



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***«ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΠΗΓΑΔΙΑ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΣΤΑ ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ ΧΑΝΙΩΝ»***

ΣΑΜΟΥΗΛ ΣΑΜΟΥΗΛ

Εξεταστική επιτροπή

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής Π.Κ. (επιβλέπων)

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής Π.Κ.

Στειακάκης Εμμανουήλ, Επίκουρος Καθ. Π.Κ

ΧΑΝΙΑ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2015

Αφιερώνεται στους γονείς μου,
Παναγιώτη και Μαρία
και στην αδελφή μου Χριστίνα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένα μικρό κομμάτι ενός μεγαλύτερου έργου για την ανάπτυξη μεθοδολογίας συνδυασμένης γεωφυσικής έρευνας με σκοπό την ανίχνευση της υφαλμύρωσης σε παράκτιους υδροφορείς. Στο πλαίσιο του έργου αυτού, πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα στη περιοχή των Φαλασάρνων Χανίων, όπου ήταν εμφανής η διείσδυση υφάλμυρου νερού σε υπόγειους υδροφορείς. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει γεωφυσική διασκόπηση με τις ηλεκτρικές και σεισμικές μεθόδους.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο χαρακτηρισμός των γεωλογικών σχηματισμών και η ανίχνευση του φαινόμενου της υφαλμύρωσης στην περιοχή. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι η ηλεκτρική τομογραφία και η ηλεκτρική βυθοσκόπηση σε συνδυασμό με δεδομένα που πάρθηκαν από πηγάδια και γεωτρήσεις της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων (ΥΕΒ).

Μετά την περάτωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με στήριξαν και με βοήθησαν κατά την πραγματοποίησή της.

Αρχικά, οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Αντώνιο Βαφεΐδη, Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης για την ανάθεση της εργασίας και τη συνεχή επιστημονική υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους διδάκτορες της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Γιώργο Κρητικάκη και Hamdan Hamdan για την πολύτιμη βοήθεια και συμβουλές τους, όπως και για την άριστη συνεργασία μας.

Επίσης, ευχαριστώ τους φοιτητές του τέταρτου έτους της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων για τις μετρήσεις που πήραν στην περιοχή μελέτης, καθώς επίσης το φίλο και συμφοιτητή μου Δευκαλίωνα Παπαδόπουλο για τη συνεργασία μας κατά τη συγγραφή των διπλωματικών εργασιών μας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Εμμανουήλ Μανούτσογλου καθώς και το Επίκουρο Καθηγητή Εμμανουήλ Στειακάκη οι οποίοι συμμετέχουν ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν προσωπικής μου εκτίμησης και τοποθέτηση στο πλαίσιο του έργου αυτού. Σε κάθε περίπτωση διαφωνίες και κάθε τύπου κριτική και αξιολόγηση είναι αποδεκτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι γεωφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση του μετώπου υφαλμύρωσης. Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η πιο κατάλληλη για τον εντοπισμό των υφάλμυρων υπόγειων νερών. Στα πλαίσια γεωφυσικής διασκόπησης στην ευρύτερη περιοχή των Φαλάσαρνων Χανίων εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι της ηλεκτρικής τομογραφίας και της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας στο νότιο παράκτιο τμήμα της περιοχής των Φαλάσαρνων. Πιο συγκεκριμένα συλλέχθηκαν δεδομένα από τέσσερις γραμμές μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας συνολικού μήκους 1200 μέτρων και δύο ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις. Κατά την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας και βυθοσκόπησης χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά πακέτα RES2DINV και IPI2WIN για την απεικόνιση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους.

Οι γεωηλεκτρικές τομές συνδυάστηκαν με δεδομένα από πηγάδια και γεωτρήσεις, όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα νερού και η στάθμη νερού. Από την σύγκριση των γεωηλεκτρικών, γεωτρητικών και γεωλογικών δεδομένων προέκυψε ότι το φαινόμενο της υφαλμύρωσης των υπόγειων υδροφορέων είναι εκτεταμένο. Οι γεωηλεκτρικές τομές απεικόνισαν τις θέσεις όπου εμφανίζεται το φαινόμενο της υφαλμύρωσης στις οποίες παρατηρούνται πολύ μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($< 20 \Omega m$) καθώς και τους κυριότερους γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι αποτελούνται από αλουβιακά ριπίδια του Τεταρτογενούς καθώς και από μάργες του Νεογενούς.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υφαλμύρωση σε παράκτιους μη καρστικούς και καρστικούς υδροφορείς.....	6
1.2 Επίδραση των γεωτρήσεων και πηγαδιών στην υφαλμύρωση σε παράκτιους υδροφορείς.....	8

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης στην περιοχή μελέτης.....	11
2.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης.....	12
2.3 Υφαλμύρωση και γεωφυσική.....	15

3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή.....	19
3.2 Η ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομογενή και ισότροπη γη.....	20
3.3 Φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση.....	21
3.3.1 Διάταξη Wenner.....	22
3.3.2 Διάταξη Schlumberger.....	23
3.4 Γεωηλεκτρική Βυθοσκόπηση	
3.4.1 Εισαγωγή.....	24
3.4.2 Τρόπος Πραγματοποίησης Μετρήσεων στην Ηλεκτρική βυθοσκόπηση.....	24
3.4.3 Διαδικασία Ηλεκτρικής Βυθοσκόπησης.....	25
3.4.4 Προβλήματα στην Ερμηνεία των Γεωηλεκτρικών Βυθοσκοπήσεων	
3.4.4.1 Αρχή της Ισοδυναμίας.....	27
3.4.4.2 Αρχή της Επικάλυψης.....	27
3.5 Ηλεκτρική τομογραφία	
3.5.1 Εισαγωγή.....	28
3.5.2 Θεωρία ηλεκτρικής τομογραφίας.....	28
3.5.3 Τρόπος Πραγματοποίησης των Μετρήσεων.....	29
3.5.4 Αντιστροφή των Δεδομένων.....	32

4. ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΑ ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ

4.1 Εισαγωγή.....	33
4.2 Ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις.....	34
4.2.1 Βυθοσκόπηση O1B.....	35
4.2.2 Βυθοσκόπηση O2B1.....	37

4.2.3	Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων.....	40
4.3	Γεωηλεκτρικές τομογραφίες.....	41
4.3.1	Ηλεκτρική τομογραφία Line 8.....	42
4.3.2	Ηλεκτρική τομογραφία Line 9.....	46
4.3.3	Ηλεκτρική τομογραφία Line 11.....	50
4.3.4	Ηλεκτρική τομογραφία line 10.....	54
5.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΠΗΓΑΔΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ	
5.1	Συλλογή δεδομένων.....	58
5.2	Θέσεις των πηγαδιών και της γεώτρησης.....	58
5.3	Περιγραφή στοιχείων.....	60
6.	ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	
6.1	Εισαγωγή.....	70
6.2	Συνδυασμός της γεωηλεκτρικής τομογραφίας Line 9 με την βυθοσκόπηση 01B και πηγάδια Φ20, Φ19, Φ17.....	71
6.3	Συνδυασμός της γεωηλεκτρικής τομογραφίας Line 8 με την βυθοσκόπηση 02B1 και πηγάδια Φ13, Φ14, Φ15, Φ30.....	73
6.4	Συνδυασμός της γεωηλεκτρικής τομογραφίας Line 11 με την βυθοσκόπηση 02B1 και πηγάδι Φ30.....	75
6.5	Συνδυασμός της γεωηλεκτρικών τομογραφιών Line 8 και Line 11.....	77
6.6	Συνδυασμός της γεωηλεκτρικής τομογραφίας Line 10 με την γεώτρηση Γ5 και το πηγάδι Φ32.....	79
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	
7.1	Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και του φαινομένου υφαλμύρωσης της περιοχής.....	81
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	83
9.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
9.1	Παράρτημα Α.....	87
9.2	Παράρτημα Β.....	88
9.3	Παράρτημα Γ.....	104

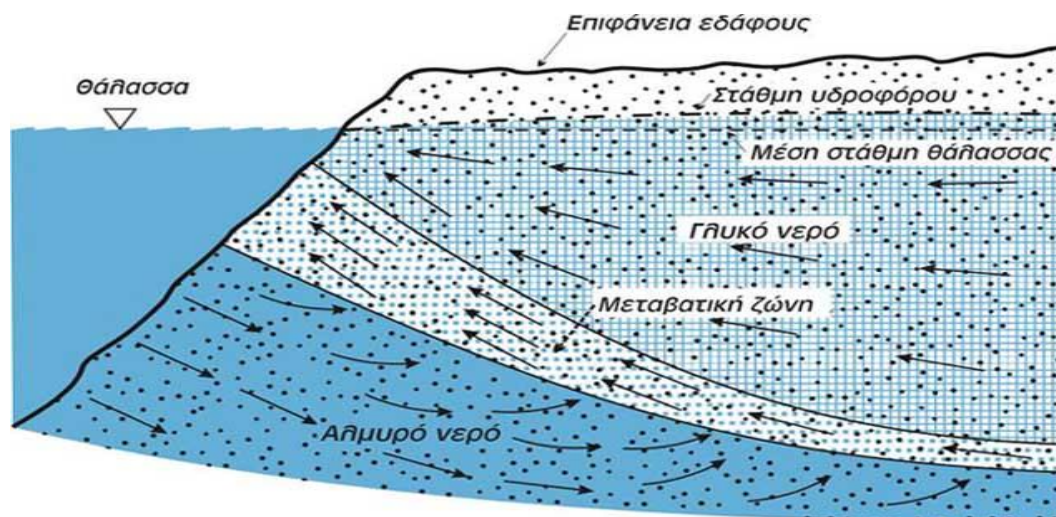
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υφαλμύρωση σε παράκτιους μη καρστικούς και καρστικούς υδροφορείς

Η εκμετάλλευση και διαχείριση των υπόγειων νερών παράκτιων υδροφορέων είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φαινόμενο της διείσδυσης της θάλασσας σε αυτούς, δηλαδή της εισροής θαλάσσιου νερού στο σύστημα των εν λόγω υδροφόρων. Η εισροή αυτή μπορεί να είναι μόνιμη ή συνηθέστερα μη μόνιμη ροή. Έτσι, το αλμυρό νερό αντικαθιστά ίσες ποσότητες γλυκού νερού. Αποτέλεσμα της διείσδυσης της θάλασσας είναι η υφαλμύρωση αυτών των υδροφόρων.

Με τον όρο «υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων» εννοείται ύπαρξη όχι μόνο γλυκού αλλά και υφάλμυρου νερού στους υδροφορείς αυτούς. (Νάνου-Γιάνναρου 2001).

Αιτία ύπαρξης της υφαλμύρωσης μπορεί να είναι γεωλογικοί παράγοντες, συνήθως όμως το φαινόμενο παρατηρείται κατά τη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους παράκτιους υδροφορείς. Η διείσδυση αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικούς παράγοντες (πχ ανύψωση της στάθμης της θάλασσας) όσο και σε ανθρωπογενείς (υπεραντλήσεις) ή πολλές φορές σε συνδυασμό των δύο.



Σχήμα 1.1 Διάγραμμα ροής γλυκού και αλμυρού νερού σε ελεύθερο παράκτιο υδροφόρο (Καλλέργης, 2001).

Στο **σχήμα 1.1** όπου φαίνεται η κίνηση του αλμυρού νερού προς τη στεριά, το πάχος της μεταβατικής ζώνης γλυκού – αλμυρού νερού και η ροή στις τρεις υπόγειες ζώνες (γλυκό, αλμυρό και ενδιάμεσης ποιότητας νερό). Το πάχος της μεταβατικής ζώνης (επιφάνεια) γίνεται μεγαλύτερο κοντά στην ακτή, εκεί όπου τα παλιρροιακά φαινόμενα είναι έντονα.

Στους παράκτιους καρστικοποιημένους υδροφορείς οι συνθήκες για την εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρινσης είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται με την παρουσία πετρωμάτων τα οποία είναι ευδιάλυτα και αφήνουν ελάχιστο υπόλειμμα με αποτέλεσμα να διευρύνονται τα διάκενα με τη διάλυση τους οπότε είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσω αυτών στο υπέδαφος. Τέτοια πετρώματα είναι οι εβαπορίτες, τα ανθρακικά, οι ηφαιστίτες, οι χαλαζίτες και οι υπερβασίτες.

Τα καρστικά πετρώματα που έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο είναι κυρίως τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, καρστικοποιημένος υδροφορέας ονομάζεται ένας όγκος διαλυτού πετρώματος στον οποίο η ροή γίνεται κυρίως μέσα στα κανάλια διάλυσης και των οποίων το μέγεθος και η κατεύθυνση είναι ακανόνιστη. Η ροή μπορεί να είναι γραμμική, τυρβώδης ή και να έχει τα χαρακτηριστικά ροής σε ανοιχτό αγωγό. Η κίνηση του υπόγειου νερού μπορεί να προκαλέσει διάλυση του ασβεστόλιθου γύρω από τα υπάρχοντα κενά, με αποτέλεσμα την αύξηση του ανοίγματος τους και της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφορέα.

Όσον αφορά τα ρήγματα, λόγω καρστικοποίησης αρκετά από αυτά μεγεθύνονται και μετατρέπονται σε κανάλια. Μέσω της διαδικασίας της διάλυσης, η δομή του καρστικοποιημένου υδροφορέα και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται τόσο χωρικά όσο και χρονικά, με συνέπεια οι υδροφορείς αυτοί να χαρακτηρίζονται από μεγάλη ετερογένεια και ανισοτροπία. Το κύριο χαρακτηριστικό των παράκτιων καρστικοποιημένων υδροφορέων είναι η στενή υδραυλική τους σχέση με το αλμυρό νερό και η άμεση επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό. Η εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρινσης είναι δυνατόν να προκληθεί από κανάλια που καταλήγουν στον πυθμένα της θάλασσας ακόμα και σε μεγάλη απόσταση από την ακτή. Η άμεση σύνδεση του καρστικού

συστήματος και της θάλασσας οδηγεί σε μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας των χλωριόντων στην υφάλμυρη ζώνη.

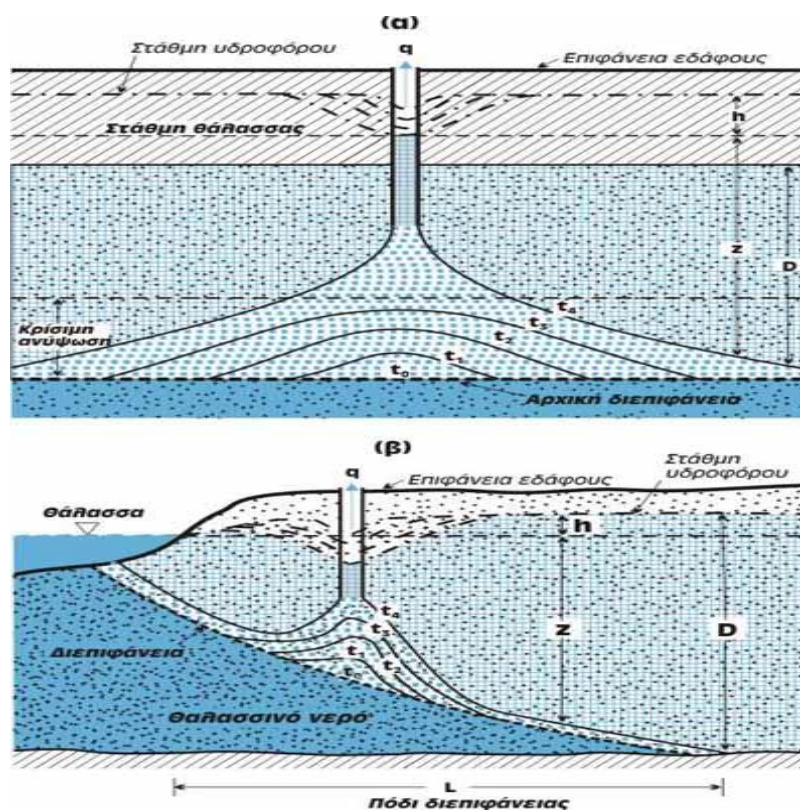
Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με μη καρστικούς υδροφορείς αφού στη περιοχή μελέτης μας δεν παρουσιάζονται φαινόμενα καρστικοποίησης.

1.2 Επίδραση των γεωτρήσεων και πηγαδιών στην υφαλμύρωση σε παράκτιους υδροφορείς.

Η υφαλμύρωση υπογείων υδροφορέων λόγω υπεράντλησης, αποτελεί ειδική περίπτωση υπόγειας ροής και διαφοροποιείται στους υδροφορείς, ανάλογα με τα υδρογεωλογικά τους χαρακτηριστικά. Οι έντονες αντλήσεις, στις παράκτιες περιοχές, ελαττώνουν ή αναστρέφουν τη φυσική υδραυλική βαθμίδα προς τη θάλασσα. Στο **σχήμα 1.2** παρατηρείται ένα υποκείμενο στρώμα αλμυρού νερού και αντλείται από μια υδρογεωτρηση που εισχωρεί μόνο στο ανώτερο μέρος του, το οποίο περιέχει γλυκό νερό. Τότε παρατηρείται μια τοπική ανύψωση της διεπιφάνειας. Με την συνεχιζόμενη άντληση, η επιφάνεια ανεβαίνει σε διαδοχικά υψηλότερα επίπεδα, μέχρι ενδεχόμενα να φτάσει στην υδρογεώτρηση. Το φαινόμενο αυτό της μείωσης ή της αναστροφής της υδραυλικής κλίσης αποτελεί τη διείσδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα, καταστρέφοντάς την πηγή αξιοποιήσιμου νερού. Κατά την εισροή της θάλασσας σε έναν υδροφορέα οι συνθήκες μόνιμης ροής στην πραγματικότητα δεν αποκαθίστανται εύκολα. Επομένως, το φαινόμενο αυτό είναι πολύ δύσκολα αναστρέψιμο, γι' αυτό και η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με την πρόβλεψη και ορθή διαχείριση των υδάτινων πόρων. (Καλλέργης 2001).

Το υπόγειο νερό είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος με την προϋπόθεση της διατήρησης της ισορροπίας μεταξύ εμπλουτισμού και εκφόρτισης σε ένα υδροφόρο σύστημα. Όταν οι απολήψιμες ποσότητες υπόγειου νερού υπερβούν την ικανότητα της ασφαλούς απόδοσης ενός παράκτιου υδροφόρου συστήματος, τότε παρατηρούνται φαινόμενα θαλάσσιας διείσδυσης, η οποία οδηγεί σταδιακά στην υφαλμύρωση του υπόγειου νερού, καθιστώντας το σε πολλές περιπτώσεις ακατάλληλο, όχι μόνο για την ανθρώπινη αλλά και για οποιαδήποτε άλλη χρήση. Ελάχιστη

ποσότητα θαλασσινού νερού, της τάξης του 1-2% μέσα στο γλυκό νερό, καθιστά το γλυκό νερό μη πόσιμο. (Υδρογεωλογικό συνέδριο - Αθήνα, 2008).



Σχήμα 1.2 Ανύψωση της διεπιφάνειας (α) σε υπό πίεση και (β) σε ελεύθερο υδροφόρο στρώμα. (Καλλέργης 2001)

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα υπόγεια νερά να γίνονται υφάλμυρα και να είναι πια ακατάλληλα για ύδρευση ή και άρδευση. Επιπλέον, η υφαλμύρωση αποτελεί αιτία για την υποβάθμιση της ποιότητας των εδαφών, όπου σε ακραίες περιπτώσεις η φυτική γη καθίσταται εντελώς άγονη. Πρόκειται για ένα σοβαρό πρόβλημα που απασχολεί τις εύφορες παραθαλάσσιες πεδινές περιοχές. Μάλιστα εκτιμάται ότι η κατάσταση επιδεινώνεται συνεχώς.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα Φαλάσαρνα βρίσκονται στο βορειοδυτικά άκρο του Νομού Χανίων και είναι μια από τις πλέον φημισμένες και περιζήτητες περιοχές για αναψυχή και κολύμπι, οικοτουριστικές διαδρομές και φυσιολατρικό τουρισμό. Επίσης παρουσιάζουν έντονο αρχαιολογικό, γεωφυσικό και οικολογικό ενδιαφέρον, αλλά αποτελούν και έναν από τους παραγωγικότερους παράκτιους κάμπους.



Εικόνες 2.1/2.2: Δορυφορικός χάρτης νομού Χανίων, όπου απεικονίζεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης (πηγή Google earth)

Η περιοχή των Φαλασάρνων χαρακτηρίζεται από ισχυρούς ανέμους όπως έντονος είναι και ο Θέρμο-μεσογειακός χαρακτήρας της, με ήπιους χειμώνες και αυξημένες βροχοπτώσεις¹. Από γεωλογικής άποψης η περιοχή χαρακτηρίζεται από πρόσφατους σχηματισμούς με ασύνδετες μάργες, άμμους, αργίλους και ασβεστόλιθους (32% της έκτασης), παλαιό-λιμναία και ποτάμια συστήματα ιζημάτων (21%) και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Σχετικές γεωφυσικές έρευνες αναφέρουν ότι η παράκτια ζώνη στον όρμο Λιβιάδι αποτελούσε πολύ παλιά, μια ρηχή λιμνοθάλασσα, ενώ η γύρω περιοχή είχε πλούσια υδροφορία.

Οι υπαίθριες καλλιέργειες και οι ελαιώνες στις χρήσεις γης καλύπτουν το 48% του συνολικού κάμπου, το 4% είναι οι θερμοκηπιακές μονάδες (περίπου 600 στρέμματα). Από αυτές 40 στρέμματα αφορούν τις υδροπονικές καλλιέργειες, ενώ το 47% της έκτασης καταλαμβάνεται από περιοχές κυρίως με φρυγανολιβαδική βλάστηση στην οποία βόσκουν συνήθως 1.500 περίπου αιγοπρόβατα. (Χανιώτικα Νέα, 2006)

Αφορμή για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας στη συγκεκριμένη περιοχή, αποτέλεσε η διαπίστωση παρουσίας υφάλμυρου νερού σε γεωτρήσεις.

2.1 Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης στην περιοχή μελέτης

Εδώ και μερικά χρόνια και στο πλαίσιο της απόπειρας περιορισμού της έντονης υφαλμύρωσης που αναπτύχθηκε στην περιοχή εξαιτίας της υπεράντλησης και των εντατικών δραστηριοτήτων του ανθρώπου, η περιοχή υπάγεται στα μέτρα προστασίας υδάτινου δυναμικού με απαγόρευση ανόρυξης νέων γεωτρήσεων και πηγαδιών. Άλλωστε, το σύστημα των πολυάριθμων υγροτοπικών εκτάσεων, που χαρακτήριζε κάποτε τα Φαλάσαρνα, έχει περιοριστεί σημαντικά. Ταυτόχρονα, η ολοένα μεγαλύτερη ανάγκη εξασφάλισης νερού για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της ευρύτερης περιοχής αυξάνει την απειλή για παραπέρα ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών.

Η τεράστια ανάπτυξη-μεταβολή της περιοχής έχει ξεκινήσει εδώ και αρκετά χρόνια, παρότι σύμφωνα με τοπικούς φορείς η περιοχή είναι έτοιμη να “εκραγεί” παραγωγικά και κοινωνικά. Ειδικότερα, σύμφωνα με

¹ 650-1.150 χιλιοστάμετρα είναι συνήθως οι υπερετήσιες διακυμάνσεις στο ύψος της βροχόπτωσης

στοιχεία των αρμόδιων αρχών τα τελευταία τριάντα χρόνια, η καλλιεργούμενη γη αυξήθηκε κατά 52%, ενώ μειώθηκαν αντίστοιχα (κατά 47%) οι εκτάσεις του φυσικού περιβάλλοντος. Εξάλλου, οι θερμοκηπιακές μονάδες από 13 το 1970, αυξήθηκαν σε περισσότερες από 270 μονάδες σήμερα, χωρίς εν τω μεταξύ να γίνει το παραμικρό για την προστασία του εδάφους, του αέρα, των ανθρώπων που εργάζονται εκεί, των προϊόντων αλλά και του νερού (υπόγειου, επιφανειακού και θαλασσινού).

2.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. ΦΥΛΛΟ ΚΑΣΤΕΛΛΙ (1:50000 – **Χάρτης 2.1**) χωρίζονται σε 5 ενότητες (τεταρτογενές, ζώνη Τρίπολης, μεσοζωικό, μεταμορφωμένο υπόβαθρο κρυσταλλοσχιστώδους Κρήτης και ζώνη Ωλονού Πίνδου). Ειδικότερα:

Τεταρτογενές

- **Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις και θίνες (Qal - θ).**
- **Αλουβιακές αποθέσεις (Qal₂):** Πηλοί, άργιλοι, άμμοι και χάλικες, χαλαρής συνοχής. Πάχος έως 3 m.
- **Πλευρικά κορήματα (Qal₁):** Σύγχρονα και παλαιά. Από ασβεστολιθικές και χαλαζιακές κυρίως λατύπες, κατά θέσεις χαλαρά συνδεδεμένες με αμμώδη πηλό ή/και ασύνδετες. Πάχος έως 2 m.
- **Νεώτερη θαλάσσια αναβαθμίδα (Qtm₁):** Συνάγματα και άμμοι σε υψόμετρο 3 m.
- **Νεώτερες ποτάμιες αναβαθμίδες (Qt₁):** Ασύνδετοι χάλικες και άμμοι.
- **Παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες (Qt):** Άργιλοι ερυθροκαστανόχρωες με υψηλό ποσοστό άμμου, ψηφίδων και κροκάλων από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και σπανιότερα από ψαμμίτη του φλύσχη.
- **Παλαιότερες θαλάσσιες αναβαθμίδες (Qt_{n1}):** Συνεκτικό (με λεπτοαμμούχο άργιλο) κροκαλοπαγές.

- **Κροκαλοπαγές (Qdl):** Ποτάμιο, με καλά στρογγυλεμένες κροκάλες και άμμους.
- **Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Mi, mk):** Συμπαγείς, υπόφαιοι έως υποκίτρινοι.
- **Μάργες (Mi, m):** Λευκές υποκίτρινες και στα βαθύτερα στρώματα πρασινόφαιες σε εναλλαγή με μαργαϊκούς ψαμμίτες και τράπεζες μαργαϊκών ασβεστόλιθων.
- **Κροκαλοπαγές (Mic):** Συμπαγείς κροκάλες κυρίως από μεσοζωικούς ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και κρυσταλλικά πετρώματα (σχιστόλιθους, χαλαζίτες κλπ) με φαιοκίτρινη μαργαϊκή συνδετική ύλη.

