



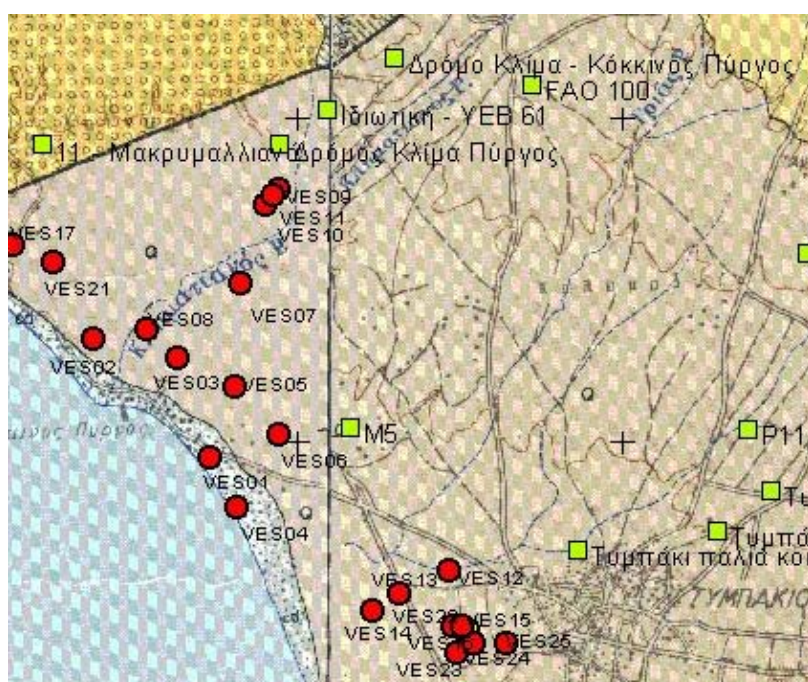
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟ ΤΥΜΠΑΚΙ, ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ



ΜΟΥΓΚΟΠΕΤΡΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ- ΜΥΡΤΩ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**ΒΑΦΕΙΔΗΣ ΑΝΤ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ ΕΜ. ΕΠ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΚΟΜΝΙΤΣΑΣ ΚΩΝΣΤ. ΑΝ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΧΑΝΙΑ ,ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ 2004

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει την γεωφυσική διασκόπηση που πραγματοποιήθηκε στο Τυμπάκι του Νομού Ηρακλείου. Σκοπός της είναι ο εντοπισμός ζωνών υφαλμύρωσης.

Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε γιατί παρατηρήθηκε καταστροφή μεγάλων γεωργικών εκτάσεων, λόγω της διείσδυσης θαλασσινού νερού στις εκτάσεις αυτές. Η γεωφυσική προτιμήθηκε για την λύση του προβλήματος αυτού. Πρέπει να αναφερθεί ότι για την πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας απαραίτητη ήταν η χρήση του γεωλογικού χάρτη της περιοχής και των γεωτρήσεων της περιοχής, οι οποίες βρίσκονται κοντά στις βυθοσκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Με την βοήθεια τους έγινε η γεωλογική ερμηνεία γιατί τα σενάρια αρχικά ήταν πολλά.

Κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

1) Στην περιοχή όπου πραγματοποιήθηκαν οι βυθοσκοπήσεις VES 17, 21, 08, 07 και στην περιοχή της VES 20 προτείνεται να πραγματοποιηθούν βυθοσκοπήσεις μεγαλύτερου βάθους, για να βρεθεί το σημείο υφαλμύρωσης, γιατί σύμφωνα με γεωτρητικά δεδομένα η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων.

2) Στην γεώτρηση Ριμόμυλος (GH 1172), χημικές αναλύσεις απέδειξαν ότι τα χλωριόντα είναι της τάξης των 200 ppm, ενώ Δυτικότερα, (GH 1179) τα χλωριόντα είναι γύρω στα 700 ppm. Έτσι προκύπτει ότι οι τιμές των χλωριόντων είναι μεγαλύτερες προς τα Δυτικά.

3) Σύμφωνα με τις βυθοσκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή Δυτικά του Τυμπακίου παρατηρείται η εμφάνιση του υφάλμυρου υδροφόρου σχηματισμού σε σχετικά μικρό βάθος, από τιμή απόλυτου υψόμετρου 8μ έως τιμή απόλυτου υψόμετρου 0μ.

4) Ο υδροφόρος ορίζοντας προς τα Ανατολικά βρίσκεται σε μεγαλύτερα θετικά υψόμετρα από την παραλιακή ζώνη. Στην περιοχή αυτή προτείνεται να εγκατασταθεί δίκτυο ηλεκτρικής τομογραφίας για την παρακολούθηση της υφαλμύρωσης.

EYXΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την περάτωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον επιβλέποντα Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Αντώνιο Βαφείδη για την ανάθεση της εργασίας και τη συνεχή επιστημονική υποστήριξη.

Τον κ. Κομνίτσα Κωνσταντίνο Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και τον κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και την επιστημονική συνεργασία.

Τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Hamdan H. Μηχανικό Ορυκτών Πόρων για την συνεχή βοήθεια και υποστήριξή του.

Όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Γεωφυσικής, για την βοήθεια και την συνεργασία τους κατά την παραμονή μου στο εργαστήριο.

Τον Sayan Pipatan, που έχει τελειώσει την διπλωματική του εργασία για την διάθεση των δεδομένων της μελετούμενης περιοχής.

Την οικογένεια μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν τόσο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας όσο και των σπουδών μου γενικότερα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	1
1.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΛΟΓΩ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ-ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	2
1.3 ΣΥΜΒΟΛΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.....	2
1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	7
2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	7
2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ.....	9
2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	16
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	17
3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	18
3.4 ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ.....	33
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	33
4.2 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ.....	34
4.3 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ	36
4.4 ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	37
4.5 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	38
4.6 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ RESIX.....	43
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RESIX.....	43
5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ.....	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟ IP2WIN.....89

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ IP2WIN.....89

5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ.....95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ROCKWORKS.....122

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....122

7.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ.....122

7.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....123

7.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ROCKWORKS.....123

7.4.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΩΝ.....123

7.4.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΣΤΗΛΩΝ.....124

7.4.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ130

7.4.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΜΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΑΝΑΜΕΣΑ ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΙΣ.....131

7.4.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ.....133

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....135

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α :ΧΑΡΤΕΣ.....

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ.....

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ.....

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ IPWIN.....

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ανάπτυξη γεωφυσικής Τεχνολογίας

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 παρατηρήθηκε αξιόλογη ανάπτυξη στις ήδη υπάρχουσες τεχνικές που εφαρμόζονταν για τη μελέτη και περιγραφή των γεωλογικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ένας περιορισμένος αριθμός συστημάτων απεικόνισης του εδάφους, χαμηλής μάλιστα ποιότητας, τα οποία δεν προσέδιδαν επαρκείς πληροφορίες για κατανόηση και μελέτη του υπεδάφους. Το υψηλό κόστος και τα μακροχρόνια προγράμματα οδήγησαν στην ανάπτυξη πρωτοποριακών μεθόδων στη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων.

Οι γεωφυσικές τεχνικές τα τελευταία χρόνια παρουσίασαν σημαντική τεχνολογική άνθιση με αποτέλεσμα να εφαρμοστούν στην απεικόνιση των ρηχών γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους. Το μειωμένο κόστος που χαρακτηρίζει τις μεθόδους αυτές, αλλά και το ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον των εταιρειών για μελέτη των υπεδάφειων γεωλογικών δομών, κατέστησαν τις έρευνες γεωφυσικής διασκόπησης αναπόσπαστο τμήμα μεγάλων ερευνητικών προγραμμάτων.

1.2 Δημιουργία προβλημάτων λόγω ανάμειξης υπογείου-θαλασσινού νερού

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που απασχολούν τις αγροτικές περιοχές είναι η καταστροφή των καλλιεργειών λόγω ανάμειξης υπογείου-θαλασσινού νερού, που προκαλείται από την ανεξέλεγκτη άντληση υπογείου νερού.

Η είσοδος του αλατιού στα τριχοειδή αγγεία των ριζών μειώνει την ανάπτυξη των φυτών και μπορεί ακόμα και προκαλέσει και την καταστροφή των καλλιεργειών. Μία προφανής λύση είναι η χρήση καλλιεργειών ανθεκτικές στο αλάτι, οι οποίες δυστυχώς έχουν χαμηλή απόδοση. Ένα άλλο πρόβλημα που δημιουργείται λόγω της ποσότητας του αλατιού είναι η καταστροφή της βλάστησης της περιοχής. Η βλάστηση της περιοχής πολλές φορές αποτελείται π. χ από ευκαλύπτους και θάμνους, οι οποίοι προσλαμβάνουν νερό και το απορροφούν ή το μεταφέρουν στην ατμόσφαιρα. Έτσι ένα μέρος του νερού της βροχής απορροφάται από τα φυτά και δεν έχουμε πλεόνασμα νερού. Έχουμε δηλαδή την δημιουργία ενός σταθερού υδρολογικού υπόβαθρου. Με την καταστροφή της βλάστησης έχουμε πλεόνασμα νερού στο υπέδαφος το οποίο πάλι δημιουργούν πρόβλημα στις καλλιέργειες οι οποίες χρειάζονται συγκεκριμένη ποσότητα νερού για την ανάπτυξή τους.

Επιπλέον δεν μπορεί πλέον ο υδροφόρος να χρησιμοποιηθεί για την ύδρευση και την άρδευση των περιοχών αυτών.

1.3 Συμβολή γεωφυσικής τεχνολογίας

Οι μέθοδοι της ηλεκτρικής αντίστασης έχουν αποδειχθεί οι πλέον καταλληλότερες για την εύρεση του σημείου ανάμειξης υφάλμυρου και μετεωρικού νερού. Ύστερα από την πραγματοποίηση κατάλληλων μετρήσεων διαπιστώθηκε η μείωση της τιμής της αντίστασης κατά την διείσδυση θαλασσινού νερού. Σαν αποτέλεσμα έχουμε, ότι όταν έχουμε απότομη μείωση της τιμής της αντίστασης, έχουμε την διείσδυση θαλασσινού νερού. Πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι πολύ σημαντική είναι η ύπαρξη κάποιας γεώτρησης για την βαθμονόμηση των γεωφυσικών δεδομένων.

Οι Singh και Yadav (1982) πραγματοποίησαν 16 ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις με την Schlumberger στην περιοχή Allahabad στις Ινδίες, μεταξύ των ποταμών Γάγγη και Yamuna, για την χαρτογράφηση του ηλεκτρικά ανθεκτικού γεωλογικού στρώματος, το οποίο καλύπτεται από αλλούβια. Ακολούθησε η δημιουργία διαγράμματος τομών (fence diagram) και γεωηλεκτρικών τομών (cross section) για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της γεωφυσικής διασκόπησης. Κοντά στους δυο ποταμούς έχουμε αμμώδεις σχηματισμούς, όπου το πάχος τους είναι μεγαλύτερο κοντά στον ποταμό Γάγγη. Σε μεγαλύτερα βάθη εμφανίζεται ο ασβεστόλιθος. Όταν το πάχος των αλλουβιακών αυτών σχηματισμών είναι μικρό, αναμένεται να αποτελούν καλή πηγή για την άντληση υπογείου νερού. Έτσι με την χρήση γεωφυσικής επιλέχθηκαν οι θέσεις των γεωτρήσεων.

Οι Fu και Ding(1990) από το Πανεπιστήμιο Γεωφυσικής της Κίνας, χρησιμοποίησαν την μέθοδο Schlumberger στην πεδιάδα Huang-Huai-Hai της Κίνας για την εύρεση υδροφόρων σχηματισμών. Το ανώτερο επιτρεπόμενο όριο του ποσοστού ιόντων των υπογείων νερών για πότισμα των καλλιεργειών είναι 2 γρ/lt. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι αντιστρόφως ανάλογη του ποσοστού των ιόντων του νερού. Από την έρευνα αυτή χωρίστηκαν οι υδροφόροι σχηματισμοί σε 5 κατηγορίες, ανάλογα με τον ποσοστό ιόντων που περιέχονται στο υπόγειο νερό.

1. Υδροφόροι όπου το ποσοστό συγκέντρωσης των ιόντων στο υπόγειο νερό μειώνεται με το βάθος, δηλαδή παρουσιάζουν μετάβαση από υφάλμυρο σε καθαρό υπόγειο νερό.
2. Υδροφόροι, όπου εμφανίζεται αύξηση του ποσοστού συγκέντρωσης των ιόντων στο νερό, σε μικρά βάθη και μείωσή του σε μεγαλύτερα βάθη, δηλαδή παρεμβολή στρώματος υφάλμυρου νερού.
3. Διπλός υφάλμυρος υδροφόρος σχηματισμός (double saline aquifer)
4. Απλός υφάλμυρος υδροφόρος σχηματισμός (single saline aquifer)
5. Σχηματισμός κορεσμένος με μετεωρικό νερό, όπου το ποσοστό συγκέντρωσης των ιόντων είναι μικρότερο από 2gr/lt.

Στην Αφρική, στο Δέλτα του ποταμού Omaruru, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της ηλεκτρικής αντίστασης για την εύρεση καναλιών όπου υπάρχουν σημαντικές ποσότητες υπογείου νερού. Τα κανάλια αυτά δημιουργήθηκαν κατά περιόδους λόγω μείωσης της στάθμης της θάλασσας ή λόγω κινήσεων τεκτονικών. Κατά τις περιόδους αύξησης της θάλασσας αυτά τα κανάλια γεμίζουν με προσχώσεις και έτσι δημιουργούνται υδροφόρα στρώματα με σημαντικά ποσοστά καθαρού νερού. Μετά

την πραγματοποίηση των μετρήσεων ακολούθησε ο σχεδιασμός χάρτη ισοϋψών, διαπιστώθηκε η ύπαρξη 2 καναλιών και έγιναν γνωστές θέσεις, από όπου μπορεί να γίνει άντληση νερού.

Η μέθοδος μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, χρησιμοποιήθηκε από τους Khaïr και Skokan για τον εντοπισμό και οριοθέτηση ζωνών διείσδυσης θαλασσινού νερού σε αγροτικές καλλιέργειες. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε ελεγχόμενη δεξαμενή όπου υπήρχε σταδιακή διείσδυση αλατιού και μετά απομάκρυνσή του με άντληση. Ο σκοπός της έρευνας επικεντρώθηκε στην εύρεση της σχέσης μεταξύ αλατότητας και ηλεκτρικής αντίστασης κατά την διάρκεια διείσδυσης αλατιού (32gr/l) και απομάκρυνσής του (0.25 gr/l).

Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτει ότι αύξηση στην αλατότητα του νερού έχει σαν αποτέλεσμα μείωση της ειδικής αντίστασης. Ειδικότερα στα πρώτα στάδια της αλάτωσης η ειδική ηλεκτρική αντίσταση μειώθηκε σημαντικά παρόλο το ότι η αλατότητα δεν ήταν υψηλή. Σημαντικό επίσης είναι ότι στις πρώτες 5 ώρες μετά την αλάτωση ή την αφαλάτωση αντίστοιχα πραγματοποιήθηκε η σημαντικότερη μεταβολή της τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ενώ στην συνέχεια, οι αλλαγές είναι πολύ μικρές. Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η σχέση μεταξύ της αλατότητας και της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι εκθετική. Για την έγκαιρη ανίχνευση της εισόδου του θαλασσινού νερού πριν εμφανιστεί μεγάλη αύξηση της αλατότητας, προτείνονται συνεχείς μετρήσεις της ηλεκτρικής αντίστασης ειδικά σε περιοχές που βρίσκονται κοντά στην θάλασσα. Επιπλέον όταν έχει ήδη πραγματοποιηθεί διείσδυση θαλασσινού νερού απαραίτητη είναι η έγκαιρη άντληση νερού μέχρι 2μ κάτω από το έδαφος, για να μην επηρεάζονται οι ρίζες των καλλιεργειών από την ύπαρξη αλατιού.

Η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση διαρροής από δεξαμενές (Ramirez et al,1996). Πολλές φορές αποθηκεύονται σε υπόγειες δεξαμενές επικίνδυνα υγρά, των οποίων η διαρροή προκαλεί την ρύπανση του εδάφους και του υπεδάφους. Η χρήση αισθητήρων ανιχνεύουν την διαρροή, αλλά δεν μπορούν να βρουν την εξάπλωση της. Επιπλέον το κόστος των αισθητήρων που είναι απαραίτητοι για τον εντοπισμό της διαρροής είναι μεγάλο. Η καταλληλότητα της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας για ανίχνευση διαρροών ελέγχθηκε σε πείραμα προσθήκης ποσότητας αλατόνευρου πριν και κατά την διάρκεια των μετρήσεων, γύρω από περιοχή δεξαμενής. Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη διπόλου-διπόλου. Την πραγματοποίηση των μετρήσεων μετά την προσθήκη του αλατόνευρου, ακολουθεί

σύγκριση των μετρούμενων τιμών αντίστασης με πρότυπες τιμές ,που μετρήθηκαν πριν την διαρροή. Στην γεωηλεκτρική τομή παρατηρείται μείωση της τιμής της ηλεκτρικής αντίστασης ακριβώς κάτω από το σημείο της διαρροής.

Οι Hagemeyer και Stewart (1990) χρησιμοποίησαν την μέθοδο Schlumberger για να χαρτογραφήσουν την ζώνη διείσδυσης του θαλασσινού νερού σε υδροφόρο στρώμα της Φλόριδας. Το πρόβλημα αυτό δημιουργήθηκε με την διάνοιξη καναλιού (Cross Florida Barge Canal) μεταξύ του Ατλαντικού Ωκεανού και του Gulf του Μεξικού, για την διέλευση των πλοίων. Για την δημιουργία του καναλιού αυτού αφαιρέθηκαν ανθρακικά πετρώματα πάχους 4μ που αποτελούν τον υδροφόρο και προκλήθηκε έτσι διείσδυση υπογείου νερού στην θάλασσα. Από γεωφυσική μέθοδο παρατηρήθηκε ότι στο ανώτερο τμήμα του υδροφόρου στρώματος υπάρχει καθαρό νερό με τιμές ηλεκτρικής αντίστασης φυσιολογικές για ανθρακικά πετρώματα. Βρέθηκε επίσης ότι κοντά στην περιοχή του καναλιού υπάρχουν 3 είδη νερού, α) καθαρό νερό β) θαλασσινό νερό γ) νερό που περιέχονται ποσοστά ιόντων. Διείσδυση θαλασσινού νερού υπάρχει κυρίως σε μικρά βάθη. Για την λύση του προβλήματος αυτού απαραίτητος είναι ο διαρκής έλεγχος της ποιότητας του υπογείου νερού.

Οι Humphreys , Linford και West (1990) έκαναν χρήση Γεωφυσικών μεθόδων για την διερεύνηση της αιτίας καταστροφής καλλιεργήσιμων εκτάσεων λόγω αλατότητας στις εκτάσεις αυτές ,της Δυτικής Αυστραλίας. Γεωφυσικές έρευνες έδειξαν ότι το πρόβλημα οφείλεται στο ρηχό υπόβαθρο της περιοχής. Το υπόβαθρο δεν επιτρέπει την διόδο του νερού, με αποτέλεσμα την συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε μικρό βάθος, και σαν συνέπεια καταστροφή των καλλιεργειών που χρειάζονται όπως προαναφέρθηκε συγκεκριμένες ποσότητες νερού. Επιπλέον αφού η περιοχή είναι κοντά στην θάλασσα, παρατηρείται διείσδυση του θαλασσινού νερού στον μικρού βάθους υδροφόρο σχηματισμό . Σύμφωνα με την γεωφυσική διασκόπηση προτάθηκε η άντληση ποσότητας νερού 2μ κάτω από τις καλλιέργειες έτσι ώστε οι ρίζες των φυτών να μην επηρεάζονται από το υφάλμυρο νερό .Ειδικότερα, η ηλεκτρική μέθοδος υπέδειξε τα κατάλληλα σημεία άντλησης του νερού.

Η διάταξη Schlumberger χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή Tilmastone της Αγγλίας για την εύρεση της ρύπανσης του υδροφόρου λόγω διείσδυσης υφάλμυρου νερού. Η ρύπανση του υδροφόρου της περιοχής δημιουργήθηκε από την άντληση μεγάλων ποσοτήτων υφάλμυρου νερού σε ανθρακωρυχείο. Αυτό το υφάλμυρο νερό κατέληξε στον υδροφόρο .Από τις μετρήσεις διαπιστώθηκε ότι ο υδροφόρος

παρουσιάζει αυξημένη ρύπανση κοντά στο ανθρακωρυχείο και στο βαθύτερο τμήμα του.

1.4 Δομή διπλωματικής εργασίας

Η εργασία αυτή αποτελείται από 8 κεφάλαια , και ένα παράρτημα. Τα περιεχόμενα του κάθε κεφαλαίου έχουν ως εξής:

Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την συμβολή της Γεωφυσικής έρευνας στην λύση διαφόρων προβλημάτων που έχουν δημιουργηθεί σε διάφορες περιοχές.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει την γεωλογία της Ελλάδας και της περιοχής μελέτης ειδικότερα.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Περιγράφονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων και αναλυτικότερα η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στην γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση . Εδώ γίνεται ανάλυση της μεθόδου αυτής

Το πέμπτο κεφάλαιο περιγράφει ένα από τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, το πρόγραμμα RESIX όπου παρατίθενται και τα κατάλληλα διαγράμματα και η ερμηνεία των βυθοσκοπήσεων βάση του προγράμματος αυτού.

Το έκτο κεφάλαιο περιγράφει τις δυνατότητες του προγράμματος IP2WIN και την επεξεργασία των βυθοσκοπήσεων βάση του προγράμματος αυτού.

Το έβδομο κεφάλαιο περιγράφει την απεικόνιση των αποτελεσμάτων με την βοήθεια του προγράμματος ROCKWORKS.

Το τελευταίο κεφάλαιο περιγράφει τα συμπεράσματα και τις προτάσεις που προέκυψαν από την διπλωματική αυτή εργασία.

Τέλος στο παράρτημα παρατίθεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης και τα δεδομένα των γεωτρήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**ΓΕΩΛΟΓΙΑ****2.1 Η Γεωλογική Δομή Της Ελλάδας**

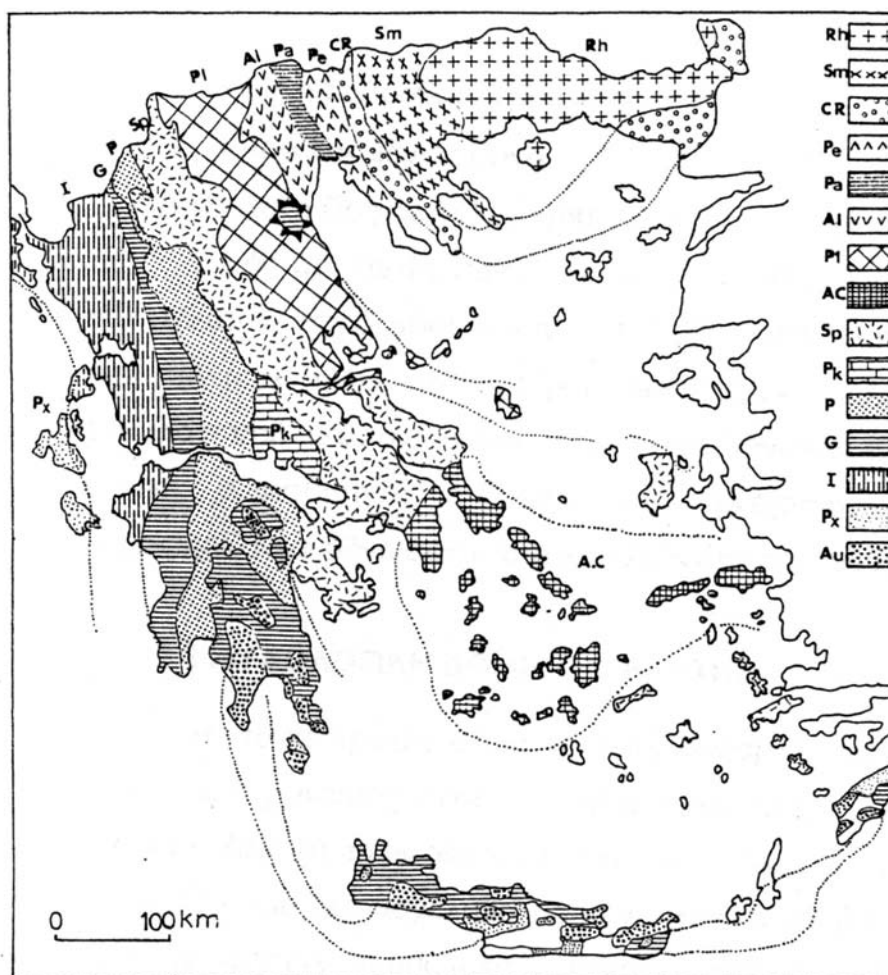
Η γεωλογική δομή της Κρήτης συνδέεται άμεσα με την συνολική γεωλογική δομή της Ελλάδας, η οποία χωρίζεται σε διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες με γενική διεύθυνση στον ηπειρωτικό χώρο της ΒΔ – ΝΑ.

Κάθε ζώνη, χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη στρωματογραφική / λιθολογική διαδοχή των πετρωμάτων της όπως αυτά προέκυψαν από την επαλληλία των τεκτονικών γεγονότων που οδήγησαν στην δημιουργία του ορογενούς.

Οι κύριες γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων οροσειρών με διεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ είναι (σχήμα 2.1):

- *Η μάζα της Ροδόπης*, η οποία εμφανίζεται στην Ανατολική Μακεδονία, Θράκη και στη Θάσο. Αποτελείται κυρίως από κρύσταλλο-σχιστώδη και πυριγενή πετρώματα.
- *Η Σερβομακεδονική μάζα* εμφανίζεται δυτικά του Στρυμόνα από τα σύνορα μέχρι και την Χαλκιδική. Αποτελείται κυρίως από κρύσταλλο-σχιστώδη πετρώματα.
- *Η Περιροδοπική ζώνη* εκτείνεται στη δυτική πλευρά της Σερβομακεδονικής μάζας με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ.
- *Η ζώνη του Αξιού* εμφανίζεται στην Κεντρική Μακεδονία και χαρακτηρίζεται από μεγάλες οφειολιθικές μάζες..
- *Η Πελαγονική ζώνη* εμφανίζεται σε όλη την Ελλάδα. Αποτελείται από κρύσταλλο-σχιστώδες υπόβαθρο, γνευσιωμένους γρανίτες και ανθρακικά καλύμματα.
- *Η Αττικό–Κυκλαδική ζώνη* εμφανίζεται κυρίως στα νησιά των Κυκλάδων και σε ένα τμήμα της Αττικής και της Νότιας Εύβοιας.
- *Η Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη «Ανατολικής Ελλάδας»* εμφανίζεται στη Δυτική πλευρά της Πελαγονικής ζώνης. Χαρακτηρίζεται από τις μεγάλες οφειολιθικές μάζες που απαντώνται σε αυτήν.

- Η ζώνη Παρνασσού–Γκιώνας εμφανίζεται στην κεντρική Στερεά Ελλάδα, και αποτελείται από ασβεστόλιθους και δολομίτες.
 - Η ζώνη Ωλονού–Πίνδου ή ζώνη Γαβρόβου–Τρίπολης εμφανίζεται στην Ήπειρο, στην κεντρική Ελλάδα, στη δυτική και βορειανατολική Πελοπόννησο και στην Κρήτη. Χαρακτηρίζεται από την οριζόντια μετακίνηση και η απώθηση επάνω στις προηγούμενες ζώνες.
 - Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη εμφανίζεται σε ένα μεγάλο τμήμα της Ηπείρου, στην Ακαρνανία και στη βορειοδυτική Πελοπόννησο.
 - Η ζώνη Παξών ή Προαπούλια εμφανίζεται στα νησιά του Ιονίου.
- (Από Μουντράκη, 1983).



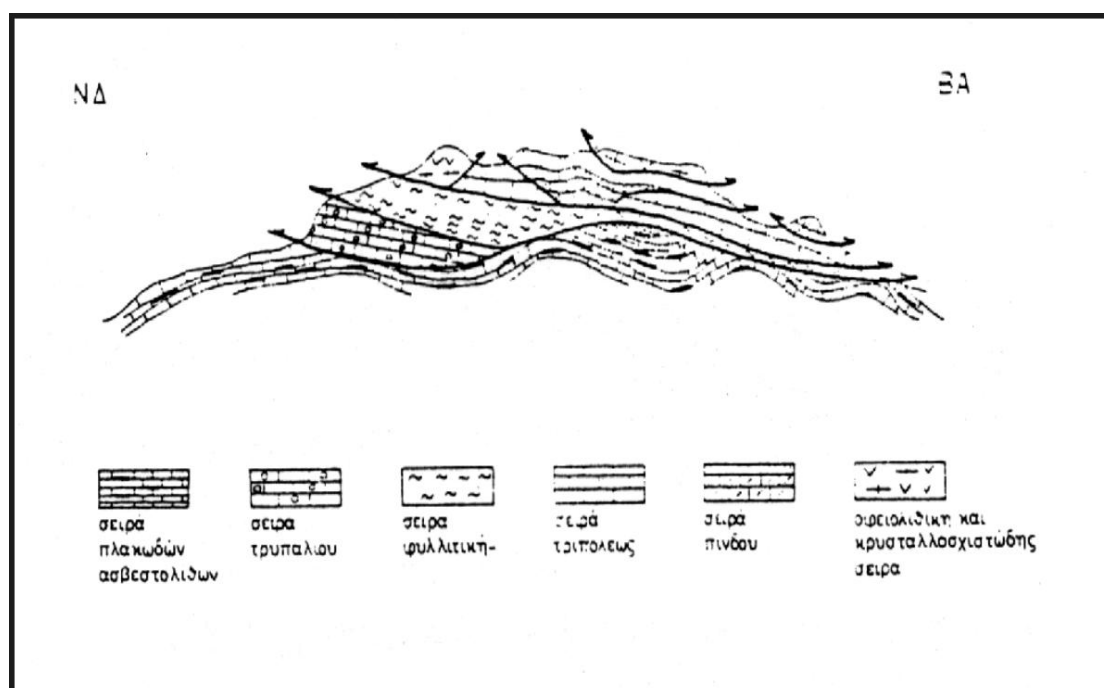
Σχήμα 2.1. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παισωίας, Pa : Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας)=Ζώνη Αξού,

Pl: Πελαγονική ζώνη, *Ac:* Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, *Sr:* Υποπελαγονική ζώνη, *Pk:* Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, *P:* Ζώνη Πίνδου, *G:* Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, *I:* Ιόνιος ζώνη, *Px:* Ζώνη Παχών ή Προαπούλια, *Au:* Ενότητα <<Ταλέα όρη – πλακώδεις ασβεστόλιθοι>> πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Μουντράκης, 1985, σελ 19).

Εκτός από τις κύριες γεωτεκτονικές ζώνες, αναφέρονται σαν ξεχωριστές ενότητες : η ενότητα «Ταλέα όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι» που πιθανόν ανήκει στην Αδριατικοϊόνιο ζώνη, και η ενότητα της Βοιωτίας που μάλλον ανήκει στην Υποπελαγονική ζώνη.

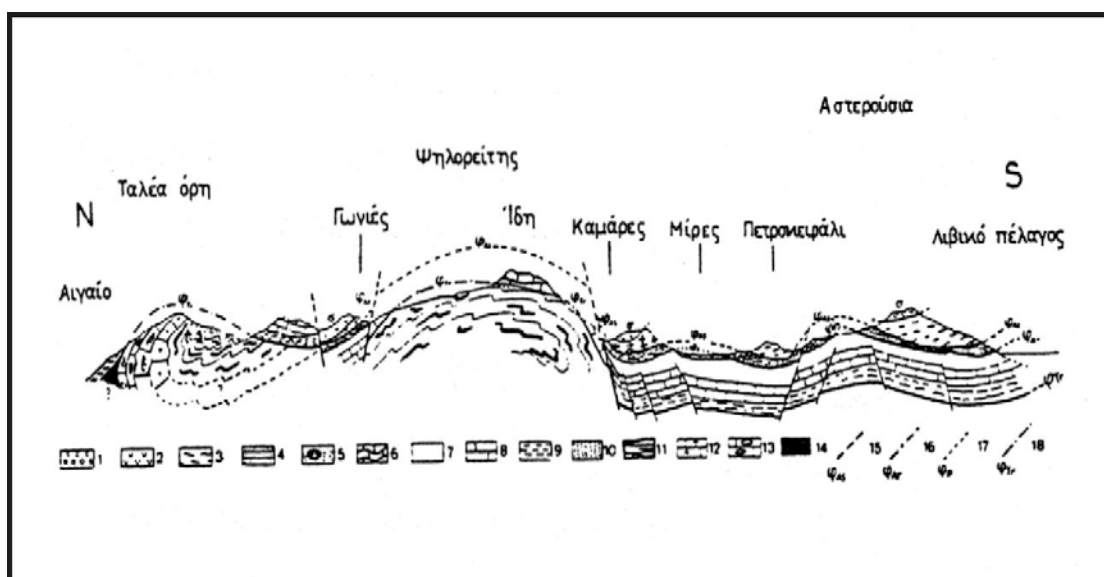
2.2 Η Γεωλογική δομή της Κρήτης

Η Κρήτη έχει μια πολύπλοκη γεωλογική δομή και έχουν διατυπωθεί διάφορες απόψεις σχετικά με τη δομή της, αυτό οφείλεται στην γεωτεκτονική θέση που κατέχει σε σχέση με τις δύο συγκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες, της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής. Χαρακτηριστικό στοιχείο της δομής της είναι τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα των διαφόρων ζωνών (σχήμα 2.2), τα οποία αναπτύσσονται πάνω στην ενότητα Ταλέα όρη- των πλακωδών ασβεστόλιθων.



Σχήμα 2.2. Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της Κρήτης με τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα. (Μουντράκης, 1985, σελ.186).

Το αυτόχθονο ή σχετικά αυτόχθονο σύστημα της Κρήτης αποτελεί η ακολουθία Ταλέα Όρη-Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι (σχήμα 2.3). Η ενότητα αυτή έχει ηλικία από το Πέρμιο μέχρι το Ηώκαινο και είναι ημι-μεταμορφωμένη και πιθανώς ανήκει στην ζώνη της Αδριατικοϊονίου, αποτελείται κυρίως από κλαστικά ιζήματα χωρίς ηφαιστειακά πετρώματα στη βάση που εξελίσσονται σε τυπικούς «πλακώδεις ασβεστόλιθους» (μάρμαρα) που περιέχουν σε σημαντικό βαθμό κερατολιθικούς κονδύλους και πυριτικές ενστρώσεις. Εμφανίζονται επίσης μεγάλες μάζες άστρωτων (μετά)-ασβεστόλιθων, δολομιτών, ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών και φυλλιτικών–χαλαζιακών πετρωμάτων. Αποκαλύπτεται σε πολλές περιοχές της Κρήτης υπό μορφή τεκτονικού παραθύρου.



Σχήμα 2.3. Σχηματική γεωλογική τομή εγκάρσια στην Κεντρική Κρήτη. Απεικονίζεται η δομή των βουνών Ταλέα όρη, Ίδη (Ψηλορείτης) και Αστερούσια. 1: Νεογενείς αποθέσεις, 2: Οφελίθοι, 3: μεταμορφωμένα πετρώματα των αστερουσιών, 4: πρώτος φλύσχη της Πίνδου (Κάτω Κρητιδικό), 5: ενότητα Άρβης, 6: τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου, 7: φλύσχη ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης, 8: ασβεστόλιθοι Γαβρόβου – Τρίπολης, 9: φυλλίτης, 10-14: σειρά των πλακωδών ασβεστολιθών

(Plattenkalk), 15-18: επωθήσεις των διαφόρων τεκτονικών καλυμμάτων.
(Μουντράκης, 1985, σελ. 187).

Τεκτονικά επωθημένη στην ενότητα Ταλέα Όρη- Πλακωδών Ασβεστόλιθων βρίσκεται η ενότητα του Τρυπαλίου, που αποτελείται από μεταμορφωμένους δολομίτες, δολομιτικούς ασβεστόλιθους, λατυποπαγείς ασβεστόλιθους έως γραουβάκες, σκούρους κυψελώδεις δολομίτες, άσπρα ζαχαρόκοκκα μάρμαρα και εμφανίσεις γύψου στη βάση. Η ηλικία τους καθορίστηκε με την βοήθεια απολιθωμάτων μεταξύ Άνω Τριαδικού–Κάτω Ιουρασικού.

Πάνω από την ενότητα του Τρυπαλίου βρίσκεται η ενότητα των Φυλλιτών–Χαλαζιτών, η οποία περιλαμβάνει φυλλίτες, χαλαζίτες, μετά–ψαμμίτες, μετά–κροκαλοπαγή, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μετά–ανδεσίτες, μεταβασίτες. Η ηλικία της είναι μεταξύ Περμίου–Τριαδικού. Στην ενότητα αυτή συμπεριλαμβάνεται από τους περισσότερους ερευνητές και το ημιμεταμορφωμένο σύστημα των Ραβδούχων που αποτελεί και το υπόβαθρο της ανθρακικής ακολουθίας της ζώνης της Τρίπολης που ακολουθεί επίσης με τεκτονική επίσης επαφή και αποτελείται από στο υποκείμενο και τους μεγάλου πάχους νηριτικούς ασβεστόλιθους. Σε ανώτερη τεκτονική θέση βρίσκεται απωθημένο το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου.

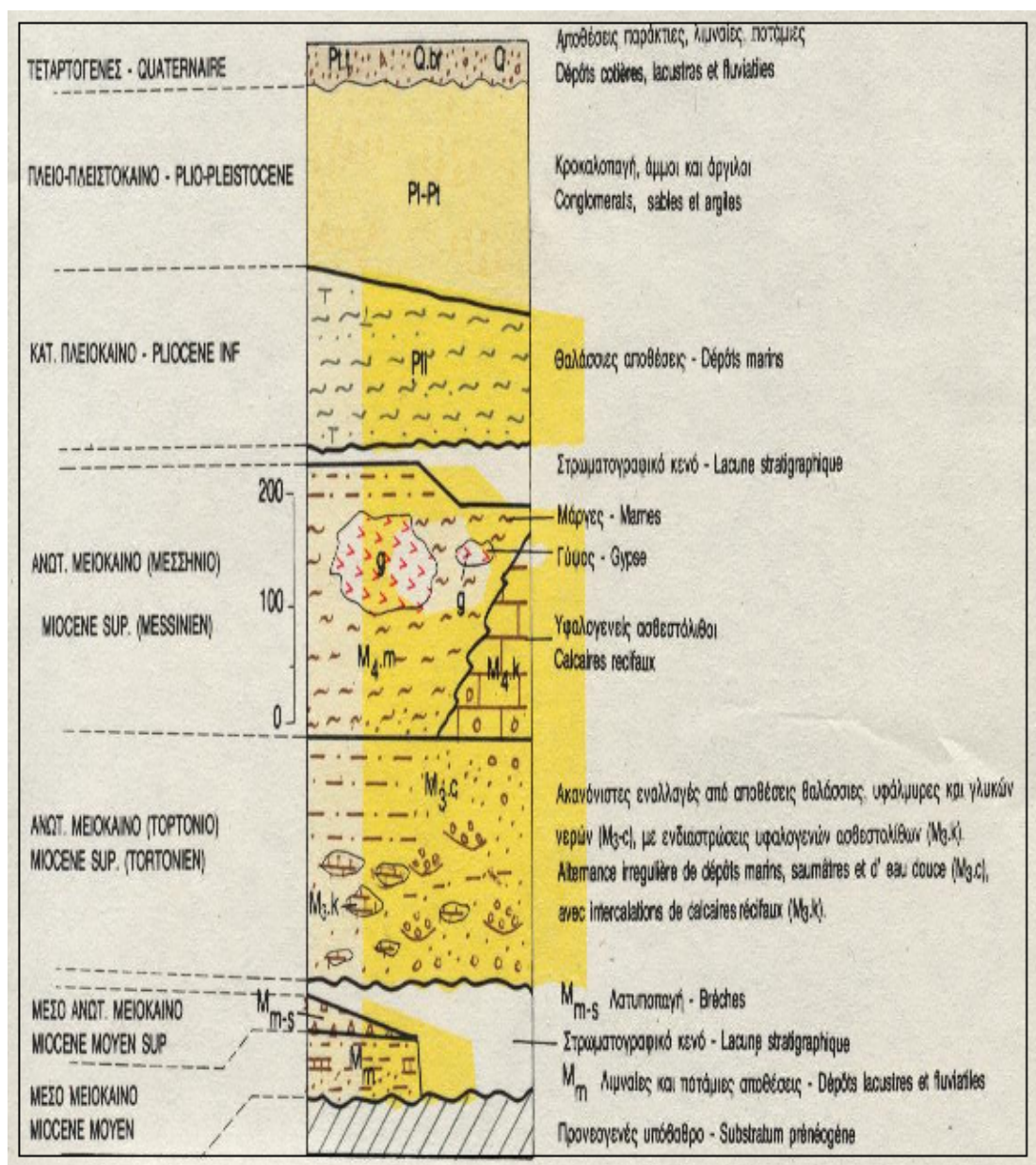
Πάνω από τις παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των εσωτερικών ζωνών, όπως είναι η ενότητα της Άρβης που περιλαμβάνει τμήματα οφιολιθικού συμπλέγματος, η ενότητα των Αστερουσίων που περιέχει γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες.

Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται ιζήματα του Νεογενούς (κυρίως κλαστικά θαλάσσια ιζήματα) και Τεταρτογενούς (κυρίως ηπειρωτικής φάσης) τα οποία συνήθως έχουν κυμαινόμενο πάχος και εξάπλωση στις διάφορες περιοχές της Κρήτης.

