
Ψαμμίτης	$1 - 1 \times 10^8$
Σχιστόλιθος	$20 - 2 \times 10^3$
Δολομίτης	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^4$
Άμμος	$1 - 1 \times 10^3$
Αργίλος	$1 - 1 \times 10^2$
Εδαφικό Νερό	0,5 - 300
Θαλασσινό Νερό	0,2

❖ **Δομή και Πορώδες:**

Όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες ενός πετρώματος, τόσο μικρότερη είναι και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση.



Εικόνα 2.2 Διαφορετικές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης επηρεαζόμενο από το πορώδες του υλικού (ψαμμίτης).

Ο κοκκομετρικά ταξινομημένος ψαμμίτης έχει μεγάλα κενά, με συνέπεια να παρουσιάζει χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης (Περίπτωση α), σε αντίθεση με τον μη ταξινομημένο ψαμμίτη που έχει πολύ μικρότερο πορώδες, με συνέπεια να παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές ειδικής αντίστασης. (Περίπτωση β)

❖ **Περιεκτικότητα σε άλατα**

Για δεδομένο πορώδες, όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του ρευστού πλήρωσης των πόρων σε άλατα, τόσο μικρότερη είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του πετρώματος.

❖ **Επιδράσεις γεωλογικών διεργασιών**

Στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται οι επιδράσεις διαφόρων γεωλογικών διεργασιών στις ειδικές αντιστάσεις των πετρωμάτων. Κατά κανόνα, οι γεωλογικές διεργασίες μειώνουν την ειδική αντίσταση, αλλά υπάρχουν και εξαιρέσεις όπως η σκλήρυνση, η ιζηματοποίηση, η απολίθωση πετρωμάτων κ.ά.

*Πίνακας 2.2 Επίδραση γεωλογικών διεργασιών στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση.  
(Αποστολόπουλος 2008)*

<b>ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ</b>	<b>ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ</b>
Αργιλική εξαλλοίωση	Ελάττωση
Διάλυση	Ελάττωση
Ρηγμάτωση	Ελάττωση
Εισροή θαλασσινού νερού	Ελάττωση
Διάτμηση	Ελάττωση
Αποσάθρωση	Ελάττωση
Σκλήρυνση	Αύξηση
Ιζηματοποίηση	Αύξηση
Απολίθωση	Αύξηση
Μεταμόρφωση	Αύξηση ή Ελάττωση

❖ **Ηλικία πετρώματος**

Τα παλαιότερα πετρώματα τείνουν να παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

❖ **Επιδράσεις αργιλικών ορυκτών**

Λόγω της αυξημένης αγωγιμότητας των αργιλικών ορυκτών, η ύπαρξή τους έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χαμηλών τιμών επιφανειακής ειδικής αντίστασης.

❖ **Βαθμός κορεσμού**

Όσο ο βαθμός κορεσμού ενός πετρώματος αυξάνεται, η ειδική ηλεκτρική του αντίσταση μειώνεται.

❖ **Θερμοκρασία**

Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, τόσο μικρότερη είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του πετρώματος. Αυτός ο παράγοντας, ωστόσο, έχει τόσο μικρή επίδραση, ώστε διαδραματίζει αξιοσημείωτο ρόλο μόνο σε γεωθερμικά συστήματα και όχι σε γεωτεχνικές ή περιβαλλοντικές μελέτες.

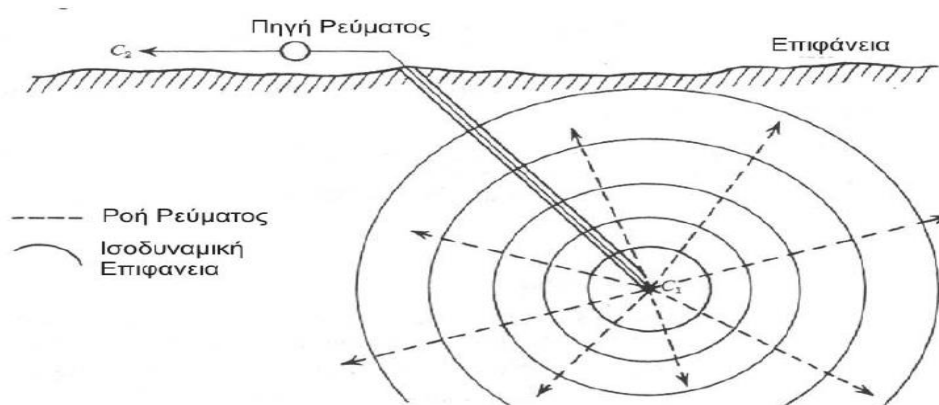
### 2.1.2.3. Ηλεκτρόδιο Ρεύματος σε Άπειρο Ομογενή Χώρο

Στην γεωφυσική έρευνα έχουμε διάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στην γη και όχι μόνο σε συρμάτινο καλώδιο. Η ροή ρεύματος μέσα σε ένα τρισδιάστατο σώμα παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με τη ροή μέσω ενός γραμμικού αγωγού. Για αυτό τον λόγο θα εξεταστεί η ροή του ρεύματος στον χώρο.

Ως χώρο μελέτης θεωρούμε το έδαφος της γης, το οποίο όμως για λόγους ευκολίας και απλοποίησης, θεωρούμε ότι είναι ένα άπειρο, ομογενές και ισότροπο μέσο. Επίσης θεωρούμε ότι η ειδική του αντίσταση είναι ίδια και σταθερή σε ολόκληρη την μάζα του (ηλεκτρικά ομογενής γη).

Στην πράξη το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται τοποθετώντας ένα ηλεκτρόδιο C1 μικρών διαστάσεων (σημειακή πηγή ρεύματος) βαθιά σε ομογενές και ισότροπο μέσο. Το ηλεκτρόδιο συνδέεται με πηγή ρεύματος και το κύκλωμα κλείνει μέσω δεύτερου ηλεκτροδίου, C2, που τοποθετείται στην επιφάνεια της γης και σε αρκετά μακρινή απόσταση ούτως ώστε η επίδραση του στη διαμόρφωση του δυναμικού να είναι αμελητέα.

Οι γραμμές ροής του ρεύματος  $I$  είναι ακτινικές και ξεκινούν από τη σημειακή πηγή C1, κατευθυνόμενες προς τα έξω. Η διαφορά δυναμικού που προκαλείται από την ηλεκτρική αντίσταση του μέσου, παραμένει σταθερή κατά μήκος κυκλικών γραμμών, οι οποίες έχουν ως κέντρο το ηλεκτρόδιο. Οι γραμμές αυτές ονομάζονται ισοδυναμικές γραμμές (equipotentials) και στις τρεις διαστάσεις σχηματίζουν ισοδυναμικές σφαιρικές επιφάνειες, με κέντρο το ηλεκτρόδιο.

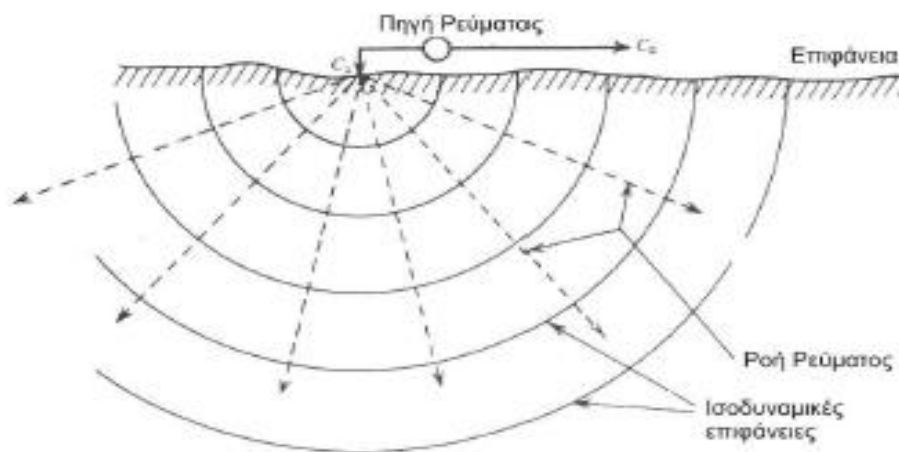


Εικόνα 2.3 Απεικόνιση της ροής ρεύματος σε άπειρο ομογενή χώρο.



#### 2.1.2.4. Ηλεκτρόδιο Ρεύματος σε Ημιάπειρο Ομογενή Χώρο

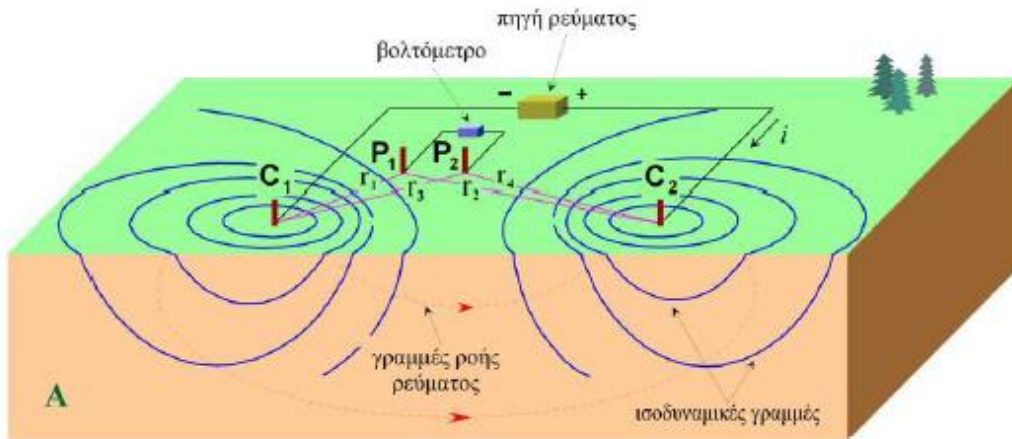
Στην περίπτωση αυτή που έχουμε ημιάπειρο ομογενή χώρο, η διαδικασία περιλαμβάνει αρχικά την τοποθέτηση ενός ηλεκτροδίου C1 (μικρών διαστάσεων) βαθιά σε ομογενές και ισότροπο μέσο. Το ηλεκτρόδιο συνδέεται με πηγή ρεύματος και το κύκλωμα κλείνει μέσω δεύτερου ηλεκτροδίου, C2, το οποίο τοποθετείται και αυτό στην επιφάνεια της γής, και σε αρκετά μακρινή απόσταση, ούτως ώστε η επίδραση του στη διαμόρφωση του δυναμικού να είναι αμελητέα. Οι γραμμές ροής του ρεύματος  $I$  είναι, όπως και στην περίπτωση του άπειρου ομογενούς μέσου, ακτινικές και ξεκινούν από τη σημειακή πηγή προς τον ημιχώρο. Ενώ οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι κάθετες στις γραμμές ροής και σχηματίζουν ομόκεντρα ημισφαίρια, με κέντρο το ηλεκτρόδιο C1.



Εικόνα 2.4 Απεικόνιση της ροής ρεύματος σε ημιάπειρο ομογενή χώρο

#### 2.1.2.5. Ηλεκτρόδιο Ρεύματος και Δυναμικού στην Επιφάνεια Ομογενή Χώρου

Σε αντίθεση με τις περιπτώσεις άπειρου και ημιάπειρου ομογενή χώρου, στην συγκεκριμένη περίπτωση τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους στην επιφάνεια της γης. Το δυναμικό σε κοντινό σημείο της επιφάνειας επηρεάζεται και από τα δύο ηλεκτρόδια. Επομένως, το δυναμικό σε ένα τυχαίο σημείο P1 θα ισούται με το αποτέλεσμα της συνεισφοράς του δυναμικού  $V_1$ , λόγω της σημειακής πηγής C1 και του δυναμικού  $V_2$ , λόγω της πηγής C2. Τέλος, οι γραμμές ροής του ρεύματος δεν είναι πλέον ακτινικές, αλλά καμπύλες γραμμές που ενώνουν τα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2.5**.



Εικόνα 2.5 Ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού στην επιφάνεια ημίαιπου ομογενούς χώρου.

### 2.1.2.6. Φαινόμενη Ειδική Αντίσταση

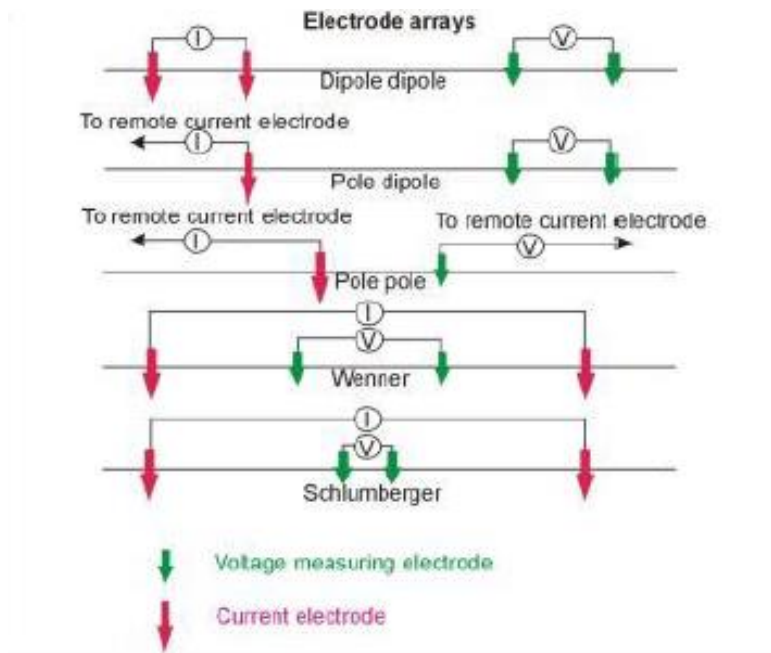
Σε ένα ομογενές και ισότροπο μέσο, η υπολογιζόμενη ειδική αντίσταση θα είναι σταθερή και ανεξάρτητη των σχετικών θέσεων των τεσσάρων ηλεκτροδίων και θα ισούται με την αντίσταση του μέσου.

Σε ένα ανομοιογενές μέσο, η ειδική αντίσταση ποικίλει ανάλογα με τις σχετικές θέσεις των ηλεκτροδίων και λέγεται φαινόμενη ειδική αντίσταση.

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δεν είναι αντιπροσωπευτική ούτε της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους, ούτε μιας μέσης τιμής των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων των διαφόρων μερών του υπεδάφους. Η φαινόμενη ειδική μεταβάλλεται συστηματικά ανάλογα με τη γεωλογική τομή και κατανομή των ειδικών αντιστάσεων των στρωμάτων που διαρρέουν οι ρευματικές γραμμές και είναι αντιπροσωπευτική και των στρωμάτων του υπεδάφους και των αγώγιμων ή μη αγώγιμων.

### 2.1.2.7. Διατάξεις Ηλεκτροδίων

Σε κάθε γεωφυσική μέτρηση τα ηλεκτρόδια ρεύματος, δυναμικού και οι μεταξύ τους αποστάσεις διατάσσονται στο έδαφος με συγκεκριμένο τρόπο ανάλογα με τον εκάστοτε στόχο της έρευνας. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι σημαντικότερες διατάξεις ηλεκτροδίων και αναλύονται οι αντίστοιχες φαινόμενες ειδικές αντιστάσεις:



Εικόνα 2.6 Διατάξεις ηλεκτροδίων.

- ✚ **Διάταξη Schlumberger:** Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού βρίσκονται συμμετρικά από το κέντρο της διάταξης απέχοντας αποστάσεις  $L$  και  $l$  αντίστοιχα. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho_{\alpha} = \frac{\Delta V}{I} * \frac{\pi * (L^2 - l^2)}{2l}$$

- ✚ **Διάταξη Wenner:** Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού ισαπέχουν μεταξύ τους απόσταση  $a$  και η φαινόμενη αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_{\alpha} = \frac{\Delta V}{I} * 2\pi * a$$

- ✚ **Διάταξη Dipole – Dipole:** Τα ηλεκτρόδια ρεύματος απέχουν απόσταση  $a$ , όσο απέχουν και τα ηλεκτρόδια δυναμικού, ενώ τα δίπολα μεταξύ τους απέχουν απόσταση πολλαπλάσια της απόστασης  $a$  ( $na$ ). Η φαινόμενη ειδική αντίσταση υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$\rho_{\alpha} = \frac{\Delta V}{I} * \pi * n * (n+1) * (n+2) * a$$

- ✚ **Διάταξη Pole – Pole:** Ένα ηλεκτρόδιο ρεύματος και ένα ηλεκτρόδιο δυναμικού απέχουν απόσταση  $a$ , ενώ τα άλλα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού απέχουν πολύ μεγάλη απόσταση από τα δύο κοντινά ηλεκτρόδια. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_{\alpha} = \frac{\Delta V}{I} * 2\pi * a$$

- ✚ **Διάταξη Pole – Dipole :** Το ένα από τα ηλεκτρόδια ρεύματος τοποθετείται σε μεγάλη απόσταση από τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι  $a$ , ενώ η απόσταση του ηλεκτροδίου ρεύματος από το ηλεκτρόδιο δυναμικού είναι  $na$ . Χρησιμοποιείται κυρίως για Τομογραφία και Βυθοσκόπηση. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_{\alpha} = \frac{\Delta V}{I} * 2\pi * n(n+1)$$

### 2.1.2.8. Επιλογή Κατάλληλης Διάταξης.

Στον **Πίνακα 2.3** παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι παράγοντες, οι οποίοι καθορίζουν την επιλογή της καταλληλότερης διάταξης ανάλογα την περίπτωση κάθε φορά. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα περισσότερα πλεονεκτήματα ως διάταξη ηλεκτροδίων για βυθοσκόπηση έχει η διάταξη Schlumberger. Οι υποθέσεις γίνονται λαμβάνοντας υπόψιν την ευαισθησία κάθε διάταξης και διάφορους παράγοντες σε κάθε περίπτωση έρευνας. Οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνουν συνεχώς με σταθερή απόσταση ηλεκτροδίων δυναμικού, η οποία αλλάζει μόνο όταν το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού γίνεται τόσο μικρό ώστε να μην είναι δυνατόν να μετρηθεί με την απαιτούμενη ακρίβεια. . Όταν πρόκειται να μεταβληθεί η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού, λαμβάνονται διπλομετρήσεις και με τις δύο αποστάσεις των ηλεκτροδίων δυναμικού. Γίνονται έξι μετρήσεις ανά λογαριθμικό κύκλο του μισού της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος.

Η διάταξη Dipole–Dipole, παρόλο που έχει μεγαλύτερο βάθος ανίχνευσης λόγω της μετακίνησης των ηλεκτροδίων δυναμικού υφίσταται το θόρυβο που δημιουργούν οι παράπλευρες επιφανειακές ανομοιογένειες.

Πίνακας 2.3 Καταλληλότητα κάθε διάταξης ανάλογα με την περίπτωση έρευνας.

	Wenner	Schlunberger	Pole – Dipole	Dipole - Dipole
Λόγος σήματος προς θόρυβο.	**	*		
Ευαισθησία σε παράπλευρες ανομοιογένειες.			*	**
Διαχωρισμός δομών σε απότομη κλίση.	*	**		
Διαχωρισμός οριζόντιων στρωμάτων.	**	**		
Ευαισθησία στη μορφολογία του υποβάθρου.			*	**
Βάθος διασκόπησης.				**
Ευαισθησία σε βάθος και διεισδυτικότητα δια μέσου επιφανειακού αγώγιμου στρώματος.	**	**	*	*
Ευαισθησία στην κλίση.	*	**		

### 2.1.2.9. Εξοπλισμός Υπαίθρου

Για να μετρήσουμε τη φαινόμενη ειδική αντίσταση, δηλαδή τα  $\Delta V$  και  $I$ , χρειαζόμαστε:

- 1. Πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και Αμπερόμετρο.** Μέχρι 1 Ampere χρησιμοποιούμε συσσωρευτές, ενώ για ρεύμα μεγαλύτερης έντασης γεννήτριες.
- 2. Βολτόμετρο.** Υψηλής αντίστασης εισόδου ( $>10M\Omega$ ) για ακριβείς μετρήσεις από  $\mu V$  έως  $V$ . Τα παραπάνω βρίσκονται συνήθως σε ένα όργανο μέτρησης, το οποίο επιπρόσθετα περιέχει ένα σύστημα αντιστάθμισης ώστε το βολτόμετρο να συνδέεται μαζί του να αφαιρεί φυσικά δυναμικά.
- 3. Όργανο επιλογής της χρησιμοποιούμενης διάταξης.** Πρόκειται για ένα όργανο, το οποίο παρεμβάλλεται μεταξύ του γεωφυσικού οργάνου και των καλωδίων ρεύματος και δυναμικού, έχοντας ως αποστολή τη διανομή του σήματος εξόδου στα κατάλληλα, κάθε φορά, ηλεκτρόδια ρεύματος και τον καθορισμό των ηλεκτροδίων

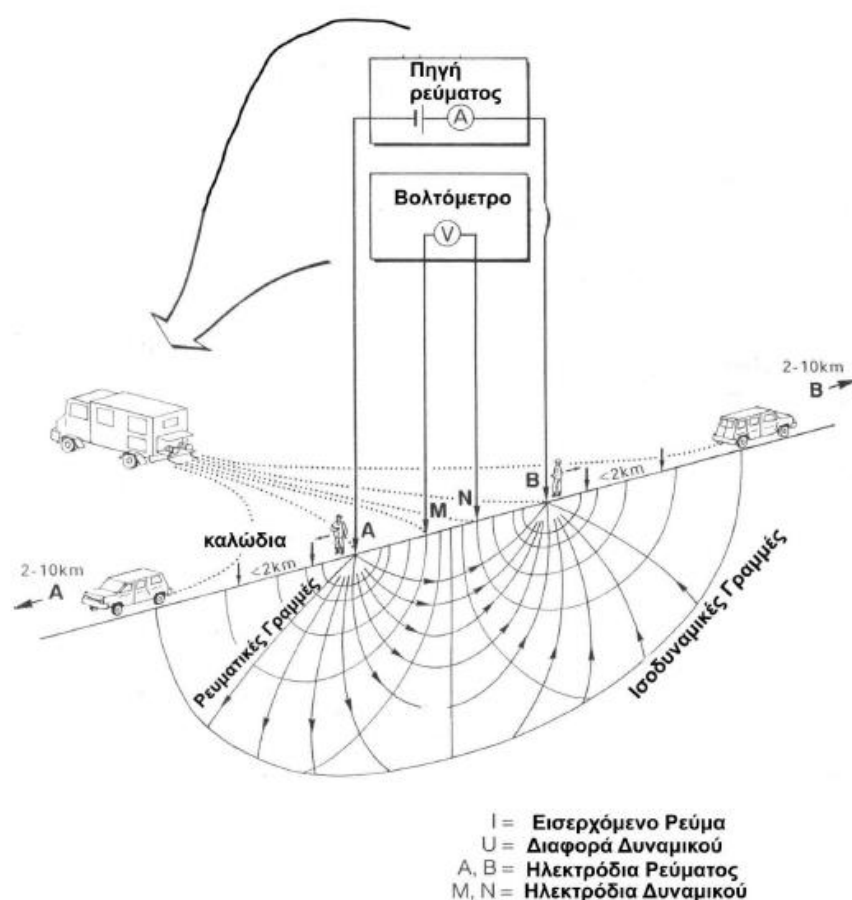
δυναμικού από τα οποία λαμβάνεται η κάθε μέτρηση. Με τον τρόπο αυτό, το όργανο ελέγχει, κάθε φορά την πραγματοποιούμενη μέθοδο. (Schlumberger, Dipole-Dipole, Pole-Dipole)

**4. Όργανο ρύθμισης της απόστασης των ηλεκτροδίων δυναμικού.** Μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού και του οργάνου επιλογής της κατάλληλης διάταξης παρεμβάλλεται ένας ακόμα διακόπτης, ο οποίος ρυθμίζει την απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικών για την οποία πραγματοποιείται η μέτρηση.

**5. Καλώδια σε καρούλια**

**6. Ηλεκτρόδια**

Στην παρούσα Γεωφυσική Έρευνα, το εργαστήριο εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, παρέιχε το όργανο μέτρησης SYSCAL PRO. Το συγκεκριμένο όργανο μετράει υψηλές τιμές Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης και Επαγόμενης Πολικότητας. Δίνει τη δυνατότητα ταυτόχρονης λήψης 10 καναλιών καθώς και της εναλλαγής της διάταξης ηλεκτροδίων, 1000V – 250W – 2,5A.



Εικόνα 2.7 Διάταξη εξοπλισμού μέτρησης Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

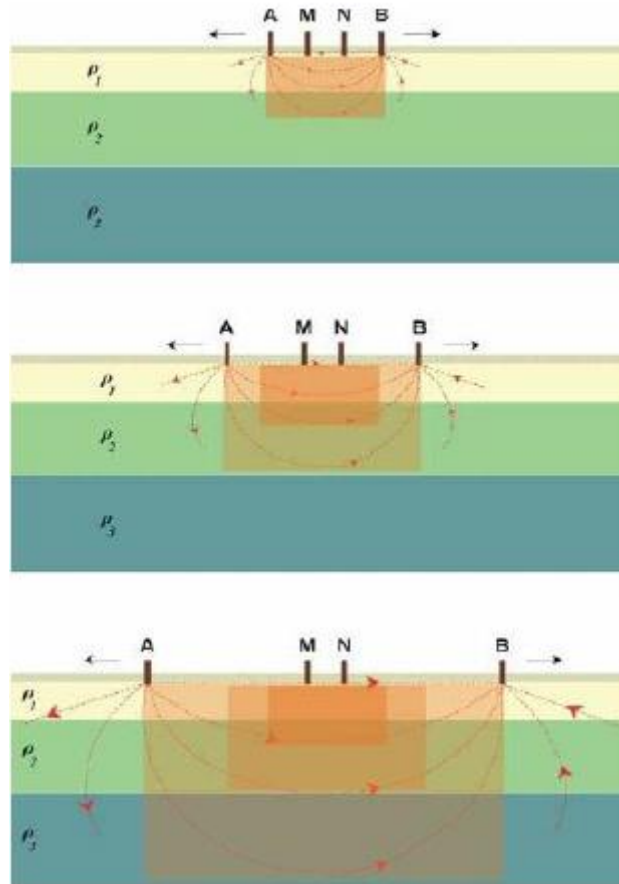
## 2.1.3 Γεωηλεκτρικές Διασκοπήσεις

Ο στόχος των γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων είναι η περιγραφή της δομής του υπεδάφους. Έτσι, με μετρήσεις που γίνονται στην επιφάνεια και μελετώντας την ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και τον τρόπο διάδοσης των ηλεκτρικών ρευμάτων στο υπέδαφος, επιτυγχάνεται η περιγραφή της δομής του υπεδάφους. Ανάλογα με τον τρόπο που προσεγγίζεται ο προσδιορισμός της γεωλογικής δομής του υπεδάφους, οι γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, την ηλεκτρική χαρτογράφηση και την ηλεκτρική βυθοσκόπηση.

### 2.1.3.1 Ηλεκτρική Βυθοσκόπηση

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων παραμένει σταθερό ενώ η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνεται το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την διασκόπηση του υπεδάφους εις βάθος κάτω από το κέντρο της διάταξης. Η μεταβολή των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης δίνει μια πρώτη εικόνα των μεταβολών των ειδικών αντιστάσεων των διαφόρων στρωμάτων σε βάθος. Στόχος της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης είναι η δημιουργία του γεωηλεκτρικού μοντέλου του υπεδάφους από τις μετρούμενες τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης στις διαφορές αποστάσεις των ηλεκτροδίων.

Από το σύνολο των διατάξεων ηλεκτροδίων, η διάταξη Schlumberger είναι η καταλληλότερη για τις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις καθώς τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν στην ίδια θέση και τα ηλεκτρόδια ρεύματος μετακινούνται για κάθε επιπλέον μέτρηση. Αντίθετα η διάταξη Wenner καθίσταται λιγότερο κατάλληλη, λόγω της μετακίνησης των τεσσάρων ηλεκτροδίων σε κάθε πρόσθετη μέτρηση (αν και χρησιμοποιείται συχνά). Τέλος, η διάταξη Dipole - Dipole, όπου τα ηλεκτρόδια ρεύματος παραμένουν σταθερά και μετακινούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού, είναι η πιο κατάλληλη για βαθιές βυθοσκοπήσεις.



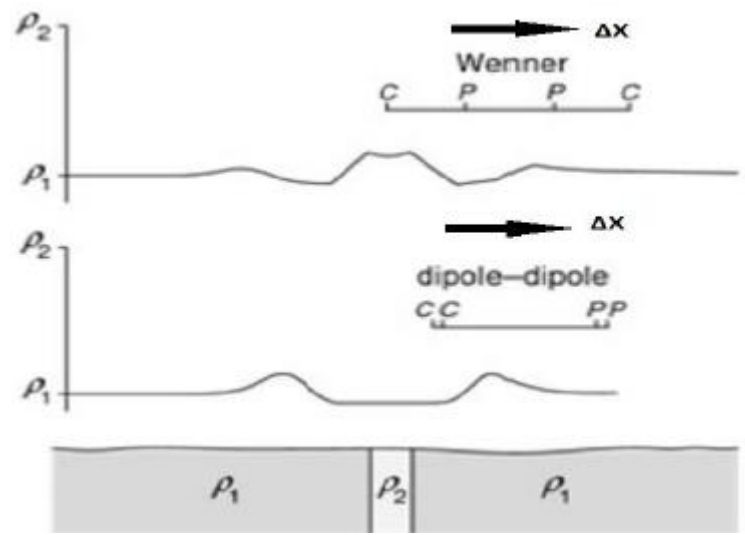
Εικόνα 2.8 Ηλεκτρική βυθοσκόπηση με σταδιακή απομάκρυνση των ηλεκτροδίων από το κέντρο της διάταξης.

### 2.1.3.2. Οριζόντιες Ηλεκτρικές Χαρτογραφήσεις Ειδικής Αντίστασης

Στη γεωηλεκτρική χαρτογράφηση, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στην μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια διεύθυνση. Με την μέθοδο αυτή εντοπίζονται ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών (π.χ. μεταπτώσεις). Η ιδιότητα αυτή της γεωηλεκτρικής χαρτογράφησης την καθιστά κατάλληλη για περιπτώσεις αναζήτησης μεταλλευμάτων ή αρχαιοτήτων.

Μια σειρά από μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης πραγματοποιείται μετακινώντας τη διάταξη των ηλεκτροδίων από θέση σε θέση κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Οι τιμές αυτές, κατά μήκος αρκετών παράλληλων γραμμών τοποθετούνται σε χάρτη φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων. Στη συνέχεια, μπορεί να γίνει επεξεργασία των τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης χρησιμοποιώντας κάποια υπολογιστικά προγράμματα για τον υπολογισμό προσεγγιστικών τιμών πραγματικής ειδικής αντίστασης.





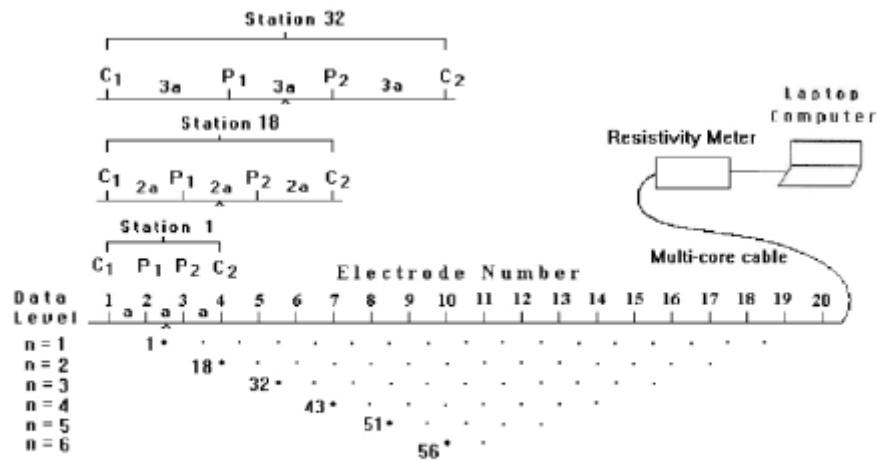
Εικόνα 2.9 Οριζόντια χαρτογράφηση διάταξης Wenner και Dipole – Dipole, διάγραμμα φαινόμενης αντίστασης, προφίλ υπεδάφους.