Ζώνη Τρίπολης

- **Φλύσχης (F_T):** Αργιλικοί σχιστόλιθοι και αργιλομιγείς ψαμμίτες σε εναλλασσόμενα στρώματα μικρού πάχους.
- **Ασβεστόλιθοι (e, k):** Μελανόφαιοι, συμπαγείς, λεπτοκρυσταλλικοί, απολιθωματοφόροι με έντονη οσμή βιτουμενίων. (HΩKAIΝO)
- **Ασβεστόλιθοι (Ks):** Λευκότεφροι έως κυανότεφροι συμπαγείς καρστικοποιημένοι. (ANΩ KPHΤΙΔΙΚO)

Μεσοζωικό

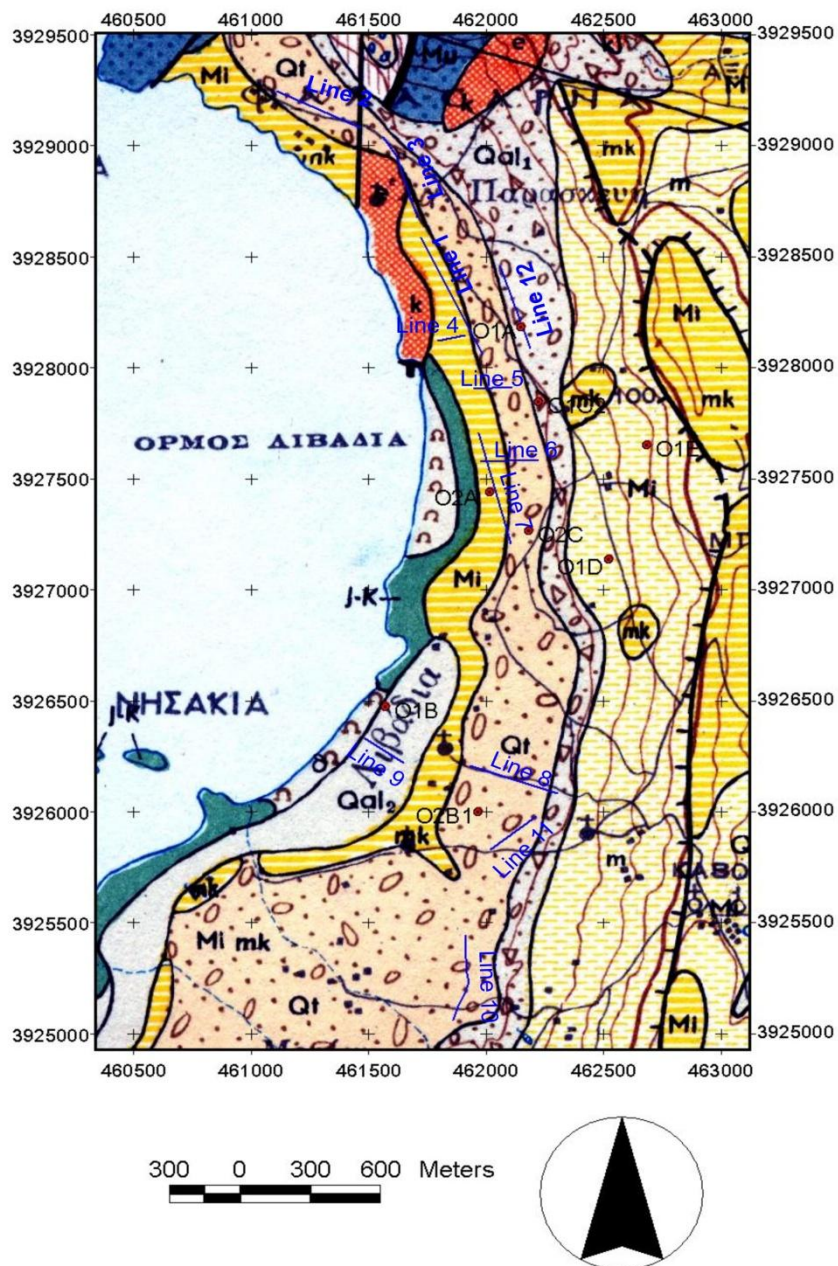
- **Ασβεστόλιθοι (Mu):** Λευκότεφροι έως υποκύανοι μικροκρυσταλλικοί. (MEΣOZΩIKO)

Μεταμορφωμένο υπόβαθρο κρυσταλλοσχιστώδους Κρήτης

- **Ασβεστόλιθοι (PCk):** (Μάρμαρα) ενίοτε δολομιτικοί, λευκότεφροι συμπαγείς σε τράπεζες και ασβεστόλιθοι κυανόφαιοι έως μελανότεφροι. Με εμφανίσεις σιδηρομεταλλευμάτων (Fe).
- **Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι (PCsh):** Λαμπυρίζοντες μαρμαρυγιακοί ή γραφιτικοί φυλλίτες και χλωριτικοί σχιστόλιθοι. Με εμφανίσεις σιδηρομετελλευμάτων (Fe).

Ζώνη ωλονού Πίνδου

- **Φλύσχης (fo):** Αργίλιοι σχιστόλιθοι και αργίλιοι ψαμμίτες σε εναλλασσόμενα στρώματα.
- **Ασβεστόλιθοι (j-k):** Λευκοί έως φαιοί, συμπαγείς συνήθως στιφροί ή/και μικροκρυσταλλικοί, κατά τόπους λιθογραφικοί και λεπτοπλακώδεις, σε τράπεζες με έντονη καρστική διάβρωση. (ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ)
- **Σχιστοκερατόλιθοι (jo):** Ερυθροκαστανόχρωοι, σπανιότερα μελανόφαιοι, συνιστάμενοι από εναλλασσόμενα στρώματα αργιλικών σχιστολίθων, κερατολίθων και κυανόφαιων λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων. (ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ)



Χάρτης 2.1 : Γεωλογικός χάρτης της περιοχής όπου απεικονίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί. (Ι.Γ.Μ.Ε, 1970).

2.3 Υφαλμύρωση και γεωφυσική

Οι γεωφυσικές μέθοδοι της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, κυρίως η ηλεκτρική βυθοσκόπηση και η ηλεκτρική τομογραφία, έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για τον εντοπισμό και τη

χαρτογράφηση των ζωνών ανάμειξης του θαλασσινού με το γλυκό νερό, καθώς οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των διαφόρων πετρωμάτων επηρεάζονται από την αλατότητα του νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, χρησιμοποιώντας τις συγκεκριμένες μεθόδους να είναι δυνατός ο διαχωρισμός των υδροφορέων που περιέχουν υφάλμυρο, από αυτούς με γλυκό νερό.

Ο Parkish και οι συνεργάτες του (1980) συνδύασαν ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις για την υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής Deccan Trap στην Ινδία με μεγάλη επιτυχία.

Ο Beer και οι συνεργάτες του (1981) με την εφαρμογή της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης στην περιοχή Omaruru της Ναμίμπιας, εντόπισαν υδροφόρο ορίζοντα σε αλλουβιακές προσχώσεις.

Οι Singh και Yadav (1982) στην περιοχή Allahabad της Ινδίας χρησιμοποιώντας ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις, εντόπισαν υδροφόρο ορίζοντα σε αλλουβιακές προσχώσεις.

Ο Haeni (1986) εφάρμοσε την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης στην περιοχή της Νέας Αγγλίας στις ΗΠΑ για τη χαρτογράφηση του υπόβαθρου, αλλά και το προσδιορισμό του βάθους και του πάχους των υπερκείμενων υδροφορέων με μεγάλη επιτυχία.

Οι Haxhiu και Uci (1994) χρησιμοποίησαν συνδυασμό ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων και επαγόμενης πολικότητας για τον εντοπισμό της ζώνης υφαλμύρωσης του υπογείου νερού στην περιοχή Lushnja της Αλβανίας.

Ο Mela (1997) προτείνει την χρήση της σεισμικής ανάκλασης υψηλής ανάλυσης για την εκτίμηση των υδρογεωλογικών παραμέτρων, όπως είναι η υδραυλική αγωγιμότητα και η ακτίνα συσχέτισης της (correlation length). Αξιόπιστη εκτίμηση τέτοιων παραμέτρων μπορεί να επιτευχθεί καθώς η σεισμική ταχύτητα των γεωλογικών σχηματισμών και το πορώδες συνδέονται άμεσα.

Ο Dahlin (1998) χρησιμοποίησε την ηλεκτρική τομογραφία για τον εντοπισμό υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και ανέφερε αποτελέσματα.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της ποιότητας του υπόγειου νερού και ο εντοπισμός του μετώπου ανάμειξης του με το θαλασσινό νερό στην παράκτια περιοχή Chennai της Ινδίας από τους Gnanasundar και Elango (1999) χρησιμοποιώντας την ηλεκτρική βυθοσκόπηση.

Ο Barker (1999) πρότεινε με έκθεση του την απεικόνιση των ορίων της εισβολής του θαλασσινού νερού με τη χρήση της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Οι Nassir και Nawawi (2000) απέδειξαν ότι η ηλεκτρική τομογραφία αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη χαρτογράφηση του μετώπου ανάμειξης αλμυρού και γλυκού νερού, καθώς με αυτήν την μέθοδο μπορεί να απεικονιστεί η πλευρική διαφοροποίηση αλατότητας των υπογείων νερών μέσα σε περατούς γεωλογικούς σχηματισμούς στην περιοχή Yan της Μαλαισίας.

Ο Imhof και οι συνεργάτες του (2001) χρησιμοποίησαν την ηλεκτρική βυθοσκόπηση για την οριοθέτηση των ζωνών υφαλμύρινσης στην περιοχή Colonia Loveras της Αργεντινής με εντυπωσιακά αποτελέσματα.

Ο Hamdan και οι συνεργάτες του (2002) αναζήτησαν τους υδροφόρους σχηματισμούς με την χρήση ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων και δημιούργησαν ένα τρισδιάστατο μοντέλο των γεωλογικών σχηματισμών και ιδιαίτερα αυτών που παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον για την περιοχή Κίσσαμου του νομού Χανίων. Ο εντοπισμός και διαχωρισμός των γεωλογικών σχηματισμών έγινε με γεωηλεκτρική διασκόπηση.

Οι Jarvis και Knight (2002) θεωρούν επίσης, ότι είναι εφικτή η εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης. Ανέπτυξαν μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό της σεισμικής ταχύτητας, σύμφωνα με την οποία γίνεται διαχωρισμός των γεωλογικών σχηματισμών σε διάφορους τύπους λιθολογίας και στη συνέχεια εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων των ιζηματογενών πετρωμάτων.

Ο Crane και οι συνεργάτες του (2002, 2005) ερεύνησαν τα υπόγεια νερά στο Τουρκμενιστάν με διάφορες γεωφυσικές μεθόδους. Με την εφαρμογή σεισμικών και ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων μπόρεσαν να εκτιμήσουν τα κορεσμένα σε νερό στρώματα του υπεδάφους καθώς και την αλατότητα τους.

Στην περιοχή Korin του Ιράν, ο Lashkaripour (2003) πραγματοποίησε ένα πυκνό δίκτυο ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων με σκοπό τον προσδιορισμό του πάχους, του βάθους και της θέσης του υδροφορέα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τον ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό της υδροφορίας της περιοχής για μελλοντική εκμετάλλευση.

Ο Balia και οι συνεργάτες του (2003) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης για τη χαρτογράφηση των γεωλογικών σχηματισμών του Τεταρτογενούς αλλά και του Παλαιοζωικού υπόβαθρου. Ο συνδυασμός σεισμικών και ηλεκτρικών μεθόδων προσδιόρισε με μεγάλη επιτυχία το μέτωπο γλυκού / θαλασσινού νερού, σε περιοχή της νοτιοανατολικής Σαρδηνίας.

Ο Singh και οι συνεργάτες του (2004) κατάφεραν να χαρτογραφήσουν το μέτωπο γλυκού και θαλασσινού νερού στην περιοχή της Orissa της Ινδίας, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης.

Επίσης, ο Casas και οι συνεργάτες του (2004) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας για να χαρτογραφήσουν το μέτωπο γλυκού και θαλασσινού νερού στη περιοχή Empordà της βορειοανατολικής Ισπανίας για περιβαλλοντικούς σκοπούς. Παλιότερα η μέθοδος της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης εφαρμοζόταν για τον ίδιο σκοπό, δεν ήταν δυνατόν όμως να εντοπίσει τις πλευρικές μεταβολές της αντίστασης του υπεδάφους. Ο σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να εκτιμηθεί η ακρίβεια και η αξιοπιστία της ηλεκτρικής τομογραφίας και η αποτελεσματικότητά της σε συνδυασμό με γεωχημικά δεδομένα σε παράκτιες περιοχές.

Το 2007 ο Hamdan και οι συνεργάτες του ερεύνησαν την ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων και αποτύπωσαν τους καρστικούς σχηματισμούς στο χωριό Στύλος του νομού Χανίων της Κρήτης.

Η παρούσα γεωηλεκτρική διασκόπηση πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα 31/5/2008 έως 08/6/2008 από τους φοιτητές του 6^{ου} εξαμήνου της Σχολής Μηχ.Ο.Π. στην περιοχή Φαλασάρνων στο πλαίσιο του προπτυχιακού μαθήματος “Ασκήσεις υπαίθρου IV”.

Η εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων πραγματοποιήθηκε σε τρία διαφορετικά τμήματα της ευρύτερης περιοχής μελέτης (βόρειο, κεντρικό και νότιο). Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι η ηλεκτρική βυθοσκόπηση και η ηλεκτρική τομογραφία. Σε συνδυασμό με στοιχεία για πηγάδια και γεωτρήσεις στην περιοχή από την Υπηρεσιών Εγγείων Βελτιώσεων (Υ.Ε.Β.) προσεγγίσθηκε καλύτερα το φαινόμενο της υπαλμύρωσης στην περιοχή.

3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Βασική επιδίωξη των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης.

α) μετρούμενο μέγεθος (ΔV με γνωστό το I)

β) αναγωγή σε φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ανάλογα με την διάταξη ηλεκτροδίων και

γ) κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο καθορισμός της τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, καθώς και η μελέτη των κατακόρυφων ή και πλευρικών μεταβολών αυτής στα επιφανειακά στρώματα.

Για την εφαρμογή των ηλεκτρικών γεωφυσικών μεθόδων απαιτείται αντίθεση στις ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ του υπό μελέτη γεωλογικού σχηματισμού και του ευρύτερου γεωλογικού περιβάλλοντος. Η χρήση των ηλεκτρικών μεθόδων καλύπτει ένα ευρύ φάσμα των γεωεπιστημών όπως είναι η κοιτασματολογία, η υδρογεωλογία, η τεχνική γεωλογία, η χαρτογράφηση γεωλογικών σχηματισμών αλλά και η αρχαιολογία.

Από τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης οι πιο σημαντικές είναι η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η μέθοδος των ισοδυναμικών γραμμών, η μέθοδος της επαγόμενης πολικότητας, η μέθοδος του φυσικού δυναμικού και η μέθοδος των τελλουρικών ρευμάτων.

Για τη συλλογή δεδομένων στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα η ηλεκτρική τομογραφία, η ηλεκτρική βυθοσκόπηση και ορισμένα δεδομένα από πηγάδια και μια γεώτρηση.

3.2 Η ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομογενή και ισότροπη γη

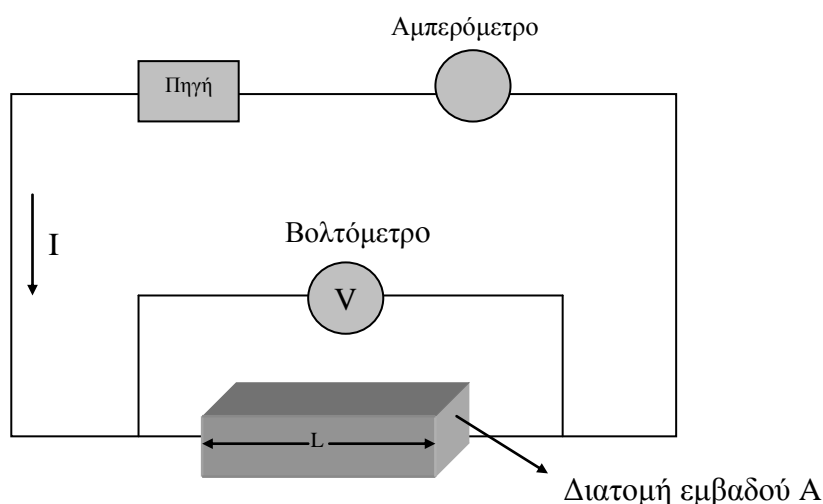
Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στο νόμο που διατύπωσε το 1827 ο George Simon Ohm (Robinson, 1988) σύμφωνα με τον οποίο αντίσταση R (σε Ohm) ενός αγωγού ονομάζεται ο σταθερός λόγος της διαφοράς δυναμικού ΔV (σε Volt) που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού, προς την ένταση I (σε Ampere) του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (3.1)$$

Η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος L του αγωγού, αντιστρόφως ανάλογη με το εμβαδόν A της διατομής του αγωγού, ενώ εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του (σχέση 3.2)

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3.2)$$

όπου ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού.



Σχήμα 3.1: Ηλεκτρικό κύκλωμα αποτελούμενο από πηγή και αγωγό σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου.

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι το $1 \Omega\text{m}$. Πολλές φορές όμως χρησιμοποιείται και η μονάδα $1\Omega\text{cm}$ ($1 \Omega\text{m} = 100 \Omega\text{cm}$). Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων είναι: α) η λιθολογία, β) το πορώδες (με την παρουσία ή όχι ρευστών σε αυτό), γ) η γεωλογική ηλικία και δ) η θερμοκρασία τους.

Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εδάφους συνδεδεμένα με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνεχούς ρεύματος δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, στο οποίο η γη αποτελεί τον αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος. Επειδή ο αέρας της ατμόσφαιρας είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, όλο το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο διαρρέεται στη γη.

3.3 Φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Για μη ομοιογενή μέσα, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση που υπολογίζεται, εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών, σταθμισμένο με την απόσταση που διαρρέει το ρεύμα το κάθε ένα από αυτά τα υλικά, και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a).

Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός για τον προσδιορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές διατάξεις ηλεκτροδίων, οι οποίες θα περιγραφούν παρακάτω.

3.3.1 Διάταξη Wenner

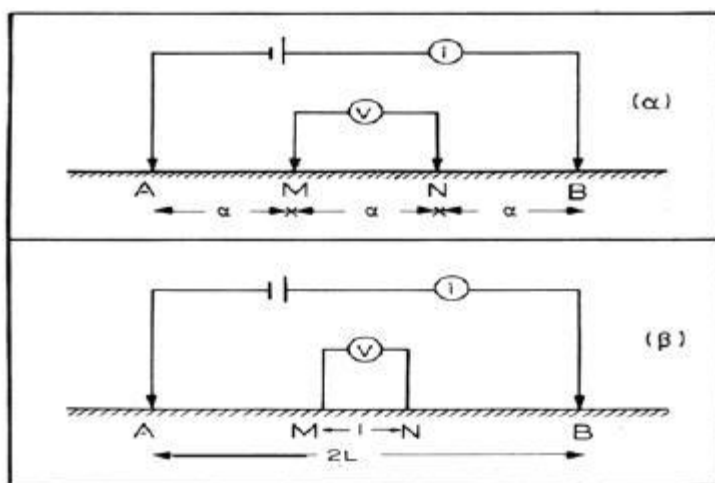
Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2.α.

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, δηλαδή κατακόρυφη ηλεκτρική διασκόπηση, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται κέντρο της βυθοσκόπησης.

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης το a παραμένει σταθερό και τα τέσσερα ηλεκτρόδια μεταφέρονται κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστοιχείται στο κέντρο της διάταξης.

Η διάταξη Wenner παρά τη γεωμετρική της απλότητα παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, αφού κατά την πραγματοποίηση κάθε νέας μέτρησης πρέπει να μετακινούνται όλα τα ηλεκτρόδια. Ο υπολογισμός της φαινόμενης ειδικής αντίστασης για αυτή τη διάταξη ηλεκτροδίων πραγματοποιείται σύμφωνα με την σχέση:

$$p_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 2\pi a \frac{V_{MN}}{I} \quad (3.3)$$



Σχήμα 3.2: Διατάξεις (α) Wenner και (β) Schlumberger (Παπαζάχος 1986).

3.3.2 Διάταξη Schlumberger

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης (σχήμα 3.2.β).

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Schlumberger για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά. Αντίθετα, η απόσταση για τα ηλεκτρόδια ρεύματος αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης.

Στην ηλεκτρική χαρτογράφηση τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται, ενώ η απόστασή τους παραμένει σταθερή όπως και στη διάταξη Wenner.

Η διάταξη Schlumberger είναι η πιο διαδεδομένη διάταξη για την διεξαγωγή ηλεκτρικής βυθοσκόπησης. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό χρόνο πραγματοποίησης των μετρήσεων, επειδή αντίθετα με τις άλλες διατάξεις απαιτεί μετακίνηση μόνο των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος κατά την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού παραμένουν σταθερά, γεγονός που βοηθάει επίσης στον περιορισμό των ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε πλευρικές μεταβολές των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων των πετρωμάτων. Ο υπολογισμός της φαινόμενης ειδικής αντίστασης για αυτή τη διάταξη ηλεκτροδίων πραγματοποιείται σύμφωνα με την σχέση:

$$P_{\alpha} = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{I} \quad (3.4)$$

3.4 Γεωηλεκτρική Βυθοσκόπηση

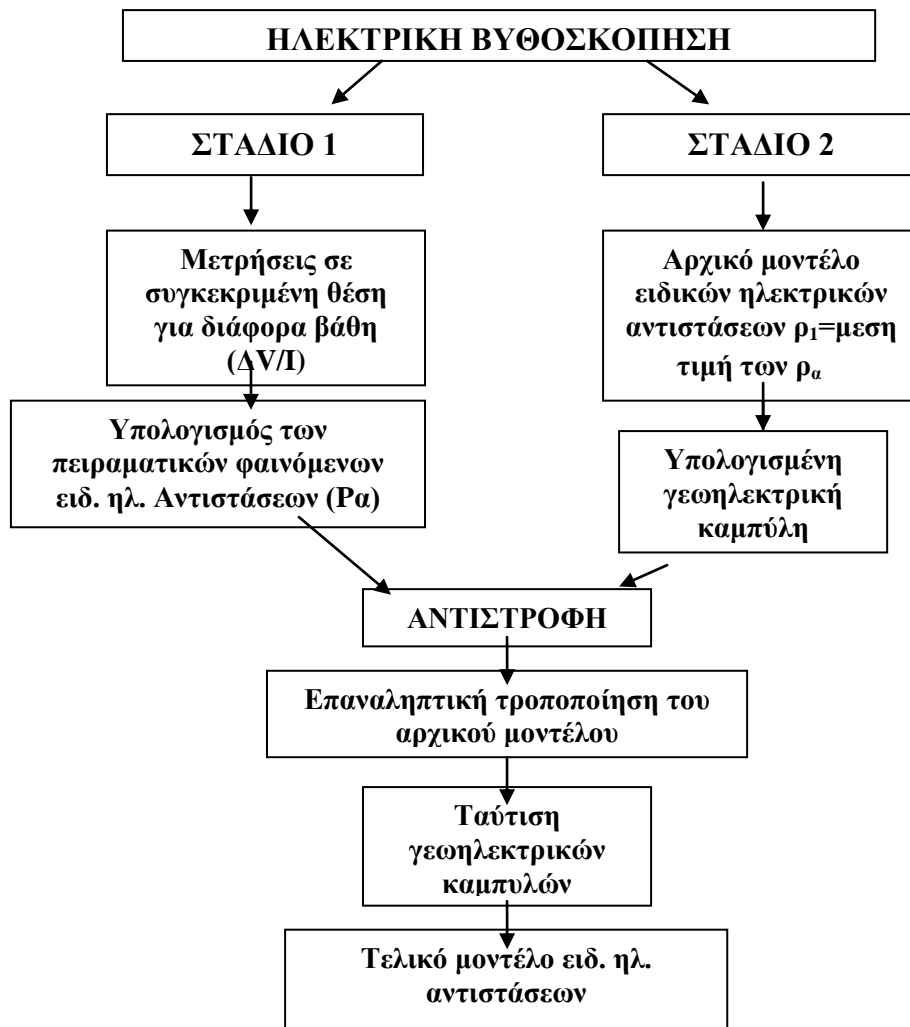
3.4.1 Εισαγωγή

Η γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση αποτελεί μέρος της ηλεκτρικής διασκόπησης, στην οποία μελετάται η μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος. Απεικονίζει δηλαδή την μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης κατά μία μόνο διάσταση, αυτή του βάθους, πράγμα το οποίο επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της με πληροφορίες από γεώτρηση. Στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση αντί του γεωφυσικού χάρτη, προκύπτει γράφημα της ειδικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους. Η βυθοσκόπηση είναι μία σχετικά γρήγορη και μικρού κόστους γεωηλεκτρική διασκόπηση η οποία επιτρέπει την εξαγωγή αξιόλογων συμπερασμάτων για την εναλλαγή των στρωμάτων με το βάθος.

3.4.2 Τρόπος Πραγματοποίησης Μετρήσεων στην Ηλεκτρική Βυθοσκόπηση

Η περιγραφή της γεωλογικής δομής του υπεδάφους κατά την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης, προκύπτει από τον υπολογισμό των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του πάχους ή/και του βάθους των γεωλογικών στρωμάτων.

Με τη γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση προσδιορίζεται η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση R_a σε σταθερό σημείο της επιφάνειας για διαδοχικά αυξανόμενες τιμές του γεωμετρικού συντελεστή K . Αυτό συμβαίνει αυξάνοντας συνεχώς την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Καθώς η διάταξη των ηλεκτροδίων απλώνεται, η ίδια ποσότητα ρεύματος διαρρέει μεγαλύτερα βάθη. Άρα, η ηλεκτρική αντίσταση των βαθύτερων γεωλογικών στρωμάτων επηρεάζει τη φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Ανάμεσα στις διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων, η διάταξη Wenner είναι η λιγότερο κατάλληλη για τις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις λόγω της μετακίνησης των τεσσάρων ηλεκτροδίων σε κάθε πρόσθετη μέτρηση. Αντίθετα στη διάταξη Schlumberger τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν στην ίδια θέση, και μόνο τα ηλεκτρόδια του ρεύματος μετακινούνται για κάθε επιπλέον μέτρηση.



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ροής της επεξεργασίας των δεδομένων της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης

3.4.3 Διαδικασία Ηλεκτρικής Βυθοσκόπησης

Η διαδικασία εκτέλεσης της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης αποτελείται από τα παρακάτω βήματα, αναφερόμενα με σειρά προτεραιότητας.

- Ορίζεται η ευθεία πάνω στην οποία θα γίνει η ανάπτυξη της γραμμής και η οποία πρέπει να τοποθετείται όσο το δυνατόν παράλληλα. Με αυτό τον τρόπο ελέγχεται η περιοχή μελέτης πριν να ξεκινήσει η βυθοσκόπηση για την αποφυγή προβλημάτων όπως η ύπαρξη χειμάρρων, φαραγγιών, λόφων, οικημάτων, φρακτών κ.α.

- Συνδέεται το όργανο με τα καλώδια, και τοποθετείται στο σημείο που θα αποτελεί το κέντρο της Βυθοσκόπησης (O), το οποίο επιλέγεται ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής.
- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του σημείου O σε απόσταση $MN/2$ και $AB/2$ αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων A, B με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματοποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος i και δυναμικού V . Στη συνέχεια τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος σε μεγαλύτερη απόσταση $AB/2$ και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.
- Η συνάρτηση μεταβολής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ_a) με το βάθος σχεδιάζεται σε διπλό λογαριθμικό χαρτί κατά τη λήψη των μετρήσεων έτσι ώστε να ελέγχεται με έναν ακόμη τρόπο η αξιοπιστία των μετρήσεων.
- Η διαφορά δυναμικού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης $AB/2$, ενώ όταν η τιμή προσεγγίζει το 0,1 mV, η μέτρηση θεωρείται μη αξιόπιστη. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται το μήκος του $MN/2$ και για το ίδιο $AB/2$ λαμβάνεται διπλή μέτρηση.
- Το μέγιστο μήκος της ανάπτυξης των ηλεκτροδίων ρεύματος καθορίζεται από το αν έχει εντοπιστεί γεωηλεκτρικά το πέτρωμα που έχει ως στόχο η βυθοσκόπηση. Η κατάσταση αυτή διαπιστώνεται από την ανοδική ή την καθοδική πορεία της καμπύλης.
- Η απόσταση του ημιαναπτύγματος $AB/2$ και οι μετρούμενες τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταγράφονται σε ειδικά διαμορφωμένα έντυπα με σκοπό τη μετέπειτα επεξεργασία τους

3.4.4 Προβλήματα στην Ερμηνεία των Γεωηλεκτρικών Βυθοσκοπήσεων

Κατά την ερμηνεία των γεωηλεκτρικών δεδομένων παρουσιάζονται κάποια προβλήματα όπως η αρχή της ισοδυναμίας και η αρχή της επικάλυψης.

Η αρχή της ισοδυναμίας παρουσιάζεται όταν ένα ενδιάμεσο στρώμα εμφανίζει ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερη ή μικρότερη σε σχέση με το υποκείμενο και υπερκείμενο του στρώμα

Η αρχή της επικάλυψης αναφέρεται σε στρώμα που έχει μικρό πάχος και η φαινόμενη ειδική αντίσταση αυτού είναι ενδιάμεση των στρωμάτων που το περικλείουν. Το ενδιάμεσο στρώμα επιδρά ελάχιστα στην καμπύλη της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προκύπτει και συνεπώς δεν είναι εύκολη η αναγνώρισή του με τη μέθοδο της γεωηλεκτρικής βυθοσκοπησης.