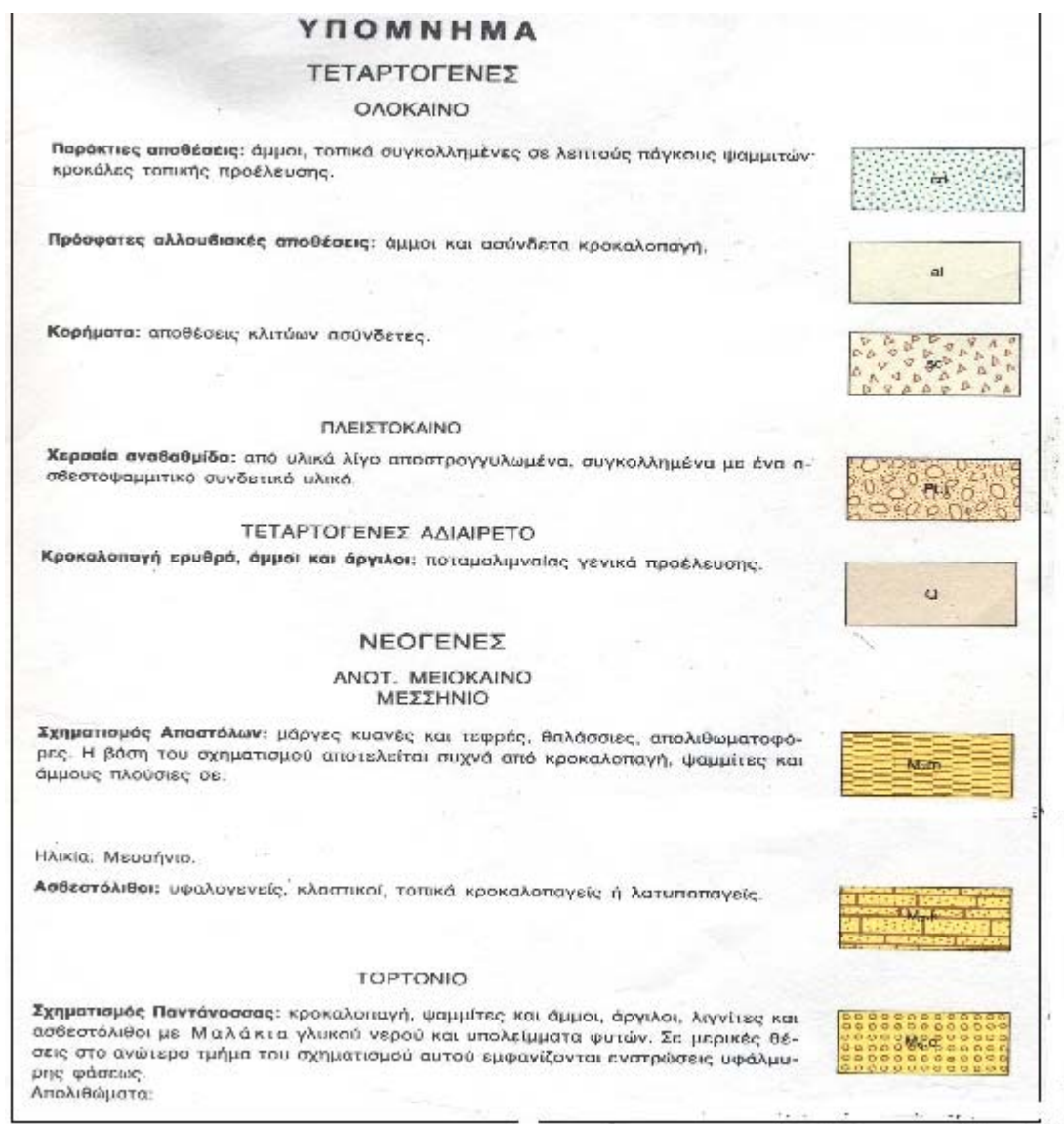
2.2 Γεωλογική δομή της μελετούμενης περιοχής (Τυμπάκι-Μέλαμπες)

Σύμφωνα με την γεωλογική τομή η οποία έχει πραγματοποιηθεί στα πλαίσια της περιοχής που έχουν πραγματοποιηθεί οι βυθοσκοπήσεις και οι γεωτρήσεις η μελετούμενη περιοχή αποτελείται από τους εξής γεωλογικούς σχηματισμούς ξεκινώντας από μικρότερα και καταλήγοντας σε μεγαλύτερα βάθη:

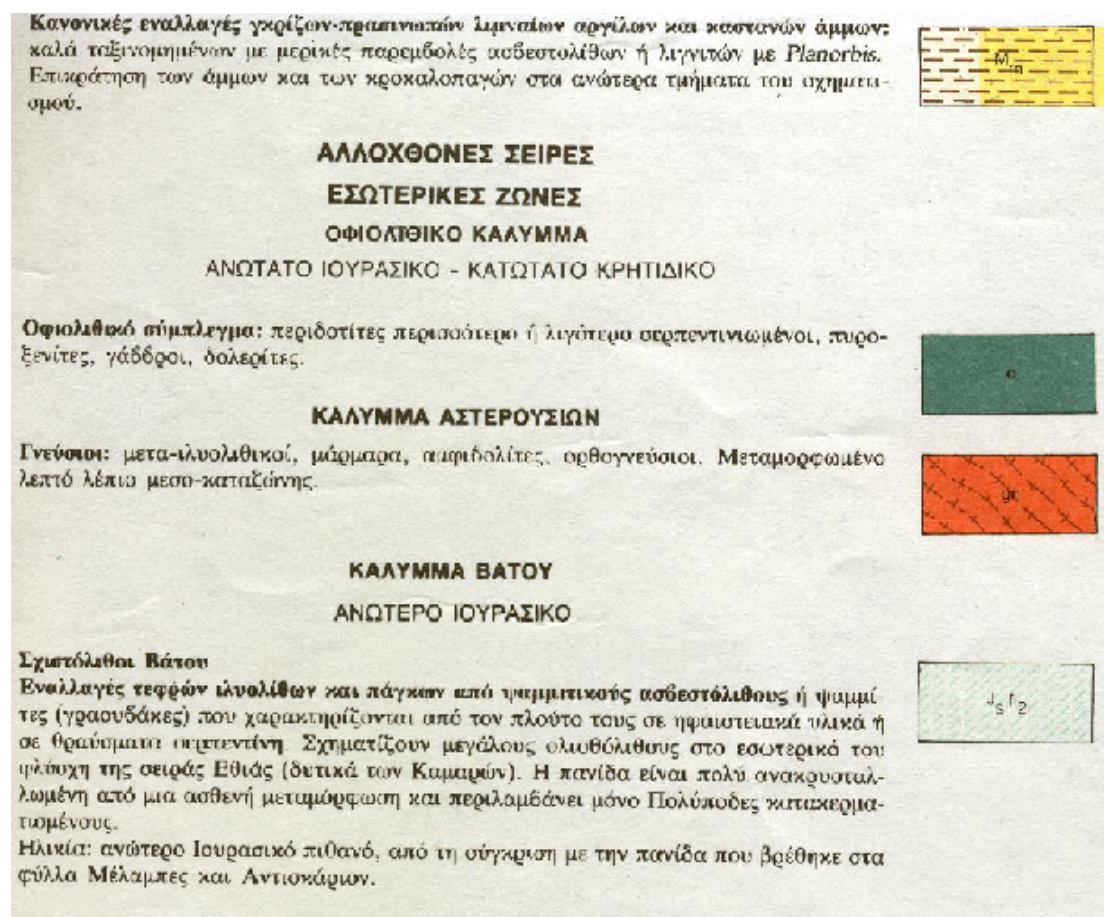
1. Παράκτιες αποθέσεις του Τεταρτογενούς (Ολόκαινο). Αποτελούνται από άμμους, οι οποίοι είναι συγκολλημένοι με κροκάλες και ψαμμίτες.
2. Κροκαλοπαγή άμμους και αργίλους του Πλειο-Πλειστόκαινου.
3. Θαλάσσιες αποθέσεις του Κατώτερου Πλειόκενου. Αποτελούνται από λευκές μάργες και λευκούς μαργαικούς ασβεστόλιθους, καστανωπές φυλλώδεις μάργες, άμμοι κροκαλοπαγή και στα ανώτερα μέρη σχηματισμού κλαστικούς ασβεστόλιθους.
4. Σχηματισμός Αποστόλων του Μεσσηνίου (Ανώτερο Μειόκενο) Αποτελούνται από μάργες κυανές τεφρές και θαλάσσιες. Η βάση συνήθως αποτελείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και άμμους πλούσιους σε ασβεστόλιθους..
5. Ακανόνιστες εναλλαγές από αποθέσεις θαλάσσιες-υφάλμυρες και γλυκών νερών με ενδιαστρώσεις υφαλογενών ασβεστολίθων. Ειδικότερα αποτελούνται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμοι, αργίλοι, λιγνίτες και ασβεστόλιθους, με μαλάκια γλυκού νερού και υπολείμματα φυτών και Ανήκουν στο Ανώτερο Μειόκενο στο Τορτόνιο.
6. Λατυποπαγή, λιμναίες και θαλάσσιες αποθέσεις του Μέσο Ανώτερου και Ανώτερου Μειόκενου.



Σχήμα 2.4 Στρωματογραφική στήλη μετά-Αλπικών σχηματισμών στον χάρτη Τυμπάκι-Μέλαμπες



Σχήμα 2.5 Υπόμνημα 1 μελετούμενης περιοχής



Σχήμα 2.6 Υπόμνημα 2 μελετούμενης περιοχής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Εισαγωγή

Μία από τις κατηγορίες της γεωφυσικής διασκόπησης είναι η μέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης. Με την γεωφυσική διασκόπηση είναι δυνατή η μελέτη απρόσιτων δομών και η παρατήρηση στρωμάτων του φλοιού της γης, με την βοήθεια μετρήσεων της γεωφυσικής και την συμβολή των νόμων της φυσικής. Στόχος, είναι ο εντοπισμός περιοχών με οικονομική σημασία.

Οι μετρούμενες φυσικές ποσότητες είναι η ένταση του πεδίου βαρύτητας, η ένταση του μαγνητικού πεδίου, το δυναμικό του ηλεκτρικού πεδίου, κ.α. Στη γεωφυσική διασκόπηση ενδιαφέρον παρουσιάζουν όχι μόνο οι ίδιες οι τιμές των διαφόρων φυσικών μεγεθών, αλλά και οι μεταβολές τους, που οφείλονται σε ανωμαλίες της δομής του φλοιού της Γης. Ο βασικός σκοπός της διασκόπησης έγκειται στο γεγονός ότι με προσδιορισμό συγκεκριμένων δομών που σχετίζονται με κοιτάσματα, αυξάνει η πιθανότητα επιτυχών γεωτρήσεων.

Οι βασικότερες κατηγορίες των μεθόδων της γεωφυσικής διασκόπησης είναι:

- 1) *Βαρυτικές Μέθοδοι.* Άμεσος σκοπός αυτών των μεθόδων είναι ο καθορισμός των οριζόντιων μεταβολών της πυκνότητας των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης με μέτρηση των μεταβολών της έντασης του πεδίου βαρύτητας και των χωρικών παραγώγων αυτής.
- 2) *Μαγνητικές Μέθοδοι.* Βασίζονται στον εντοπισμό μεταβολών της μαγνήτισης των πετρωμάτων μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης, με μετρήσεις στην επιφάνεια της Γης μαγνητικών ανωμαλιών μικρής κλίμακας (τοπικών μεταβολών της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου).
- 3) *Ηλεκτρικές Μέθοδοι.* Με αυτές τις μεθόδους επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης με μετρήσεις ηλεκτρικών ποσοτήτων (ηλεκτρική τάση) στην επιφάνεια της Γης.
- 4) *Ηλεκτρομαγνητικές Μέθοδοι.* Βασίζονται στον καθορισμό της γεωηλεκτρικής δομής (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) στα επιφανειακά στρώματα του

φλοιού της Γης με βάση τις ιδιότητες του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που παράγεται μέσα στα στρώματα αυτά, σε σχέση με τις ιδιότητες του αρχικού (πρωτογενούς) πεδίου που μας είναι γνωστές.

5) *Σεισμικές Μέθοδοι.* Με τις μεθόδους σεισμικής διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός των μεταβολών των ταχυτήτων διάδοσης των ελαστικών (σεισμικών) κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης, με μετρήσεις των χρόνων διαδρομής τους μέσα στα στρώματα αυτά και εφαρμογή γνωστών νόμων της φυσικής, στους οποίους υπακούει η διάδοση αυτή (νόμοι διάθλασης, ανάκλασης)

Οι γεωφυσικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγάλο αριθμό προβλημάτων όπως για τον εντοπισμό δόμων, που ευνοούν τον σχηματισμό κοιτασμάτων πετρελαίου, φυσικού αερίου και μεταλλευμάτων. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους, για τον εντοπισμό υδροφόρων οριζόντων, γεωθερμικών πεδίων κ.α.

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται κυρίως στις ηλεκτρικές μεθόδους γι' αυτό και θα αναλυθούν εκτενέστερα.

3.2 Ηλεκτρικές μέθοδοι

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι, όπως προαναφέρθηκε έχουν σαν στόχο τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Η μετρούμενη ποσότητα είναι η ηλεκτρική τάση, από την οποία επιδιώκεται ο καθορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι της γεωφυσικής διασκόπησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Η πρώτη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων, και περιλαμβάνει:

- Μέθοδο του φυσικού δυναμικού
- Μέθοδο των τελλουρικών ρευμάτων

Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία, και περιλαμβάνει:

- Μέθοδο της ειδικής αντίστασης
- Μέθοδο της επαγόμενης πολικότητας

➤ Μέθοδο των ισοδυναμικών γραμμών

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην Υδρογεωλογία, και στην Τεχνική Γεωλογία.

3.3 Μέθοδος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Έχει σκοπό τον καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, ή καλύτερα την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος που ονομάζεται γεωηλεκτρική δομή. Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία τεχνητών ηλεκτρικών πεδίων. Το ηλεκτρικό πεδίο επηρεάζεται από τη δομή του υπεδάφους, και επομένως από τις μετρήσεις του δυναμικού είναι δυνατός ο καθορισμός της δομής.

3.3.1 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την ηλεκτρική διασκόπηση. Αν μια ορθογώνια ράβδος διατομής A και μήκους L διαρρέεται από ρεύμα έντασης I , τότε η τάση V ανάμεσα στις άκρες της ράβδου θα είναι :

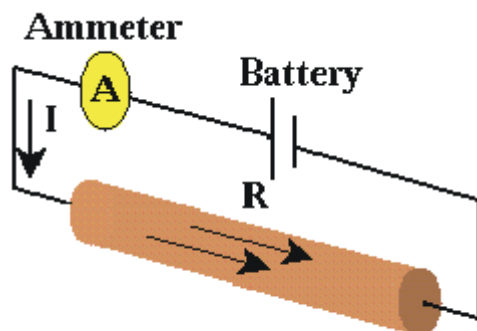
$$V = I \cdot R \quad (3.1)$$

Όπου R η ηλεκτρική αντίσταση (Ωm)

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ υπολογίζεται από την σχέση:

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

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων, SI, είναι το $1 \Omega m$, ή μερικές φορές χρησιμοποιείται και η μονάδα $1 \Omega cm$ όπου $1 \Omega m = 100 \Omega cm$. Το αντίστροφο, $\sigma = 1/\rho$, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του πετρώματος, με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα το siemens/m.



3.3.2 Ειδική αντίσταση ορυκτών και πετρωμάτων

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των ορυκτών και πετρωμάτων είναι μια από τις πιο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των ορυκτών και των πετρωμάτων. Οι τιμές της κυμαίνονται από $10^{-6} \Omega\text{m}$ σε ορισμένα ορυκτά όπως είναι ο γραφίτης, μέχρι $10^{15} \Omega\text{m}$ σε ορισμένα ξηρά χαλαζιακά πετρώματα. Τυπικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εμφανίζονται στον πίνακα (3.1). Τα πετρώματα και τα ορυκτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 10^{-6} και $10^{-1} \Omega\text{m}$ χαρακτηρίζονται ως καλοί αγωγοί, ενώ κακοί αγωγοί θεωρούνται αυτά που έχουν ειδικές αντιστάσεις μεταξύ 10^8 και $10^{15} \Omega\text{m}$.

EARTH MATERIAL	RESISTIVITY, AVERAGE OR RANGE (ohm-m)	EARTH MATERIAL	RESISTIVITY, AVERAGE OR RANGE (ohm-m)
<i>Metals</i>	<i>Average R</i>	<i>Other Minerals</i>	<i>Range of R</i>
Copper	1.7×10^{-8}	Calcite	$10^{12}-10^{13}$
Gold	2.4×10^{-8}	Anhydrite	10^9-10^{10}
Silver	1.6×10^8	Halite	$10-10^{13}$
Graphite	10^{-3}	Coal	$10-10^{11}$
Iron	10^{-7}	<i>Crystalline Rocks</i>	<i>Range of R</i>
Lead	2.2×10^{-7}	Granite	10^2-10^6
Nickel	7.8×10^{-8}	Diorite	10^4-10^5
Tin	1.1×10^{-7}	Gabbro	10^3-10^6
Zinc	5.8×10^{-8}	Andesite	10^2-10^4
<i>Sulfide Ore Minerals</i>	<i>Average R</i>	Basalt	$10-10^7$
Chalcocite	10^{-4}	Peridotite	10^2-10^3
Chalcopyrite	4×10^{-3}	Schist	$10-10^4$
Pyrite	3×10^{-1}	Gneiss	10^4-10^6
Pyrrhotite	10^4	Slate	10^2-10^7
Molybdenite	10	Marble	10^2-10^8
Galena	2×10^{-3}	Quartzite	$10-10^8$
Sphalerite	10^2	<i>Sedimentary Rocks</i>	<i>Range of R</i>
<i>Oxide Ore Minerals</i>	<i>Range of R</i>	Shale	$10-10^3$
Bauxite	10^2-10^4	Sandstone	$1-10^6$
Chromite	$1-10^6$	Limestone	$50-10^7$
Cuprite	$10^{-3}-300$	Dolomite	10^2-10^4
Hematite	$10^{-3}-10^7$	<i>Unconsolidated Sediment</i>	<i>Range of R</i>
Magnetite	$10^{-5}-10^4$	Sand	$1-10^3$
Ilmenite	$10^{-5}-10^2$	Clay	$1-10^2$
Rutile	$10-10^3$	Marl	$1-10^2$
<i>Silicate Minerals</i>	<i>Range of R</i>	<i>Groundwater</i>	<i>Range of R</i>
Quartz	$10^{10}-10^{15}$	Portable well water	$0.1-10^3$
Muscovite	10^2-10^{14}	Brackish water	0.3-1
Biotite	10^2-10^6	Seawater	0.2
Hornblende	10^2-10^6	Supersaline brine	0.05-0.2
Feldspar	10^2-10^4		
Olivine	10^3-10^4		

Πίνακας 3.1. Πεδίο τιμών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων ορυκτών της Γης
(Robinson, Coruh, σελ.477)

Αυτό το εύρος τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των διαφόρων ορυκτών και πετρωμάτων αποτελεί τη βάση για τις μεθόδους των ηλεκτρικών διασκοπήσεων. Έτσι, ο γραφίτης, ο πυρίτης και ο σιδερίτης εντοπίζονται λόγω της μεγάλης τους ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με τα πετρώματα που τα περιβάλλουν.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι:

- *Η λιθολογία των πετρωμάτων.* Γενικά τα πλουτώνια και τα μεταμορφωμένα πετρώματα έχουν μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση ($10^3 - 10^5 \Omega m$), ενώ τα ιζηματογενή έχουν μικρότερη ($1 - 10^5 \Omega m$). (πίνακας 3.2).
- *Το πορώδες των πετρωμάτων.* Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι αντιστρόφως ανάλογη του πορώδους, συνδέεται με το πορώδες με την εμπειρική σχέση (Ward 1980):

$$\rho = \alpha \rho_u \phi^{-m} \quad (3.3)$$

Όπου :

ρ : ειδική αντίσταση πετρώματος

ρ_u : ειδική αντίσταση νερού πόρων.

ϕ : πορώδες

α : σταθερά που οι τιμές της κυμαίνονται από 1 έως 4

m : συντελεστής τσιμέντωσης που εκφράζει πόσο συμπαγές είναι το πέτρωμα, κυμαίνεται από 1.4 έως 2.2.

Ο λόγος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του σχηματισμού προς την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού των πόρων ονομάζεται συντελεστής σχηματισμού (formation factor) F , και εξαρτάται από το είδος του πετρώματος.

- *Η γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων.* Η ειδική αντίσταση των πετρωμάτων αυξάνεται γενικά με τη γεωλογική ηλικία τους, λόγω της αύξησης της συνοχής τους η οποία οφείλεται στην αύξηση του πάχους των υπερκείμενων στρωμάτων και συνεπώς και της πίεσης που ασκούν τα στρώματα αυτά στο από κάτω με την αύξηση του χρόνου.
- *Η Θερμοκρασία των πετρωμάτων.* Μεταβολές της θερμοκρασίας προκαλούν αλλαγές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα των πετρωμάτων σε τέτοιο βαθμό που να επηρεάζουν την ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα. Αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση του ιξώδους του νερού, άρα και μείωση της ειδικής αντίστασης. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_{\theta} = \frac{\rho_{18}}{1 + a_{18}(\theta - 18^{\circ})} \quad (3.4)$$

όπου:

ρ_{θ} : ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε θερμοκρασία θ $^{\circ}C$

ρ_{18} : ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε θερμοκρασία 18 $^{\circ}C$

α_{18} : θερμικός συντελεστής ίσος με την τιμή $0.025/^\circ\text{C}$

3.3.3 Συμπεριφορά του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στο έδαφος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στην τεχνητή εισαγωγή ρεύματος μέσα στο έδαφος που γίνεται μέσω μιας πηγής ηλεκτρικού ρεύματος, της οποίας ο θετικός και ο αρνητικός πόλος συνδέονται με την επιφάνεια της Γης, χρησιμοποιώντας δύο ηλεκτρόδια, που καλούνται και ηλεκτρόδια ρεύματος. Για την καλύτερη κατανόηση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στο έδαφος θεωρείται ότι αυτό είναι ομογενές. Τότε, το έδαφος θα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα λόγω της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, και επειδή ο αέρας της ατμόσφαιρας είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, θεωρείται ότι όλο το ρεύμα από την πηγή μπαίνει μέσα στην Γη. (σχήμα 3.2).

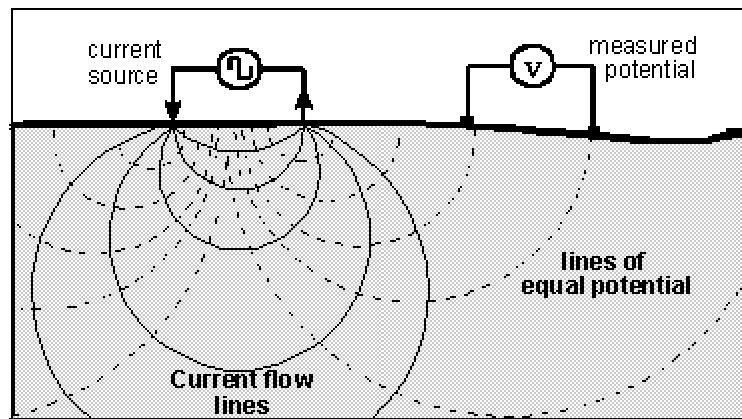
Το ηλεκτρικό ρεύμα θα έχει διεύθυνση από τον θετικό πόλο προς τον αρνητικό, και θα ρέει ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις, επειδή θεωρήθηκε ότι η Γη είναι ομογενής άρα έχει σταθερή ηλεκτρική αντίσταση. Σε απόσταση d από το θετικό ηλεκτρόδιο, το ρεύμα διαρρέει ημικύκλιο ακτίνας d , και εμβαδού $2\pi d^2$, που αποτελεί την επιφάνεια του ημισφαιρίου. Η πτώση τάσης, λόγω της ροής του ρεύματος διαμέσου της αντίστασης της ημισφαιρικής περιοχής, σύμφωνα με τον νόμο του Ohm είναι

$$V = IR = V_\theta - V_d \quad (3.5)$$

όπου

V_θ η ηλεκτρική τάση στον θετικό πόλο

V_d η ηλεκτρική τάση σε οποιοδήποτε σημείο του εδάφους και σε απόσταση d από τον πόλο



Σχήμα 3.2. Ισοδυναμικές γραμμές (διακεκομμένες καμπύλες) και γραμμές ρεύματος (συνεχείς καμπύλες) στην περίπτωση που εισάγονται τα ηλεκτρόδια ρεύματος μιας ηλεκτρικής πηγής σε ομογενές έδαφος.

Η αντίσταση R όμως ισούται με το λόγο του γινόμενου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ , επί την απόσταση d , προς την διατομή $2\pi d^2$, οπότε

$$R = \frac{\rho d}{2\pi d^2} = \frac{\rho}{2\pi d} \quad (3.6)$$

και

$$V_{\theta} - V_d = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{2d} \right) \quad (3.7)$$

Η τάση αυτή, θα έχει την ίδια τιμή σε οποιοδήποτε σημείο του ημικυκλίου (σχήμα 3.3), και ονομάζεται ισοδυναμική γραμμή ή επιφάνεια.

Είναι φανερό ότι το ίδιο ισχύει και για τον αρνητικό πόλο, οπότε, για απόσταση d από τον αρνητικό πόλο, η διαφορά δυναμικού θα υπολογίζεται από τη σχέση

$$V = IR = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{2d} \right) = V_d - V_{\theta} \quad (3.8)$$

επειδή ο αρνητικός πόλος εμφανίζει δυναμικό $-V_{\theta}$ (είναι συνδεδεμένος με την ίδια ηλεκτρική πηγή και τον αρνητικό πόλο της).

Σε ένα τυχαίο σημείο του υπεδάφους, το δυναμικό σαν μονόμετρο μέγεθος, ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των δυναμικών που δημιουργούν οι δύο πόλοι, οπότε:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \quad (3.9)$$

όπου d_1 και d_2 οι αποστάσεις του τυχαίου σημείου από το θετικό και αρνητικό ηλεκτρόδιο αντίστοιχα.

Αυτή η σχέση δίνει το δυναμικό για κάθε σημείο του υπεδάφους. Αν ενωθούν τα σημεία που έχουν το ίδιο δυναμικό θα προκύψουν οι ισοδυναμικές επιφάνειες (σχήμα 3.3). Παρατηρείται ότι οι γραμμές του ρεύματος και στους δύο πόλους τέμνουν κάθετα τις ισοδυναμικές γραμμές.

Το σχήμα (3.4) αντιπροσωπεύει μια τυπική διάταξη που χρησιμοποιείται στη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Υπάρχουν τα ηλεκτρόδια ρεύματος AB που είναι συνδεδεμένα με ένα αμπερόμετρο για τον υπολογισμό της έντασης του ρεύματος που εισάγεται στο έδαφος, ενώ τα ηλεκτρόδια MN είναι τα ηλεκτρόδια τάσης, που συνδέονται με βολτόμετρο για τη μέτρηση της τάσης. Εφαρμόζοντας τη σχέση (3.9) σ' αυτή τη διάταξη προκύπτει:

- ♦ Στο ηλεκτρόδιο M το δυναμικό είναι

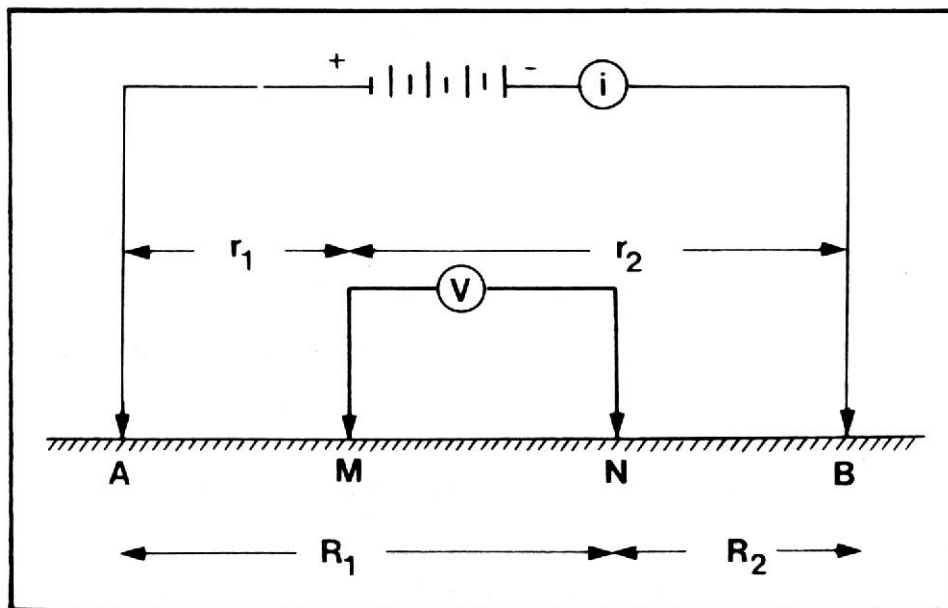
$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (3.10)$$

- ♦ Στο ηλεκτρόδιο N το δυναμικό είναι

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (3.11)$$

- ♦ Η διαφορά δυναμικού V_{MN} που μετράται από το βολτόμετρο είναι,

$$V_{MN} = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (3.12)$$



Σχήμα 3.3. Σχηματική απεικόνιση των ηλεκτροδίων ρεύματος A , B και ηλεκτροδίων δυναμικού (Παπαζάχος, 1986, σελ. 247).

- ♦ Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι (υπολογίζεται από την 3.12)

$$\rho = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (3.13)$$

- ♦ θέτοντας $AM = r_1$, $BM = r_2$, $AN = R_1$ και $BN = R_2$, βρίσκουμε ότι θα είναι:

$$\rho = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (3.14)$$

Η σχέση αυτή θα χρησιμοποιηθεί κατά την ανάπτυξη της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι η σχέση αυτή προέκυψε θεωρώντας ότι η γη είναι ομογενής.

3.3.4 Φαινόμενη ειδική αντίσταση

Η σχέση (3.14) προέκυψε θεωρώντας ότι τα επιφανειακά στρώματα της Γης είναι ομογενή, αυτό όμως δεν ισχύει και συνεπώς η ειδική ηλεκτρική αντίσταση δεν είναι σταθερή σε αυτά. Η αντίσταση που υπολογίζεται από την προηγούμενη σχέση εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a).

Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί στον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός διαφορετικών διατάξεων ηλεκτροδίων που θα περιγραφούν παρακάτω.

3.4 Τρόποι διάταξης ηλεκτροδίων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων, το σχήμα (3.5) δείχνει τις τρεις πιο σημαντικές διατάξεις που είναι:

α) Διάταξη Wenner

Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM = MN = NB = \alpha$, όπως φαίνεται στο σχήμα (3.5.α), έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a σύμφωνα με την σχέση (3.14) θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\alpha} \right)^{-1} = 2\pi\alpha \frac{V_{MN}}{I} \quad (3.15)$$

Η ποσότητα

$$2\pi \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{2\alpha} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{\alpha} \right)^{-1} = 2\pi\alpha \quad (3.16)$$

ονομάζεται γεωμετρικός συντελεστής και συμβολίζεται με K , Η τιμή του μπορεί να υπολογιστεί αν οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι γνωστές.

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

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης, δηλαδή οριζόντια ηλεκτρική διασκόπηση με μετρήσεις σε μια γραμμή, το a παραμένει σταθερό και τα τέσσερα ηλεκτρόδια μεταφέρονται κατά μήκος γραμμής μελέτης. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χαρτογραφείται στο κέντρο κάθε 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.

β) 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. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N είναι ανάμεσα στα A και B και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης. Έτσι είναι $AB = 2L$ και $MN = 2b = I$ (σχήμα 3.5.b), η απόσταση $2b$ μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση $2L$ μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Έτσι ο γεωμετρικός συντελεστής K θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{L-b} - \frac{1}{L+b} - \frac{1}{L+b} - \frac{1}{L-b} \right)^{-1} = (L^2 - b^2) \frac{\pi}{2b} \quad (3.17)$$

Επειδή όμως ($L \gg b$) τότε $(L^2 - b^2) \sim L^2$, και έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\rho_a = \text{Error!Error!} \quad (3.18)$$

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 κατά μήκος ορισμένης τομής, ενώ η απόστασή τους παραμένει σταθερή όπως και στη διάταξη Wenner.

Η διάταξη Schlumberger είναι η πιο διαδεδομένη διάταξη. 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 πιθανοτήτων ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε τοπικές γεωλογικές ασυνέχειες.

γ) Διάταξη Διπόλου-Διπόλου

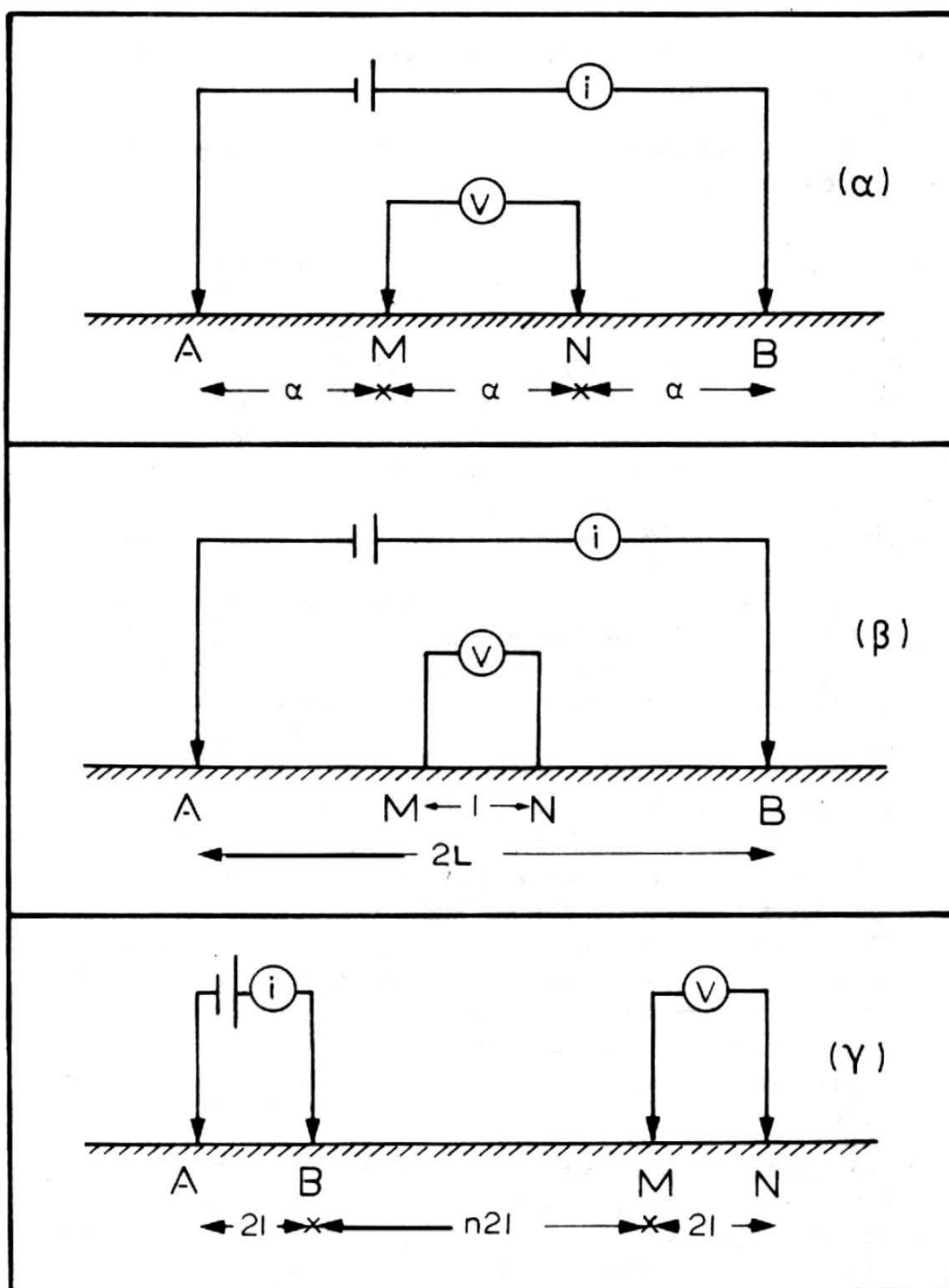
Από τις παραπάνω διατάξεις, η πιο σημαντική είναι αυτή του διπόλου–διπόλου, όπου η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Ομοίως a είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και ίση με na ($n \gg 1$), όπως φαίνεται στο σχήμα (3.5.γ).

Ο γεωμετρικός συντελεστής K για την διάταξη διπόλου–διπόλου και για $n \gg 1$, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = \pi n(n+1)(n+2)a \quad (3.19)$$

και η φαινόμενη ειδική αντίσταση από την σχέση

$$\rho_a = \pi n(n-1)(n+2)a \quad (3.20)$$



Σχήμα 3.4. Διατάξεις Wenner (α), Schlumberger (β), διπόλου-διπόλου (γ)
(Παπαζάχος, 1986, σελ. 253).

Οι μετρήσεις για ηλεκτρική χαρτογράφηση πραγματοποιούνται μετακινώντας κατά μήκος γραμμής μελέτης τα τέσσερα ηλεκτρόδια, ενώ η τιμή του n παραμένει σταθερή. Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής βυθοσκόπησης επιτυγχάνονται αυξάνοντας την τιμή του n κατά βήματα.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διάταξης αποτελεί η απόσταση $2na$, ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού, που μπορεί να αυξηθεί αρκετά χωρίς να χρειάζονται μεγάλα μήκη καλωδίων. Η διάταξη περιορίζεται μόνο από τη δυνατότητα των καταγραφικών οργάνων και από τον εδαφικό θόρυβο.

3.4.1 Παράγοντες επιλογής της κατάλληλης διάταξης ηλεκτροδίων.

Η επιλογή της κατάλληλης διάταξης των ηλεκτροδίων κατά την πραγματοποίηση των γεωφυσικών διασκοπήσεων είναι πολύ σημαντική και επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων. Έτσι, η επιλογή πρέπει να γίνει ανάλογα με τον σκοπό της γεωφυσικής διασκόπησης σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

1. Λόγος σήματος προς θόρυβο

Η διαφορά δυναμικού (δηλ. το σήμα) είναι μεγάλη όταν ο λόγος της απόστασης των ηλεκτροδίων δυναμικού προς την απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος είναι μεγάλος και όταν το ζεύγος των ηλεκτροδίων δυναμικού βρίσκεται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ρεύματος. Ως προς τον παράγοντα λοιπόν αυτό κατά σειρά προτεραιότητας οι διατάξεις είναι: Wenner, Schlumberger, διπόλου-διπόλου.

2. Ευαισθησία σε οριζόντιες ανομοιογένειες

Οι οριζόντιες ανομοιογένειες φαίνεται να προκαλούν μεγαλύτερη ευαισθησία στην διάταξη διπόλου-διπόλου και λιγότερη σε Wenner και Schlumberger. (σχήμα 3.6).

3. Ευαισθησία σε βάθος και διεισδυτικότητα δια μέσου επιφανειακού αγωγίμου στρώματος

Οι διατάξεις Schlumberger και Wenner έχουν σχεδιαστεί για να χρησιμοποιούνται σε βυθοσκοπήσεις και η συνεχώς αυξανόμενη απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος με 6 αποστάσεις ανά λογαριθμικό κύκλο δίνει λεπτομερή ανάλυση της ειδικής αντίστασης σε βάθος, σε αντίθεση με τη διάταξη διπόλου-διπόλου, που συνήθως οι μετρήσεις είναι 6 με βήμα μέτρησης το μήκος διπόλου.

4. Διεισδυτικότητα δια μέσου επιφανειακού αγωγίμου στρώματος (Επίδραση του επιδερμικού φαινομένου)

Όταν το εισαγόμενο ρεύμα συναντήσει ένα αγωγίμο στρώμα κοντά στην επιφάνεια της Γης, προτιμά να ρέει σ' αυτό με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά

το βάθος διασκόπησης. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό σαν επιδερμικό φαινόμενο, και επηρεάζει την ικανότητα διείσδυσης σε μεγάλα βάθη. Η δυνατότητα μεγάλου ανοίγματος ηλεκτροδίων ρεύματος της διάταξης Schlumberger μαζί με την ευαισθησία σε βάθος που έχει, της παρέχουν ένα σαφές προβάδισμα.

5. Βάθος διασκόπησης

Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται κυρίως από το οριζόντιο ανάπτυγμα (απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων) όπως φαίνεται στο σχήμα (3.7) , που σημαίνει ότι η διάταξη Schlumberger πλεονεκτεί. Επίσης το βάθος διασκόπησης επηρεάζεται από επιφανειακές ή βαθιές ανομοιογένειες, από την τοπογραφία, από την κλίση των στρωμάτων, από το ανάγλυφο του υπόβαθρου, και από το μοντέλο των στρωμάτων του υπεδάφους.

6. Ευαισθησία στις επιφανειακές ανομοιογένειες.

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση επηρεάζεται πολύ περισσότερο αν το ηλεκτρόδιο δυναμικού διέλθει από επιφανειακή ανομοιογένεια παρά από όσο εάν περάσει το ηλεκτρόδιο ρεύματος (σχήμα 3.7). Έτσι η διάταξη Schlumberger πλεονεκτεί των άλλων διατάξεων μιας και τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σε μία περιοχή επί περισσότερο διάστημα μετρήσεων.

7. Ευαισθησία στην μορφολογία του υπόβαθρου.

Η διάταξη διπόλου-διπόλου υπερτερεί των άλλων διατάξεων στην περίπτωση των γεωλογικών ανωμαλιών.

8. Ευαισθησία στο τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής έρευνας.

Το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο δημιουργεί πύκνωση και αραίωση των ρευματικών γραμμών (σχήμα 3.8). Σε κοιλάδα, η πύκνωση των ρευματικών γραμμών δημιουργεί μετρήσεις μικρών τιμών φαινομένων ειδικών αντιστάσεων με διάταξη διπόλου-διπόλου σαν να υπάρχει στην περιοχή σώμα χαμηλής ειδικής αντίστασης.

Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι διατάξεις ηλεκτροδίων πρέπει να έχουν διεύθυνση παράλληλη με το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής.

3.4.2 Επιλογή Διατάξεως Ηλεκτροδίων.

Σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα, τα περισσότερα πλεονεκτήματα ως διάταξη ηλεκτροδίων για βυθοσκόπηση έχει η διάταξη Schlumberger, κατά την οποία οι αποστάσεις ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνουν συνεχώς με σταθερή απόσταση ηλεκτροδίων δυναμικού. Για το λόγο αυτό επιλέχτηκε η διάταξη Schlumberger για τη πραγματοποίηση των βυθοσκοπήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Οι μέθοδοι της ηλεκτρικής διασκόπησης βασίζονται στη μελέτη του τρόπου διάδοσης ηλεκτρικών ρευμάτων στο υπέδαφος με μετρήσεις που γίνονται στην επιφάνεια. Σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους, όπου το αντικείμενο μελέτης είναι ένα φυσικό πεδίο (βαρυτομετρική μέθοδος) ή ένα τεχνητό πεδίο (σεισμική μέθοδος), οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούν μετρήσεις διαφόρων μεγεθών σε ηλεκτρικά ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία είτε υπάρχουν στη φύση είτε δημιουργούνται τεχνητά τη στιγμή που γίνεται η διασκόπηση. Στο γεγονός αυτό οφείλεται η μεγάλη ποικιλία των μεθόδων της γεωηλεκτρικής διασκόπησης.

Οι περισσότερες ηλεκτρικές μέθοδοι στηρίζονται στη διαφορετική ηλεκτρική αγωγιμότητα που εμφανίζουν τα πετρώματα της ανώτερης λιθόσφαιρας, ανάλογα με τη λιθολογία και τη φυσική τους κατάσταση. Σε συνάρτηση με τη λιθολογία, τα μεταλλοφόρα κοιτάσματα παρουσιάζουν μεγάλη αγωγιμότητα, ενώ τα εκρηξιγενή πετρώματα ή τα μάρμαρα παρουσιάζουν μικρή αγωγιμότητα. Επίσης τα συμπαγή πετρώματα και τα ξηρά εδάφη παρουσιάζουν μικρή αγωγιμότητα, ενώ τα πορώδη πετρώματα και τα υγρά εδάφη δείχνουν μεγάλη αγωγιμότητα. Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ή της ηλεκτρικής αντίστασης, σε συνδυασμό και με άλλα στοιχεία, δίνει την δυνατότητα καθορισμού των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους. Η ηλεκτρική διασκόπηση γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- την ηλεκτρική χαρτογράφηση
- την ηλεκτρική βυθοσκόπηση.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι έχουν ευρύ πεδίο εφαρμογής. Η εφαρμογή τους είναι συχνότερη στην περίπτωση αναζήτησης μετάλλων και ορυκτών και λιγότερο στην περίπτωση ανακάλυψης πετρελαίου. Αυτό συμβαίνει γιατί η διακριτική ικανότητα των γεωηλεκτρικών μεθόδων περιορίζεται σημαντικά καθώς αυξάνει το βάθος. Χρησιμοποιούνται ακόμη στην Υδρογεωλογία για την ανακάλυψη ταμιευτήρων

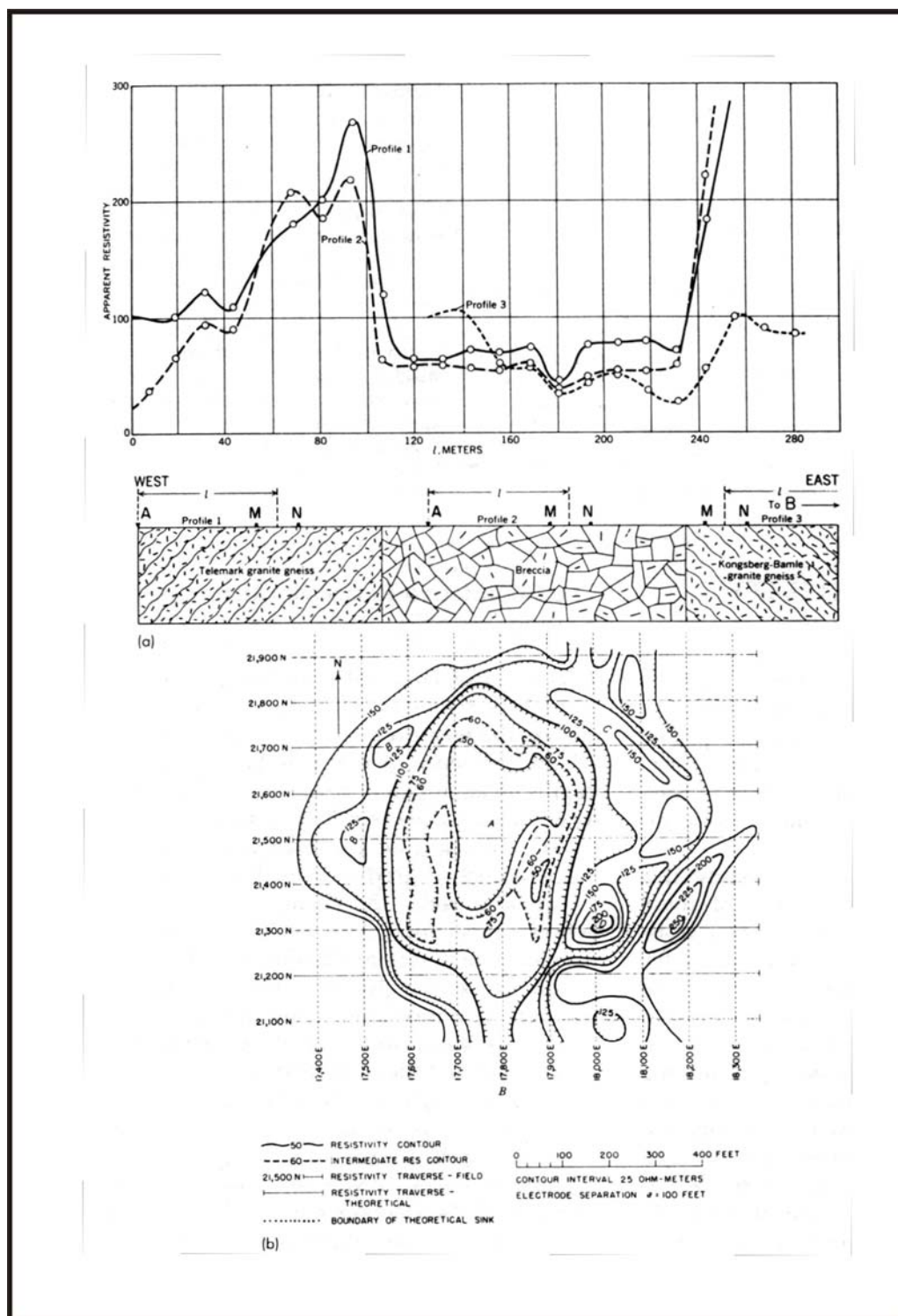
νερού, την Τεχνική Γεωλογία για την ανεύρεση του βάθους του μητρικού πετρώματος σε τοποθεσία κατασκευής φράγματος, στην αναζήτηση γεωθερμικών πεδίων. Πρόσφατα άρχισε να επεκτείνεται και στην αρχαιολογία για την ανεύρεση θαμμένων αρχαιοτήτων.