## 2.1.4 Μέθοδος Δισδιάστατης Ηλεκτρικής Τομογραφίας

Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται στην περίπτωση που χρειαζόμαστε να έχουμε συγκεκριμένες θέσεις, μεγάλης ακρίβειας διασκοπήσεις, τόσο παράπλευρα όσο και σε βάθος, καθώς αποτελείται από πολλές βυθοσκοπήσεις πολύ κοντά μεταξύ τους. Ο τρόπος μέτρησης, οι αποστάσεις και οι θέσεις των ηλεκτροδίων καθορίζονται από την επιλογή των διατάξεων που θέλουμε. Όλες οι τιμές χρησιμοποιούνται σε μια διαδικασία ερμηνείας, που τελικά δίνει μια δισδιάστατη γεωηλεκτρική τομή μεγάλης ακριβείας, δηλαδή μια γεωηλεκτρική τομογραφία.

Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι αντιμετωπίζει σύνθετες γεωλογικές τομές, αναιρώντας την θεώρηση της οριζόντιας στρωματωμένης γης, προβαίνοντας με αυτό τον τρόπο με ασφάλεια στην ποσοτική ερμηνεία των γεωηλεκτρικών μετρήσεων. Τα γεωηλεκτρικά τομογράμματα απεικονίζουν τομές βάθους, όπου αποτυπώνονται τόσο οι κατακόρυφες όσο και οι πλευρικές κατανομές της ειδικής αντίστασης των υπεδάφικων σχηματισμών.

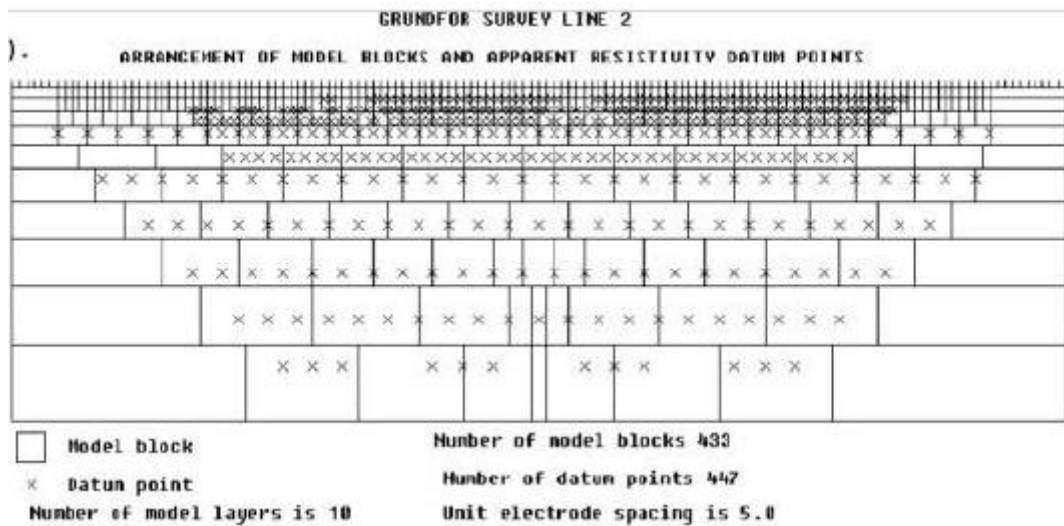
Η πρόοδος που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στην κατεύθυνση αυτοματοποίησης της λήψης γεωφυσικών δεδομένων και της αντιστροφής αύξησε δραστικά την εφαρμοσιμότητα της ηλεκτρικής τομογραφίας. Η μέθοδος χρησιμοποιείται πλέον ευρέως σε γεωτεχνικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές, στην αρχαιομετρία καθώς και στην υδρογεωλογία σε αρκετές χώρες.



Sequence of measurements to build up a pseudosection

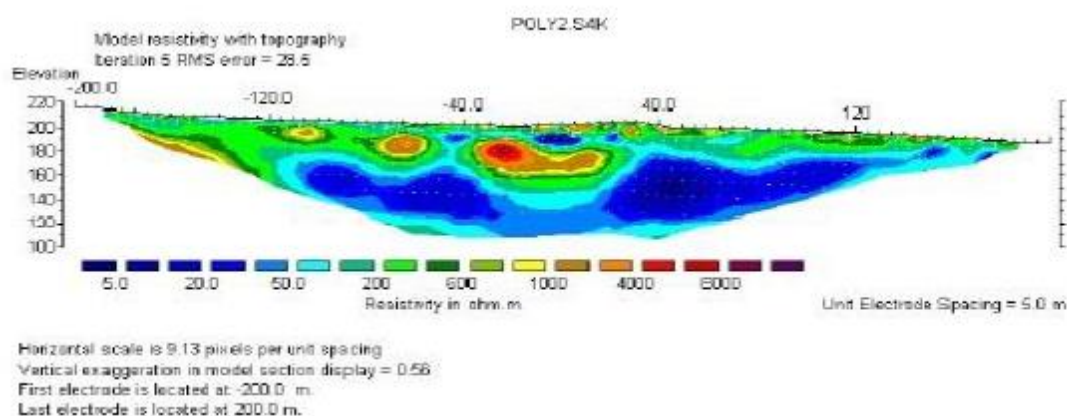
Εικόνα 2.10 Η διάταξη των ηλεκτροδίων για την πραγματοποίηση διδιάστατης γεωηλεκτρικής τομογραφίας και η σειρά των μετρήσεων για την δημιουργία ψευδοτομής.

Η μέθοδος αυτή απαιτεί την καταγραφή δεδομένων με πολλές διαφορετικές αποστάσεις ηλεκτροδίων, κατά μήκος μιας γραμμής. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να υπάρχει αρκετά πυκνή πλευρική κάλυψη από πλευράς λήψης δεδομένων, προκειμένου να καταστεί εφικτή η ανίχνευση πολύπλοκων δομών του υπεδάφους. Με την τεχνική αυτή το έδαφος χωρίζεται σε κελιά σταθερών διαστάσεων, όπου το μέγεθος τους εξαρτάται από την αύξηση του βάθους.



Εικόνα 2.11 Διαίρεση της επιφάνειας του υπεδάφους διδιάστατου μοντέλου σε ορθογώνια πρίσματα, με τη βοήθεια προεπιλεγμένου αλγόριθμου.

Οι ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις προσαρμόζονται, μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας, έως ότου επιτευχθεί μια αποδεκτή συμφωνία ανάμεσα στα δεδομένα εισόδου και στην απόκριση του μοντέλου. Όσον αφορά στην τοπογραφία είτε αντιμετωπίζεται με διορθώσεις είτε με απευθείας εισαγωγή στο πλέγμα.



Εικόνα 2.12 Μοντέλο Απεικόνισης ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων.

## 2.2 Γεωραντάρ-GPR (Ground Penetrating Radar)

### 2.2.1. Γενικά

Το γεωραντάρ (Ground-Penetrating Radar) είναι μια τεχνική απεικόνισης του υπεδάφους σε υψηλή ανάλυση. Σε αντίθεση με τις σεισμικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση επιφανειακών στρωμάτων και οι οποίες δεν διαθέτουν την επιθυμητή ακρίβεια ( εντοπισμός υπόγειων κατασκευών με μήκος μικρότερο του 1 m) , το γεωραντάρ καθίσταται καταλληλότερη μέθοδος. Συμπεριλαμβάνεται στις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους καθώς ελέγχει τις ηλεκτρικές ιδιότητες σε υψηλές συχνότητες. Το GPR είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος, και επομένως μπορεί να εφαρμοστεί στις αστικές και ευαίσθητες περιοχές.

Το γεωραντάρ αποτελείται από μια κεραία που λειτουργεί σαν πομπός, ο οποίος εκπέμπει έναν μικρής διάρκειας ηλεκτρομαγνητικό παλμό. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε περιοχές με σχηματισμούς υψηλών σχετικά ειδικών αντιστάσεων. Βασίζεται στην ανάκλαση υψηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από 8MHz έως 4GHz, σε ασυνέχειες μέσω των οποίων η διηλεκτρική σταθερά και η αγωγιμότητα μεταβάλλονται. Η διηλεκτρική σταθερά είναι η δυνατότητα ενός υλικού να αποθηκεύει φορτία όταν εφαρμόζεται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Στον **Πίνακα 2.4** παρατίθενται οι τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς (K), της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $\sigma$ ) και οι ταχύτητες διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (V).

Πίνακας 2.4 Ταχύτητες διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ( $v$ ), τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς ( $K$ ) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $\sigma$ ) για διάφορους τύπους υλικών.

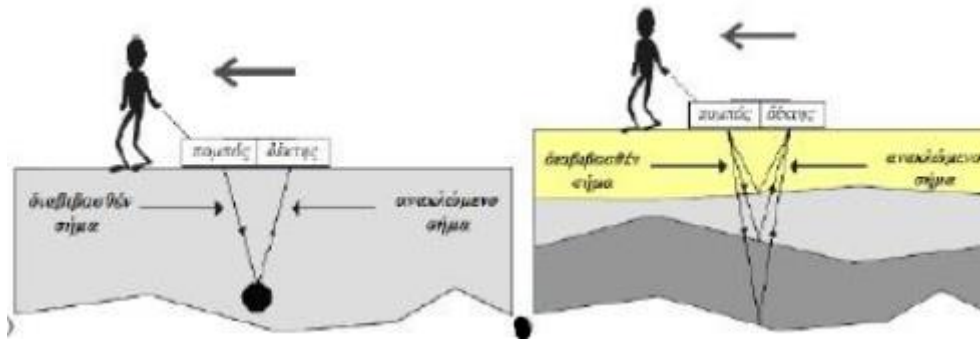
	$K$	$\sigma(\text{mS/m})$	$V(\text{m/ns})$
Αέρας	1	0	0.30
Αποσταγμένο νερό	80	0.01	0.033
Γλυκό νερό	80	0.5	0.033
Θαλασσινό νερό	80	$3 \times 10^3$	0.01
Ξηρά άμμος	3-5	0.01	0.15
Διαποτισμένη άμμος	20-30	0.1-1.0	0.06
Ασβεστόλιθος	4-8	0.5-2	0.12
Σχιστόλιθος	5-15	1-100	0.09
Ιλύς	5-30	1-100	0.07
Άργιλος	5-40	2-1000	0.06
Γρανίτης	4-6	0.01-1.0	0.13
Ξηρό άλας	4-6	0.01-1.0	0.13
Πάγος	3-4	0.01	0.16

Ακολουθώντας διάφορες παραμέτρους διαδικασίας μέτρησης και επεξεργασίας εξασφαλίζουμε την δυνατότητα να έχουμε ανακλώμενο σήμα επιστροφής λόγω παρουσίας κάποιου αντικειμένου. Το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά αυτό του σήματος, εξαρτώνται από τη γεωμετρία και την αντίθεση στις ιδιότητες του αντικειμένου με τον περιβάλλοντα χώρο.

## 2.2.2. Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος γεωραντάρ

Τα μέρη και οι λειτουργίες που περιλαμβάνονται σε μια διαδικασία μέτρησης γεωραντάρ είναι τα ακόλουθα:

- ❖ **Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα (Πηγή):** Παραγάγει χρονικά κυμαινόμενες τάσεις (εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο) στο εκάστοτε απαιτούμενο φάσμα συχνοτήτων με ελεγχόμενο και καταγράψιμο τρόπο.
- ❖ **Κεραία – πομπός:** Μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε ένα ακτινοβολούμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα (ραδιοκύμα), το οποίο μπορεί να διεισδύσει δια του υπεδάφους στο στόχο. Η κεραία πομπός, μετασχηματίζει τα ηλεκτρικής τάσης σήματα σε εξωτερικά διαδιδόμενη ενέργεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
- ❖ **Ένα σύστημα ανίχνευσης (δέκτης):** Αποτελείται συνήθως από μία κεραία και ηλεκτρονικά στοιχεία κυκλώματος, που μπορούν να ανιχνεύσουν τα ανακλώμενα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και να μετασχηματίσουν σε μια ηλεκτρική τάση που μπορεί να καταγραφεί και να επεξεργαστεί.

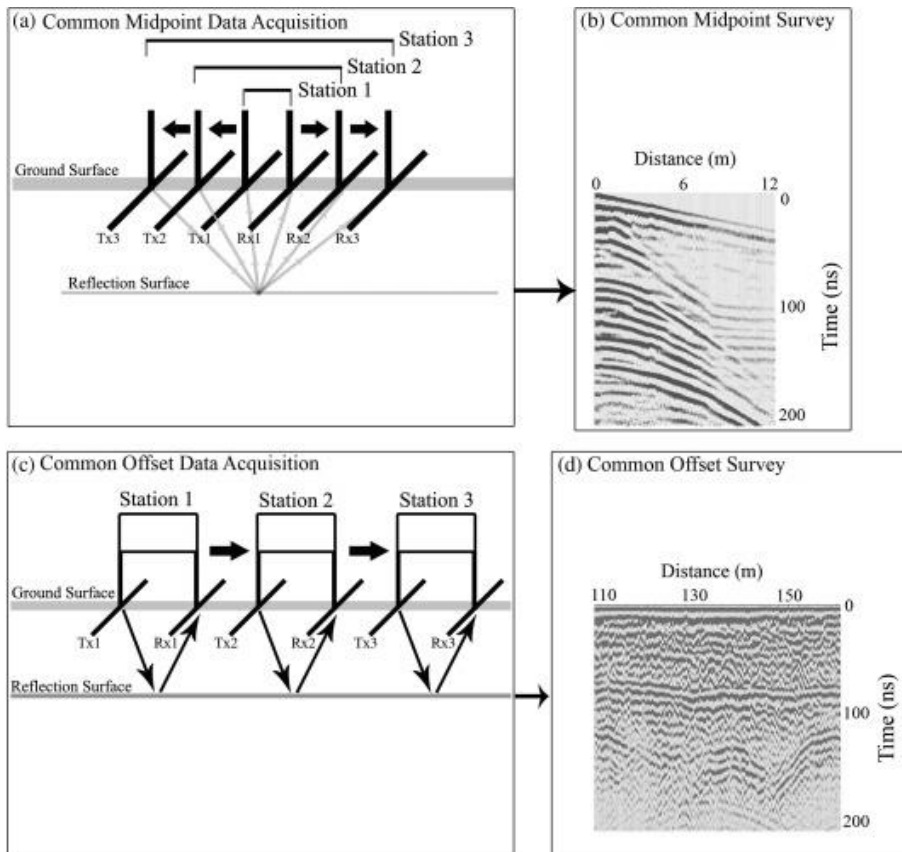


Εικόνα 2.13 Διάταξη και λειτουργία GPR. (Αποστολόπουλος Γεώργιος, 2013)

### 2.2.3. Μετρήσεις στο ύπαιθρο

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διάταξης πομπού – δέκτη ανάλογα με τον σκοπό της έρευνας. Δύο μοντέλα διάταξης είναι τα πιο σύνηθες:

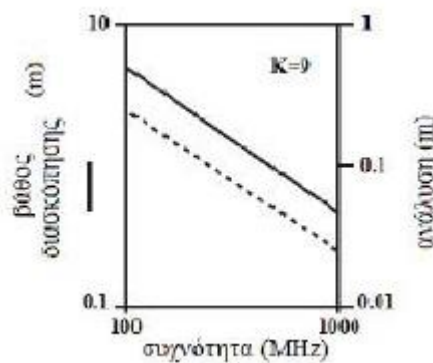
- **Τυπική διάταξη λειτουργίας (common - offset):** Ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται σε σταθερή μεταξύ τους απόσταση και μετακινούνται κατά την γραμμή διασκόπησης συλλέγοντας συνεχώς δεδομένα. Συνήθως ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται μέσα σε κουτί θωρακισμένο για μέγιστη κατευθυντικότητα προς τα κάτω και για αποφυγή διάδοσης επιφανειακών κυμάτων.
- **Μέθοδος κοινού μεσαίου σημείου (Common – Midpoint):** Ο πομπός και ο δέκτης απομακρύνονται από ένα συγκεκριμένο κεντρικό σημείο, ή το ένα στέκεται σταθερό και το άλλο απομακρύνεται από το πρώτο. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας διάδοσης του σήματος του γεωραντάρ ως προς το βάθος.



Εικόνα 2.14 (α) Μέθοδος κοινού μεσαίου σημείου (Common – Midpoint) (β) Αποτελέσματα έρευνας common - Midpoint (γ) Τυπική διάταξη λειτουργίας (common – offset) (δ) Αποτελέσματα έρευνας common - offset

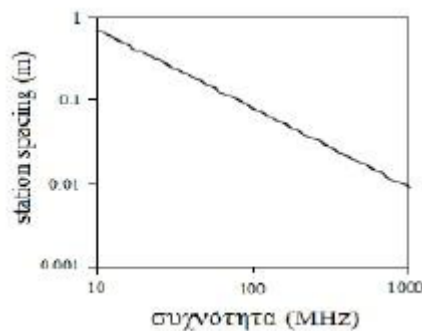
Σε μια τυπική διάταξη λειτουργίας common – offset καθορίζονται μια σειρά από παραμέτρους:

- **Συχνότητα λειτουργίας πομπού (operating frequency):** Όσο μικρότερη είναι η συχνότητα λειτουργίας των κεραιών του συστήματος γεωραντάρ που χρησιμοποιείται τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση σε βάθος με σαφή όμως μείωση στην ανάλυση που επιτυγχάνεται. (Εικόνα 2.15)



Εικόνα 2.15 Διάγραμμα υπολογισμού διακριτικής ικανότητας βάση της συχνότητας κεραιάς του γεωραντάρ.

- **Χρονικό παράθυρο (time window):** Εξαρτάται από το μέγιστο βάθος διείσδυσης και την ελάχιστη ταχύτητα διάδοσης.
- **Χρονική διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων (temporal sampling interval):** Σύμφωνα με το κριτήριο Nyquist, δεν πρέπει να υπερβαίνει το μισό της περιόδου  $T_{min}$  που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη συχνότητα  $f_{max}$  του μετρούμενου σήματος.
- **Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων (spatial sampling interval ή station spacing):** Η επιλογή του κατάλληλου διαστήματος συνδέεται κυρίως με την κεντρική συχνότητα των κεραιών. **(Εικόνα 2.16)**



Εικόνα 2.16 Διάγραμμα επιλογής διαστήματος μεταξύ δύο διαδοχικών, διακριτών μετρήσεων.

- ❖ **Θέση των γραμμών διασκόπησης και πυκνότητάς τους (line location and spacing):** Οι γραμμές διασκόπησης καθορίζονται έτσι ώστε να περνούν όσο το δυνατόν κάθετα στην μεγαλύτερη διάσταση των στόχων που ερευνώνται, και με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται ο απαιτούμενος αριθμός των γραμμών που εκτελούνται οι μετρήσεις.

**Κεφάλαιο 3**  
**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ**  
**ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ**  
**(ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ) ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ**  
**ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ**



### 3. Εφαρμογές της Γεωφυσικής για τον Εντοπισμό Ανθρωπογενών (Αρχαιολογικών) Σχηματισμών και στρωματογραφίας

#### 3.1.Εφαρμογή Α: Γεωφυσική έρευνα για το μεσαιωνικό χωριό του κάστρου Pancorbo.(Μπούργκος, Ισπανία)

(José-Paulino Fernández-Álvarez, David Rubio-Melendi, Juan Antonio Quirós Castillo, Andrés González-Quirós, David Cimadevilla-Fuente)

##### 3.1.1.Γενικά

Το Κάστρο Pancorbo (Μπούργκος, Ισπανία) ήταν κατά τη διάρκεια του μεσαίωνα ένας κύριος άξονας στην περιφέρεια της Καστίγια, νότια του ποταμού Έβρου, όπου και δημιουργήθηκε το βασίλειο της Καστίλλης . Το κάστρο χρονολογείται ήδη από τον 9ο αιώνα, αλλά υπάρχουν πολλά μυστήρια σχετικά με τα στοιχεία που είχαμε για την ίδρυση του καθώς και για τους λόγους της αυξημένης σημασίας του. Με ελάχιστες εξαιρέσεις όπως το έργο Tedeja, η γνώση της αρχαιολογίας, νότια του ποταμού Έβρου, για τα πολυάριθμα κάστρα του είναι περιορισμένη. Για το λόγο αυτό ξεκίνησαν νέες αρχαιολογικές έρευνες, για την μελέτη τόσο της ίδρυσης του κάστρου όσο και για το ύποπτο (θαμμένο) μεσαιωνικό χωριό. Η πρώτη φάση των ερευνών ήταν η αξιολόγηση του αρχαιολογικού δυναμικού, των υποθετικών υπόγειων ευρημάτων , για τις μελλοντικές στοχευμένες εκσκαφές στην περιοχή.

Οι γεωφυσικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για αυτόν τον στόχο είναι:

1. Ραντάρ διείσδυσης εδάφους (GPR)
2. Τομογραφία ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης (ERT),

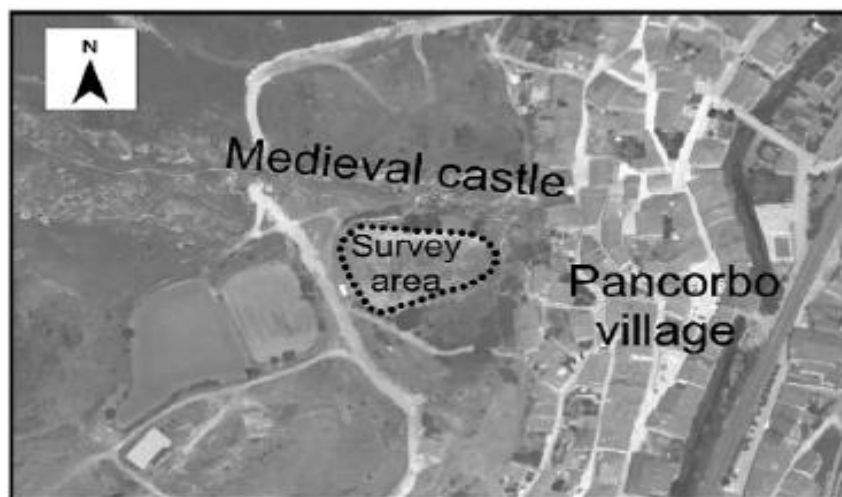
Η επιλογή έγινε με τη σκέψη για τα καταλληλότερα και οικονομικά αποδοτικά εργαλεία την προκαταρκτική εξερεύνηση του χώρου. Οι δύο μέθοδοι αυτοί, μπορούν να μας παρέχουν γρήγορα και επί τόπου προσεγγιστικά αποτελέσματα, επιτρέποντας τροποποιήσεις στον σχεδιασμό της έρευνας, σε πραγματικό χρόνο σε τοπογραφικά απαιτητικές περιοχές όπως και η επιλεγμένη περιοχή μελέτης.



Εικόνα 3.1 Γεωγραφική θέση του κάστρου Pancorbo.

### 3.1.2.Περιοχή Έρευνας

Το Κάστρο Pancorbo βρίσκεται στην αριστερή πλευρά του ποταμού Oroncillo, πάνω από το σύγχρονο χωριό Pancorbo στο Μπούργκος (Βόρεια Ισπανία). Το γεγονός ότι αυτή η περιοχή βρίσκεται ανάμεσα στο κάστρο και το σύγχρονο χωριό στο βάθος της κοιλάδας, με μεσαιωνικών χρόνων εκκλησίες καθώς και με τα υπάρχοντα ερείπια ενός τοίχου, ήταν το πιο κατάλληλο μέρος για γεωφυσικές έρευνες με αρχαιολογικό ενδιαφέρον.



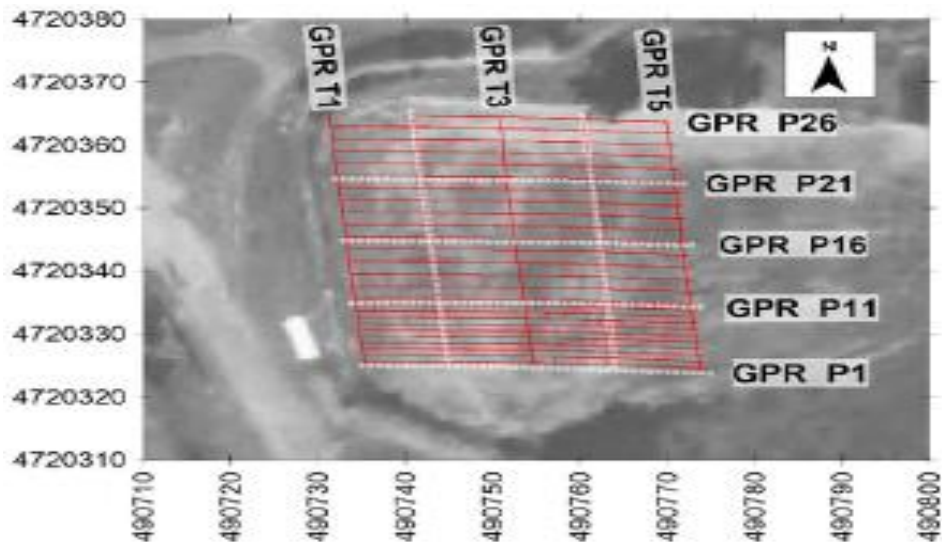
Εικόνα 3.2 Περιοχή μελέτης από τους χάρτες της Google.

### 3.1.3.Γεωφυσική Μελέτη

#### 3.1.3.1.Γεωραντάρ (GPR)

Έγιναν είκοσι έξι γραμμές έρευνας, μήκους 40 μέτρων (περίπου) (με σήμανση P1 έως p26 από το Νότο) με κατεύθυνση δύση-ανατολή. Ο διαχωρισμός μεταξύ των πρώτων δέκα γραμμών αυξήθηκε από 1 m, μετά από πραγματικό χρόνο επιθεώρησης, μέχρι τα 2 μέτρα μεταξύ των υπόλοιπων γραμμών. Πέντε πρόσθετα εγκάρσια προφίλ (με την ένδειξη T1 έως T5 από τη Δύση), με μήκος περίπου 40 m και 10 m απόστασης σημειώθηκαν και μετρήθηκαν κατά μήκος του Βορρά- Νότου με κατεύθυνση κάθετη στα 26 αρχικά προφίλ. (Εικόνα 3.3) Η αντένα με λιγότερο από 500 MHz έδωσε καλύτερα αποτελέσματα στο βάθος διείσδυσης και την ποιότητα των δεδομένων από την αντένα των 250 MHz.

Το σύστημα ήταν τοποθετημένο σε τροχούς με έναν μετρητή χιλιομετρικών αποστάσεων και απόσταση διαδρομής 2cm με λειτουργία αυτόματων στοιβών. Ένα χρονικό περιθώριο των 150 ns με συχνότητα δειγματοληψίας 5337 MHz κρίθηκε επαρκής για τις μετρήσεις. Το GPS χρησιμοποιήθηκε για την παροχή συντεταγμένων.

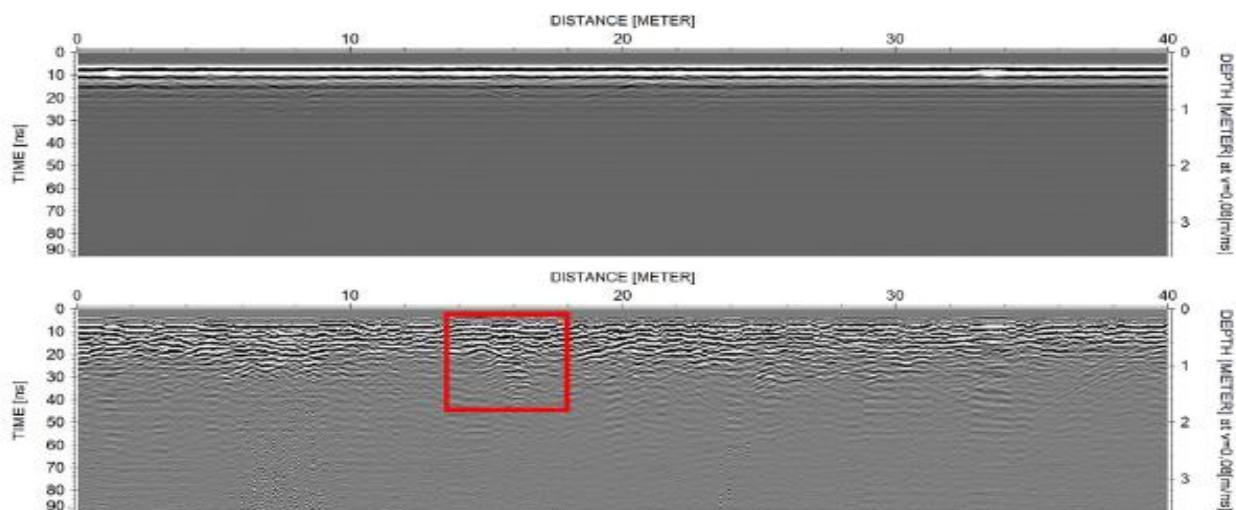


Εικόνα 3.3 Περιοχή έρευνας με τις τομές του γεωραντάρ.

Έπειτα τα προφίλ κατέβηκαν και εισήχθησαν σε ορισμένα προγράμματα (MATLAB και REFLEXW) για επεξεργασία. Η διαδικασία φιλτραρίσματος περιελάμβανε τα εξής βήματα:

- I. Subtract Mean (Dewaw).
- II. Background removal.
- III. Butterworth bandpass filter.
- IV. Gain function.

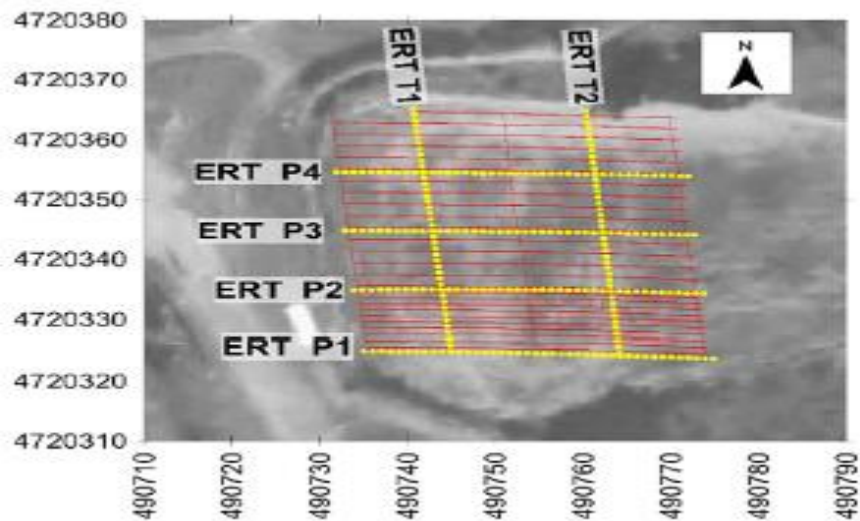
Το συνολικό χρονικό περιθώριο περιορίστηκε σε 90 ns. Η ταχύτητα του εδάφους υπολογίστηκε με βάση την υπερβολή αντιστοίχως, σε 0,08 m / ns. Η οπτική εξέταση των επεξεργασμένων διαγραμμάτων επέτρεψε την προκαταρκτική αναγνώριση των ανώμαλων σημείων.



Εικόνα 3.4 Πριν και μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Μία από τις ανώμαλες περιοχές στο κόκκινο πλαίσιο.

### 3.1.3.2. Τομογραφία ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης (ERT)

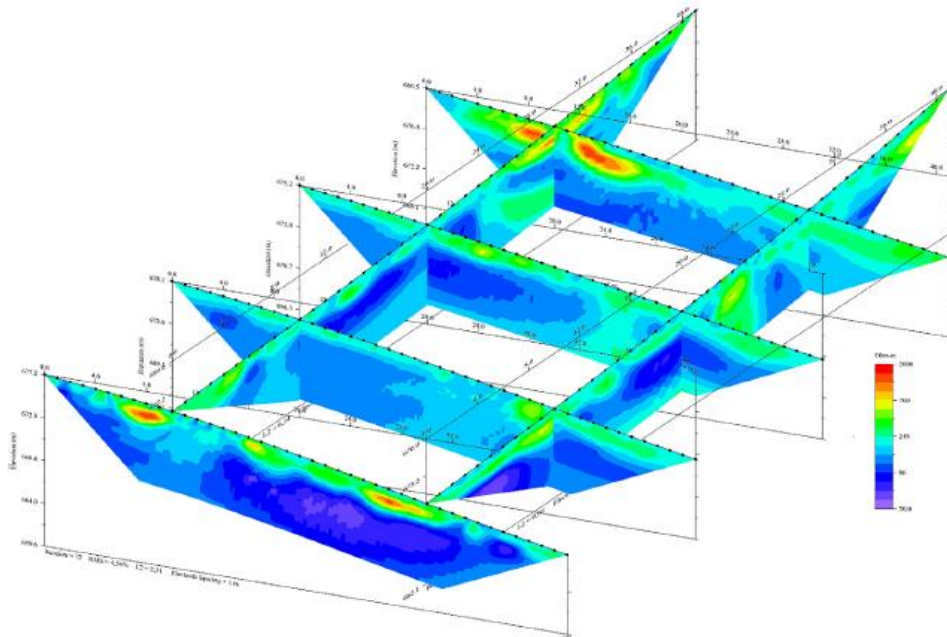
Στην συγκεκριμένη μέθοδο έγιναν έξι προφίλ, μήκους 41 μέτρων με απόσταση ηλεκτροδίων 1m. Τέσσερα προφίλ με κατεύθυνση Δύση-Ανατολή (ERT P1 έως P4 που αντιστοιχεί στα προφίλ GPR P1, P11, P16 και P21) και δύο προφίλ με κατεύθυνση Βορρά-Νότου (ERT T1 και T2 που αντιστοιχούν σε GPR T2 και T4). Ορισμένα προφίλ των ERT και GPR συμπίπτουν.