3.5 Ηλεκτρική τομογραφία

3.5.1 Εισαγωγή

Με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας επιτυγχάνεται η λεπτομερής απεικόνιση του υπεδάφους καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Ο όρος τομογραφία παράγεται από τη λέξη «τομή» και σημαίνει απεικόνιση τομής των γεωλογικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Στην ηλεκτρική τομογραφία απεικονίζεται η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος -συνήθως- σε οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση. Ευθύ πρόβλημα στη μέθοδο μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζουμε τον υπολογισμό της διαφοράς δυναμικού και εν συνεχεία της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από ήδη γνωστές ηλεκτρικές αντιστάσεις. Η εύρεση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι δυνατή με τους αλγόριθμους αντιστροφής.

3.5.2 Θεωρία

Με την ηλεκτρική τομογραφία επιδιώκεται ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους, δηλαδή η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

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

Η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από τις ιδιότητες του πετρώματος όπως:

- α) η ορυκτολογική του σύσταση
- β) το πορώδες, η φύση και η θερμοκρασία των περιεχόμενων ρευστών
- γ) η κατάσταση ρηγμάτωσης του
- δ) το πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων.

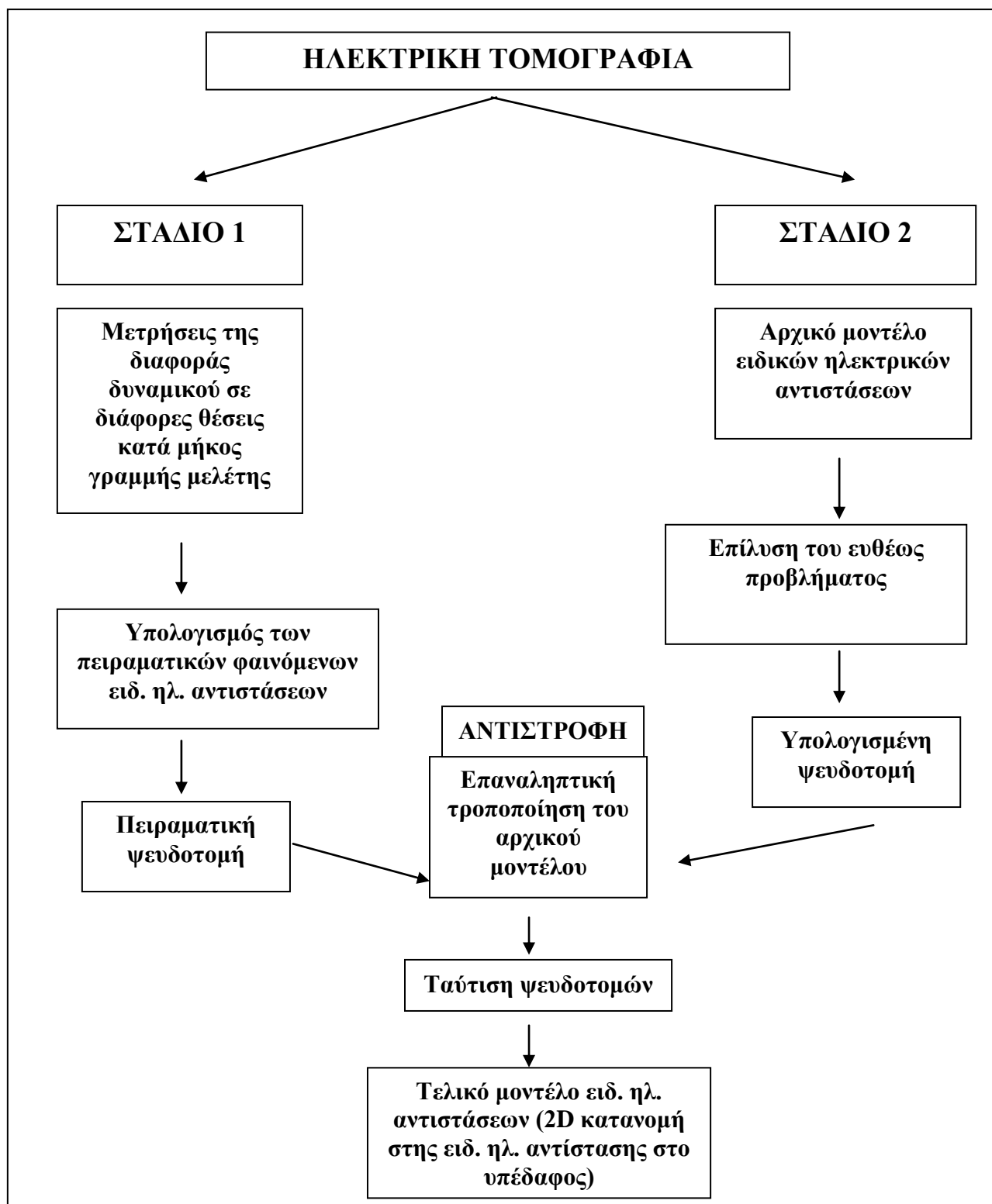
3.5.3 Τρόπος Πραγματοποίησης των Μετρήσεων

Στην παρούσα εργασία οι μετρήσεις για τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τις διατάξεις Wenner – Schlumberger και διπόλου-διπόλου. Η διάταξη Wenner – Schlumberger αποτελεί ένα συνδυασμό των δύο διατάξεων, κατά τον οποίο η διάταξη των ηλεκτροδίων δυναμικού και ρεύματος για την πρώτη μέτρηση πραγματοποιείται σύμφωνα με τη διάταξη Wenner. Εν συνεχεία, η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού παραμένει σταθερή από το κέντρο της διάταξης και μεταβάλλεται η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος, πάντα συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης (τρόπος πραγματοποίησης μετρήσεων με τη διάταξη Schlumberger). Στη διάταξη αυτή για τον υπολογισμό της φαινόμενης αντίστασης που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερα βάθη, και χρησιμοποιώντας την διάταξη Wenner αυξάνεται σταδιακά η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων σε 2α, 3α και ούτω καθεξής.

Αντίθετα, για την επίτευξη διέλευσης ρεύματος σε μεγαλύτερα βάθη χρησιμοποιώντας την διάταξη Schlumberger αυξάνεται η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος.

Στο **Σχήμα 3.4** περιγράφεται συνοπτικά το διάγραμμα ροής της επεξεργασίας των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας.

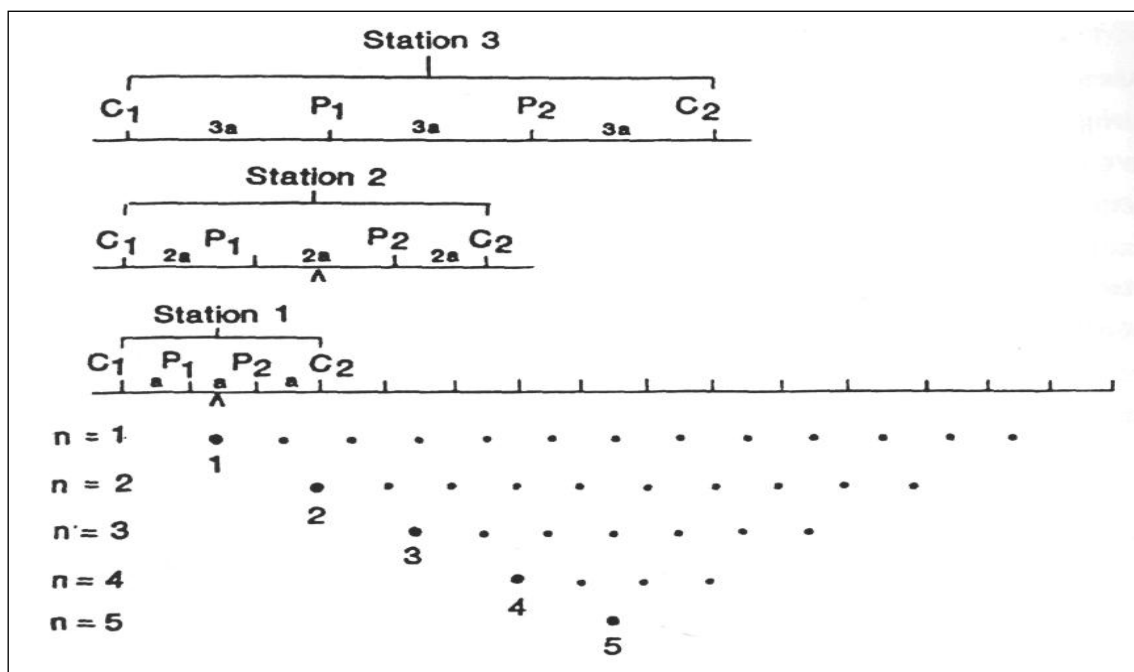
Στην ψευδοτομή (pseudosection) οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι σχεδιασμένες σε μία τομή κατά τέτοιο τρόπο όπως οι πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις σε σημεία ακριβώς κάτω από το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων και σε βάθος που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη διάταξη (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα ροής της επεξεργασίας των δεδομένων της ηλ. Τομογραφίας.

Με την δημιουργία της ψευδοτομής προσδιορίζεται προσεγγιστικά η κατανομή, των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων στο υπέδαφος. Το επόμενο βήμα είναι η αντιστροφή των δεδομένων, κατά το οποίο προσδιορίζονται οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των σχηματισμών μηδενικών αντιστάσεων.

Ξεκινώντας από ένα αρχικό μοντέλο μηδενικών ηλεκτρικών αντιστάσεων το επόμενο βήμα είναι η επίλυση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό (υπολογισμένη ψευδοτομή). Οι θεωρητικές αυτές τιμές, μαζί με τις πραγματικές μετρήσεις και τις παραμέτρους του μοντέλου καθορίζουν ένα σύστημα εξισώσεων. Ακολουθεί η διαδικασία της αντιστροφής, όπου επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων με αγνώστους τις παραμέτρους του μοντέλου. Υπολογίζεται με τη διαδικασία αυτή ένα νέο βελτιωμένο μοντέλο. Η βελτίωση αφορά μόνο τις παραμέτρους του μοντέλου. Η διαδικασία συνεχίζεται υπολογίζοντας για το βελτιωμένο μοντέλο τις φαινόμενες αντιστάσεις, οι οποίες συγκρίνονται με τη σειρά τους με τις πραγματικές μετρήσεις. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο που να δίνει φαινόμενες αντιστάσεις όσο το δυνατό πιο κοντά στις μετρήσεις.



Σχήμα 3.5: Δημιουργία ψευδοτομής (pseudosection) φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων

3.5.4. Αντιστροφή των Δεδομένων

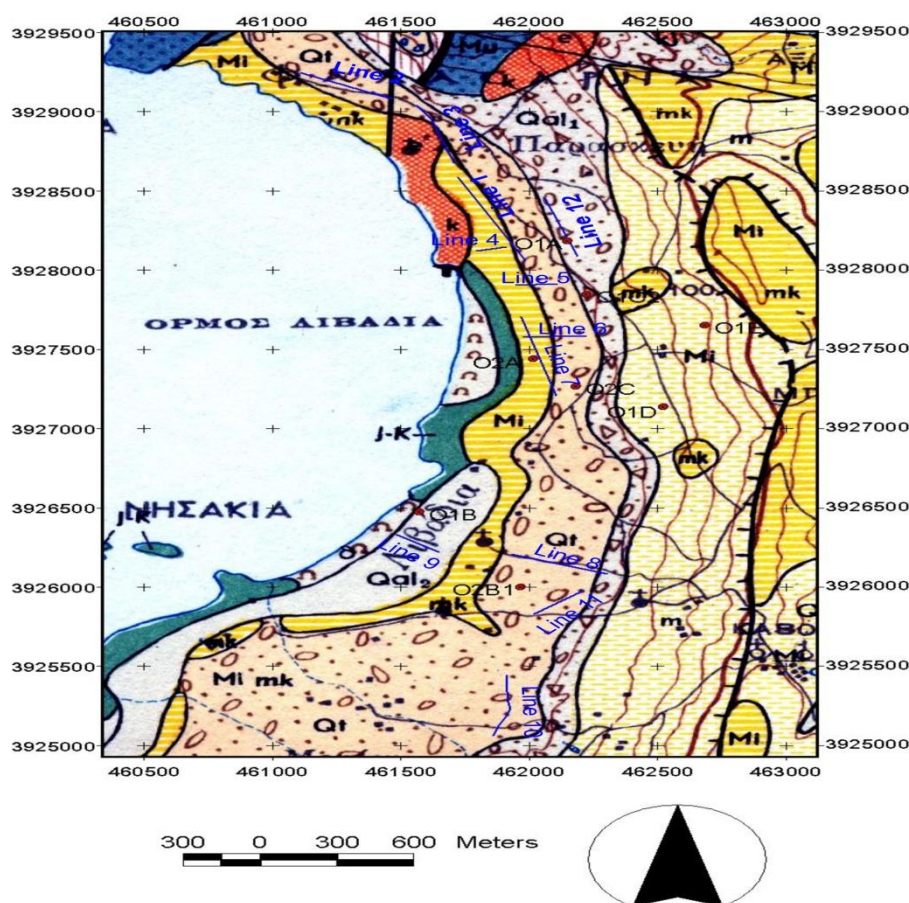
Με την αντιστροφή γίνεται ο υπολογισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες αντιστάσεις. Στα περισσότερα γεωφυσικά προβλήματα που χρησιμοποιείται η αντιστροφή, τα δεδομένα συνδέονται με μη γραμμικές σχέσεις με τις παραμέτρους του μοντέλου. Έτσι και στην περίπτωση της αντιστροφής των φαινόμενων αντιστάσεων το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Επιπλέον το πρόβλημα είναι υπερπροσδιορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων υπερβαίνει τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου.

4. ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΑ ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ

4.1 Εισαγωγή

Η εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων πραγματοποιήθηκε σε τρία διαφορετικά τμήματα της ευρύτερης περιοχής μελέτης (βόρειο, κεντρικό και νότιο). Στην παρούσα εργασία παρατίθενται οι μετρήσεις καθώς και τα αποτελέσματα επεξεργασίας με τη μέθοδο της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης, της ηλεκτρικής τομογραφίας που πραγματοποιήθηκαν και στοιχεία από πηγάδια και γεωτρήσεις στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης.

Αναλυτικότερα, στο νότιο τμήμα πραγματοποιήθηκαν δύο ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις (01B και 02B) και τέσσερις γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας (Lines 8, 9, 10, 11). Οι θέσεις των βυθοσκοπήσεων και των γραμμών απεικονίζονται στον γεωλογικό χάρτη (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου απεικονίζονται οι γραμμές μελέτης της ηλεκτρικής διασκόπησης. (Ι.Γ.Μ.Ε, 1970).

Η γεωλογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε:

- α) με την βοήθεια του **πίνακα 4.1**
- β) με την αναμενόμενη στρωματογραφία (από το γεωλογικό χάρτη της περιοχής) σε κάθε θέση διασκόπησης
- γ) από υπάρχοντα στοιχεία γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 4.1: Ενδεικτικές τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων.

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ωm)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	80-250
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Αργίλοι	2-20
Μάργες	20-60
Αμμοι και Χαλίκια κορεσμένα	50-500
Εβαπορίτες (Γύψοι)	200
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	150-500
Κροκαλοπαγή βάσεως	200-300
Ψαμμίτες	50-70
Συμπαγής δολομίτης	>104
Πορώδης δολομίτης	100-1000
ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Φλύσχης	70-80
Σχιστόλιθοι-Οφιόλιθοι	100-300
Ασβεστόλιθοι	>500
ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	102 –106

4.2 Ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις

Η επεξεργασία των δεδομένων των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό πακέτο IPI2WIN για τον προσδιορισμό της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος.

Ακολούθως, παρατίθενται τα αποτελέσματα επεξεργασίας των δεδομένων των ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων.

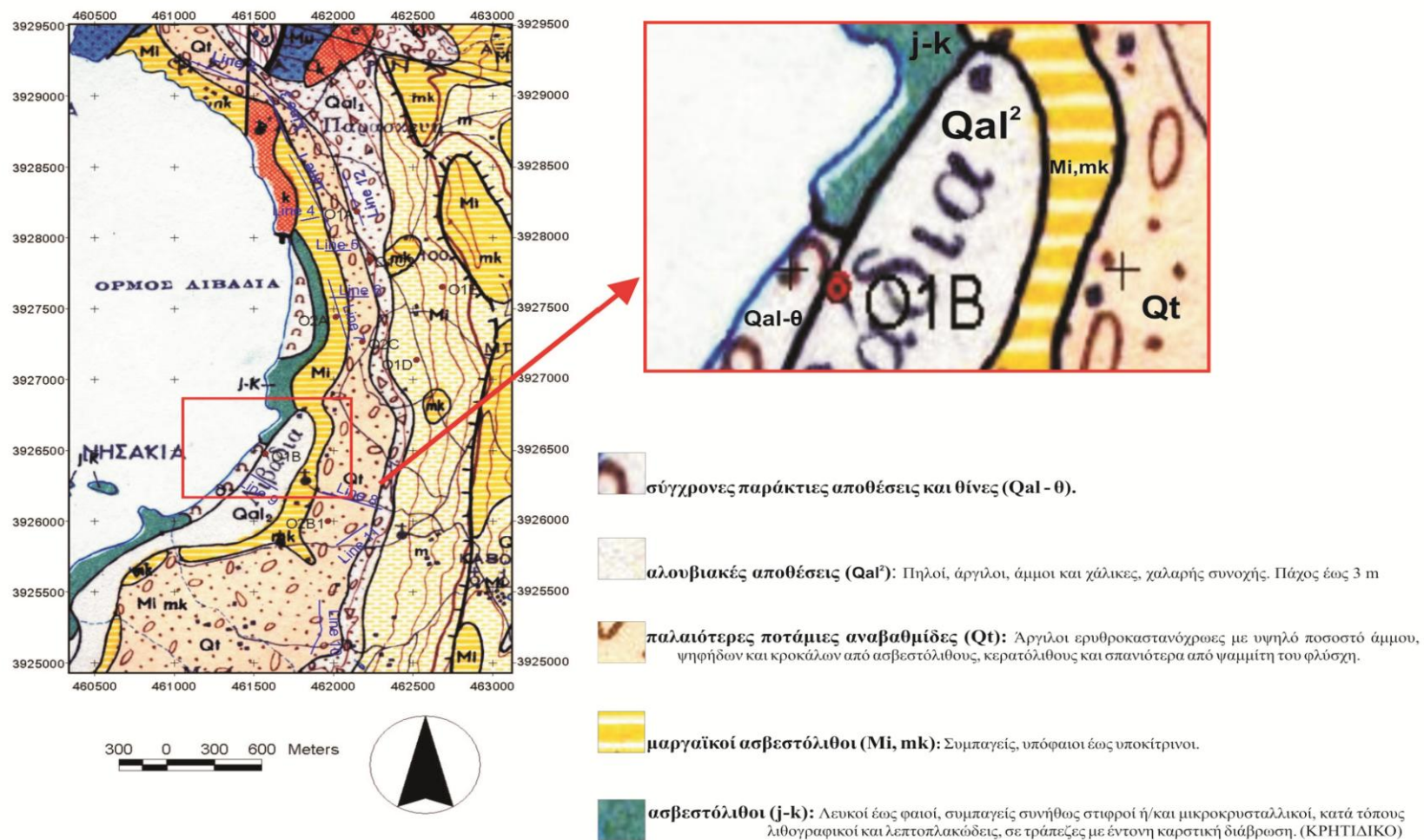
4.2.1 Βυθοσκόπηση O1B

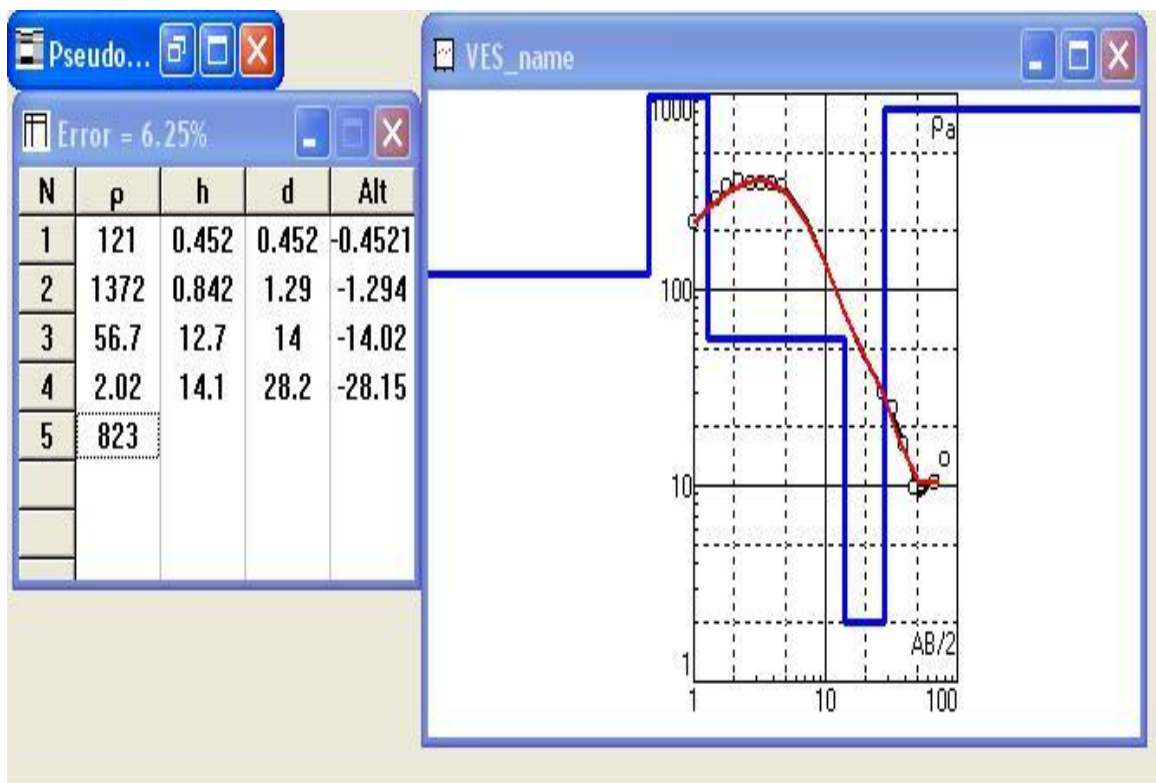
Η βυθοσκόπηση O1B βρίσκεται στο βόρειο-δυτικό κομμάτι του νότιου τμήματος της περιοχής μελέτης (**Σχήμα 4.1** και σε μεγέθυνση **Σχήμα 4.2**) με το κέντρο της να έχει συντεταγμένες $(x,y)=(461574, 3926473)$ (ΕΓΣΑ 87). Το συνολικό μήκος του αναπτύγματος των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 440m. Στο παράρτημα Α παρατίθενται οι τιμές των φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που μετρήθηκαν κατά τη διεξαγωγή της εν λόγω βυθοσκόπησης. Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται η τοποθεσία και τα περιβάλλοντα πετρώματα της βυθοσκόπησης O1B (**Σχήμα 4.2**).

Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης O1B παρουσιάζονται στο **σχήμα 4.3**.

Παρατηρούνται πέντε γεωηλεκτρικά στρώματα:

- Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα με πάχος 0.452 m και ειδική ηλεκτρική αντίσταση 121 ohm.m. Αυτό το στρώμα αντιστοιχεί σε φυτική γη.
- Το δεύτερο στρώμα έχει πάχος 0.842m και ειδική ηλεκτρική αντίσταση 1372 ohm.m και αντιστοιχεί σε ακόρεστα αλουβιακά ριπίδια.
- Το τρίτο στρώμα έχει πάχος 12.7m, ειδική ηλεκτρική αντίσταση 56.7 ohm.m και αντιστοιχεί σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο κορεσμένο σε υφάλμυρο νερό ή μάργες.
- Το τέταρτο στρώμα έχει πάχος 14.1m και ειδική ηλεκτρική αντίσταση 2.02 ohm.m και αντιστοιχεί σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο κορεσμένο σε υφάλμυρο νερό.
- Το τελευταίο στρώμα έχει ειδική ηλεκτρική αντίσταση 823 ohm.m και αποδίδεται στο ασβεστόλιθο Πίνδου.

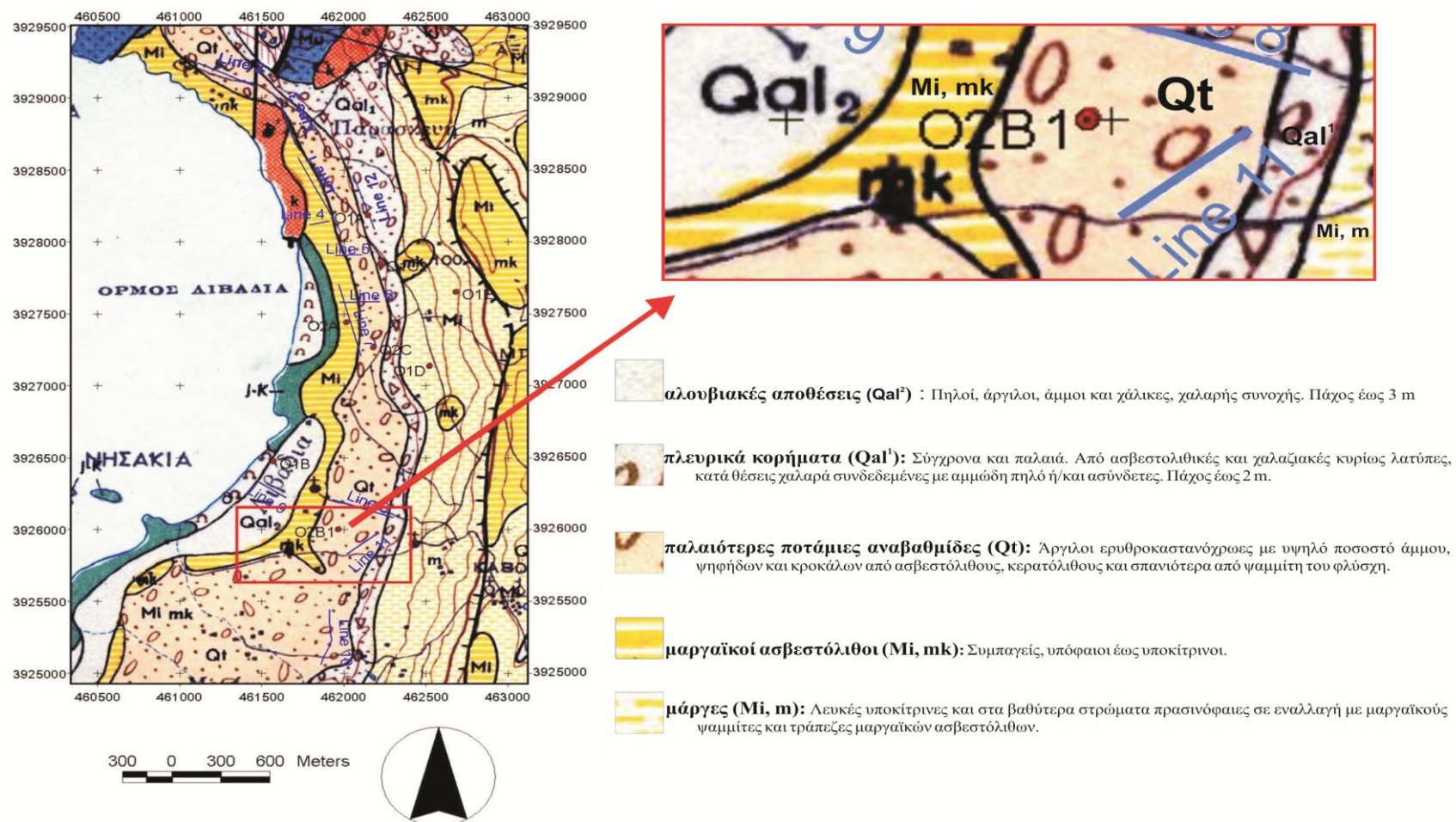




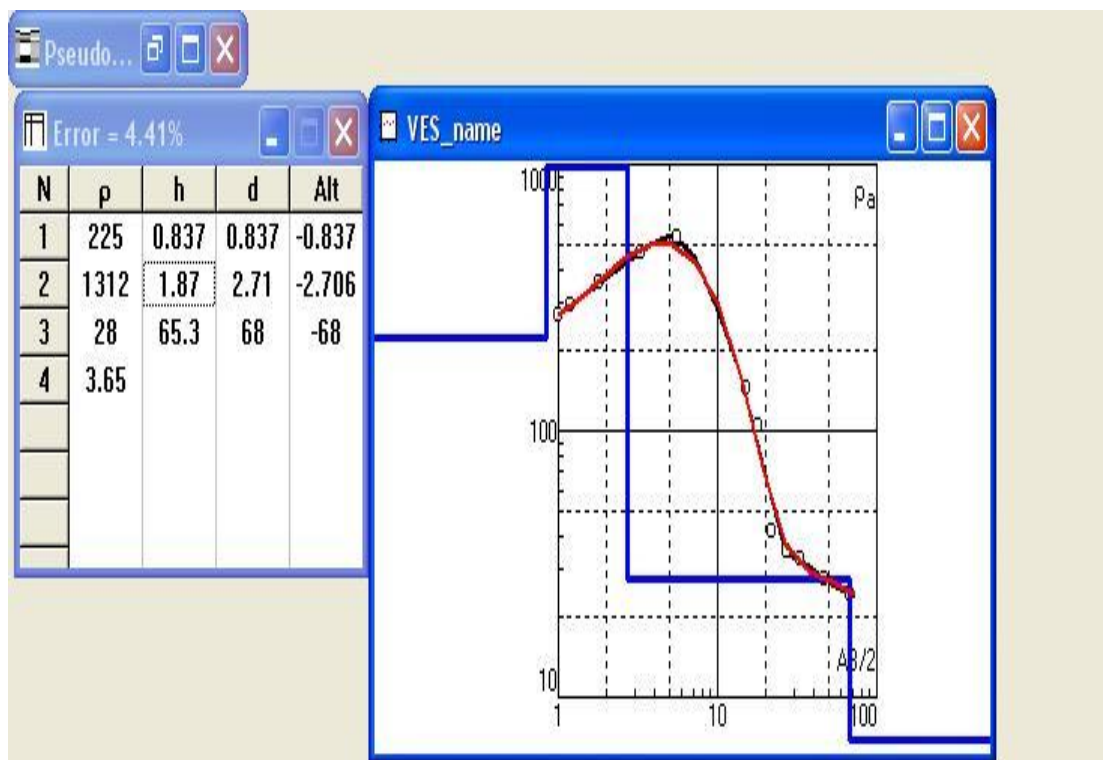
Σχήμα 4.3: Ηλεκτρική βυθοσκόπηση O1B. Προσαρμογή της θεωρητικής γεωηλεκτρικής καμπύλης (κόκκινη γραμμή) στις μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (κύκλοι). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα είναι 6.25%.