4.2 Γεωηλεκτρική Χαρτογράφηση

Στη Γεωηλεκτρική χαρτογράφηση, η περιγραφή της γεωλογικής δομής του υπεδάφους βασίζεται στη μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια διεύθυνση. Έτσι μπορεί να γίνει εφικτός ο εντοπισμός ασυνεχειών κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως π.χ. μεταπτώσεις. Η ιδιότητα αυτή της γεωηλεκτρικής χαρτογράφησης την κάνει ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση αναζήτησης μεταλλευμάτων.

Κατά τη γεωηλεκτρική χαρτογράφηση, πολύ σημαντικός είναι ο καθορισμός της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος πριν να ξεκινήσει η χαρτογράφηση, καθώς από αυτή την απόσταση εξαρτάται το βάθος μέχρι το οποίο οι σχηματισμοί στο υπέδαφος επιδρούν στη διαμόρφωση της τιμής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης R_a .

Μια σειρά από μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής αντίστασης πραγματοποιείται μετακινώντας τη διάταξη των ηλεκτροδίων από θέση σε θέση κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Οι τιμές αυτές, κατά μήκος αρκετών παράλληλων γραμμών, τοποθετούνται σε χάρτη φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (σχήμα 4.1).



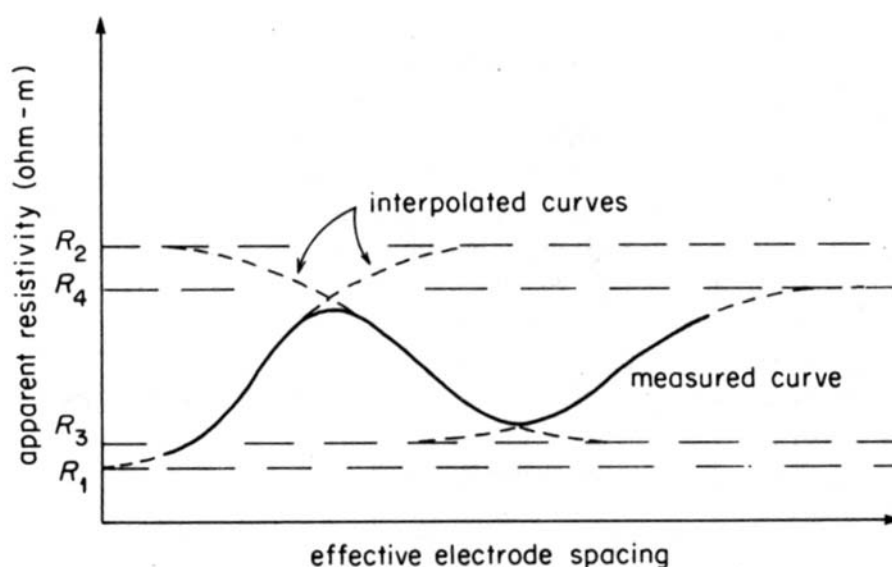
Σχήμα 4.1. Χαρακτηριστικό παράδειγμα που παρουσιάζει α) προφίλ τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε περιοχή κοντά στο Kongsberg (Νορβηγία). β) Χάρτης φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που έγινε στο Tri-state ορυχείο κοντά στο Cherokee, Κάνσας. (Robinson, Coruh, 1988, σελ. 465).

4.3 Γεωηλεκτρική Βυθοσκόπηση

Η περιγραφή της γεωλογικής δομής του υπεδάφους κατά την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης, βασίζεται στις κατακόρυφες μεταβολές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, και όχι στις οριζόντιες όπως η ηλεκτρική χαρτογράφηση, με αποτέλεσμα 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 του ρεύματος. Καθώς η διάταξη των ηλεκτροδίων απλώνεται, η ίδια ποσότητα ρεύματος διανέμεται διαμέσου παχύτερης ζώνης. Άρα, οι ηλεκτρικές αντιστάσεις των βαθύτερων γεωλογικών στρωμάτων επηρεάζουν τη φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Εναλλασσόμενα, υψηλής και χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης, στρώματα μπορούν να διακριθούν από γράφημα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της απόστασης των ηλεκτροδίων του ρεύματος (σχήμα 4.2).

Ανάμεσα στις διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων, η διάταξη Wenner είναι η λιγότερο κατάλληλη για τις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις (παρόλο που χρησιμοποιείται αρκετά συχνά), 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 4.2. Γράφημα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής και της απόστασης των ηλεκτροδίων του ρεύματος, για τον υπολογισμό εναλλασσόμενων υψηλής και χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης στρωμάτων, για τη διάταξη Wenner. (Robinson, Coruh, 1988, σελ. 466).

4.4 Τρόπος διεξαγωγής της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης θα πρέπει πρώτα να ελεγχθεί η περιοχή μελέτης. Η παραπάνω διαδικασία γίνεται διότι στην ηλεκτρική μέθοδο η ανάπτυξη των ηλεκτροδίων γίνεται σε ευθεία γραμμή και σε συγκεκριμένη διεύθυνση. Το πρόβλημα που δημιουργείται είναι σχετικό με την μορφολογία του εδάφους. Η ύπαρξη οικημάτων, χειμάρρων, λόφων, καλλιεργημένων εδαφών, καθώς και άλλων εμποδίων δυσχεραίνουν την πραγματοποίηση των μετρήσεων σε τέτοιο βαθμό ώστε οι βυθοσκοπήσεις να θεωρούνται ανέφικτες. Έτσι αναγκάζουν τους ερευνητές που πραγματοποιούν τις μετρήσεις να αναζητήσουν γειτονικά σημεία ώστε να μπορέσουν να περατώσουν τη διασκόπηση.

Για γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση με την διάταξη Schlumberger, αφού πρώτα γίνει η σύνδεση των καλωδίων με την συσκευή, κατόπιν επιλέγεται σημείο το οποίο

θα αποτελεί το κέντρο της βυθοσκόπησης και συμβολίζεται με O . Αμέσως μετά τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια τάσης σε απόσταση $MN/2$ εκατέρωθεν του σημείου O . Στη συνέχεια τα ηλεκτρόδια ρεύματος τοποθετούνται σε απόσταση $AB/2$, τη μικρότερη δυνατή, επίσης εκατέρωθεν του σημείου O . Τα ηλεκτρόδια θα πρέπει να διεισδύουν σε βάθος 15 cm τουλάχιστον για να θεωρούνται οι μετρήσεις αξιόπιστες. Τα ηλεκτρόδια έχουν την μορφή μεταλλικών πασσάλων και το μήκος τους φτάνει τα 50 cm. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων A , B με τα καλώδια και διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα, αφού δημιουργείται κλειστό κύκλωμα. Σε κάθε θέση, ο χαρακτηριστικός ήχος του οργάνου δηλώνει την πραγματοποίηση της μέτρησης. Από κάθε σημείο μέτρησης 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 διαφορά δυναμικού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης $AB/2$, ενώ όταν η τιμή προσεγγίζει το 0,1 mV, τότε η μέτρηση θεωρείται μη αξιόπιστη. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται το μήκος του $MN/2$ και για το ίδιο $AB/2$ λαμβάνεται νέα μέτρηση. Οι αποστάσεις των ημιαναπτυγμάτων $AB/2$ και οι ενδείξεις του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταχωρούνται σε ειδικά διαμορφωμένα έντυπα.

4.5 Εξοπλισμός Γεωηλεκτρικής Βυθοσκόπησης

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται συνήθως κατά την εφαρμογή της μεθόδου της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης αποτελείται από: πηγή παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, όργανα μέτρησης του δυναμικού και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, ηλεκτρόδια και μονωμένα καλώδια μεγάλου μήκους.

1) Πηγή Ρεύματος :

Όπως έχει αναφερθεί, η γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση βασίζεται στην διαβίβαση τεχνητού ρεύματος μέσα στο έδαφος. Αυτό επιτυγχάνεται με μια πηγή ρεύματος που μπορεί να είναι συνεχούς ρεύματος DC ή εναλλασσόμενου ρεύματος AC.

Στην περίπτωση της πηγής συνεχούς ρεύματος DC, που αποτελεί και την ιδανική πηγή για την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση ειδικά για μεγάλα βάθη, υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης ηλεκτρικής πόλωσης λόγω της συγκέντρωσης ηλεκτρικών φορτίων κοντά στα ηλεκτρόδια ρεύματος. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου

πρέπει η φορά του ρεύματος να αλλάζει περιοδικά μεταξύ διαδοχικών παρατηρήσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με έναν εναλλάκτη ή κύκλωμα με διακόπτες που αλλάζουν τη φορά της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος μερικές φορές κάθε δευτερόλεπτο.

Η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι χαμηλή, συνήθως μικρότερη των 100 Hertz.

2) Αμπερόμετρο :

Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διοχετεύεται στο έδαφος. Το εύρος τιμών έντασης ηλεκτρικού ρεύματος στο οποίο πρέπει να είναι ευαίσθητο το αμπερόμετρο κυμαίνεται από λίγα μιλιαμπερ μέχρι μερικές εκατοντάδες μιλιαμπερ .

3)- Βολτόμετρο :



Σχήμα 4.3. Η συσκευή ABEM Terrameter που περιέχει πηγή ρεύματος, αμπερόμετρο και βολτόμετρο

Για τη μέτρηση του δυναμικού , το εύρος τιμών δυναμικού στο οποίο πρέπει να είναι ευαίσθητο το βολτόμετρο, είναι από μερικά μιλιβόλτ έως και μερικά βολτ.

Χαρακτηριστικό είναι ότι συνήθως η πηγή ρεύματος, το αμπερόμετρο και το βολτόμετρο, περιέχονται σε μια συσκευή όπως είναι η Megger, η Tellohm, η ABEM Terrameter κ.α. (σχήμα 4.3).

4) Ηλεκτρόδια :

Τα ηλεκτρόδια είναι μεταλλικά πασσαλάκια που είναι συνήθως φτιαγμένα από αλουμίνιο, χαλκό ή ατσάλι, έχουν μήκος 70 cm περίπου και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του ρεύματος από την πηγή στο έδαφος. Η τοποθέτησή τους γίνεται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και σε βάθος που κυμαίνεται από μερικά εκατοστά μέχρι και μερικές δεκάδες εκατοστά για αξιόπιστες μετρήσεις. Οι ξηρές συνθήκες επιβάλλουν το βρέξιμο της περιοχής γύρω από το ηλεκτρόδιο ή και την προσθήκη ποσότητας αλατιού ώστε να βελτιωθεί η επαφή. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται πορώδη ηλεκτρόδια για την αποφυγή της πόλωσης τους με το έδαφος.

5) Μονωμένα Καλώδια :

Μονωμένο ηλεκτρικό καλώδιο χαμηλής αντίστασης μεταφερόμενο σε κυλίνδρους (καρούλι), χρησιμοποιείται για την σύνδεση των ηλεκτροδίων με το κύκλωμα του ρεύματος και του δυναμικού. Το μήκος καλωδίων εξαρτάται από το βάθος της βυθοσκόπησης. Για αβαθείς διασκοπήσεις αρκετό καλώδιο πρέπει να είναι διαθέσιμο για να τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια σε αποστάσεις τουλάχιστον μερικών εκατοντάδων μέτρων, ενώ για βαθύτερες ηλεκτρικές διασκοπήσεις χρειάζεται ειδικός εξοπλισμός.

4.6 Προβλήματα στην ερμηνεία των Γεωηλεκτρικών Βυθοσκοπήσεων

Κατά την ερμηνεία των γεωηλεκτρικών δεδομένων, παρουσιάζονται κάποια προβλήματα για την αντιμετώπιση των οποίων θεωρείται απαραίτητη η ύπαρξη πληροφοριών για το πάχος των στρωμάτων και για την ειδική αντίσταση,

1) Αρχή Της Ισοδυναμίας:

Η αρχή της ισοδυναμίας παρουσιάζεται όταν η καμπύλη της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστοιχεί σε μοντέλο τριών στρωμάτων, όπου το ενδιάμεσο

στρώμα εμφανίζει ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγαλύτερη ή μικρότερη σε σχέση με τα δύο στρώματα που το περικλείουν (σχήμα 4.4).

Στην περίπτωση που το ενδιάμεσο στρώμα έχει την μεγαλύτερη ειδική ηλεκτρική αντίσταση, η καμπύλη της φαινόμενης αντίστασης δεν μεταβάλλεται όταν το γινόμενο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης R επί το πάχος του ενδιάμεσου στρώματος h είναι σταθερό, ενώ ξεχωριστά οι δύο παράμετροι μεταβάλλονται. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν άπειρα μοντέλα για τα οποία το πάχος και η αντίσταση του ενδιάμεσου στρώματος έχουν διαφορετική τιμή, ενώ το γινόμενο τους, που ονομάζεται Εγκάρσια Αντίσταση T , παραμένει σταθερό. Η Εγκάρσια Αντίσταση T δίνεται από τον τύπο,

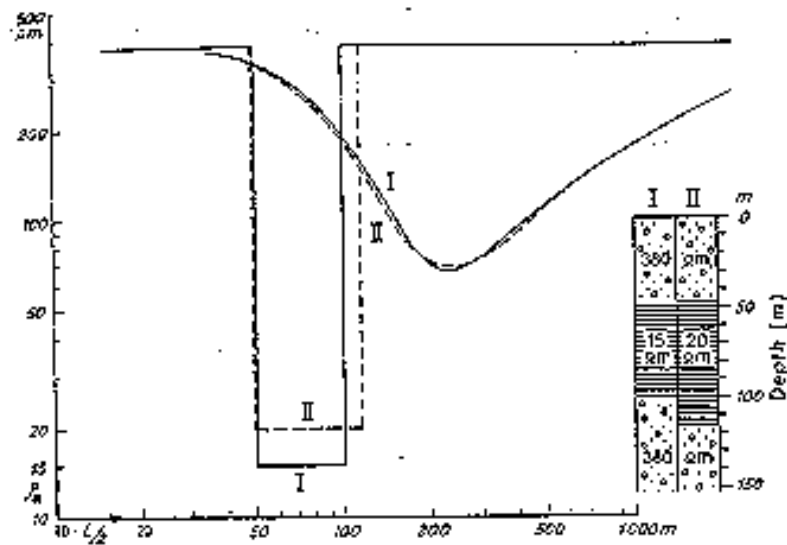
$$T = hR \quad (4.1)$$

Στην περίπτωση που το ενδιάμεσο στρώμα είναι αγωγίμο, η καμπύλη της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δε μεταβάλλεται όταν ο λόγος πάχους του ενδιάμεσου στρώματος προς την ειδική ηλεκτρική αντίσταση R είναι σταθερός, ανεξάρτητα αν οι επιμέρους παράμετροι μεταβάλλονται. Ο παραπάνω λόγος χαρακτηρίζεται ως Διαμήκης Αγωγιμότητα και είναι,

$$S = \text{Error!} \quad (4.2)$$

2) Αρχή της επικάλυψης:

Η αρχή της επικάλυψης αναφέρεται σε μοντέλο τριών στρωμάτων όπου το ενδιάμεσο στρώμα 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 βυθοσκόπησης.



Σχήμα 4.4. Απεικόνιση της αρχής της ισοδυναμίας για ένα αγώγιμο στρώμα ανάμεσα από δύο μη αγώγιμα. (P.V.Sharma, 1986, σελ.283).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

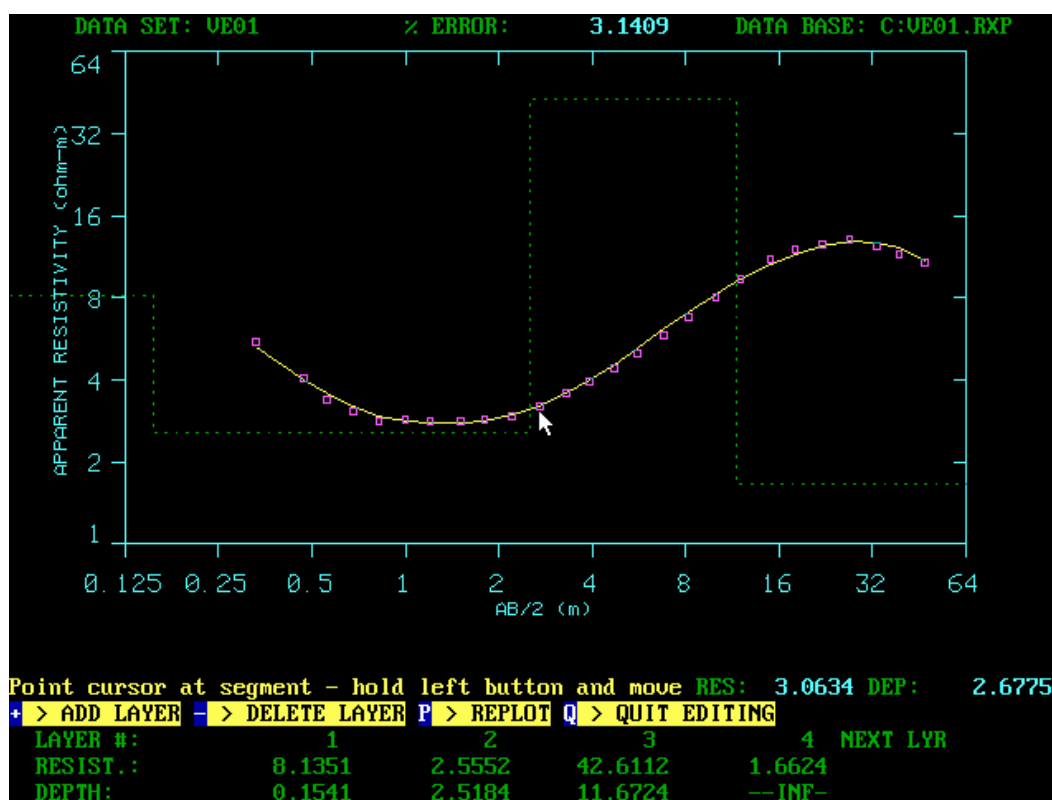
ΚΕΦ.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ ΜΕ RESIX-

5.1 Περιγραφή του προγράμματος RESIX

Το RESIX είναι ένα πρόγραμμα επεξεργασίας και μοντελοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου, βάσει του οποίου έγινε η επεξεργασία των γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων της υπό μελέτη περιοχής. Για τον καθορισμό του πάχους και της ειδικής αντίστασης κάθε γεωηλεκτρικού στρώματος ακολουθούνται τα εξής στάδια :

- Αρχικά επιλέγεται η διάταξη των ηλεκτροδίων με την εντολή «Edit data array»,
- Μετά γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων της βυθοσκόπησης : της ημιαπόστασης $AB/2$ σε μέτρα (m) ή σε πόδια (ft) και της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε Ohm-m ή σε Ohm-feet με την χρήση της εντολής «Edit data values».
- Ακολουθεί η εισαγωγή των συνταγμένων της βυθοσκόπησης: X, Y, υψόμετρο με την εντολή «Edit data parameters».
- Στη συνέχεια με την χρήση της εντολής «Calculate» και μετά «interpret » δίνεται ένα κατά εκτίμηση αρχικό μοντέλο εισάγοντας τις αρχικές τιμές πάχους και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για κάθε στρώμα. Το αρχικό μοντέλο εμφανίζεται σε λογαριθμικό διάγραμμα, όπου το ημιανάπτυγμα $AB/2$ είναι στον x άξονα και οι τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης είναι στον ψ άξονα.
- Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα μεταβολής των παραμέτρων του γεωηλεκτρικού μοντέλου (πάχος και ειδική ηλεκτρική αντίσταση), ακόμα και τη δυνατότητα πρόσθεσης και αφαίρεσης στρωμάτων. Έτσι, προκύπτουν νέες θεωρητικές καμπύλες, οπότε και επιδιώκεται η καλύτερη προσέγγιση της γεωηλεκτρικής καμπύλης, η οποία κατασκευάστηκε από τις μετρήσεις της υπαίθρου (σχήμα 5.1) . Η τιμή του σφάλματος (η απόκλιση των μετρήσεων

από την θεωρητική γεωηλεκτρική καμπύλη) φαίνεται στην οθόνη, και έτσι με τις διάφορες αλλαγές που αναφέρθηκαν επιδιώκεται η μείωση της τιμής της απόκλισης. Πρέπει να τονισθεί ότι το πάχος του τελευταίου στρώματος δε δίνεται. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι δε μπορεί να προσδιοριστεί το βάθος στο οποίο βρίσκεται το δάπεδο του τελευταίου στρώματος, με αποτέλεσμα τη μη δυνατότητα προσδιορισμού και του πάχους του τελευταίου στρώματος.



Σχήμα 5.1. Γεωηλεκτρικό ομοίωμα, (με διακεκομμένη γραμμή) όπου φαίνονται το πάχος και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση κάθε στρώματος (Resix).

- Σε μερικές περιπτώσεις, μετά από τις διορθώσεις των παραμέτρων, η θεωρητική γεωηλεκτρική καμπύλη μπορεί να μην προσεγγίζει την μετρούμενη. Σε αυτή την περίπτωση το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα χρήσης της διαδικασίας της αντιστροφής, όπου προσεγγίζεται η γεωηλεκτρική καμπύλη από την αντίστοιχη θεωρητική, όσο το δυνατόν καλύτερα με ταυτόχρονη μείωση του σφάλματος. Για μείωση του σφάλματος στο ελάχιστο χρειάζεται να επαναληφθεί η διαδικασία της αντιστροφής αρκετές φορές.

- Η επιβεβαίωση της ορθής επιλογής των παραμέτρων του ομοιώματος, επιτυγχάνεται μέσω του πίνακα διακριτικής ικανότητας (Show Resolution Matrix), που δίνει την “επιρροή” του κάθε στρώματος, περιλαμβάνοντας τη σχέση των παραμέτρων του μοντέλου. Το μοντέλο θεωρείται αποδεκτό όταν οι διαγώνιες τιμές του πίνακα έχουν τιμές από 0,8 έως 1.

-

RESOLUTION MATRIX:

P 1 0.74

P 2 -0.03 0.98

P 3 -0.01 -0.01 0.54

P 4 0.00 0.00 0.05 0.02

T 1 0.19 0.04 0.01 0.00 0.80

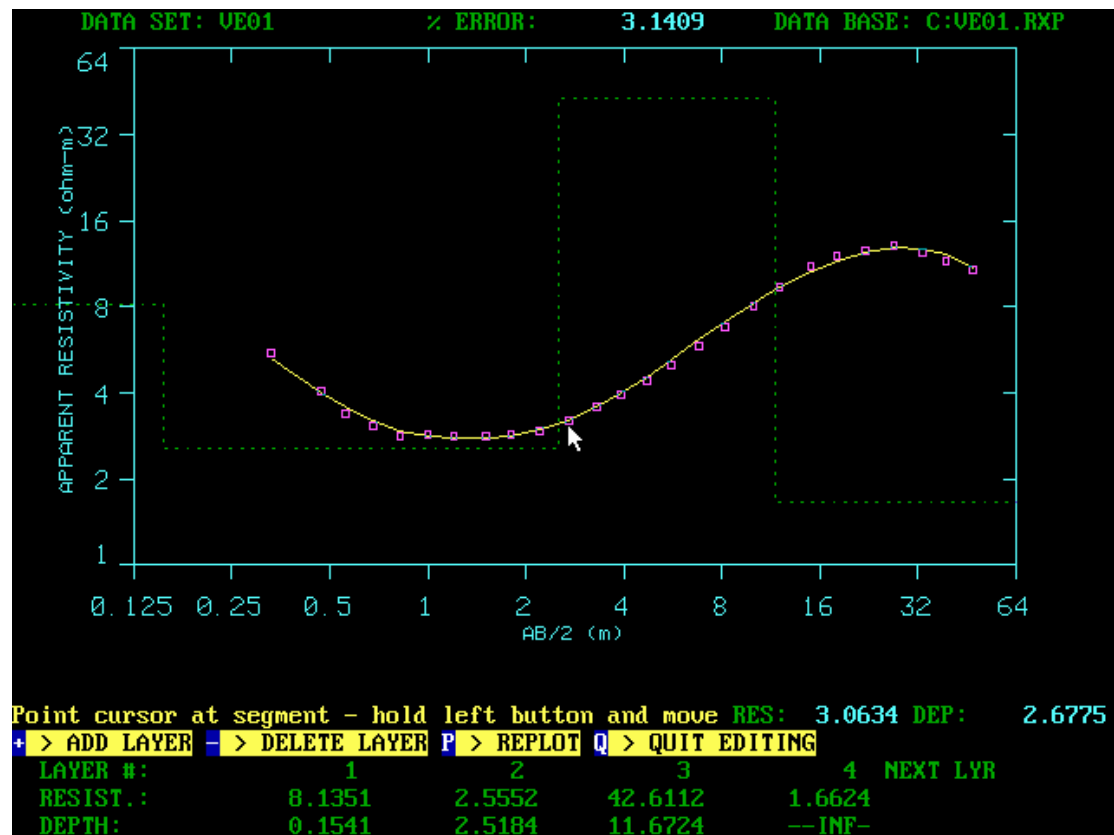
T 2 -0.04 -0.03 -0.07 0.01 0.06 0.95

T 3 0.00 0.00 0.46 0.07 -0.01 0.05 0.48

P 1 P 2 P 3 P 4 T 1 T 2 T 3

- Σημαντική είναι η δυνατότητα απομόνωσης κάποιων επιλεγμένων τιμών του βάθους ή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τη διαδικασία της αντιστροφής, όταν είναι γνωστές, ή ακόμα όταν ισχύει η αρχή της ισοδυναμίας ή της επικάλυψης.
- Τέλος, δίνεται το αποτέλεσμα της αντιστροφής των δεδομένων σε συγκεκριμένη γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση. Στην οθόνη εμφανίζεται ένας πλήρης κατάλογος με πληροφορίες για τη βυθοσκόπηση (περιοχή, ημερομηνία, φορέας), η ειδική ηλεκτρική αντίσταση και το πάχος κάθε στρώματος, το απόλυτο υψόμετρο των διεπιφανειών μεταξύ διαδοχικών στρωμάτων και το σφάλμα στις παραμέτρους του ομοιώματος. Εμφανίζονται επίσης οι τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της αποστάσεως των ηλεκτροδίων ρεύματος, ενώ με μια παρόμοια εντολή, εμφανίζεται η γραφική παράσταση του ομοιώματος σε λογαριθμικό διάγραμμα, όπου οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι συναρτήσει του βάθους.

5.2 Επεξεργασία και ερμηνεία γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων



VES 01

FIT 3.1%

RESOLUTION MATRIX:

P 1 0.74

P 2 -0.03 0.98

P 3 -0.01 -0.01 0.54

P 4 0.00 0.00 0.05 0.02

T 1 0.19 0.04 0.01 0.00 0.80

T 2 -0.04 -0.03 -0.07 0.01 0.06 0.95

T 3 0.00 0.00 0.46 0.07 -0.01 0.05 0.48

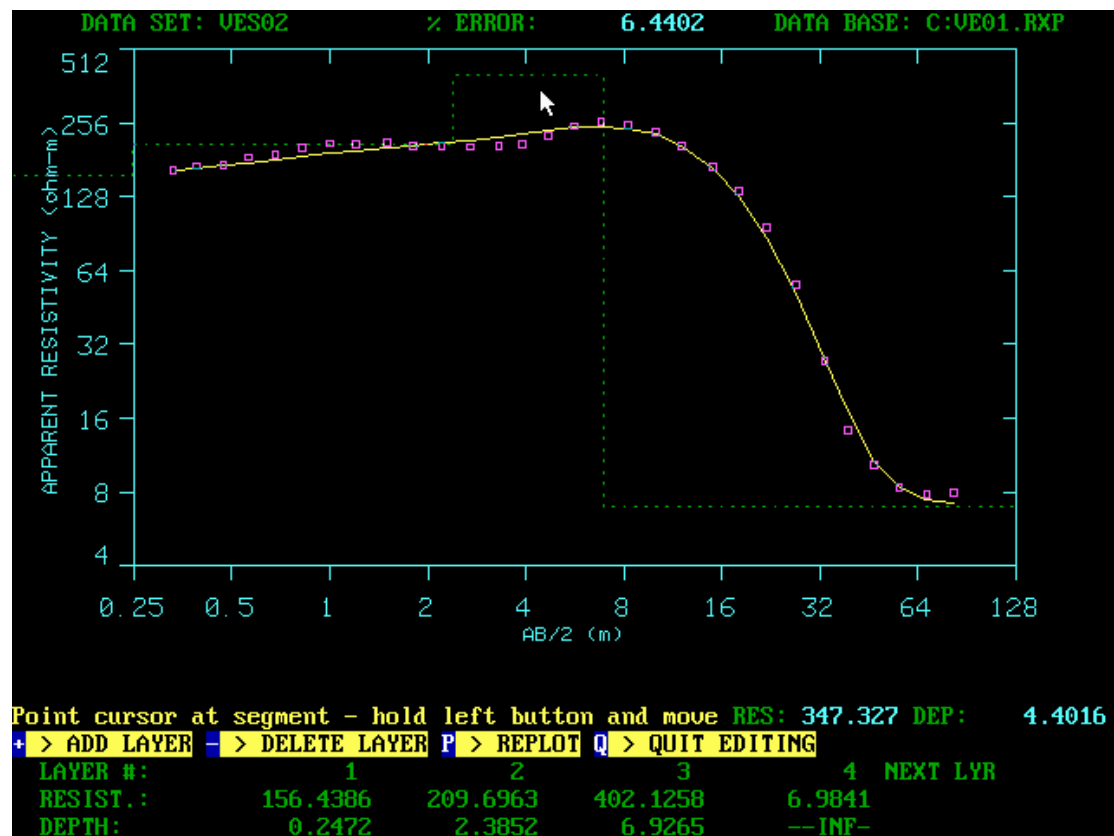
P 1 P 2 P 3 P 4 T 1 T 2 T 3

Υψόμετρο Z=0,97m

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	8.1	2.5*	42.6	1.6
Βάθος (μ)	0.15	2.5	11.7	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκάλες ,άμμος ,άργιλος Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες ,άμμος ,άργιλος Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Άργιλος	Κροκάλες ,άμμος ,άργιλος Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία Αποτελεσμάτων VES 01

Στο σχήμα αυτό παρατηρούμε την κατανομή των στρωμάτων έχοντας βέβαια υπόψιν τα δεδομένα του γεωλογικού χάρτη . Εδώ παρατηρείται από τις τιμές των αντιστάσεων $R=(8.1-2.5) \Omega m$ ότι υπάρχει αρχικά ένα στρώμα άμμου, κροκάλων και αργίλων του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Η μικρή τιμή της αντίστασης οφείλεται στο ότι βρισκόμαστε κοντά στην παραλία και έχουμε περισσότερη άμμο. Παρατηρείται μείωση της αντίστασης από την τιμή $8.1 \Omega m$ στην τιμή $2.5 \Omega m$. Αυτό οφείλεται στην διείσδυση του θαλασσινού νερού, το οποίο προκαλεί σημαντική μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης. Η παρουσία του θαλασσινού νερού σε βάθος 0.15μ το οποίο είναι σχετικά μικρό, δικαιολογείται γιατί η βυθοσκόπηση έγινε πολύ κοντά στην θάλασσα. Το τρίτο στρώμα έχει τιμή αντίστασης $42.6 \Omega m$, βρίσκεται σε βάθος 11.7μ και αποτελείται από άργιλο. Το τελευταίο στρώμα αποτελείται από κροκάλες άμμο και άργιλο ,και είναι και αυτό κορεσμένο με υφάλμυρο νερό.



VES 02

FIT 6.4%

RESOLUTION MATRIX:

P 1 0.95

P 2 0.01 0.94

P 3 -0.01 0.04 0.81

P 4 0.00 0.00 -0.02 0.96

T 1 -0.11 -0.11 0.04 0.00 0.18

T 2 0.02 -0.07 -0.14 -0.01 -0.04 0.35

T 3 0.01 0.00 0.20 0.03 0.03 0.35 0.70

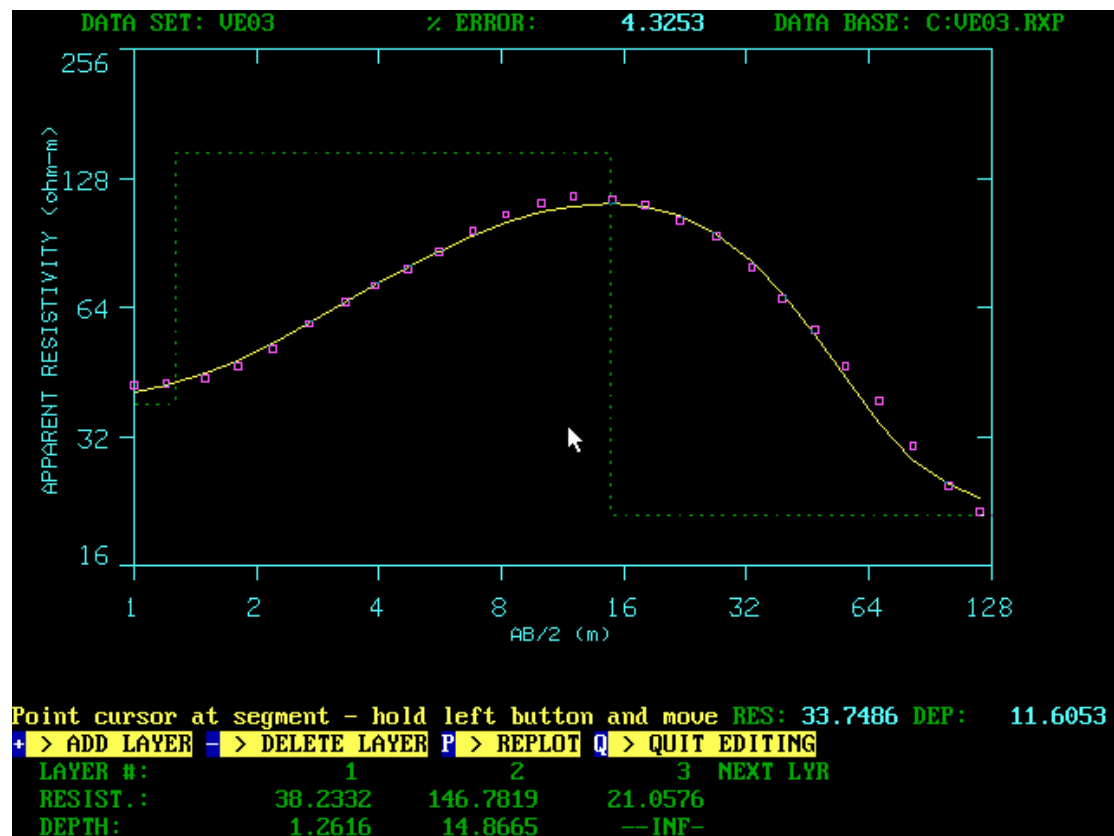
P 1 P 2 P 3 P 4 T 1 T 2 T 3

Υψόμετρο $Z=7.2\text{m}$

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	156.4	209.7	402.1	7
Βάθος (μ)	0.25	2.4	6.9	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος, άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος, άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 02

Από τις τιμές των αντιστάσεων προκύπτει ότι τα 3 πρώτα στρώματα αποτελούνται από άμμο, αργίλους και κροκάλες του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς . Στο τελευταίο στρώμα εμφανίζεται σημαντική μείωση της τιμής της ειδικής αντίστασης λόγω της ύπαρξης του υδροφόρου σε βάθος 6.9μ. Η διακύμανση των τιμών ειδικής αντίστασης στο πρώτο, δεύτερο και το τρίτο στρώμα οφείλεται στα διαφορετικά ποσοστά κροκάλων και αργίλων. Προφανώς το τρίτο στρώμα έχει περισσότερες κροκάλες.



VES 03

FIT 4.3%

RESOLUTION MATRIX:

P 1 1.00

P 2 0.00 1.00

P 3 0.00 0.00 1.00

T 1 0.00 0.00 0.00 0.99

T 2 0.00 0.00 0.00 0.01 0.99

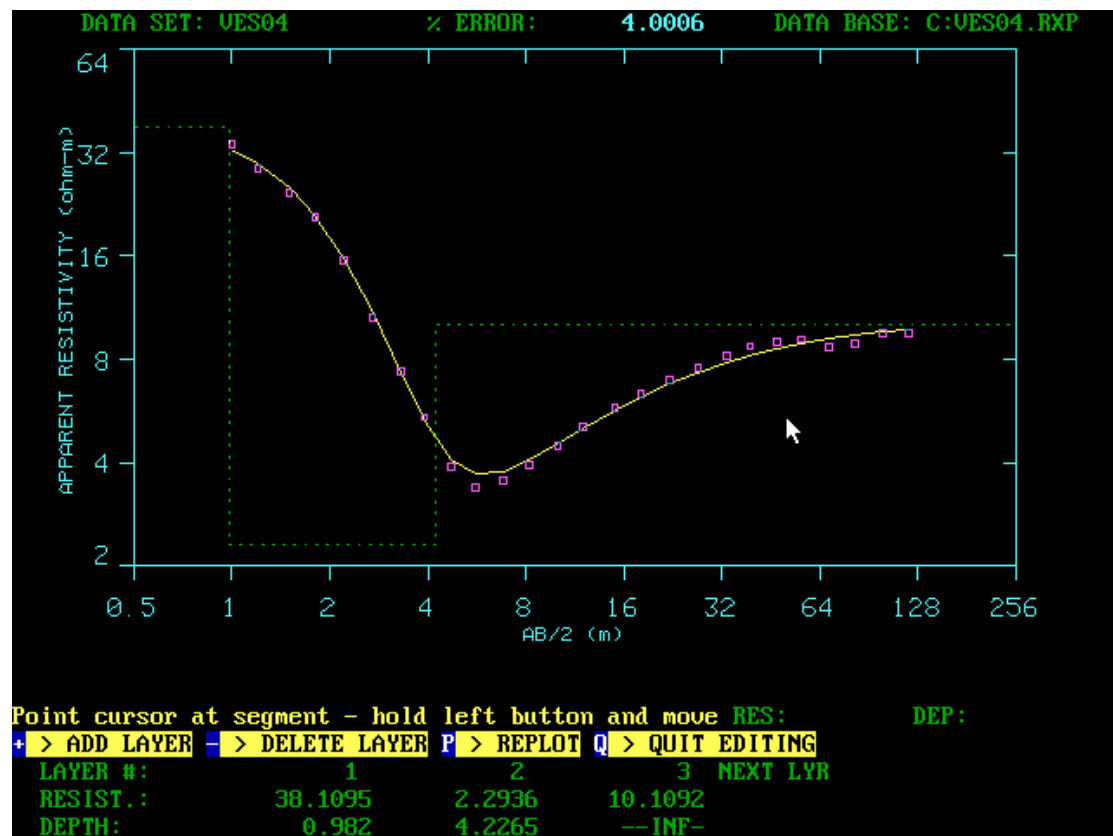
P 1 P 2 P 3 T 1 T 2

Το υψόμετρο είναι Z= 11.7m

Στρώμα	1	2	3
Ειδ.αντίστ.	38.2	146.8	21.1
Βάθος (μ)	1.3	14.9	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 03

Το σφάλμα (error) είναι αρκετά καλό γύρω στο 4% και βλέποντας και τον πίνακα διακριτικής ικανότητας, παρατηρείται ότι τα διαγώνια είναι μονάδα όπως άλλωστε είναι η ιδανική περίπτωση και τα υπόλοιπα μηδενικά. Έτσι σε αυτή την βυθοσκόπηση έχει γίνει καλή επεξεργασία. Απο τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και την θέση της βυθοσκόπησης πάνω στον χάρτη προκύπτει ότι και τα τρία στρώματα αποτελούνται από άμμο, αργίλους και κροκάλες του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Σε βάθος 15μ έχουμε πιθανή διείσδυση θαλασσινού νερού. Επιπρόσθετα το πρώτο στρώμα αποτελείται κυρίως από αργίλους, ενώ το επόμενο από κροκάλες.



VES 04

FIT 4%

RESOLUTION MATRIX:

P 1 0.95

P 2 -0.03 0.86

P 3 0.00 -0.01 0.98

T 1 0.03 0.04 0.00 0.98

T 2 -0.04 -0.19 -0.04 0.06 0.68

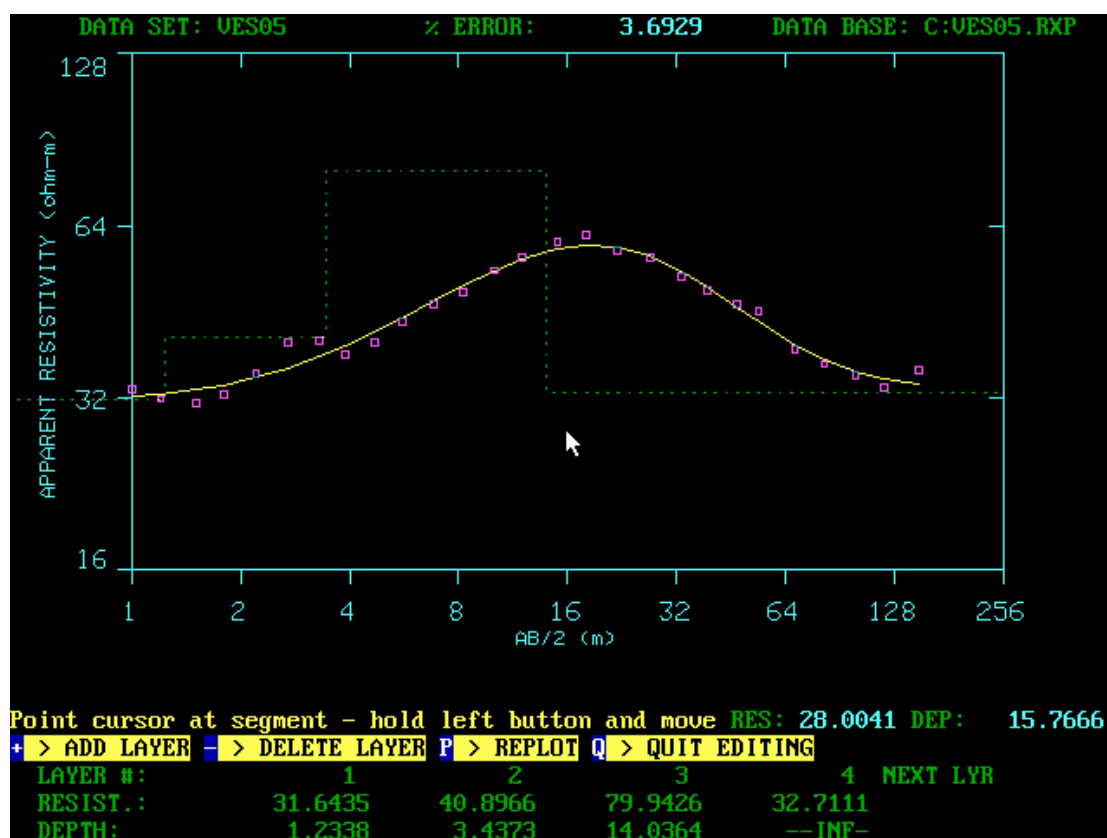
P 1 P 2 P 3 T 1 T 2

Το υψόμετρο είναι $Z=0.76\mu$

Στρώμα	1	2	3
Ειδ.αντίστ.	38.1	2.3	10.1
Βάθος (μ)	0.98	4.2	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 04

Απο την επεξεργασία των δεδομένων με το πρόγραμμα RESIX, στην βυθοσκόπηση αυτή και τα τρία στρώματα αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και αργίλους του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Από τις μικρές τιμές της αντίστασης προκύπτει ότι περιέχουν κυρίως άμμους και αργίλους.. Σε βάθος εμφανίζεται ο υφάλμυρος υδροφόρος σχηματισμός.



VES 05**FIT 3.7%****RESOLUTION MATRIX:**

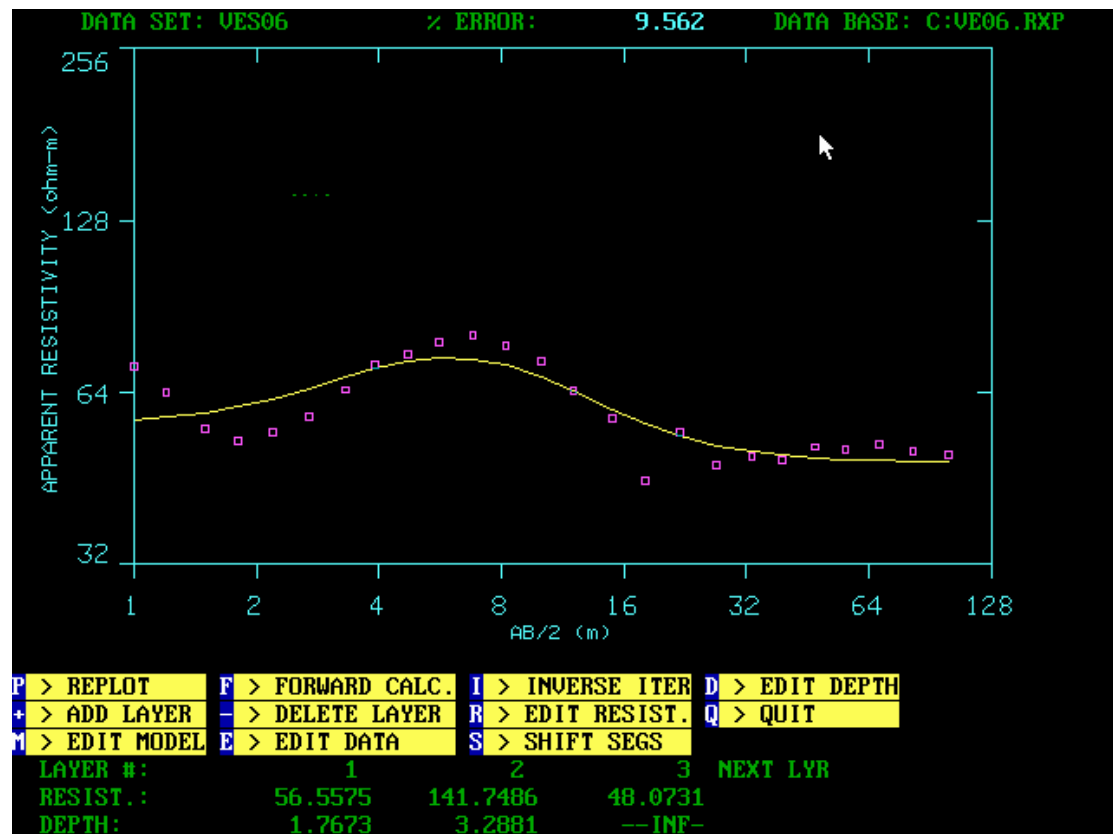
P 1 0.99
 P 2 0.02 0.74
 P 3 -0.01 0.01 0.90
 P 4 0.00 0.01 -0.01 0.98
 T 1 -0.03 -0.32 -0.02 0.00 0.17
 T 2 0.02 -0.16 -0.12 0.00 0.10 0.27
 T 3 0.01 0.01 0.18 0.04 0.08 0.23 0.60
 P 1 P 2 P 3 P 4 T 1 T 2 T 3

Το υψόμετρο είναι Z=12.1m

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	31.6	40.9	79.9	32.7
Βάθος (μ)	1.2	3.4	14	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 05

Στην βυθοσκόπηση αυτή υπάρχουν τέσσερα στρώμα σύμφωνα με την ερμηνεία βάσει του προγράμματος RESIX τα οποία αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και άργιλο του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς, ενώ υδροφορία παρατηρείται σε βάθος 14μ.