Εικόνα 3.5 Περιοχή έρευνας με τα ERT προφίλ (κίτρινες γραμμές) και τα προφίλ από το GPR (κόκκινες γραμμές).

Μετά από τον έλεγχο ποιότητας για το φιλτράρισμα των θορύβων (σφάλμα υψηλότερο από 3%), λιγότερο από το 2% των μετρήσεων από τα προφίλ Wenner-Schlumberger ( $n = 625$  μετρήσεις σε κάθε προφίλ) και λιγότερο από 4% από τα προφίλ Dipole - Dipole ( $n = 890$ ) δεν ελήφθησαν υπόψη για την κατασκευή των γεωηλεκτρικών τομών.

Η επεξεργασία έγινε στο Earth Imager 2D, λαμβάνοντας υπόψιν τα τοπογραφικά αποτελέσματα. Τα δεδομένα που συλλέγονται σε 2D προφίλ δίνουν, μετά από τη διαδικασία 2D αντιστροφής, μια εικόνα του υπεδάφους. Αυτό όμως αγνοεί την πραγματική 3D φύση των στόχων καθώς και τις πιθανότητες τους να βρίσκονται κάτω από το μετρημένο προφίλ. Χρησιμοποιήθηκε επίσης το λογισμικό BERT για 3D μοντέλο, για την αξιολόγηση αυτών των περιορισμών.



Εικόνα 3.6 Τρισδιάστατη τοποθέτηση των προφίλ Wenner-Schlumberger. Η περιεκτικότητα σε υγρασία αυξάνεται με το βάθος.

### 3.1.4.Αποτελέσματα

#### 3.1.4.1.Γεωφυσική Έρευνα

Έχει ληφθεί μια γεωηλεκτρική τομή για 2D για κάθε μετρούμενο προφίλ, αφού εξετάστηκαν τα ζητήματα μη μοναδικότητας με προσεκτική εξέταση της διακύμανσης της κατανομής της αντίστασης με διαφορετικές παραμέτρους στη επεξεργασία (διαφορετικά αρχικά μοντέλα, αντιστροφή ή παράμετροι κανονικοποίησης). Αυτές οι 2D γεωηλεκτρικές τομές εμφανίζονται στη σωστή θέση στο 3D μοντέλο. **(Εικόνα 3.6)** Βάθη κάτω των 2m γίνονται αγωγιμα σε όλα τα προφίλ των μετρήσεων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρηχότερα στο δυτικό τμήμα του και βαθύτερα στο ανατολικό τμήμα. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της υγρασίας του εδάφους με το βάθος και γενικά με τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

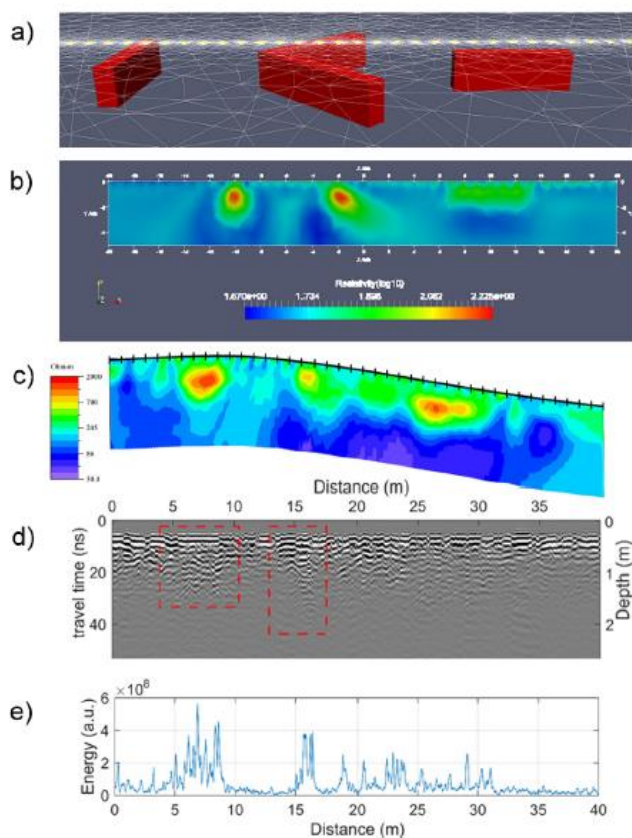
Τα δύο πρώτα μέτρα που εξετάστηκαν και με τη μέθοδο του γεωραντάρ, παρουσιάζουν μια ετερογενή κατανομή αντίστασης μεταξύ 100 και 2000 Ωm. Η σύγκριση των εικόνων ERT και GPR είναι δυνατή στην τομή του GPR σε βάθος περίπου δύο μέτρων, όπου δείχνει το μεγεθυμένο τμήμα της τυπικής κατανομής ειδικής αντίστασης. **(Εικόνα 3.7c)** Η τιμή της αντίστασης του υποβάθρου είναι περίπου 200 Ωm (ανοιχτό μπλε και πράσινο) και σημεία με υψηλότερη ειδική αντίσταση στο διάστημα από 700 έως 2000 Ωm (κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο). **(Εικόνα 3.7c)** Αυτά τα σημεία είναι σημαντικά λόγω των ανωμαλιών που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις των μετρήσεων ERT. **(Εικόνα 3.7b)**

Από την άλλη, όλες οι τομές GPR εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά: (i) ένα ομοιόμορφο και σχεδόν οριζόντιο αρχικό τμήμα (περίπου 10 ns σε βάθος) (ii) μια λιγότερο κανονική δεύτερη στρώση μέχρι περίπου τα 30 ns και (iii) μια βαθύτερη ζώνη υψηλής εξασθένησης. Η οπτική επιθεώρηση και ανάλυση όλων των ραδογραμάτων, επιτρέπουν την αναγνώριση ορισμένων ανωμαλιών στο δεύτερο στρώμα, το οποίο είναι βαθύτερο (περίπου 10 ns) και δείχνουν μια χαοτική υφή, με χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζονται από μία υπερβολή (**Εικόνα 3.7d**).

Η αύξηση του βάθους διεξόδου σε αυτές τις ανώμαλες ζώνες, έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε υψηλότερη ειδική αντίσταση, και η σύνθετη υφή μπορεί να εξηγηθεί λόγω της συσσώρευσης λίθων μικρού μεγέθους (ορισμένων εκατοστών).

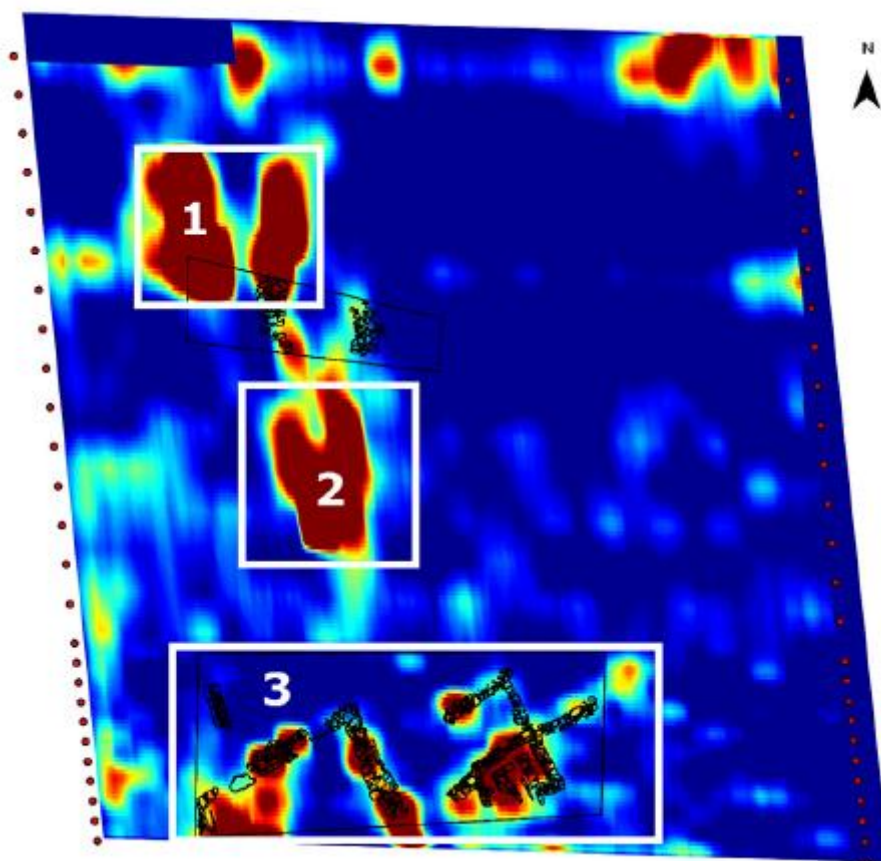
Τα προφίλ ERT και GPR εμφανίζουν ανωμαλίες στις ίδιες ζώνες (**Εικόνα 3.7c & 3.7d**). Επομένως, καθώς τα προφίλ GPR καλύπτουν πιο πυκνά την περιοχή έρευνας από τα προφίλ της ERT, μας δίνουν τη δυνατότητα για προέκταση των αποτελεσμάτων GPR όπου δεν υπάρχουν προφίλ ERT.

Οι ανωμαλίες στα ραδογράμματα έχουν περιγραφεί ποιοτικά από σχετικά μεγάλα βάθη διεξόδου και σύνθετη υφή. Για τον πιο αντικειμενικό χαρακτηρισμών τους, χρησιμοποιήθηκε η θεωρία των ιχνών, όπου το ίχνος θεωρείται φορέας. Το πρώτο τμήμα των ραδογραμάτων μέχρι δηλαδή τα 20 ns είναι αμετάβλητο, έπειτα όλα τα ίχνη φιλτράρονται με αποτέλεσμα βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά "υφής". Στην Εικόνα 7e παρουσιάζει τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης μεταξύ 20 ns και 20 ns.



Εικόνα 3.7 Τα ίχνη εμφανίζονται στο οριζόντιο επίπεδο της περιοχής μελέτης.

Στην **Εικόνα 3.8** βλέπουμε αυτόν τον χάρτη. Ένα φίλτρο εξομάλυνσης (2D Gaussian) εφαρμόστηκε για να διατηρήσουμε μόνο τις τάσεις. Το σημείο υψηλής ενέργειας στη βόρειο-ανατολική γωνία οφείλεται στην παρουσία δέντρων και λόγω της φυσικής προεξοχής του ασβεστόλιθου κάτω από το Κάστρο. Υψηλά ενεργειακά σημεία στο δυτικό όριο και ιδίως στο νότιο μισό όριο, ερμηνεύτηκαν ως ένας πιθανός τοίχος. Σε τρεις περιοχές υψηλής ανωμαλίας στην συγκεκριμένη περιοχή έγιναν εκσκαφές όπως παρουσιάζεται στον χάρτη.



*Εικόνα 3.8 Χάρτης της ενέργειας ανίχνευσης ανωμαλιών στην περιοχή έρευνας.*

### 3.1.4.2. Αξιολόγηση εκσκαφών

Οι ανασκαφές αυτές (**Εικόνα 3.9**) έδειξαν ότι το έδαφος ήταν κλιμακωτό που δηλώνει ότι υπήρχαν οικιακές δομές. Οι περιοχές αυτές αποδείχθηκε ότι έχουν υψηλό στρωματογραφικό βάθος και καλής ποιότητας αρχαιολογικά ευρήματα. Κατά την εκσκαφή στην περιοχή 3, βρέθηκαν τρία κτίρια που χρονολογούνται από το 13<sup>ο</sup> έως τον 15<sup>ο</sup> αιώνα που δομήθηκαν σύμφωνα με τη γεωμετρία των γεωφυσικών ανωμαλιών.



*Εικόνα 3.9 Αρχαιολογικά ευρήματα στην περιοχή έρευνας (αριστερά). Ανασκαφές στις περιοχές 1-2 (δεξιά - πάνω) και 3 (δεξιά - κάτω).*

### 3.1.5. Συμπεράσματα

Οι ανωμαλίες που βρέθηκαν με τη μέθοδο ERT είχαν πολύ καλή συσχέτιση με τις ανωμαλίες των δεδομένων της μεθόδου GPR. Η συσχέτιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων καθιστά δυνατή την απόκτηση ακριβέστερων αποτελεσμάτων, σε αντίθεση με τη μέθοδο ERT, διότι η μέθοδος GPR είναι οικονομικότερη και πιο γρήγορη στην εξερεύνηση ευρύτερων περιοχών. Τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας επιβεβαίωσαν τις αρχαιολογικές υποθέσεις για τη συγκεκριμένη περιοχή, καθώς παρείχε μια τεκμηριωμένη επιλογή για το που έπρεπε να γίνουν οι ανασκαφές και έδωσαν ενδείξεις σχετικά με νέους πιθανούς στόχους. Υπολείμματα κτιρίων και κεραμικών τεμαχίων έχουν βρεθεί στα επιλεγμένα μέρη και μια νέα πιο λεπτομερής αρχαιολογική έρευνα σχεδιάζεται για την περαιτέρω εξερεύνηση της περιοχής.

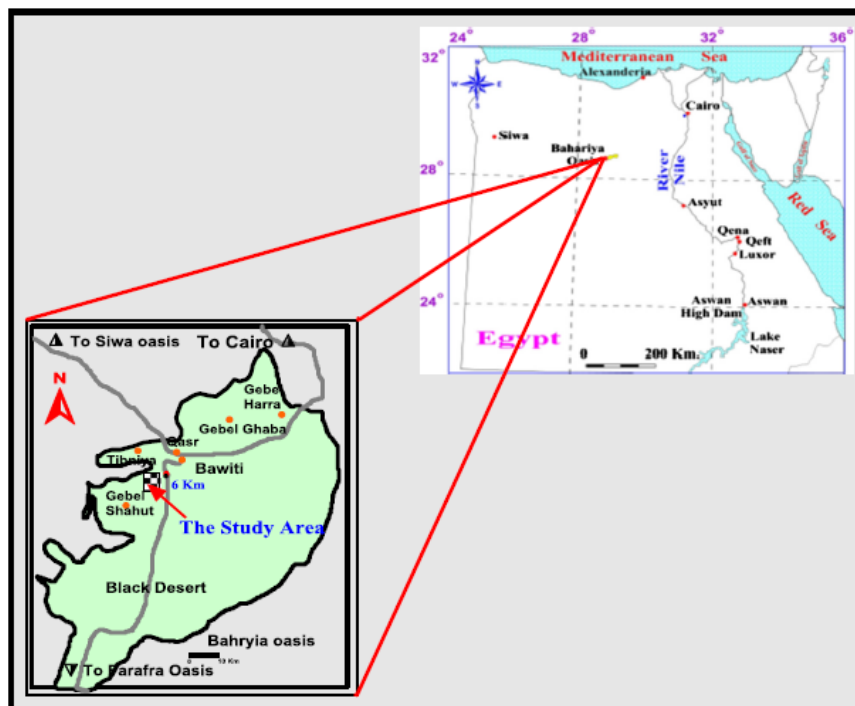


## 3.2. Εφαρμογή Β: Γεωφυσική έρευνα για την επιθεώρηση της Ελληνορωμαϊκής Νεκρόπολης στο Kilo 6. (Golden Mummies Valley, Bahariya Oasis, Αίγυπτος)

(Abbas M. Abbas, Hosni H. Ghazala, Hany S. Mesbah, Magdy A. Atya, Ali Radwan, Diaa E. Hamed)

### 3.2.1. Γενικά

Η όαση Bahariya, είναι μια μεγάλη οβαλοειδής όαση, στην οποία υπάρχει μια περιοχή στο βόρειο-κεντρικό τμήμα της που έχει υποστεί κατάπτωση και βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της ερήμου της Αιγύπτου. Είναι μια από τις επτά μεγαλύτερες καταπτώσεις της δυτικής ερήμου. Βρίσκεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών  $27^{\circ}48'$  και  $28^{\circ}30'$  Βορρά και μεταξύ  $28^{\circ}30'$  και  $29^{\circ}10'$  Ανατολή, σε απόσταση περίπου 300 km νοτιοδυτικά από το Κάιρο. Το μέσο βάθος της καταβύθισης από το ύψος της κοιλάδας της ερήμου είναι λιγότερο από 100 m. Έχει μια επιφάνεια περίπου 1800 τετραγωνικών χιλιομέτρων και περιβάλλεται από οροπέδια ενώ βρίσκεται περίπου 250 μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην όαση Bahariya στα γεωγραφικά πλάτη  $28^{\circ}19'43,74639''$  και  $28^{\circ}19'51,7362''$  Βορρά και  $28^{\circ}49'30,01850''$  και  $28^{\circ}49'42,8658''$  Ανατολή.



Εικόνα 3.10 Περιοχή έρευνας στην όαση Bahariya.

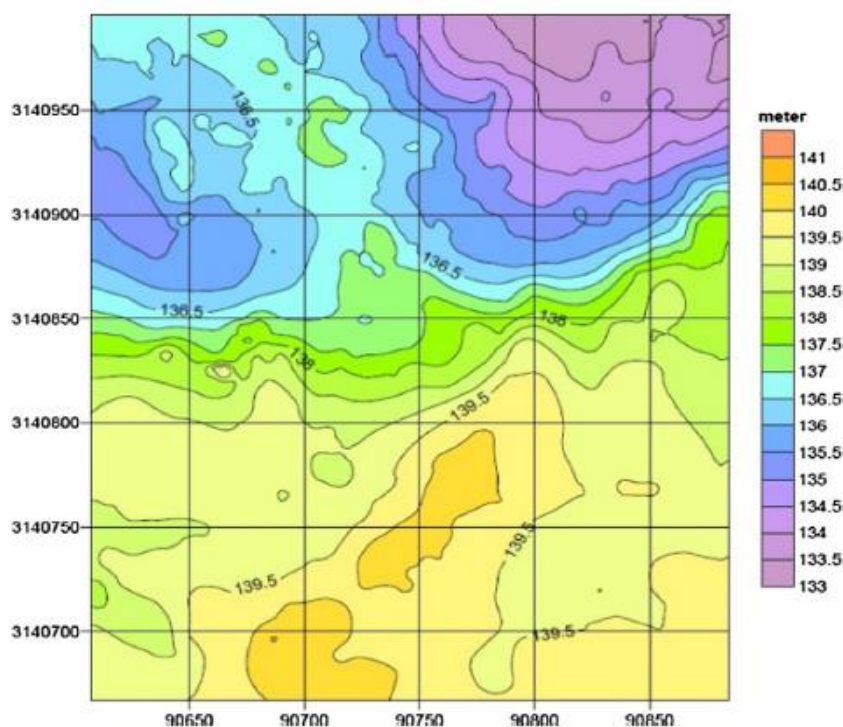
Η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε πλέγματα για την εφαρμογή των γεωφυσικών μετρήσεων. Για τον βέλτιστο διαχωρισμό των πλεγμάτων χρησιμοποιήθηκε το σύστημα GPS που διευκόλυνε για τον καθορισμό της θέσης.

Αρχικά τοποθετήθηκαν πάνω σε τρεις τσιμεντένιες βάσεις τα GPS ώστε να για να καθοριστούν έτσι τα σημεία αναφοράς. Αυτές οι βάσεις ονομάζονται Βάσεις 1, 2 και 3. Για να υπολογιστούν με ακρίβεια οι διορθωμένες συντεταγμένες αυτών των βάσεων, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο στατικής έρευνας με χρόνο διαστήματος 30 s και η συσκευή να λειτουργεί για περίπου 8 ώρες.



*Εικόνα 3.11 Μία εκ των τριών βάσεων αναφοράς.*

Έπειτα χώρισαν την περιοχή έρευνας σε κελιά (50mx50m) όπου παρατηρήθηκε ότι κάθε το κελί χρησιμοποιεί την τεχνική Stop and Go, χρησιμοποιώντας πολύ υψηλή ανάλυση, με μια παρατήρηση ανά δύο δευτερόλεπτα. Τα τοπογραφικά δεδομένα συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας GPS με πολύ υψηλή ακρίβεια, λιγότερο του ενός εκατοστού. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν υποβλήθηκαν σε επεξεργασία, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα επεξεργασίας GPS Trimble Business Center (TBC) για να πάρουν τις συντεταγμένες της περιοχής. Ο κύριος στόχος είναι να δημιουργηθεί ένας τοπογραφικός χάρτης για την περιοχή μελέτης.



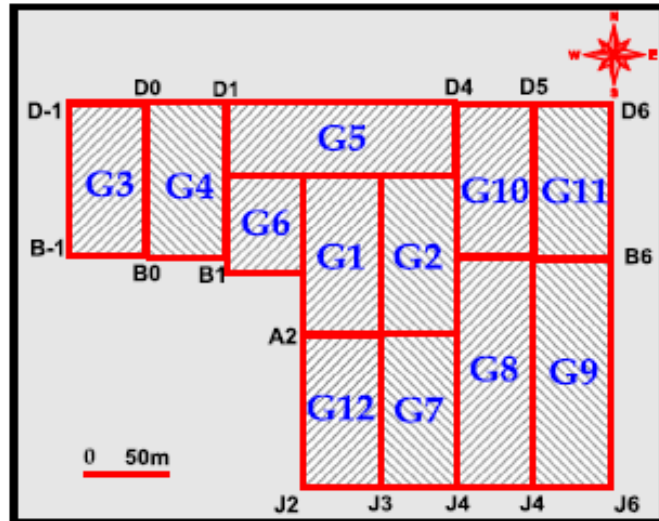
Εικόνα 3.12 Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

Η οάση Bahariya διαθέτει αρκετά αρχαιολογικά ευρήματα, ένα από τα οποία είναι η κοιλάδα Golden Mummies. Αυτή η κοιλάδα κατέχει τη μεγαλύτερη συλλογή αιγυπτιακών μούμιων που βρέθηκαν ποτέ. Η παρούσα μελέτη στοχεύει στη διερεύνηση αυτών των αρχαιολογικών περιοχών. Για την επαλήθευση αυτού του στόχου χρησιμοποιήθηκαν οι εξής γεωφυσικές μέθοδοι: Γεωραντάρ (GPR) και τομογραφία ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ERT).

Το γεωραντάρ χρησιμοποιείται πιο συχνά για αρχαιολογικές έρευνες. Είναι πιο αποδοτικό γιατί καλύπτει μεγάλη απόσταση σε λίγο χρόνο και δίνει υψηλής ανάλυσης αποτελέσματα. Ουσιαστικά φωτογραφίζει θαμμένες δομές καθώς και τον σχηματισμό τους. Η τομογραφία ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι ένα αποδοτικό εργαλείο για τις αρχαιολογικές έρευνες, διότι μπορεί να παρουσιάσει διαφορές της τάσης σε διάφορες δομές, όπως τα κενά αέρος στη συγκεκριμένη περίπτωση.

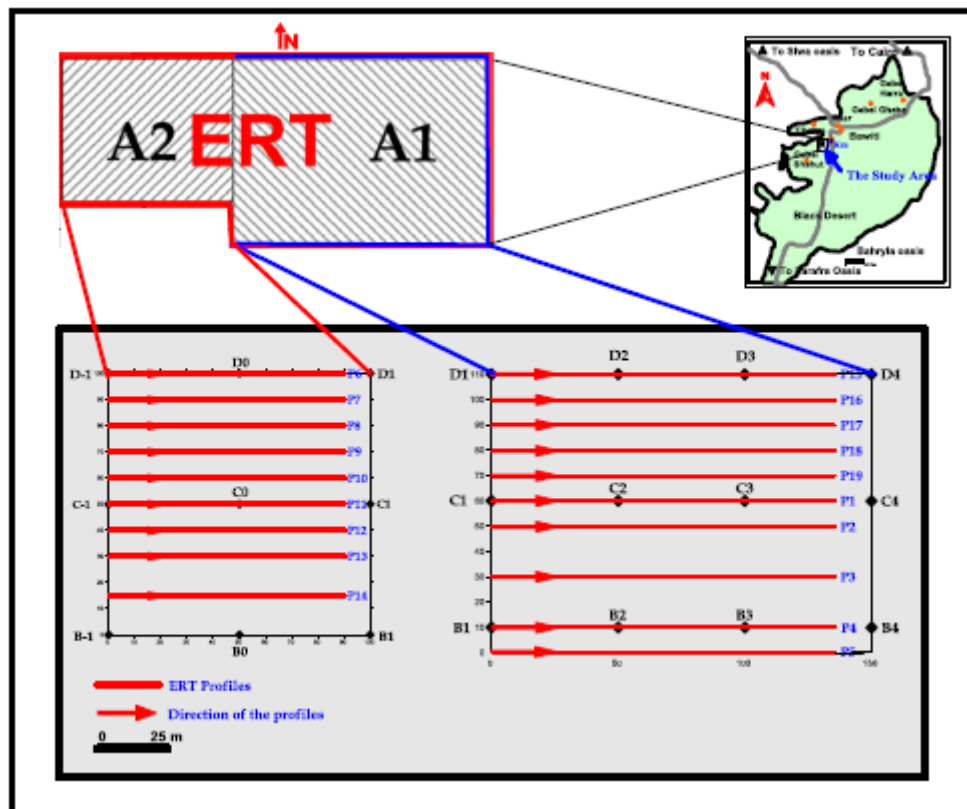
### 3.2.2.Απόκτηση Δεδομένων

Η περιοχή έρευνας που εξετάστηκε από το GPR διαιρείται σε 12 κελιά. **(Εικόνα 3.13)** Οι διαδρομές του GPR έγιναν με σχέδια Ζιγκ-Ζαγκ. Η μονάδα ελέγχου SIR 3000 συνδέθηκε σε κεραίες κεντρικής συχνότητας 400 MHz. Ο συνολικός αριθμός προφίλ που μετρήθηκε στο περιοχή μελέτης είναι 798.



Εικόνα 3.13 Χάρτης των προφίλ GPR που έγιναν στην περιοχή έρευνας.

Δεκαεννέα παράλληλα προφίλ ERT έγιναν στην περιοχή έρευνας με κατεύθυνση Δύση προς Ανατολή. **(Εικόνα 3.14)** Σε κάθε προφίλ χρησιμοποιήθηκαν 48 ηλεκτρόδια. Δέκα παράλληλα προφίλ P1, P2, P3, P4, P5, P15, P16, P17, P18, και P19 πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή «Α1» συνολικού μήκους 141 m και απόσταση 3 m μεταξύ των ηλεκτροδίων και εννέα παράλληλα προφίλ P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13 και P14 έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή " A2 " συνολικού μήκους 94 m και απόσταση 2 m μεταξύ των ηλεκτροδίων. **(Εικόνα 3.15)**



Εικόνα 3.14 Κατανομή των προφίλ ERT στην περιοχή έρευνας.

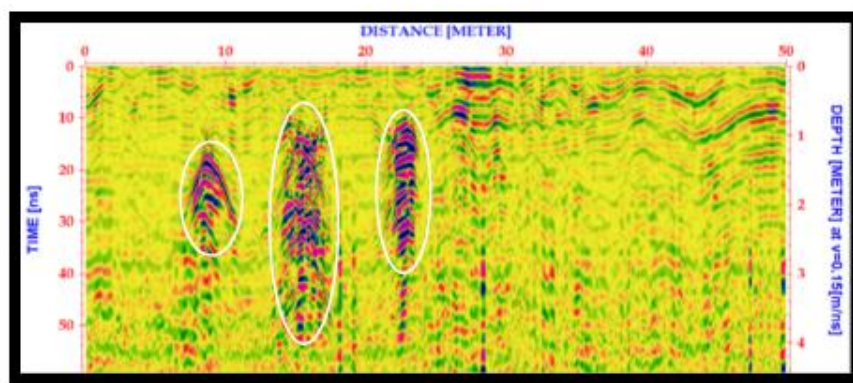
No.	Name of grid	Dimensions of the grid (m)	Number of profiles	Profile length (m)	Profile intervals (m)	Direction of profiles
1	G1	50 × 100	52	50	2	From W to E
2	G2	50 × 100	53	50	2	From W to E
3	G3	50 × 100	101	50	1	From W to E
4	G4	50 × 100	100	50	1	From W to E
5	G5	50 × 150	76	50	2	From S to N
6	G6	50 × 60	32	50	2	From W to E
7	G7	50 × 100	52	50	2	From W to E
8	G8	50 × 150	76	50	2	From W to E
9	G9	50 × 150	76	50	2	From W to E
10	G10	50 × 100	51	50	2	From W to E
11	G11	50 × 100	52	50	2	From W to E
12	G12	50 × 100	51	50	2	From W to E

Εικόνα 3.15 Στοιχεία κελιών.

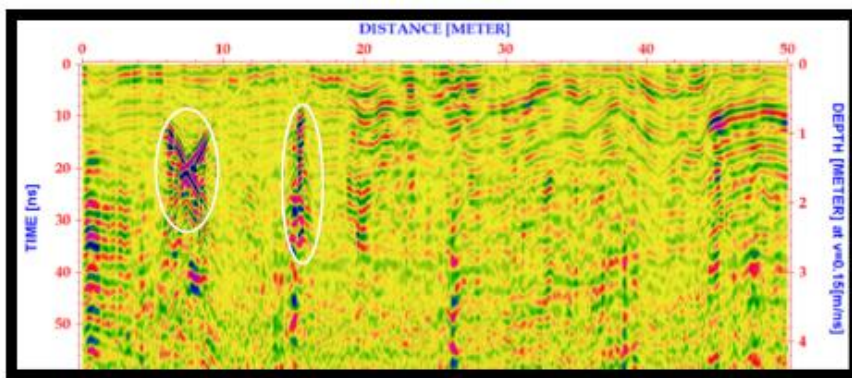
### 3.2.3 Επεξεργασία Δεδομένων

Αν και τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν γενικά καλής ποιότητας, εφαρμόστηκαν ορισμένα βήματα επεξεργασίας χρησιμοποιώντας το λογισμικό REFLEX, έκδοση 6.0 για την αύξηση του λόγου S/N.

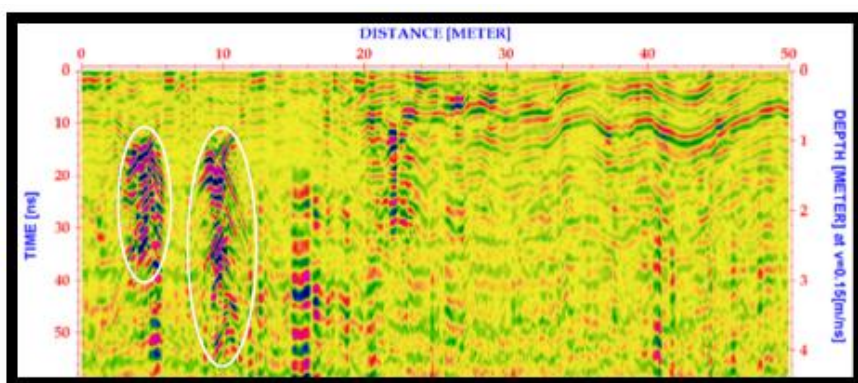
Είναι πολύ σημαντικό μετά την απόκτηση των δεδομένων, να γίνει ο καθαρισμός των αποτελεσμάτων από τυχόν θόρυβο και ανεπιθύμητες ανακλάσεις που παράγονται από το σήμα της κεραίας. Τέλος η επεξεργασία των δεδομένων περιλαμβάνει τη μετατροπή των δεδομένων του γεωραντάρ σε εύχρηστες εικόνες. Υπάρχουν ορισμένα βήματα επεξεργασίας δεδομένων που εφαρμόζονται στα ακατέργαστα δεδομένα GPR χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα REFLEX. Αυτά τα βήματα είναι Static Correction, A band pass filter, Running Average, Background-Removing Filter, Energy decay filter, X Flip the Profile, and Trace Interpol-3D File.