4.2.2 Βυθοσκόπηση O2B1

Η βυθοσκόπηση O2B1 βρίσκεται περίπου στο κέντρο του νότιου τμήματος της περιοχής μελέτης (**Σχήμα 4.1** και σε μεγέθυνση **Σχήμα 4.4**), με το κέντρο της να έχει συντεταγμένες $(x,y)=(461968, 3926000)$ (ΕΓΣΑ 87). Το συνολικό μήκος του αναπτύγματος των ηλεκτροδίων ρεύματος ήταν 240 m. Στο παράρτημα Α παρατίθενται οι τιμές των φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που μετρήθηκαν κατά την διεξαγωγή της εν λόγω βυθοσκόπησης. Στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται η θέση και τα περιβάλλοντα πετρώματα της βυθοσκόπησης O2B1 (σχήμα 4.4) Τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης O2B1 παρουσιάζονται στο **σχήμα 4.5**



Σχήμα 4.4: Ηλεκτρική βυθοσκόπηση O2B1 σε μεγέθυνση και τα περιβάλλοντα πετρώματα και σχηματισμοί.



Σχήμα 4.5: Ηλεκτρική βυθοσκόπηση O2B1 Προσαρμογή της θεωρητικής γεωηλεκτρικής καμπύλης (κόκκινη γραμμή) στις μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (κύκλοι). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα είναι 4.41%.

Παρατηρούνται τέσσερα γεωηλεκτρικά στρώματα:

- Ένα επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα με πάχος 0.837m με την ειδική ηλεκτρική αντίσταση 225 ohm.m και αποδίδεται σε φυτική γη.
- Το δεύτερο στρώμα έχει πάχος 1.87m και ειδική ηλεκτρική αντίσταση 1312 ohm.m και αντιστοιχεί σε αλουβιακά ριπίδια.
- Το τρίτο στρώμα έχει πάχος 65.3 m, ειδική ηλεκτρική αντίσταση 28 ohm και αντιστοιχεί σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο κορεσμένο σε υφάλμυρο νερό ή μάργες.
- Το τελευταίο στρώμα έχει ειδ. ειδική ηλεκτρική αντίσταση 3.65 ohm.m και αποδίδεται σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο κορεσμένο σε υφάλμυρο νερό.

4.2.3 Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων ηλεκτρικών

ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ Ο1Β				
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: Χ=461968 Υ=3926473				
α/α	ρ(ohm.m.)	πάχος(m)	βάθος(m)	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
1	121	0,452	0,452	ΦΥΤΙΚΗ ΓΗ
2	1372	0,842	1,29	ΑΛΟΥΒΙΑΚΑ ΡΙΠΙΔΙΑ
3	56,7	12,7	14	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΥΦΑΛΜΥΡΟ ΝΕΡΟ Ή ΜΑΡΓΕΣ
4	2,02	14,1	28.2	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΥΦΑΛΜΥΡΟ ΝΕΡΟ
5	823			ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΠΙΝΔΟΥ

βυθοσκοπήσεων

ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ Ο2Β1				
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΕΓΣΑ 87: Χ=462226 Υ=3926000				
α/α	ρ(ohm.m.)	πάχος(m)	βάθος(m)	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
1	225	0,837	0,837	ΦΥΤΙΚΗ ΓΗ
2	1321	1,87	2,71	ΑΛΟΥΒΙΑΚΑ ΡΙΠΙΔΙΑ
3	28	65,3	68	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΥΦΑΛΜΥΡΟ ΝΕΡΟ Ή ΜΑΡΓΕΣ
4	3,65			ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΣ ΣΕ ΥΦΑΛΜΥΡΟ ΝΕΡΟ

4.3 Γεωηλεκτρικές τομές

Για την απόκτηση των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός των διατάξεων Wenner-Schlumberger. Η απόσταση MN των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι σταθερή και ίση με a . Η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος AB αρχικά είναι $3a$ και αυξάνεται κατά $2a$ κάθε φορά που γίνεται η μέτρηση. Αφού γίνονται οι μετρήσεις κατά μήκος της γραμμής μελέτης, το κέντρο μετακινείται κατά a και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

Για την επεξεργασία και την αντιστροφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Res2Dinv. Το συγκεκριμένο λογισμικό περιέχει διάφορες μεθόδους για την αντιστροφή των δεδομένων. Από αυτές, χρησιμοποιήθηκε η Κανονικοποίηση με Περιορισμούς Εξομάλυνσης (smoothness constrained inversion). Με τη μέθοδο αυτή ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγώνων του σφάλματος μεταξύ των πραγματικών και των συνθετικών δεδομένων με χρήση της νόρμας L_2 . Αποφεύγει τις ασταθείς λύσεις και συγκλίνει γρήγορα, στην τελική λύση.

Για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων, στις 3 γεωηλεκτρικές τομές (Line 8, 9, 11) αποδόθηκε κοινή χρωματική κλίμακα, ορίζοντας ως την ελάχιστη ηλεκτρική αντίσταση τα 4 ohm.m και ως μέγιστη τα 60 ohm.m . Το εύρος αυτό καλύπτει σχεδόν όλες τις τιμές των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που προσδιορίστηκαν από τις τρεις τομογραφίες εκτός από μεμονωμένες θέσεις στην Line 8 στην οποία προσδιορίστηκαν αντιστάσεις μεγαλύτερες από 60 ohm.m όπως φαίνεται αναλυτικότερα παρακάτω.

Για την line 10 χρησιμοποιήθηκε διαφορετική χρωματική κλίμακα λόγω του ότι παρουσιάζει μεγάλη διαφορά στις ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις και βρίσκεται αρκετά νοτιότερα από τις υπόλοιπες τρεις με αποτέλεσμα να μην είναι άμεσα συγκρίσιμη. Το εύρος των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων της τομογραφίας Line 10 ήταν από 5 ohm.m μέχρι 800 ohm.m .

4.3.1 Ηλεκτρική τομή Line 8

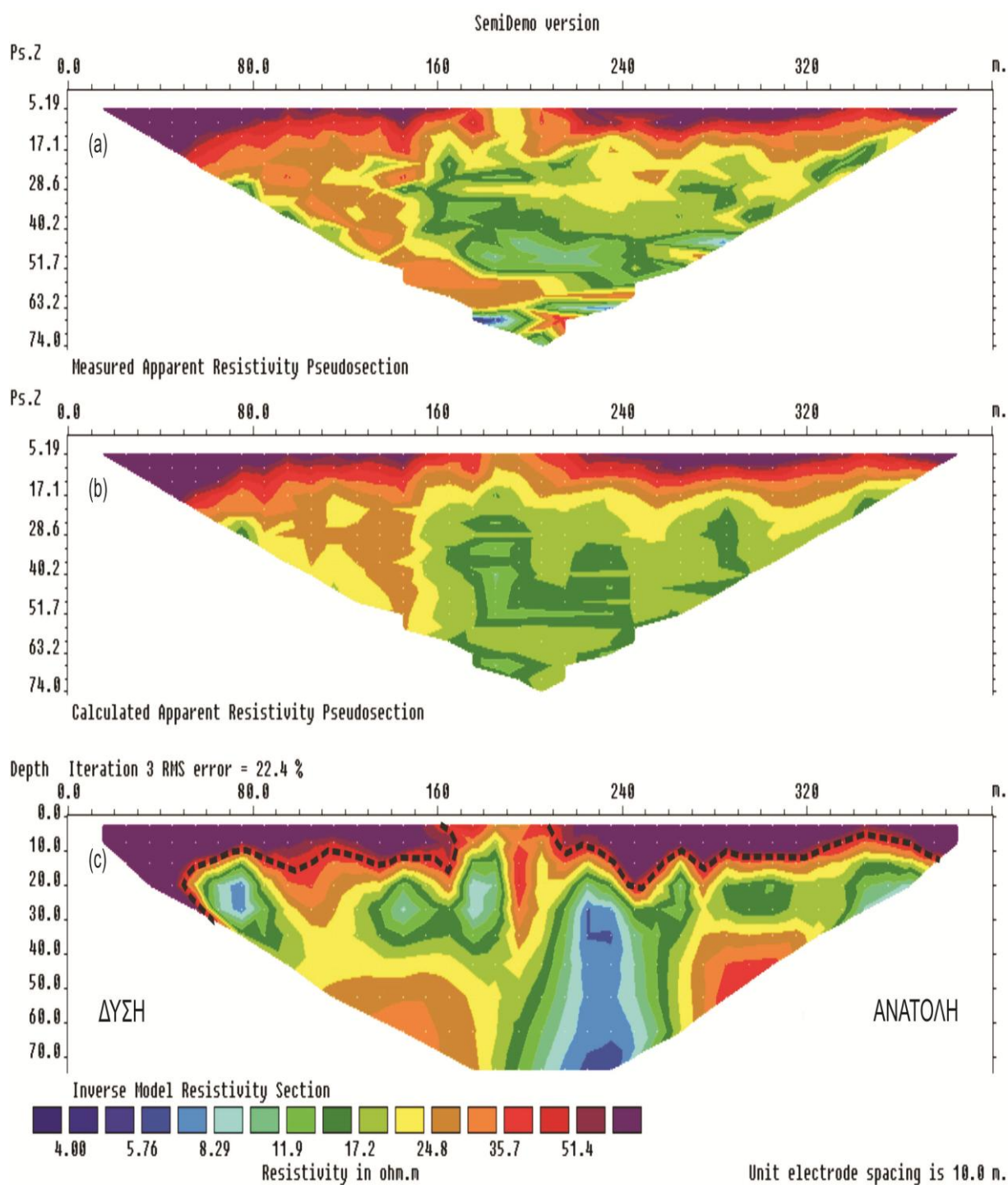
Οι μετρήσεις στην γραμμή Line 8 πραγματοποιήθηκαν στις 4-6-2008. Για τη γραμμή αυτή χρησιμοποιήθηκαν 41 ηλεκτρόδια σε ίσες αποστάσεις των 10m, έχει συνολικό μήκος 400m και διευθύνεται από δυτικά προς ανατολικά (Σχήμα 4.6). Οι συντεταγμένες του δυτικού και ανατολικού άκρου είναι (σε ΕΓΣΑ 87) $(x,y)=(461933, 3926207)$ και $(x,y)=(462303, 3926086)$ αντίστοιχα.

Στο παράρτημα Β παρατίθενται οι μετρήσεις της εν λόγω γραμμής. Στο σχήμα 4.6 απεικονίζεται η θέση της Line 8 σε σχέση με τα περιβάλλοντα επιφανειακά πετρώματα – γεωλογικούς σχηματισμούς.

Στο **σχήμα 4.7** συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας όπου απεικονίζεται η μετρούμενη (measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudo Section), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 22,4%.

Εμφανίζονται συνολικά δυο γεωηλεκτρικά στρώματα:

- Το επιφανειακό στρώμα έχει μέσο πάχος 11m, οι αντιστάσεις του κυμαίνονται από 60 ohm.m έως 400 ohm.m και αποδίδεται σε αργίλους με υψηλό ποσοστό άμμου, ψηφίδων και κροκάλων από ασβεστόλιθους. Οι αντιστάσεις αυτές στο σχήμα 4.7 απεικονίζονται ομαδοποιημένες με μωβ απόχρωση εφόσον το εύρος της κλίμακας των αντιστάσεων έχει οριστεί από 4 - 60Ωm
- Το δεύτερο στρώμα εμφανίζεται κάτω από τα 11m, έχει ειδική ηλεκτρική αντίσταση από 4 ohm.m έως 20 ohm.m και εκτείνεται σε βάθος μέχρι τα 70m τουλάχιστον, στο κεντρικό τμήμα της τομής. Αυτό το στρώμα αποδίδεται σε αλουβιακά ριπίδια κατά θέσεις κορεσμένα σε υφάλμυρο νερό. Στα δυτικά και ανατολικά της τομογραφίας και σε βάθος μεγαλύτερο των 45m, παρατηρούνται αντιστάσεις που κυμαίνονται από 25 ohm.m έως 40 ohm.m. Αντίθετα στο κεντρικό τμήμα της τομής εμφανίζονται πολύ χαμηλές αντιστάσεις (<10Ωm) σε σχήμα που ίσως θυμίζουν κώνο άντλησης γεώτρησης. Λόγω των χαμηλών αντιστάσεων, τα αλουβιακά ριπίδια θεωρούνται κορεσμένα με υφάλμυρο νερό.

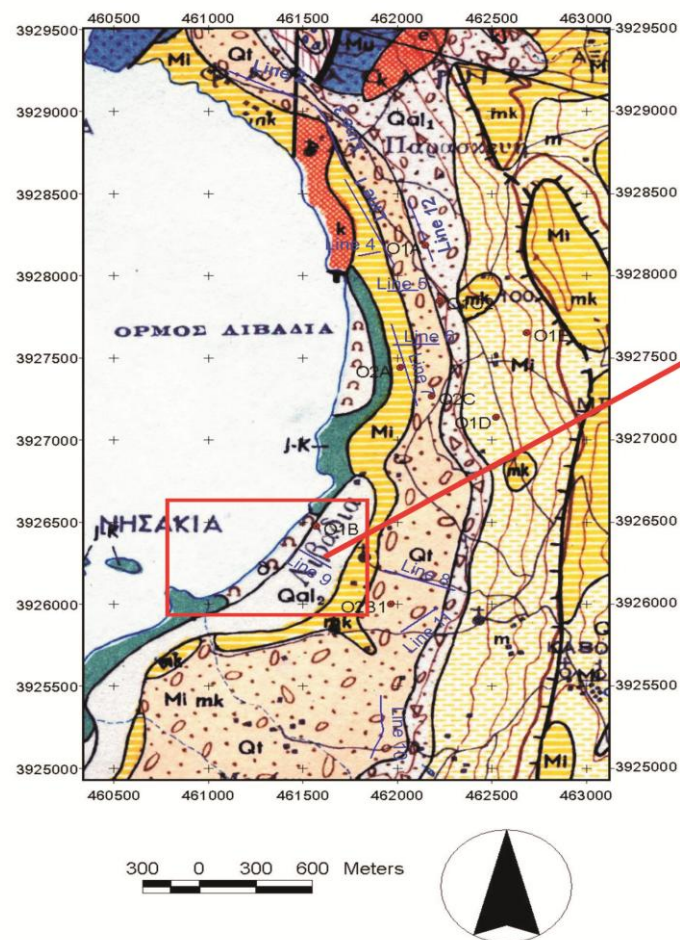







Σχήμα 4.7: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης για την Line 8. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 22,4%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές οριοθετούνται τα γεωηλεκτρικά στρώματα

4.3.2 Ηλεκτρική τομή Line 9

Οι μετρήσεις στην γραμμή Line 9 πραγματοποιήθηκαν στις 4-6-2008. Για τη γραμμή αυτή χρησιμοποιήθηκαν 41 ηλεκτρόδια σε ίσες αποστάσεις των 5m, έχει συνολικό μήκος 200m και διευθύνεται από δυτικά προς ανατολικά (σχήμα 4.6). Οι συντεταγμένες του δυτικού και ανατολικού άκρου είναι (σε ΕΓΣΑ 87) $(x,y)=(461482, 3926332)$ και $(x,y)=(461648, 3926221)$ αντίστοιχα.

Στο παράρτημα Β παρατίθενται οι μετρήσεις της εν λόγω τομή. Στο **σχήμα 4.8** εμφανίζεται η θέση της Line 9 σε σχέση με τα περιβάλλοντα επιφανειακά πετρώματα – γεωλογικούς σχηματισμούς.



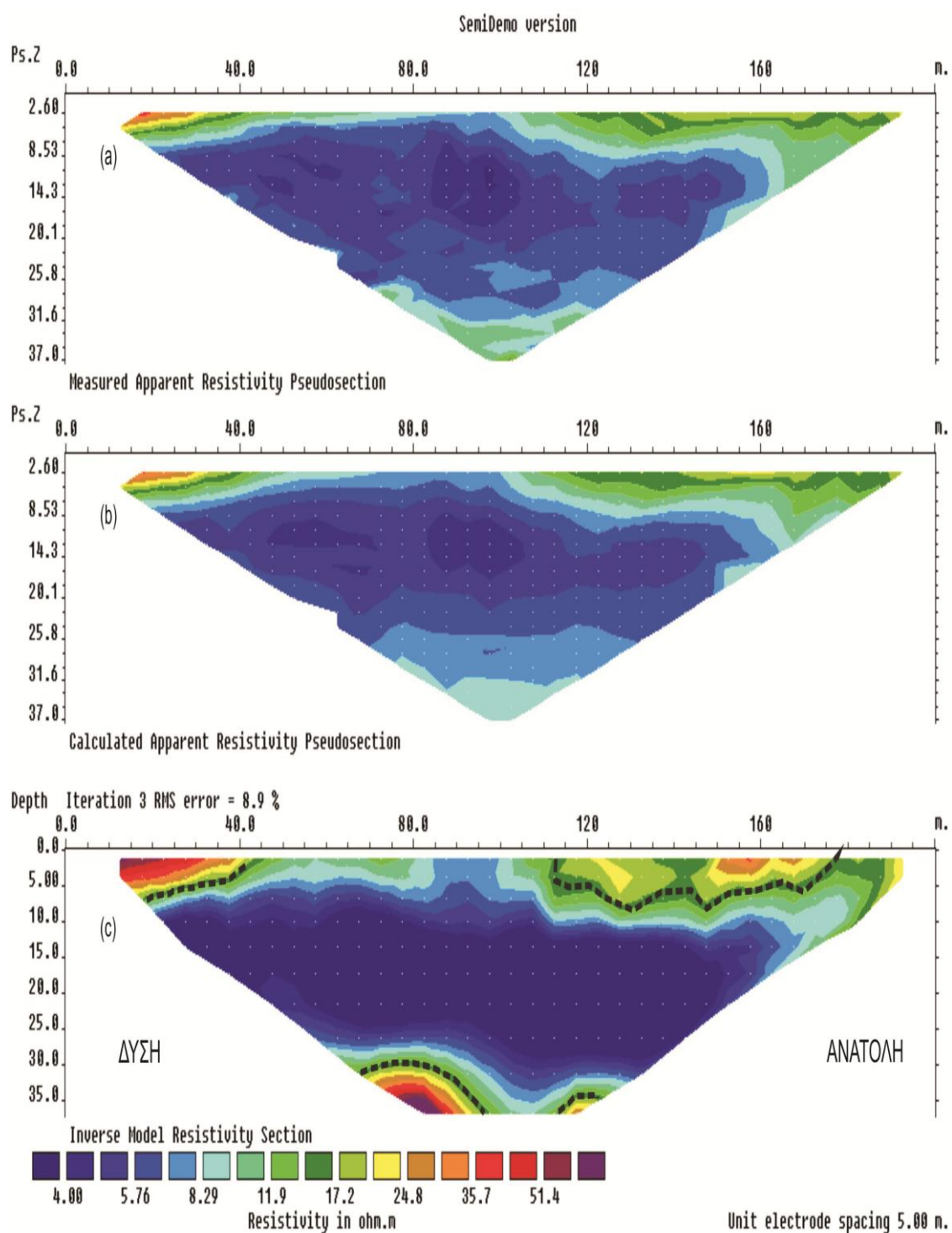
-  σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις και θίνες (Qal - θ)
-  αλουβιακές αποθέσεις (Qal²): Πηλοί, άργιλοι, άμμοι και χάλικες, χαλαρής συνοχής. Πάχος έως 3 m
-  παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες (Qt): Άργιλοι ερυθροκαστανόχρωες με υψηλό ποσοστό άμμου, ψηφιδών και κροκάλων από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και σπανιότερα από ψαμμίτη του φλύσχη.
-  μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Mi, mk): Συμπαγείς, υπόφαιοι έως υποκίτρινοι.
-  ασβεστόλιθοι (j-k): Λευκοί έως φαιοί, συμπαγείς συνήθως στιφροί ή/και μικροκρυσταλλικοί, κατά τόπους λιθογραφικοί και λεπτοπλακώδεις, σε τράπεζες με έντονη καρστική διάβρωση. (ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ)

Σχήμα 4.8: Γραμμή μελέτης Line 9 σε μεγέθυνση και τα περιβάλλοντα πετρώματα και σχηματισμοί.

Στο **σχήμα 4.9** συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της εν λόγω τομογραφίας όπου απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudo section), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 8.9%.

Εμφανίζονται συνολικά τρία γεωηλεκτρικά στρώματα:

- Το επιφανειακό στρώμα έχει μέσο πάχος 5m, οι αντιστάσεις του κυμαίνονται από 20 ohm.m έως 60 ohm.m και αποδίδεται στα δυτικά σε κορεσμένες ασβεστολιθικές κροκάλες και στα ανατολικά σε κορεσμένα αλουβιακά ριπίδια ή μαργαϊκό ασβεστόλιθο.
- Το δεύτερο στρώμα εκτείνεται περίπου μέχρι το βάθος των 30m. Η ειδική ηλεκτρική του αντίσταση είναι πολύ χαμηλή (από 1.3 ohm.m μέχρι 9 ohm.m) και αποδίδεται σε αλουβιακά ριπίδια κορεσμένα με υφάλμυρο νερό.
- Το τρίτο στρώμα εμφανίζεται σε βάθος μεγαλύτερο από 30m. Έχει αντιστάσεις από 20 έως 60 ohm.m. Αν και οι αντιστάσεις του είναι πολύ χαμηλές, αποδίδονται σε μάργα ή ασβεστόλιθο της Πίνδου λόγω της γειτνίασης του σχηματισμού στη γραμμή μελέτης. Το γεγονός ότι εντοπίστηκε στο όριο της γεωηλεκτρικής τομής δικαιολογεί τις χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και προδιαθέτει την τάση ανόδου σε μεγαλύτερο βάθος.



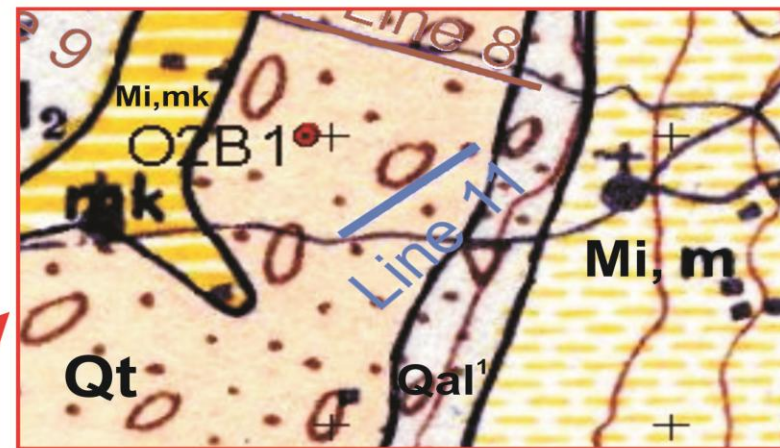
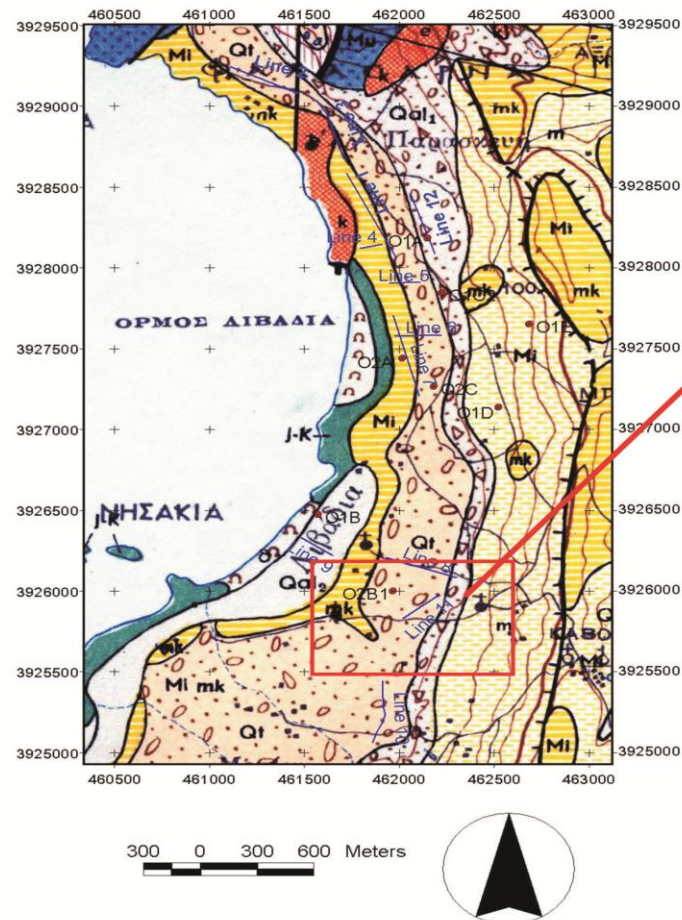
Σχήμα 4.9: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης για τη Line 9. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 8.9%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές οριοθετούνται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

4.3.3 Ηλεκτρική τομή Line 11

Οι μετρήσεις στην γραμμή Line 11 πραγματοποιήθηκαν στις 5-6-2008. Για τη γραμμή αυτή χρησιμοποιήθηκαν 41 ηλεκτρόδια σε ίσες αποστάσεις των 5m, έχει συνολικό μήκος 200m και διευθύνεται από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά (**σχήμα 4.10**). Οι συντεταγμένες του δυτικού και ανατολικού άκρου είναι (σε ΕΓΣΑ87) $(x,y)=(462021,3925829)$ και $(x,y)=(00462214, 3925980)$ αντίστοιχα.