VES 06

FIT 9.6%

RESOLUTION MATRIX:

```

P 1 0.99
P 2 0.00 0.65
P 3 0.00 0.00 0.99
T 1 -0.03 -0.12 0.01 0.76
T 2 0.00 0.43 0.01 0.13 0.34
      P 1  P 2  P 3  T 1  T 2

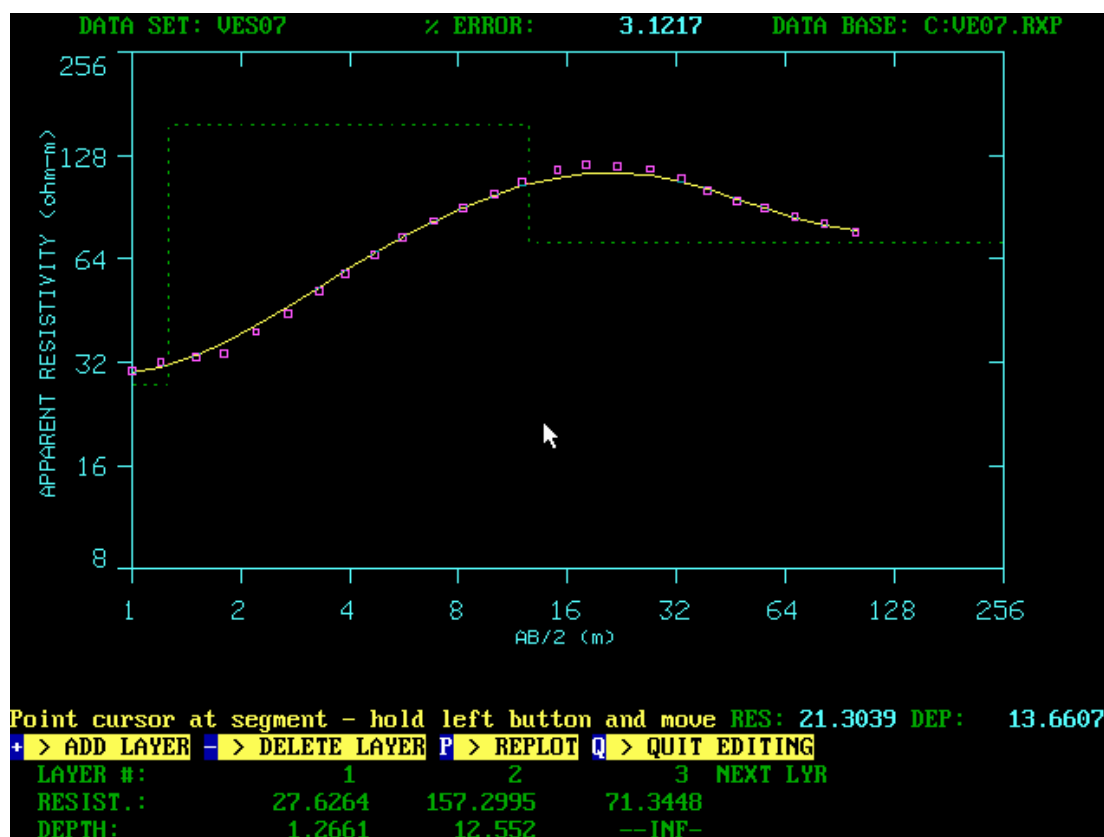
```

Το υψόμετρο είναι $Z=7.8\text{m}$

Στρώμα	1	2	3
Ειδ.αντίστ.	56.6	141.7	48.1
Βάθος (μ)	1.8	3.3	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 06

Από την βυθοσκόπηση αυτή προέκυψαν 3 στρώματα. Τα στρώματα αυτά αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και αργίλους του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Στο τελευταίο στρώμα πιθανόν να έχουμε υφαλμύρωση.



VES 07**FIT 3.1%****RESOLUTION MATRIX:**

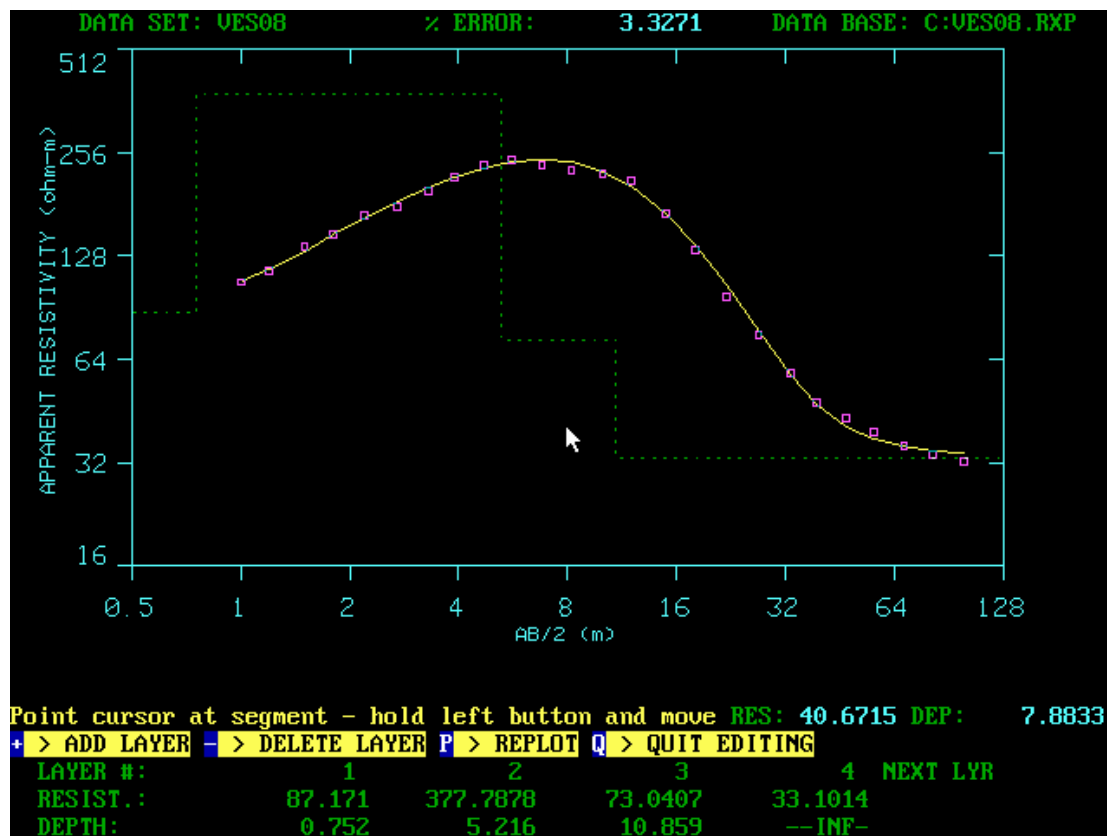
P 1 1.00
 P 2 0.00 1.00
 P 3 0.00 -0.01 0.93
 T 1 0.00 0.00 0.02 0.01
 T 2 0.00 0.00 0.00 0.00 0.99
 P 1 P 2 P 3 T 1 T 2

Το υψόμετρο είναι $Z=26.8\text{m}$

Στρώμα	1	2	3
Ειδ.αντίστ.	27.6	157.3	71.3
Βάθος (μ)	1.3	12.6	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κίτρινη άργιλος χάλικες Τεταρτογενούς	Κίτρινη άργιλος χάλικες Τεταρτογενούς	Ερυθρά άργιλος χάλικες Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 07

Σε αυτή τη βυθοσκόπηση εμφανίζονται τρία στρώματα .Το πρώτο έχει τιμή αντίστασης $R=27.6 \Omega\text{m}$ και πάχος 1,3μ. Το στρώμα αυτό αποτελείται από κίτρινη άργιλο και χάλικες Τεταρτογενούς, το δεύτερο από κίτρινη άργιλο και χάλικες και το τρίτο με μειωμένη τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ,από ερυθρά άργιλο και χάλικες.



VES 08

FIT 3.3%

RESOLUTION MATRIX:

```

P 1 0.99
P 2 -0.01 0.98
P 3 0.00 -0.01 0.31
P 4 0.00 0.00 -0.01 1.00
T 1 -0.02 -0.03 0.00 0.00 0.95
T 2 0.02 0.05 0.35 0.00 0.05 0.69
T 3 -0.02 -0.06 -0.04 0.01 -0.06 0.20 0.72
      P 1  P 2  P 3  P 4  T 1  T 2  T 3

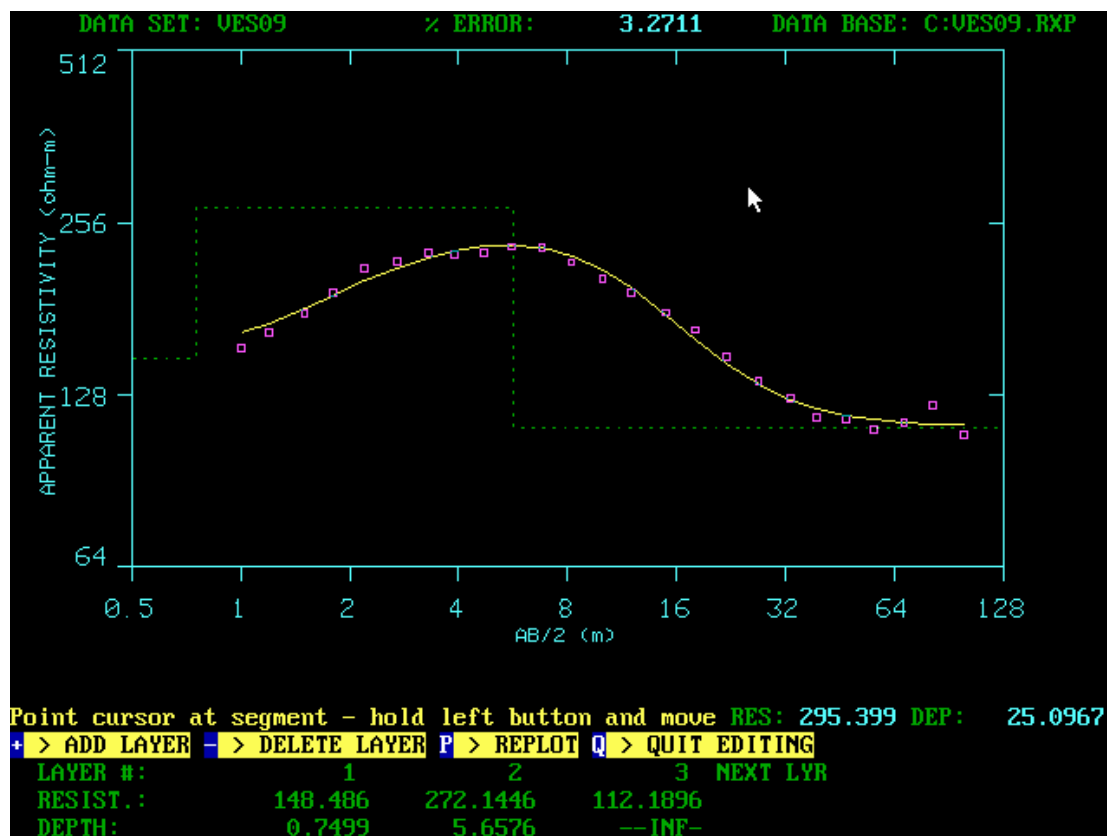
```

Το υψόμετρο είναι Z=9 μ

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	87.2	377.8	73.4	33.1
Βάθος (μ)	0.75	5.2	10.9	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκάλες, άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 08

Εδώ όλα τα γεωηλεκτρικά στρώματα αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και αργίλους του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Σε βάθος 10.9μ ενδέχεται η εμφάνιση του υδροφόρου με υφάλμυρο νερό. Το δεύτερο στρώμα αποτελείται κυρίως από κροκάλες.



VES 09
FIT 3.2711%

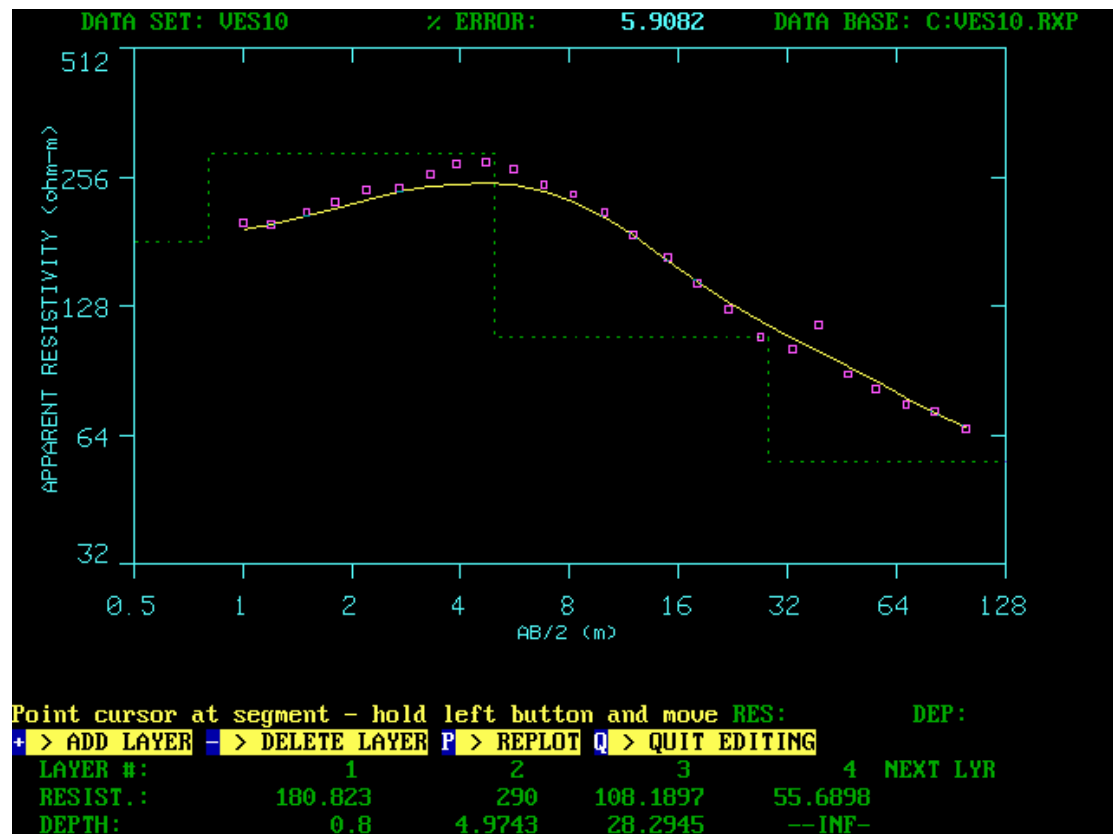
P 1 0.97
 P 2 -0.01 0.93
 P 3 0.00 0.00 0.99
 T 1 -0.09 -0.13 0.00 0.49
 T 2 0.02 0.13 0.02 0.25 0.70
 P 1 P 2 P 3 T 1 T 2

Το υψόμετρο είναι $Z=35.2\mu$

Στρώμα	1	2	3
Ειδ.αντίστ.	148.5	272.1	112.2
Βάθος (μ)	0.75	5.6	-
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κίτρινη άργιλος χάλικες Τεταρτογενούς	Κίτρινη άργιλος χάλικες Τεταρτογενούς	Ερυθρά άργιλος χάλικες Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 09

Το πρώτο στρώμα έχει τιμή αντίστασης $R=148.5\Omega m$ και αποτελείται από κίτρινη άργιλο και χάλικες Τεταρτογενούς, σύμφωνα με παρακείμενη γεώτρηση (ΤΥ3). Το δεύτερο από κίτρινη άργιλο και χάλικες και το τρίτο με μειωμένη τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ,απο ερυθρά άργιλο και χάλικες .



VES 10

FIT 5.9%

RESOLUTION MATRIX:

```

P 1 0.96
P 2 0.00 0.94
P 3 0.00 -0.02 0.95
P 4 0.00 0.00 -0.02 0.87
T 1 -0.11 -0.12 -0.01 0.00 0.42
T 2 0.02 0.12 0.09 0.02 0.25 0.69
T 3 0.00 0.02 0.11 0.24 0.00 -0.12 0.34
      P 1  P 2  P 3  P 4  T 1  T 2  T 3

```

Βρισκόμαστε σε υψόμετρο Z=31.2μ

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	180.8	290	108.2	55.7
Βάθος (μ)	0.8	5	28.3	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κίτρινη άργιλος- χάλικες Τεταρτογενούς	Κίτρινη άργιλος- χάλικες Τεταρτογενούς	Ερυθρά άργιλος- χάλικες Τεταρτογενούς	Ερυθρά άργιλος- χάλικες Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 10

Σε αυτή την βυθοσκόπηση βρέθηκαν 4 στρώματα. Το πρώτο στρώμα με $R=180.8 \Omega m$ και πάχος 0.8μ, αποτελείται από κίτρινη άργιλο και χάλικες. Το δεύτερο στρώμα αποτελείται από κίτρινη άργιλο και χάλικες με $R=290\Omega m$ και πάχος 4.2μ. Το τρίτο στρώμα επεκτείνεται μέχρι βάθος 28.3 μ. Το τελευταίο στρώμα $R=55.7 \Omega m$ αποτελείται όπως και το προηγούμενο από ερυθρά άργιλο-χάλικες. Δεν φαίνεται ο υδροφόρος σχηματισμός λόγω μικρότερου βάθους διασκόπησης, καθώς, σύμφωνα με τα δεδομένα της γεώτρησης TY3 ο υδροφόρος εμφανίζεται σε βάθος 87μ.



VES 11

FIT 4.4%

RESOLUTION MATRIX:

P 1 0.99

P 2 0.01 0.93

P 3 0.00 0.02 0.98

P 4 0.00 -0.01 0.00 0.68

T 1 0.00 0.00 0.00 0.04 0.00

T 2 -0.02 -0.12 0.03 0.01 0.00 0.10

T 3 0.00 0.04 0.02 0.03 0.00 0.02 0.01

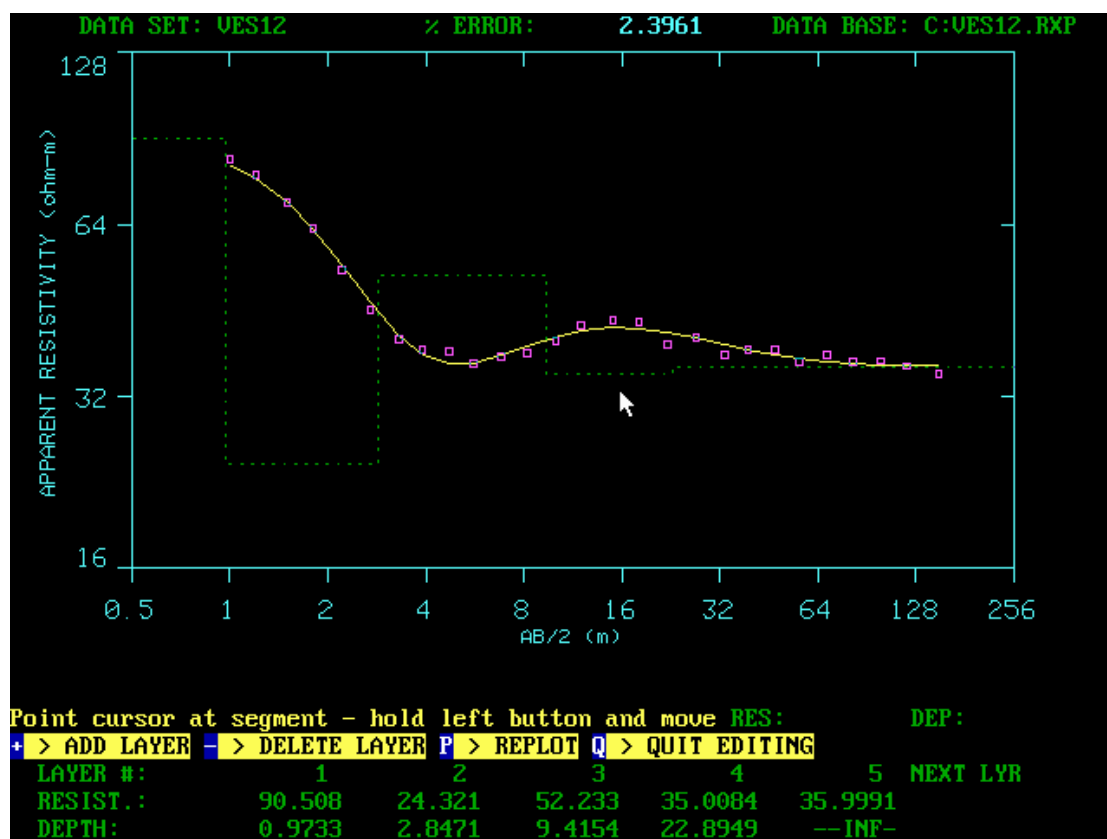
P 1 P 2 P 3 P 4 T 1 T 2 T 3

Το υψόμετρο είναι $Z=33\mu$

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	104.8	170.7	117.7	58.6
Βάθος (μ)	2,8	8	31.6	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κίτρινη άργιλος- χάλικες Τεταρτογενούς	Κίτρινη άργιλος- χάλικες Τεταρτογενούς	Κίτρινη άργιλος - χάλικες Τεταρτογενούς	Ερυθρά άργιλος - χάλικες Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 11

Από τις τιμές τις ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης προκύπτει ότι τα 3 πρώτα στρώματα αποτελούνται από κίτρινη άμμο-χάλικες και το τέταρτο από ερυθρά άργιλο και χάλικες .



VES 12**Fit 2.4%****RESOLUTION MATRIX:**

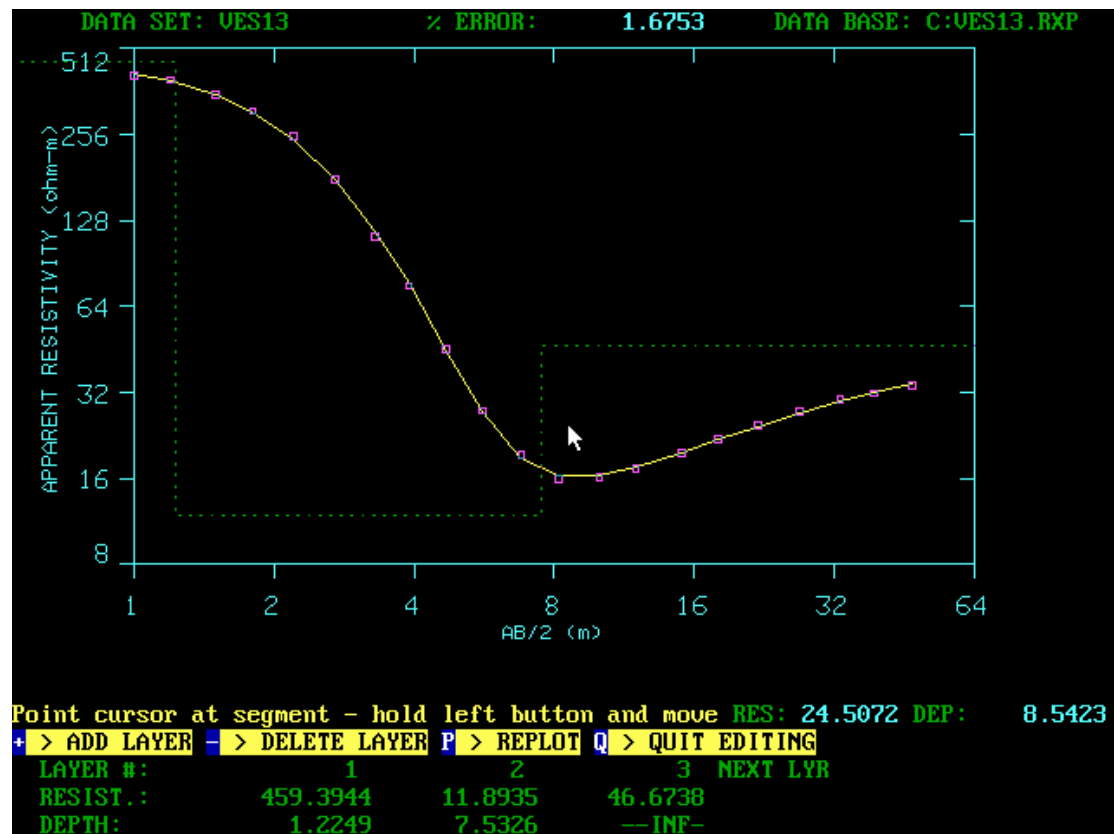
P 1 0.97
 P 2 -0.03 0.67
 P 3 0.01 0.05 0.80
 P 4 -0.01 -0.01 0.07 0.79
 P 5 0.00 0.00 -0.02 0.05 0.97
 T 1 0.03 0.14 -0.04 0.02 0.00 0.91
 T 2 -0.02 -0.37 -0.13 0.08 -0.01 0.12 0.34
 T 3 -0.01 -0.05 0.24 0.18 -0.03 0.03 0.08 0.18
 T 4 0.00 -0.01 0.02 -0.08 -0.02 0.00 0.00 0.01 0.01
 P 1 P 2 P 3 P 4 P 5 T 1 T 2 T 3 T 4

Το υψόμετρο είναι $Z=13.2\mu$

Στρώμα	1	2	3	4	5
Ειδ.αντ.	90.5	24.3	52.2	35	36
Βάθος (μ)	0.97	2.9	9.4	22.9	—
Χαρακτη- ρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ.	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ. Υδροφόρος	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ.	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ.	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς ς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 12

Όλα τα στρώματα αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και άργιλο του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Έχουμε πιθανή διείσδυση θαλασσινού νερού σε βάθος 1μ.



VES 13

FIT 1.7%

RESOLUTION MATRIX:

```

P1 1.00
P2 0.00 0.99
P3 0.00 -0.01 0.97
T1 0.00 0.00 0.00 1.00
T2 0.00 -0.03 -0.04 0.00 0.94
    P1 P2 P3 T1 T2

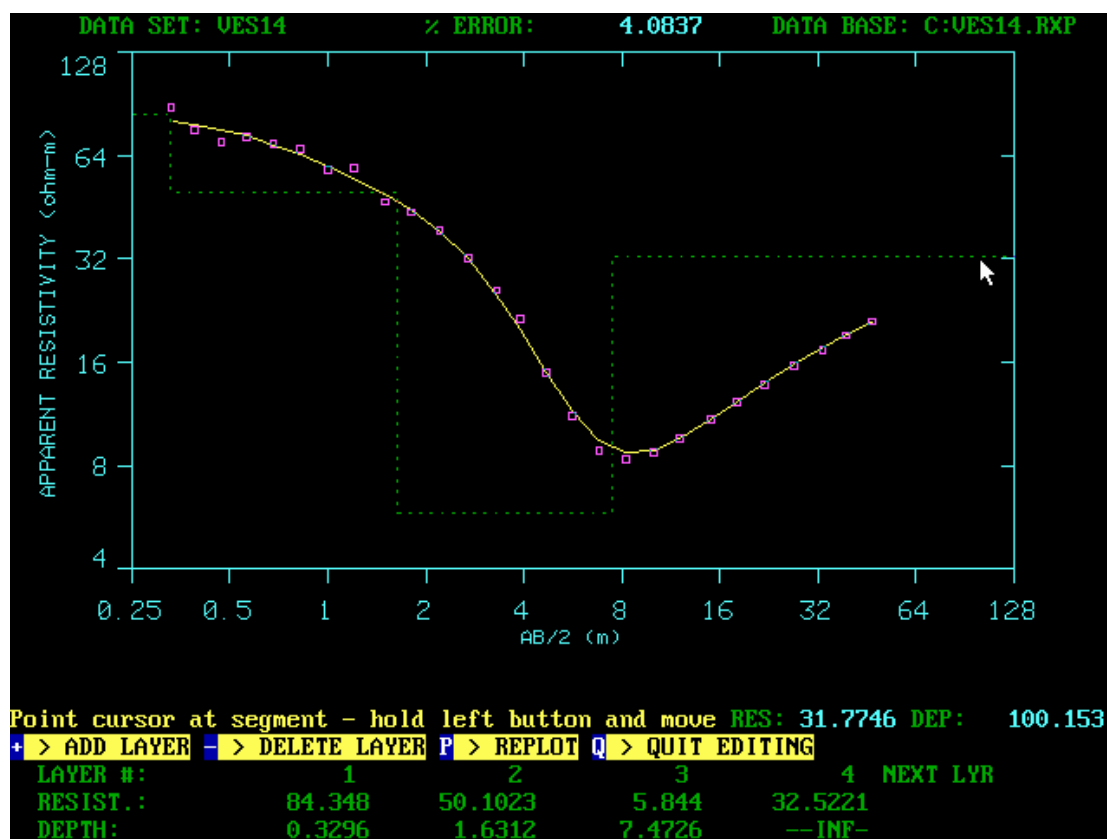
```

Το υψόμετρο είναι $Z=8.6\mu$

Στρώμα	1	2	3
Ειδ.αντίστ.	459.4	11.9	46.7
Βάθος (μ)	1.2	7.5	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 13

Στην βυθοσκόπηση αυτή υπάρχουν τρία στρώματα, τα οποία ανήκουν στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό. Διείσδυση θαλασσινού νερού εμφανίζεται σε βάθος 1.2μ.



VES 14**FIT 4.1%****RESOLUTION MATRIX:**

P 1 1.00
 P 2 0.00 0.99
 P 3 0.00 -0.01 0.97
 P 4 0.00 0.00 -0.02 0.95
 T 1 0.00 0.00 0.02 0.06 0.03
 T 2 0.00 0.01 0.01 0.00 0.00 0.98
 T 3 0.00 0.01 0.02 0.01 -0.01 -0.01 0.99
 P 1 P 2 P 3 P 4 T 1 T 2 T 3

Το υψόμετρο είναι $Z=6.7\mu$

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	84.3	50.1	5.8	32.5
Βάθος (μ)	0.3	1.6	7.5	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 14

Εδώ πάλι εμφανίζεται το στρώμα που απτελείται απο κροκάλες,άμμο και άργιλο του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Πιθανή παρουσία υφάλμυρου νερού παρατηρείται σε βάθος 1.6μ.



VES 15

Fit 7.3 %

RESOLUTION MATRIX:

```

P 1 0.78
P 2 -0.03 0.95
P 3 0.00 0.00 1.00
T 1 0.29 0.12 0.00 0.36
T 2 -0.02 0.09 0.01 -0.11 0.54
      P 1  P 2  P 3  T 1  T 2

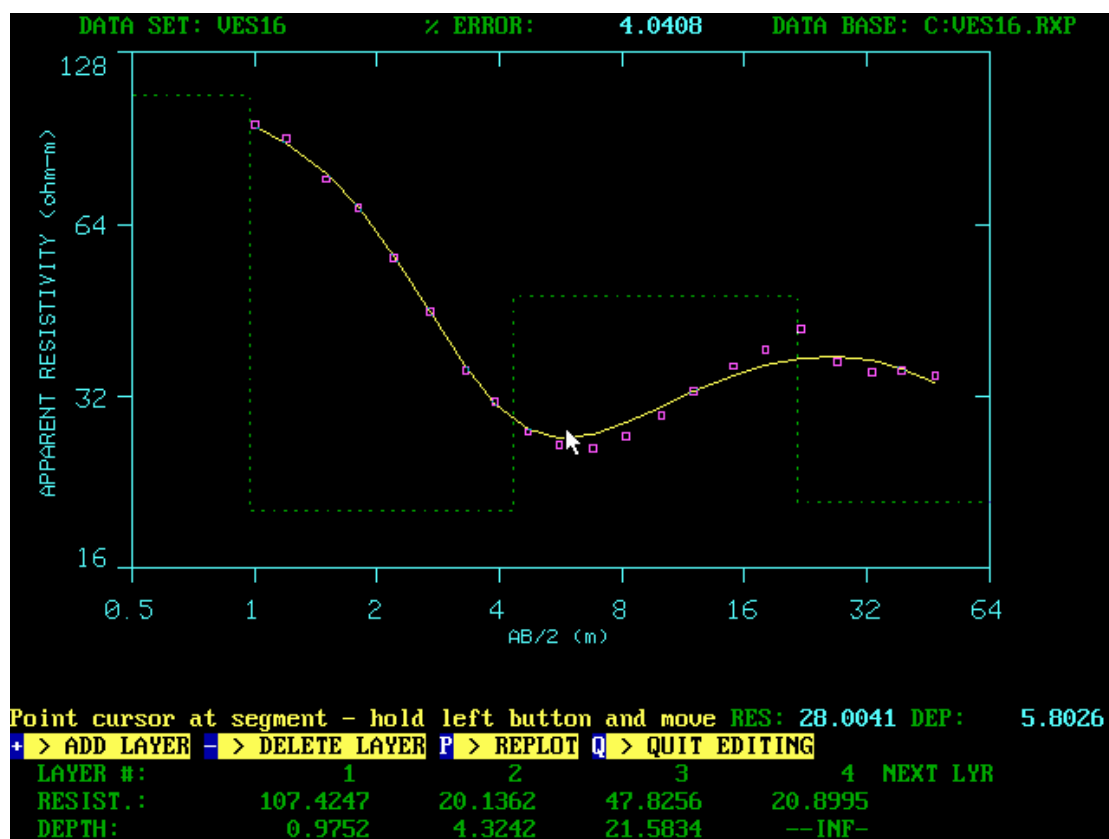
```

Το υψόμετρο είναι $Z=11.7\mu$

Στρώμα	1	2	3
Ειδ.αντίστ.	68.1	42.5	26.2
Βάθος (μ)	0.4	2.3	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 15

Στην βυθοσκόπηση αυτή υπάρχουν τρία στρώματα , τα οποία αποτελούνται απο κροκάλες,άμμο, και άργιλο του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Πιθανή παρουσία υφάλμυρου νερού παρατηρείται σε βάθος 2.3μ



VES 16**FIT 4.5%****RESOLUTION MATRIX:**

P 1 0.90

P 2 -0.03 0.62

P 3 0.01 0.12 0.80

P 4 0.00 -0.06 0.16 0.12

T 1 0.00 -0.01 0.02 0.02 0.00

T 2 0.09 0.21 -0.06 0.02 0.00 0.74

T 3 0.00 -0.20 -0.10 0.05 0.01 0.05 0.11

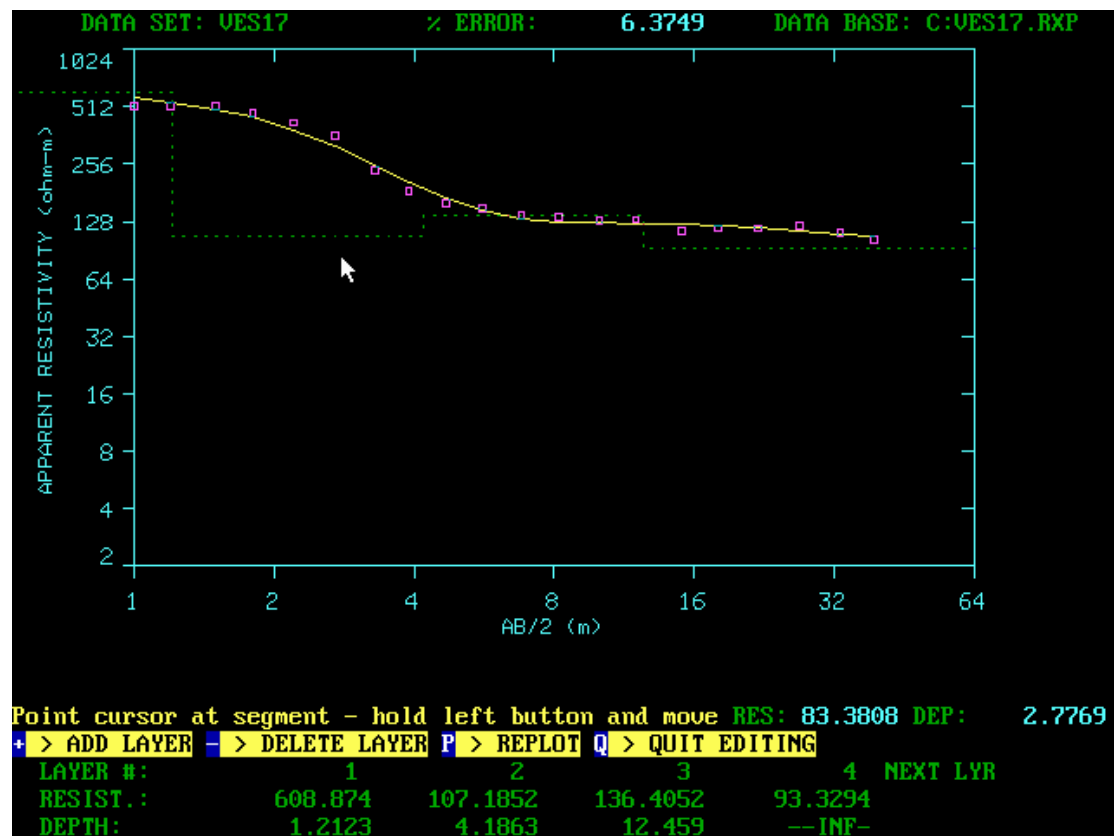
P 1 P 2 P 3 P 4 T 1 T 2 T 3

Το υψόμετρο είναι Z=11.7μ

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	104.5	20.1	47.8	20.9
Βάθος (μ)	0.98	4.3	21.6	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 16

Σε αυτή την βυθοσκόπηση τα γεωηλεκτρικά στρώματα αποτελούνται από κροκαλοπαγή άμμο και αργίλους του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Ο υδροφόρος εμφανίζεται σε βάθος 1μ.



VES 17

FIT 6.4%

RESOLUTION MATRIX:

```

P 1 0.98
P 2 -0.02 0.89
P 3 0.01 0.07 0.91
P 4 -0.01 -0.04 0.06 0.89
T 1 0.02 0.06 -0.03 0.02 0.96
T 2 0.00 -0.06 -0.01 0.06 0.02 0.01
T 3 0.00 -0.03 0.08 0.11 0.01 0.02 0.03
      P 1 P 2 P 3 P 4 T 1 T 2 T 3

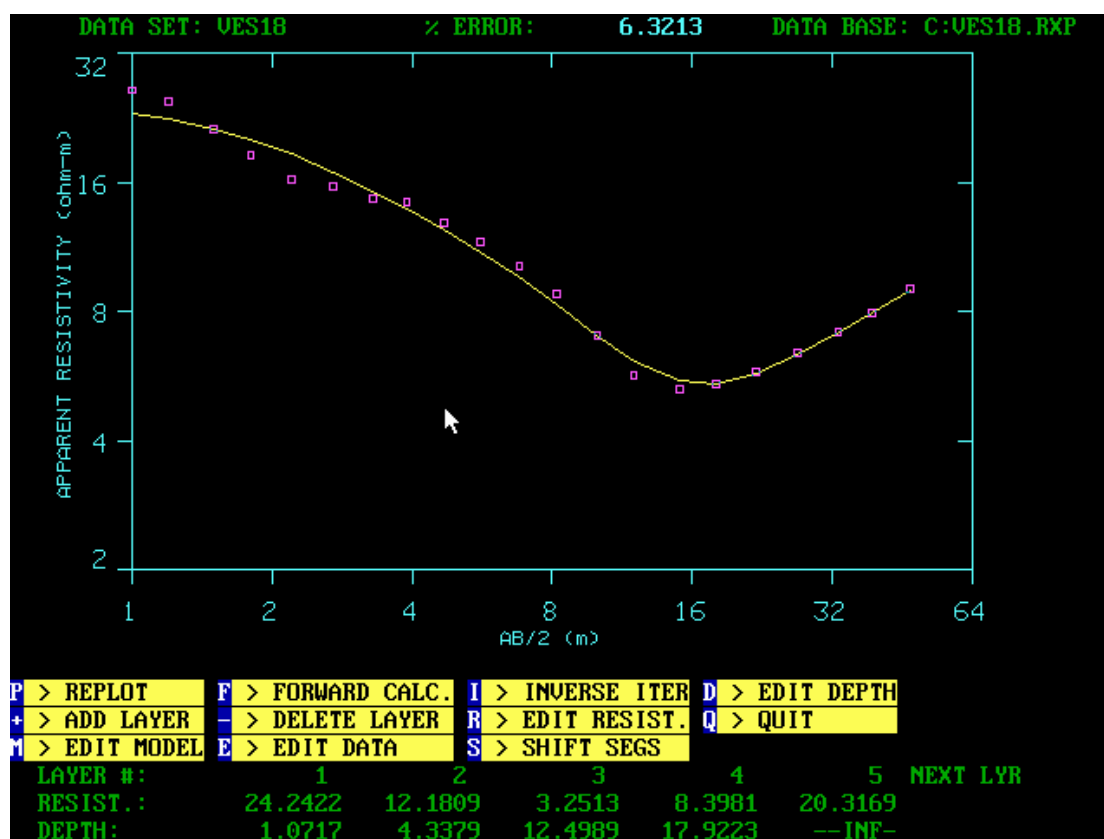
```

Το υψόμετρο είναι $Z=26.1\mu$

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	608.9	107.2	136.4	93.3
Βάθος (μ)	1.2	4.2	12.5	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 17

Στην βυθοσκόπηση αυτή τα στρώματα αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και αργίλους του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Η απότομη μείωση της αντίστασης στα 12.5μ ,οφείλεται, πιθανόν στην αύξηση του ποσοστού αργίλου και άμμου που περιέχεται στο στρώμα αυτό.



VES 18**FIT 6.3%****RESOLUTION MATRIX:**

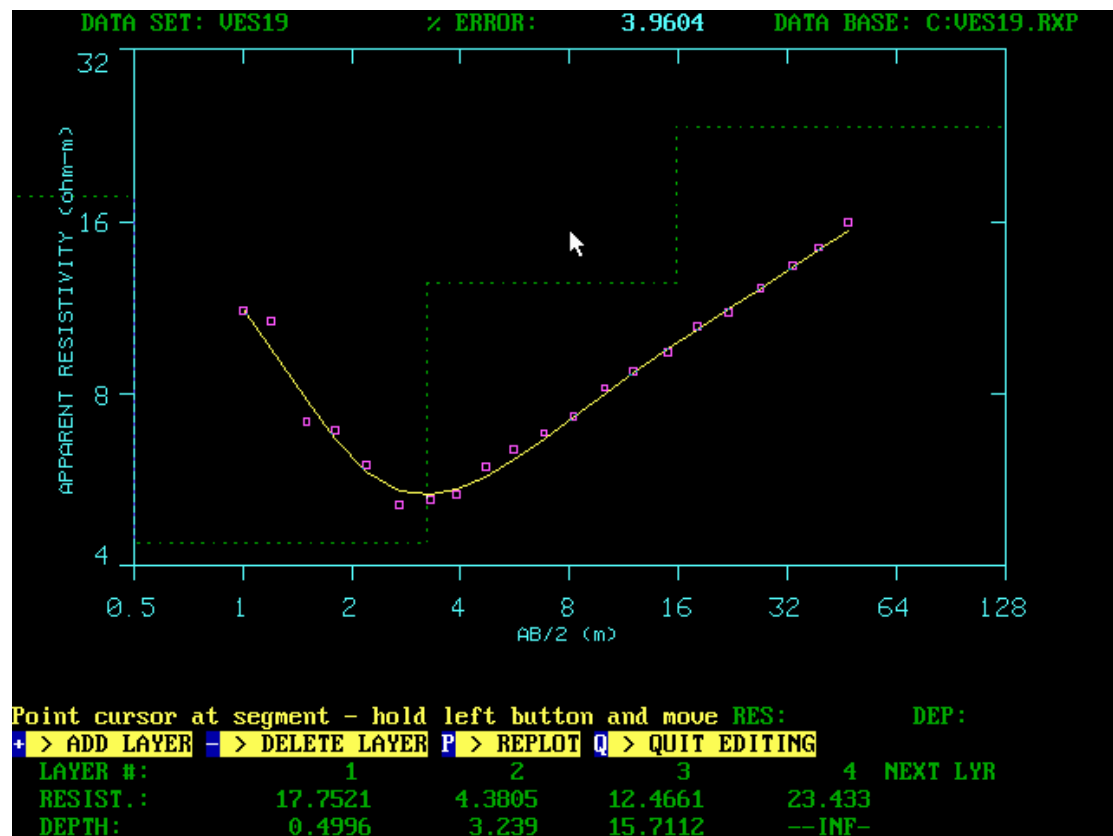
P 1 0.81
 P 2 0.02 0.53
 P 3 -0.02 0.06 0.53
 P 4 0.00 0.00 0.10 0.03
 P 5 0.00 0.00 0.10 0.04 0.09
 T 1 0.13 0.32 0.00 -0.01 -0.01 0.29
 T 2 -0.06 0.21 0.16 -0.02 -0.06 0.07 0.38
 T 3 -0.01 0.01 -0.32 -0.09 -0.14 0.02 0.06 0.30
 T 4 0.00 0.00 -0.05 -0.02 -0.03 0.00 0.02 0.06 0.01
 P 1 P 2 P 3 P 4 P 5 T 1 T 2 T 3 T 4

Το υψόμετρο είναι $Z=2.9\mu$

Στρώμα	1	2	3	4	5
Ειδ.αντίστ.	24.2	12.2	3.3	8.4	20.3
Βάθος (μ)	1.1	4.3	12	17.9	—
Χαρακτηρι σμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρε του Τεταρτ ογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρε του Τεταρτ ογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 18

Όλα τα στρώματα αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και αργίλους .Ο υδροφόρος σχηματισμός εμφανίζεται στα 1.1μ



VES 19

FIT 4%

RESOLUTION MATRIX:

P 1 0.88
 P 2 -0.05 0.92
 P 3 -0.01 -0.04 0.78
 P 4 0.00 0.01 0.17 0.72
 T 1 0.11 0.08 0.03 -0.01 0.86
 T 2 -0.08 -0.14 -0.19 0.11 0.14 0.67
 T 3 0.00 0.00 -0.07 -0.10 0.00 -0.03 0.02

Το υψόμετρο είναι $Z=3.3\mu$

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	17.8	4.4	12.5	23.4
Βάθος (μ)	0.5	3.2	15.7	-
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 19

Όπως και στην VES 18 όλα τα στρώματα αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και αργίλους, ενώ ο υφάλμυρος σχηματισμός εμφανίζεται στα 0.5μ.