Εικόνα 3.16 Πιθανά ευρήματα στο προφίλ P29.

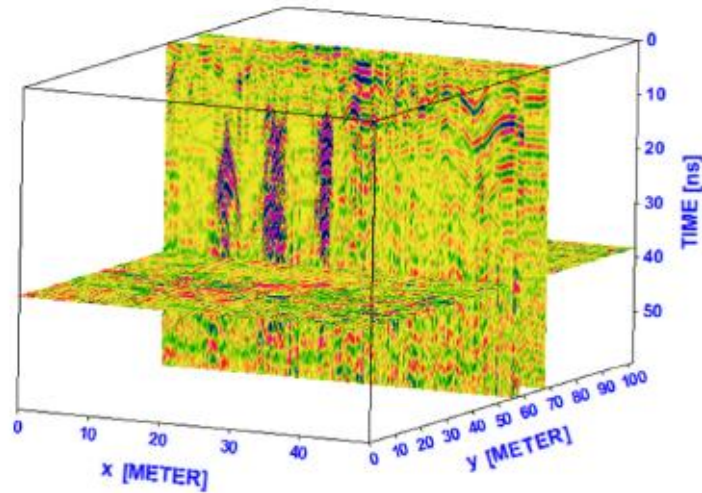


Εικόνα 3.17 Πιθανά ευρήματα στο προφίλ P30.



Εικόνα 3.18 Πιθανά ευρήματα στο προφίλ P31.

Τα δεδομένα ηλεκτρικής αντίστασης 2D που ελήφθησαν από τη περιοχή έρευνας αντιπροσωπεύουν την φαινόμενη αντίσταση της υπόγειας επιφάνειας, ενώ η πραγματική αντίσταση είναι απαραίτητη για να αντικατοπτρίζει καλύτερα το υπέδαφος. Το πρόγραμμα RES2DINV χρησιμοποιείται για την αυτόματη υποδιαίρεση του υπεδάφους σε έναν αριθμό μπλοκ και στη συνέχεια χρησιμοποιεί ένα σύστημα αντιστροφής ελαχίστων τετραγώνων για να προσδιοριστεί η κατάλληλη τιμή αντίστασης για κάθε μπλοκ έτσι ώστε οι υπολογιζόμενες τιμές φαινόμενης αντίστασης και οι μετρούμενες τιμές από τη περιοχή έρευνας να συμφωνούν. Όταν τα σημεία ενδιαφέροντος όπως φαίνεται στις εικόνες 3.16 έως 3.18 τοποθετηθούν σε ένα 3D πλαίσιο τότε έχουμε το σώμα του στόχου, το οποίο είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα.



Εικόνα 3.19 Τα προφίλ P29,P30,P31 σε 3D απεικόνιση.

### 3.2.4. Ερμηνεία Δεδομένων

Η ερμηνεία των δεδομένων του GPR είναι ένα ουσιαστικό βήμα για τον προσδιορισμό της θέσης των ανωμαλιών που εμφανίζονται στην επεξεργασία καθώς και να τις διαχωρίζει από τις άλλες ανεπιθύμητες ανακλάσεις. Περιλαμβάνει επίσης την ανίχνευση των ανωμαλιών που εμφανίζονται στα διαδοχικά τμήματα για τον προσδιορισμό της έκτασης του υπεδάφους καθώς και το αναμενόμενο βάθος των θαμμένων δομών που βρέθηκαν στη περιοχή έρευνας.

Profile No.	Recognized archeological anomaly	Horizontal location (m)	Depth (m)	Width (m)	Resistivity range
P1	1	94	1.4	5	High
	2	118	1.4	9	High
P5	1	110	1.4	20	Very high to high
P16	1	32	1.4	26	High
	2	55	1.4	5	Very high
	3	70	1.4	6	High

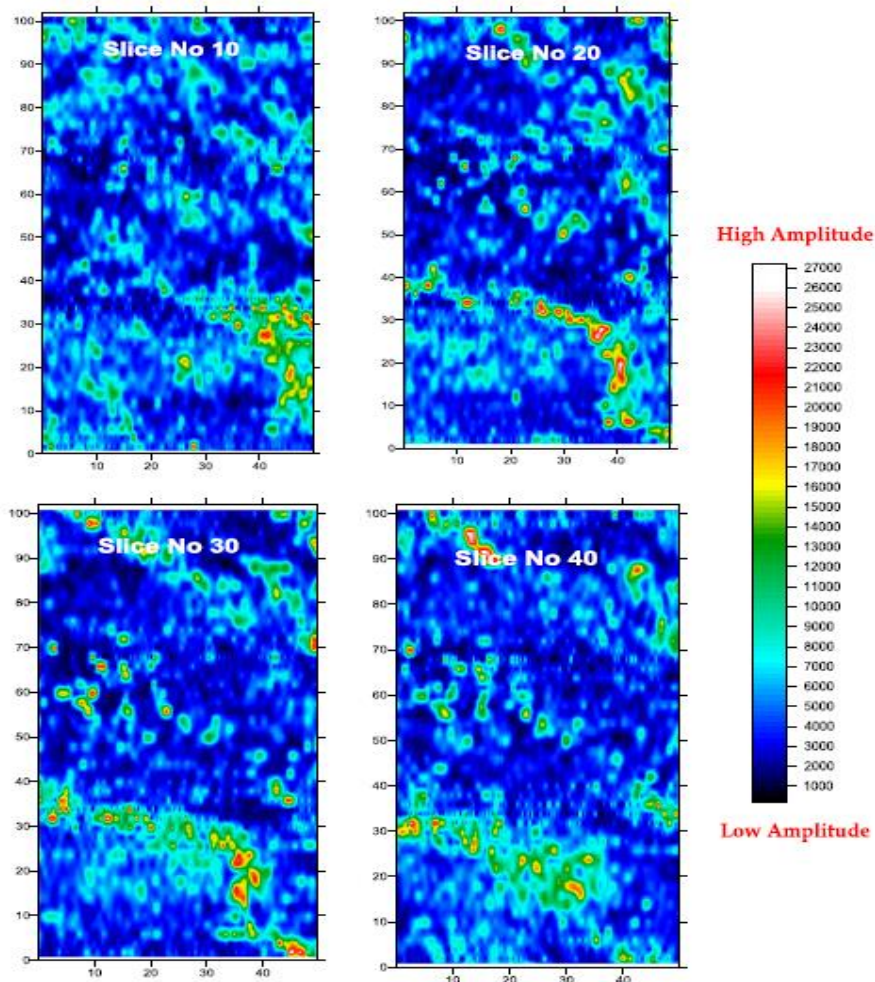
Εικόνα 3.20 Ανωμαλίες που βρέθηκαν στην περιοχή A1.

Profile No.	Recognized archeological anomaly	Horizontal location (m)	Depth (m)	Width (m)	Resistivity range
P13	1	52	2.8	8	High
P14	1	32	1.4	8	High
	2	58	2.4	10	High

Εικόνα 3.21 Ανωμαλίες που βρέθηκαν στην περιοχή A2.

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκαν οι επόμενες τρεις διαδικασίες σχετικά με τα επεξεργασμένα δεδομένα του GPR:

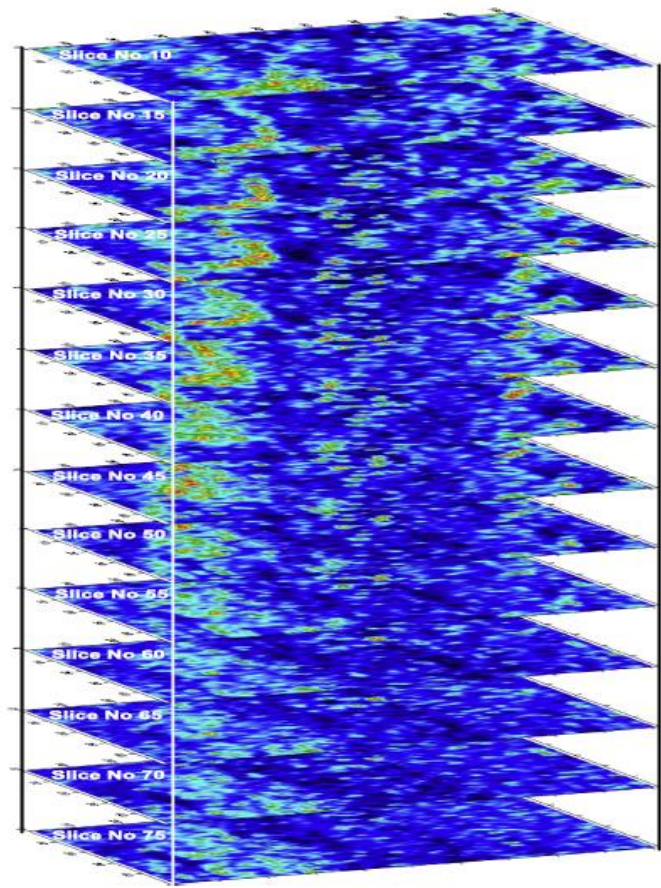
- ✚ Το πρώτο βήμα της ερμηνείας των αποτελεσμάτων από το γεωραντάρ για τη κάθε περιοχή ξεκινά με την εμφάνιση τομών 2D που περιέχουν τα αναμενόμενα θαμμένα χαρακτηριστικά.



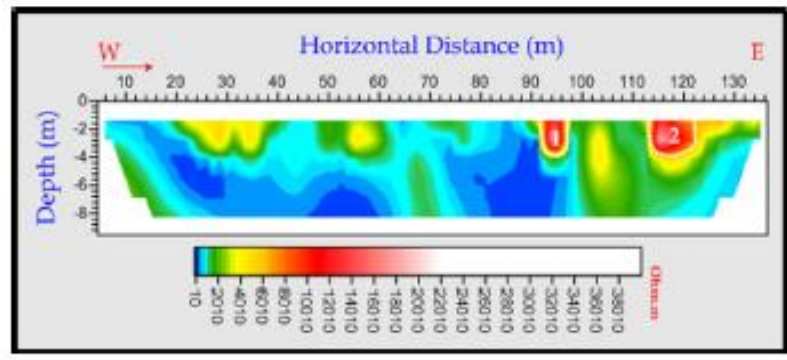
Εικόνα 3.22 Τέσσερα προφίλ στα 10,20, 30, 40 ns.

- ✚ Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει τη χρήση του προγράμματος REFLEX, όπου το 2D προφίλ προβάλετε σε τρισδιάστατα μπλοκ. Τα προφίλ μπορεί να εμφανίζονται μέσα στον κύβο ως μεμονωμένα προφίλ που περιέχουν εμφανή χαρακτηριστικά.
- ✚ Το τρίτο βήμα είναι να απεικονίσουμε οριζόντιους χάρτες σήματος GPR σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, για να γίνει η σύγκριση σε ένα χάρτη, τόσο για τις θέσεις όσο και για το πλάτος των ανωμαλιών. Με αυτόν τον τρόπο ο προσανατολισμός, το πάχος και τα σχετικά πλάτη των ανωμαλιών είναι ορατά σε τρεις διαστάσεις. Οι οριζόντιοι χάρτες σήματος GPR γίνονται κάθε 5 ns σε κάθε περιοχή.

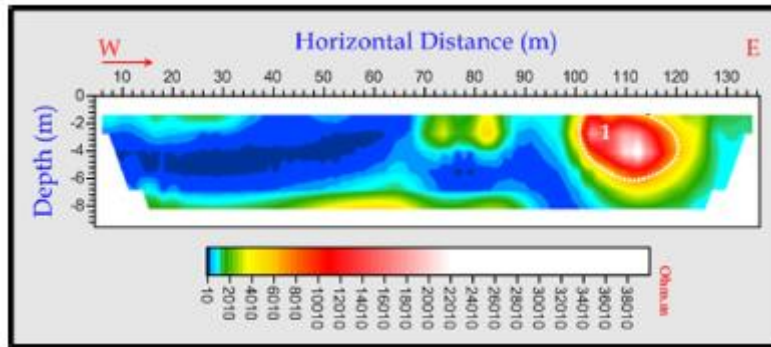




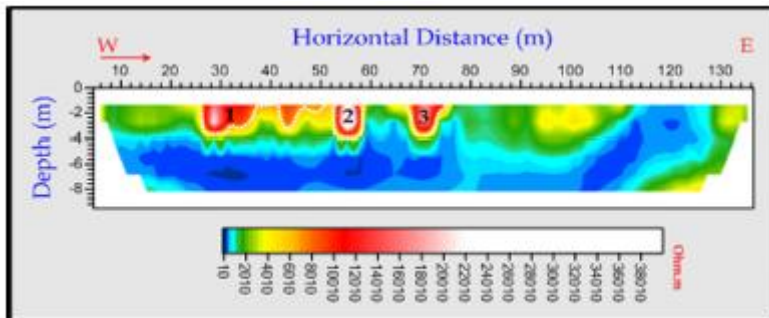
Εικόνα 3.23 Σειρά χαρτών με χρονοδιάγραμμα από 10 έως 75 ns.



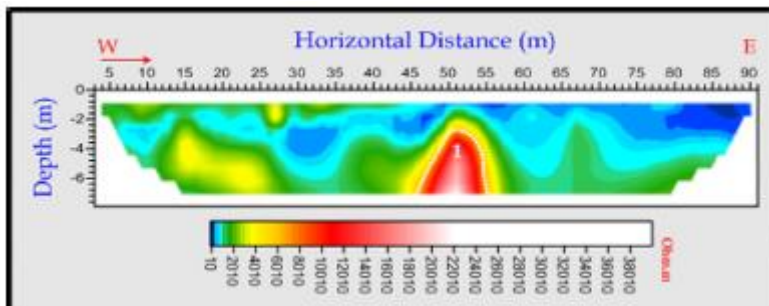
Εικόνα 3.24 Το προφίλ P1 της περιοχής A1.



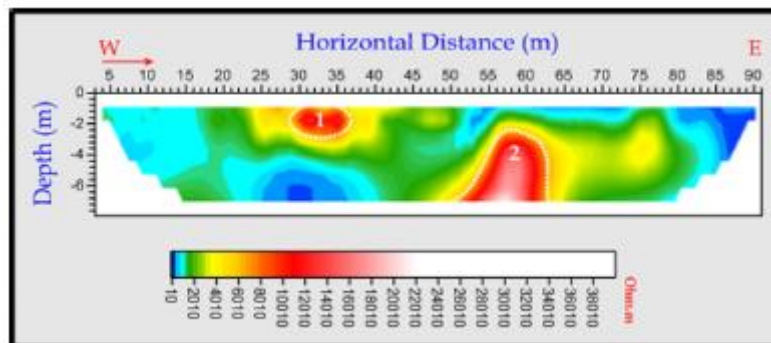
Εικόνα 3.25 Το προφίλ P5 της περιοχής A1.



Εικόνα 3.26 Το προφίλ P6 της περιοχής A1.



Εικόνα 3.27 Το προφίλ P13 της περιοχής A2.

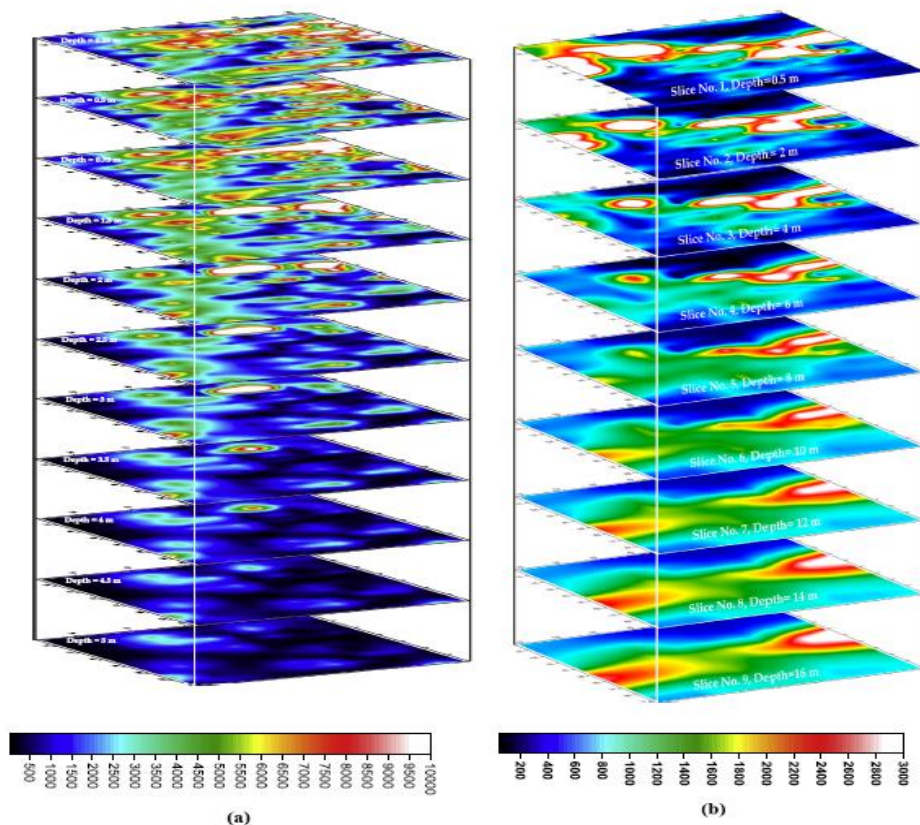


Εικόνα 3.28 Το προφίλ P14 της περιοχής A2.

### 3.2.5. Δεδομένα τομογραφίας ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης σε 3D

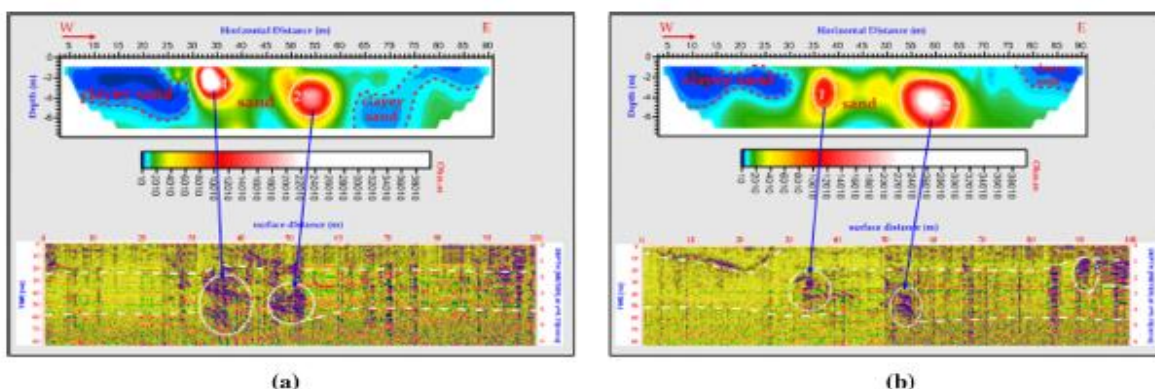
Οι παράλληλες γραμμές 2D τομογραφίας ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης για τις περιοχές A1 και A2 μπορούν να συνδυαστούν σε 3D χάρτες χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα RES3DINV. Το πρόγραμμα RES3DINV πραγματοποιεί μια 3D αντιστροφή (δεδομένου ότι οι τιμές αντίστασης επιτρέπεται να ποικίλουν και στις τρεις κατευθύνσεις ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αντιστροφής), αν το σύνολο δεδομένων περιέχει επαρκείς πληροφορίες 3D για να δημιουργηθεί ένα σχετικά ακριβές μοντέλο 3D. Το πρόγραμμα αντιστροφής διαιρεί το υπέδαφος σε μια σειρά από μικρά ορθογώνια πρίσματα, και προσπαθεί να καθορίσει τις τιμές αντίστασης των πρισμάτων. Η μέθοδος βελτιστοποίησης προσπαθεί να μειώσει τη διαφορά μεταξύ των υπολογιζόμενων και των μετρούμενων τιμών.

Τα αποτελέσματα του προγράμματος RES3DINV για την περιοχή A1 και A2 εξάγεται στη μορφή XYZ και στη συνέχεια η επεξεργασία γίνεται στο SURFER 11 όπου εντοπίστηκαν οι θαμμένες δομές του υπεδάφους.



Εικόνα 3.29 (α)Χάρτης από 0,25 m έως 5 m για την περιοχή A1 (b) Χάρτης από 0,5 έως 16 m την περιοχή A2.

### 3.2.6. Σύγκριση προφίλ GPR και προφίλ ERT



Εικόνα 3.30 Σύγκριση προφίλ GPR και ERT της περιοχής A2. (a) Προφίλ P9 (b) Προφίλ P10

### 3.2.7. Συμπεράσματα

Σε αυτή την έρευνα αποδείχθηκε ότι ο συνδυασμός αυτών των δύο γεωφυσικών μεθόδων έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα για τα πιθανά ευρήματα. Αν και οι δύο μέθοδοι δώσουν την ίδια ανωμαλία τότε σίγουρα υπάρχει θαμμένη δομή. Αν τώρα μόνο μια από τις δύο δείχνει ανωμαλία τότε ενδέχεται να υπάρχει κάποια δομή θαμμένη. Με τον συνδυασμό των προφίλ τελικά βρέθηκε ο στόχος από 0.44 m έως 2.64 m.

## 3.3. Εφαρμογή Γ: Γεωφυσική Έρευνα για τον εντοπισμό της βραχομάζας στο Clericy, Κεμπέκ, Καναδάς.

(Mamadou Cherif Dialloa, Li Zhen Chenga, Eric Rosaa, Christiaan Guntherb, Michel Chouteauc)

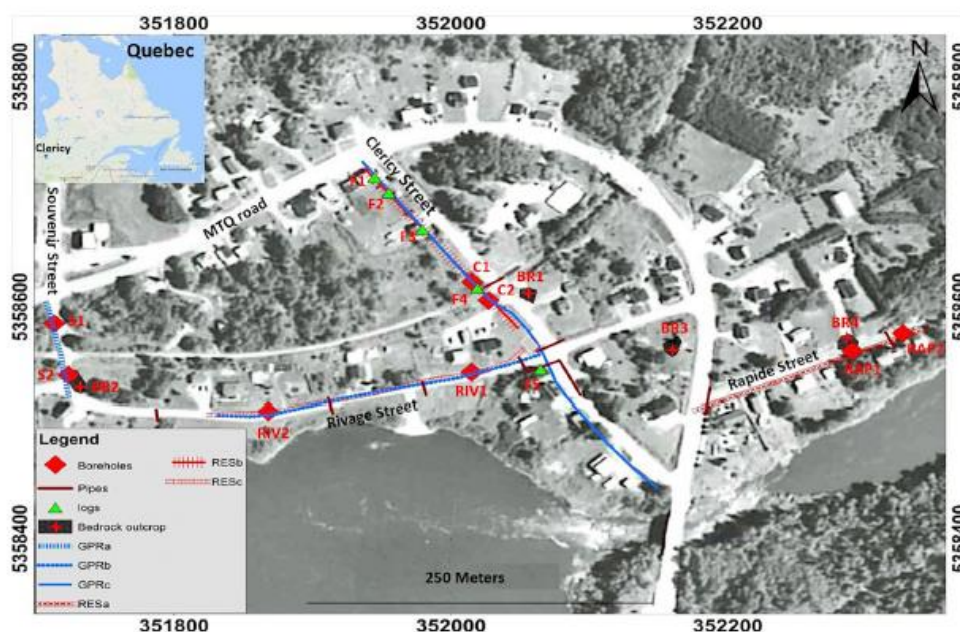
### 3.3.1. Γενικά

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην περιοχή Clérgicy περίπου 30 χλμ βόρεια της πόλης Rouyn-Noranda, Κεμπέκ, Καναδάς (Εικόνα 3.31). Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι ανόργανων ιζημάτων στην περιοχή (Εικόνα 3.32 a). Ο πρώτος είναι ένα ιζημα πάνω από την βραχομάζα που αυτό αποτελείται από περίπου 10% έως 40% χαλίκι, 40% έως 80% άμμο και 2% έως 25% λάσπη και πηλό.

Το ιζημα από παγετώδεις αποθέσεις που αποτελούνται από αμμοχάλικο, άμμο και αμμοβότσαλα. Αυτά τα ιζήματα καλύπτονται σε μέρη από λεπτόκοκκο υλικό και τύφρη που προέρχονται από τη λίμνη Barlow-Ojibway. Αποθέσεις αργιλίου καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος της περιοχής Abitibi. Το πάχος αυτών των τριών τύπων ιζημάτων τις τρεις μονάδες μπορεί να ποικίλει πολύ, λόγω της έντονης

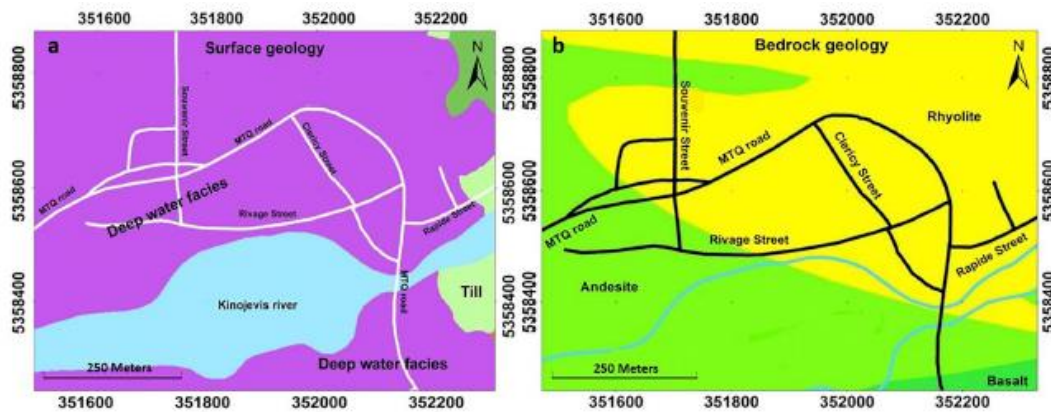
τοπογραφίας των υποκείμενων πετρωμάτων του Καναδά. Η βραχομάζα κυριαρχείται από ανδεσίτη και ρυόλιθο. (Εικόνα 3.32 b)

Αρκετές επιφανειακές εμφανίσεις της βραχομάζας παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια των εργασιών υπαίθρου. Αναμένεται να εμφανιστεί η ανάκλαση της βραχομάζας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, περιμετρικά αυτών των εμφανίσεων στα προφίλ του γεωραντάρ. Εκτός από αυτές τις πληροφορίες, υπάρχουν και ορισμένες ανθρωπογενείς υποδομές (σωλήνες, οχετοί) που είναι κάθετα και άλλα παράλληλα με το οδόστρωμα όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3.31**. Τέτοιες υποδομές διευκολύνουν την αξιολόγηση του πάχους του υπερκείμενου υλικού σε ορισμένες θέσεις.



Εικόνα 3.31 Τοποθεσία του Clercy, Κεμπέκ (χάρτης στην αριστερή γωνία) και διάφορα στοιχεία της έρευνας.

Στον χάρτη της **Εικόνας 3.31** φαίνονται οι δρόμοι, γεωφυσικές έρευνες και γεωτρήσεις που έγιναν (πράσινα τρίγωνα αναπαριστώντας τις χειροκίνητες γεωτρήσεις και κόκκινοι ρόμβοι τις βαθύτερες γεωτρήσεις), γνωστές υποδομές και επιφανειακές εμφανίσεις της βραχομάζας (κόκκινος σταυρός).



Εικόνα 3.32 α) Επιφανειακή γεωλογία και εκτάσεις που περιέχουν ιζήματα βαθένων υδάτων και μέχρι καταθέσεις. β) Η γεωλογία της βραχομάζας που κυριαρχείται από ρυόλιθο (κίτρινο) και ανδεσίτης (πράσινο).

### 3.3.2. Απόκτηση Δεδομένων

Οι μετρήσεις GPR πραγματοποιήθηκαν το καλοκαίρι και φθινόπωρο του 2016. Χρησιμοποιήθηκαν δύο συστήματα, το PulseEKKO με κεραίες συχνότητας 100 MHz και το σύστημα HDR MALA Ground Explorer (GX) (High Dynamic Range) με θωρακισμένες κεραίες. Για το σύστημα MALA, χρησιμοποιήθηκαν κεραίες με τρεις διαφορετικές συχνότητες (80 MHz, 160 MHz και 450 MHz) για τις μετρήσεις. Οι συντεταγμένες του GPS αντιστοιχούν σε κάθε μέτρηση GPR και καταγράφονται ταυτόχρονα. Για το σύστημα PulseEKKO, χρησιμοποιήθηκαν δύο τρόποι μέτρησης, χειροκίνητα με σταθερό βήμα (1 m) και ελεύθερη διαδρομή. Κατά τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το GPS Trimble GNSS R8, επιτρέποντας την διόρθωση των προφίλ GPR όσον αφορά την τοπογραφία και τις θέσεις XY. Τρία προφίλ GPR έγιναν σε τρεις μικρούς δρόμους (Cléricy, Rivage και Souvenir) (Εικόνα 3.31). Εκτός των δρόμων, μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στα σημεία όπου η βραχομάζα ήταν ορατή με το μάτι, διότι με τις ανακλάσεις του GPR ήταν πιο εύκολο να διαφοροποιηθούν τα στερεοποιημένα υλικά από τη βραχομάζα.

Οι μετρήσεις ERT πραγματοποιήθηκαν στις αρχές Νοεμβρίου 2016. Χρησιμοποιήθηκε το Syscal Pro Switch. Συνολικά υπήρχαν 36 ή 72 τα ηλεκτρόδια, ανάλογα με το μήκος των δρόμων, και με απόσταση 5m. Επιλέχθηκε αυτή η απόσταση για να εξασφαλιστεί υψηλή ανάλυση. Στο αστικό περιβάλλον, δεδομένου ότι εντοπίστηκαν οι εκβολές του βράχου στην περιοχή, χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Schlumberger.

Η γεώτρηση έγινε με χειροκίνητο τρυπάνι και με ένα γεωτρύπανο πάνω σε ένα φορτηγό. Αρχικά, έγιναν πέντε οπές διάτρησης με το χέρι για τη ρηχή ταυτοποίηση του βράχου. Τα καρτότα των γεωτρήσεων μας έδιναν πληροφορίες για τη λιθολογία μέχρι τα 4 m. Στη συνέχεια, έγιναν άλλες οκτώ γεωτρήσεις με το μηχανικό γεωτρύπανο.

### 3.3.3. Επεξεργασία Δεδομένων

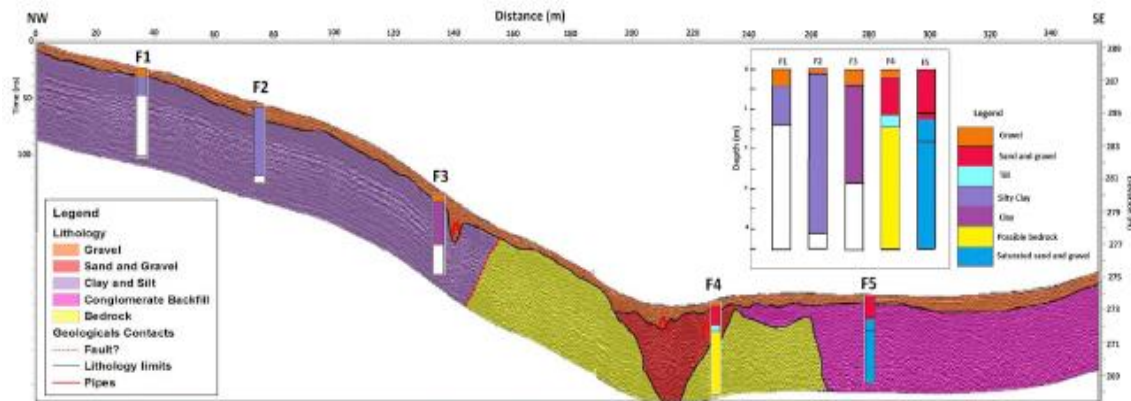
Το Reflexw GPR και το λογισμικό σεισμικής επεξεργασίας δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων GPR. Τα βήματα που εφαρμόστηκαν στα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν:

- ✚ Στατικές διορθώσεις (χρόνος έναρξης κίνησης) για τη ρύθμιση του χρόνου μηδέν στην επιφάνεια του εδάφους.
- ✚ Αφαίρεση μέσου (Dewow) για να την αφαίρεση της μετατόπισης του σήματος ή τη μετατόπιση DC που προκαλείται από πολύ χαμηλές συχνότητες.
- ✚ Αφαίρεση άλλων θορύβων για την ενίσχυση του σήματος.
- ✚ Ενίσχυση μικρών πλατών του σήματος.
- ✚ Τοπογραφική διόρθωση για να αντικαταστήσει όλα τα ίχνη στην ακριβή τοποθεσία τους χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που συλλέχθηκαν με το GPS για να ληφθεί το επεξεργασμένο προφίλ.