Στο παράρτημα Β παρατίθενται οι μετρήσεις της εν λόγω τομής. Στο **σχήμα 4.12** εμφανίζεται η θέση της Line 10 σε σχέση με τα περιβάλλοντα επιφανειακά πετρώματα – γεωλογικούς σχηματισμούς.

.



πλευρικά κορήματα (Qal'): Σύγχρονα και παλαιά. Από ασβεστολιθικές και χαλαζιακές κυρίως λατύπες, κατά θέσεις χαλαρά συνδεδεμένες με αμμόδη πηλό ή/και ασύνδετες. Πάχος έως 2 m.



παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες (Qt): Άργιλοι ερυθροκαστανόχρωες με υψηλό ποσοστό άμμου, ψηφιδών και κροκάλων από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και σπανιότερα από ψαμμίτη του φλύσχη.



μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Mi, mk): Συμπαγείς, υπόφαιοι έως υποκίτρινοι.

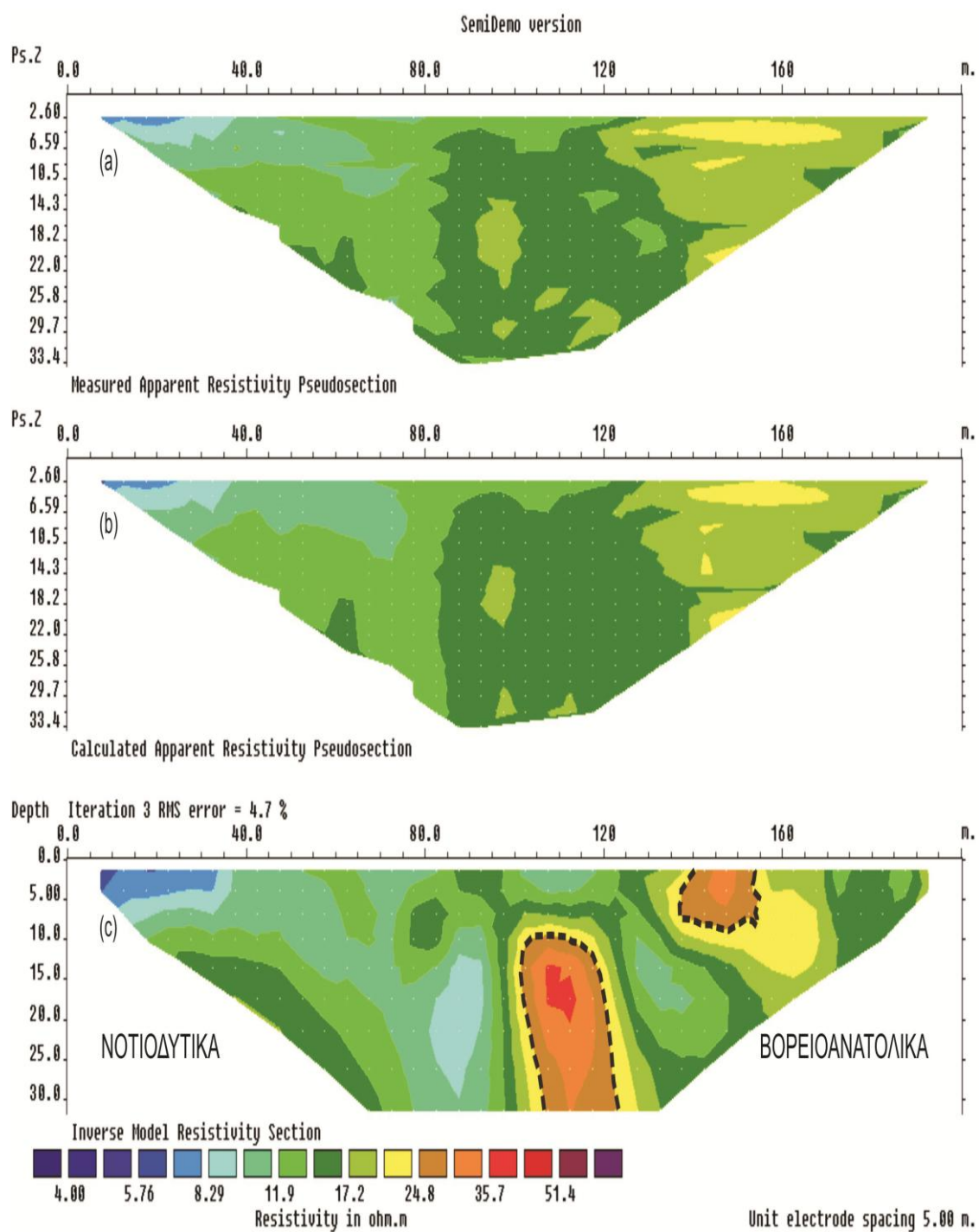


μάργες (Mi, m): Λευκές υποκίτρινες και στα βαθύτερα στρώματα πρασινόφαιες σε εναλλαγή με μαργαϊκούς ψαμμίτες και τράπεζες μαργαϊκών ασβεστόλιθων.

Σχήμα 4.10: Γραμμή μελέτης Line 11 σε μεγέθυνση και τα περιβάλλοντα πετρώματα και σχηματισμοί.

Στο σχήμα 4.11 συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων όπου απεικονίζεται η μετρούμενη (measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή, η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 4,7%.

Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 5 ohm.m μέχρι 40 ohm.m. Παρατηρείται επίσης η παρουσία εγκλεισμάτων το ένα από την επιφάνεια μέχρι τα 10 μέτρα βάθος και το άλλο από τα 10 μέτρα μέχρι τα όρια της τομής μας. Οι ανωμαλίες αυτές αποδίδονται σε αργίλικους φακούς.

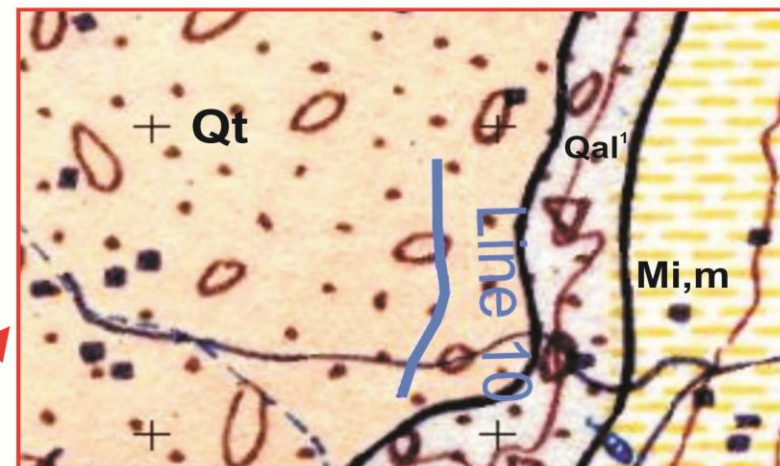
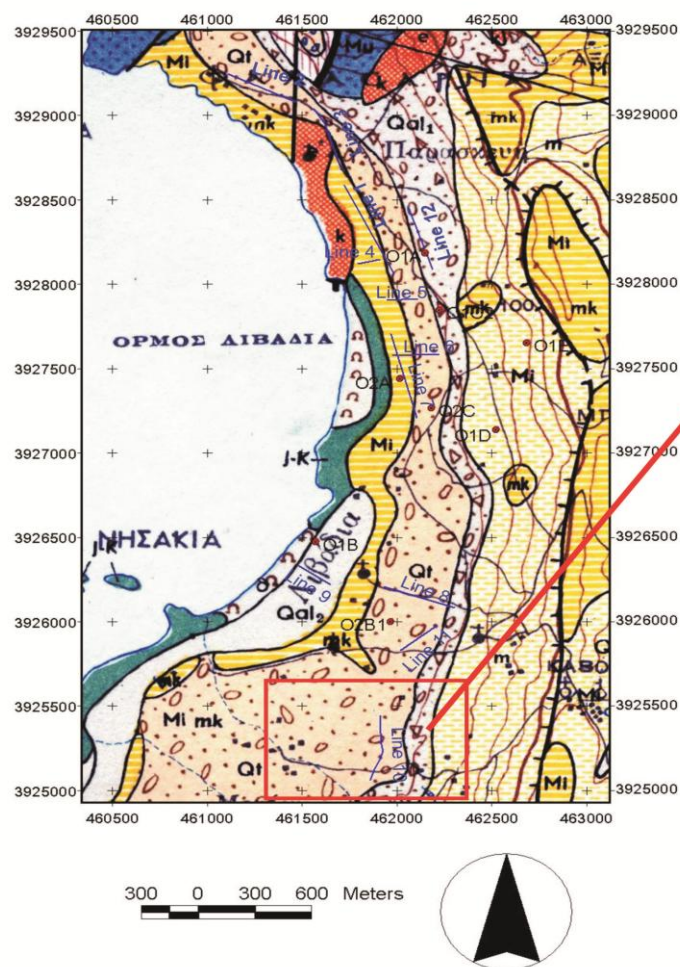





Σχήμα 4.11: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης για την Line 11. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 4.7%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές οριοθετούνται τα εγκλείσματα – φακοί.

4.3.4 Ηλεκτρική τομή line 10

Οι μετρήσεις στη γραμμή Line 10 πραγματοποιήθηκαν στις 5-6-2008. Για τη γραμμή αυτή χρησιμοποιήθηκαν 41 ηλεκτρόδια σε ίσες αποστάσεις των 10m, έχει συνολικό μήκος 400m και διευθύνεται από βορρά προς νότο (σχήμα 4.12). Οι συντεταγμένες του βόρειου και νότιου άκρου είναι (σε ΕΓΣΑ87)(x,y)= (00461915, 3925443) και (x,y)=(461861, 3925067) αντίστοιχα.

Στο παράρτημα Β παρατίθενται οι μετρήσεις. Στην επόμενη σελίδα απεικονίζεται η τοποθεσία που βρίσκεται η Line 10 και τα περιβάλλον επιφανειακά πετρώματα – γεωλογικοί σχηματισμοί και σε μεγέθυνση (βλ. σχήμα 4.12).



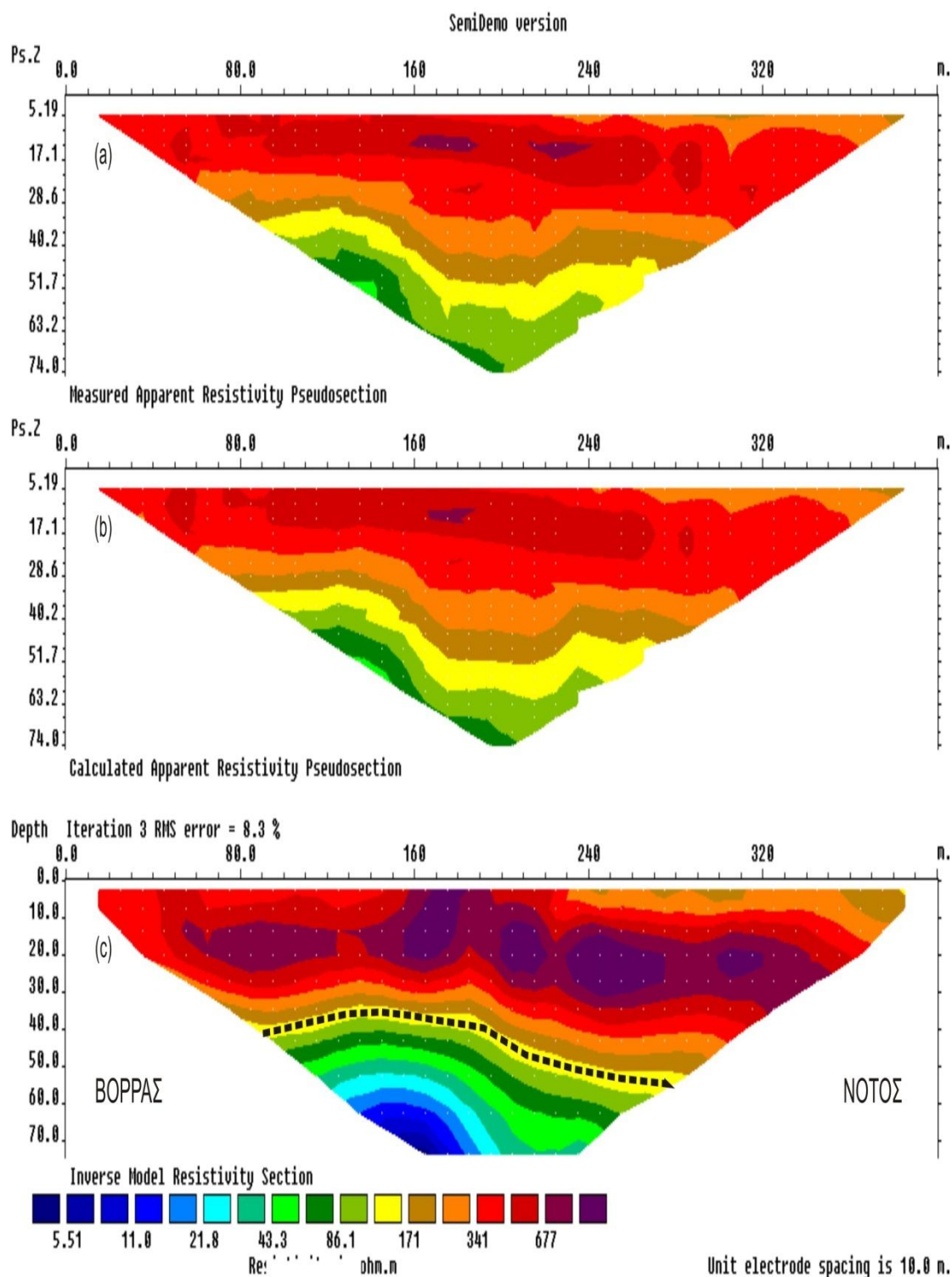
-  **πλευρικά κορήματα (Qal¹):** Σύγχρονα και παλαιά. Από ασβεστολιθικές και χαλαζιακές κυρίως λατύπες, κατά θέσεις χαλαρά συνδεδεμένες με αμμώδη πηλό ή/και ασύνδετες. Πάχος έως 2 m.
-  **παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες (Qt):** Άργιλοι ερυθροκαστανόχρωες με υψηλό ποσοστό άμμου, ψηφήδων και κροκάλων από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και σπανιότερα από ψαμμίτη του φλύσχη.
-  **μάργες (Mi, m):** Λευκές υποκίτρινες και στα βαθύτερα στρώματα πρασινόφαιες σε εναλλαγή με μαργαϊκούς ψαμμίτες και τράπεζες μαργαϊκών ασβεστόλιθων.

Σχήμα 4.12: Γραμμή μελέτης Line 10 σε μεγέθυνση και τα περιβάλλοντα πετρώματα και σχηματισμοί.

Στο **σχήμα 4.13** συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων όπου απεικονίζεται η μετρούμενη (measured) και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudo Section), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Για την επεξεργασία της τομογραφίας μας χρησιμοποιήθηκε διαφορετική χρωματική κλίμακα και το εύρος της από 5 ohm.m μέχρι 800 ohm.m. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 8,3%.

Εμφανίζονται συνολικά δυο γεωηλεκτρικά στρώματα:

- Το πρώτο στρώμα έχει μέσο πάχος 45m με την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του να κυμαίνεται από 150 ohm.m έως 800 ohm.m. Αποδίδεται σε αλουβιακά ριπίδια.
- Το δεύτερο στρώμα εμφανίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 45m. Έχει ειδική ηλεκτρική αντίσταση από 5 έως 150 ohm.m και εκτείνεται σε βάθος μεγαλύτερο των 40 m στο κέντρο της γραμμής μελέτης. Αυτό το γεωηλεκτρικό στρώμα αποδίδεται σε αλουβιακά ριπίδια κορεσμένα σε υφάλμυρο νερό.



Σχήμα 4.13: Μετρούμενη (a) και υπολογιζόμενη (b) ψευδοτομή και γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδ. ηλ. αντίστασης για την Line 9. Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μετά το τέλος της αντιστροφής είναι 8.9%. Με διακεκομμένες μαύρες γραμμές οριοθετούνται τα γεωηλεκτρικά στρώματα.

5. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΠΗΓΑΔΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΦΑΛΛΑΣΑΡΝΑ

5.1 Συλλογή δεδομένων

Τα δεδομένα των πηγαδιών και των γεωτρήσεων για την ευρύτερη περιοχή μελέτης συλλέχτηκαν από δελτία απογραφής του γεωλογικού τμήματος της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων (ΥΕΒ) του νομού Χανίων.

Από όλα τα καταγεγραμμένα (40) πηγάδια, αξιοποιήθηκαν τα 14 καθώς και μια γεώτρηση. Τα κριτήρια για την επιλογή τους ήταν:

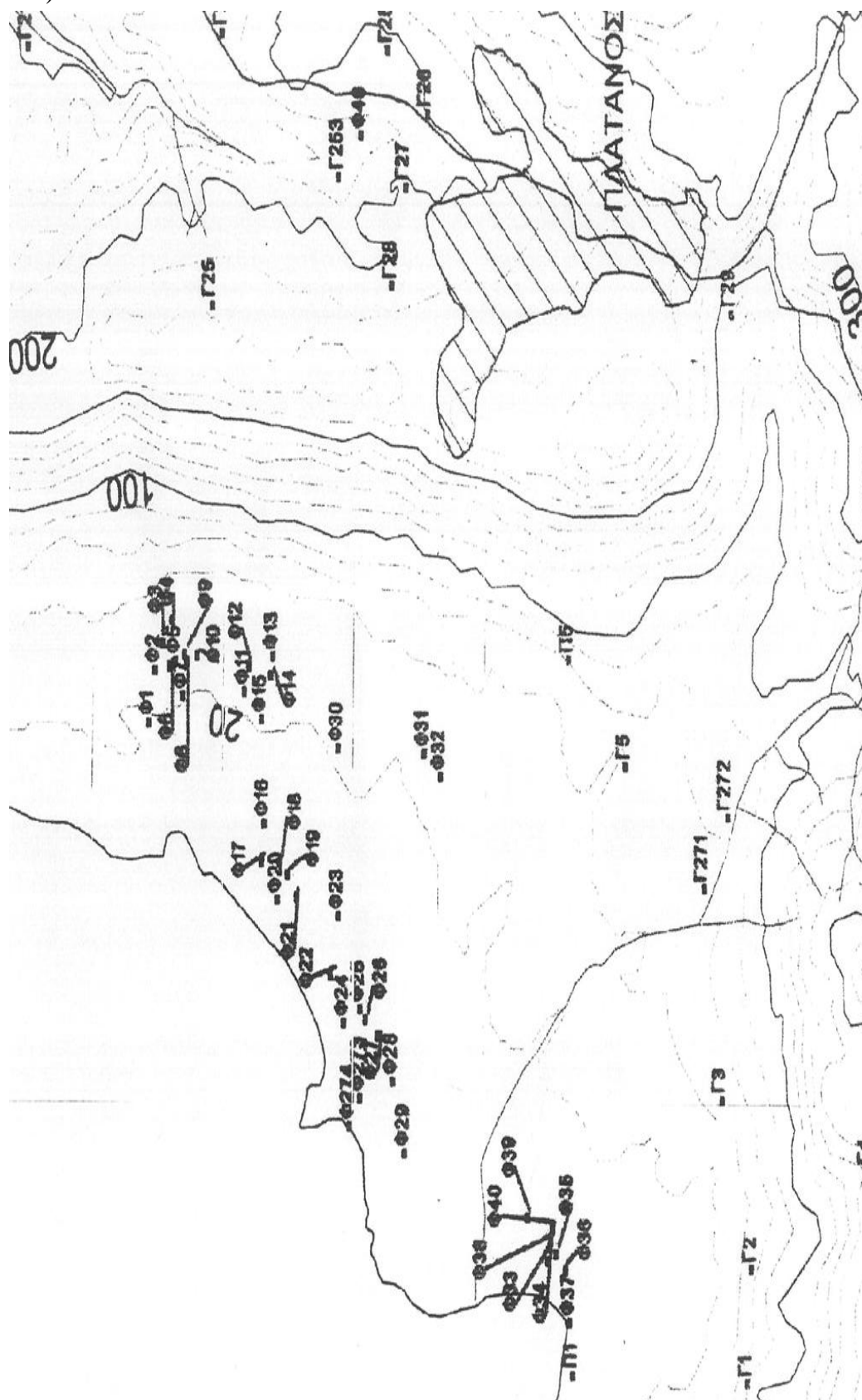
- Η απόσταση τους από τις θέσεις της γεωφυσικής διασκόπησης.
- Η απογραφή χρησίμων δεδομένων (ύψος στάθμης , αγωγιμότητα κλπ) τουλάχιστον σε μια δεδομένη χρονική περίοδο.

5.2 Θέσεις των πηγαδιών και της γεώτρησης

Τα πηγάδια αυτά ήταν αποτυπωμένα σε ένα τοπογραφικό χάρτη στον οποίο δεν υπήρχαν οι ακριβείς συντεταγμένες (X, Ψ) των πηγαδιών και της γεώτρησης (βλ. **σχήμα 5.1**).

Με τη βοήθεια του προγράμματος Arc View GIS πραγματοποιήθηκε η διαδικασία καταχώρησης των πηγαδιών σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ87. Ειδικότερα, από το γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης γνωστών συντεταγμένων έγινε εγγραφή του τοπογραφικού χάρτη αγνώστων συντεταγμένων χρησιμοποιώντας κοινά σημεία των δυο χαρτών (ακτογραμμή, γωνίες δρόμων, εκκλησιές). Ακολούθως, προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες των πηγαδιών και της γεώτρησης από τον εγγεγραμμένο, πλέον, τοπογραφικό χάρτη σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ87. Οι θέσεις των πηγαδιών και της γεώτρησης υπερτέθηκαν στον γεωλογικό χάρτη, όπου απεικονίζονται επίσης και οι θέσεις της γεωφυσικής διασκόπησης (**σχήμα**

5.2).



Σχήμα 5.1: Τοπογραφικός χάρτης όπου απεικονίζονται οι θέσεις των πηγαδιών (Φ) και των γεωτρήσεων (Γ).

5.3 Περιγραφή στοιχείων

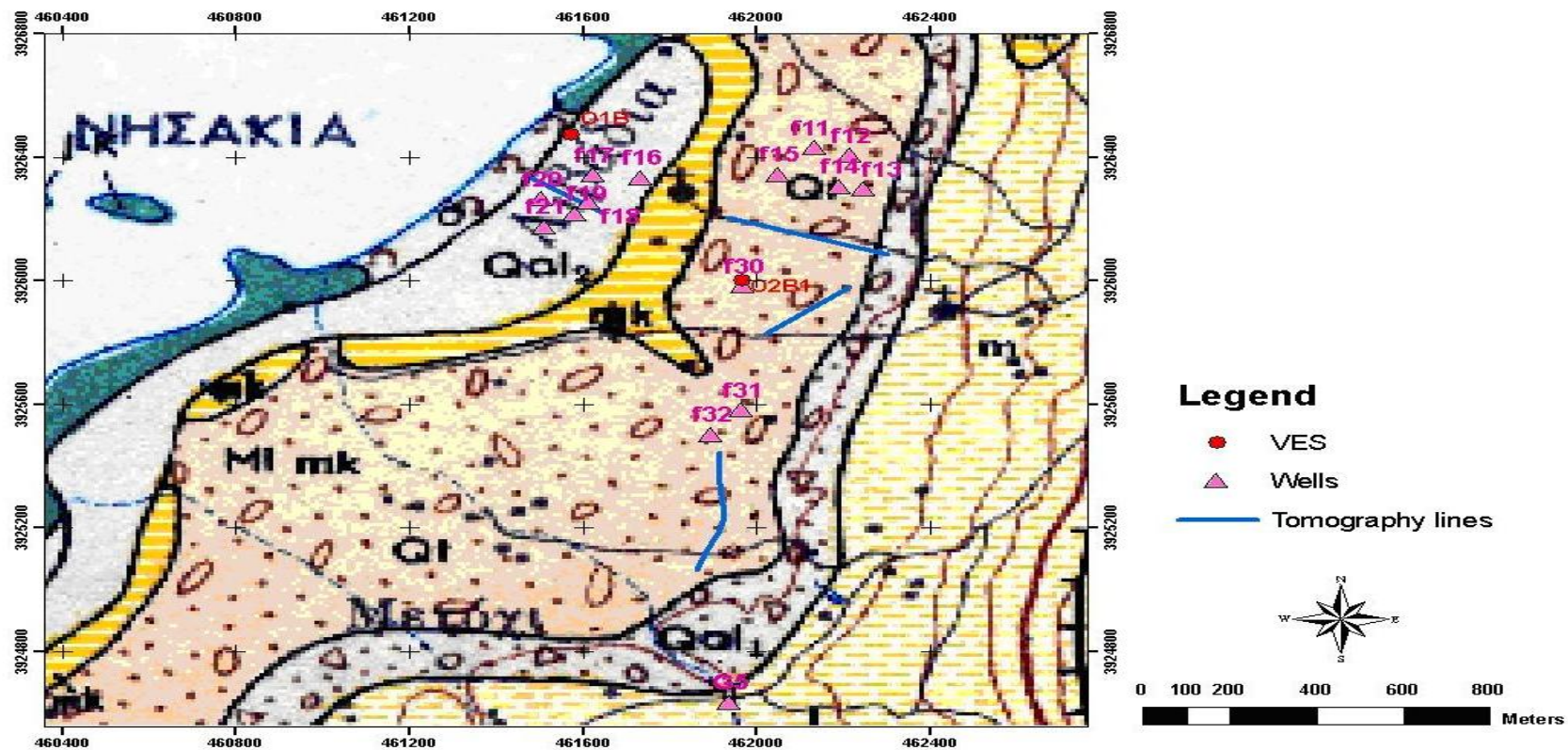
Τα 14 αυτά πηγάδια που χρησιμοποιήσαμε είναι τα Φ11, Φ12, Φ13, Φ14, Φ15, Φ16, Φ17, Φ18, Φ19, Φ20, Φ21, Φ30, Φ31, Φ32 και η γεώτρηση Γ5 (Σχήμα 5.2).

Στους πίνακες 5.1 έως 5.15 παρατίθενται οι πιο χρήσιμες για την παρούσα μελέτη πληροφορίες των πηγαδιών και γεώτρησης. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- το βάθος το οποίο κυμαίνεται από 3.5 m μέχρι 6 m περίπου στα πηγάδια
- Η διάμετρος που κυμαίνεται από 3 m μέχρι 6 m
- Η λιθολογική περιγραφή
- Η στάθμη του νερού (βάθος και απόλυτο υψόμετρο)
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού σε $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Οι τιμές στα γλυκά νερά κυμαίνονται από 140 έως 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, στα υφάλμυρα 2000 – 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και στα υπεράλμυρα φθάνουν μέχρι και 100000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Ι.Ε. Κουμαντάκης, 2000)

Η λεπτομερής περιγραφή των δελτίων απογραφής των πηγαδιών και της γεώτρησης Γ5 παρατίθεται στο Παράρτημα Γ της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 5.2: Τοπογραφικός και γεωλογικός χάρτης όπου απεικονίζονται οι θέσεις των πηγαδιών (f), των γεωτρήσεων (c), γραμμών μελέτης ηλεκτρικής τομογραφίας και βυθοσκοπήσεων.