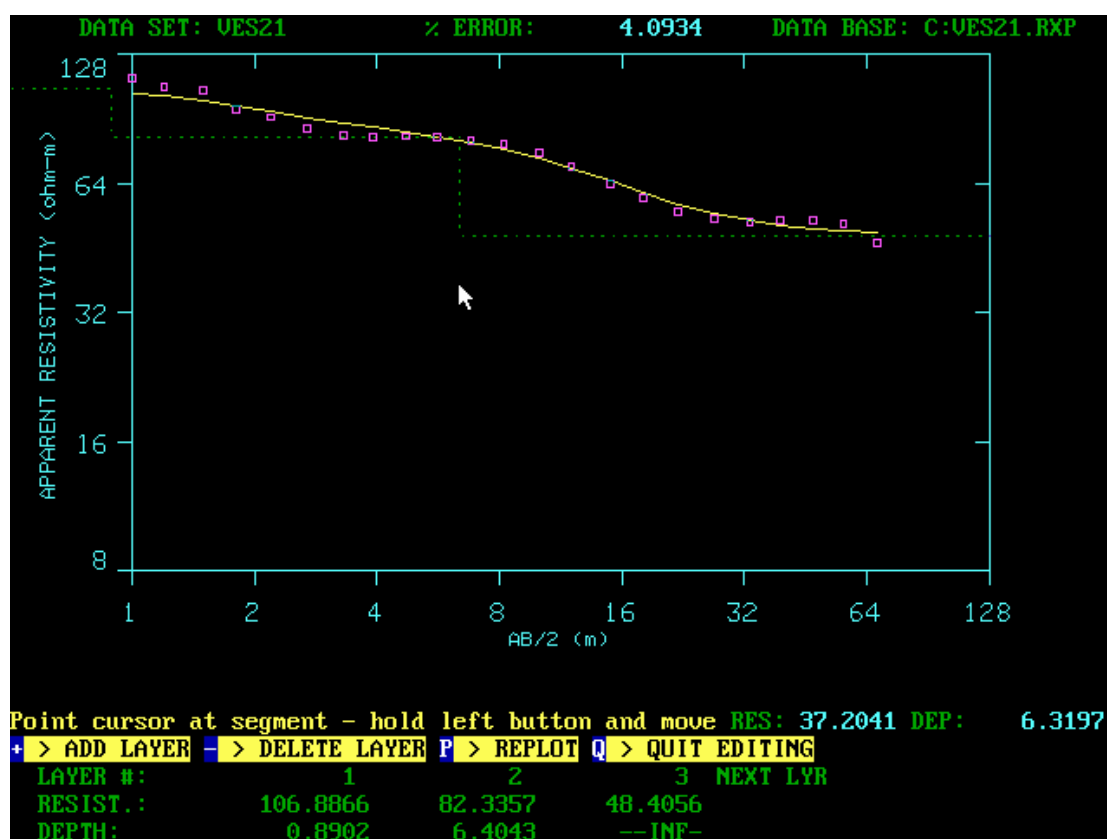
VES 20**FIT 1.7%****RESOLUTION MATRIX:**

P 1 0.87
 P 2 -0.06 0.96
 P 3 0.00 -0.01 1.00
 P 4 0.00 0.00 0.00 0.92
 P 5 0.01 0.01 0.01 -0.02 0.59
 T 1 0.12 0.07 0.01 0.00 -0.01 0.88
 T 2 -0.15 -0.12 -0.02 0.00 0.06 0.18 0.63
 T 3 -0.01 -0.02 -0.02 -0.15 0.12 0.02 -0.09 0.56
 T 4 0.00 0.00 0.00 0.19 0.30 0.00 0.01 0.30 0.36
 P 1 P 2 P 3 P 4 P 5 T 1 T 2 T 3 T 4

Στρώμα	1	2	3	4	5
Ειδ. αντίστ.	226.9	64.3	102.6	144	61.1
Βάθος (μ)	0.3	1.3	13.7	35.5	—
Χαρακτηρ ισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ.	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ.	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ.	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετο υ Τεταρτ.	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετο υ Τεταρτ. Υδροφόρο ς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 20

Στην βυθοσκόπηση αυτή υπάρχουν 5 στρώματα τα οποία αποτελούνται από άμμο, αργίλους και κροκάλες του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Το πέμπτο στρώμα εμφανίζει υδροφορία.



VES 21

FIT 4.1%

RESOLUTION MATRIX:

```

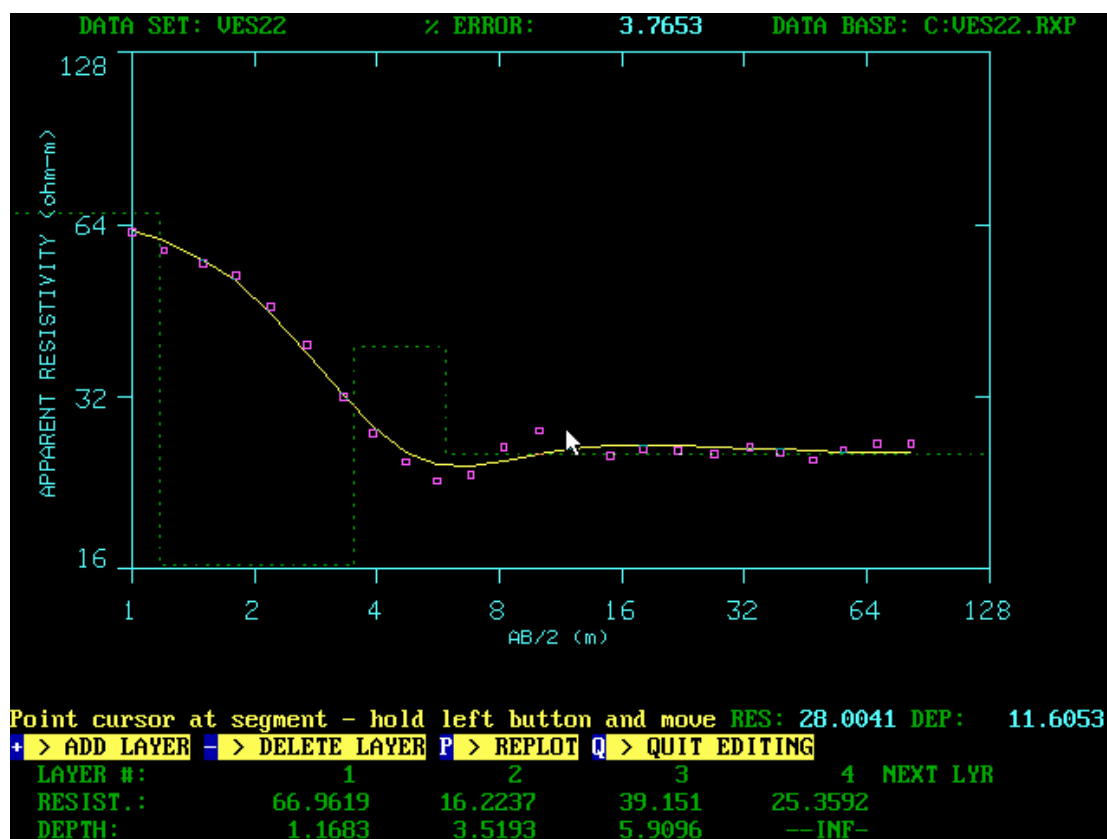
:
P 1 0.99
P 2 0.00 0.96
P 3 0.00 -0.01 0.99
T 1 0.04 0.12 0.01 0.33
T 2 -0.01 0.07 0.05 -0.10 0.62
      P 1  P 2  P 3  T 1  T 2

```

Στρώμα	1	2	3
Ειδ.αντίστ.	106.9	82.3	48.4
Βάθος (μ)	0.9	6.4	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 21

Όπως και στην VES 17 δεν παρατηρείται υδροφόρος σχηματισμός μέχρι το βάθος διασκόπησης.

**VES 22****FIT 3.7%****RESOLUTION MATRIX:**

```

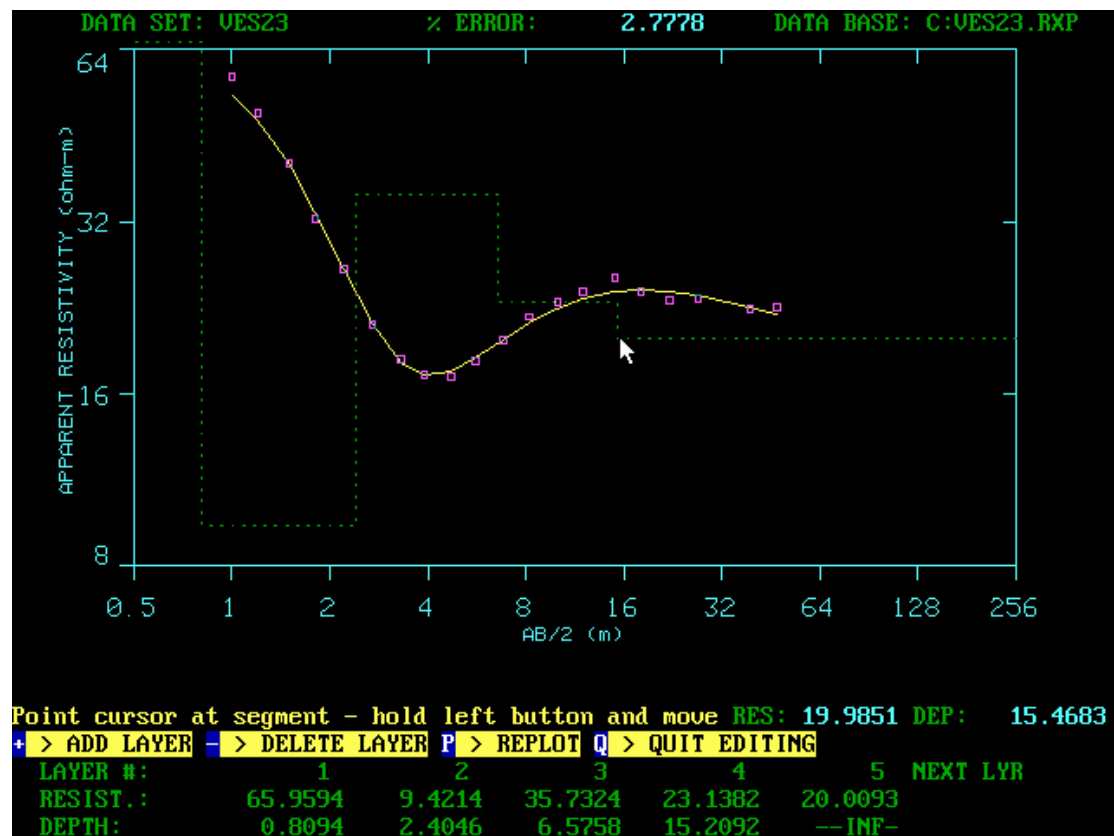
P 1 0.98
P 2 -0.03 0.80
P 3 0.02 0.09 0.56
P 4 0.00 -0.01 0.03 0.99
T 1 0.03 0.11 -0.07 0.00 0.91
T 2 -0.02 -0.27 -0.17 0.01 0.12 0.23
T 3 0.00 -0.01 0.22 0.02 -0.01 -0.03 0.09
      P 1  P 2  P 3  P 4  T 1  T 2  T 3

```

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	67	16.2	39.2	25.4
Βάθος (μ)	1.2	3.5	5.9	-
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 22

Απο τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης αυτής υπάρχουν 4 στρώματα τα οποία αποτελούνται απο κροκάλες, άμμο και αργίλους του Αδιαίρετου Τεταρτοταγούς. Ο υδροφόρος σχηματισμός πιθανόν να εμφανίζεται στα 1.2μ



VES 23

FIT 2.8%

RESOLUTION MATRIX:

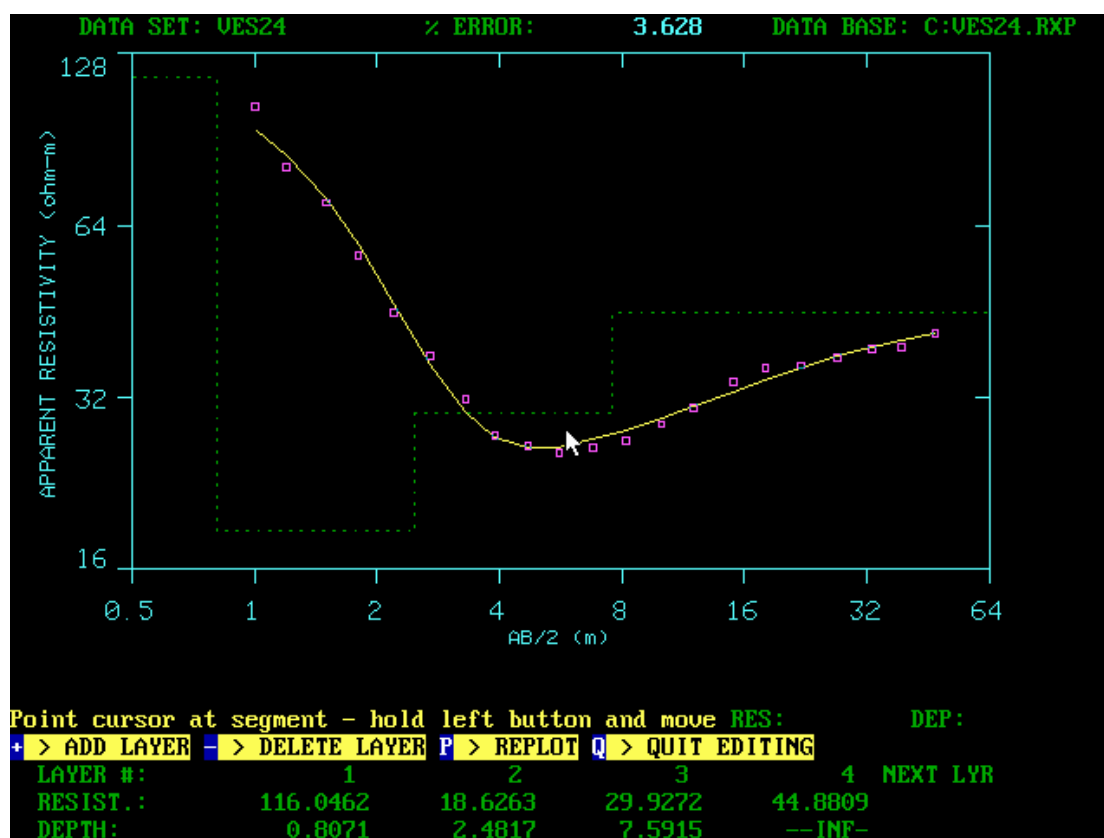
P 1 0.97
 P 2 -0.03 0.58
 P 3 0.02 0.05 0.54
 P 4 -0.01 -0.04 0.29 0.41
 P 5 0.00 0.02 -0.06 0.18 0.71
 T 1 0.03 0.10 -0.04 0.02 0.00 0.95
 T 2 -0.02 -0.43 -0.15 0.06 0.03 0.08 0.43
 T 3 0.00 -0.03 0.19 0.21 0.08 0.01 0.02 0.12
 T 4 0.00 0.00 0.03 0.13 0.18 0.01 0.02 0.06 0.07
 P 1 P 2 P 3 P 4 P 5 T 1 T 2 T 3 T 4

Το υψόμετρο είναι Z=10.1μ

Στρώμα	1	2	3	4	5
Ειδ.αντίστ.	66	9.4	35.7	23.1	20
Βάθος (μ)	0.8	2.4	6.6	15.2	—
Χαρακτηρι σμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ.	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ. Υδροφόρος	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ.	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ.	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτ.

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 23

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της βυθοσκόπησης, το υπέδαφος αποτελείται από 5 γεωηλεκτρικά στρώματα που αντιστοιχούν σε άμμο, κροκάλες και αργίλους του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Ο υδροφόρος σχηματισμός εμφανίζεται στα 0.8μ.



VES 24**FIT 3.6%****RESOLUTION MATRIX:**

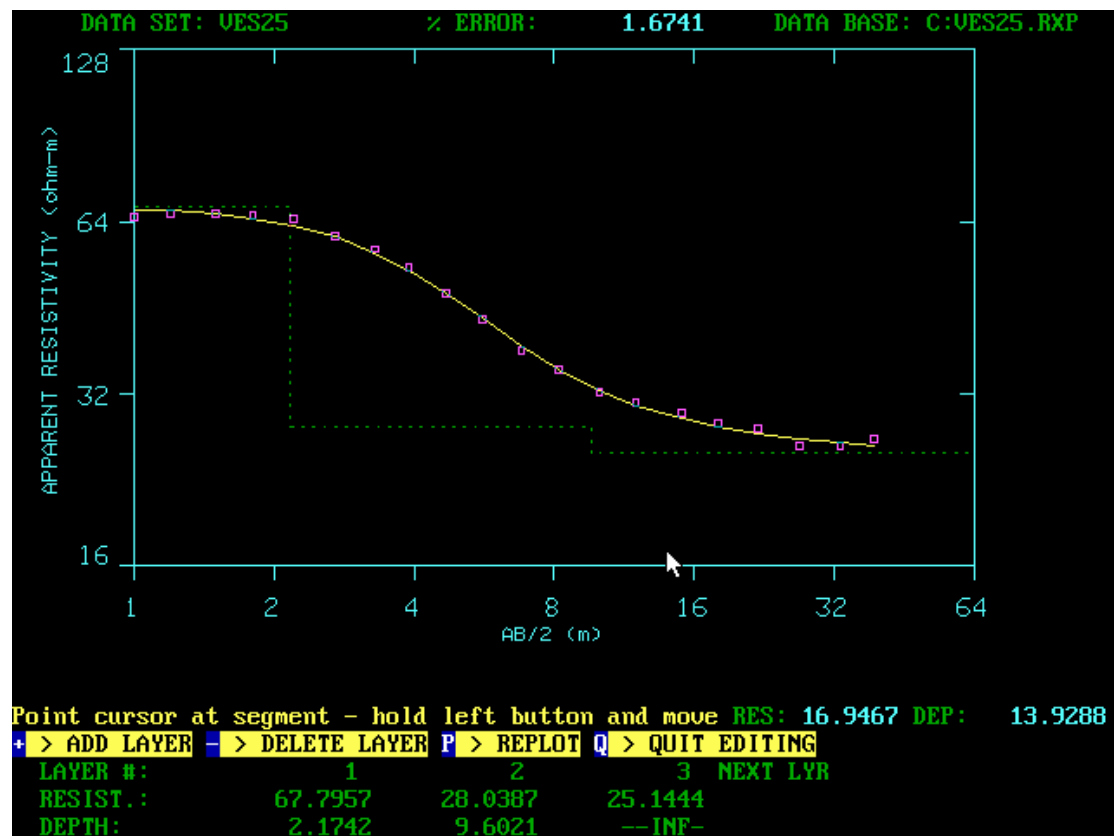
P 1 0.96
 P 2 -0.05 0.70
 P 3 0.02 0.07 0.82
 P 4 0.00 -0.02 0.03 0.96
 T 1 0.04 0.10 -0.04 0.01 0.95
 T 2 -0.01 -0.31 -0.18 0.01 0.06 0.20
 T 3 0.01 0.07 -0.16 -0.09 -0.02 -0.03 0.10
 P 1 P 2 P 3 P 4 T 1 T 2 T 3

Το υψόμετρο είναι $Z=11.4\mu$

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	116	18.6	29.9	44.9
Βάθος (μ)	0.8	2.5	7.6	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 24

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της βυθοσκοπίσης αυτής υπάρχουν τέσσερα στρώματα που αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και αργίλους του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Ο υδροφόρος εμφανίζεται σε βάθος 0.8μ.



VES 25

FIT 1.7%

RESOLUTION MATRIX:

```

P 1 1.00
P 2 0.00 0.99
P 3 0.00 0.00 1.00
T 1 0.00 0.01 0.00 0.99
T 2 0.00 0.06 0.04 -0.05 0.37
  P 1 P 2 P 3 T 1 T 2

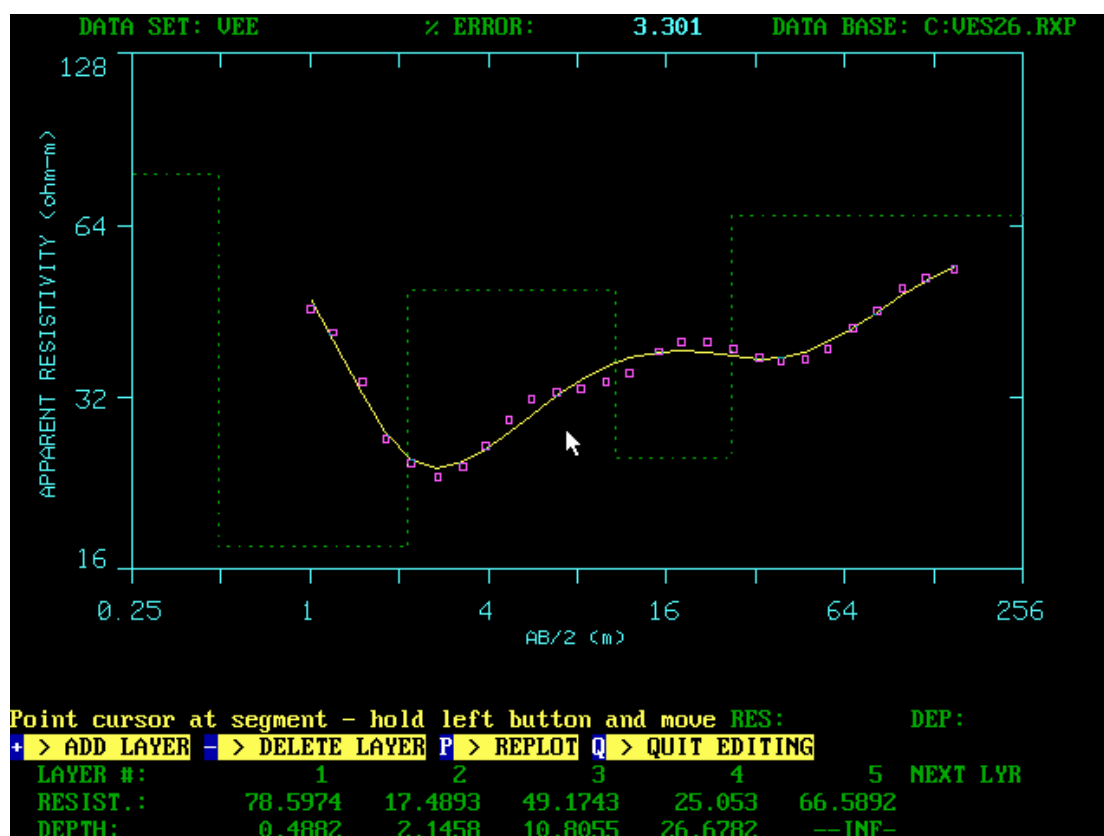
```

Το υψόμετρο είναι $Z=13.1\mu$

Στρώμα	1	2	3
Ειδ. αντίστ.	67.8	28	25.1
Βάθος (μ)	2.2	9.6	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 25

Στην βυθοσκόπηση αυτή υπάρχουν 3 στρώματα. Τα στρώματα αυτά αποτελούνται απο κροκάλες, άμμο και αργίλους του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς .Ο υδροφόρος εμφανίζεται σε βάθος 2.2 μ.



VES 26**FIT 3.3%****RESOLUTION MATRIX:**

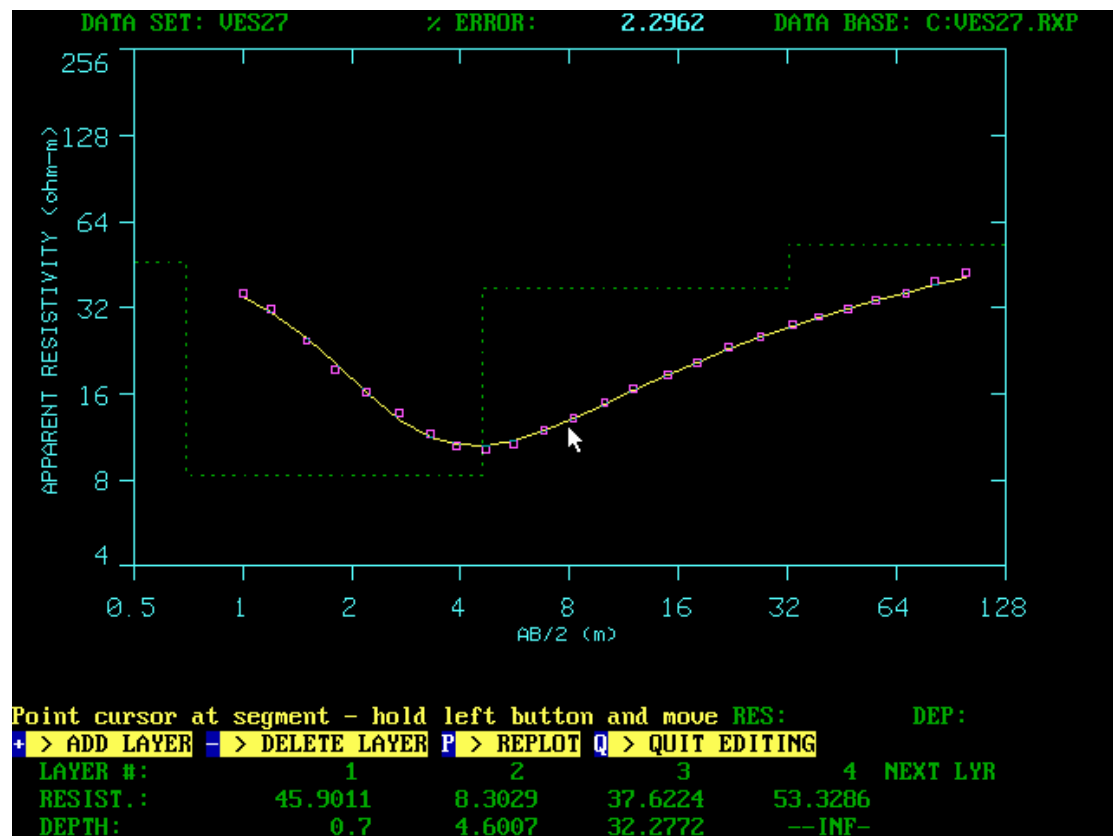
P 1 0.76
 P 2 -0.09 0.86
 P 3 0.01 -0.02 0.85
 P 4 -0.01 0.01 0.07 0.71
 P 5 0.00 -0.01 0.00 0.03 0.90
 T 1 0.17 0.12 0.00 0.00 0.00 0.84
 T 2 -0.12 -0.22 -0.15 0.08 -0.01 0.17 0.51
 T 3 -0.02 0.01 0.21 0.12 -0.08 0.01 0.15 0.29
 T 4 0.00 0.00 0.04 -0.34 -0.12 0.00 0.03 0.11 0.28
 P 1 P 2 P 3 P 4 P 5 T 1 T 2 T 3 T 4

Το υψόμετρο είναι $Z=8.1\text{m}$

Στρώμα	1	2	3	4	5
Ειδ.αντίστ.	78.6	17.5	49.2	25.1	66.6
Βάθος (μ)	0.5	2.2	10.8	26.7	—
Χαρακτ. εδάφους	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς ς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογε νούς Υδροφόρο ς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενο ύς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενο ύς	Κροκ., άμμος άργιλοι Αδιαίρε του Τεταρτ ογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 26

Όπως και στην VES 18, όλα τα στρώματα αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και αργίλους του Αδιαίρετου Τεταρτογενούς. Ο υφάλμυρος υδροφόρος εμφανίζεται σε βάθος 0.5μ



VES 27

FIT 2.3%

RESOLUTION MATRIX:

```

P 1 1.00
P 2 0.00 0.99
P 3 0.00 -0.01 0.99
P 4 0.00 0.00 -0.01 0.91
T 1 0.00 0.01 0.00 0.00 1.00
T 2 -0.01 -0.01 -0.01 -0.01 0.01 0.97
T 3 0.01 0.02 0.06 0.21 -0.01 0.06 0.41
      P 1  P 2  P 3  P 4  T 1  T 2  T 3

```

Το υψόμετρο είναι $Z=4.4\mu$

Στρώμα	1	2	3	4
Ειδ.αντίστ.	45.9	8.3	32.6	53.3
Βάθος (μ)	0.7	4.6	32.8	—
Χαρακτηρισμός εδάφους	Κροκ., άμμος αργίλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος αργίλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς Υδροφόρος	Κροκ., άμμος αργίλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς	Κροκ., άμμος αργίλοι Αδιαίρετου Τεταρτογενούς

Ερμηνεία αποτελεσμάτων VES 27

Τα στρώματα όπως και στην VES 18 αποτελούνται από κροκάλες, άμμο και αργίλους του Τεταρτογενούς. Ο υφάλμυρος υδροφόρος εμφανίζεται σε βάθος 0.7μ

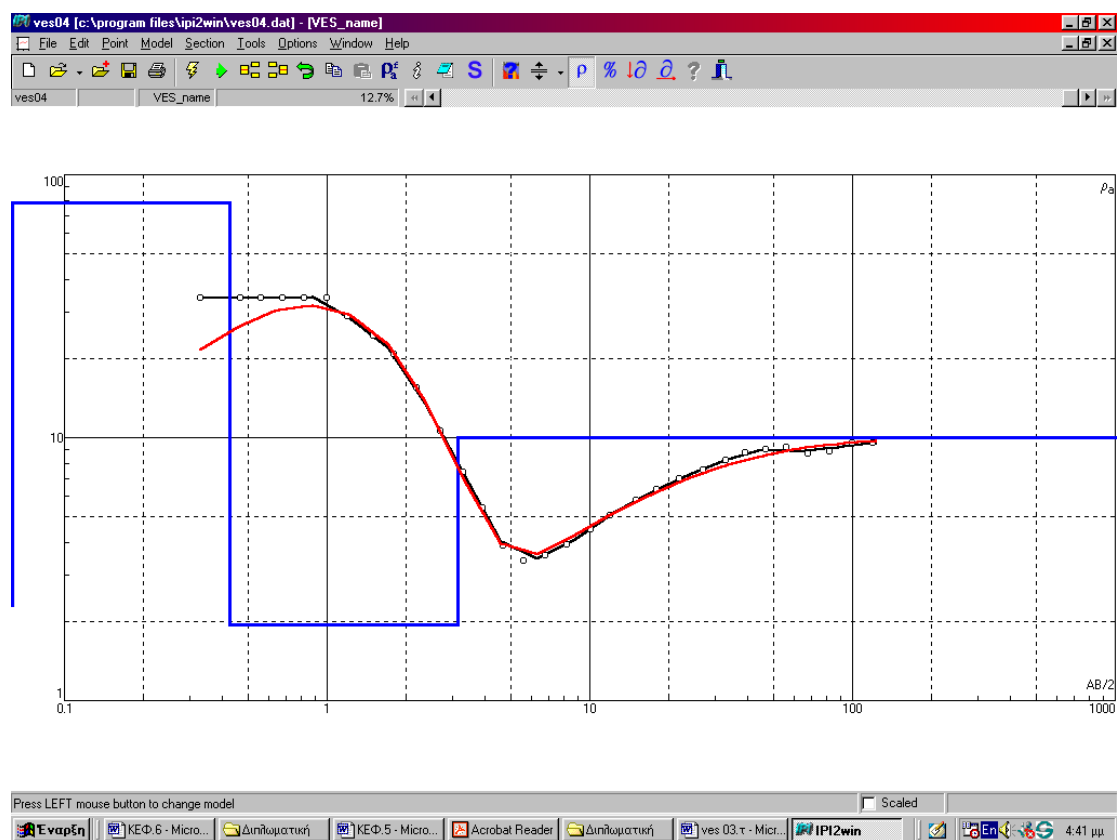
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ ΜΕ IP2WIN

6.1 Περιγραφή του προγράμματος Ip 2win

Το πρόγραμμα αυτό είναι το δεύτερο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Έχοντας τα αποτελέσματα του προγράμματος RESIX μπορεί να γίνει σύγκριση των 2 προγραμμάτων.

Στο πρόγραμμα αυτό γίνεται η εισαγωγή δεδομένων (X, Y, υψόμετρο της βυθοσκόπησης, AB/2 και R) και αυτόματα το πρόγραμμα υπολογίζει τον αριθμό των στρωμάτων, το πάχος τους και τις τιμές της αντίστασης του κάθε στρώματος όπως φαίνεται στο σχήμα.



Το σφάλμα και εδώ καθορίζεται από το fit. Είναι δυνατόν να τεθούν ή να αφαιρεθούν στρώματα αν θεωρηθεί αναγκαίο. Με την χρήση της εντολής **i** μειώνεται το σφάλμα.

Σημαντική ικανότητα αυτού του προγράμματος είναι η δυνατότητα δημιουργίας της ψευδοχρωματικής εικόνας . Έτσι μπορεί να φτιαχτεί η ψευδοχρωματική βυθοσκοπήσεων που βρίσκονται κοντά και να γίνει σύγκρισή τους σύμφωνα με τα χρώματα ,που απεικονίζουν τις τιμές των αντιστάσεων κάθε στρώματος. Αναμενόμενο είναι οι βυθοσκοπήσεις που είναι κοντά να αποτελούνται από παρόμοια στρώματα.

Ακολουθεί πίνακας όπου περιέχονται όλα τα αποτελέσματα που πήραμε με την χρήση του προγράμματος RESIX. Απεικονίζονται τα πάχη των στρωμάτων και οι τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

ON.	ΚΡΟΚ-ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.		ΚΡΟΚ-ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ..		ΚΡΟΚ-ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.		ΚΡΟΚ-ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.		ΑΡΓΙΛΟΣ		ΚΙΤΡ.ΑΡΓ.		ΚΙΤΡ.ΑΡΓ.-ΧΑΛ.		ΕΡΥΘΡΑ ΑΡΓ ΚΡΟΚ.		ΕΡΥΘΡΑ ΑΡΓ ΚΡΟΚ		ΚΡΟΚ ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.	
	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.
VES 01	8.1	0.15	2.55*	2.4					42.6	9,2									1,7*	—
VES 02	156.4	0.24	209.7	2.2	402.1	4.5	6.7*	—												
VES 03	38.2	1.3	146.8	13.6	21.1*	—														
VES 04	38.1	0.98	2,3*	3.2	10.1*	-														
VES 05	31.6	1.2	40.9	2.1	79.9	10.6	32.7*	—												
VES 06	56.6	1.8	141.7	1.5	48.1*	—														
VES 07											27.6	1.3	157.3	11.3			71.3	—		
VES 08											87.2	0.75	377.8	4.5	73.4	5.7	33.1*	—		
VES 09											148.5	0.7	272.1	5	112.2	—				

	ΚΡΟΚ-ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.		ΚΡΟΚ-ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ..		ΚΡΟΚ-ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.		ΚΡΟΚ-ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.		ΑΡΓΙΛΟΣ		ΚΙΤΡ.ΑΡΓ.		ΚΙΤΡ.ΑΡΓ.-ΧΑΛ.		ΕΡΥΘΡΑ ΑΡΓ ΚΡΟΚ.		ΕΡΥΘΡΑ ΑΡΓ ΚΡΟΚ		ΚΡΟΚ ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.	
ΟΝ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.
VES 10																				—
VES 11																				
VES 12	90.5	0.97	24.3*	1.8	52.2*	6.6	35*	13.5											36*	—
VES 13	459.4	1.2	11.9*	6.3	46.7	—														
VES 14	84.4	0.33	50.1	1,3	5.8*	5.9	32.5*	-												
VES 15	68.1	0.43	42.5	1.83	16.2*	—														
VES 16	104.5	0.98	20.1*	3.3	47.8*	17.3	20.9*	—										—		
VES 17	608.9	1.2	107.2	3	136.4	8.3	93.3	—										—		
VES 18	24.2	1	12.3*	3.3	3.3*	8.2	8.4*	5.4											20.3*	—

ON.	ΚΡΟΚ- ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.		ΚΡΟΚ- ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ..		ΚΡΟΚ- ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.		ΚΡΟΚ- ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.		ΑΡΓΙΛΟΣ		ΚΙΤΡ.ΑΡΓ.		ΚΙΤΡ.ΑΡΓ.- ΧΑΛ.		ΕΡΥΘΡΑ ΑΡΓ ΚΡΟΚ.		ΕΡΥΘΡΑ ΑΡΓ ΚΡΟΚ		ΚΡΟΚ ΑΜΜΟΣ ΑΡΓ.	
	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.	ΑΝ.	ΠΑΧ.
VES 19	17.8	0.5	4.4*	2.8	12.5*	12.4	23.4*	—												
VES 20	226.9	0.34	64.3	1	102.6	12.4	144	21.8											37.8	—
VES 21	106.9	0.9	82.3	5.5	48.4	-														
VES 22	67	1.2	16.2*	2.3	39.2*	2.4	25.4*	-												
VES 23	66	0.8	9.4*	1.6	35.7*	4.2	23.1*	8.6											20*	—
VES 24	116	0.8	18.6*	1.7	29.9*	5.1	44.9*	—												
VES 25	67.8	2.2	28*	7.4	25.2*	—														
VES 26	78.6	0.5	17.5*	1.8	49.2*	8.7	25*	15.9											66.6*	-
VES 27	45.9	0.7	8.3*	3.9	32.6*	28.1	53.3*	—												

ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	ΑΜΜΟΣ- ΑΡΓΙΛΟΣ-ΚΡΟΚΑΛΕΣ ΑΚΟΡΕΣΤΑ	ΑΜΜΟΣ- ΑΡΓΙΛΟΣ-ΚΡΟΚΑΛΕΣ ΚΟΡΕΣΜΕΝΑ
TY 25	59	31*
TY 3	87	7*
TY 18	31	30*
TY 26	36	17*
TY 4	2	67*
TY 8	77	65*
TY 14	6	13*
TY 15	6	14*
Ριμόμυλος	7	2*

M5	9	100*
TOEB A1	22	103*
TOEB A3	56	43*
TOEB A4	41	61*
TOEB A7	65	35*
T12	22	77*
FAO 100	81	20*

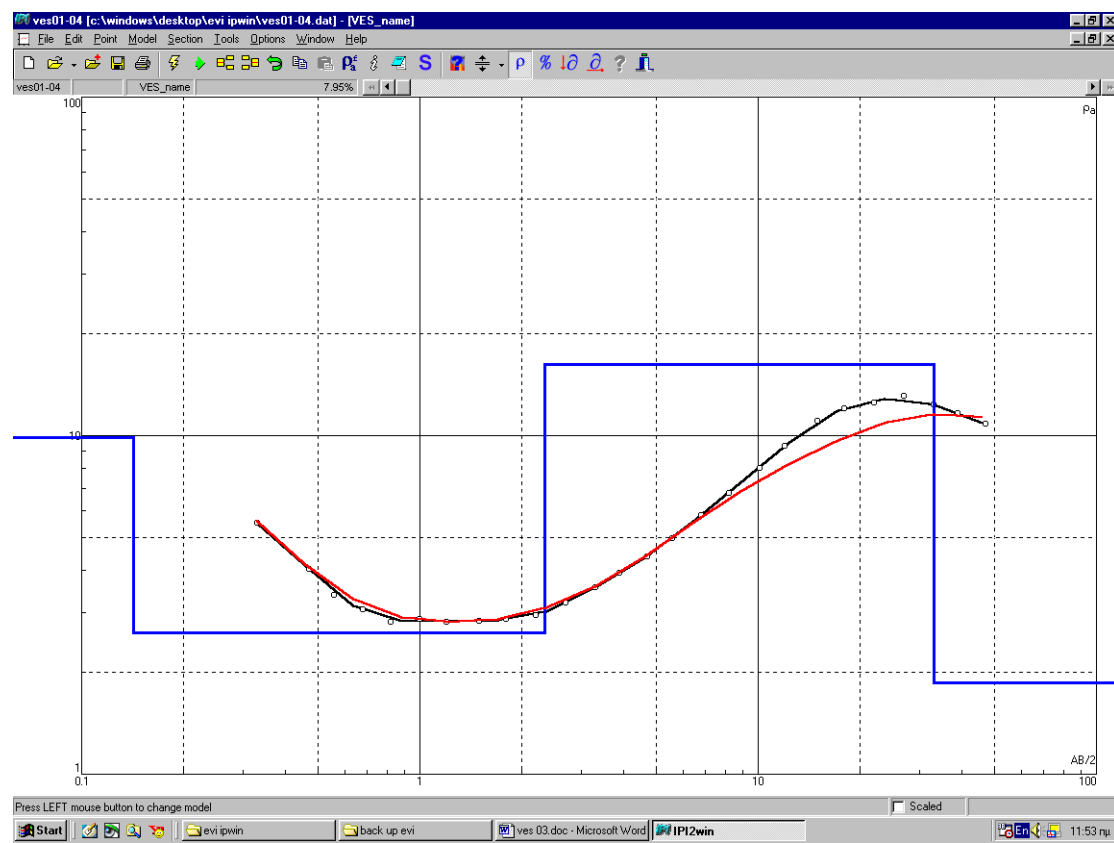
Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα προγράμματος RESIX

6.2 Επεξεργασία γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων

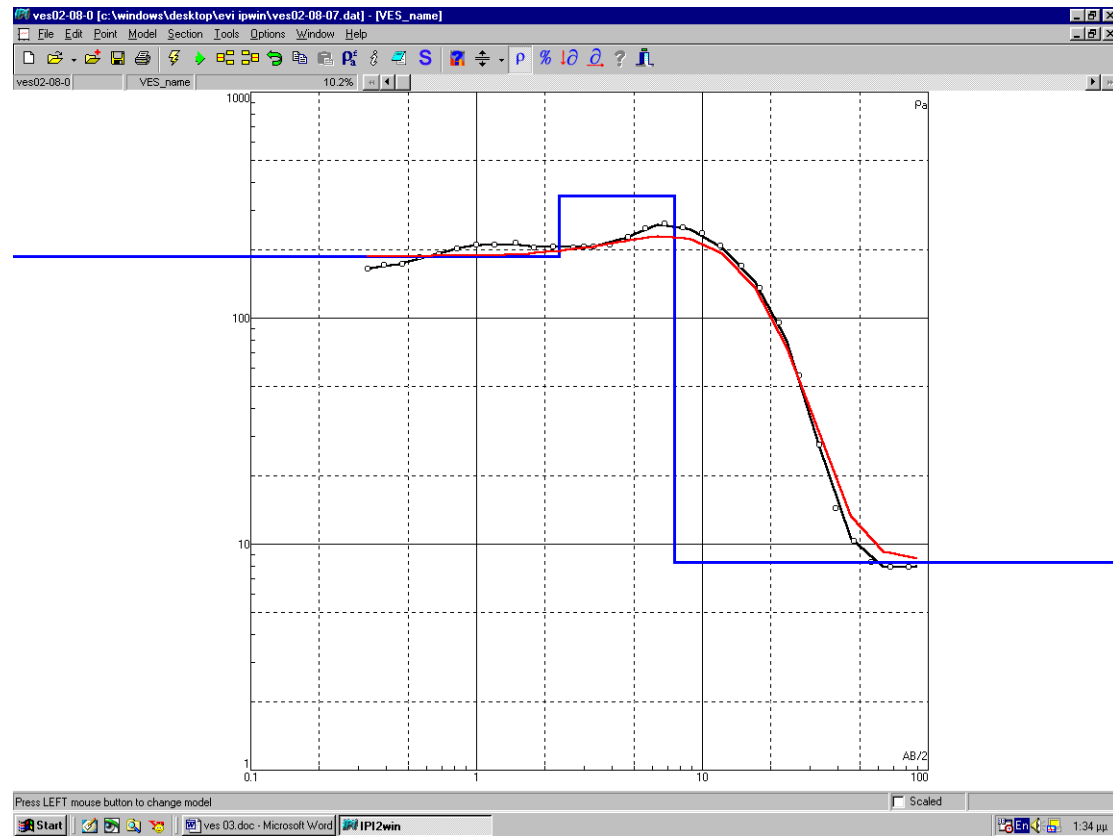
Αποτελέσματα σύμφωνα με πρόγραμμα IP2WIN