Τα δεδομένα ERT αντιστράφηκαν χρησιμοποιώντας το λογισμικό RES2DINV. Χρησιμοποιήθηκε ένας ομαλός αλγόριθμος για την αντιστροφή όλων των προφίλ εκτός από εκείνο της οδού Rivage, που αντιστράφηκε χρησιμοποιώντας ένα αλγόριθμο που ταιριάζει καλύτερα διότι παρατηρήθηκαν απότομες μεταβολές. Όλες οι αντιστροφές έγιναν με έξι επαναλήψεις και το RMS στο τέλος των αντιστροφών ήταν 5,7%, 4,3% και 9% αντίστοιχα για τις οδούς Cléricy, Rapides και Rivage.

### 3.3.4. Αποτελέσματα

Η ερμηνεία των δεδομένων GPR για τον προσδιορισμό της λιθολογίας εξαρτήθηκε από τη ταχύτητα κύματος. Είναι πιο δύσκολο να υπάρξει πιο ακριβής αξιολόγηση της ταχύτητα κύματος GPR για ένα ετερογενές μέσο. Σε αυτή τη μελέτη, καταγράφηκαν σημαντικές λιθολογικές αλλαγές μέσα σε ένα προφίλ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτών των αλλαγών είναι η λιθολογία της οδού Cléricy (**Εικόνα 3.33**) όπου παρατηρείται η ύπαρξη πηλού, λάσπης, η βραχομάζα (ρυόλιθος), άμμο και χαλίκι και τελικά μια βύθιση.



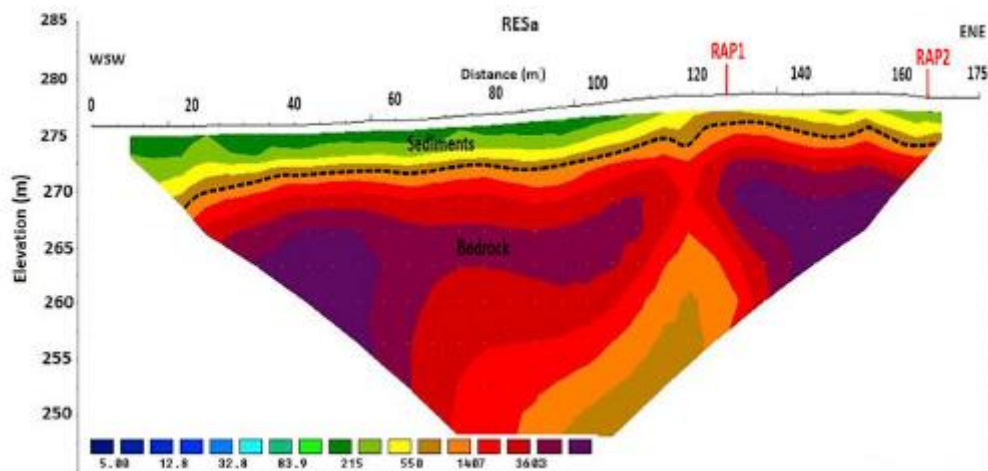
Εικόνα 3.33 Προφίλ GPR της οδού Clericy όπου εύκολα παρατηρείται η ποικιλία των υλικών του υπεδάφους.

Η κατανόηση των δεδομένων ERT βασίζεται κυρίως στις αντιθέσεις της ειδικής αντίστασης, οι οποίες βρίσκονται εντός του εύρους τυπικών τιμών (**Εικόνα 3.34**), καθώς και περαιτέρω πληροφορίες που παρέχονται από τα δεδομένα των γεωτρήσεων. Τα εύρη ειδικής αντίστασης για καθέναν από τους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι: πηλός (1-100 Ω), άμμος (500-104 Ω), χαλίκι (100-1400 Ω) και μη μεταβληθέντα πυριγενή πετρώματα (103-105 Ω). Με βάση αυτό το ευρύ φάσμα τιμών της αντίστασης, είναι δύσκολο να καθοριστεί ένα κατώτατο όριο που να αντιπροσωπεύει τη σύνδεση μεταξύ μη - στερεοποιημένων υλικών και κρυσταλλικό υπόβαθρο. Ωστόσο, με βάση αυτές τις αναφορές, η αντίσταση υποβάθρου πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 500 Ωm. Δεδομένου ότι τα προφίλ ERT εκτελούνται σε περιοχές όπου το υπόβαθρο αποτελείται κυρίως από ρυόλιθους, η αντίσταση του υποβάθρου εκτιμήθηκε για τα τρία προφίλ που έγιναν στους δρόμους Rapides, Clérgicy και Rivage πάνω 550 Ω. Η τιμή αυτή εκτιμήθηκε από τις γεωτρήσεις που έγιναν για το βάθος της βραχομάζας. Για παράδειγμα, το βάθος της βραχομάζας στις γεωτρήσεις RAP2 και C1 είναι 1,2 m και 1.8m αντίστοιχα. Τα βάθη αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ειδικής αντίστασης στη διεπαφή μη ενοποιημένων μονάδων / βραχομάζας στο προφίλ ERT. Οι τιμές αντίστασης όμως εκτιμώνται ελαφρώς διαφορετικές από αυτές της **Εικόνας 3.34**. Η διαφορά αυτή θα μπορούσε να εξηγηθεί από το γεγονός ότι το υπόβαθρο έχει αλλοιωθεί.



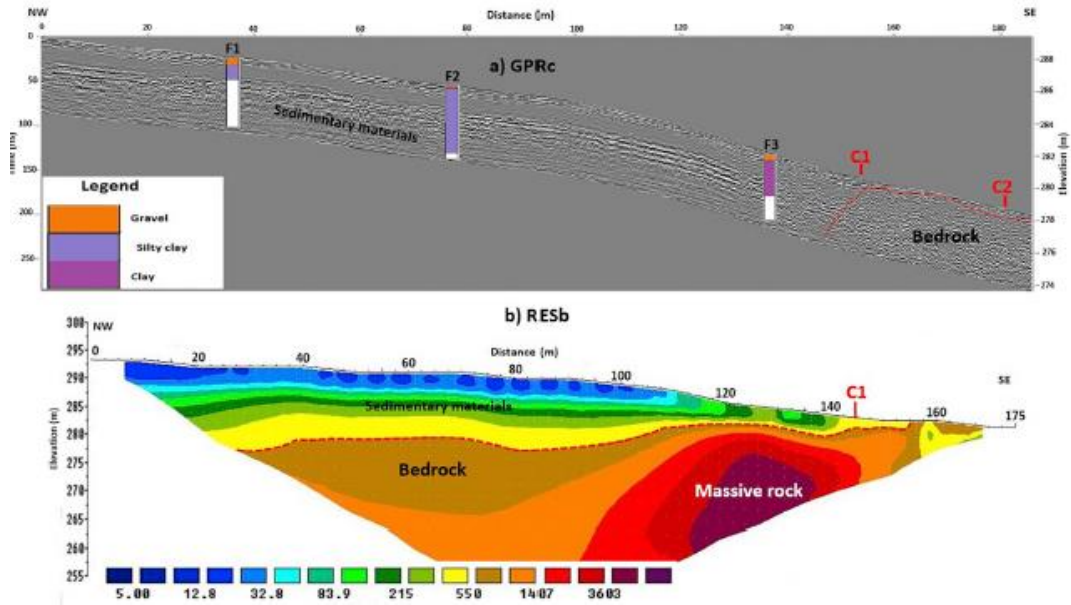
Materials	Relative dielectric permittivity	Velocity (m/ns)	Resistivity ( $\Omega\text{m}$ )
Air	1	0.3	Infinity
Fresh water	80	0.033	10-100
Sea water	80	0.01	5
Asphalt	3-5	0.13-0.17	-
Sand dry	2-6	0.12-0.17	300-10,000
Sand wet	10-30	0.055-0.06	-
Limestone	4-8	0.12	1000-100,000
Shales	5-15	0.09	5-50
Till	5-15	0.077-0.13	100-10,000
Silts	5-30	0.095	10-2000
Clay dry	2-6	0.173	1-100
Clay wet	5-40	0.086-0.11	-
Gravel	-	-	100-1400
Sand and gravel	-	0.06-0.13	700-10,000
Non- altered igneous rocks (Rhyolite)	-	-	1000-100,000
Andesite	-	-	1700-45,000
Basalt	-	-	1000-10,000,000

Εικόνα 3.34 Φυσικές ιδιότητες υλικών.



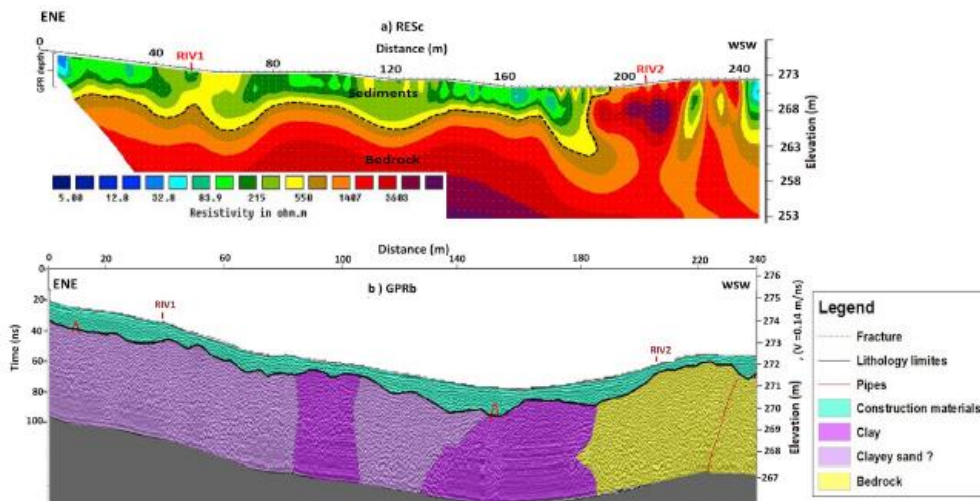
Εικόνα 3.35 Προφίλ ERT στην οδό Rapides.

Η διακεκομμένη μαύρη γραμμή στην γεωηλεκτρική τομή της **Εικόνας 3.35** διαχωρίζει τα δύο μέσα: το ανώτερο στρώμα που αποτελείται κυρίως από άμμο, με αντίσταση μικρότερη των 500  $\Omega$ , ενώ το κάτω στρώμα αντιπροσωπεύει το βραχώδες υπόβαθρο. Το υπόβαθρο είναι κοντά στην επιφάνεια στην πλευρά ENE του προφίλ.



Εικόνα 3.36 Προφίλ GPR και ERT στην οδό Clericy.

Στην **Εικόνα 3.36** βλέπουμε: α) ερμηνεία του προφίλ GPR με κεραίες 450 MHz, και β) μοντέλο αντίστασης από ομαλή αντιστροφή 2D. Το προφίλ του GPR δείχνει την παρουσία πηλού πάνω από 150 μέτρα κατά μήκος του προφίλ, που χαρακτηρίζεται από την απορρόφηση του σήματος. Το προφίλ ERT επιτρέπει μια βαθύτερη έρευνα και μια καλύτερη αξιολόγηση της γεωμετρίας του επιφανειακού βράχου.



Εικόνα 3.37 Προφίλ GPR και ERT της οδού Rivage

Στην **Εικόνα 3.37** παρατηρούμε: (α) 2D την γεωηλεκτρική τομή (β) Προφίλ GPR με κεραία 450MHz. Η βραχομάζα εμφανίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 5 m για μεγάλο κομμάτι στο προφίλ από Ανατολή – Δύση ενώ είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (μικρότερη του 1 m) για απόσταση πάνω από 195 m. Και στα δύο προφίλ φαίνεται η πλευρική εναλλαγή πηλού άμμου μεταξύ 0 - 195 μ.

### 3.3.5. Συμπεράσματα

Ο συνδυασμός των γεωφυσικών μεθόδων GPR και ERT σε συνδυασμό με τα δεδομένα που προέκυψαν από τις γεωτρήσεις μας επιτρέπουν μια συνολική ερμηνεία του υπεδάφους και της λιθολογίας του στην περιοχή Clégicy.

Το GPR ήταν αποτελεσματικό έως τα 5m για το προσδιορισμό το διαφορετικών στρωμάτων του υπεδάφους. Σε περιπτώσεις όπου το βραχώδες υπόβαθρο είναι σε μικρό βάθος, είναι δυνατόν να το διακρίνουμε στα προφίλ GPR. Όλα τα δεδομένα GPR που συλλέχθηκαν σε αυτή τη μελέτη έγιναν με τις κεραίες των 450 MHz, διότι προσέφερε καλύτερη ανάλυση, αν και η εξασθένηση προκάλεσε μικρότερη διείσδυση. Σε αυτά τα προφίλ, ήταν δυνατό να προσδιοριστούν σαφώς θαμμένες υποδομές στην περιοχή.

Τα προφίλ ERT έγιναν ως συμπλήρωμα στην περίπτωση όπου υπήρχαν επιφανειακοί αγώγιμοι άργιλοι που προκαλούν εξασθένηση του σήματος GPR, αλλά και όταν η βραχομάζα βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 5 m. Περιοχές με χαμηλή αντίσταση (<100 Ωm) αντιστοιχεί στην παρουσία αργίλου. Οι μετρήσεις ERT ήταν χρήσιμες για τον προσδιορισμό της βραχομάζας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους σε όλους τους εξεταζόμενους δρόμους.

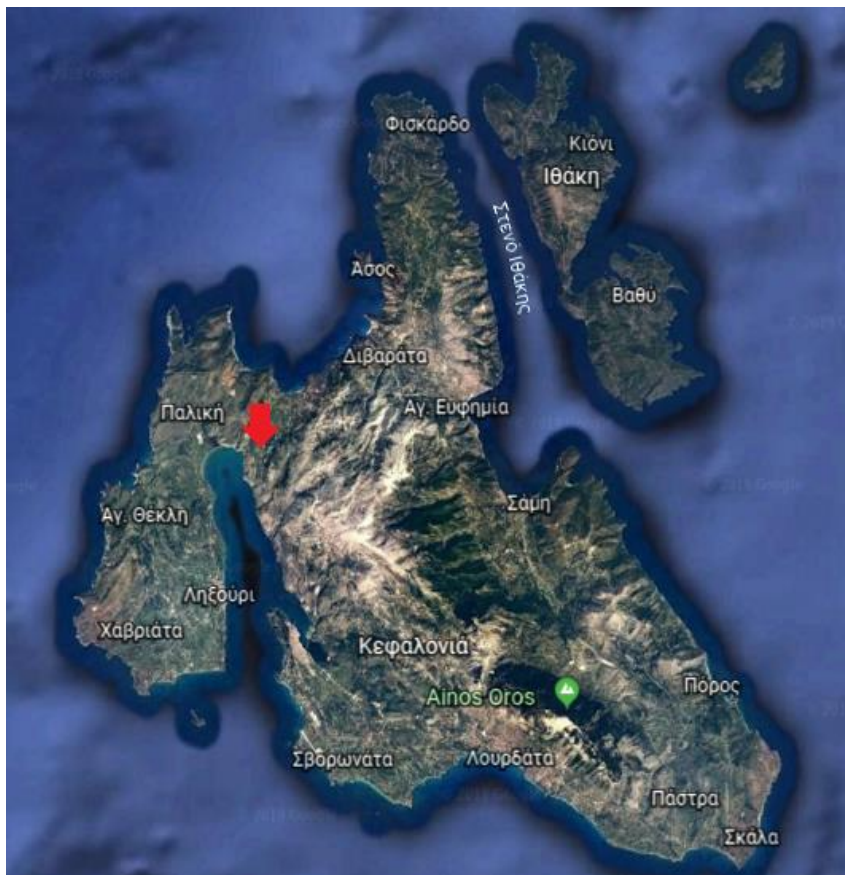
**Κεφάλαιο 4**  
**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ**  
**ΕΝΤΟΠΙΣΤΜΟ ΤΗΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ**  
**ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΘΗΝΙΑ**

## 4. Εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων για τον εντοπισμό της στρωματογραφίας και της τεκτονικής στη θέση Θήνια.

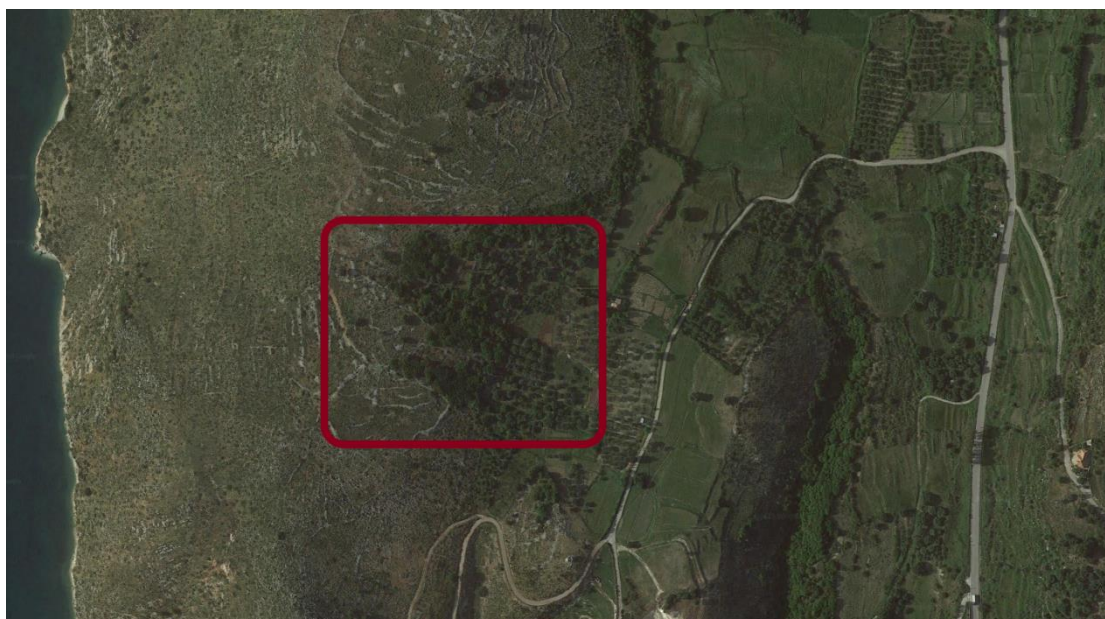
### 4.1. Γενικά

Η περιοχής έρευνας βρίσκεται στο νησί της Κεφαλονιάς και συγκεκριμένα στην κοιλάδα της Θήνιας (Εικόνα 4.1). Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε για τον εντοπισμό της στρωματογραφίας καθώς και τυχόν ανθρωπογενών δομών.

Προτού πραγματοποιηθεί η γεωφυσική έρευνα εξετάστηκε η γεωλογία της περιοχής ώστε να συσχετιστούν τα αποτελέσματα της έρευνας με συγκεκριμένους σχηματισμούς. Η περιοχή έρευνας προσδιορίζεται στους χάρτες που ακολουθούν προκειμένου να είναι ξεκάθαρη η επιφάνεια που καλύφθηκε. Σκοπός μας ήταν να καλυφθεί όσο το δυνατό μεγαλύτερη επιφάνεια της περιοχής, συνυπολογίζοντας φυσικά τις δυσκολίες που ήδη υπήρχαν ή προέκυπταν κατά τη διάρκεια των ερευνών μας. Το μεγαλύτερο πρόβλημα ήταν μορφολογία της συγκεκριμένης περιοχής που μας περιόριζε στον σχεδιασμό και υλοποίηση ορισμένων προφίλ ERT καθώς καθιστούσε εξαιρετικά δύσκολη για τα προφίλ του γεωραντάρ.



Εικόνα 4.1 Το νησί της Κεφαλονιάς. Με κόκκινο βέλος προσδιορίζετε η περιοχή έρευνας μας.



Εικόνα 4.2 Περιοχή έρευνας από τους χάρτες Google Earth.

## 4.2. Ιστορία της περιοχής Θήνια, Κεφαλονιάς

Μια περιοχή στο κέντρο σχεδόν του νησιού της Κεφαλονιάς , με σημαντική ιστορία, που κοιτάει είτε προς τον Κόλπο Λιβαδίου και στις ακτές του Σωτήρα, είτε προς τις άγριες πλαγιές που καταλήγουν στην παραλία της Αγίας Κυριακής.

Η περιοχή αυτή, η περιτριγυρισμένη από την Δάφνη – Κολώνα , το Μεροβίγλι , τις Λαχτιές, το Κουτσούλι και με την Αγία Δυνατή να παρεμβάλλεται μεταξύ Θηνιάς και Πυλάρου, ήταν πάντα πλούσια σε πηγές και νερά. Είναι χαρακτηριστική η αναφορά που κάνει ο Γερμανός γεωγράφος Ιωσήφ Παρτς: « Την υψηλίν θέσιν των χωρίων Καρδακάτων , Πετρικάτων, Νύφι, Αγκώνος, χαρακτηρίζει η ύπαρξη αφθονωτάτων ρεουσών πηγών...» .

Με το πέρας της τυραννίας που χρονολογείται προς το τέλος του 7<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. και στις αρχές του 6<sup>ου</sup> , η Κεφαλονιά εμφανίζεται να αποτελεί Τετράπολη. Έχουν ιδρυθεί τέσσερα χωριστά και ανεξάρτητα κράτη-πόλεις με πολίτευμα δημοκρατικό και δική του πολιτική το καθένα: της Πάλης, της Σάμης, της Κράνης και των Πρόννων. Τα μεταξύ τους όρια προσδιορίζονται από τη διάταξη των ορεινών όγκων του νησιού εντεύθεν, εκείθεν και κάτωθεν της κεντρικής οροσειράς του Αίνου. Πρέπει να σημειωθεί ότι η Πάλη δεν σχετίζεται με την σημερινή Παλική.

Έπειτα κατά την περίοδο της ρωμαϊκής κυριαρχίας η Κεφαλονιά χρησιμοποιείται από τους Ρωμαίους ως ναυτική βάση. Πενταμελής αποστολή των Ρωμαίων στην Πελοπόννησο μεταβαίνει πρώτα στην Κεφαλονιά, για να διερευνήσει προφανώς τις δυνατότητες δημιουργίας προϋποθέσεων για ελλιμενισμό του ρωμαϊκού στόλου σε περίπτωση γενικής επιθέσεως εναντίον του βασιλιά της Μακεδονίας Περσέα. Στον τρίτο Μακεδονικό πόλεμο (171-167) ο στρατηγός C. Lucretius Gallus έπλευσε από τη Μεσσήνη κατ' ευθείαν στην Κεφαλονιά αναμένοντας να συγκεντρωθούν οι υπόλοιπες χερσαίες και ναυτικές δυνάμεις, πριν διεκπεραιωθούν στην Ελλάδα (Σουρής 1976).

Γενικά η κατάκτηση της Κεφαλονιάς έπαιξε σπουδαίο ρόλο για την επεκτατική πολιτική της Ρώμης. Από εκεί οι Ρωμαίοι μπορούσαν να ελέγχουν στρατηγικά την κατάσταση στην Ελλάδα και να παρεμβαίνουν άμεσα στην ανατολική Μεσόγειο.

Με τον διαχωρισμό του Ρωμαϊκού κράτους (395 μ.Χ.) από τον Μεγάλο Θεοδοσίο σε Ανατολικό και Δυτικό, η Κεφαλονιά περιήλθε στο Ανατολικό. Στη διάρκεια της Βυζαντινής περιόδου γνώρισε τις βαρβαρικές επιδρομές των Βησιγόθων (395 μ.Χ. Αλάριχος), των Βανδάλων (429 μ.Χ. Γιζέριχος) και των Οστρογόθων (548 μ.Χ. Τωτίλας) με τις επακόλουθες λεηλασίες, σφαγή πληθυσμού και καταστροφή του υπαίθρου. Συντηρούσε δικό της στόλο και στρατό για την άμυνα κατά παντός είδους εχθρών, που λυμαινόνταν τα παράλια και τα νησιά του Ιονίου, και συμμετείχε στις εκστρατείες των βυζαντινών αυτοκρατόρων εναντίον τους.

Κατά τη διάρκεια των βαρβαρικών αυτών επιδρομών πιθανόν να καταστράφηκαν οι πόλεις της Τετράπολης πλην της Πάλης, η οποία αναφέρεται ως πρωτεύουσα του νησιού με το όνομα Κεφαλληνία. Στην περίοδο μεταξύ των ετών 525–583 μ.Χ. το νησί δοκιμάζεται από αλληπάλληλους καταστρεπτικούς σεισμούς και μακρόχρονη επιδημία πανώλης. Τον 7ο αιώνα λόγω της ενίσχυσης των δυτικών συνόρων του Βυζαντίου για την αντιμετώπιση θαλασσίων επιδρομών η Κεφαλονιά αναδείχθηκε σε σημαντική θαλάσσια δύναμη στον Ιόνιο χώρο.

Το 1185, κατά τη διάρκεια της 4<sup>ης</sup> επιδρομής, οι Νορμανδοί θα καταλάβουν οριστικά την Κεφαλονιά. Από τότε αρχίζει η περίοδος της Φραγκοκρατίας, κατά τη διάρκεια της οποίας θα περάσουν κατά σειρά οι εξής κατακτητές: Νορμανδοί (1185–1194), Οίκος Κομήτων Ορσίνι και Ανδεγαυοί (1194–1357), Φραγκική Δυναστεία Τόκκων (1357–1483), Ενετοί (1483–1797). Η τοπική Κυβέρνηση της Κεφαλονιάς αποτελείται από έναν Τοποτηρητή, έναν Έπαρχο και ένα 5μελές Επαρχιακό Συμβούλιο με τον Γραμματέα του. Έδρα των Κομήτων και πρωτεύουσα του νησιού είναι το Φρούριο του Αγίου Γεωργίου, το οποίο αναφέρεται ως οχυρωμένη «πόλις Κεφαλληνία».

Με τη συνθήκη του Καμποφόρμιο (1797) το νησί περνάει στα χέρια των Γάλλων για πολύ μικρό διάστημα μέχρι το 1798 (1η γαλλική κατοχή). Τους διαδέχονται Ρώσοι και Τούρκοι (1798–1800), οι οποίοι αναγνωρίζουν την αυτονομία των Επτανήσων (Επτάνησος ή Ιόνιος Πολιτεία 1800–1807) υπό την επικυριαρχία και προστασία της Τουρκίας με εγγυήτρια δύναμη την Αγγλία. Επί Ναπολέοντα Βοναπάρτη μεταξύ των ετών 1807–1809 γίνεται η 2η γαλλική κατοχή. Το 1809 οι Άγγλοι διώχνουν τους Γάλλους από την Κεφαλονιά και τα Επτάνησα.

Το 1864, γίνεται η ένωση με την Ελλάδα, ενώ τα Επτάνησα τελούν υπό αγγλική κατοχή.

## 4.3. Γεωλογία της περιοχής

### 4.3.1. Γεωλογία των νήσων Κεφαλονιάς και Ιθάκης

Στη γεωλογική δομή των νήσων Κεφαλονιάς και Ιθάκης λαμβάνουν μέρος αλπικοί σχηματισμοί, καθώς και νεότεροι πλειοτεταρτογενείς (μεταλπικοί) σχηματισμοί, οι οποίοι επικάθονται ασύμφωνα στους πρώτους (ΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ-ΔΙΚΑΙΟΥΛΙΑ 1965, BP Co. 1971, BP Co. et al 1985, ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ 1991).

#### I. Αλπικοί σχηματισμοί

Οι αλπικοί σχηματισμοί ανήκουν στις δύο πιο εξωτερικές ενότητες των Ελληνίδων, την ενότητα Παξών, η οποία καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Κεφαλονιάς και είναι η σχετικά αυτόχθονη και την Ιόνια ενότητα, η οποία δομεί το νότιο-ανατολικό τμήμα της νήσου και ολόκληρη την νήσο Ιθάκη, είναι δε επωθημένη πάνω στην προηγούμενη.

#### Ενότητα Παξών

Στην Κεφαλονιά εμφανίζονται τα ανώτερα μέλη της ανθρακικής σειράς που αντιστοιχούν στην περίοδο Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Μειόκαινο, καθώς και η αργιλοκλαστική φλυσική σειρά που αποτελεί κανονική συνέχεια της προηγούμενης και αντιστοιχεί στο διάστημα Μέσο Μειόκαινο - Κατώτερο Πλειόκαινο (BP Co., 1971).

#### Ανθρακική σειρά

Η ανθρακική σειρά παρουσιάζει μια έντονη διαφοροποίηση στους ιζηματογενείς της χαρακτήρες κατά τη διάρκεια του Κρητιδικού, η οποία υποχωρεί κατά το Τριτογενές. Ειδικότερα παρατηρούνται:

- ∇ Στη χερσόνησο της Παληκής και στη χερσόνησο του Αργοστολίου χαρακτηριστικές φάσεις μιας ιδιαίτερα ρηχής νηριτικής παραμένουσας πλατφόρμας. Το πάχος των ιζημάτων ξεπερνά τα 1000 m για το Ανω Κρητιδικό - Παλαιόκαινο αντιστοιχούν δε σε λευκούς εστρωμένους ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους, δολομίτες αποσαθρωμένους



με όψη κιμωλίας και ίχνη ανάδυσης και βιογενείς - βιοκλαστικούς περιυφαλώδεις ασβεστόλιθους.

- ∇ Στο κεντρικό τμήμα της νήσου, φάσεις επίσης ρηχές, αλλά και βαθύτερες που χαρακτηρίζουν το περιθώριο μιας βραχύβιας κρητιδικής πλατφόρμας με πάχος ιζημάτων πάνω από 1000 m μόνο για το Άνω Κρητιδικό. Νηριτικοί ασβεστόλιθοι, βιοκλαστικοί και μικριτικοί ακολουθούμενοι από λευκούς μικριτικούς και δολομιτικούς ασβεστόλιθους μέσονωπαλιρροιακής πλατφόρμας με ίχνη ανάδυσης και με ενδιαστρώσεις βιοκλαστικών οριζόντων με ρουδιστές και οριζόντων με γαστερόποδα. (BP Co., 1971)
- ∇ Στην περιοχή της χερσονήσου της Ερισσού και του όρους Καλού, στους βορειοδυτικούς πρόποδες της Αγίας Δυνατής και στις δυτικές προσβάσεις του Αίνου φάσεις κυρίως του περιθωρίου, της κλιτύος και του πυθμένα μιας λεκάνης, δηλαδή στο μεγαλύτερο τους μέρος πελαγικές με συνολικό πάχος που ξεπερνά τα 1000 m για το Ανώτερο Ιουρασικό - Αλβιο. Αντιπροσωπεύονται από εστρωμένους δολομίτες, ασβεστόλιθους και πυριτιολίθους. Οι τελευταίοι μεταπίπτουν κατά τη διάρκεια του Αλβίου σε βιοκλαστικούς - λατυποπαγείς ασβεστόλιθους κλιτύος, ενώ πλευρικά αναπτύσσονται βιοκλαστικοί περιυφαλώδεις και μικριτικοί ασβεστόλιθοι ρηχής πλατφόρμας. Από το Τουρώνιο μέχρι το Ηώκαινο αναπτύσσονται έως και 600 m πελαγικοί λατυποπαγείς και τουρβιδιτικοί ασβεστόλιθοι κλιτύος. Ο πελαγικός χαρακτήρας των ιζημάτων ενισχύεται κατά το Ανώτερο Ηώκαινο - Ολιγόκαινο (BP Co., 1971).