Πινάκας 5.1: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ11

ΠΗΓΑΔΙ Φ11			
X: 462137		Y: 3926430	Z: 21.31
Βάθος: 6.7 m Διάμετρος: 3 m Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	4.39	16.92	2060
22/10/1998	4.87	16.44	
22/04/1999	4.74	16.57	
19/10/1999	4.84	16.47	
20/04/2000	4.35	16.96	

Πινάκας 5.2: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ12

ΠΗΓΑΔΙ Φ12			
X: 462218	Y: 3926406		Z:
Βάθος: 4.85 m Διάμετρος: 7 m Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	2.25		2060
10/08/1998	2.59		
02/10/1998	2.77		
15/04/1999	2.41		

Πινάκας 5.3: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ13

ΠΗΓΑΔΙ Φ13			
X: 462248	Y: 3926296		Z:
Βάθος: 4.4 m Διάμετρος: 3 m Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	2.41		2080
10/08/1998	2.76		
02/10/1999	2.94		
15/04/1999	2.70		

Πινάκας 5.4: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ14

ΠΗΓΑΔΙ Φ14			
X: 462192	Y: 3926305		Z:
Βάθος: 4 m Διάμετρος: 2.8 m Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	2.15		2030
10/08/1998	2.41		
02/10/1998	2.67		
15/04/1999	2.39		

Πινάκας 5.5: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ15

ΠΗΓΑΔΙ Φ15			
X: 462051	Y: 3926345		Z:
Βάθος: 4 m Διάμετρος: 3 m Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	2.3		2040
10/08/1998	2.65		
02/10/1998	2.82		
15/04/1999	2.59		

Πινάκας 5.6: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ16

ΠΗΓΑΔΙ Φ16			
X: 461735	Y: 3926333		Z: 1,91
Βάθος: 5.2 m Διάμετρος: 6 m Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	1.13	0.78	2160
23/10/1998	1.75	0.16	
18/04/1999	0.98	0.93	
14/10/1999	1.79	0.12	
19/04/2000	0.92	0.99	2110

Πινάκας 5.7: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ17

ΠΗΓΑΔΙ Φ17			
X: 461624	Y: 3926343		Z:
Βάθος: 4.2 m Διάμετρος: 2.8 m Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	1.09		2050
10/08/1998	1.44		
02/10/1998	1.61		
15/04/1999	1.45		

Πινάκας 5.8: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ18

ΠΗΓΑΔΙ Φ18			
X: 461616	Y: 3926256		Z:
Βάθος: 3.9 m Διάμετρος: 3 m Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	1.13		2110
10/08/1998	1.75		
02/10/1998	0.98		
15/04/1999	1.79		

Πινάκας 5.9: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ19

ΠΗΓΑΔΙ Φ19			
X: 461537.6	Y: 3926209.8		Z:
Βάθος: 3.5 m			
Διάμετρος: 3.8 m			
Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	1.07		2220
10/08/1998	1.42		
02/10/1998	1.59		
15/04/1999	1.31		

Πινάκας 5.10: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ20

ΠΗΓΑΔΙ Φ20			
X: 461529.6	Y: 3926264.8		Z: 1,43
Βάθος: 4.1 m			
Διάμετρος: 3.8 m			
Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	1.02	0.41	2090
22/10/1998	1.52	-0.09	
4/04/1999	0.91	-0.52	
19/10/1999	1.54	-0.11	

Πινάκας 5.11: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ21

ΠΗΓΑΔΙ Φ21				
X: 461513		Y:3926175		Z:
Βάθος: 3.7 m				
Διάμετρος: 2.9 m				
Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.				
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος			Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)		
16/05/1998	0.95			2080
10/08/1998	2.56			
02/10/1998	2.71			
15/04/1999	2.21			

Πινάκας 5.12: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ30

ΠΗΓΑΔΙ Φ30			
X: 461971		Y: 3925984	Z: 22.15
Βάθος: 6.6 m			
Διάμετρος: 4.5 m			
Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	2.35	19.80	2300
21/10/1998	3.16	18.99	
22/04/1999	3.05	19.10	1620
18/10/1999	5.42	16.73	1980
20/04/2000	2.82	19.33	2210

Πινάκας 5.13: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ31

ΠΗΓΑΔΙ Φ31				
X: 461967		Y: 3925581		Z:
Βάθος: 5.9 m				
Διάμετρος: 2.8 m				
Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.				
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος			Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)		
16/05/1998	2.42			2160
22/10/1998	2.81			
4/04/1999	3.02			
19/10/1999	2.65			

Πινάκας 5.14: Συνοπτικό δελτίο απογραφής πηγαδιού Φ32

ΠΗΓΑΔΙ Φ32			
X: 461896	Y: 3925502		Z:
Βάθος: 5 m Διάμετρος: 2.9 m Λιθολογική περιγραφή: ψαμμίτες –μάργες.			
Ημερομηνία παρατήρησης	Στάθμη ύδατος		Ηλεκτρική αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
	Βάθος (m)	Απόλυτο υψόμετρο (m)	
16/05/1998	2.39		2090
10/08/1998	2.78		
02/10/1998	2.96		
15/04/1999	2.47		

6. ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται συνδυαστική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων των τεσσάρων γεωηλεκτρικών τομών, των δυο βυθοσκοπήσεων και των δεδομένων από τα δελτία απογραφής των πηγαδιών και της γεώτρησης με τη χρήση του προγράμματος COREL. Συνολικά έγιναν πέντε συνδυασμοί. Για τον καλύτερο συνδυασμό των δεδομένων επιλέχθηκαν αυτά που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους.

Στην πρώτη αναπαράσταση συνδυάζεται η γεωηλεκτρική τομή Line 9 με την βυθοσκόπηση O1B και τα πηγάδια Φ20, Φ19 και Φ17.

Η δεύτερη συνδυαστική αναπαράσταση αφορά την γεωηλεκτρική τομή Line 8 με τη βυθοσκόπηση O2B1 και τα πηγάδια Φ13, Φ14, Φ15 και Φ30.

Στην τρίτη περίπτωση συνδυάστηκε η γεωηλεκτρική τομή Line 11 με την βυθοσκόπηση O2B1 και το πηγάδι Φ30.

Στην τέταρτη περίπτωση συνδυάστηκαν δυο γεωηλεκτρικές τομές, η Line 8 με την Line 11.

Στην τελευταία περίπτωση παρουσιάζεται η συνδυαστική αναπαράσταση της γεωηλεκτρικής τομής Line 10 με τη γεώτρηση Γ5 και τα πηγάδια Φ31 και Φ32.

Από τα πηγάδια και τη γεώτρηση καταγράφηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού μετρημένη σε $\mu\text{S}/\text{cm}$. Προκειμένου να καταστούν συγκρίσιμα τα δεδομένα που αντλήθηκαν από τα δελτία απογραφής, υπολογίστηκε η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού ρ :

$$\rho = \frac{1}{\sigma 10^{-4}} \Omega m \quad (6.1)$$

Όπου σ η ηλεκτρική αγωγιμότητα του.

Όταν οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του νερού στα πηγάδια πλησιάζουν τις ειδικές τιμές αντίστασης του πετρώματος – σχηματισμού

τότε είναι σίγουρο ότι ο σχηματισμός αυτός είναι κορεσμένος σε υφάλμυρο νερό αφού ήδη έχει διαπιστωθεί ότι το νερό στα πηγάδια είναι υφάλμυρο.

6.2 Συνδυασμός της γεωηλεκτρικής τομής Line 9 με την βυθοσκόπηση O1B και πηγάδια Φ20, Φ19, Φ17

Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1 η Line 9 έχει διεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά. Οι συντεταγμένες του δυτικού και ανατολικού άκρου είναι (σε ΕΓΣΑ 87) $(x,y)=(461482, 3926332)$ και $(x,y)=(461648, 3926221)$ αντίστοιχα. Η προβολή της βυθοσκόπησης είναι στα 1,91 m στα δυτικά της τομογραφίας, το κέντρο της βυθοσκόπησης έχει συντεταγμένες $(x,y)=(461574, 3926473)$.

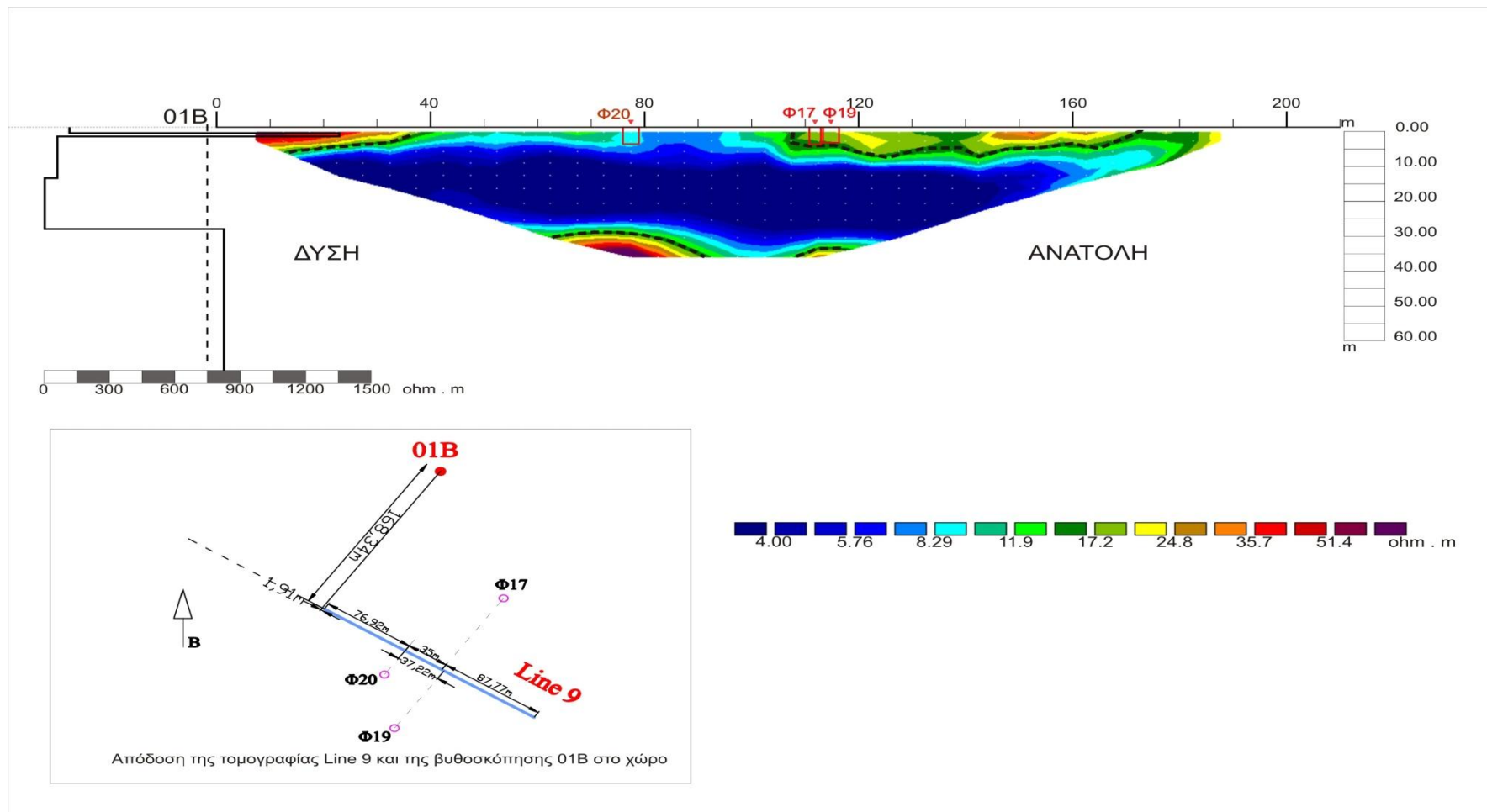
Στην τομή εμφανίζεται το επιφανειακό στρώμα με μέσο πάχος 5m, του οποίου οι αντιστάσεις κυμαίνονται από 20 ohm.m έως 60 ohm.m. Το γεωηλεκτρικό αυτό στρώμα αποδίδεται σε αλουβιακά ριπίδια κορεσμένα σε υφάλμυρο νερό. Στην βυθοσκόπηση το επιφανειακό αυτό στρώμα φαίνεται να έχει μικρότερο πάχος αλλά οι τιμές της ειδικής αντίστασης συμφωνούν.

Το δεύτερο στρώμα εκτείνεται περίπου μέχρι το βάθος των 30m. Η ειδική ηλεκτρική του αντίσταση είναι πολύ χαμηλή (από 1.3 ohm.m μέχρι 9 ohm.m) και αποδίδεται σε αλουβιακά ριπίδια. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από την βυθοσκόπηση για το πάχος του στρώματος.

Το τρίτο στρώμα εμφανίζεται σε βάθος μεγαλύτερο από 30m. Αποδίδεται σε μαργακό ασβεστόλιθο. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις του ξεπερνούν τα 60 Ohm.m στην τομογραφία ενώ στη βυθοσκόπηση φτάνουν τα 823 Ohm.m. Η διάφορα οφείλεται στο ότι ο ασβεστόλιθος αυτός βρίσκεται στα όρια της τομογραφίας και αναμένεται να έχει μεγαλύτερες ηλεκτρικές αντιστάσεις σε μεγαλύτερο βάθος.

Από τα πηγάδια χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ) του νερού, οι οποίες κυμαίνονται από 2050 έως 3000 $\mu S/cm$.

Από τη σχέση (6.1) προκύπτει ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ) του νερού που βρίσκεται στα πηγάδια κυμαίνεται από 4,5 έως και 1,96 Ohm.m άρα επιβεβαιώνεται η ύπαρξη υφάλμυρου νερού, επειδή οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στους σχηματισμούς με υφάλμυρο νερό στην τομογραφία και τη βυθοσκόπηση ήταν μικρότερες από 20 Ohm.m.



Σχήμα 6.1: Συνδυαστική αναπαράσταση της γεωηλεκτρικής τομής Line 9 με την βυθοσκόπηση 01B και τα πηγάδια Φ20, Φ19, Φ17.

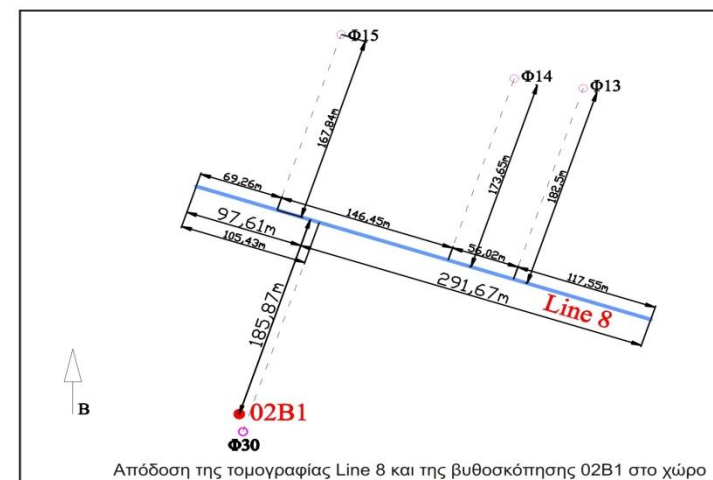
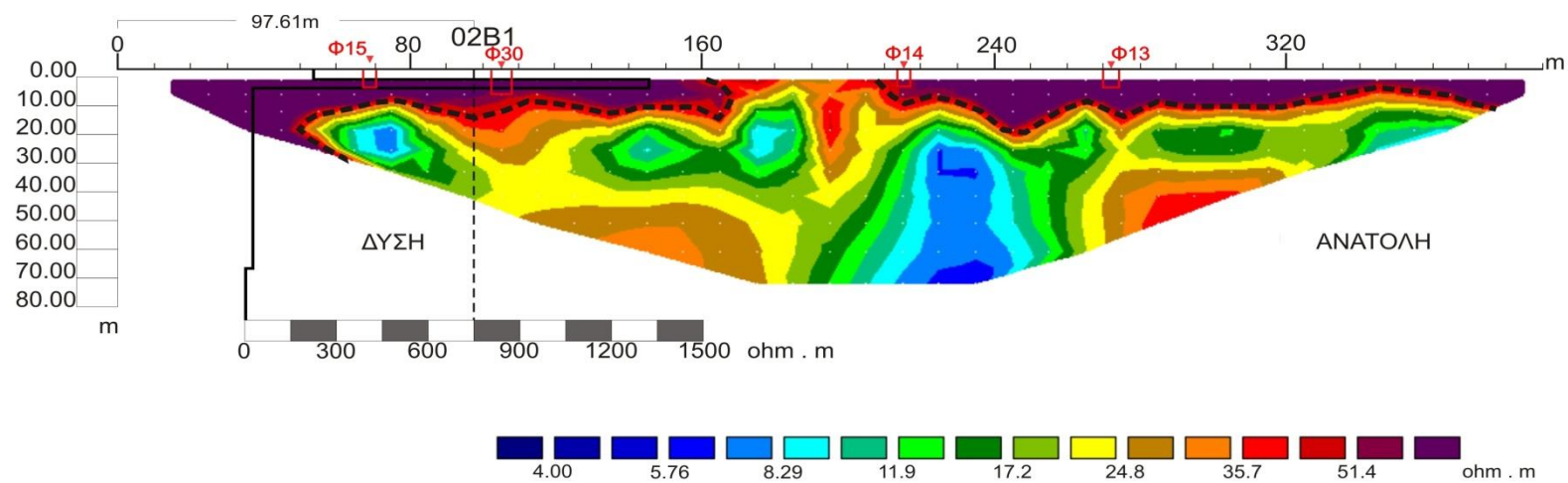
6.3 Συνδυασμός της γεωηλεκτρικής τομής Line 8 με την βυθοσκόπηση 02B1 και πηγάδια Φ13, Φ14, Φ15, Φ30

Όπως φαίνεται στο **σχήμα 6.2** η Line 8 έχει διεύθυνση από δυτικά-βορειοδυτικά προς ανατολικά-νοτιοανατολικά. Οι συντεταγμένες είναι (σε ΕΓΣΑ 87) $(x,y)=(461933, 3926207)$ και $(x,y)=(462303, 3926086)$ αντίστοιχα. Η προβολή της βυθοσκόπησης είναι στα 97,61 m της τομογραφίας και έχει κέντρο της με συντεταγμένες $(x,y)=(461968, 3926000)$.

Σύμφωνα με την ηλεκτρική τομογραφία το επιφανειακό στρώμα έχει μέσο πάχος 11m, οι αντιστάσεις του κυμαίνονται από 60 ohm.m έως 400 ohm.m και αποδίδονται σε αλουβιακά ριπίδια. Το στρώμα αυτό απαντάται και στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση με μικρότερο πάχος και υψηλές αντιστάσεις (1325 Ohm.m).

Το δεύτερο στρώμα στην ηλεκτρική τομογραφία εμφανίζεται κάτω από τα 11m, έχει ειδική ηλεκτρική αντίσταση από 4 έως 20 ohm.m και εκτείνεται στο κεντρικό τμήμα της τομής σε μέγιστο βάθος διασκόπησης 70m. Το στρώμα αυτό αποδίδεται σε αλουβιακά ριπίδια κορεσμένα κατά θέσεις σε υφάλμυρο νερό.

Από τα πηγάδια που χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ) του νερού, οι οποίες κυμαίνονται από 2030 έως 2210 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



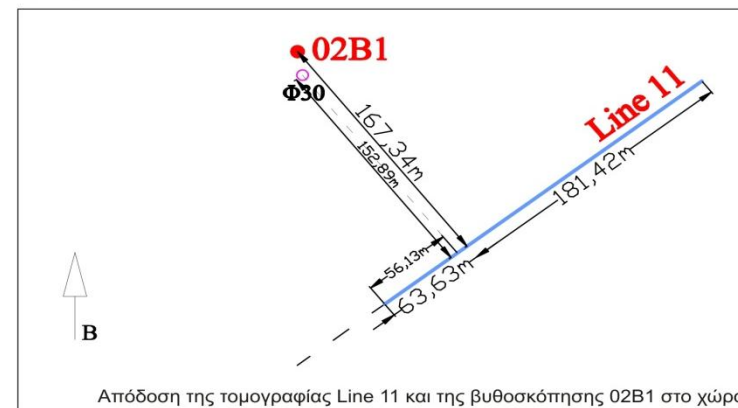
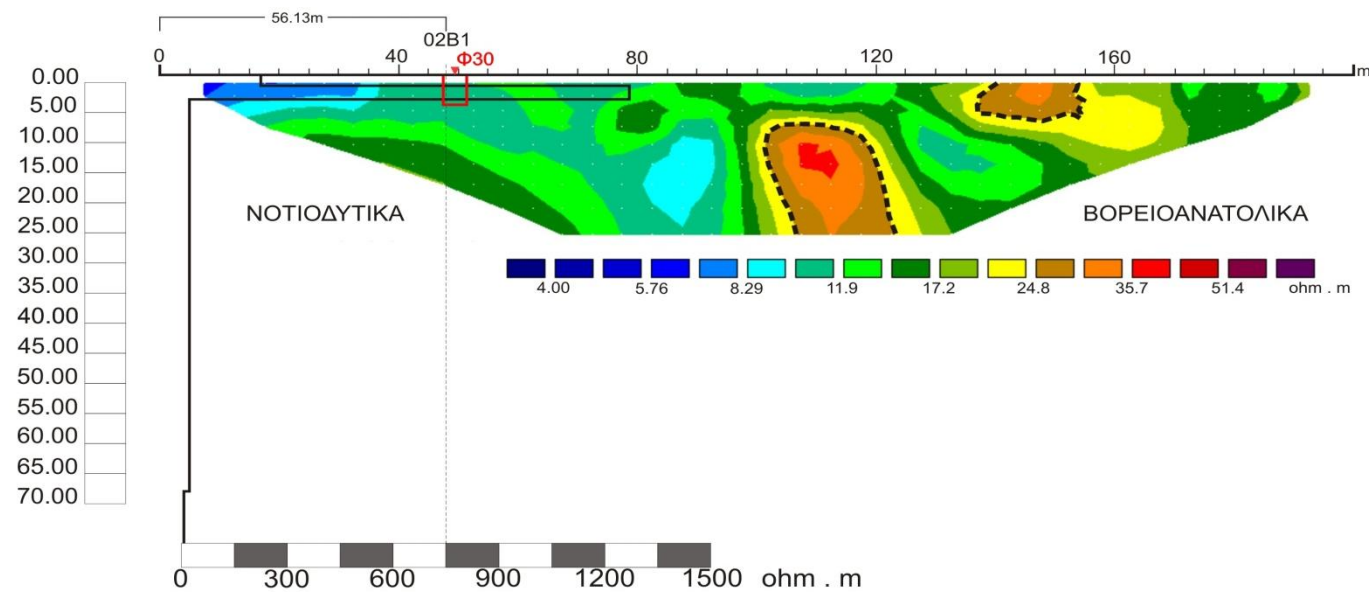
Σχήμα 6.2: Συνδυαστική αναπαράσταση της γεωηλεκτρικής τομής Line 8 με την βυθοσκόπηση 02B1 και τα πηγάδια Φ13, Φ14, Φ15, Φ30.

6.4 Συνδυασμός της γεωηλεκτρικής τομής Line 11 με την βυθοσκόπηση 02B1 και πηγάδι Φ30

Όπως φαίνεται στο **σχήμα 6.3** η Line 11 έχει διεύθυνση από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά, με συντεταγμένες των αντιστοίχων άκρων (σε ΕΓΣΑ87) $(x,y) = (462021, 3925829)$ και $(x,y) = (462214, 3925980)$ αντίστοιχα. Η βυθοσκόπηση προβάλλεται στην ηλεκτρική τομογραφία στα 56,13 m. Το κέντρο της βυθοσκόπησης είναι $(x,y) = (461968, 3926000)$. Πολύ κοντά στη βυθοσκόπηση βρίσκεται το πηγάδι Φ30 με συντεταγμένες $(x,y) = (461971, 3925984)$.

Στο πηγάδι Φ30 παρατηρείται πως η ηλεκτρική αγωγιμότητα αγγίζει τα 2210 $\mu S/cm$ και από τη σχέση 6.2 προκύπτει ειδική ηλεκτρική αντίσταση 4.5 Ohm.m, γεγονός που σημαίνει την παρουσία υφάλμυρου νερού στο πηγάδι.

Στην τομή δεν παρατηρούνται ξεκάθαρα γεωηλεκτρικά στρώματα. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 5 μέχρι 40 ohm.m και αποδίδονται σε κορεσμένα αλουβιακά ριπίδια. Αντίθετα, στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση παρατηρείται επιφανειακό γεωηλεκτρικό στρώμα με μικρό πάχος (0,8 m) που αποδίδεται σε φυτική γη και αμέσως μετά ένα δεύτερο στρώμα με ειδική ηλεκτρική αντίσταση που φτάνει τα 1312 Ohm.m και πάχος 1,8 m και αποδίδεται σε αλουβιακά ριπίδια. Από τα 2,7 m μέχρι και τα 63 m βάθος εμφανίζεται στρώμα με ηλεκτρική αντίσταση 28 Ohm.m τιμή παραπλήσια εκείνων της ηλεκτρικής αντίστασης που εμφανίζονται στην ηλεκτρική τομογραφία. Σε βάθος που ξεπερνά τα 63 m εμφανίζεται στρώμα με πολύ χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση (3,65 Ohm.m) και αποδίδεται σε αλουβιακά ριπίδια κορεσμένα σε υφάλμυρο νερό.



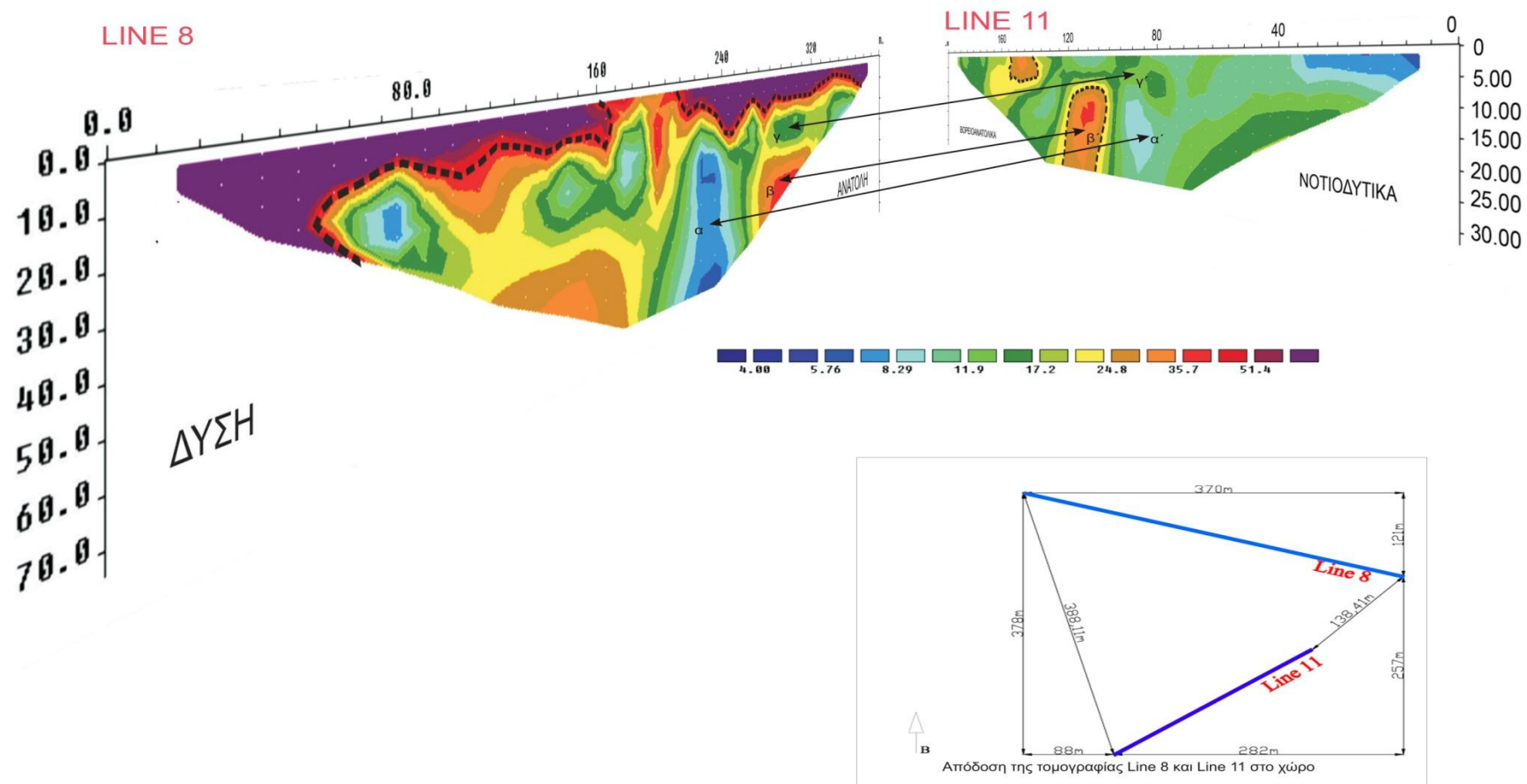
Σχήμα 6.3: Συνδυαστική αναπαράσταση της τομής Line 11 με την βυθοσκόπηση 02B1 και το πηγάδι Φ30.