VES 01-04

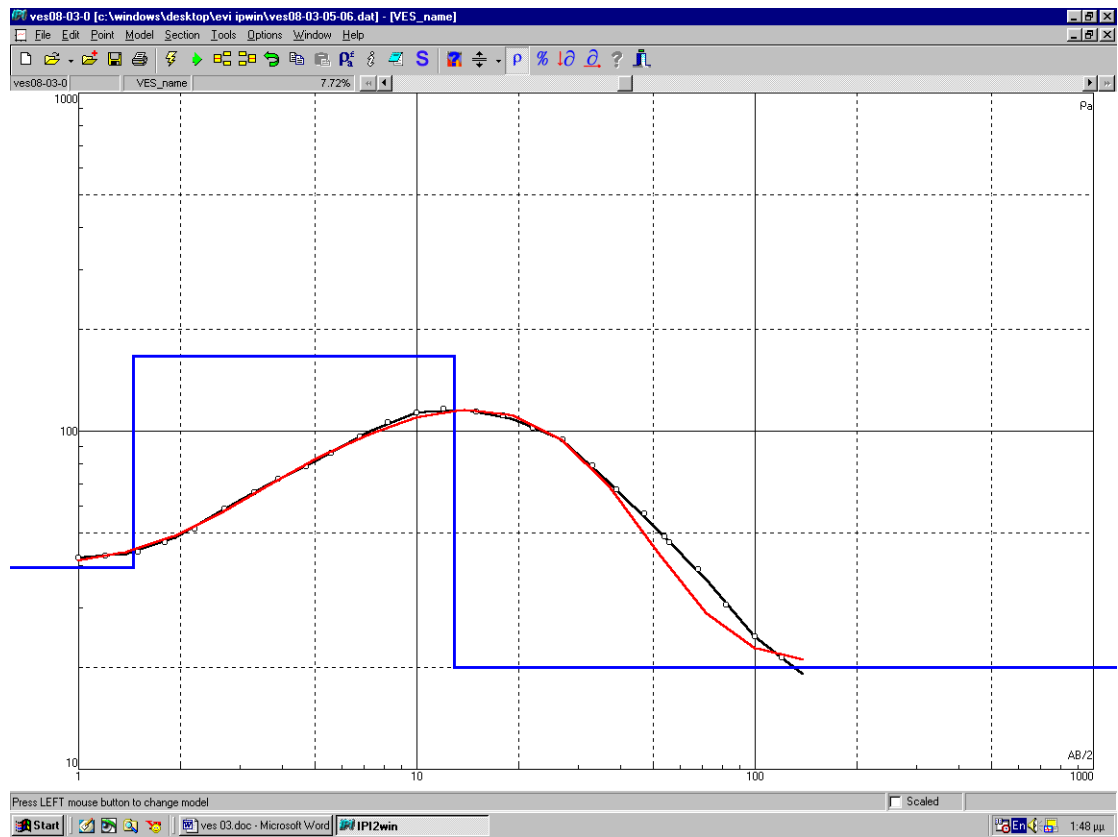
VES 01



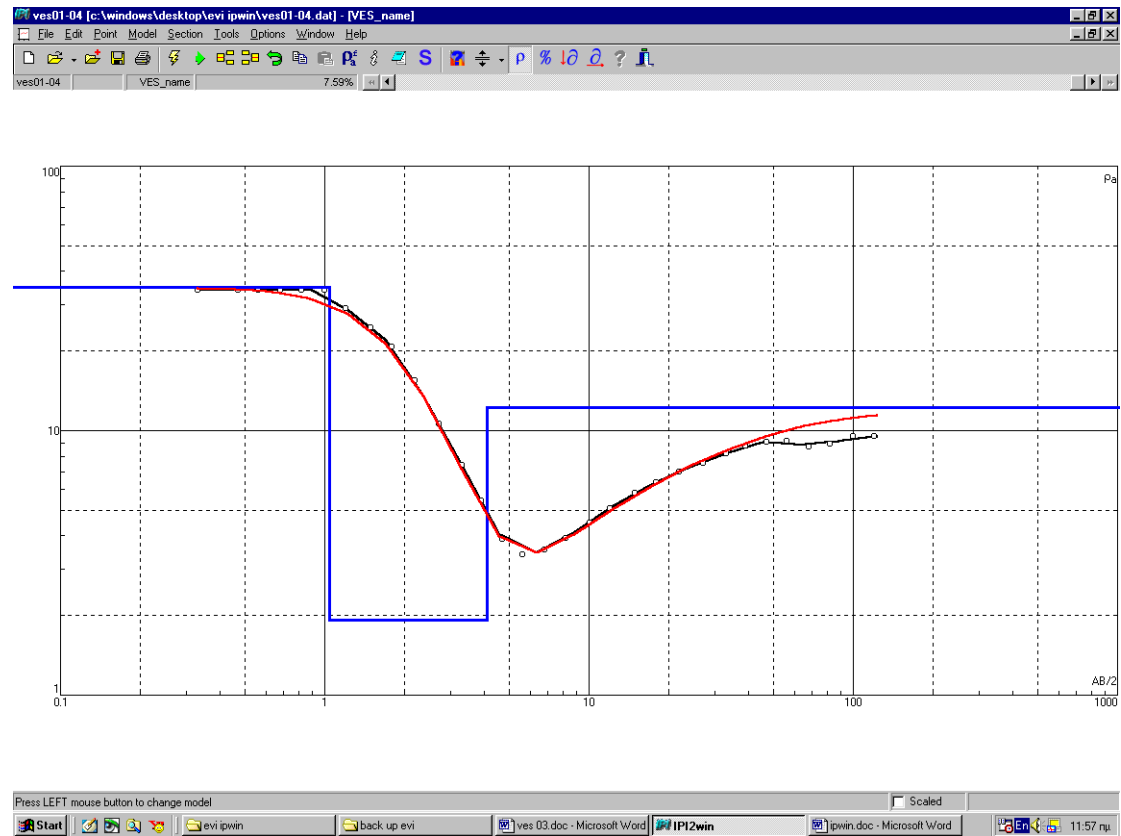
Layer	1	2	3	4
Resistance(Ω m)	9.9	2.6	16.2	1.8
Depth (m)	0.14	2.3	33.1	—

VES 02**FIT 10.2 %**

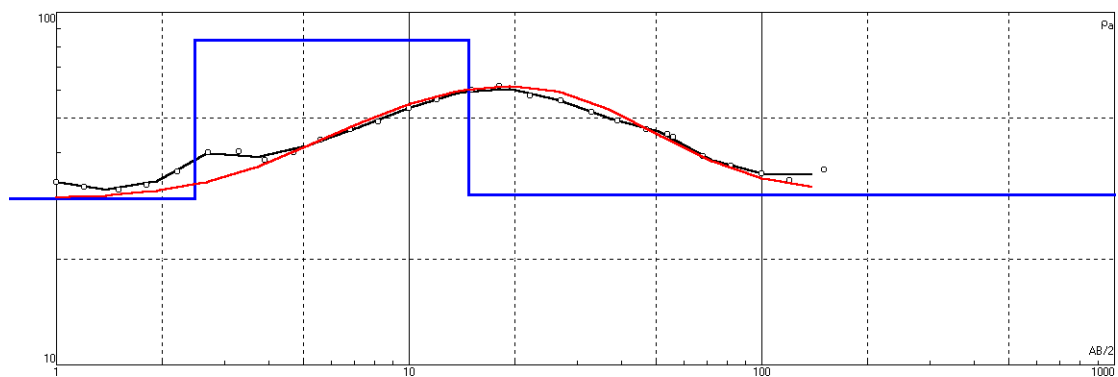
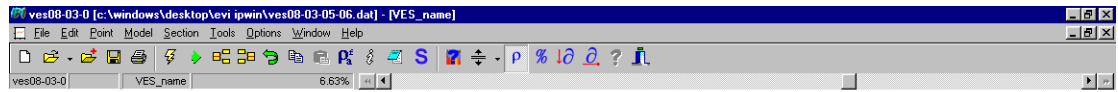
Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	188	347	8.3
Depth (m)	2.3	7.5	-

VES 03**FIT 7.72%**

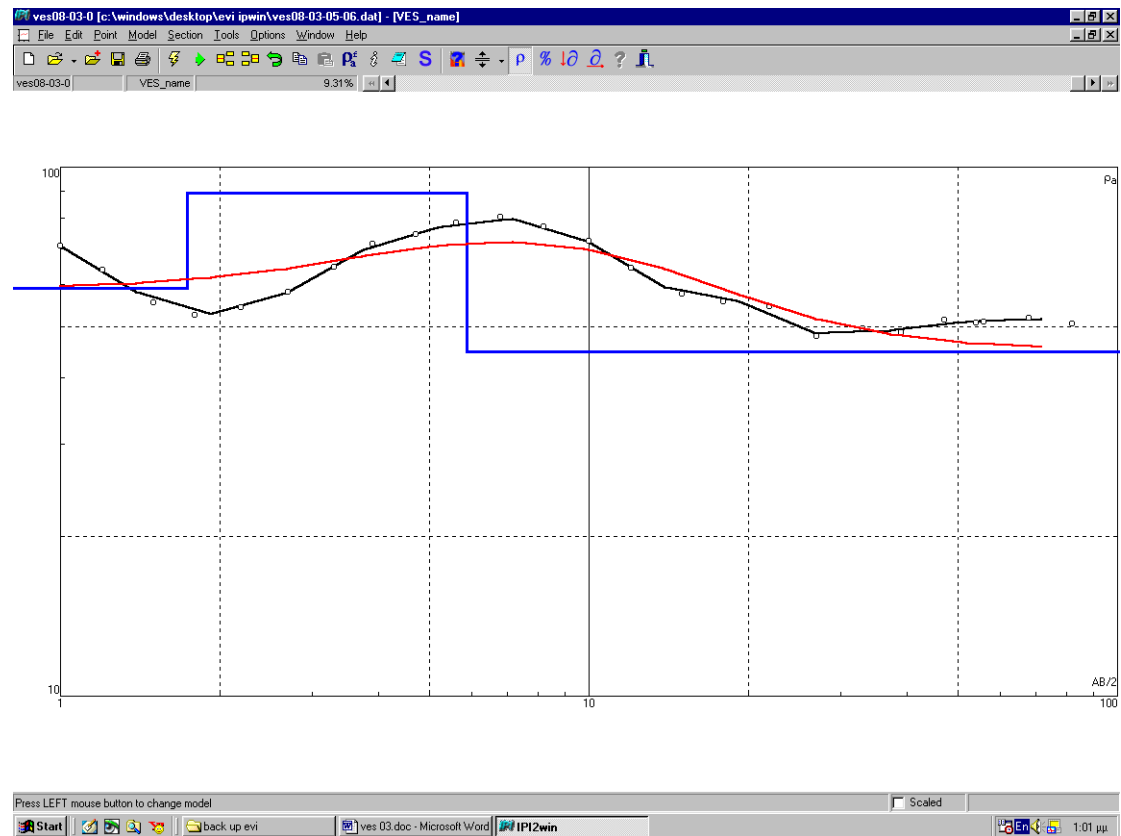
Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	39.6	167	20
Depth (m)	1.4	12.9	-

VES 01-04**VES 04**

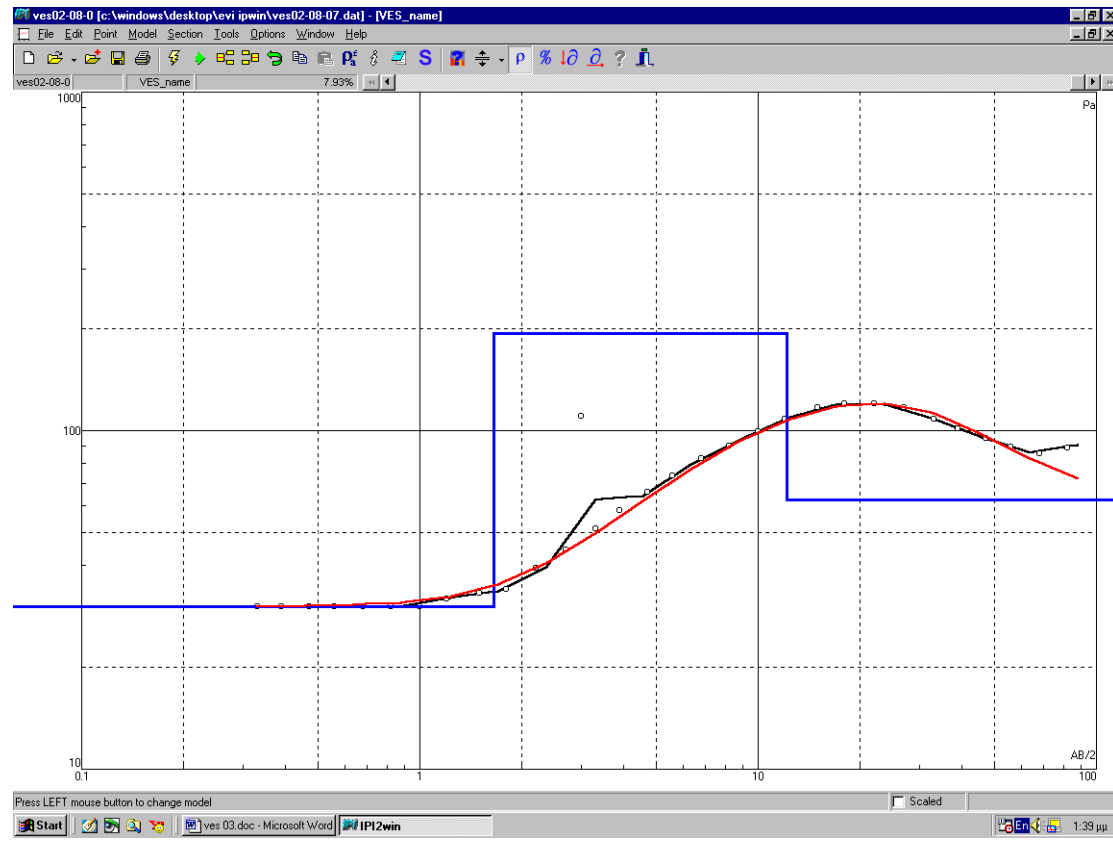
Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	34.8	1.9	12.2
Depth (m)	1.04	4.1	—

VES 05**FIT 6.63%**

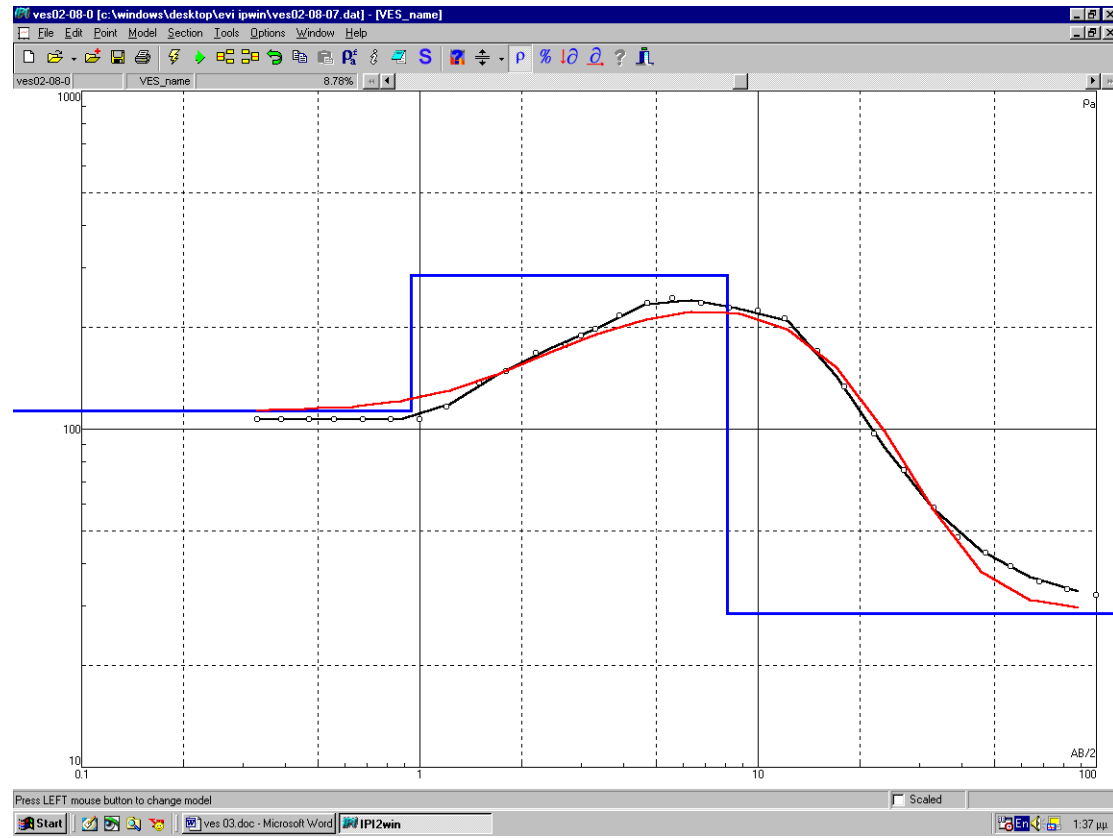
Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	29.6	83.6	30.4
Depth (m)	2.47	14.8	—

VES 06**FIT 9.31%**

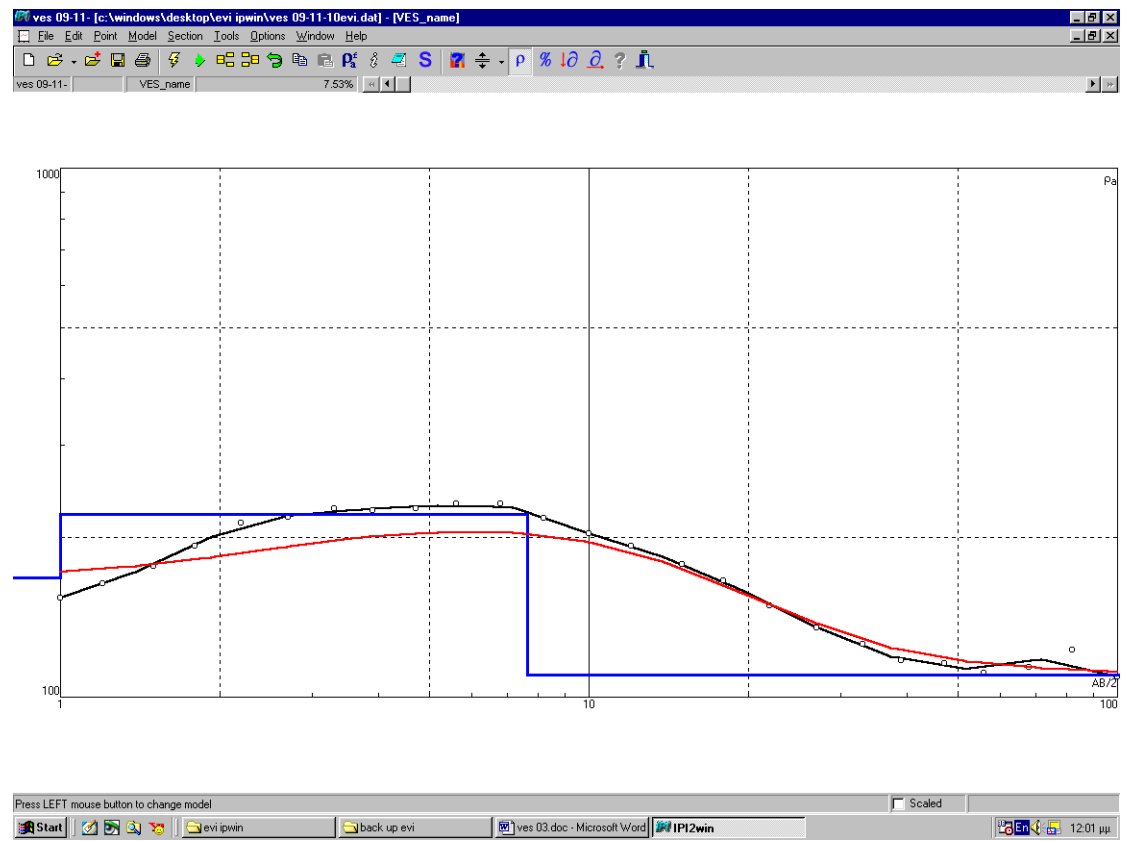
Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	59	89.3	44.8
Depth (m)	1.7	5.8	—

VES 07**FIT 7.93%**

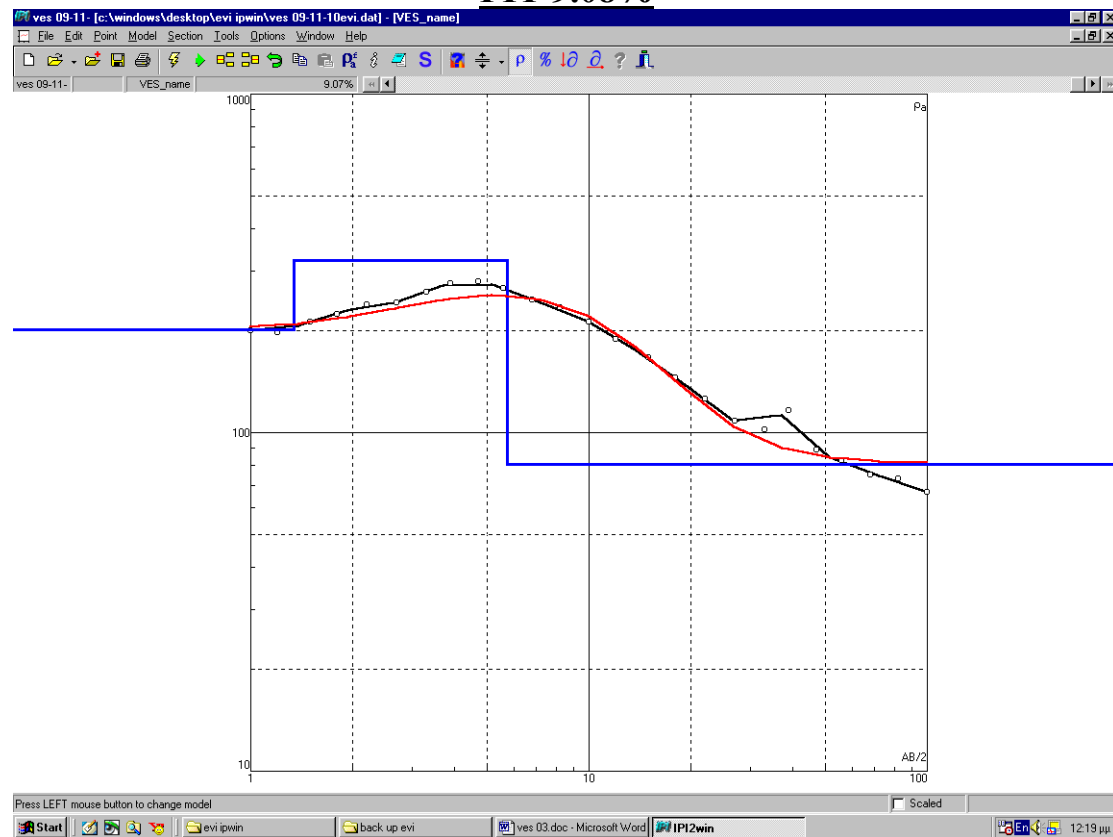
Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	30.2	194	62.4
Depth (m)	1.6	12.1	-

VES 08**FIT 8.78%**

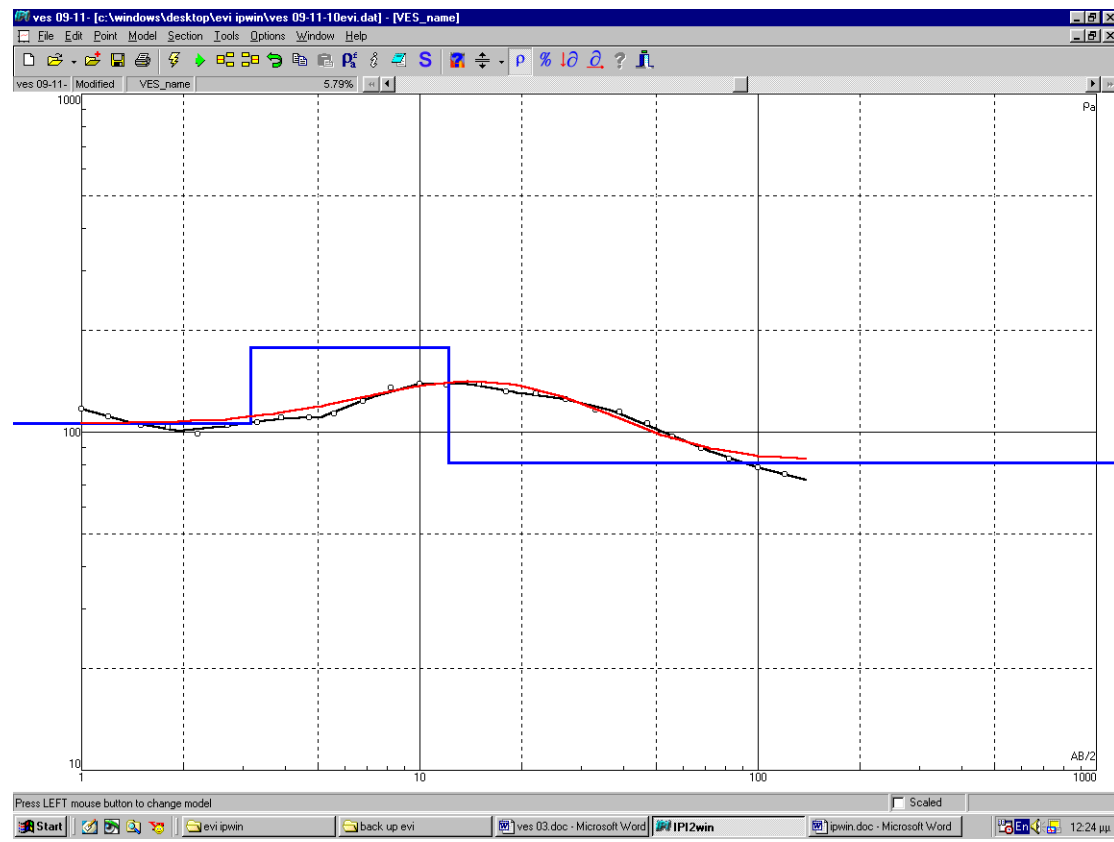
Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	113	285	28.5
Depth (m)	0.95	8.1	-

VES 09**FIT 7.53%**

Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	168	222	110
Depth (m)	1	6.6	-

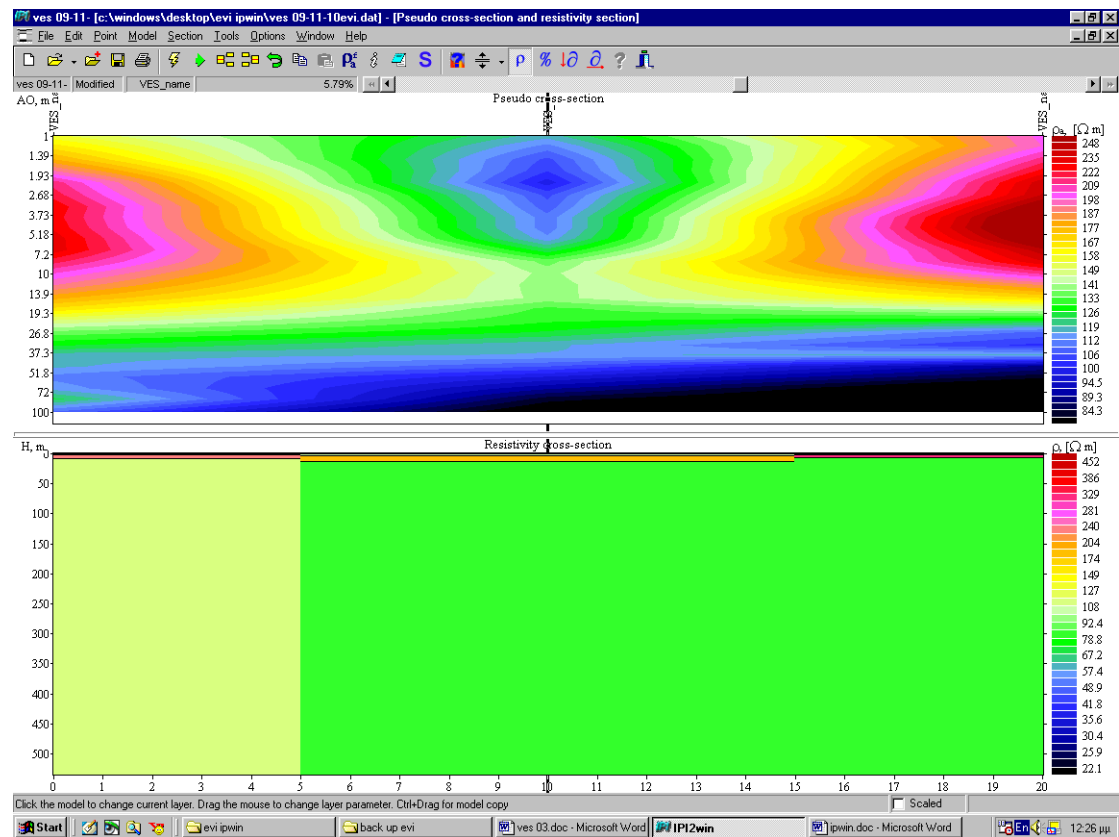
VES 10**FIT 9.08%**

Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	201	322	80.5
Depth (m)	1.3	5.7	—

VES 11**FIT 5.79%**

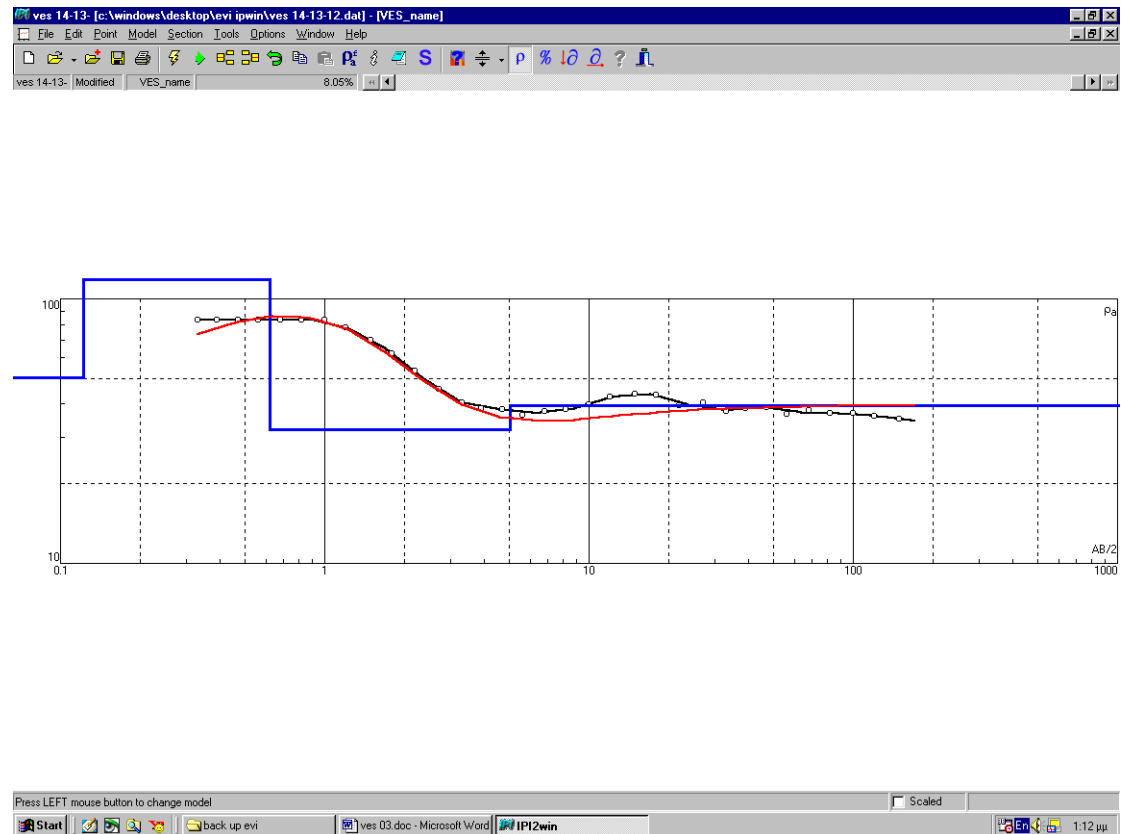
Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	106	178	81.1
Depth (m)	3.2	12.2	—

Ψευδοχρωματική 09-11-10

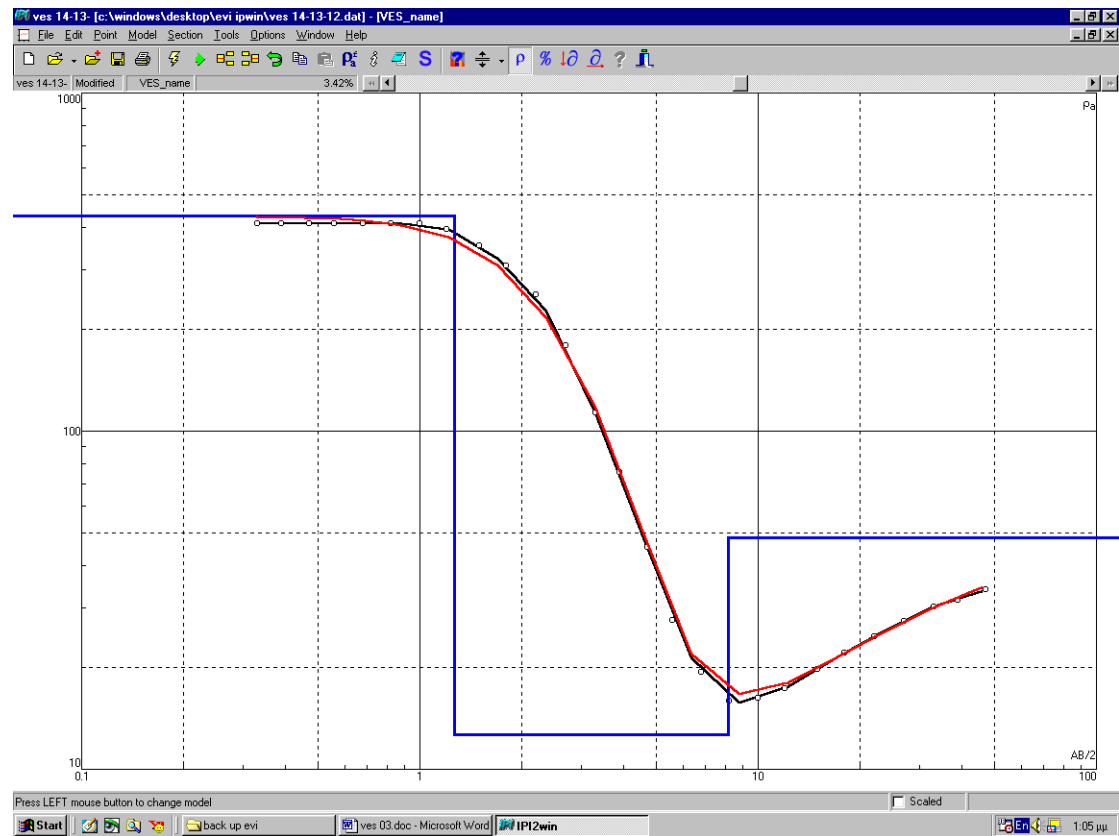


VES 12

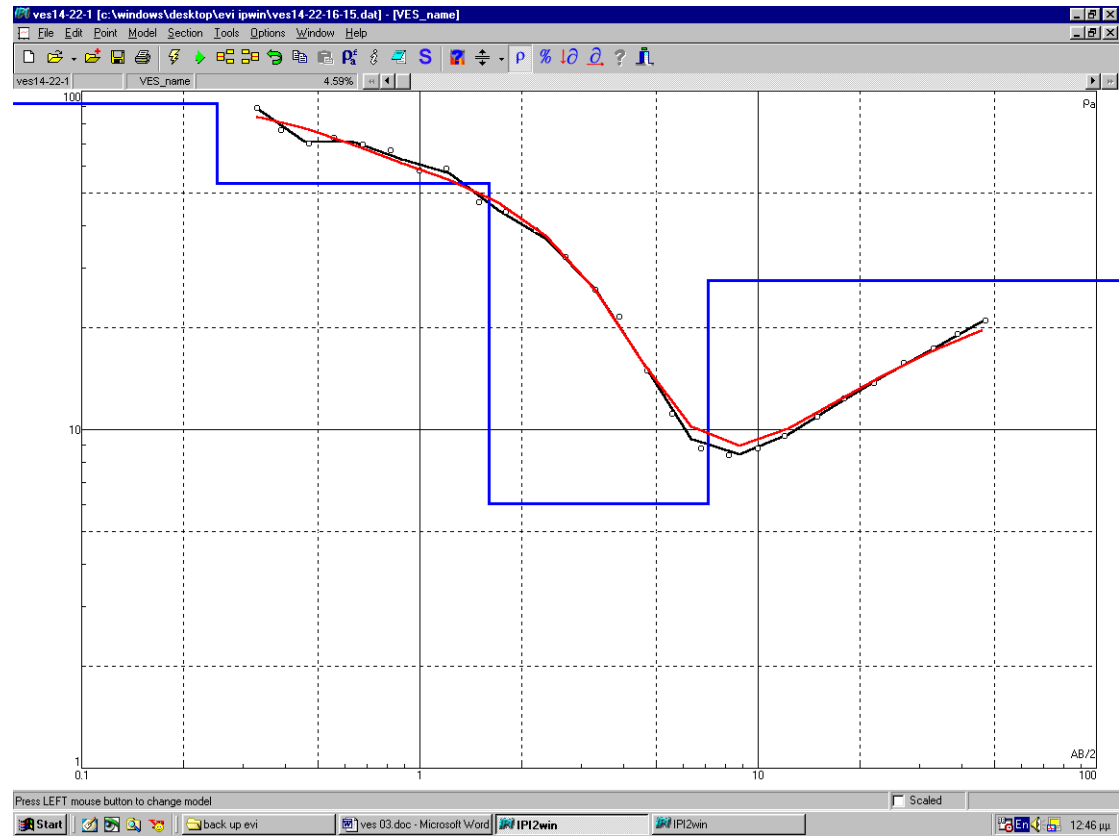
FIT 8.05%



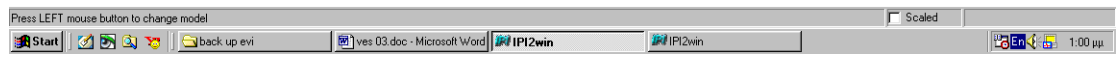
Layer	1	2	3	4
Resistance(Ω m)	50.2	118	32	39.5
Depth (m)	0.12	0.6	5	-

VES 13**FIT 3.42%**

Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	432	12.7	48.3
Depth (m)	1.3	8.2	—

VES 14**FIT 4.59%**

Layer	1	2	3	4
Resistance(Ω m)	91.8	53.2	6	27.6
Depth (m)	0.25	1.6	7.1	-

VES 15**FIT 8.34%**

Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	48.8	22.4	27.7
Depth (m)	1.2	2.9	—

VES 16

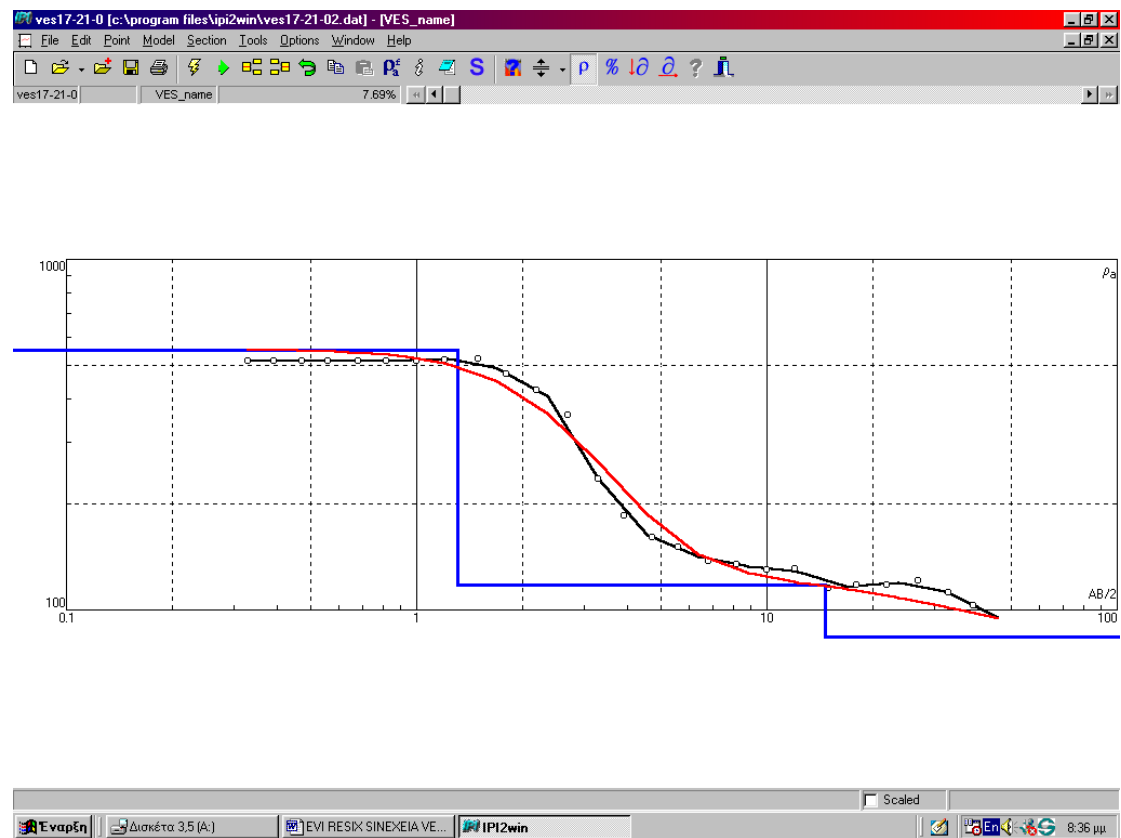
FIT 5.12%



Layer	1	2	3	4
Resistance(Ω m)	95.4	18.9	45.3	20.3
Depth (m)	1.1	4.5	25.7	-

VES 17

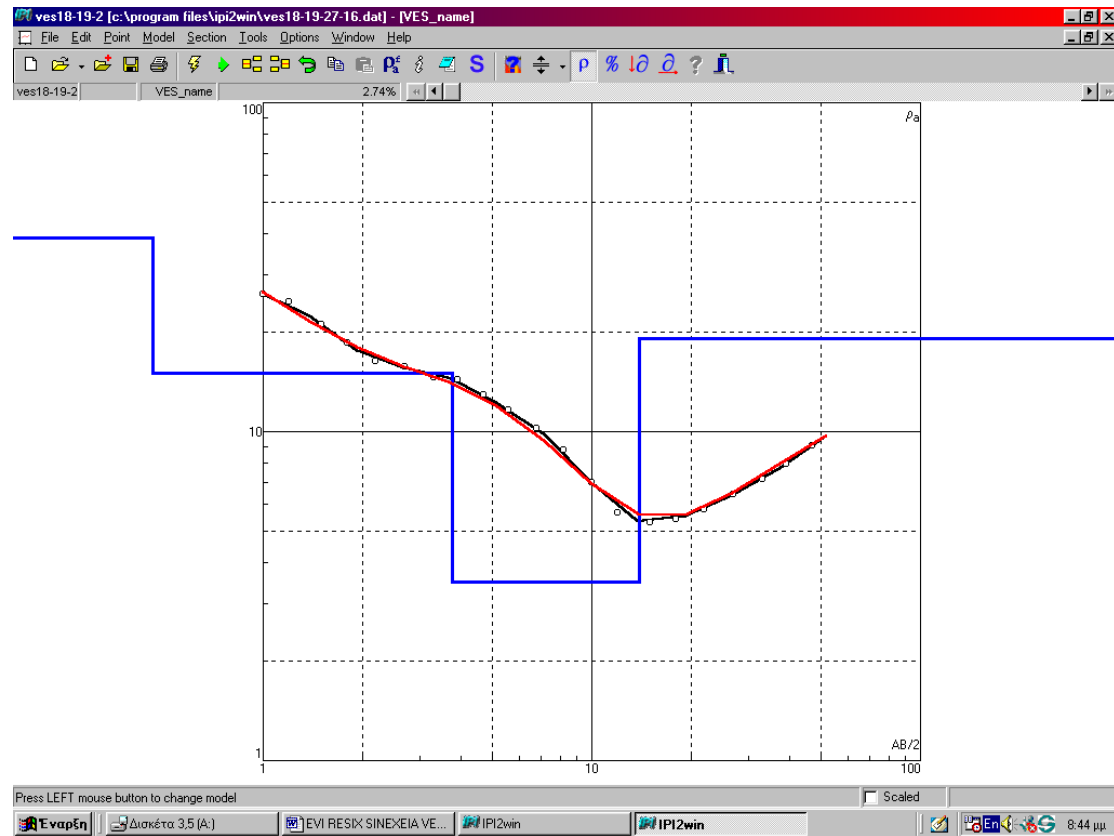
FIT 7.69%



Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	552	118	83.9
Depth (m)	1.3	14.7	—