#### **Άργιλο-κλαστική φλυσική σειρά**

Αποτελεί την κανονική εξέλιξη της κυρίως ανθρακικής σειράς με πάχος που ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες μέτρα. Συμμετέχουν κυρίως μάργες με ενδιαστρώσεις ψαμμιτών, αργίλων, ολιγόμεικτων λατυποπαγών και κροκαλοπαγών. Η σειρά εμφανίζεται στη χερσόνησο Παληκής, στην περιοχή κόλπου Αργοστολίου και όρμου Κατελειού, Ηλικία Λάγγιο – Μεσσήνιο. (BP Co., 1971)

#### **Ιόνιος Ενότητα**

Από το σύνολο των στρωματογραφικών οριζόντων της σειράς στη δομή των δύο νήσων συμμετέχουν μόνο οι ορίζοντες της μεσοζωικής ανθρακικής σειράς. Οι παλαιότεροι σχηματισμοί της ενότητας είναι τριαδικοί εβαπορίτες, υπολειμματικά άστρωτα λατυποπαγή ασβεστόλιθων και δολομιτών και άργιλοι διάλυσης. Πάνω από αυτούς αναπτύσσεται μια ανθρακική σειρά που περιλαμβάνει δολομίτες, φυκώδεις ασβεστόλιθους και ασβεστόλιθους με πυριτόλιθους στην κορυφή αντίστοιχους των νηριτικών «ασβεστόλιθων Παντοκράτορα». Ηλικία Αν. Τριαδικό - Μέσο Λιάσιο (BP Co, 1971). Ακολουθούν φάσεις "Ammonitico rosso" από ασβεστοσχίστες και ερυθρούς ασβεστόλιθους με αμμωνίτες του Τοαρσίου, ασβεστόλιθοι με πυριτιόλιθους και σχιστόλιθοι με Ποσειδώνιες του Δογγερίου και

τέλος ασβεστόλιθοι με ή χωρίς πυριτιόλιθους, πελαγικοί οι οποίοι γίνονται λατυποπαγείς προς την κορυφή της σειράς, ηλικίας Κρητιδικού (BP Co., 1971, KENZ 1955). Σχηματισμοί νεότεροι του Μεσοζωϊκού ίσως να υπάρχουν με τη μορφή τεκτονικών ρακών. (ΝΙΚΟΛΑΟΥ. 1983)

## **II. Μεταλικοί σχηματισμοί**

Η ασύμφωνη τοποθέτηση τους πάνω στους αλπικούς αποτελεί και το μόνο κριτήριο προκειμένου να χαρακτηριστούν ως «μεταλικοί σχηματισμοί». Διακρίνεται μια κατώτερη σειρά θαλάσσιων ιζημάτων ηλικίας Κατώτερου Πλειόκαινου - Κατώτερου Πλειστοκαινού (ΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ-ΔΙΚΑΙΟΥΛΙΑ, 1965) και μια ανώτερη σειρά αποθέσεων ηπειρωτικού κυρίως χαρακτήρα, οι οποίες είναι ασύμφωνα τοποθετημένες πάνω στις προηγούμενο (Μέσο, Ανώτερο Πλειστόκαινο - Ολόκαινο) (BP Co. 1971, UNDERHILL 1985, 1989. κ.ά.).

### **Πλειο-Καλάβρια σειρά**

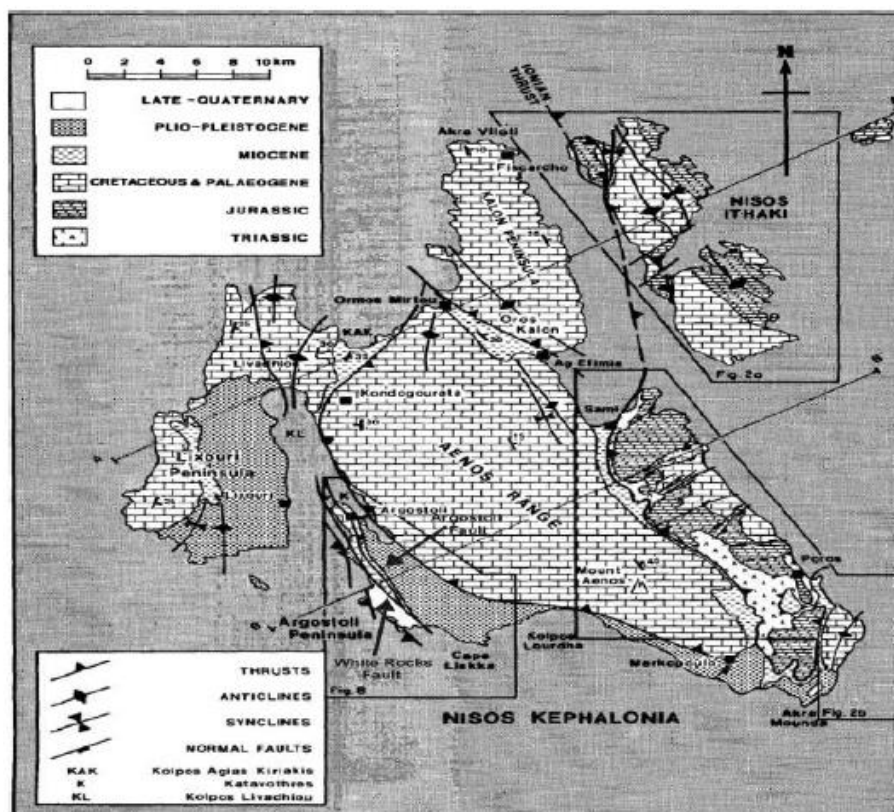
Πρόκειται για μια θαλάσσια σειρά που αναπτύσσεται επικλυσίγενώς επί των σχηματισμών της ενότητας Παξών. Το πλάτος εμφάνισης κυμαίνεται μεταξύ 2 και 10 km περίπου, ενώ το πάχος της μεταξύ 200 και 500 m. Η σειρά αυτή περιλαμβάνει στη βάση της (Κατ. Πλειόκαινο) οριζόντες ολιγόμεικτων κροκαλοπαγών και λατυποπαγών, συμφυρματοπαγών ασβεστολίθων και συμπαγών ασβεσταρενίτων, στο ενδιάμεσο τμήμα της, ηλικίας Μέσου - Ανώτερου Πλειοκαινού, κυανές και κίτρινες μάργες με ιλυόλιθους, ενδιστρώσεις ψαμμιτών, ασβεστολιθικών άμμων, κροκαλοπαγών και στο ανώτερο τμήμα της, ηλικίας Κατ. Πλειστοκαινού - Καλαβρίου, επίσης μάργες μέσα στις οποίες παρεμβάλλονται ενδιστρώσεις ασβεστολιθικών άμμων και στη συνέχεια χονδρόκοκκοι ασβεσταρενίτες απόσυρσης (BP Co., 1971).

### **Σχηματισμοί Μέσου-Ανώτερου Πλειστόκαινου - Ολόκαινου.**

Εμφανίζονται κυρίως στη χερσόνησο του Αργοστολίου-αεροδρομίου. Πρόκειται για σχηματισμούς ηπειρωτικού, σπάνια θαλάσσιου χαρακτήρα. Διακρίνονται σε:

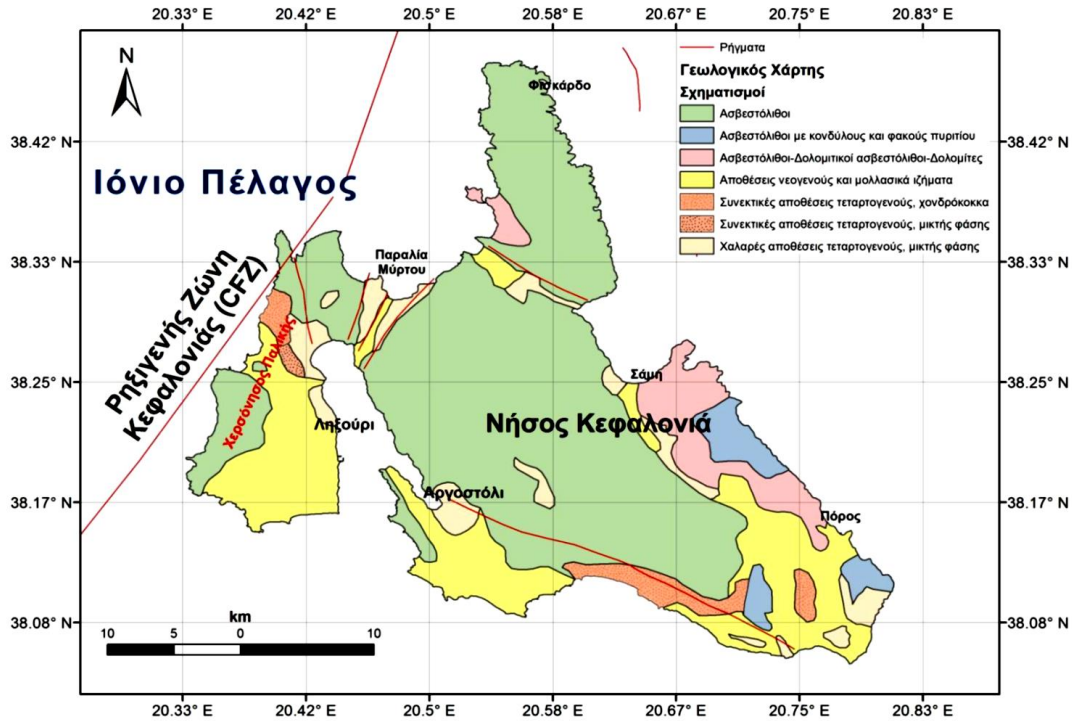
- ▽ **Λατυποπαγή πλαγιάς:** Στις πλαγιές του βυθίσματος μεταξύ των χωριών Αγκώνα-Κοντογουράτα και Ζόλα καθώς και στον όρμο της Αγίας Κυριακής αναπτύσσονται, ασύμφωνα πάνω στις μειοκαινικές μάργες, λατυποπαγή του Μινδέλιου, που τα κατώτερα τους μέλη περικλείουν ασβεστολιθικά τεμάχια μέσα σε ένα κόκκινο ασβεστολιθικό ή ασβεστιτικό τσιμέντο.
- ▽ **Θαλάσσιοι ασβεστοαρενίτες:** Εμφανίζονται σε πολλές παράκτιες κυρίως περιοχές του νησιού με τη μορφή μικρού πάχους θαλάσσιων ασβεστοαρενιτών επίκλυσης με διασταυρωμένες στρώσεις και κατά τόπους βασικό κροκαλοπαγές. Η ηλικία τους είναι Παλαιο-Μιλιάτσια (Μέσο Πλειστόκαινο) (UNDERHILL, 1989).

- ▽ **Μεσοπαγετώδεις αποθέσεις Μινδέλιου-Ρήσιου:** Πρόκειται για προϊόντα καρστικοποίησης και εξαλλοίωσης ασβεστόλιθων που εμφανίζονται με τη μορφή αργίλων απασβέστωσης μέσα σε ολίνες (UNDERHILL, 1989).
- ▽ **Κώννοι προσχώσεων Ρήσιου:** Τυπικές αποθέσεις παγετώδους περιόδου, περιόδου ρηξιστασίας, που αποτίθενται λόγω διάβρωσης στους πρόποδες των πλαγιών. Η βάση αυτών των κώννων αποτελείται από κόκκινες αργίλους με πυρίτιο και τεμάχια των υποκείμενων εξαλλοιωμένων θαλάσσιων ασβεστοαρενετών (UNDERHILL, 1989)
- ▽ **Σύγχρονοι σχηματισμοί:** Βρίσκονται διάσπαρτοι σε πολλά σημεία του νησιού. Στην περιοχή του αεροδρομίου και ΔΝΔ της Σκάλας απαντούν μικρού πάχους κόκκινοι αργιλικόί άμμοι ηπειρωτικής προέλευσης καθώς και παράκτια κροκαλοπαγή και κόκκινες ασβεστολιθικές κρούστες, που είναι πιθανώς Βούρμιας ηλικίας. Στους δυτικούς πρόποδες του Αίνου εμφανίζονται με τη μορφή πλευρικών κορημάτων και κώννων προσχώσεων χειμάρρων.



Εικόνα 4.3 Απλοποιημένος τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης της νήσου Κεφαλονιάς (Underhill, 1989).

### 4.3.2. Νεοτεκτονική Δομή των νήσων Κεφαλονιάς – Ιθάκης



Εικόνα 4.4 Γεωλογική Δομή Κεφαλονιάς (Σχέσεις Και Αλληλεπιδράσεις Υπόγειων Νερών Και Φυσικών Καταστροφικών Φαινομένων, με Έμφαση στους Σεισμούς και στη Ρευστοποίηση Εδαφών, Μιχαλάκη Αικατερίνη, 2016)

Η δομή των νήσων Κεφαλονιάς και Ιθάκης είναι αποτέλεσμα της επίδρασης μιας σειράς διαδοχικών τεκτονικών παραμορφωτικών επεισοδίων κυρίως συμπιεστικού χαρακτήρα, τα οποία όμως έχουν διακοπεί από περιόδους κατά τις οποίες παρατηρείται μια αποσυμπίεση των πετρωμάτων και επίδραση της βαρύτητας, φαινόμενα που αντιστοιχούν σε ένα καθεστώς εφελκυσμού.

Οι κύριες τεκτονικές μορφές που δημιουργήθηκαν κατά τη φάση της αλπικής παραμόρφωσης των νήσων, συνδέονται γενετικά με την τοποθέτηση του καλύμματος της Ιόνιας ενότητας πάνω στην ενότητα Παξών κατά το Κατώτερο Πλειόκαινο και είναι:

1. Ανάστροφα ρήγματα με διεύθυνση είτε ΒΔ-ΝΑ, είτε ΝΔ-ΒΑ και ανοικτές πτυχές με άξονες που παρουσιάζουν ίδιο προσανατολισμό μέσα στην ενότητα Παξών, τα οποία θεωρούνται ως παλαιότερες συνιζηματογενείς τεκτονικές δομές που κατά την περίοδο της ιζηματογένεσης καθόριζαν τις διάφορες παλαιογεωγραφικές περιοχές της Προαπούλιας πλατφόρμας. Σε ορισμένα από αυτά τα ρήγματα (ρήγμα Αγίας Ευφημίας ΝΔ του όρους Καλό,

ρήγμα Αίνου) παρατηρείται και μια οριζόντια συνιστώσα κίνησης εκτός από την αμιγώς εφιππευτική.

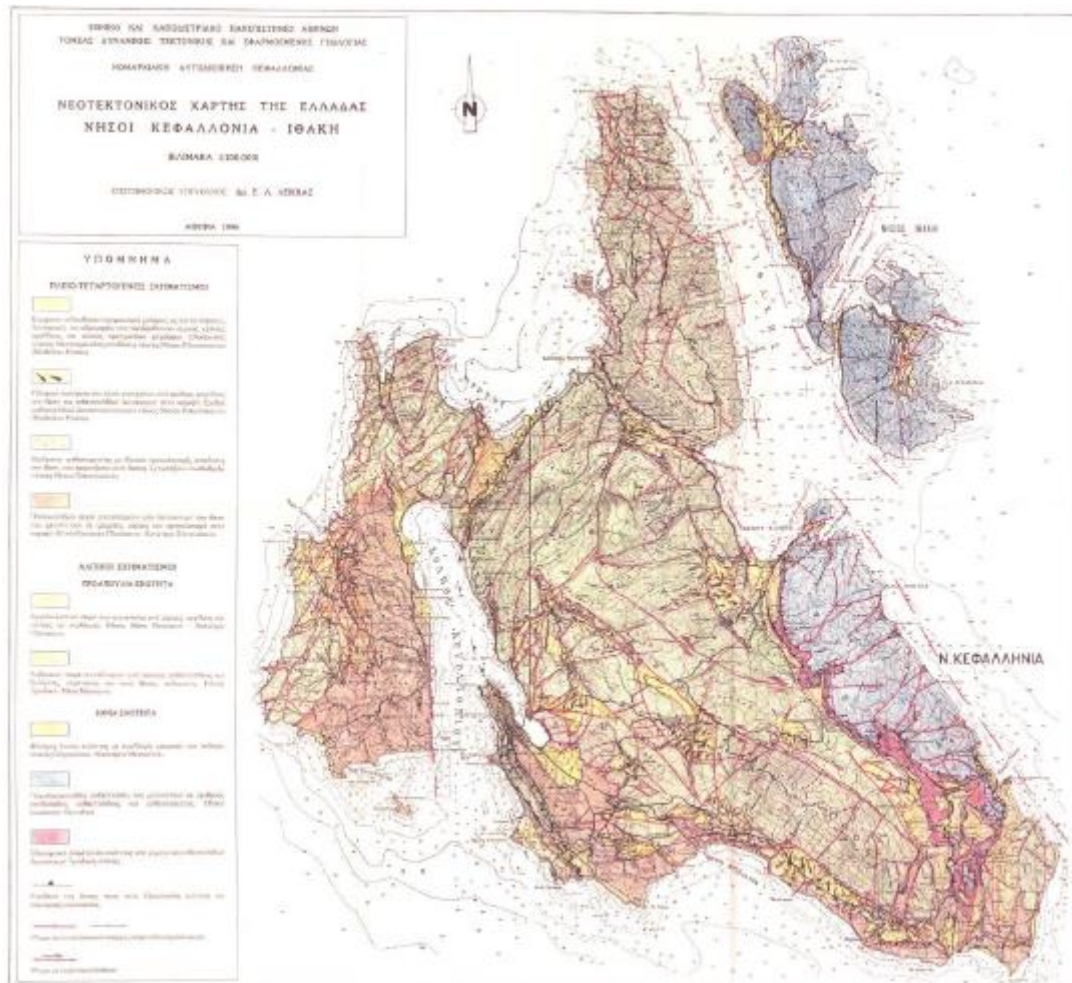
- II. Εφιππεύσεις, αντίκλινα εφίππευσης και αντικλινικά δίδυμα εφίππευσης με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.
- III. Ρήγματα βαρύτητας με διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ μέσα στην Ιόνια ενότητα. Αξονικά επίπεδα πτυχών και εφιππεύσεις είναι παράλληλα με την κύρια τεκτονική επιφάνεια επώθησης της Ιόνιας ενότητας πάνω στην ενότητα Παξών. Στις προηγούμενες τεκτονικές μορφές του Κατ. Πλειόκαινου προστίθενται στη συνέχεια οι νεότερες μορφές (δομές) που συνδέονται με τα παραμορφωτικά επεισόδια του Πλειο-Πλειστοκαίνου (νεοτεκτονικές μορφές).

Οι νεοτεκτονικές μορφές αντιπροσωπεύονται κυρίως από τα ρήγματα, τα οποία τέμνουν ή οριοθετούν όλους ανεξαιρέτως τους γεωλογικούς σχηματισμούς και τα ρηξιτεμάχη της νήσου. Πρόκειται για μια μεγάλη ποικιλία ρηγμάτων με άλμα από μερικά μέτρα έως μερικές δεκάδες μέτρα και με ολίσθηση τόσο με κατακόρυφη συνιστώσα όσο και με οριζόντια.

Τα ρήγματα που αναγνωρίστηκαν και τα οποία αποδεικνύεται πως έχουν επαναδραστηριοποιηθεί ή δημιουργηθεί κατά την Πλειο-Τεταρτογενή περίοδο κατατάσσονται κατά σειρά σπουδαιότητας σε εφιππεύσεις και ανάστροφα, οριζόντιας ολίσθησης και τέλος κανονικά. Συγκεκριμένα παρατηρούνται:

- ∇ Αναζωπυρώσεις παλαιότερων σημαντικών τεκτονικών δομών, κυρίως εφιππεύσεων και ανάστροφων ρηγμάτων (Αίνου, Αργοστολίου, Κοντογουράτων Αγκώνα, Αγίας Ευφημίας, Ασπρογέρακα-Παλαιάς Σκάλας, Παλαιόκαστρο, περιθώριου Ζακύνθου-Κεφαλονιάς), αλλά και δημιουργία νεότερων, πολύ χαρακτηριστικών στη περιοχή κυρίως της χερσονήσου Αργοστολίου (Ακρωτήριο Λαρδηγός, Ξενοδοχείο Mediterranee, Ξενοδοχείο White Rocks, απόκρημνες παραλίες ΝΔ από το χωριό Μηνιές, περιοχή αεροδρομίου). Πολλά από τα παραπάνω ρήγματα, παλαιότερα και νεότερα, παρουσιάζουν και μία οριζόντια συνιστώσα κίνησης γεγονός που τα κατατάσσει στα πλαγιοανάστροφα και στις πλαγιοεφιππεύσεις (Αίνου, Αγίας Ευφημίας, Ζακύνθου-Κεφαλονιάς). Ρήγματα με καθαρή οριζόντια ολίσθηση (strike slip) δρύνε αυτή τη περίοδο (Μηνιές, Φραγκάτα, Καμπούλια, Παλαιόκαστρο, χερσόνησος Παληκής) αλλά είναι μικρότερης σημασίας. Τέλος ρήγματα κανονικά, διαπιστώθηκε με βεβαιότητα ότι έδρασαν εκ νέου στη ΝΑ απόληξη του Αίνου (τεκτονικό βύθισμα στο χωριό Αργίνια) (Underhill 1989).

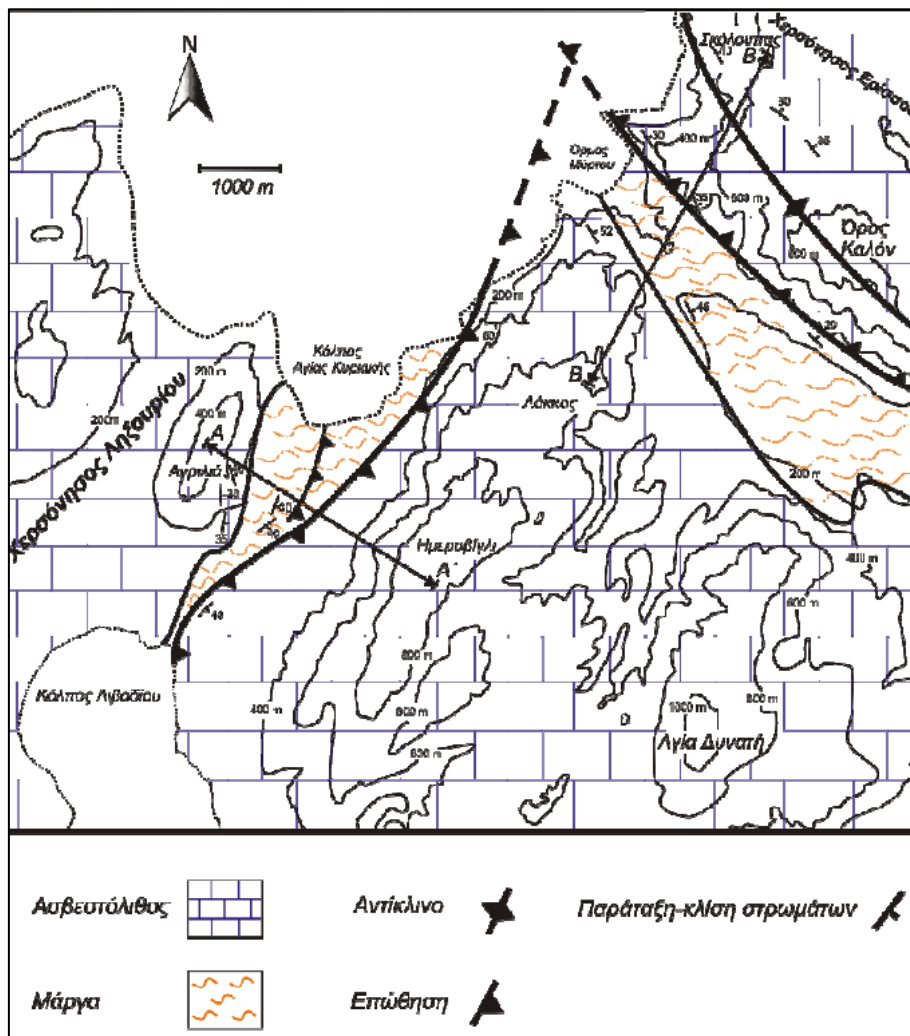
- ∇ Επαναδραστηριοποιήσεις και ανορθώσεις παλαιότερων κατωπλειοκαινικών πτυχώσεων (αντίκλινο Αίνου, Αργοστολίου-Μηνίων. Μεγάλης Ράχης, Κοντογουράτων, Καλού, χερσονήσου Παληκής) αλλά και δημιουργία νεότερων με κάποια απόκλιση από τις παλαιότερες διευθύνσεις (σύγκλινο κόλπου Αργοστολίου, Αηλιά - Κουσοτουμπάρδι, αεροδρομίου) (Underhill 1989).
- ∇ Ανυψώσεις γραμμών ακτών που τοπικά μπορούν να φθάνουν ως και 100 m ύψος όπως παρατηρείται για την παλαιοακτή του Κατώτερου Πλειστοκαίνου στην χερσόνησο Αργοστολίου (Μηνιές).
- ∇ Έντονη κατά βάθος διάβρωση των δομών που δημιούργησαν οι τεκτονικές παραμορφωτικές φάσεις του Κατώτερου Πλειόκαινου και Πλειστοκαίνου. Τα φαινόμενά της εντοπίζονται κυρίως στις Δ και ΝΔ πλευρές των μορφολογικών εξάρσεων (όρος Αίνος, όρος Καλό, Χερσόνησος Παληκής) εκεί όπου διέρχονται οι σημαντικές τεκτονικές δομές και εκτελείται η μεγαλύτερη κίνηση, παραμόρφωση και κατακερματισμός των πετρωμάτων.
- ∇ Μετατοπίσεις του υδρογραφικού δικτύου, από τον νότο (περιοχή Πάστρα και Παλαιάς Σκάλας, βύθισμα Κατελειού) προς τα Α και ΒΑ (Πόρος), λόγω των σημαντικών κινήσεων που έλαβαν χώρα αυτή την περίοδο. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα επίσης την πλήρη διάβρωση των πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων προς τα βόρεια του νησιού έτσι ώστε να μην απαντώνται σήμερα βορειότερα του Ασπρογέρακα (ΝΑ Κεφαλονιά).



Εικόνα 4.5 Νεοτεκτονικός Χάρτης της νήσου Κεφαλονιάς και Ιθάκης.

### 4.3.4 Γεωλογική δομή κόλπου Ληξουρίου-Αγίας Κυριακής

Η συνιζηματογενής απόθεση της Αγίας Κυριακής εμφανίζεται μεταξύ των βουνών Λάκκος και Ημεροβίγλι στα ανατολικά και Αγρίλια στα δυτικά. Με την απόθεση αυτή ενώνεται ο κύριος κορμός της Κεφαλονιάς με την χερσόνησο του Ληξουρίου. Η απόθεση έχει γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και κλίση περί τις 50° και όπως φαίνεται στη γεωλογική τομή ΑΑ' (Εικόνα 4.4) τοποθετεί τεκτονικά ασβεστόλιθους Κρητιδικής –Παλαιογενούς ηλικίας επί των Μειοκαινικών μαργών. Στην οροφή της απόθεσης οι Κρητιδικοί-Παλαιογενείς ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν κλίσεις 40° έως 50° και διευθύνσεις κλίσεως που κυμαίνονται από ΝΑ έως ΝΝΑ (Εικόνες 4.4 και 4.5). Στη βάση της απόθεσης οι Μειοκαινικές μάργες εμφανίζουν κλίσεις 30° έως 40° και διευθύνσεις κλίσεως που κυμαίνονται από ΝΑ έως ΑΝΑ (Εικόνες 4.4 και 4.5).

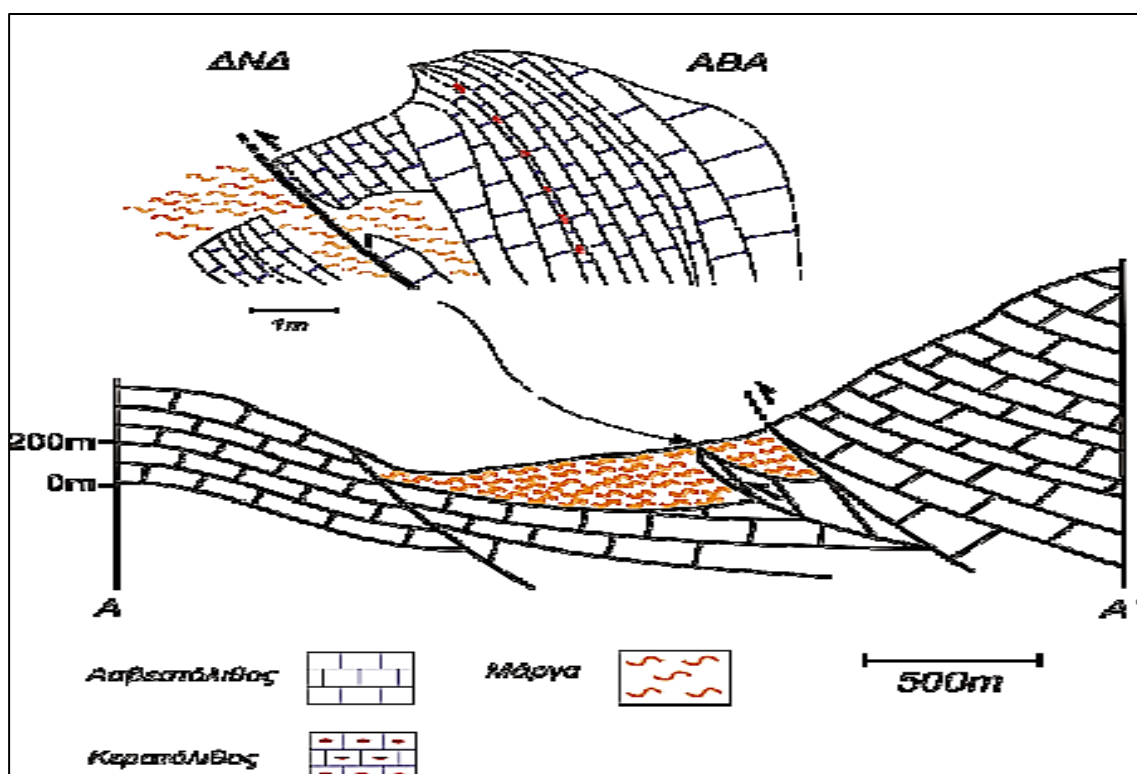


Εικόνα 4.6 Γεωλογικός - Τεκτονικός χάρτης του βορειοδυτικού τμήματος της νήσου Κεφαλονιάς, στον οποίο απεικονίζονται οι κύριες αποθέσεις στον Όρμο Μύρτου και στον Κόλπο Αγίας Κυριακής (Τεκτονική Ανάλυση των δύο μεγάλων επωθήσεων στις περιοχές Όρμου Μύρτου και Κόλπο).



Οι Μειοκαινικοί μαργαϊκοί σχηματισμοί στη βάση της επώθησης της Αγίας Κυριακής έχουν αποτεθεί σε μια επιμήκη λεκάνη ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης παράλληλα με την απόθεση. Η βάση της μαργαϊκής λεκάνης αποτελείται από ήπια κεκλιμένους ασβεστόλιθους Κρητιδικής-Παλαιογενούς ηλικίας. Το πάχος των μαργαϊκών ιζημάτων κυμαίνεται από λίγα μέτρα στο ΝΔ τμήμα όπου η λεκάνη φαίνεται να αποσφηνώνεται (**Εικόνα 4.4**) και φτάνει περίπου τα 250-300 μέτρα στο ΒΑ τμήμα στην ακτή του κόλπου (**Εικόνες 4.4 και 4.5**). Φαίνεται επίσης ότι η λεκάνη εκτείνεται και στο θαλάσσιο χώρο του κόλπου της Αγίας Κυριακής και ως εκ' τούτου είναι πιθανό ότι το μέγιστο πάχος των ιζημάτων είναι μεγαλύτερο από το παρατηρούμενο πάχος των 250-300 μέτρων.

Σύμφωνα με τη γεωλογική τομή ΑΑ' (**Εικόνα 4.4**) η απόθεση της Αγίας Κυριακής πιθανά φέρει δύο κλάδους, τον κύριο ο οποίος περιγράφηκε ήδη και έναν δευτερεύων ο οποίος φέρνει στην επιφάνεια ασβεστόλιθους μέσα στην μαργαϊκή λεκάνη. Η θέση του δεύτερου κλάδου, η ύπαρξη του οποίου πιστοποιείται με την παρατήρηση ασβεστολίθων στην παραλία της Αγίας Κυριακής, παρουσιάζεται ως λεπτομερής γεωλογική τομή στο επάνω μέρος στην **Εικόνα 4.4**. Στη θέση αυτή ο επωθούμενος σχηματισμός αποτελείται από ασβεστόλιθους με κερατολιθικές παρενστρώσεις και χαρακτηρίζεται από έντονες κλίσεις της τάξεως των 70°-80°.