6.5 Συνδυασμός των γεωηλεκτρικών τομών Line 8 και Line 11

Η γεωηλεκτρική τομή Line 8 έχει διεύθυνση από δυτικά – βορειοδυτικά προς ανατολικά - νοτιοανατολικά. Οι συντεταγμένες των αντίστοιχων άκρων είναι (σε ΕΓΣΑ 87) $(x,y)=(461933, 3926207)$ και $(x,y)=(462303, 3926086)$. Η Line 11 έχει διεύθυνση από νότια - νοτιοδυτικά προς βόρεια - βορειοανατολικά, οι συντεταγμένες των άκρων είναι (σε ΕΓΣΑ87) $(x,y)=(462021,3925829)$ και $(x,y)=(00462214, 3925980)$ αντίστοιχα.

Στο σχήμα 6.4 παρουσιάζονται οι ηλεκτρικές τομές με προοπτική από τα δυτικά για να είναι δυνατή η πραγματική απόδοση τους όπως βρίσκονται στο χώρο και να γίνει καλύτερα η σύγκριση μεταξύ τους.

Παρατηρείται ότι το επιφανειακό στρώμα με μέσο πάχος τα 11 m που εμφανίζεται στην γεωηλεκτρική τομή Line 8 δεν υπάρχει στην Line 11. Αντίθετα, το δεύτερο στρώμα της Line 8 έχει πολλές ομοιότητες με την τομογραφία Line 11. Οι ομοιότητες αυτές γίνονται ακόμα πιο ξεκάθαρες στα σημεία α, β και γ για την Line 8 και α', β' και γ' για την τομογραφία Line 11 αντίστοιχα. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις στις θέσεις α και α' είναι αρκετά χαμηλές ($<10\Omega m$) και στις δυο τομές. Στις θέσεις β και β' αντίστοιχα παρατηρούνται ηλεκτρικές αντιστάσεις που κυμαίνονται από 25 ohm.m έως 40 ohm.m και στις δυο τομές.



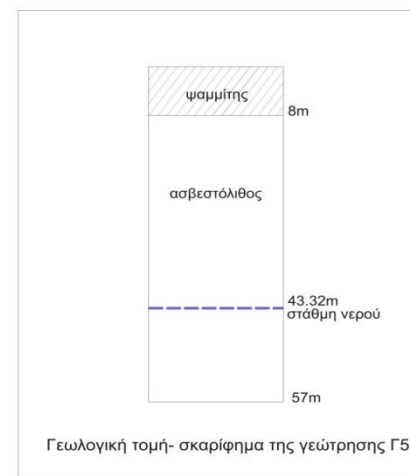
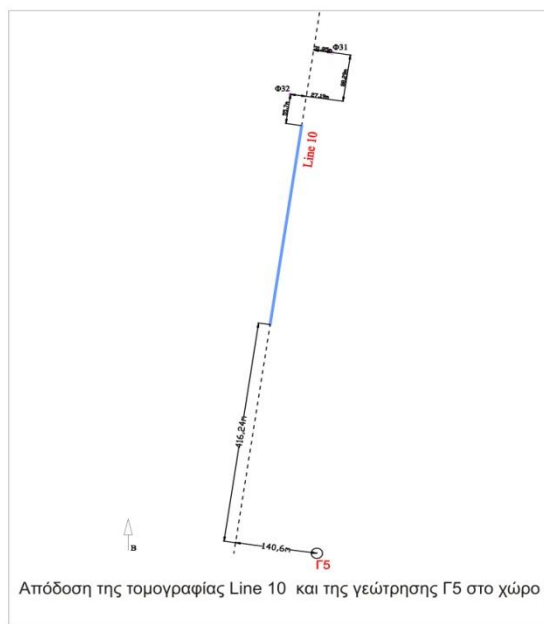
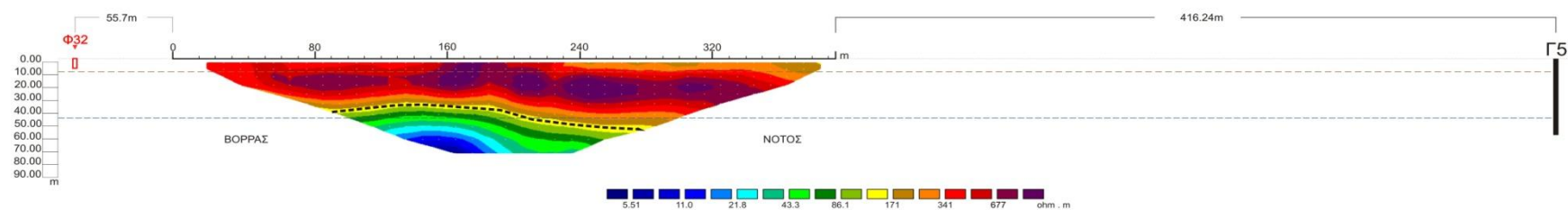
6.6 Συνδυασμός της γεωηλεκτρικής τομής Line 10 με την γεώτρηση Γ5 και το πηγάδι Φ32

Η γεωηλεκτρική τομή Line 10 εκτείνεται από βορρά προς νότο. Οι συντεταγμένες του βόρειου και νότιου άκρου είναι (σε ΕΓΣΑ87)(x,y)=(00461915, 3925443) και (x,y)=(461861, 3925067) αντίστοιχα. Η γεώτρηση Γ5 βρίσκεται 416.24 m νότια της τομογραφίας και έχει συντεταγμένες (x,y)=(461941,3924635).

Από την τομογραφία εμφανίζονται συνολικά δυο γεωηλεκτρικά στρώματα. Το πρώτο αποδίδεται σε ακόρεστα αλουβιακά ριπίδια με μέσο πάχος 45m με την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του να κυμαίνεται από 150 ohm.m έως 800 ohm.m. Το δεύτερο έχει ειδική ηλεκτρική αντίσταση από 5 έως 150 ohm.m και εκτείνεται σε βάθος μεγαλύτερο των 40 m στο κέντρο της γραμμής μελέτης. Αυτό το γεωηλεκτρικό στρώμα αποδίδεται σε αλουβιακά ριπίδια με υφάλμυρο νερό.

Η γεώτρηση Γ5 φτάνει σε βάθος 57 m και η στάθμη του νερού είναι 43 m. Από τις μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού φαίνεται ότι υπάρχει υφάλμυρο νερό αφού φτάνει μέχρι και τα 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η ύπαρξη νερού σε βάθος επιβεβαιώνεται και από την τομογραφία.

Το πηγάδι Φ32 βρίσκεται 55,7 m μακριά από το βόρειο άκρο της Line 10 και έχει συντεταγμένες (σε ΕΓΣΑ87)(x,y)= (461896, 3925502). Από τα δελτία απογραφής παρατηρείται η ύπαρξη υφάλμυρου νερού στα 2,50 m βάθος πράγμα που δεν επιβεβαιώνεται από την τομογραφία.



Σχήμα 6.5: Συνδυαστική αναπαράσταση της γεωηλεκτρικής τομής Line 10, της γεώτρησης Γ5 και του πηγαδιού Φ32.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και του φαινομένου υφαλμύρωσης της περιοχής

Από τις αναλύσεις των αποτελεσμάτων των ηλεκτρικών τομών, των ηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων και των δεδομένων που πάρθηκαν από την ΥΕΒ έγινε προσπάθεια να αποδοθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο ο προσδιορισμός των γεωηλεκτρικών στρωμάτων, αλλά και να προσδιοριστούν οι περιοχές στις οποίες υπάρχουν ενδείξεις διείσδυσης του θαλασσινού νερού στο υπέδαφος.

Αξιοποιώντας τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας προέκυψαν αρκετά ξεκάθαρα συμπεράσματα, όσον αφορά την ύπαρξη υφαλμύρωσης στο νότιο τμήμα της περιοχής των Φαλασάρνων. Πιο συγκεκριμένα το φαινόμενο της διείσδυσης του θαλασσινού νερού εμφανίζεται σε όλη τη περιοχή μελέτης.

Σύμφωνα με την βυθοσκόπηση O1B και τομή Line 9, αλλά και τις μετρήσεις στα πηγάδια Φ17, Φ19 και Φ20 η υφαλμύρωση εμφανίζεται σε πολύ μικρά βάθη σε απόσταση έως 150m από τη ακτογραμμή.

Παρατηρήθηκε κώνος με υφάλμυρο νερό στην γεωηλεκτρική τομή Line 8 ο οποίος εμφανίζεται σε απόλυτο υψόμετρο 0m . Σύμφωνα με την βυθοσκόπηση O2B1 η οποία βρίσκεται σε απόσταση 700 περίπου μέτρων από την ακτογραμμή η υφαλμύρωση εμφανίζεται σε απόλυτο υψόμετρο -50m. Ένας δεύτερος πιθανός κώνος με υφάλμυρο νερό παρατηρήθηκε στη γεωηλεκτρική τομή Line 10 ο οποίος εμφανίζεται σε απόλυτο υψόμετρο -30m.

Τα δεδομένα από τα δελτία απογραφής της ΥΕΒ αξιοποιήθηκαν έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων των ηλεκτρικών μεθόδων με τα πηγάδια και γεωτρήσεις της περιοχής μελέτης. Τα δεδομένα αυτά -ορισμένα από τα όποια πάρθηκαν αρκετά παλιά (πριν περίπου 10 χρόνια)- και ορισμένα άλλα πολύ πρόσφατα επιβεβαίωσαν την ύπαρξη υφάλμυρου νερού. Επιβεβαιώνεται, επίσης, ότι το φαινόμενο αυτό επιτείνεται με την πάροδο του χρόνου.

Ένα άλλο πρόβλημα το οποίο δυσχέρανε την γεωλογική ερμηνεία των ηλεκτρικών δεδομένων ήταν η ίδια η υφαλμύρωση. Αυτό προέκυψε γιατί όταν ένα γεωλογικό στρώμα είναι κορεσμένο με υφάλμυρο νερό, η

ειδική ηλεκτρική αντίστασή του, μειώνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό, με αντιστάσεις που συνήθως είναι μικρότερες των 10 $\Omega \cdot m$ ασχέτως του σχηματισμού που φιλοξενεί την υφαλμύρωση. Έτσι, κάτω από το επίπεδο της υφαλμύρωσης, καθίσταται αδύνατος ο προσδιορισμός και ο διαχωρισμός των γεωηλεκτρικών στρωμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

1. Βαφείδης, Α., (2006). Συνδυασμένη Γεωφυσική έρευνα για την ανίχνευση του Μετώπου Υφαλμύρωσης και τη διαχείριση των Υπόγειων Νερών στην περιοχή Στύλος Χανίων, Δεκέμβριος 2006, Χανιά.
2. Καλλέργης, Γ.Α., (2001). Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Τόμος Γ, Δεύτερη Έκδοση, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Αθήνα.
3. Νάνου – Γιάνναρου, Α., (2001). Υφαλμύριση παράκτιων Υδροφορέων, Συμπόσιο «Αιγαίο – Νερό – Βιώσιμη Ανάπτυξη» 6-7 Ιουλίου, Πάρος.
4. Παπαζάχος, Β., (1986). Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική”, Εκδόσεις “Ζήτη”, Θεσσαλονίκη
5. Εφημερίδα Χανιώτικα Νέα , ημερομηνία έκδοσης 6/10/2006
6. Κουμαντάκη, Ι.Ε., (2000). Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Ε.Μ.Π Αθήνα
7. Γεωλογικός Χάρτης, Ι.Γ.Μ.Ε. ΦΥΛΛΟ ΚΑΣΤΕΛΛΙ (1:50.000), Καραγεωργίου Ε., 1970.

Διεθνής βιβλιογραφία

1. Abdul Nassir, S. S., Loke, M. H., Lee, C. Y., & Nawawi, M. N. M. (2000). Salt-water intrusion mapping by geoelectrical imaging surveys. *Geophysical Prospecting*, 48(4), 647-661.
2. Balia, R., Gavaudò, E., Ardau, F., & Ghiglieri, G. (2003). Geophysical approach to the environmental study of a coastal plain. *Geophysics*, 68(5), 1446-1459.
3. De Beer, J. H., Joubert, S. J., & Van Zyl, J. S. V. (1981). Resistivity studies of an alluvial aquifer in the Omaruru delta. South West Africa/Namibia. *Transactions of the Geological Society of South Africa*, 84, 115-122.
4. Casas A., Himi M., Tapias, J. C., Ranieri, G., Mota, R., (2004). Mapping Saltwater Intrusion in Coastal Aquifers by Electrical Imaging Using Different Arrays: A Comparative Study. 18th SWIM, Cantagena, Spain, 31 May -3- June.
5. Crane H., Goldman M., Kuliev K., (2005). Integration of Geophysical Methods for Groundwater Exploration in Turmenistan. Final Report, The Geophysical Institute of Israel, Project. Duration: May 1, 2002 – June 30 2005
6. Gnanasundar, D., & Elango, L. (1999). Groundwater quality assessment of a coastal aquifer using geoelectrical techniques. *Journal of Environmental Hydrology*, 7(2), 1-8.
7. Haeni, F. P. (1986). Application of seismic refraction methods in groundwater modeling studies in New England. *Geophysics*, 51(2), 236-249.
8. Hamdan, H. A., Kritikakis, G., Vafidis, A., & Manoutsoglou, E. (2007, September). The Role of Geophysical Methods in Salt-Water Intrusion Mapping for Strongly Karst Formations, a Case Study at Stylos, Crete. In *13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*.
9. Haxhiu P., Uci A., (1994). The determination of unpolluted underground water bounds in the Lushnja (Albania) seaside region”, *Publication of the Academy of Finland*, Volume 4, pp 119 – 124.

10. Imhof A.L., Guell A.E., Villagra S.M., (2001). Resistivity sounding method applied to saline horizons' determination in Colonia Loveras – San Juan Province – Argentina”, *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol.19 pp 23 -27
11. Jarvis, K. D., & Knight, R. J. (2002). Aquifer heterogeneity from SH-wave seismic impedance inversion. *Geophysics*, 67(5), 1548-1557.
12. Lashkaripour, G. R. (2003). An investigation of groundwater condition by geoelectrical resistivity method: A case study in Korin aquifer, southeast Iran. *Journal of Spatial Hydrology*, 3(2).
13. Mela K., (1997), “Viability of using seismic data to predict hydrogeological parameters”, SAGEEP.
14. Mela, K. (1997). Viability of using seismic data to predict hydrogeological parameters, in Bell, RS, Ed., Proc. 10th Ann. Symposium on the Application of Geophysics to Environmental and Engineering Problems, 773–780.
15. Parkish D., Kumar K.V., Tata S. N., (1980). Geophysical studies for ground water exploration in Deccan Traps. Annual Convention and seminar on Exploration Geophysics, pp 25 – 26.
16. Singh C. L., Yadav G. S., (1982). Geoelectrical soundings for the study of suitable aquifers in the Gangetic alluvium of Allahabad region. Proceeding of the Indian academy of Science, vol. 91 , No.1 pp. 21 – 28
17. Singh, U. K., Das, R. K., & Hodlur, G. K. (2004). Significance of Dar-Zarrouk parameters in the exploration of quality affected coastal aquifer systems. *Environmental Geology*, 45(5), 696-702.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Δεδομένα που συλλέχτηκαν από τις βυθοσκοπήσεις

Βυθοσκόπηση 01B		Βυθοσκόπηση 02B1	
AB/2	Ro_a	AB/2	Ro_a
1	218,86	1	302,8
1,2	217,04	1,2	272,3
1,5	288,25	1,5	296,9
1,8	332,68	1,8	306,2
2,2	352,23	2,2	357,9
2,7	348,17	2,7	396,2
3,3	343,99	3,3	404,4
3,9	346,73	3,9	264,7
4,7	333,63	4,7	291,5
5,6	246,18	5,6	467
6,8	194,7	6,8	732,2
8,2	180,94	8,2	536,5
10	164,54	10	515,2
12	165,49	12	398,1
15	167,44	15	311
18	139,38	18	215,8
22	66,143	22	146
27	30,101	27	105,3
33	24,79	33	42,2
39	16,47	39	35,6
47	9,711	47	32,85
56	14,771	56	53,2
68	10,41	68	33,4
82	13,547	82	27,9
100	64,68	100	47,7
120	106,68	120	24,4
150	147,65		
180	1068		
220	2545		

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Δεδομένα που συλλέχθηκαν από της τομογραφίες

Line 8				Line 9			
Θέση ηλ. (m)	Απόσταση (m)	Επίπεδο	ρ (ohm.m)	Θέση ηλ. (m)	Απόσταση (m)	Επίπεδο	ρ (ohm.m)
35	10	1	433,42	17,5	5	1	38,2965
45	10	1	329,45	22,5	5	1	30,79
55	10	1	270,6	27,5	5	1	27,937
75	10	1	84,22	32,5	5	1	20,285
85	10	1	95,39	37,5	5	1	17,5185
95	10	1	56,34	42,5	5	1	13,2245
105	10	1	71,15	47,5	5	1	12,3205
115	10	1	54,43	52,5	5	1	11,904
125	10	1	61,21	57,5	5	1	8,186
135	10	1	72,29	62,5	5	1	10,708
145	10	1	87,08	67,5	5	1	5,48
155	10	1	60,7	72,5	5	1	12,056
165	10	1	53,13	77,5	5	1	7,435
175	10	1	35,33	82,5	5	1	12,0655
185	10	1	22,76	87,5	5	1	8,3265
195	10	1	23,87	92,5	5	1	8,37
205	10	1	35,48	97,5	5	1	8,0965
215	10	1	47,09	102,5	5	1	8,758
225	10	1	63,72	107,5	5	1	11,856
235	10	1	139,61	112,5	5	1	11,722
245	10	1	158,02	117,5	5	1	14,733
255	10	1	135,92	122,5	5	1	16,523
265	10	1	167,99	127,5	5	1	14,645
275	10	1	78,31	132,5	5	1	17,298
285	10	1	99,23	137,5	5	1	16,7255
295	10	1	95,46	142,5	5	1	19,985
305	10	1	110,02	147,5	5	1	13,725
315	10	1	92,75	152,5	5	1	20,502
325	10	1	73,03	157,5	5	1	19,768
335	10	1	53,91	162,5	5	1	14,447
345	10	1	42,1	167,5	5	1	20,287
355	10	1	53,45	172,5	5	1	17,263
365	10	1	92,06	177,5	5	1	15,0875
375	10	1	93,28	182,5	5	1	20,2365
385	10	1	119,16	187,5	5	1	16,6735
25	10	2	219,02	192,5	5	1	21,27
35	10	2	240,5	12,5	5	2	23,193
45	10	2	180,97	22,5	5	2	16,7315
55	10	2	95,99	27,5	5	2	14,8765
65	10	2	99,11	32,5	5	2	11,1045

75	10	2	67,11	37,5	5	2	10,7185
85	10	2	51,61	42,5	5	2	8,1075
95	10	2	44,38	47,5	5	2	7,326
105	10	2	45,25	52,5	5	2	6,2115
115	10	2	43,32	57,5	5	2	6,497
125	10	2	42,31	62,5	5	2	7,132
135	10	2	36,74	67,5	5	2	4,1713
145	10	2	60,38	72,5	5	2	6,649
155	10	2	34,36	77,5	5	2	6,4915
165	10	2	28,42	82,5	5	2	5,8975
175	10	2	49,04	87,5	5	2	6,264
185	10	2	23,55	92,5	5	2	7,5885
195	10	2	20,79	97,5	5	2	6,9575
205	10	2	36,33	102,5	5	2	8,0545
215	10	2	30,18	107,5	5	2	9,9905
225	10	2	55,5	112,5	5	2	9,5325
235	10	2	61,51	117,5	5	2	11,4915
245	10	2	42,45	122,5	5	2	13,11
255	10	2	64,98	127,5	5	2	13,056
265	10	2	73,13	132,5	5	2	14,9515
275	10	2	53,14	137,5	5	2	17,484
285	10	2	45,9	142,5	5	2	14,588
295	10	2	52,38	147,5	5	2	11,7785
305	10	2	51,46	152,5	5	2	19,9465
315	10	2	42,39	157,5	5	2	16,618
325	10	2	41,19	162,5	5	2	10,539
335	10	2	35,74	167,5	5	2	14,604
345	10	2	30,96	172,5	5	2	14,518
355	10	2	34,55	177,5	5	2	12,3265
365	10	2	27,57	182,5	5	2	14,555
375	10	2	33,32	187,5	5	2	13,7225
35	10	3	137,15	17,5	5	3	8,9655
45	10	3	118,75	22,5	5	3	9,1855
55	10	3	63,7	27,5	5	3	8,5825
65	10	3	49,64	32,5	5	3	6,5755
75	10	3	39,41	37,5	5	3	8,426
85	10	3	43,06	42,5	5	3	6,631
95	10	3	33,32	47,5	5	3	4,5873
105	10	3	37,21	52,5	5	3	5,7085
115	10	3	28,22	57,5	5	3	5,3435
125	10	3	35,46	62,5	5	3	5,7595
135	10	3	32,35	67,5	5	3	3,11495
145	10	3	44,62	72,5	5	3	5,9265
155	10	3	25,25	77,5	5	3	6,0375
165	10	3	22,17	82,5	5	3	5,6765
175	10	3	31,26	87,5	5	3	4,71215
185	10	3	25,54	92,5	5	3	6,1825
195	10	3	22,2	97,5	5	3	6,1195
205	10	3	29,84	102,5	5	3	6,8615

215	10	3	30,84	107,5	5	3	7,972
225	10	3	31,76	112,5	5	3	7,9595
235	10	3	23,33	117,5	5	3	8,8965
245	10	3	27,24	122,5	5	3	10,2395
255	10	3	37,59	127,5	5	3	10,6395
265	10	3	40,64	132,5	5	3	12,465
275	10	3	27,35	137,5	5	3	10,9595
285	10	3	30,92	142,5	5	3	10,24
295	10	3	29,74	147,5	5	3	9,347
305	10	3	35,44	152,5	5	3	14,3115
315	10	3	28,63	157,5	5	3	13,3595
325	10	3	29,68	162,5	5	3	9,857
335	10	3	29,44	167,5	5	3	11,4915
345	10	3	27,28	172,5	5	3	11,7885
355	10	3	20,59	177,5	5	3	11,009
365	10	3	22,46	182,5	5	3	12,643
45	10	4	76,27	22,5	5	4	6,193
55	10	4	48,17	27,5	5	4	7,0415
75	10	4	31,72	32,5	5	4	5,03
85	10	4	34,24	37,5	5	4	5,4905
95	10	4	28,84	47,5	5	4	4,80175
105	10	4	28,42	52,5	5	4	4,56135
115	10	4	26,54	57,5	5	4	5,5705
125	10	4	30,79	62,5	5	4	5,3805
135	10	4	30,68	67,5	5	4	3,0083
145	10	4	40,39	72,5	5	4	5,4825
155	10	4	26,17	77,5	5	4	5,8375
165	10	4	18,57	82,5	5	4	5,2375
175	10	4	25,23	87,5	5	4	4,49075
185	10	4	18,51	92,5	5	4	5,0635
205	10	4	31,13	97,5	5	4	4,55925
215	10	4	22,16	102,5	5	4	6,0895
225	10	4	17,98	107,5	5	4	6,8925
235	10	4	25,18	112,5	5	4	6,325
245	10	4	21,45	117,5	5	4	7,676
255	10	4	28,59	122,5	5	4	8,252
265	10	4	28,38	127,5	5	4	8,6755
275	10	4	21,78	132,5	5	4	8,1355
285	10	4	22,51	137,5	5	4	7,211
295	10	4	21,72	142,5	5	4	7,784
305	10	4	27,71	147,5	5	4	6,949
315	10	4	29,14	152,5	5	4	11,469
325	10	4	25,55	157,5	5	4	11,424
335	10	4	24,8	162,5	5	4	8,958
345	10	4	13,94	167,5	5	4	11,3355
355	10	4	20,92	172,5	5	4	10,308
55	10	5	37,58	177,5	5	4	10,029
65	10	5	34,18	27,5	5	5	5,6545
85	10	5	29,6	32,5	5	5	5,5555

95	10	5	16,8	37,5	5	5	5,5455
105	10	5	27,07	42,5	5	5	4,935
115	10	5	25,7	52,5	5	5	5,2555
125	10	5	28,18	57,5	5	5	4,3322
135	10	5	17,68	62,5	5	5	6,7525
145	10	5	49,65	67,5	5	5	3,54835
155	10	5	24,18	72,5	5	5	5,568
165	10	5	13,6	77,5	5	5	5,0735
175	10	5	23,72	82,5	5	5	5,137
195	10	5	18,92	87,5	5	5	4,366
205	10	5	31,53	92,5	5	5	4,62545
215	10	5	16,2	97,5	5	5	3,77595
225	10	5	20,66	102,5	5	5	4,84805
235	10	5	1449,3	107,5	5	5	6,0815
245	10	5	9382,8	112,5	5	5	5,8365
255	10	5	22,6	117,5	5	5	6,4855
265	10	5	22,37	122,5	5	5	7,627
275	10	5	21,99	127,5	5	5	6,51
285	10	5	17,38	132,5	5	5	6,0115
305	10	5	24,67	137,5	5	5	6,122
315	10	5	23,96	142,5	5	5	5,949
325	10	5	29,7	147,5	5	5	5,774
335	10	5	13,7	152,5	5	5	10,0325
345	10	5	16,24	157,5	5	5	10,5135
65	10	6	28,67	162,5	5	5	8,525
75	10	6	22,12	167,5	5	5	11,0715
85	10	6	31,31	172,5	5	5	10,6685
95	10	6	36,29	32,5	5	6	4,9908
105	10	6	29,62	37,5	5	6	8,6195
115	10	6	21,05	42,5	5	6	5,5155
125	10	6	20,61	47,5	5	6	4,33085
135	10	6	26,95	57,5	5	6	5,3335
145	10	6	37,27	62,5	5	6	4,9185
155	10	6	24,17	67,5	5	6	5,1715
165	10	6	15,32	72,5	5	6	6,265
185	10	6	13,39	77,5	5	6	5,0605
195	10	6	13,63	82,5	5	6	5,0975
205	10	6	18,04	87,5	5	6	4,2216
225	10	6	19,81	92,5	5	6	4,5658
235	10	6	1663	97,5	5	6	3,84965
245	10	6	911,13	102,5	5	6	4,25985
255	10	6	27,3	107,5	5	6	5,537
265	10	6	18,32	112,5	5	6	5,3285
275	10	6	3,09	117,5	5	6	6,391
285	10	6	21,12	122,5	5	6	6,4585
295	10	6	18,21	127,5	5	6	5,609
315	10	6	23,19	132,5	5	6	5,735
325	10	6	14,61	137,5	5	6	5,146
335	10	6	24,25	142,5	5	6	5,6885