VES 18

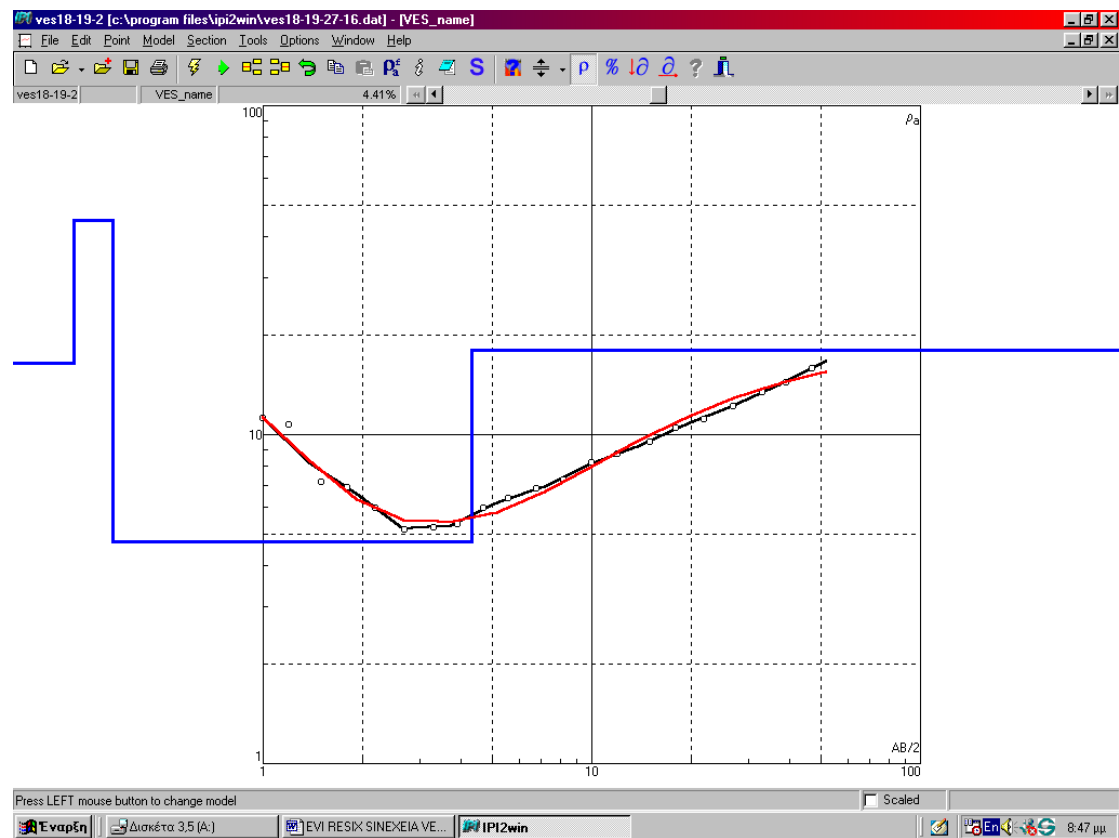
FIT 2.74%



Layer	1	2	3	4
Resistance(Ω m)	38.8	15.1	3.5	19.2
Depth (m)	0.46	3.8	14	—

VES 19

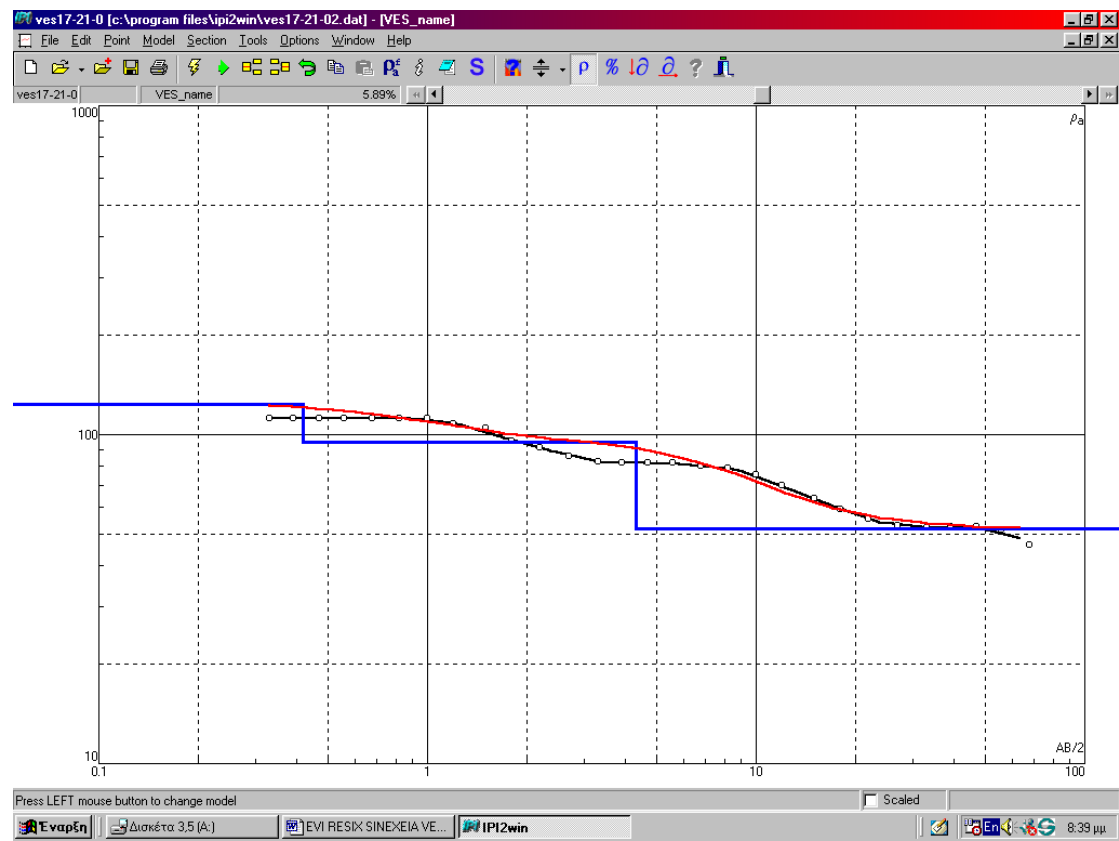
FIT 4.41%



Layer	1	2	3	4
Resistance(Ω m)	16.5	44.7	4.7	18
Depth (m)	0.2	0.35	4.32	—

VES 21

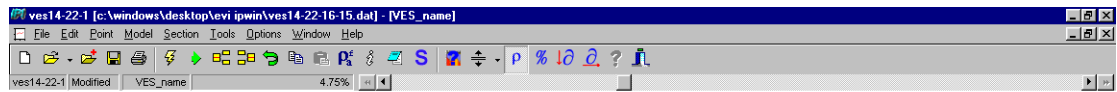
FIT 5.89%



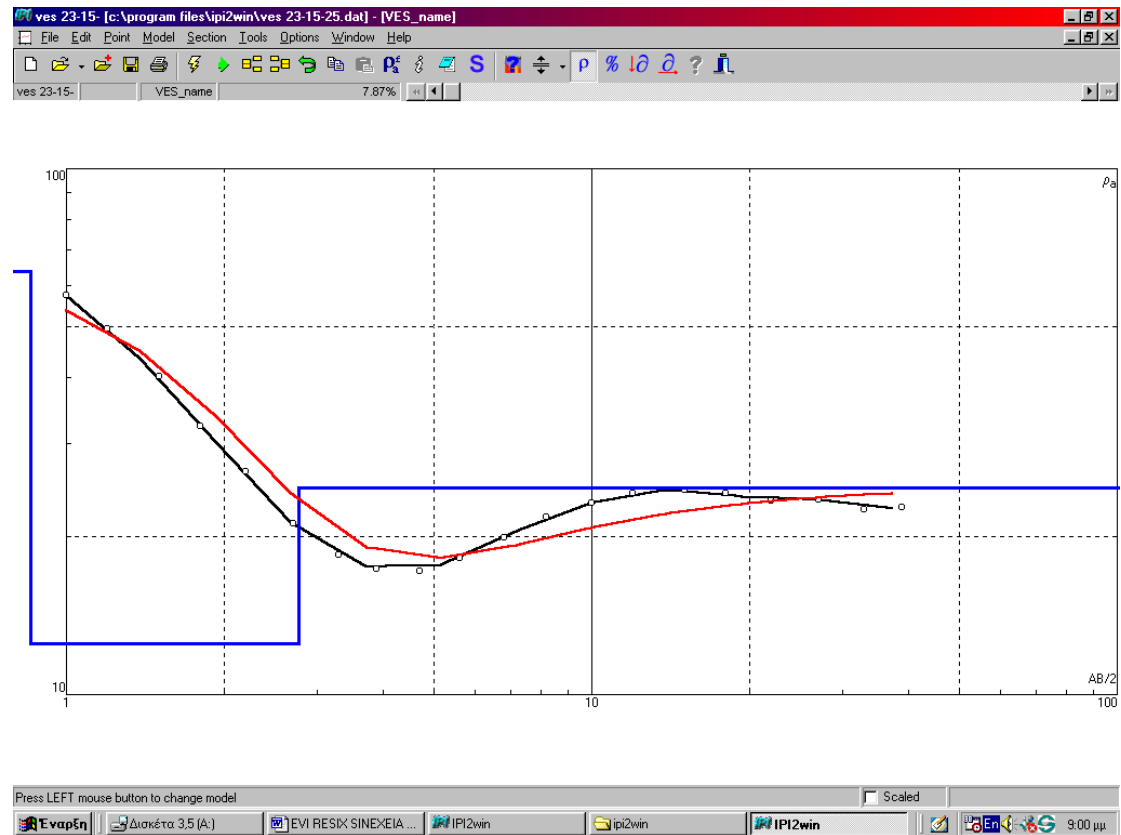
Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	124	94.5	51.7
Depth (m)	0.42	4.3	—

VES 22

FIT 4.75%



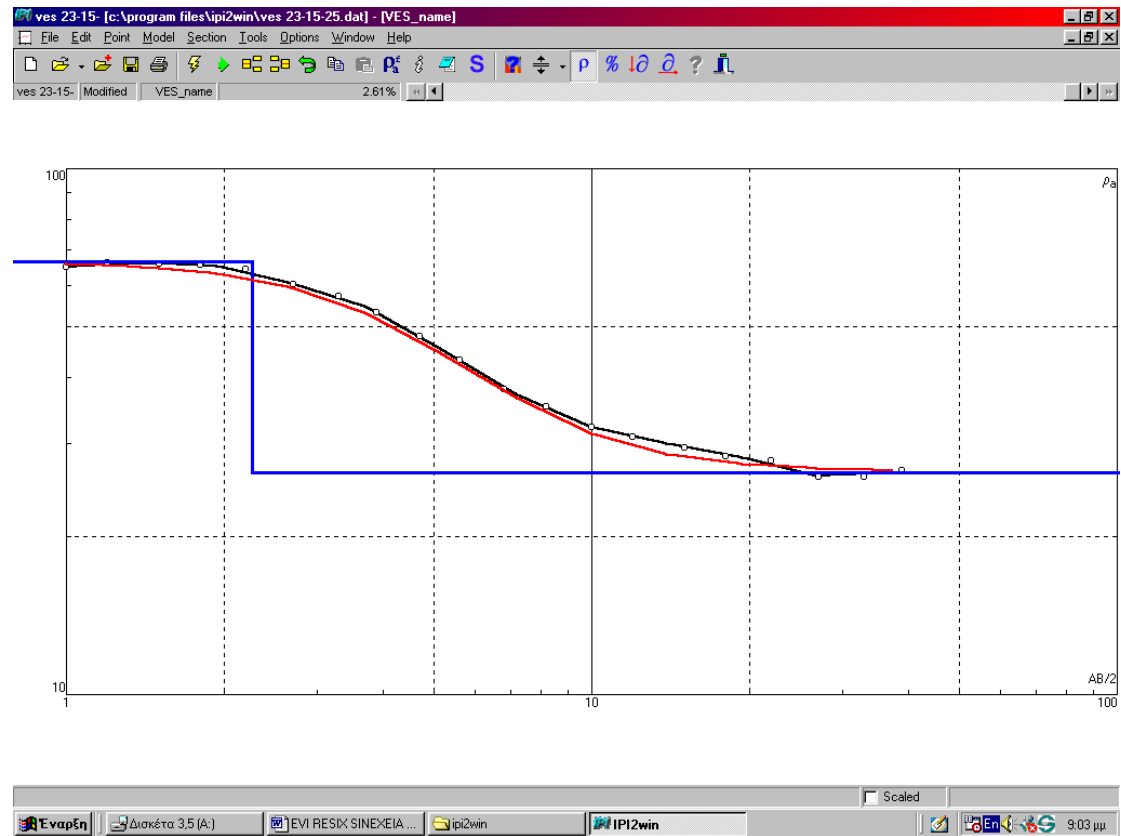
Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	61.2	17.8	26.7
Depth (m)	1.2	3.3	—

VES 23**FIT 7.87%**

Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	63.7	12.5	24.7
Depth (m)	0.86	2.7	—

VES 25

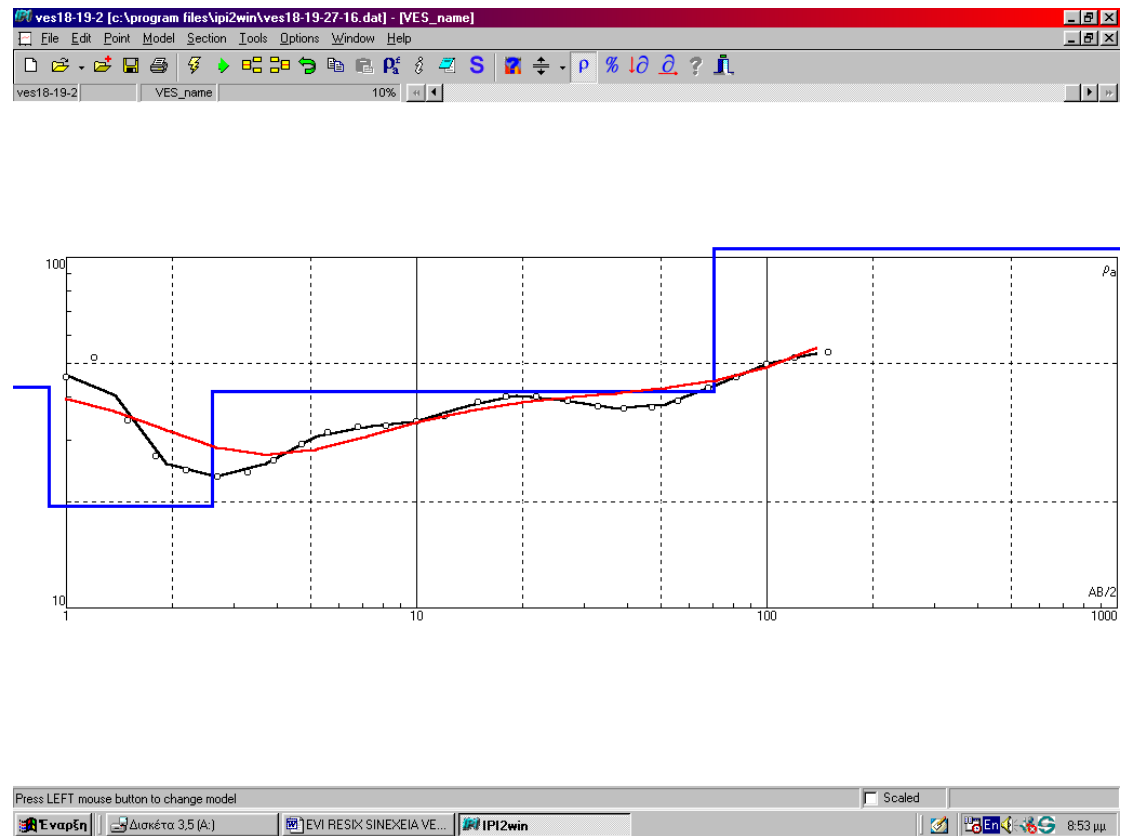
FIT 2.61%



Layer	1	2
Resistance(Ω m)	66.5	26.4
Depth (m)	2.2	—

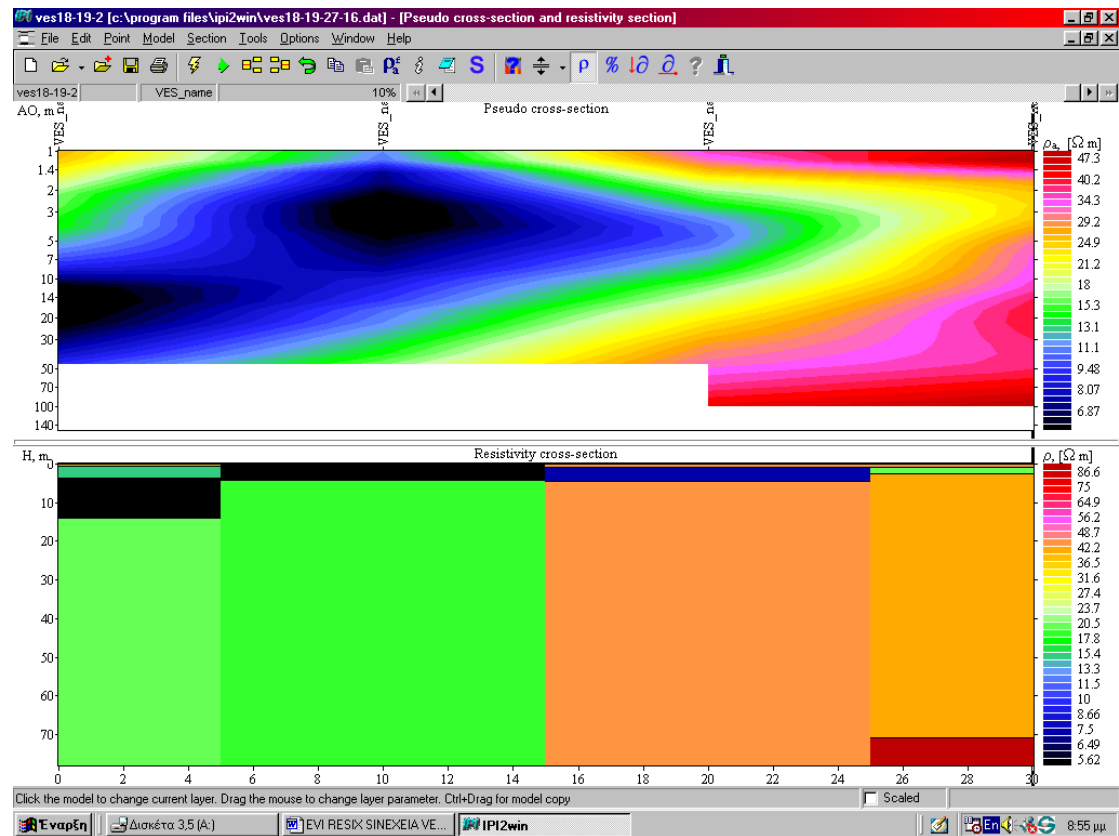
VES 26

FIT 10%



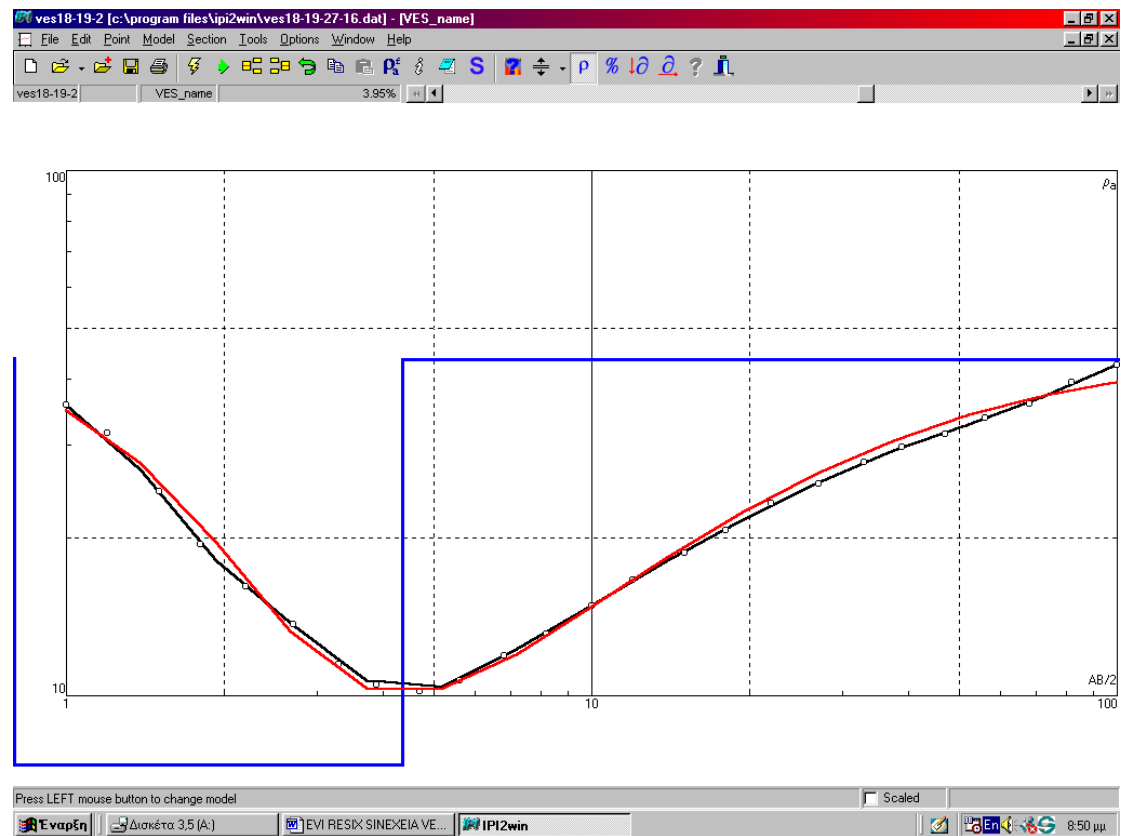
Layer	1	2	3	4
Resistance(Ω m)	42.7	19.5	41.5	106
Depth (m)	0.9	2.6	70.7	—

Ψευδοχρωματική 18-19-27-26



VES 27

FIT 3.95%



Layer	1	2	3
Resistance(Ω m)	43.8	7.4	43.7
Depth (m)	0.7	3.6	—

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**Ερμηνεία δεδομένων με το πρόγραμμα Rockworks****7.1 Εισαγωγή**

Σε αυτό το στάδιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα γίνει εισαγωγή των στοιχείων που προέκυψαν από την αντιστροφή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης (πρόγραμμα RESIX) στο πρόγραμμα Rockworks 99 για την εξαγωγή των συμπερασμάτων . Η απεικόνιση θα πραγματοποιηθεί με την βοήθεια δισδιάστατων και τρισδιάστατων μοντέλων.

7.2 Γενικά για το πρόγραμμα Rockworks 99

Το πρόγραμμα αυτό έχει δημιουργηθεί ειδικά για γεωλογικές εφαρμογές σχετικά με ορυχεία, πετρέλαια και για περιβαλλοντικές εφαρμογές. Διαθέτει την δυνατότητα δημιουργίας πολλών διαγραμμάτων. Εύκολα μπορεί να γίνει η απεικόνιση σημείων στον χάρτη (π.χ. κέντρα βυθοσκοπήσεων) , η δημιουργία ισοϋψών (contour map), δημιουργία ισοϋψών βάση κανάβου (grid-based contour map) ο τρισδιάστατος χάρτης του αναγλύφου της περιοχής μελέτης (3d surface map), ο υπολογισμός όγκων (volumetric), η δημιουργία στρωματογραφικών στηλών (stiplog), δημιουργία διατομών (cross-section), η δημιουργία τομών σχηματισμών διαμέσου γεωτρήσεων (fence diagrams) , η τρισδιάστατη απεικόνιση μοντέλου τεμαχών (stratigraphic block modeling) , η δημιουργία ιστογραμμάτων και δημιουργία υδρογραφήματος.

7.3 Τρόπος εισαγωγής γεωφυσικών δεδομένων

Αρχικά δημιουργείται νέο λογιστικό φύλλο σε μορφή πίνακα όπου τα δεδομένα προέρχονται από το RESIX. Ο πίνακας αυτός περιέχει στην πρώτη στήλη τα ονόματα των βυθοσκοπήσεων και των γεωτρήσεων. Οι επόμενες στήλες (δεύτερη και τρίτη) περιέχουν τις συντεταγμένες των βυθοσκοπήσεων και των γεωτρήσεων. Ακολουθεί μια στήλη που εισάγονται τα υψόμετρα.

Στις επόμενες στήλες εισάγονται τα γεωλογικά στρώματα: Ακόρεστες κροκάλες, άμμο και άργιλο και κορεσμένα κροκαλοπαγή ,άμμο και άργιλο . Στις στήλες αυτές εισάγουμε το απόλυτο υψόμετρο όπου βρίσκεται η οροφή του γεωλογικού στρώματος. Πρέπει να αναφερθεί ότι στρώματα πάχους μικρότερου του 0.5μ δεν συμπεριελήφθησαν λόγω της μη δυνατότητας εισαγωγής δεκαδικών ψηφίων στο πρόγραμμα αυτό. Η τελευταία στήλη δείχνει το μέγιστο βάθος που φτάνει η κάθε βυθοσκόπιση, το οποίο εξαρτάται από το ανάπτυγμα ηλεκτροδίων ρεύματος .

Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι χρειάστηκε η δημιουργία πίνακα όπου τα διάφορα γεωλογικά στρώματα απεικονίζονται με διαφορετικό χρώμα. Όλα τα κορεσμένα στρώματα απεικονίζονται με μπλε χρώμα για τον λόγο που αναφέρθηκε παραπάνω.

7.4 Εφαρμογές προγράμματος Rockworks

7.4.1 Δημιουργία Χαρτών

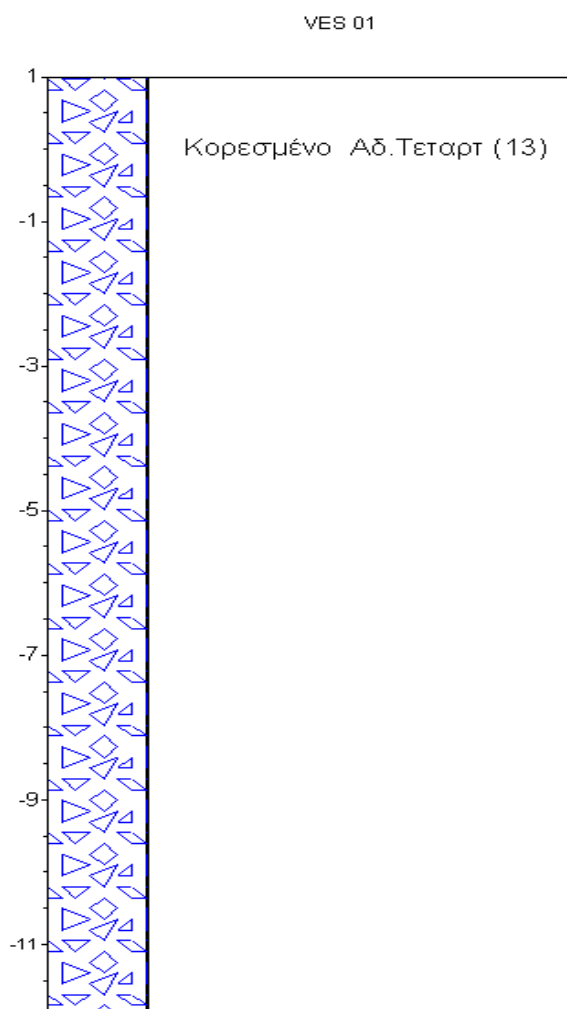
Μια από τις δυνατότητες του προγράμματος όπως αναφέρθηκε και πριν είναι η δημιουργία διάφορων ειδών χαρτών: ισοϋψών (contour map), χάρτες ισοϋψών βάση κανάβων(grid-based contour map) και τρισδιάστατης επιφάνειας (3d-surface maps).

Για την δημιουργία των χαρτών αυτών το πρόγραμμα λειτουργεί ως εξής: αρχικά σαρώνει τα δεδομένα που εισήχθησαν , ακολουθεί ο προσδιορισμός της θέσης βυθοσκοπήσεων στο χώρο και το τελευταίο βήμα είναι ο σχεδιασμός ισοϋψών γραμμών , γεμίζοντας το κενό με κατάλληλα χρώματα για την απεικόνιση των υψομέτρων. Με κατάλληλη ρύθμιση είναι δυνατή η προβολή των σημείων των βυθοσκοπήσεων στον χάρτη. Ο χάρτης ισοϋψών της μελετούμενης περιοχής απεικονίζεται στο σχήμα (7.1) .

7.4.2 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της γεωηλεκτρικής διασκόπησης με την χρήση στρωματογραφικών στηλών

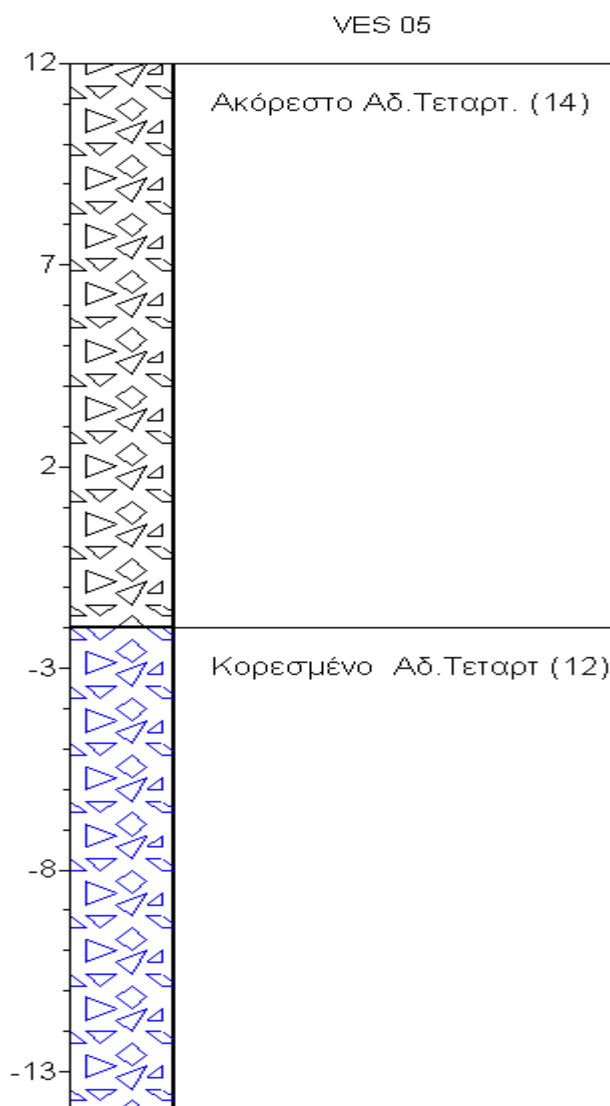
Η επόμενη εφαρμογή αφορά τη δημιουργία στρωματογραφικών στηλών (strip logs) που βασίζονται σε πληροφορίες από την αντιστροφή των γεωηλεκτρικών καμπυλών για κάθε βυθοσκόπηση ξεχωριστά. Για την κατανόηση της εναλλαγής των γεωλογικών στρωμάτων κάθε στρώμα απεικονίζεται με διαφορετικά σχήματα. Ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο απόλυτο υψόμετρο, από το οποίο προκύπτει και το πάχος κάθε στρώματος.

Σύμφωνα με τις θέσεις των βυθοσκοπήσεων υπάρχουν 5 υποπεριοχές (Σχήμα 7.1) Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα στοιχεία μιας ηλεκτρικής βυθοσκόπησης.

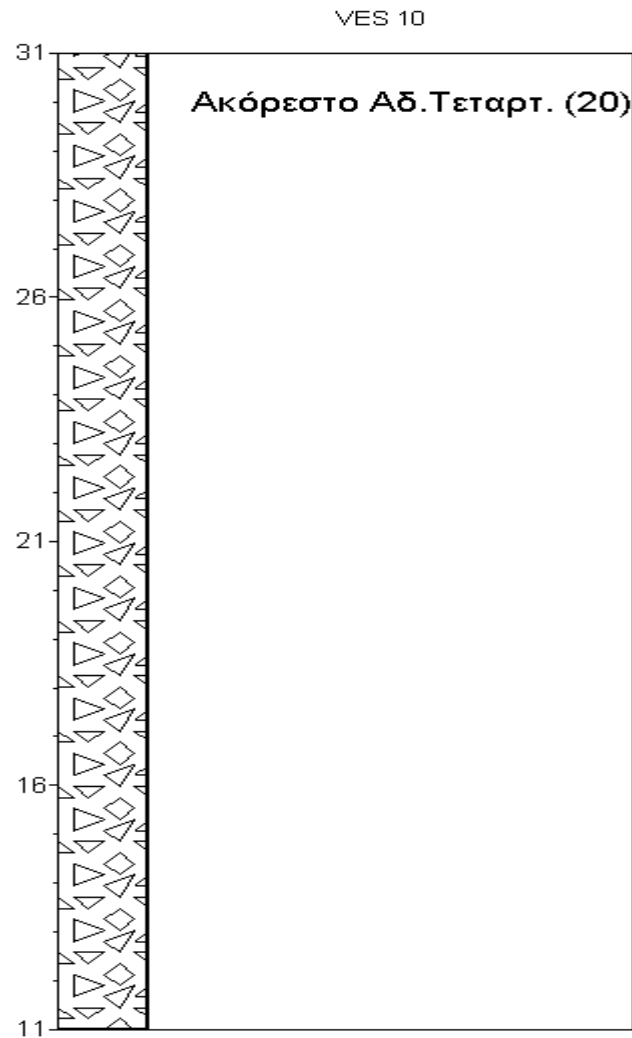


Σχήμα 7.2 Βυθοσκόπηση Ves 01

Πρέπει να αναφερθεί ότι η βυθοσκόπηση αυτή βρίσκεται κοντά στην παραλία, όπου ο υφάλμυρος υδροφόρος σχηματισμός συναντάται σχεδόν στη επιφάνεια (σχήμα 7.2). Στις βυθοσκοπήσεις που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από την παραλία εμφανίζεται ο ίδιος υδροφόρος σχηματισμός σε μεγαλύτερα βάθη. Στο σχήμα 7.3 παρουσιάζεται άλλη βυθοσκόπηση από την ίδια υποπεριοχή, η οποία βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από την θάλασσα.

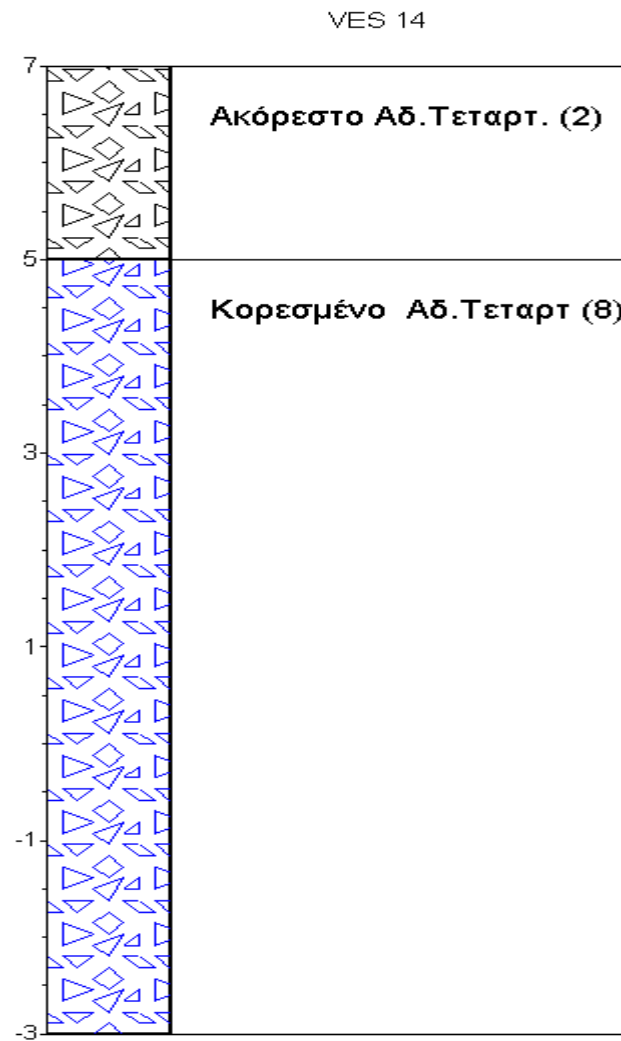


Σχήμα 7.3 Βυθοσκόπηση Ves 05



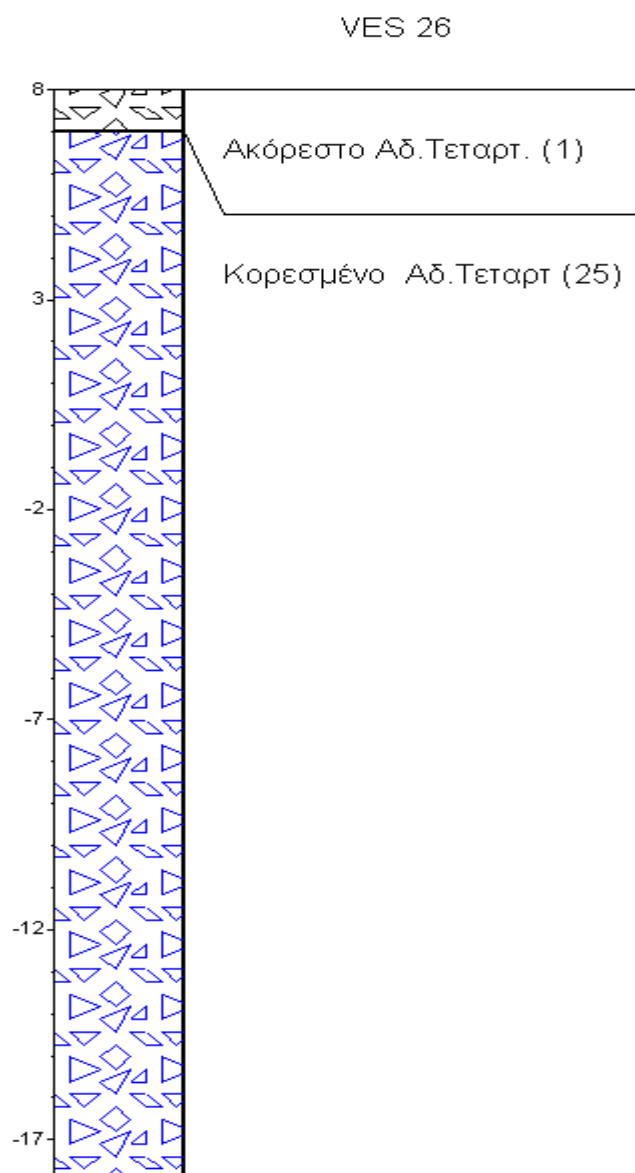
Σχήμα 7.4 Βυθοσκόπηση Ves 10

Παρατηρούμε ότι σε αυτή την υποπεριοχή των βυθοσκοπήσεων 9-11-10 δεν εντοπίστηκε ο υδροφόρος μέχρι το βάθος διασκόπησης (Σχήμα 7.4). Επομένως για την βυθοσκόπηση Ves 10 παρατηρήθηκε μόνο το ακόρεστο αδιαίρετο Τεταρτογενές αποτελείται από κροκάλες, άμμο και άργιλο.



Σχήμα 7.5 Βυθοσκόπηση Ves 14

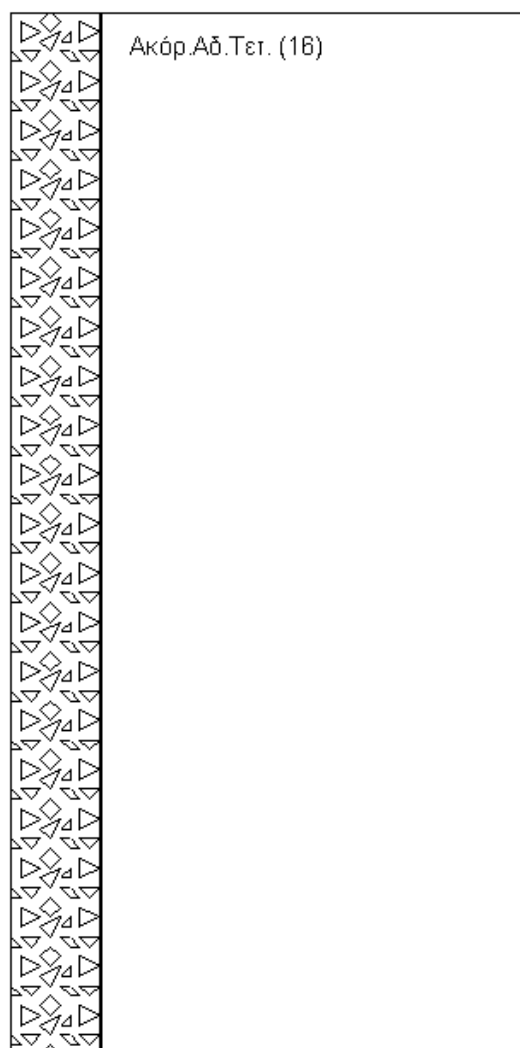
Στις περιοχές Δυτικά του Τυμπακίου πραγματοποιήθηκαν οι περισσότερες βυθοσκοπήσεις στις οποίες ο υφάλμυρος υδροφόρος σχηματισμός εμφανίζεται σε μικρό σχετικά βάθος(Σχήμα 7.5). Το ίδιο ισχύει και στην υποπεριοχή που περιλαμβάνει τις βυθοσκοπήσεις: 26-27-18-19:



Σχήμα 7.6 Βυθοσκόπηση Ves 26

Ειδικότερα στην VES 26 (Σχήμα 7.6) ο υδροφόρος εμφανίζεται στα 7μ.

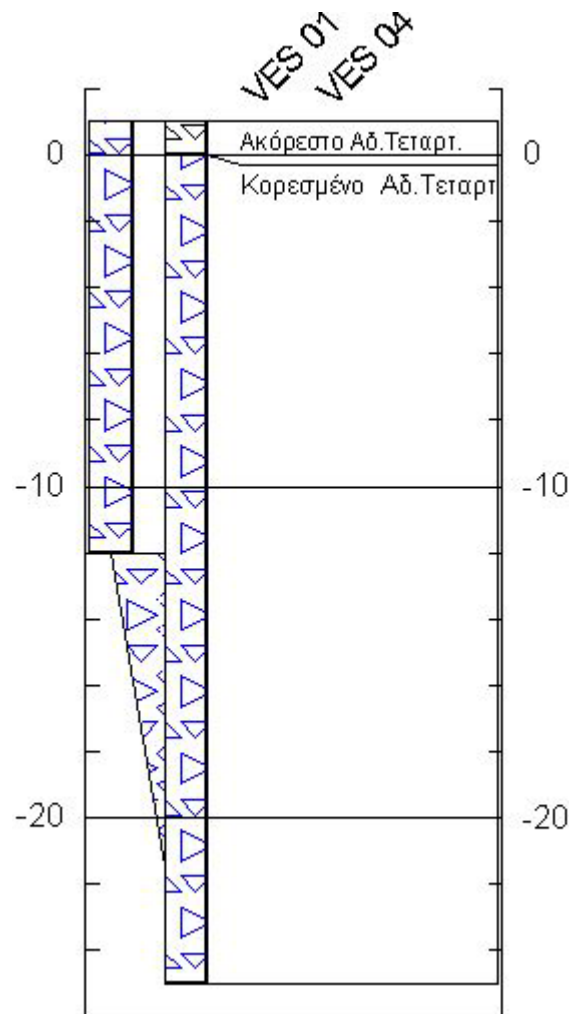
VES 20

**Σχήμα 7.7** Βυθοσκόπηση VES 20

Τέλος, ανατολικά του Τυμπακίου(Σχήμα 7.7) ο υδροφόρος εμφανίζεται σε μεγαλύτερα βάθη από το βάθος διασκόπησης της VES 20.

7.4.3 Δημιουργία γεωηλεκτρικής τομής

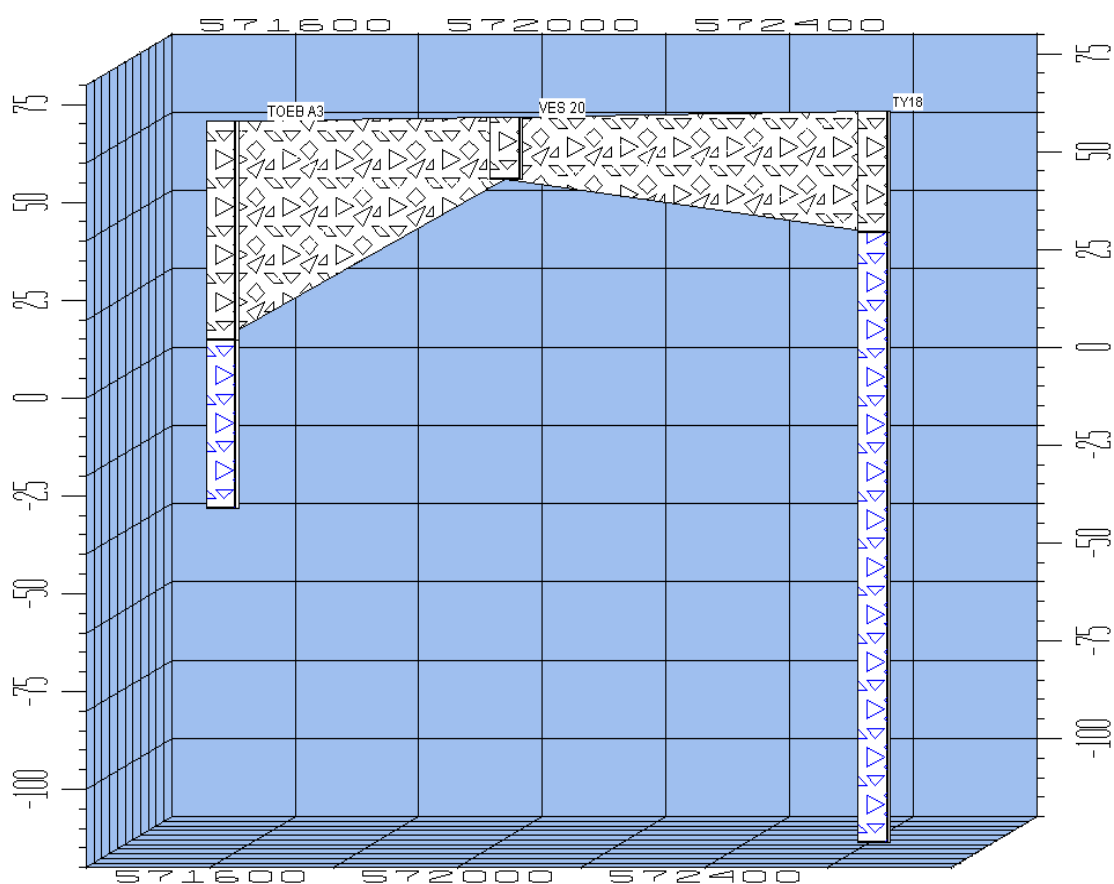
Από τον συνδυασμό των βυθοσκοπήσεων προκύπτει γεωηλεκτρική τομή, όπως αυτή του σχήματος 7.8 όπου παρουσιάζονται στον δισδιάστατο χώρο οι βυθοσκοπήσεις VES 01 και VES 04, στις οποίες το ακόρεστο στρώμα του Αδιαίρετου Τετατογενούς έχει πολύ μικρό πάχος.