Εικόνα 4.7 Γεωλογική τομή ΑΑ' στην οποία φαίνονται οι δύο κλάδοι της απόθεσης της Αγίας Κυριακής, οι κλίσεις των στρωμάτων καθώς και λεπτομέρεια του ασβεστολιθικού σχηματισμού ο οποίος εμφανίζεται στην παραλία της Αγίας Κυριακής. (Τεκτονική Ανάλυση των δύο μεγάλων

**Κεφάλαιο 5**  
**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΘΡΟΥ ΚΑΙ**  
**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

## 5. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΘΡΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.1. Γενικά

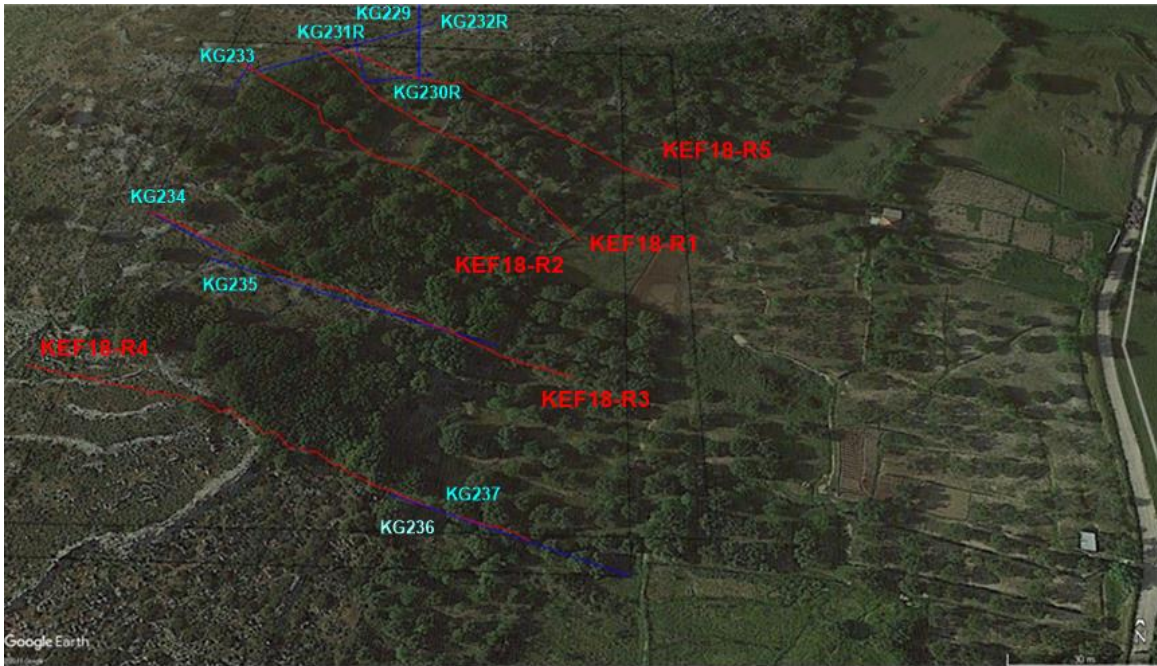
Η επιλογή κατάλληλων γεωφυσικών μεθόδων για την εκάστοτε περιοχή έρευνας γίνεται με γνώμονα μιας σειράς συνθηκών , οι οποίες είναι:

- Σκοπός της έρευνας.
- Ποιο είναι το σημείο αναζήτησης και ποια η γεωλογία της περιοχής (υγρασία, καταλληλότητα εδάφους για διέλευση των γεωφυσικών οργάνων).
- Το αντικείμενο που ψάχνουμε (υλικό κατασκευής των αρχαίων στόχων που αναζητούμε, το μέγεθος και το βάθος τους).

Απαντώντας τα παραπάνω ερωτήματα με μεγάλη ακρίβεια εκτίμησης, είμαστε σε θέση να δούμε αν στην περιοχή μελέτης μας είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί γεωφυσική έρευνα, και ποιες γεωφυσικές μέθοδοι θα χρησιμοποιηθούν.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι που πραγματοποιήθηκαν στην περίπτωση μας ήταν η γεωηλεκτρική τομογραφία και το γεωραντάρ. Πρώτα πραγματοποιήθηκε η γεωηλεκτρική τομογραφία που έχει σκοπό την απεικόνιση του υπεδάφους με δισδιάστατη γεωηλεκτρική τομή. Αυτή η γεωηλεκτρική τομή μας βοηθάει να αποτυπωθεί με μεγάλη λεπτομέρεια το υπέδαφος και μέσω αυτής μπορούν να εντοπιστούν στρωματογραφικές ασυνέχειες και τοπικές δομές ανθρωπογενούς προέλευσης.

Τέλος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις γεωραντάρ, με σκοπό την καταγραφή περιθλάσεων από τοπικούς στόχους στην περίπτωση τοιχίων ή συνεχών ανακλάσεων σε περιπτώσεις ανθρωπογενών αποθέσεων, ενώ ανακλάσεις που είναι διακριτές ανά χρονικά διαστήματα υποδηλώνουν στρωματογραφικές ασυνέχειες.



Εικόνα 5.1 Απεικόνιση των γεωηλεκτρικών τομών (κόκκινες γραμμές) και των τομών του γεωραντάρ (μπλέ γραμμές) στην περιοχή έρευνας.

## 5.2. Ηλεκτρική Τομογραφία (Electrical Resistivity Tomography)

### 5.2.1. Γενικά

Η ηλεκτρική μέθοδος είναι η πιο αργή μέθοδος αλλά με περισσότερα ποιοτικά αποτελέσματα. Με την γεωηλεκτρική τομογραφία μπορούμε με ακρίβεια να αποτυπώσουμε την στρωματογραφία, να προσδιορίσουμε την τεκτονική και οποιαδήποτε χαρακτηριστικά από ανθρωπογενή ή φυσικά αίτια.

Στις μετρήσεις, χρησιμοποιήθηκε η διάταξη role – dipole και Schlumberger. Με τη διάταξη role – dipole επιτυγχάνεται ο εντοπισμός πλευρικών ανομοιογενειών επιτυγχάνοντας το μέγιστο βάθος διασκόπησης καθώς και η μορφολογία του υποβάθρου, ενώ με τη Schlumberger επιτυγχάνεται ο εντοπισμός οριζόντιων στρωμάτων και δομών με απότομη κλίση. Πραγματοποιήθηκαν 5 τομές γεωηλεκτρικής τομογραφίας με τις οποίες καλύφθηκε το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής έρευνας. Από αυτές οι 4 τομές είχαν συνολικό μήκος 143 m και μια που είχε συνολικό μήκος 141 m και χρησιμοποιήθηκαν 72 και 71 ηλεκτρόδια αντίστοιχα.

Τέλος, όλα τα ηλεκτρόδια και κατ' επέκταση οι τομές αποτυπώθηκαν με ακρίβεια χρησιμοποιώντας διαφορικό σύστημα GPS Leica. Αυτό παρέχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης δισδιάστατων γεωηλεκτρικών τομογραφιών με το υψόμετρο να είναι η κατακόρυφα συνιστώσα, αντί για το βάθος, έτσι ώστε να παρέχεται η δυνατότητα μέτρησης των στρωμάτων σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας.



*Εικόνα 5.2 Μεταφορά εξοπλισμού στη περιοχή έρευνας.*



*Εικόνα 5.3 Διαδικασία τοποθέτησης των γεωηλεκτρικών τομών.*

## 5.2.2. Εξοπλισμός

Το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις των τιμών της ηλεκτρικής αντίστασης είναι το SYSCALPro. Πρόκειται για διάταξη με ένα διαβιβάστη ρεύματος, ο οποίος στέλνει ρεύμα στο υπέδαφος μέσω των ηλεκτροδίων ρεύματος και στη συνέχεια μετράει την τάση που αναπτύσσεται στα ηλεκτρόδια δυναμικού. Ο μετρητής SYSCAL Pro αποτελείται από 10 ταυτόχρονα κανάλια λήψης δεδομένων, είναι 1000 V – 250 W – 2.5 A. Έχει τη δυνατότητα αυτόματου injection ranging και έχει την επιλογή αλλαγής των ηλεκτροδίων. Είναι ένα νέο σύστημα σχεδιασμένο για υψηλή ανάλυση στις μετρήσεις ειδικής αντίστασης και IP. Περιλαμβάνει αρκετές επιλογές δίνοντας τη δυνατότητα εργασίας σε κάθε είδους συνθήκες και πεδία. Δηλαδή έχει την προοπτική για εξερεύνηση υπογείων νερών, για γεωτεχνικές μελέτες των πολιτικών μηχανικών ή για διάφορες περιβαλλοντικές εφαρμογές.

Γενικά Χαρακτηριστικά του μηχανήματος:

- ❖ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν έως 4000 ηλεκτρόδια.
- ❖ Μνήμη flash Δεδομένων: πάνω από 21.000 αναγνώσεις.
- ❖ Τροφοδοσία: δύο εσωτερικές επαναφορτιζόμενες 12 V, 7.2 A μπαταρίες, προαιρετική εξωτερική μπαταρία 12V του αυτοκινήτου μπορεί να συνδέεται με το τμήμα πομπού.
- ❖ Θερμοκρασία λειτουργίας: -20 έως +70 ° C



Εικόνα 5.4 Όργανο μέτρησης: SYSCALPro.

### 5.2.3. Επεξεργασία Μετρήσεων

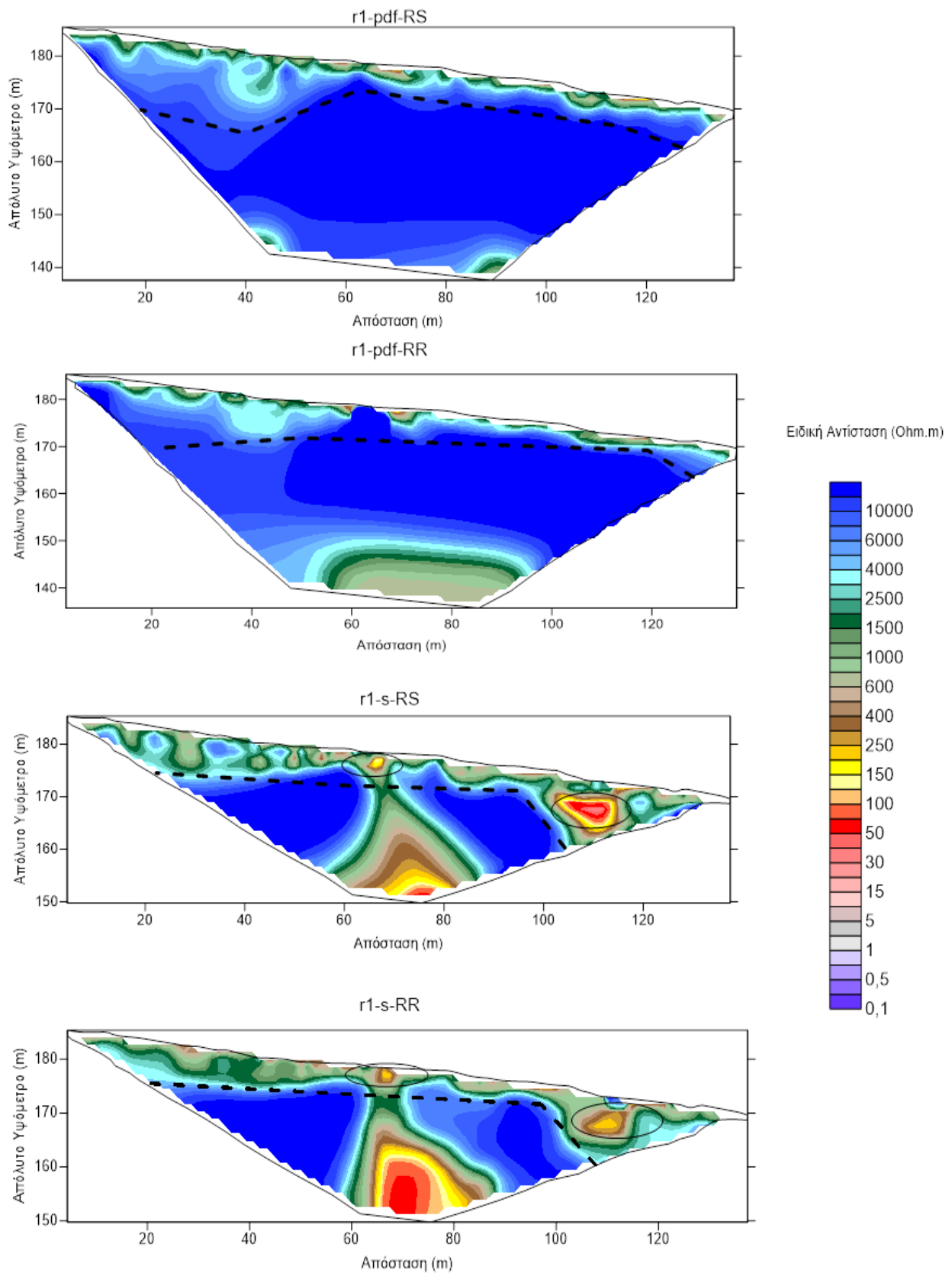
Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία λήψης των μετρήσεων στην ύπαιθρο, τότε έγινε η ανάλυση και η επεξεργασία των μετρήσεων, δηλαδή των Γεωηλεκτρικών Τομών.

Για την ερμηνεία των μετρήσεων της γεωηλεκτρικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Res2din (Loke and Barker,1996). Το πρόγραμμα αυτό μας δίνει τη δυνατότητα διαφόρων παραμέτρων ερμηνείας.

Τα βήματα επεξεργασίας είναι τα παρακάτω:

1. Επιλέχθηκε η ρύθμιση «use model refinement» ώστε να δημιουργηθούν μετρήσεις περισσότερες από αυτές που εισάγονται. Πιο συγκεκριμένα έχει την δυνατότητα να δημιουργεί μετρήσεις με το μισό της απόστασης των ηλεκτροδίων. Έτσι το τελικό μοντέλο πραγματοποιείται στις παράλληλες τομές 1 m και κατά συνέπεια διακρίνει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια το υπέδαφος.
2. Επιλέχθηκε για την δημιουργία του μοντέλου κατά την αντιστροφή των μετρήσεων (inversion) η εξής διαδικασία ερμηνείας:
  - **Robust-Robust(RR)**: Με αυτή την επιλογή έχουμε ερμηνεία μετρήσεων όπου οι παράμετροι του γεωηλεκτρικού μοντέλου μεταβάλλονται δίνοντας έμφαση σε απότομες αλλαγές στις τιμές της ειδικής αντίστασης και στην παρουσία θορύβου στις μετρήσεις.
  - **Robust-Standard**: Με αυτή την επιλογή έχουμε ερμηνεία μετρήσεων όπου οι παράμετροι του γεωηλεκτρικού μοντέλου μεταβάλλονται δίνοντας έμφαση στην παρουσία «θορύβου» στις μετρήσεις.

## 5.2.4. Αποτελέσματα Ηλεκτρικής Μεθόδου

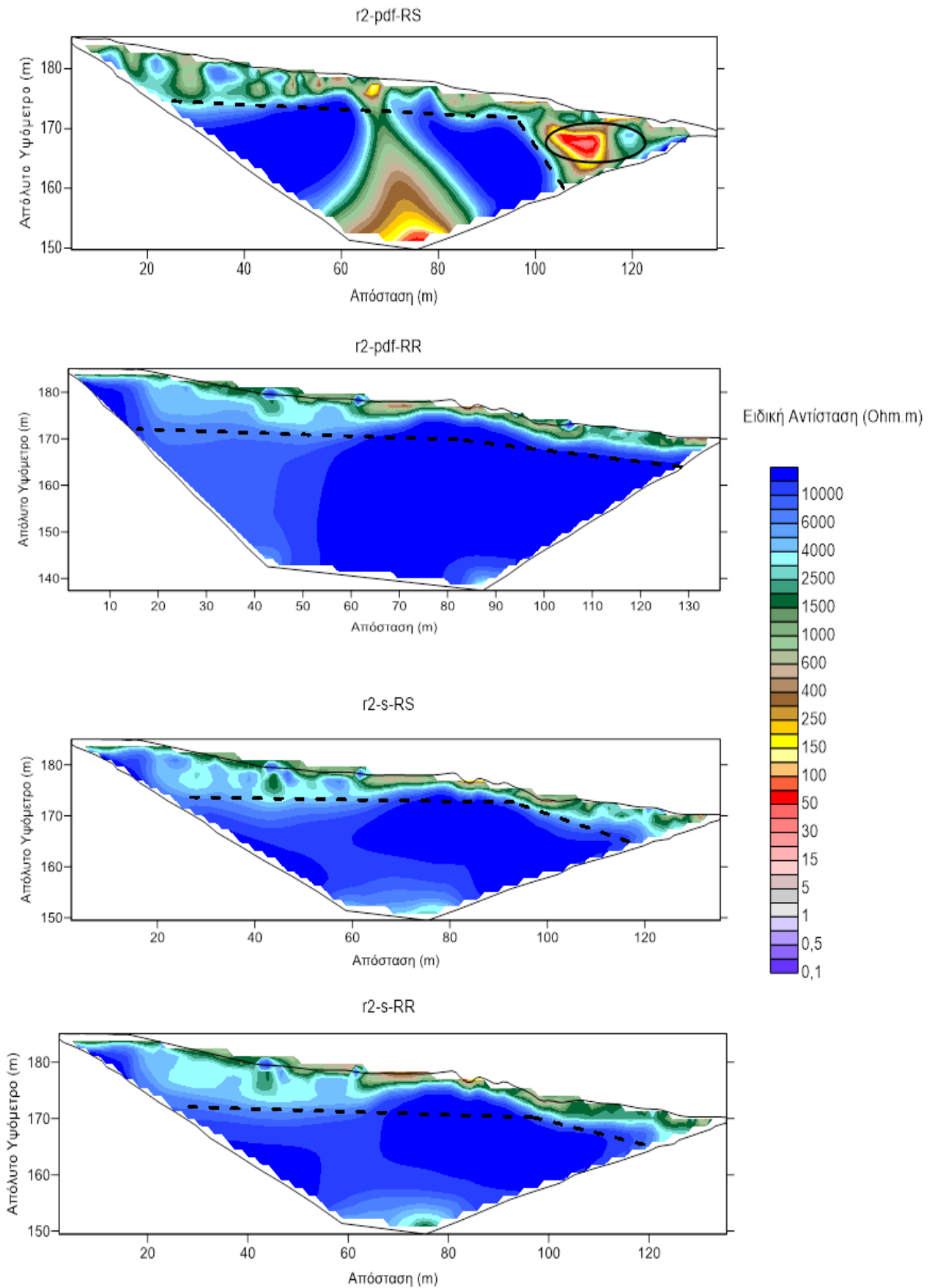


Εικόνα 5.5 Γεωηλεκτρική τομή KEF-R1. Οι δύο πρώτες είναι *role-dipole* ενώ οι τελευταίες *Schlumberger*.



### Σχόλια – Αποτελέσματα:

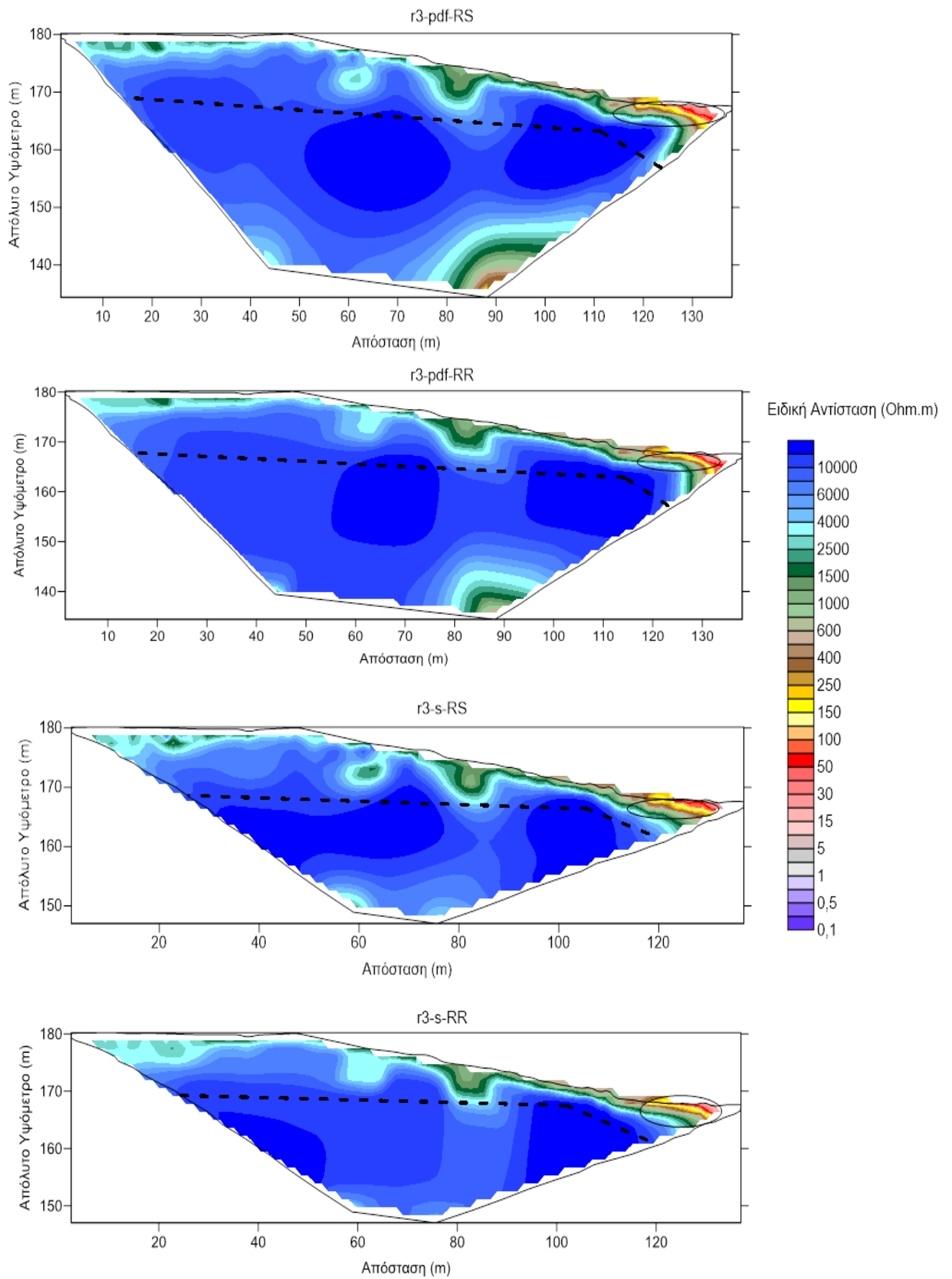
- Στις γεωηλεκτρικές τομές της Εικόνας 5.5 το βραχώδες υπόβαθρο θεωρείται ότι βρίσκεται κάτω από τη διακεκομμένη γραμμή, δηλαδή περίπου στα 170 m απόλυτο υψόμετρο, λόγω των πολύ υψηλών τιμών ειδικής αντίστασης. Πάνω από την ασυνέχεια που η διακεκομμένη γραμμή ορίζει πιθανότατα έχουμε κατακερματισμένο ασβεστόλιθο και χαλαρό υλικό.
- Στις γεωηλεκτρικές τομές pole – dipole δεν παρατηρείτε καμία μεγάλη μεταβολή στο βραχώδες υπόβαθρο, σε αντίθεση με τις γεωηλεκτρικές τομές της Schlumberger που μας δίνουν μία δομή χαμηλής σχετικά ειδικής αντίστασης που πιθανά να αφορά λάθος μετρήσεις.
- Στις γεωηλεκτρικές τομές Schlumberger Robust – Robust και Robust - Standard παρατηρούμε επιφανειακά μεγαλύτερο πάχος από ότι γεωηλεκτρικές τομές pole – dipole του επιφανειακού στρώματος που αποτελείται πιθανόν από λεπτόκοκκα αργιλικά υλικά ή μάργα (κόκκινα στρώματα), αργιλικό υλικό με ασβεστόλιθο (καφέ και κίτρινα στρώματα) και τέλος τα πράσινα στρώματα να είναι κατακερματισμένος ασβεστόλιθος.
- Τέλος, θα επιλέξουμε ως την τομή pole – dipole Robust –Standard ως την πιο λογική τομή για το συγκεκριμένο προφίλ.



Εικόνα 5.6 Γεωηλεκτρική τομή KEF-R2. Οι δύο πρώτες είναι *role-dipole* ενώ οι τελευταίες *Schlumberger*.

### Σχόλια – Αποτελέσματα:

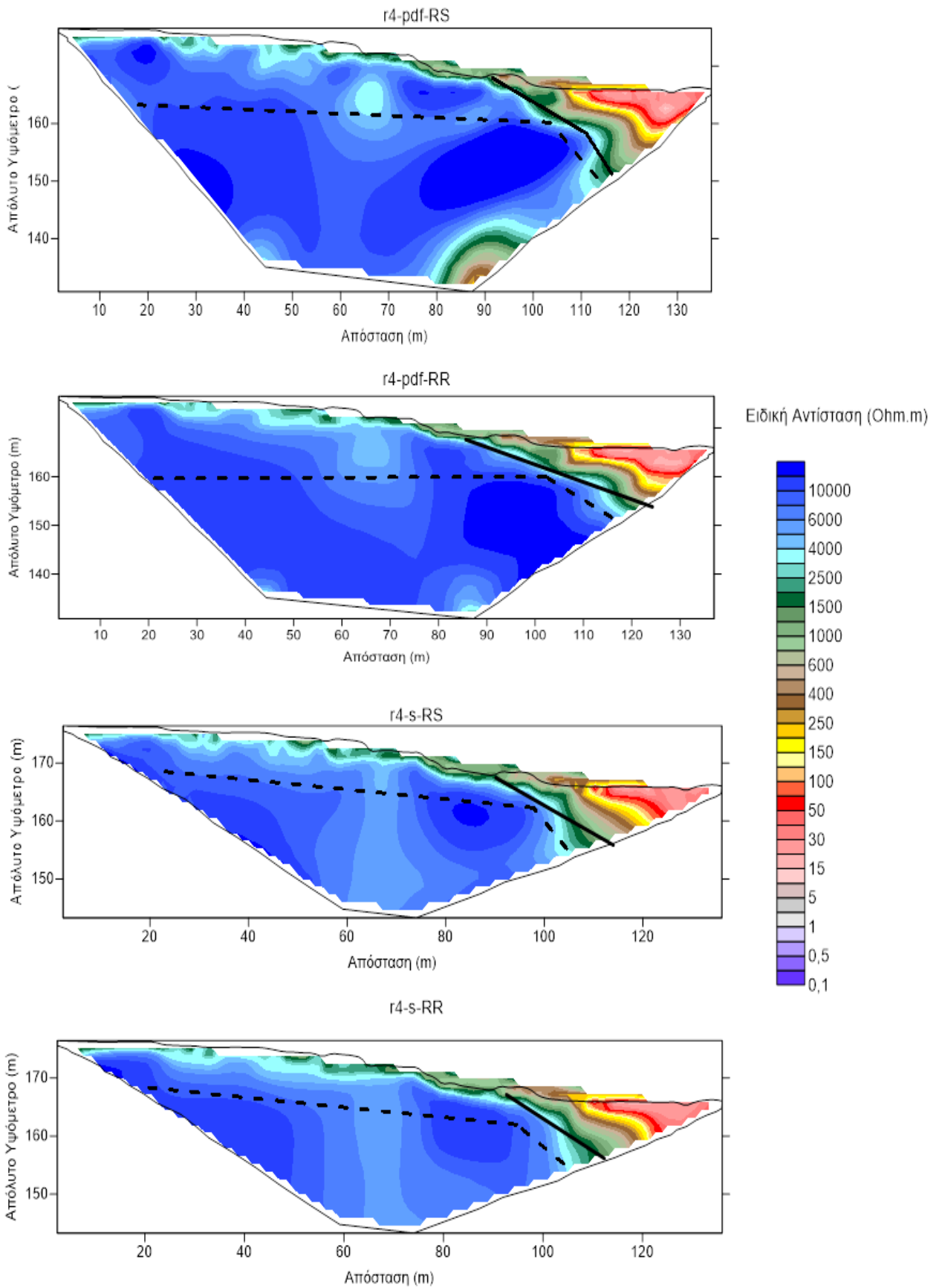
- Στις γεωηλεκτρικές τομές της Εικόνας 5.6 το βραχώδες υπόβαθρο θεωρείται ότι βρίσκεται κάτω από τη διακεκομμένη γραμμή, δηλαδή περίπου στα 170m απόλυτο υψόμετρο, λόγω των πολύ υψηλών τιμών ειδικής αντίστασης. Πάνω από την ασυνέχεια που η διακεκομμένη γραμμή ορίζει πιθανότατα έχουμε κατακερματισμένο ασβεστόλιθο και χαλαρό υλικό.
- Οι γεωηλεκτρικές τομές Schlumberger και η γεωηλεκτρική τομή pole - dipole Robust – Robust παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα και μας δίνουν μια ποιοτικότερη και ρεαλιστική απεικόνιση της στρωματογραφίας του υπεδάφους.
- Στο αριστερό (δυτικό) μέρος των γεωηλεκτρικών τομών ο μεν ασβεστόλιθος κάτω παρουσιάζει σχετικά μικρότερες τιμές ειδικής αντίστασης άρα είναι πιο καταπονημένος ενώ επιφανειακά έχουμε μεγαλύτερο πάχος κατακερματισμένου ασβεστόλιθου και χαλαρού υλικού.
- Θα επιλέξουμε ως την τομή Schlumberger Robust –Standard ως την πιο λογική τομή για το συγκεκριμένο προφίλ.



Εικόνα 5.7 Γεωηλεκτρική τομή KEF-R3. Οι δύο πρώτες είναι *role-dipole* ενώ οι τελευταίες *Schlumberger*.