75	10	7	10,45	147,5	5	6	5,122
85	10	7	26,17	152,5	5	6	9,1435
95	10	7	75,47	157,5	5	6	10,1145
105	10	7	27,7	162,5	5	6	8,4
115	10	7	15,32	167,5	5	6	11,2055
125	10	7	27,05	37,5	5	7	7,5165
135	10	7	24,05	42,5	5	7	8,5235
145	10	7	13,79	47,5	5	7	5,118
155	10	7	15,8	52,5	5	7	4,8147
175	10	7	22,1	62,5	5	7	6,699
185	10	7	11,29	67,5	5	7	2,97375
195	10	7	0,08	72,5	5	7	8,905
205	10	7	23,63	77,5	5	7	6,181
215	10	7	21,02	82,5	5	7	5,018
235	10	7	2363,9	87,5	5	7	4,177
245	10	7	7931,9	92,5	5	7	4,9799
255	10	7	23,01	97,5	5	7	4,08035
265	10	7	16,42	102,5	5	7	4,4496
275	10	7	4,77	107,5	5	7	5,2435
285	10	7	15,67	112,5	5	7	5,317
295	10	7	23,11	117,5	5	7	5,9475
305	10	7	23,62	122,5	5	7	5,8355
325	10	7	19,02	127,5	5	7	5,765
85	10	8	22,52	132,5	5	7	5,335
95	10	8	22,23	137,5	5	7	5,308
105	10	8	33,06	142,5	5	7	5,5535
115	10	8	26,66	147,5	5	7	5,156
125	10	8	25,28	152,5	5	7	8,7935
135	10	8	27,13	157,5	5	7	10,034
145	10	8	25,25	162,5	5	7	8,657
165	10	8	13,95	42,5	5	8	5,77
175	10	8	22,96	47,5	5	8	6,328
185	10	8	13,43	52,5	5	8	5,1705
195	10	8	17,54	57,5	5	8	5,1415
205	10	8	17,48	67,5	5	8	5,4195
215	10	8	19,22	72,5	5	8	4,5944
225	10	8	2281,6	77,5	5	8	6,4355
235	10	8	23,21	82,5	5	8	5,231
245	10	8	19,74	87,5	5	8	4,79305
255	10	8	19303	92,5	5	8	4,34935
265	10	8	20,01	97,5	5	8	4,56095
275	10	8	19,67	102,5	5	8	4,7558
285	10	8	14,84	107,5	5	8	5,319
295	10	8	19,91	112,5	5	8	5,5385
305	10	8	16,91	117,5	5	8	5,4955
315	10	8	19,42	122,5	5	8	5,9395
95	10	9	14,04	127,5	5	8	5,686
105	10	9	25,47	132,5	5	8	5,6505
115	10	9	32,22	137,5	5	8	5,6615

125	10	9	22,27	142,5	5	8	5,4575
135	10	9	28,26	147,5	5	8	6,7105
155	10	9	18,92	152,5	5	8	8,324
165	10	9	13,56	157,5	5	8	9,4885
175	10	9	1,56	47,5	5	9	6,0735
195	10	9	16,79	52,5	5	9	6,9735
205	10	9	16,77	57,5	5	9	5,8405
215	10	9	17,71	62,5	5	9	4,90305
225	10	9	892,75	72,5	5	9	5,086
235	10	9	18,91	77,5	5	9	5,1695
245	10	9	18,57	82,5	5	9	6,437
255	10	9	9288,3	87,5	5	9	5,72
265	10	9	16,93	92,5	5	9	4,7972
275	10	9	19,06	97,5	5	9	4,7297
285	10	9	22,74	102,5	5	9	5,256
295	10	9	13,96	107,5	5	9	5,4985
305	10	9	17,27	112,5	5	9	5,435
105	10	10	19,64	117,5	5	9	5,73
115	10	10	16,87	122,5	5	9	5,721
125	10	10	29,6	127,5	5	9	5,9645
145	10	10	26,13	132,5	5	9	5,8565
155	10	10	15,47	137,5	5	9	5,8955
165	10	10	3,86	142,5	5	9	5,703
175	10	10	17,38	147,5	5	9	6,9495
185	10	10	14,38	152,5	5	9	8,677
195	10	10	24,98	52,5	5	10	6,5785
205	10	10	15,43	57,5	5	10	7,682
215	10	10	17,69	62,5	5	10	5,527
225	10	10	1115,7	67,5	5	10	5,117
235	10	10	7,96	77,5	5	10	6,177
245	10	10	20,15	82,5	5	10	5,0735
255	10	10	7079,4	87,5	5	10	7,2865
265	10	10	19,08	92,5	5	10	5,8525
275	10	10	17,23	97,5	5	10	5,234
285	10	10	2,23	102,5	5	10	5,52
295	10	10	20,18	107,5	5	10	5,6465
115	10	11	18,29	112,5	5	10	5,9765
135	10	11	34,61	117,5	5	10	5,7825
145	10	11	24,42	122,5	5	10	6,0825
155	10	11	0,38	127,5	5	10	6,0595
165	10	11	18,68	132,5	5	10	6,0465
175	10	11	13,94	137,5	5	10	6,162
185	10	11	14,95	142,5	5	10	5,9625
195	10	11	10,37	147,5	5	10	7,3905
205	10	11	30,65	62,5	5	11	7,2345
215	10	11	15	67,5	5	11	6,0425
225	10	11	10507	72,5	5	11	5,157
235	10	11	12,28	82,5	5	11	6,0995
245	10	11	15,63	87,5	5	11	5,2955

255	10	11	7964,4	92,5	5	11	8,0405
275	10	11	4,72	97,5	5	11	6,454
285	10	11	7,46	102,5	5	11	5,4925
125	10	12	19,02	107,5	5	11	5,9555
135	10	12	24,18	112,5	5	11	6,375
145	10	12	25,89	117,5	5	11	6,3395
155	10	12	38,93	122,5	5	11	6,3025
165	10	12	22,28	127,5	5	11	6,364
175	10	12	12,4	132,5	5	11	6,2065
185	10	12	10,79	137,5	5	11	6,339
195	10	12	13,23	142,5	5	11	6,3375
205	10	12	2,36	62,5	5	12	6,6895
215	10	12	10,56	67,5	5	12	8,52
225	10	12	8500,5	72,5	5	12	5,9845
235	10	12	4,18	77,5	5	12	6,2655
245	10	12	15,44	87,5	5	12	6,7255
255	10	12	2183,9	92,5	5	12	5,4255
265	10	12	4,83	97,5	5	12	8,3325
275	10	12	26,84	102,5	5	12	7,2485
135	10	13	1,5	107,5	5	12	5,996
145	10	13	32,32	112,5	5	12	6,6155
155	10	13	82,69	117,5	5	12	6,6895
165	10	13	35,1	122,5	5	12	6,8345
175	10	13	19,09	127,5	5	12	6,645
185	10	13	12,96	132,5	5	12	6,467
195	10	13	6,53	137,5	5	12	6,6135
205	10	13	41,47	67,5	5	13	4,6877
215	10	13	2,53	72,5	5	13	8,094
225	10	13	19688	77,5	5	13	7,1995
235	10	13	12,17	82,5	5	13	6,137
245	10	13	17,92	92,5	5	13	6,3935
255	10	13	134510	97,5	5	13	5,533
265	10	13	12,73	102,5	5	13	9,588
145	10	14	30,84	107,5	5	13	8,1125
155	10	14	25,16	112,5	5	13	6,8295
165	10	14	82,31	117,5	5	13	6,891
175	10	14	32,36	122,5	5	13	7,271
185	10	14	17,33	127,5	5	13	7,11
195	10	14	28,15	132,5	5	13	6,81
205	10	14	9,83	72,5	5	14	10,7605
215	10	14	3,94	77,5	5	14	9,8165
225	10	14	19256	82,5	5	14	7,089
235	10	14	45,68	87,5	5	14	6,0545
245	10	14	12,15	97,5	5	14	6,6875
255	10	14	53509	102,5	5	14	5,951
155	10	15	8,36	107,5	5	14	11,11
165	10	15	25,69	112,5	5	14	9,052
175	10	15	60,21	117,5	5	14	7,21
185	10	15	2,65	122,5	5	14	7,3825

195	10	15	11,36	127,5	5	14	7,779
205	10	15	25,56	77,5	5	15	9,352
215	10	15	4,34	82,5	5	15	9,3725
225	10	15	8773,5	87,5	5	15	7,5125
235	10	15	55,33	92,5	5	15	5,5515
245	10	15	31,51	102,5	5	15	7,7485
165	10	16	1,31	107,5	5	15	6,52
175	10	16	27,03	112,5	5	15	12,9335
185	10	16	47,12	117,5	5	15	8,9135
195	10	16	20,44	122,5	5	15	7,7775
205	10	16	17,83	82,5	5	16	8,9235
215	10	16	8,54	87,5	5	16	10,3995
225	10	16	76303	92,5	5	16	7,5885
235	10	16	6,24	97,5	5	16	6,1065
175	10	17	4,67	107,5	5	16	8,72
185	10	17	5,46	112,5	5	16	7,0765
195	10	17	76,92	117,5	5	16	11,7545
205	10	17	57,59	87,5	5	17	9,7675
215	10	17	42,74	92,5	5	17	11,691
225	10	17	35180	97,5	5	17	8,1715
185	10	18	6,96	102,5	5	17	6,972
195	10	18	21,2	112,5	5	17	9,8735
205	10	18	15,26	92,5	5	18	10,4375
215	10	18	31,48	97,5	5	18	13,0785
195	10	19	75,43	102,5	5	18	8,893
205	10	19	9,26	107,5	5	18	7,6455
195	10	19	75,43	97,5	5	19	11,113
205	10	19	9,26	102,5	5	19	14,8905

Line 10				Line 11			
Θέση ηλ. (m)	Απόσταση (m)	Επίπεδο	ρ (ohm.m)	Θέση ηλ. (m)	Απόσταση (m)	Επίπεδο	ρ (ohm.m)
75	10	1	550,77	7,5	5	1	6,88
85	10	1	463,59	12,5	5	1	7,72
95	10	1	500,63	17,5	5	1	7,03
105	10	1	436,63	22,5	5	1	7,45
115	10	1	428,82	27,5	5	1	8,46
125	10	1	318,47	32,5	5	1	8,4
135	10	1	450,33	37,5	5	1	9,97
145	10	1	512,3	42,5	5	1	11,69
155	10	1	731,97	47,5	5	1	14,92
165	10	1	999,04	52,5	5	1	12,25
175	10	1	830,57	57,5	5	1	20,03
185	10	1	1069,6	62,5	5	1	9,02
195	10	1	590,06	67,5	5	1	15,49
205	10	1	721,78	72,5	5	1	9,23
225	10	1	605,96	77,5	5	1	11,48
235	10	1	308,83	82,5	5	1	10,23
245	10	1	298,35	87,5	5	1	14,44
255	10	1	359,28	92,5	5	1	13,52
265	10	1	286,38	97,5	5	1	14,32
275	10	1	251,82	102,5	5	1	12,86
285	10	1	322,29	107,5	5	1	11,17
295	10	1	326,71	112,5	5	1	12,13
305	10	1	213,34	117,5	5	1	12,01
315	10	1	358,24	122,5	5	1	12,27
325	10	1	238,05	127,5	5	1	15,93
335	10	1	264,05	132,5	5	1	18,36
345	10	1	273,99	137,5	5	1	22,86
355	10	1	277,1	142,5	5	1	26,71
365	10	1	248,36	147,5	5	1	29,75
375	10	1	239,59	152,5	5	1	27,06
385	10	1	196,28	157,5	5	1	19,58
25	10	2	444,85	162,5	5	1	18,71
35	10	2	374,67	167,5	5	1	18,77
45	10	2	452,17	172,5	5	1	14,24
55	10	2	487,65	177,5	5	1	13,51
65	10	2	414,98	182,5	5	1	16,3
75	10	2	531,06	187,5	5	1	11,65
85	10	2	515,25	192,5	5	1	19,15
95	10	2	500,01	12,5	5	2	9,98
105	10	2	568,78	17,5	5	2	8,97
115	10	2	571,37	22,5	5	2	9,21
125	10	2	414,34	27,5	5	2	9,88

135	10	2	572,47	32,5	5	2	9,35
145	10	2	515,82	37,5	5	2	10,77
155	10	2	618,97	42,5	5	2	12,14
165	10	2	752,24	47,5	5	2	9,72
175	10	2	797,02	52,5	5	2	10,99
185	10	2	865,97	57,5	5	2	15,89
195	10	2	570,73	62,5	5	2	8,61
205	10	2	619,77	67,5	5	2	14,13
215	10	2	697,04	72,5	5	2	12,99
235	10	2	371,84	77,5	5	2	12,51
245	10	2	380,48	82,5	5	2	11,32
255	10	2	582,54	87,5	5	2	14,27
265	10	2	405,81	92,5	5	2	14,6
275	10	2	345,2	97,5	5	2	13,73
285	10	2	493,94	102,5	5	2	13,27
295	10	2	392,97	107,5	5	2	12,94
305	10	2	292,96	112,5	5	2	14,95
315	10	2	468,31	117,5	5	2	13,62
325	10	2	356,43	122,5	5	2	15,54
335	10	2	357,51	127,5	5	2	21,14
345	10	2	336,36	132,5	5	2	20,58
355	10	2	316,57	137,5	5	2	20,37
365	10	2	291,66	142,5	5	2	23,69
375	10	2	271,06	147,5	5	2	31,29
35	10	3	358,12	152,5	5	2	27,19
45	10	3	469,83	157,5	5	2	15,78
55	10	3	513,69	162,5	5	2	20,84
65	10	3	400,06	167,5	5	2	22,89
75	10	3	433,07	172,5	5	2	13,57
85	10	3	418,28	177,5	5	2	16,64
95	10	3	556,87	182,5	5	2	17,2
105	10	3	582,87	187,5	5	2	13,22
115	10	3	674,36	17,5	5	3	10,45
125	10	3	459,68	22,5	5	3	10,31
135	10	3	550,3	27,5	5	3	9,97
145	10	3	413,34	32,5	5	3	10,36
155	10	3	476,19	37,5	5	3	12,04
165	10	3	725,96	42,5	5	3	11,55
175	10	3	778,95	47,5	5	3	10,69
185	10	3	702,32	52,5	5	3	11,12
195	10	3	391,32	57,5	5	3	16,21
205	10	3	602,35	62,5	5	3	9,22
215	10	3	698,51	67,5	5	3	16,03
225	10	3	753,73	72,5	5	3	12,3
235	10	3	372,76	77,5	5	3	13,37
245	10	3	436,85	82,5	5	3	10,85

255	10	3	623,39	87,5	5	3	15,77
265	10	3	530,44	92,5	5	3	15,78
275	10	3	441,28	97,5	5	3	15,6
285	10	3	511,79	102,5	5	3	13,29
295	10	3	456,6	107,5	5	3	13,67
305	10	3	326,17	112,5	5	3	15,12
315	10	3	517,87	117,5	5	3	16,02
325	10	3	416,45	122,5	5	3	17,74
335	10	3	435,89	127,5	5	3	20,14
345	10	3	379,93	132,5	5	3	16,43
355	10	3	378,15	137,5	5	3	16,49
365	10	3	330,87	142,5	5	3	22,57
45	10	4	459,37	147,5	5	3	27,85
55	10	4	495,86	152,5	5	3	21,72
75	10	4	322,75	157,5	5	3	14,42
85	10	4	312,18	162,5	5	3	19,68
95	10	4	443,85	167,5	5	3	21,15
105	10	4	599,05	172,5	5	3	15,78
115	10	4	661,97	177,5	5	3	16,39
125	10	4	431,64	182,5	5	3	17,29
135	10	4	449,38	22,5	5	4	11,23
145	10	4	305,17	27,5	5	4	10,99
155	10	4	441,52	37,5	5	4	11,61
165	10	4	701,92	42,5	5	4	12,05
175	10	4	661,5	47,5	5	4	11,85
195	10	4	350,61	52,5	5	4	11,88
205	10	4	526,86	57,5	5	4	16,62
215	10	4	605,49	62,5	5	4	10,09
225	10	4	676,24	67,5	5	4	15,9
235	10	4	379,67	72,5	5	4	12,12
245	10	4	392,16	77,5	5	4	11,74
255	10	4	631,18	82,5	5	4	12,2
265	10	4	566,76	87,5	5	4	15,97
275	10	4	467,82	92,5	5	4	16,85
285	10	4	543,42	97,5	5	4	16,23
295	10	4	450,93	102,5	5	4	14,72
305	10	4	343,49	107,5	5	4	13,4
315	10	4	557,34	112,5	5	4	16,46
325	10	4	438,33	117,5	5	4	16,63
335	10	4	468,96	127,5	5	4	17,49
345	10	4	456,12	132,5	5	4	13,27
355	10	4	402,81	137,5	5	4	15,97
55	10	5	432,25	142,5	5	4	21,45
65	10	5	282,5	147,5	5	4	24,41
75	10	5	301,55	152,5	5	4	20,66
85	10	5	253,2	157,5	5	4	13,46

95	10	5	338,46	162,5	5	4	18,21
105	10	5	478,82	167,5	5	4	20,35
115	10	5	569,31	172,5	5	4	14,99
125	10	5	341,77	177,5	5	4	17,81
135	10	5	363,55	27,5	5	5	13,04
145	10	5	271,05	32,5	5	5	11,12
155	10	5	363,3	42,5	5	5	13,35
165	10	5	574,46	47,5	5	5	12,38
175	10	5	542,84	52,5	5	5	12,46
185	10	5	523,61	57,5	5	5	17,42
195	10	5	347,89	62,5	5	5	9,57
205	10	5	437,57	67,5	5	5	13,57
215	10	5	489,13	72,5	5	5	11,3
225	10	5	597,28	77,5	5	5	13,48
235	10	5	317,46	82,5	5	5	11,68
245	10	5	377,6	87,5	5	5	16,75
255	10	5	584,87	92,5	5	5	16,97
265	10	5	496,96	97,5	5	5	17,08
275	10	5	432,14	102,5	5	5	15,37
285	10	5	567,22	107,5	5	5	15,11
295	10	5	442,91	112,5	5	5	16,19
305	10	5	318,45	117,5	5	5	16,18
315	10	5	542,66	122,5	5	5	15,56
325	10	5	440,75	132,5	5	5	13,22
335	10	5	475,72	137,5	5	5	15,21
345	10	5	472,94	142,5	5	5	19,59
65	10	6	252,4	147,5	5	5	24,77
75	10	6	259,42	152,5	5	5	20,29
85	10	6	240,95	157,5	5	5	13,34
95	10	6	292,9	162,5	5	5	18,13
105	10	6	316,01	167,5	5	5	18,94
115	10	6	365,55	172,5	5	5	14,13
125	10	6	260,49	32,5	5	6	10,94
135	10	6	312,06	37,5	5	6	13,32
145	10	6	237,31	42,5	5	6	12,98
155	10	6	304,44	47,5	5	6	12,52
165	10	6	425,93	52,5	5	6	13,42
175	10	6	479,84	57,5	5	6	16,62
185	10	6	502,82	62,5	5	6	8,66
195	10	6	306,07	67,5	5	6	11,64
205	10	6	408,41	72,5	5	6	12,29
215	10	6	443,4	77,5	5	6	13,34
225	10	6	457,17	82,5	5	6	12,91
235	10	6	268,48	87,5	5	6	15,65
245	10	6	338,92	92,5	5	6	17,03
255	10	6	508,35	97,5	5	6	17,79

265	10	6	422,63	102,5	5	6	16,85
275	10	6	383,46	107,5	5	6	15,39
285	10	6	503,92	112,5	5	6	17,1
295	10	6	442,3	117,5	5	6	13,78
305	10	6	304,18	122,5	5	6	14
315	10	6	495,14	127,5	5	6	16,04
325	10	6	432,49	137,5	5	6	14,52
335	10	6	481,05	142,5	5	6	20,06
75	10	7	236,6	147,5	5	6	24,29
85	10	7	225,17	152,5	5	6	20,58
95	10	7	236,92	157,5	5	6	13,6
105	10	7	214,53	162,5	5	6	18,58
115	10	7	200,71	167,5	5	6	18,33
125	10	7	180,57	37,5	5	7	14,66
135	10	7	252,79	42,5	5	7	13,9
145	10	7	190,85	47,5	5	7	13,83
155	10	7	239,45	52,5	5	7	12,28
165	10	7	374	57,5	5	7	15,79
175	10	7	421,17	62,5	5	7	8,85
185	10	7	427,15	67,5	5	7	13,05
195	10	7	272,83	72,5	5	7	11,99
205	10	7	378,41	77,5	5	7	13,48
215	10	7	410,64	82,5	5	7	12,34
235	10	7	231,46	87,5	5	7	16,41
245	10	7	269,94	92,5	5	7	16,63
255	10	7	418,21	97,5	5	7	17,64
265	10	7	119680	102,5	5	7	19,17
275	10	7	308,14	107,5	5	7	15,5
285	10	7	430,42	112,5	5	7	16,33
295	10	7	385,84	117,5	5	7	14,24
305	10	7	296,33	122,5	5	7	12,94
315	10	7	480,54	127,5	5	7	15,46
325	10	7	392,25	132,5	5	7	13,15
85	10	8	194,3	142,5	5	7	20,05
95	10	8	174,12	147,5	5	7	24,43
105	10	8	149,4	152,5	5	7	20,24
115	10	8	141,18	157,5	5	7	14,33
125	10	8	148,2	162,5	5	7	17,8
135	10	8	161,25	47,5	5	8	13,47
145	10	8	188,08	52,5	5	8	13,45
155	10	8	231,51	57,5	5	8	12,91
165	10	8	314,98	62,5	5	8	14,6
185	10	8	342,84	67,5	5	8	12,6
195	10	8	359,66	72,5	5	8	12,89
205	10	8	330,41	77,5	5	8	12,34
215	10	8	355,88	82,5	5	8	13,97

225	10	8	317,15	87,5	5	8	15,63
235	10	8	258,91	92,5	5	8	17,79
245	10	8	2312,7	97,5	5	8	17,77
255	10	8	285,11	102,5	5	8	17,04
265	10	8	300,45	107,5	5	8	16,75
275	10	8	20587	112,5	5	8	14,82
285	10	8	308,59	117,5	5	8	14,79
295	10	8	322,76	122,5	5	8	14,68
305	10	8	355,09	127,5	5	8	13,26
315	10	8	390,45	132,5	5	8	14,44
95	10	9	121,01	137,5	5	8	16,05
105	10	9	129,72	147,5	5	8	22,19
115	10	9	123,13	152,5	5	8	19,91
125	10	9	113,4	157,5	5	8	17,48
135	10	9	91,94	47,5	5	9	13,69
145	10	9	142,64	52,5	5	9	11,72
155	10	9	200,46	57,5	5	9	13,51
175	10	9	319,25	62,5	5	9	14,76
185	10	9	305,33	67,5	5	9	13,16
195	10	9	289,93	72,5	5	9	12,14
205	10	9	290,9	77,5	5	9	12,65
215	10	9	340,14	82,5	5	9	14,07
225	10	9	273,29	87,5	5	9	16,11
235	10	9	227	92,5	5	9	17,4
245	10	9	14396	97,5	5	9	18,66
255	10	9	228,75	102,5	5	9	16,26
265	10	9	242,29	107,5	5	9	15,18
275	10	9	18116	112,5	5	9	15,79
285	10	9	265,06	117,5	5	9	14,94
295	10	9	269,29	122,5	5	9	14,69
305	10	9	321,86	127,5	5	9	14,5
105	10	10	113,68	132,5	5	9	13,67
115	10	10	107,37	137,5	5	9	16,2
125	10	10	88,62	142,5	5	9	20,52
135	10	10	75,58	152,5	5	9	19,7
145	10	10	96,41	52,5	5	10	15,41
165	10	10	217,28	57,5	5	10	13,94
175	10	10	270,95	62,5	5	10	14,85
185	10	10	258,29	67,5	5	10	13,15
195	10	10	252,4	72,5	5	10	12,34
205	10	10	262,14	77,5	5	10	12,95
215	10	10	276,69	82,5	5	10	14,46
225	10	10	239,44	87,5	5	10	15,38
235	10	10	197,07	92,5	5	10	17,48
245	10	10	13508	97,5	5	10	17,98
255	10	10	192,16	102,5	5	10	16,91

265	10	10	194,41	107,5	5	10	15,53
275	10	10	100320	112,5	5	10	15,38
285	10	10	227,08	117,5	5	10	15,9
295	10	10	237,74	122,5	5	10	15,33
115	10	11	80,88	127,5	5	10	14,37
125	10	11	82,69	132,5	5	10	14,63
135	10	11	72,31	137,5	5	10	15,75
155	10	11	112,62	142,5	5	10	20,56
165	10	11	174,05	147,5	5	10	22,25
175	10	11	218,6	57,5	5	11	14,61
185	10	11	214,7	62,5	5	11	15,2
195	10	11	237,16	67,5	5	11	13,4
205	10	11	217,77	72,5	5	11	12,97
215	10	11	230,88	77,5	5	11	13,68
225	10	11	197,02	82,5	5	11	13,77
235	10	11	174,08	87,5	5	11	15,13
245	10	11	19596	92,5	5	11	16,44
255	10	11	179,69	97,5	5	11	17,39
265	10	11	163,02	102,5	5	11	16,83
275	10	11	23176	107,5	5	11	17,07
285	10	11	194,5	112,5	5	11	15,44
125	10	12	73,65	117,5	5	11	15,75
145	10	12	72,57	122,5	5	11	16,21
155	10	12	92,96	127,5	5	11	14,65
165	10	12	130,06	132,5	5	11	14,9
175	10	12	178,31	137,5	5	11	16,75
185	10	12	191,84	142,5	5	11	19,27
195	10	12	188,87	62,5	5	12	16,18
205	10	12	196,86	67,5	5	12	14,13
215	10	12	189,66	72,5	5	12	12,98
225	10	12	160,79	77,5	5	12	13,42
235	10	12	148,15	82,5	5	12	14,52
245	10	12	8363,1	87,5	5	12	15,1
255	10	12	148,67	92,5	5	12	15,41
265	10	12	159,38	97,5	5	12	17,36
275	10	12	42198	102,5	5	12	16,44
135	10	13	46,85	107,5	5	12	17,06
145	10	13	64,95	112,5	5	12	17,12
155	10	13	89,69	117,5	5	12	15,69
165	10	13	111,23	122,5	5	12	15,66
175	10	13	152,08	127,5	5	12	16
185	10	13	152,85	132,5	5	12	15,28
195	10	13	158,72	137,5	5	12	16,53
205	10	13	151,45	67,5	5	13	7,39
215	10	13	169,05	72,5	5	13	11,23
225	10	13	140,29	77,5	5	13	14,1

235	10	13	123,01	82,5	5	13	14,38
245	10	13	29129	87,5	5	13	14,93
255	10	13	147,86	92,5	5	13	16,44
265	10	13	153,72	97,5	5	13	16,4
145	10	14	65,15	102,5	5	13	16,51
155	10	14	80,75	107,5	5	13	18
165	10	14	113,3	112,5	5	13	16,56
175	10	14	125,02	117,5	5	13	17,43
185	10	14	120,92	122,5	5	13	15,97
195	10	14	129,43	127,5	5	13	15,36
205	10	14	129,09	132,5	5	13	14,3
215	10	14	140,33	72,5	5	14	21,16
225	10	14	130,13	77,5	5	14	13,64
235	10	14	103,45	82,5	5	14	13,23
245	10	14	9332,3	87,5	5	14	15,02
255	10	14	134,35	92,5	5	14	16,05
155	10	15	72,73	97,5	5	14	17,09
165	10	15	108,77	102,5	5	14	16,62
175	10	15	121,26	107,5	5	14	15,61
185	10	15	99,46	112,5	5	14	17,2
195	10	15	104,62	117,5	5	14	17,16
205	10	15	120,35	122,5	5	14	18,07
215	10	15	125,88	127,5	5	14	14,85
225	10	15	97,1	77,5	5	15	14,98
235	10	15	107,95	82,5	5	15	14,11
245	10	15	6905,2	87,5	5	15	14,44
165	10	16	83,61	92,5	5	15	16,08
175	10	16	103,86	97,5	5	15	18,25
185	10	16	92,73	102,5	5	15	15,2
195	10	16	88,71	107,5	5	15	15,61
205	10	16	102,67	112,5	5	15	16,61
215	10	16	89,93	117,5	5	15	18,37
225	10	16	102,47	122,5	5	15	17,29
235	10	16	92,82	82,5	5	16	15,22
175	10	17	74,76	87,5	5	16	147,24
185	10	17	87,58	97,5	5	16	16,06
195	10	17	92,64	102,5	5	16	16,54
205	10	17	58,03	107,5	5	16	12,95
215	10	17	106,55	112,5	5	16	17,3
225	10	17	97,86	117,5	5	16	14,18
185	10	18	74,25	87,5	5	17	15,7
195	10	18	60,71	92,5	5	17	13,29
205	10	19	96,03				

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Δελτία απογραφής που συλλέχτηκαν από την ΥΕΒ