### Σχόλια – Αποτελέσματα:

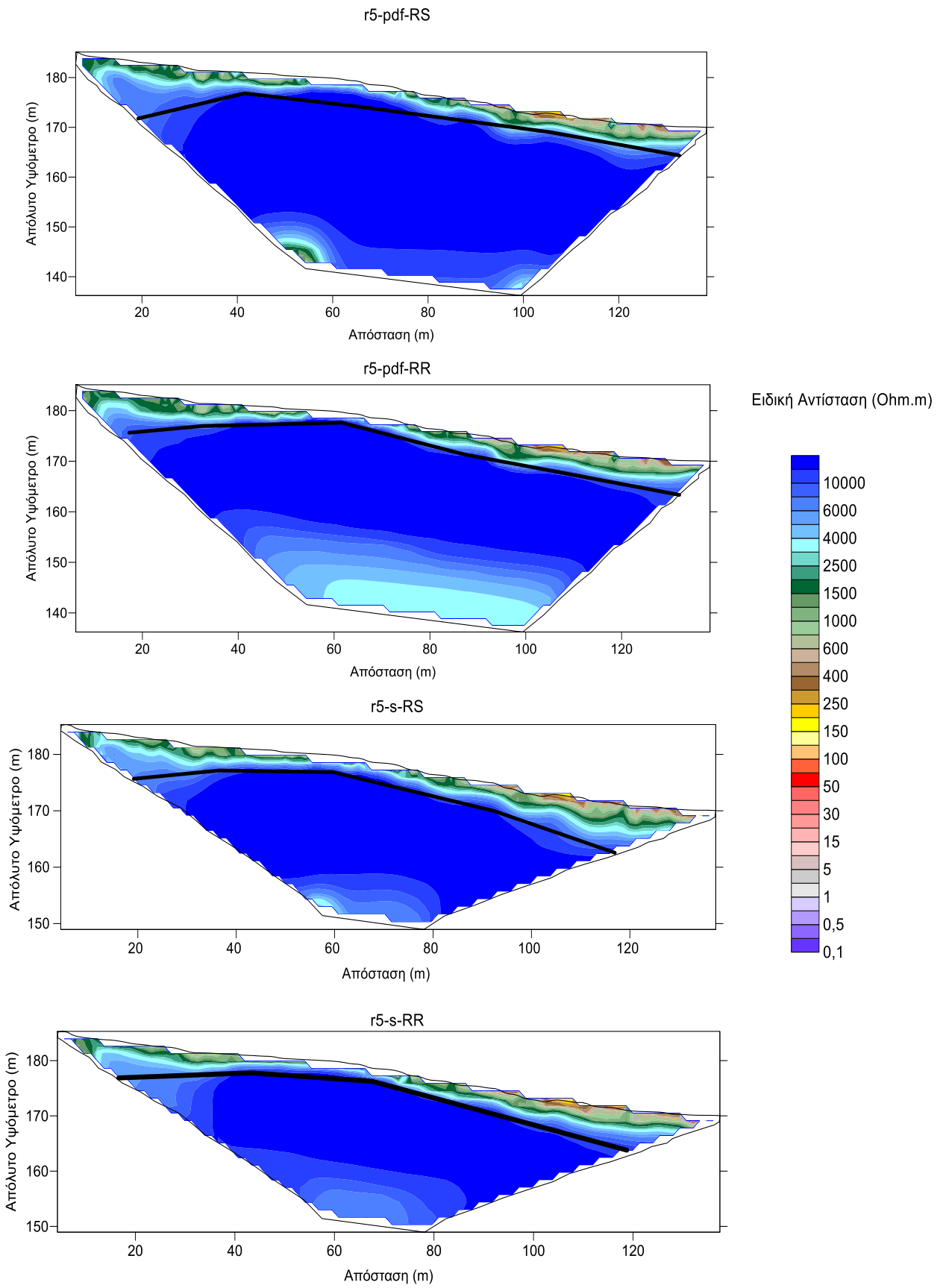
- Στις γεωηλεκτρικές τομές της Εικόνας 5.7 το βραχώδες υπόβαθρο θεωρείται ότι βρίσκεται κάτω από τη διακεκομμένη γραμμή, δηλαδή περίπου στα 170 m απόλυτο υψόμετρο, λόγω των πολύ υψηλών τιμών ειδικής αντίστασης. Πάνω από την ασυνέχεια που η διακεκομμένη γραμμή ορίζει πιθανότατα έχουμε κατακερματισμένο ασβεστόλιθο και χαλαρό υλικό.
- Όλες οι γεωηλεκτρικές τομές μας δίνουν όμοια αποτελέσματα αλλά οι τομές Schlumberger δίνουν μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση της στρωματογραφίας του υπεδάφους.
- Σε όλες τις γεωηλεκτρικές τομές παρατηρούνται στις αποστάσεις 65μ και 80μ τοπικές επιφανειακές δομές μικρότερης ειδικής αντίστασης πιθανά αποτέλεσμα διάβρωσης και πλήρωσης με αδρομερές υλικό.
- Ο ασβεστόλιθος κάτω παρουσιάζει ανομοιομορφία λόγω της σχετικής μεταβολής ειδικής αντίστασης του.
- Τέλος, παρατηρείτε ότι το μοντέλο Schlumberger Robust – Robust δίνει ποιοτικότερα αποτελέσματα στην συγκεκριμένη τομή, καθώς μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα για την στρωματογραφία αλλά και τις όποιες ξεκάθαρες ισχυρές τοπικές δομές.



Εικόνα 5.8 Γεωηλεκτρική τομή KEF-R4. Οι δύο πρώτες είναι role-dipole ενώ οι τελευταίες Schlumberger.

### Σχόλια – Αποτελέσματα:

- Στις γεωηλεκτρικές τομές της Εικόνας 5.8 το βραχώδες υπόβαθρο θεωρείται ότι βρίσκεται κάτω από τη διακεκομμένη γραμμή, δηλαδή περίπου στα 170 m απόλυτο υψόμετρο, λόγω των πολύ υψηλών τιμών ειδικής αντίστασης. Πάνω από την ασυνέχεια που η διακεκομμένη γραμμή ορίζει πιθανότατα έχουμε κατακερματισμένο ασβεστόλιθο και χαλαρό υλικό.
- Όλες οι γεωηλεκτρικές τομές μας δίνουν μια ποιοτικότερα αποτελέσματα αλλά οι τομές Schlumberger δίνουν μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση της στρωματογραφίας του υπεδάφους.
- Στις γεωηλεκτρικές τομές παρατηρείτε σε απόσταση μεγαλύτερη των 100 m μείωση του απόλυτου υψομέτρου του βραχώδους υποβάθρου περίπου στα 160 m. Παρατηρείτε επίσης ανατολικά της τομής (η περιοχή δεξιά της μαύρης γραμμής) εναλλαγή στρωμάτων από λεπτόκοκκα αργιλικά υλικά ή μάργα (κόκκινα στρώματα), αργιλικό υλικό με ασβεστόλιθο (καφέ και κίτρινα στρώματα) και τέλος τα πράσινα στρώματα είναι διαβρωμένος ασβεστόλιθος.
- Τέλος, παρατηρείτε ότι το μοντέλο Robust – Robust δίνει ποιοτικότερα αποτελέσματα στην συγκεκριμένη τομή, καθώς μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα για την στρωματογραφία αλλά και τις όποιες ξεκάθαρες ισχυρές τοπικές δομές.

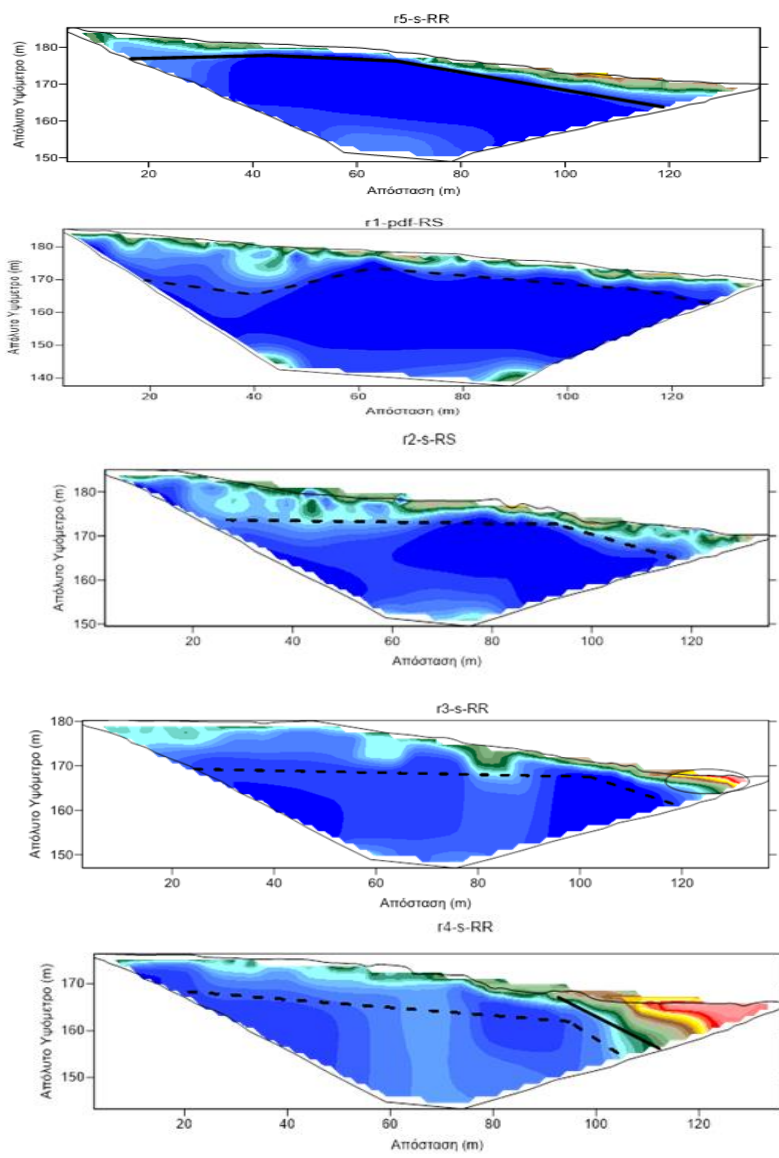
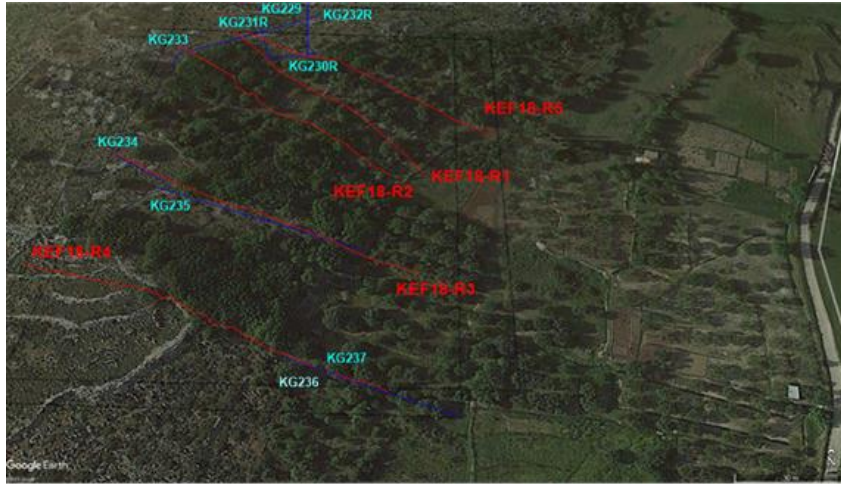


Εικόνα 5.9 Γεωηλεκτρική τομή KEF-R5. Οι δύο πρώτες είναι *role-dipole* ενώ οι τελευταίες *Schlumberger*.



#### Σχόλια – Αποτελέσματα:

- Στις γεωηλεκτρικές τομές της Εικόνας 5.9 το βραχώδες υπόβαθρο θεωρείται ότι βρίσκεται κάτω από τη συνεχή μαύρη γραμμή, δηλαδή περίπου στα 170 m απόλυτο υψόμετρο, λόγω των πολύ υψηλών τιμών ειδικής αντίστασης. Πάνω από την ασυνέχεια που η γραμμή ορίζει πιθανότατα έχουμε κατακερματισμένο ασβεστόλιθο και χαλαρό υλικό.
- Τέλος, παρατηρείτε ότι το μοντέλο Schlumberger Robust – Robust της Schlumberger δίνει ποιοτικότερα αποτελέσματα στην συγκεκριμένη τομή, καθώς μας δίνει καλύτερα αποτελέσματα για την στρωματογραφία αλλά και τις όποιες ξεκάθαρες ισχυρές τοπικές δομές.



Εικόνα 5.10 Ο χάρτης Google Earth με τα ERT προφίλ στην κορυφή και οι 5 ERT τομές που δίνουν τη πιο ρεαλιστική απεικόνιση του υπεδάφους με σειρά από Βορρά – Νότο όπως μετρήθηκαν στην περιοχή έρευνας.

### Σχόλα-Συμπεράσματα:

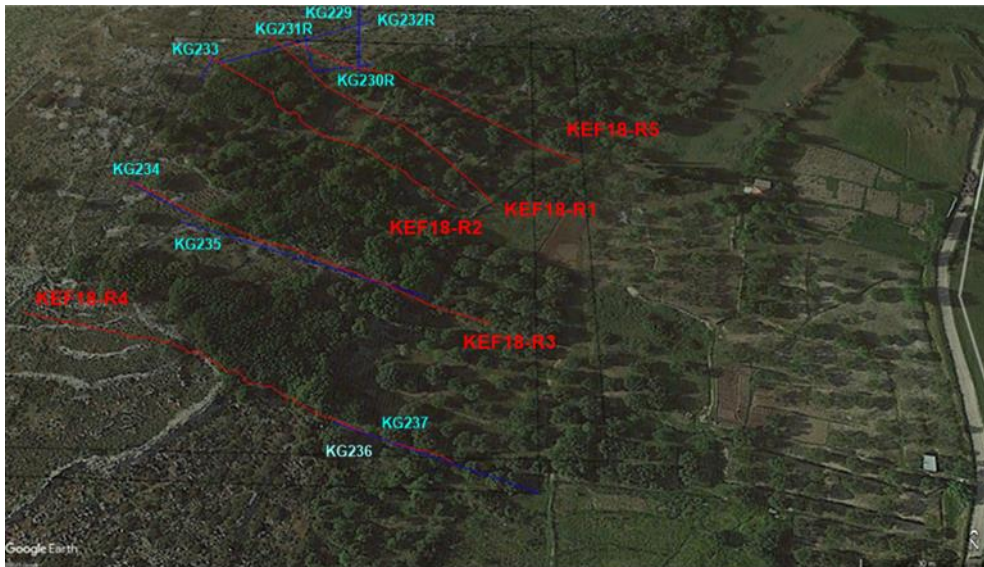
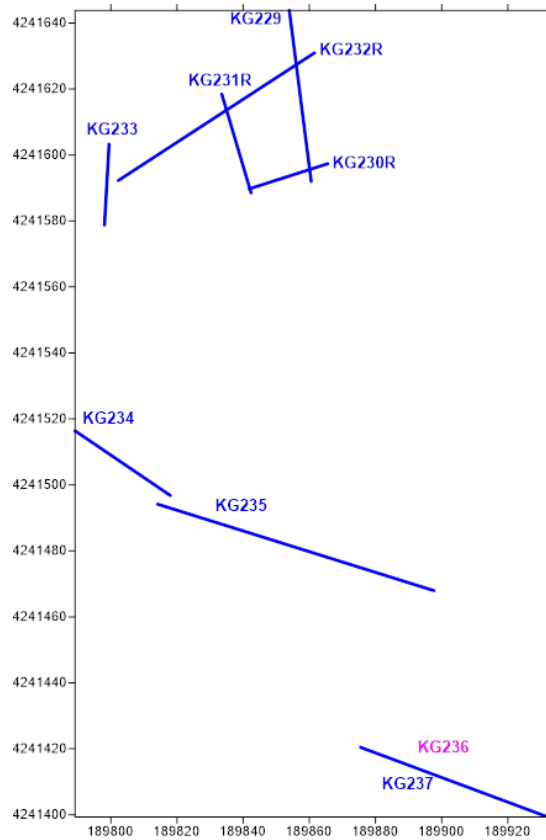
- Στα προφίλ ERT παρατηρείται ότι ο ασβεστόλιθος παρουσιάζει διαφορετικές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.
- Παρατηρείται ότι ο ασβεστόλιθος είναι συνεκτικός στο Βόρειο μέρος της περιοχής έρευνας λόγω των υψηλών τιμών ειδικής αντίστασης που παρουσιάζει ενώ στο Νότιο μέρος είναι καταπονημένος λόγω των χαμηλών τιμών της ειδικής αντίστασης.
- Στο δεξιό (ανατολικό) μέρος στις τομές r3 και r4 εμφανίζονται χαλαρά ιζήματα αργιλικής υφής, μάργες.
- Το πάχος του επιφανειακού στρώματος πάνω από τον ασβεστόλιθο παρουσιάζει χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης που είναι:  
κατακερματισμένος ασβεστόλιθος (για τιμές γύρω στα 400 Ohm.m)  
αδρομερές υλικό (για τιμές 400 - 250 Ohm.m) και χαλαρό υλικό (για τιμές μικρότερες των 100 Ohm.m).

## 5.3. Γεωραντάρ – GPR (Ground – Penetrating Radar)

### 5.3.1. Γενικά

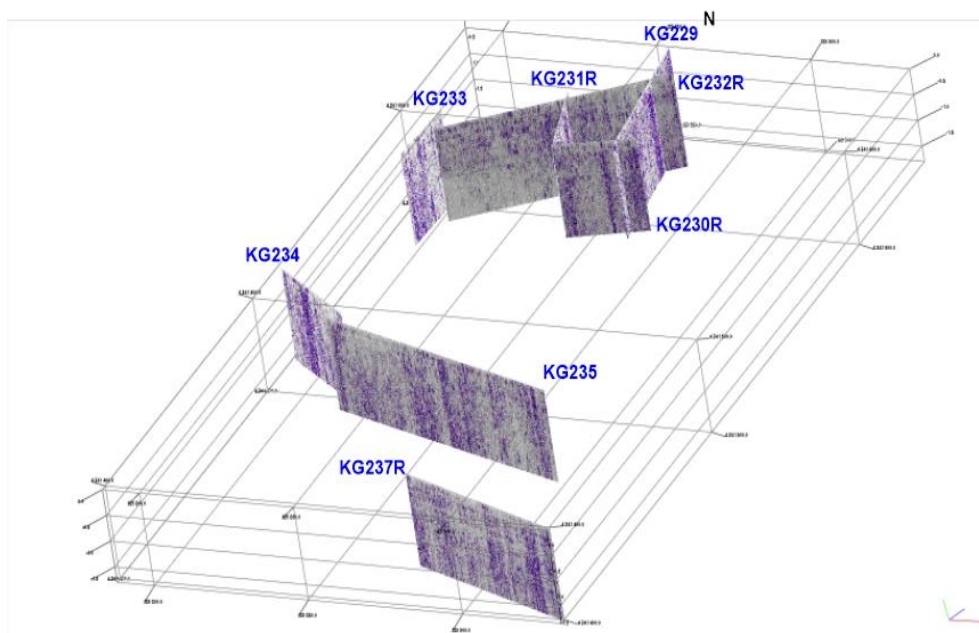
Τέλος η μέθοδος που εφαρμόστηκε στη περιοχή Κατωχώρι ήταν αυτή του γεωραντάρ ή GPR. Χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι η γρήγορη λήψη των αποτελεσμάτων καθώς και η αξιοπιστία της. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό πιθανών δομών, που υποδηλώνουν ανθρωπογενή παρέμβαση, ενός αρχαίου λιμανιού καθώς και ιζηματογενέσεις που θα είναι αποτελέσματα αυτών των δομών. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιούνται κυρίως για μια πρώτη εκτίμηση και στη συνέχεια γίνεται περαιτέρω ανάλυση στο εργαστήριο έτσι ώστε να ενισχυθούν τα σήματα και να παραλάβουμε πιο ευδιάκριτα αποτελέσματα.

Χρησιμοποιήθηκε μια κεραία των 500 MHz της MALA Geoscience και μία των 250 MHz και έγιναν 9 τομές συνολικά. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 8 τομές, με την κεραία των 500 MHz (KG229, KG230R, KG231R, KG232R, KG233, Kg 234, KG235 και KG237) και μία KG236 με την κεραία των 250MHz, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.11.

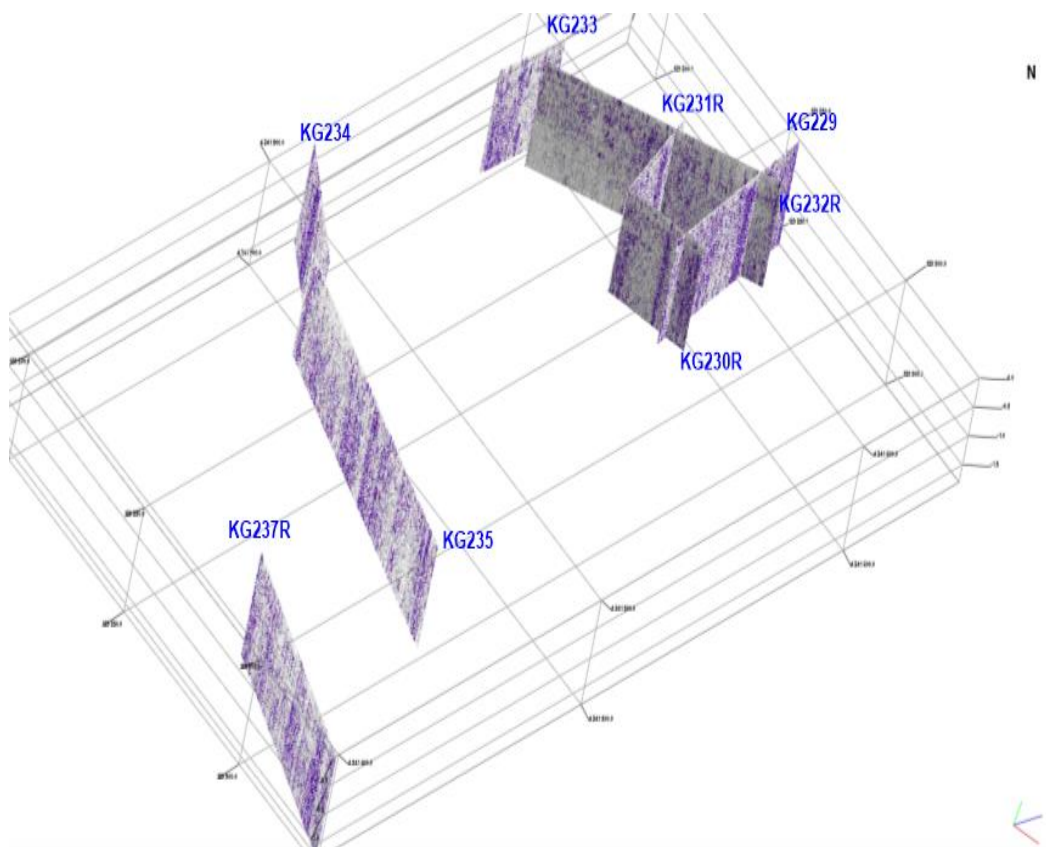


Εικόνα 5.11 Χάρτης που παρουσιάζει τα GPR Profiles στην περιοχή έρευνας Κατωχώρι (επάνω) και τα GPR Profiles με μπλε γραμμές στον χάρτη Google Earth (κάτω).

### 5.3.2. Τομές Γεωραντάρ



Εικόνα 5.120λα τα GPR προφίλ σε 3D απεικόνιση.



Εικόνα 5.130λα τα GPR προφίλ σε 3D απεικόνιση.

### Σχόλια – Συμπεράσματα:

- Η ερμηνεία των δεδομένων για όλα τα GPR προφίλ σε 3D απεικόνιση συμφωνεί με την ερμηνεία των μεμονωμένων ενοτήτων.
- Οι τοπικές δομές που υποδεικνύονται από πολλαπλές ανακλάσεις είναι σχεδόν κατακόρυφες, εκτός από την “KG231R” που κλίνει και η περιοχή χωρίς ανακλάσεις πιθανότατα να υποδεικνύει μια περιοχή από συμπαγή ασβεστόλιθο.
- Ορισμένα τοπικά χαρακτηριστικά που υποδεικνύονται και αυτά από πολλαπλές ανακλάσεις δείχνουν γραμμικότητα και τα περισσότερα από αυτά συσχετίζονται με στοίβες πετρών.

## 5.4. Συμπεράσματα και Σχόλια

### 5.4.1. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική διερευνάται το υπέδαφος στην περιοχή Κατωχώρι, στο νησί της Κεφαλονιάς, με γεωφυσικές μεθόδους. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας είναι να διερευνηθεί τόσο η στρωματογραφία της περιοχής όσο και το εάν υπάρχουν ανθρωπογενείς δομές ή να εντοπιστεί τέτοια κατανομή ιζημάτων που να έχει επηρεαστεί από αυτές τις πιθανές δομές. Η περιοχή έρευνας αποτελεί περιοχή πιθανού αρχαιολογικού ενδιαφέροντος για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν γρήγορες μη καταστρεπτικές μέθοδοι. Η επιλογή της Γεωφυσικής κρίνεται αναγκαία γιατί μπορεί να ανταποκριθεί στις παραπάνω απαιτήσεις.

Με την εφαρμογή των δύο γεωφυσικών μεθόδων και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτουν μια σειρά από συμπεράσματα τα οποία παρατίθενται στην συνέχεια:

- ❖ Οι μελέτες αντίστοιχων περιπτώσεων (case studies), οι οποίες αναζητήθηκαν στην διεθνή βιβλιογραφία βοήθησαν σημαντικά στην δική μας έρευνα. Πιο συγκεκριμένα, οι 4 εφαρμογές που μελετήθηκαν είχαν παρόμοια αντικείμενα με την γεωφυσική έρευνα που πραγματοποιήσαμε στην περιοχή Λιβάδι. Οι συγκεκριμένες εφαρμογές ακολούθησαν σχεδόν όμοιο σχεδιασμό γεωφυσικής έρευνας και κατάφεραν να φέρουν εις πέρας δύσκολα γεωφυσικά προβλήματα. Για το λόγο αυτό έγινε εκτενής μελέτη του σχεδιασμού των τεσσάρων αυτών εφαρμογών, δηλαδή με βάση το βάθος και με την ευκρίνεια την οποία θέλαμε να επιτύχουμε.
- ❖ Κάθε μια από τις γεωφυσικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την έρευνα, δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην προσπάθεια να γίνει εντοπισμός της στρωματογραφίας.
- ❖ Οι διατάξεις των οργάνων των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η βέλτιστη. Με τη κεραία των 250 MHz και 500MHz για τις μετρήσεις γεωραντάρ επιτεύχθηκε επιθυμητό βάθος με αξιόπιστα αποτελέσματα. Ενώ για τις γεωηλεκτρικές τομές επιλέχθηκε η διάταξη ηλεκτροδίων Pole–Dipole και Schlumberger που ήταν οι ενδεδειγμένες, για τον εντοπισμό των ανωμαλιών και του επιθυμητού βάθους.
- ❖ Η επεξεργασία των δεδομένων από τις μετρήσεις της κάθε μεθόδου, έγινε χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα προγράμματα: το Surfer της Golden Software, το RES2DINV της Geotomo Software, SeisImager. Για την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής μεθόδου με το πρόγραμμα RES2DINV, η διαδικασία ερμηνείας Robust-Robust έδωσε



τα καλύτερα αποτελέσματα με την οποία οι παράμετροι του γεωηλεκτρικού μοντέλου μεταβάλλονται δίνοντας έμφαση σε απότομες αλλαγές στις τιμές της ειδικής αντίστασης και στην παρουσία «θορύβου» στις μετρήσεις.

- ❖ Διαπιστώθηκε η δομή του υπεδάφους στο σχεδιασμένο βάθος διασκόπησης, με σημαντικές ανωμαλίες που παρουσιάζουν τη γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής και πιθανές ενδιαφέρουσες ενδείξεις τεκτονικής.
- ❖ Από την γεωηλεκτρική τομογραφία εντοπίστηκε η περιοχή όπου υπάρχει ασβεστόλιθος, που αυτός είναι καταπονημένος ενώ στο επιφανειακό στρώμα παρατηρήσαμε περιοχές κατακερματισμένου ασβεστολίθου αλλά και περιοχές με χαλαρά ιζήματα.
- ❖ Παρατηρείται ότι ο ασβεστόλιθος είναι συνεκτικός στο Βόρειο μέρος της περιοχής έρευνας λόγω των υψηλών τιμών ειδικής αντίστασης που παρουσιάζει ενώ στο Νότιο μέρος είναι καταπονημένος λόγω των χαμηλών τιμών της ειδικής αντίστασης.
- ❖ Στην περίπτωση της μεθόδου γεωραντάρ, εντοπίστηκαν κάποιες περιοχές που εμφανίζουν γραμμικότητα. Σε αυτές δημιουργούνται πολλαπλές ανακλάσεις που προκύπτουν από ομαδοποιημένο αδρομερές υλικό, καθώς και σχεδόν κατακόρυφες πολλαπλές ανακλάσεις που υποδεικνύουν μια περιοχή από συμπαγή ασβεστόλιθο.

## 5.4.2. Σχόλια

Με βάση τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας και σχετίζοντάς τα με τους στόχους που θέλαμε να επιτύχουμε, τις μεθόδους που ακολουθήσαμε και τη διαδικασία λήψης και επεξεργασίας των δεδομένων, προκύπτουν τα εξής σχόλια:

Ο σχεδιασμός της συγκεκριμένης γεωφυσικής έρευνας είναι ορθός και προτείνεται σε περιπτώσεις με παρόμοιο αντικείμενο έρευνας με την συγκεκριμένη γεωφυσική έρευνα. Αναλυτικότερα η επιλογή των συγκεκριμένων γεωφυσικών μεθόδων διασκόπησης του υπεδάφους, η σειρά εφαρμογής τους, οι διατάξεις τους και η επεξεργασία των δεδομένων, συνιστάται σε ανάλογες μελέτες. Για τον εντοπισμό της στρωματογραφίας η Εφαρμοσμένη Γεωφυσική είναι απαραίτητη καθώς παρέχει χρήσιμη πληροφορία με εφαρμογή μη καταστρεπτικών μεθόδων.

Σημαντική είναι επίσης η παράλληλη εφαρμογή όσο τον δυνατόν περισσότερων γεωφυσικών μεθόδων καθώς η μια μέθοδος επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της επόμενης και συνεπώς παρέχει παραπάνω ασφάλεια στην εξαγωγή συμπερασμάτων.

Η μέθοδος του γεωραντάρ μας εξασφαλίζει αποτελέσματα τόσο για την στρωματογραφία όσο και για πιθανές ανθρωπογενείς δομές παρόλα αυτά η μέθοδος αυτή λόγω της ύπαρξης αδρομερών υλικών σε μικρό βάθος και αργιλικών υλικών σε μεγαλύτερο βάθος δυσχεραίνει τον εντοπισμό ανθρωπογενών δομών και κατά συνέπεια δεν θα έδινε αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα εάν εφαρμόζονταν μόνη της.

Η μέθοδος της γεωηλεκτρικής τομογραφίας είναι πιο χρονοβόρα, επίπονη και ακριβή μέθοδος, όμως έχει ασύγκριτα πλεονεκτήματα από άποψη λεπτομέρειας. Επίσης, μας δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης των εντοπιζόμενων γεωλογικών σχηματισμών σε μεγάλα βάθη.

Τα αποτελέσματα των γεωφυσικών μεθόδων που πραγματοποιήθηκαν στη θέση Θήνια ήρθαν σε συμφωνία μεταξύ τους, καθώς και με την γεωλογική μελέτη που είχε προηγηθεί.

## Βιβλιογραφία

Αποστολόπουλος, Γ. (2008). Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αποστολόπουλος, Γ. (2013). Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Βαφείδης, Α. (2007). Εφαρμοσμένη Γεωφυσική II. (Τ. Μ. Πόρων, Επιμ.) Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.

Καπατσώρης, Ά. (2012). Τεκτονική Ανάλυση των δύο μεγάλων επωθήσεων στις περιοχές Όρμου Μύρτου και Κόλπου Αγίας Κυριακής στο Βόρειο τμήμα της νήσου Κεφαλονιάς, Πτυχιακή εργασία. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, pp.1-2.

Καριζώνης, Σ. (2017). Γεωφυσική έρευνα για τον εντοπισμό της στρωματογραφίας και της τεκτονικής στην περιοχή Λιβιάδι Νήσου Κεφαλληνίας, Διπλωματική Εργασία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΛΕΚΚΑΣ, Ε., ΔΑΝΑΜΟΣ, Γ., & ΜΑΥΡΙΚΑΣ, Γ. (2001, Σεπτέμβριος 11-17). Γεωλογική Δομή και Εξέλιξη των Νήσων Κεφαλονιάς και Ιθάκης. Δελτίο της Ελληνικής και Γεωλογικής Εταιρίας.

Λούης, Ι. Φ. (2004). Εισαγωγικά Μαθήματα στη Διερευνητική Γεωφυσική. Αθήνα: Ε.Κ.Π.Α.

Παπαδόπουλος, Τ. (2008). Εισαγωγή στη Γεωδυσική. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Παπαδοπούλου, Μ. (2015). Γεωφυσική Έρευνα στη Μονή Καισαριανής για την επίλυση γεωτεχνικών προβλημάτων. Πολυτεχνείο, Διπλωματική Εργασία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Σμυρνιού, Ε. (2016). Γεωφυσική έρευνα στον Πειραιά για τον εντοπισμό στρωματογραφίας και πιθανών ανθρωπογενών δομών. Διπλωματική εργασία. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Abbas M. (2016). Implementation of ground penetrating radar and electrical resistivity tomography for inspecting the Greco-Roman Necropolis at Kilo 6 of the Golden Mummies Valley, Bahariya Oasis, Egypt. Helwan: National Research Institute of Astronomy and Geophysics.

Bittlestone, R., Diggle , J., & Underhill, J. (2005). Odysseus Unbound: The Search for Homer's Ithaca.

Cheng, L. (2016). Integrated GPR and ERT data interpretation for bedrock identification at Cléricy, Québec, Canada. Québec: Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.

IRIS INSTRUMENTS, 2003: SYSCAL Pro. Manual Guide.

José-Paulino, F. (2017). Combined GPR and ERT exploratory geophysical survey of the Medieval Village of Pancorbo Castle (Burgos, Spain). Oviedo: University of Oviedo.

Kearey P., Brooks M., Hill I., 2002. An Introduction to Geophysical Exploration. Blackwell Science Ltd Editorial Offices.

Loke, D. M., 1999. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. Cangkat Minden Lorong.

Loke M.H. and Barker R.D., 1996. Rapid Least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting* 44, pp. 131 – 152.

Underhill, J. R. (1985). Neogene and Quaternary tectonics and sedimentation in Western Greece. Wales: University of Wales.