Σχήμα 7.8 Γεωηλεκτρική τομή VES 01-04

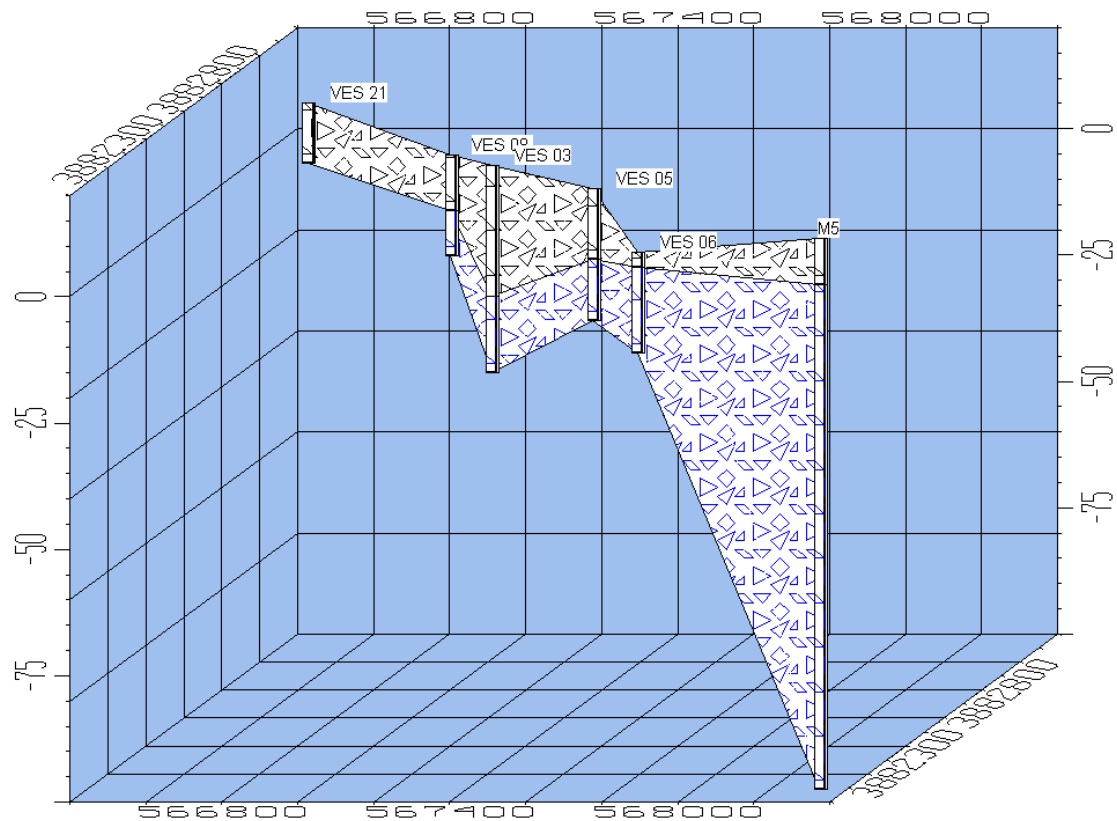
7.4.4. Δημιουργία τομών σχηματισμών ανάμεσα σε γεωτρήσεις και βυθοσκοπήσεις (fence diagram)

Οι τομές σχηματισμών ανάμεσα σε γεωτρήσεις και βυθοσκοπήσεις επιτρέπουν τον χωρικό συσχετισμό των γεωλογικών και γεωφυσικών στοιχείων. Η διαφορά με τις γεωηλεκτρικές τομές είναι ότι οι τομές σχηματισμών ανάμεσα από βυθοσκοπήσεις δίνουν καλύτερη εικόνα στον χώρο..



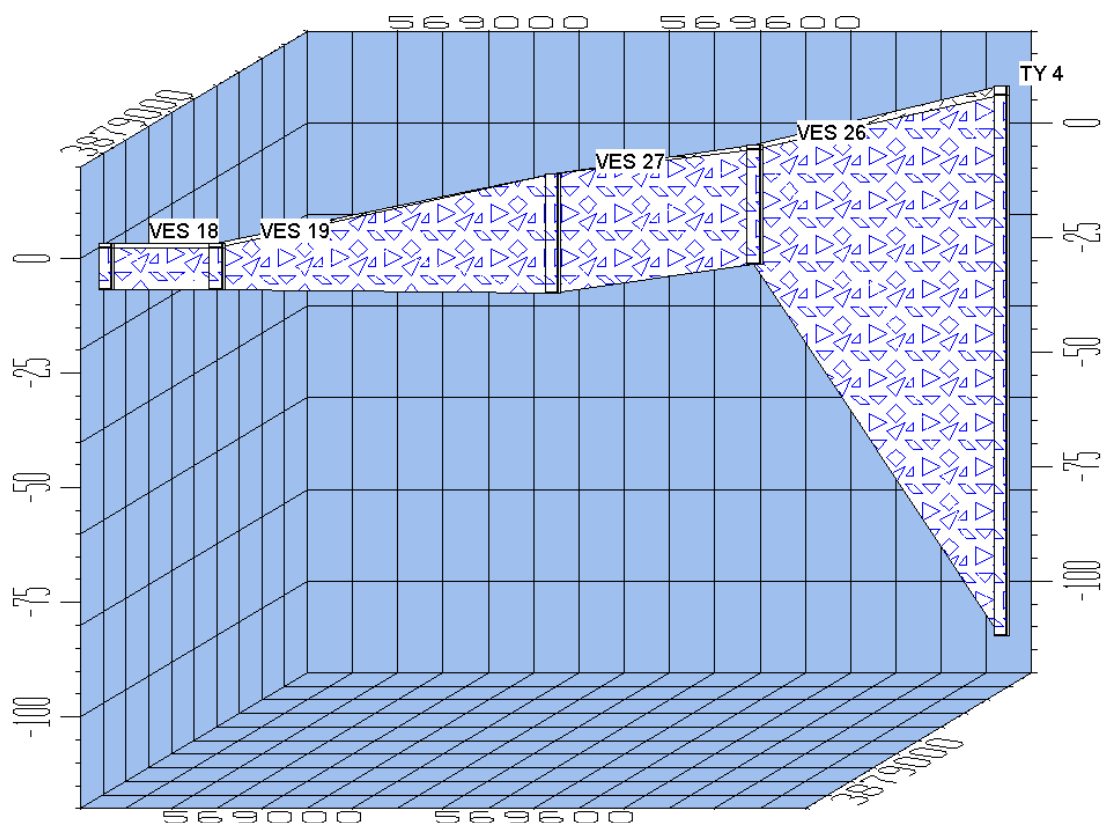
Σχήμα 7.9 Τομές μεταξύ της VES 20 και 2 γεωτρήσεων (fence diagram)

Στο σχήμα 7.9 απεικονίζεται η βυθοσκόπηση ves 20 και παρατίθενται και οι γεωτρήσεις TOEB A3 και TY18 που βρίσκονται σε κοντινές θέσεις. Στην τομή αυτή παρατηρείται ότι η VES 20 δεν εντοπίζει τον υδροφόρο σχηματισμό λόγω του μικρού αναπτύγματος των ηλεκτροδίων ρεύματος, που περιορίζει το βάθος της διασκόπησης.



Σχήμα 7.10 Διάγραμμα τομών ανάμεσα από τις βυθοσκοπήσεις 21-08-03-05-06 και την γεώτρηση M5 (fence diagram)

Στα σχήματα 7.10 και 7.11 παρουσιάζεται η χωρική εξάπλωση του υδροφόρου σχηματισμού, όπως αυτή προκύπτει από τον συνδυασμό γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων.



Σχήμα 7.11 Διάγραμμα τομών σχηματισμών ανάμεσα από βυθοσκοπήσεις 18-19-27-26 και της γεώτρησης TY4 (fence diagram)

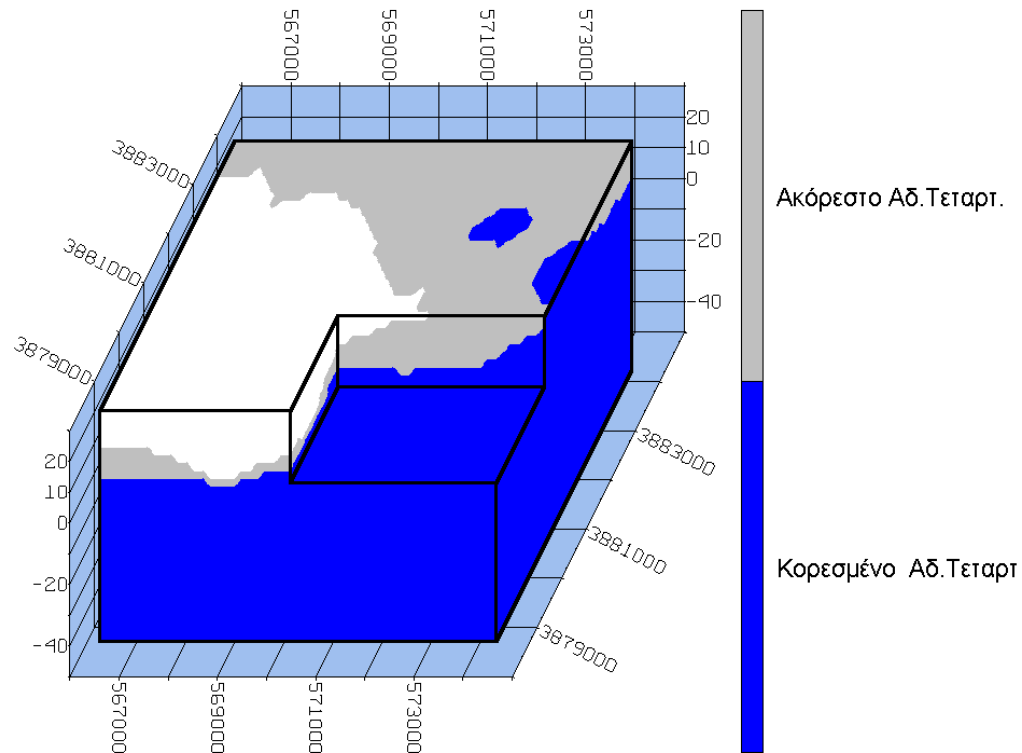
7.4.5 Δημιουργία Μοντέλου τεμαχίων

. Για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου το πρόγραμμα ακολουθεί τα εξής βήματα: Αρχικά σαρώνει τα γεωλογικά δεδομένα , ακολουθεί η δημιουργία ενός επιφανειακού μοντέλου για κάθε γεωλογικό στρώμα και στην συνέχεια τα συνδυάζει όλα για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία τα σχήματα 7.12 και 7.13 υποδεικνύουν την εξάπλωση του υδροφόρου σχηματισμού σε όλη την περιοχή μελέτης.

Σχήμα 7.12 Μοντέλο τεμαχίων Νότιο-Δυτικά (southwest)

Το τρισδιάστατο μοντέλο τεμαχίων όπου ο υδροφόρος σχηματισμός εμφανίζεται με μπλε χρώμα σε θετικά υψόμετρα προς δυσμάς .



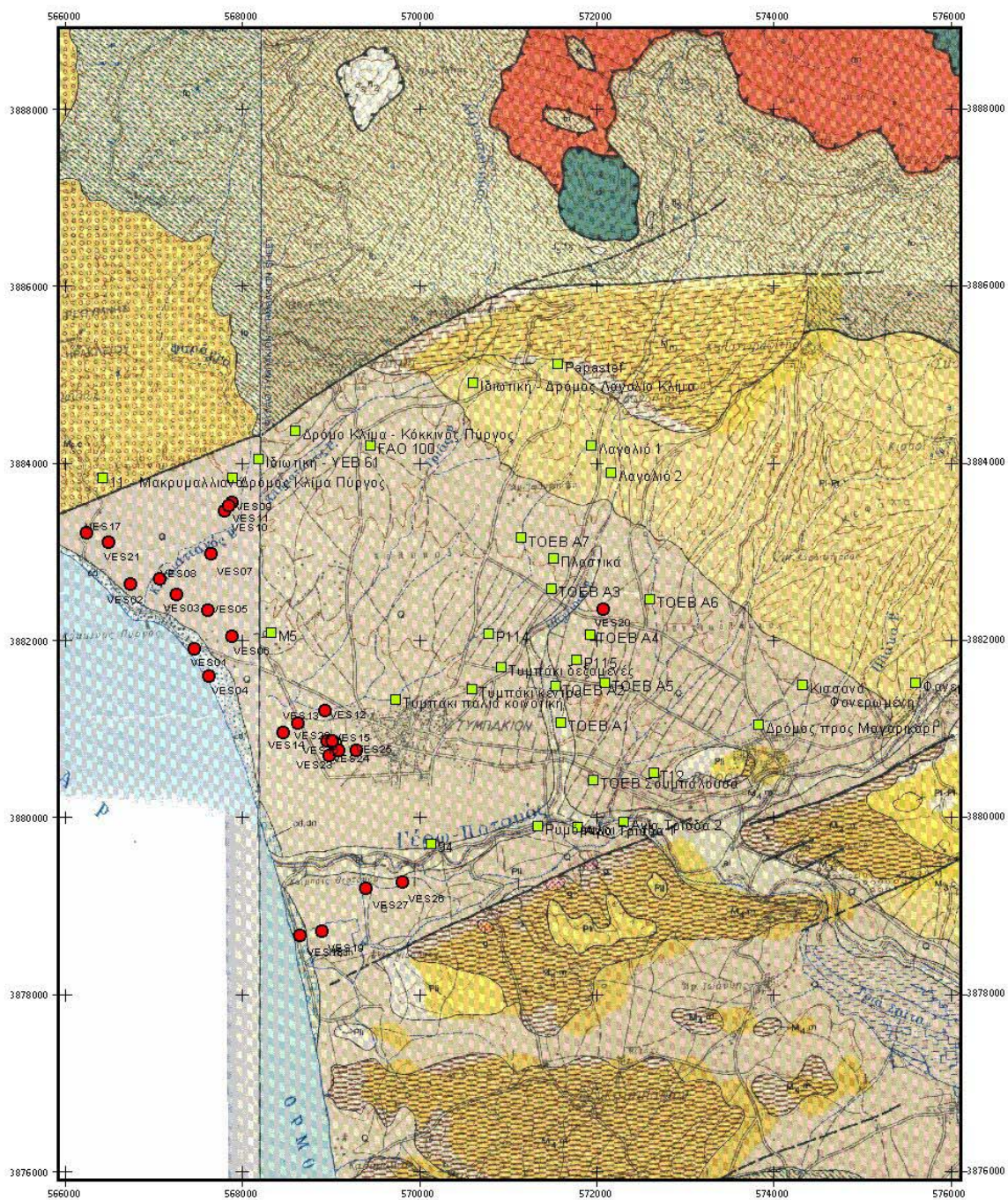
Σχήμα 7.13 Το ίδιο τρισδιάστατο Μοντέλο τεμαχίων με το σχήμα 7.12 από Νότιο-Ανατολικά(southeast)

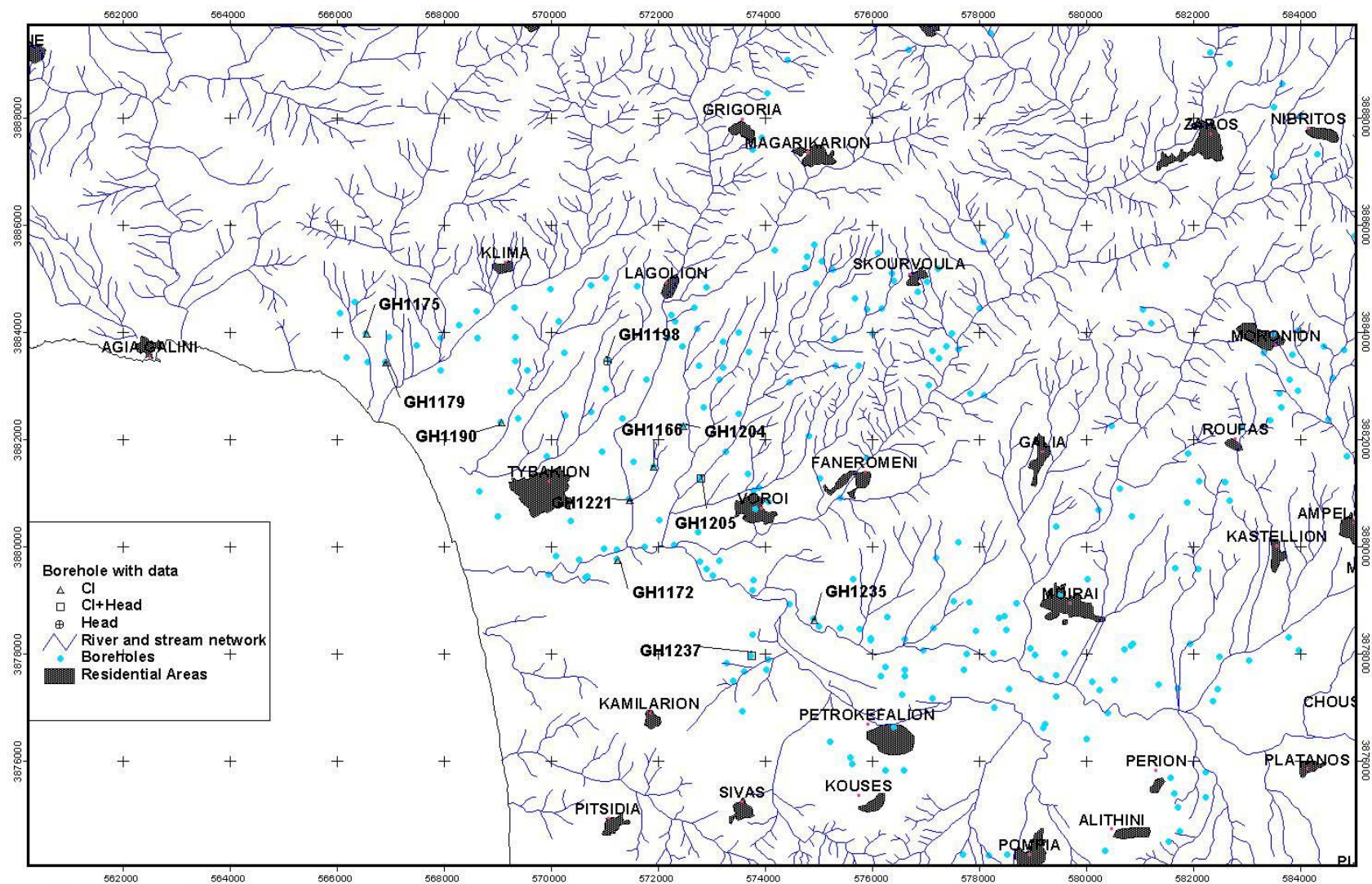
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Στην βυθοσκόπηση VES 06 παρατηρείται ότι στο σημείο που γίνεται η διείσδυση του θαλασσινού νερού , η τιμή της ειδικής αντίστασης είναι σχετικά υψηλή $R=48.1\Omega\mu$. Το πόρισμα αυτό συμφωνεί με τα δεδομένα της κοντινής γεώτρησης M5, όπου προκύπτει, ότι η συγκέντρωση των χλωριόντων είναι μικρή (100ppm),εφόσον στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση χλωριόντων είναι γύρω στα 2000ppm . Έτσι εξηγείται η υψηλή σχετικά τιμή της αντίστασης.
- Στην περιοχή όπου πραγματοποιήθηκαν οι βυθοσκοπήσεις VES 17, 21, 08, 07 και στην περιοχή της VES 20 προτείνεται να πραγματοποιηθούν βυθοσκοπήσεις μεγαλύτερου βάθους, για να βρεθεί το σημείο υφαλμύρωσης, γιατί σύμφωνα με γεωτρητικά δεδομένα η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων .
- Στην γεώτρηση Ριμόμυλος (GH 1172), χημικές αναλύσεις απέδειξαν ότι τα χλωριόντα είναι της τάξης των 200 ppm , ενώ Δυτικότερα, στην γεώτρηση (GH 1179), τα χλωριόντα είναι γύρω στα 700 ppm . Έτσι προκύπτει ότι οι τιμές των χλωριόντων είναι μεγαλύτερες προς τα Δυτικά.
- Σύμφωνα με τις βυθοσκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή Δυτικά του Τυμπακίου παρατηρείται η εμφάνιση του υφάλμυρου υδροφόρου σχηματισμού σε σχετικά μικρό βάθος από τιμή απόλυτου υψόμετρου 8μ έως τιμή απόλυτου υψόμετρου 0μ.
- Ο υδροφόρος ορίζοντας προς τα Ανατολικά βρίσκεται σε μεγαλύτερα θετικά υψόμετρα από την παραλιακή ζώνη. Στην

περιοχή αυτή προτείνεται να εγκατασταθεί δίκτυο ηλεκτρικής τομογραφίας για την παρακολούθηση της υφαλμύρωσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α





Borehole and river network map of the Tibaki area.
 (The boreholes for which the Region of Crete holds groundwater level and chloride data are grouped individually)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

GH1166	
Ημερομηνίες	Χλωριόντα
02/07/86 12:00:00	124
01/01/87	106
02/07/87 12:00:00	89
01/01/88	124
02/07/88	124
01/01/89	124
02/07/89 12:00:00	106
01/01/90	96
02/07/90 12:00:00	106
01/01/91	106
02/07/91 12:00:00	106
01/01/92	106
02/07/92	106
01/01/94	89
02/07/94 12:00:00	106
02/07/95 12:00:00	89
01/01/96	106
02/07/96	124
01/01/97	124
02/07/97 12:00:00	124
01/01/98	124
02/07/98 12:00:00	124
01/01/99	124
02/07/99 12:00:00	124
01/01/00	142

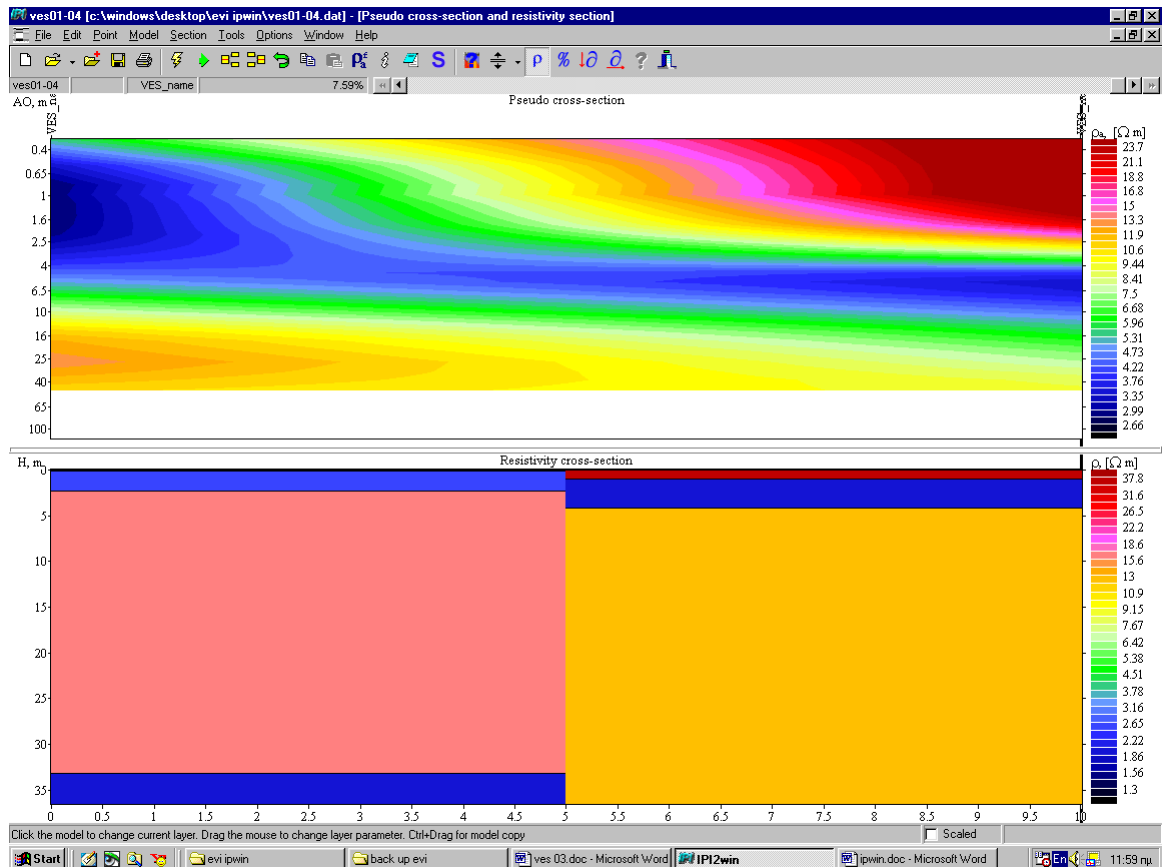
GH1172	
Ημερομηνία	Χλωριόντα
02/07/86 12:00:00	124
01/01/87	195
02/07/87 12:00:00	124
01/01/88	159
02/07/88	213
01/01/89	230
02/07/89 12:00:00	142
01/01/90	266
02/07/90 12:00:00	124
01/01/91	177
02/07/91 12:00:00	106
01/01/92	106
02/07/92	106
01/01/93	124
02/07/93 12:00:00	124
01/01/94	142
02/07/94 12:00:00	159
01/01/95	159
02/07/95 12:00:00	177
01/01/96	142
02/07/96	195
01/01/97	177
02/07/97 12:00:00	213
01/01/98	142
02/07/98 12:00:00	142
01/01/99	213
02/07/99 12:00:00	213
01/01/00	213

GH1179	
Ημερομηνία	Χλωριόντα
02/07/86 12:00:00	621
01/01/87	816
02/07/87 12:00:00	639
01/01/88	745
02/07/88	548
01/01/89	674
02/07/89 12:00:00	639
01/01/90	745
02/07/90 12:00:00	585
01/01/91	887
02/07/91 12:00:00	875
01/01/92	887
02/07/92	781
01/01/93	891
02/07/93 12:00:00	781
01/01/94	816
02/07/94 12:00:00	798
01/01/95	966
02/07/95 12:00:00	656
01/01/96	834
02/07/96	700
01/01/97	852
02/07/97 12:00:00	683
01/01/98	887
02/07/98 12:00:00	666
01/01/99	798
02/07/99 12:00:00	683
01/01/00	639

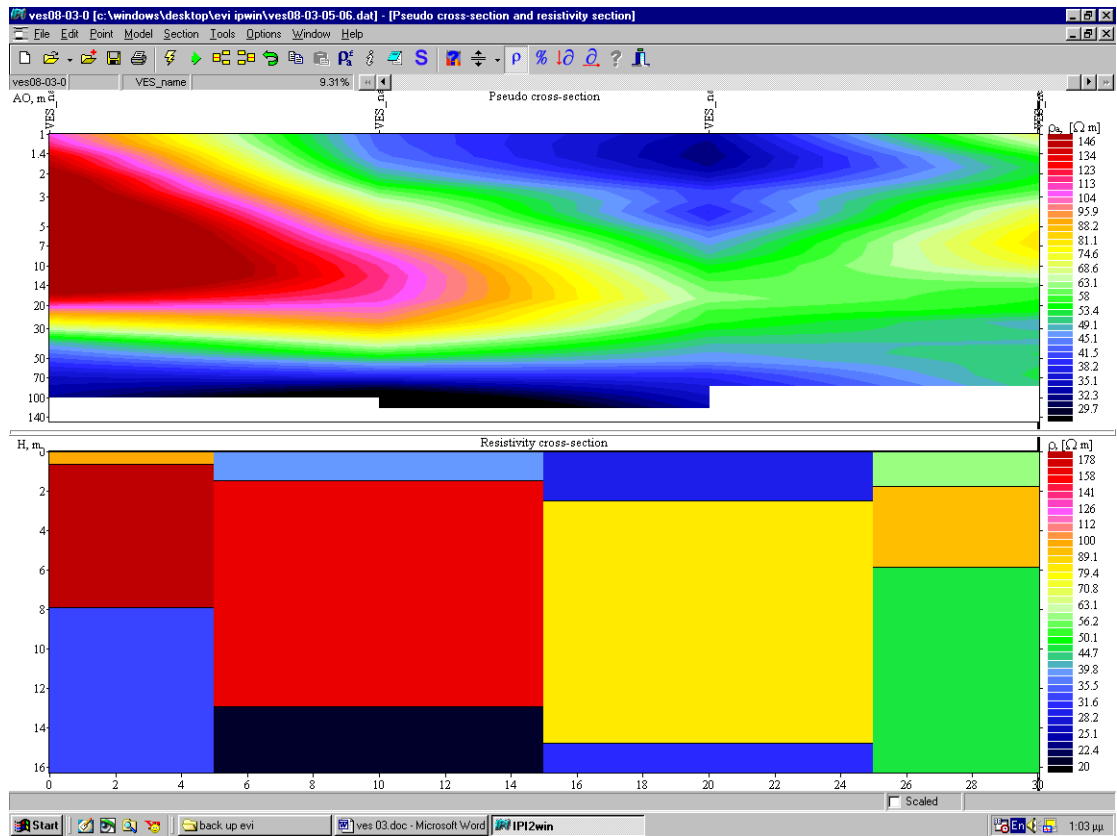
GH 1190	
Ημερομηνίες	Χλωριόντα
02/07/86 12:00:00	106
01/01/87	124
02/07/87 12:00:00	106
01/01/88	124
02/07/88	124
01/01/89	124
02/07/89 12:00:00	124
01/01/90	142
02/07/90 12:00:00	89
01/01/91	124
02/07/91 12:00:00	124

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

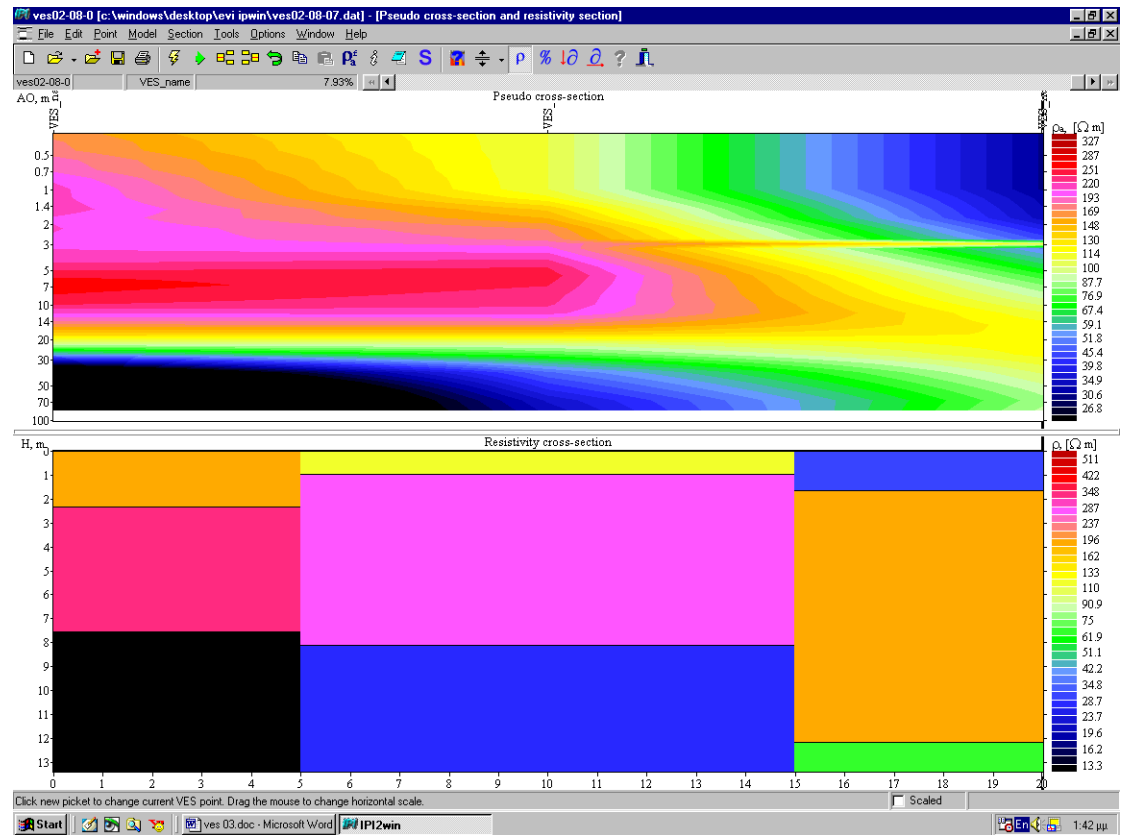
Ψευδοχρωματική 01-04



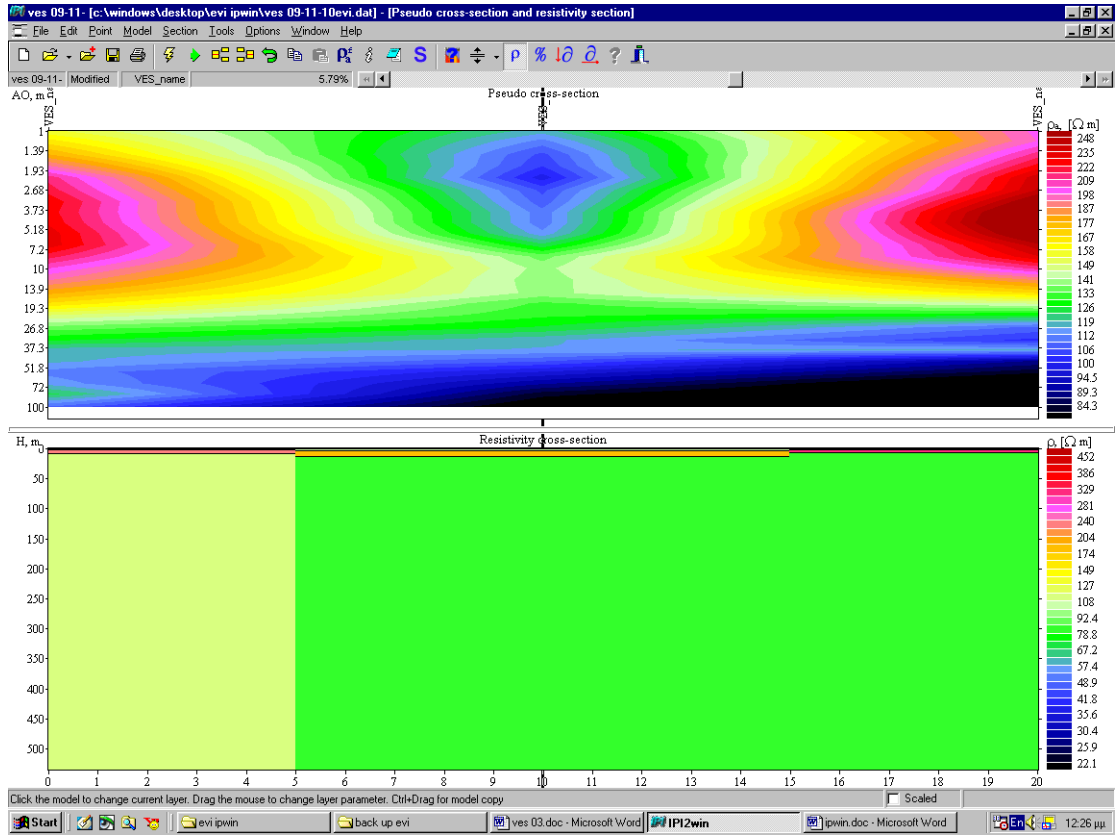
Ψευδοχρωματική 08-03-05-06



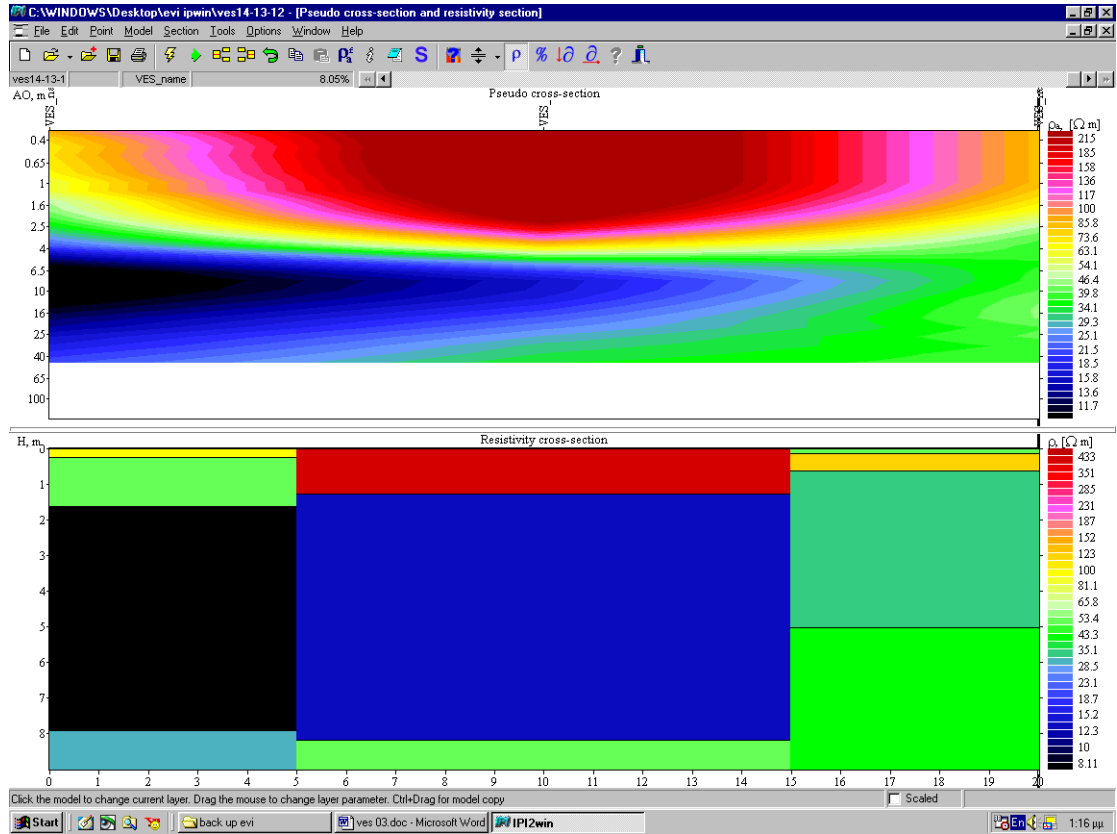
Ψευδοχρωματική VES 02-08-07



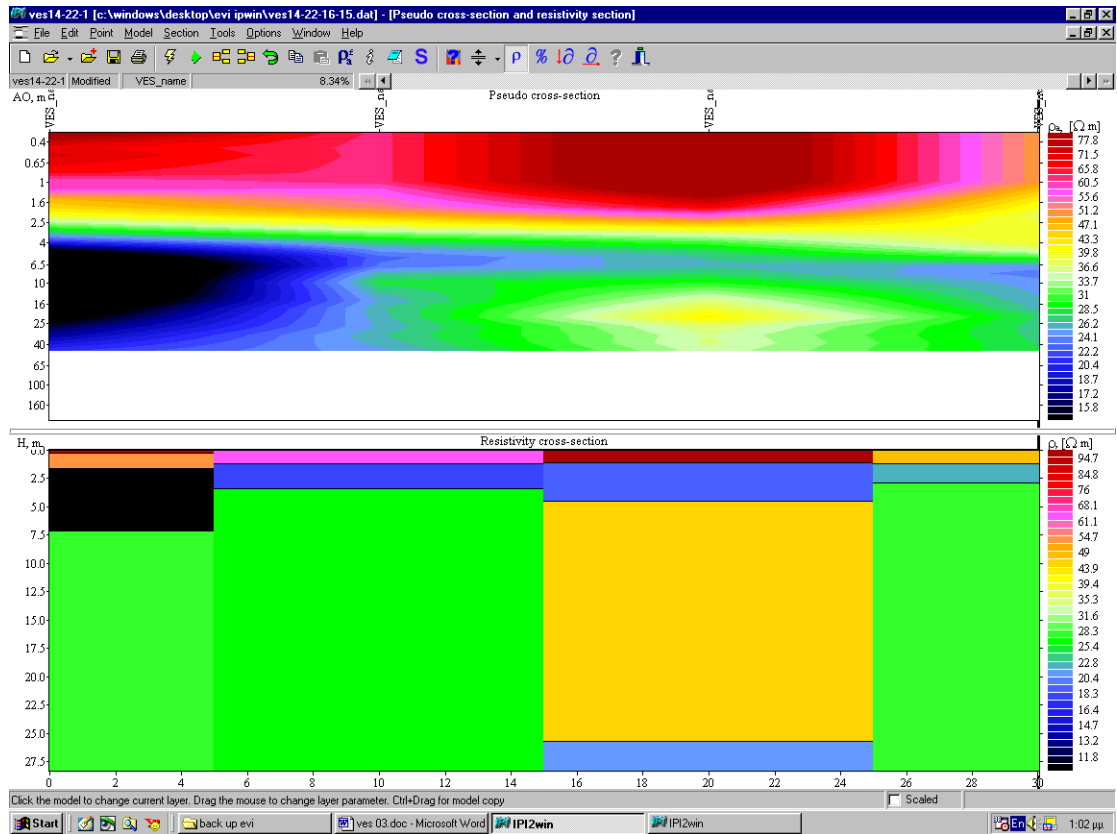
Ψευδοχρωματική 09-11-10



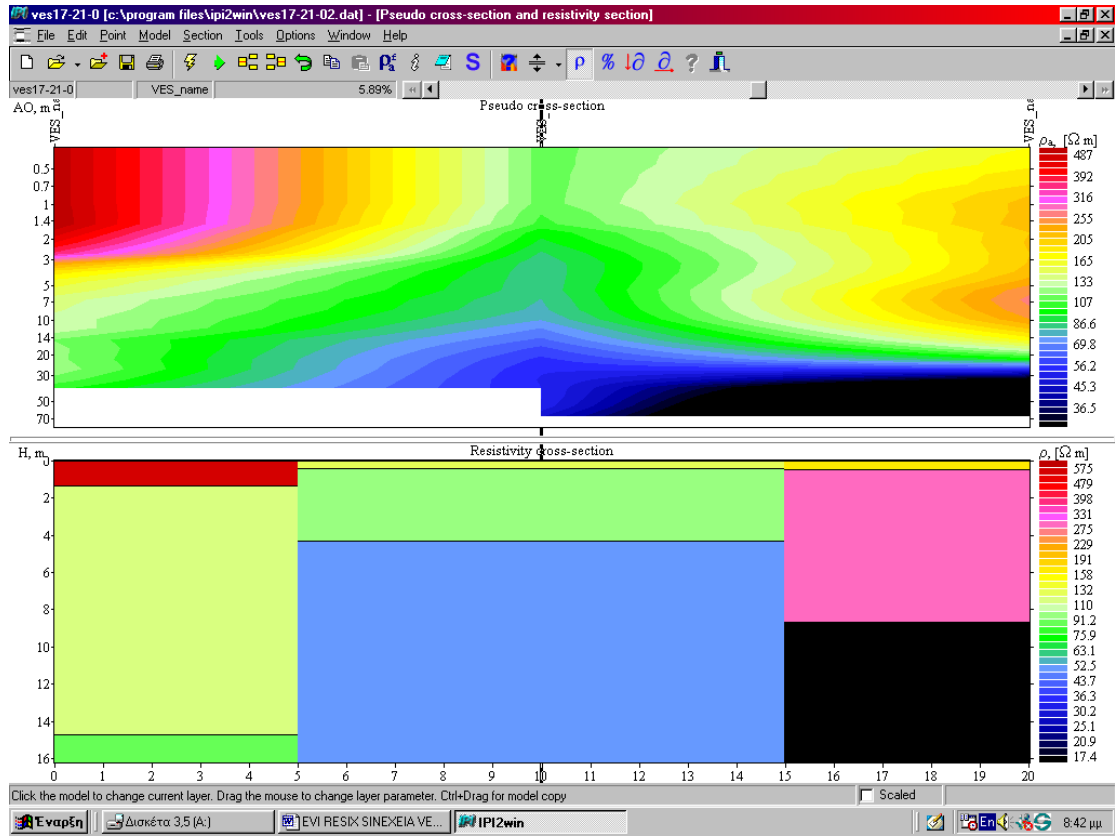
Ψευδοχρωματική 14-13-12



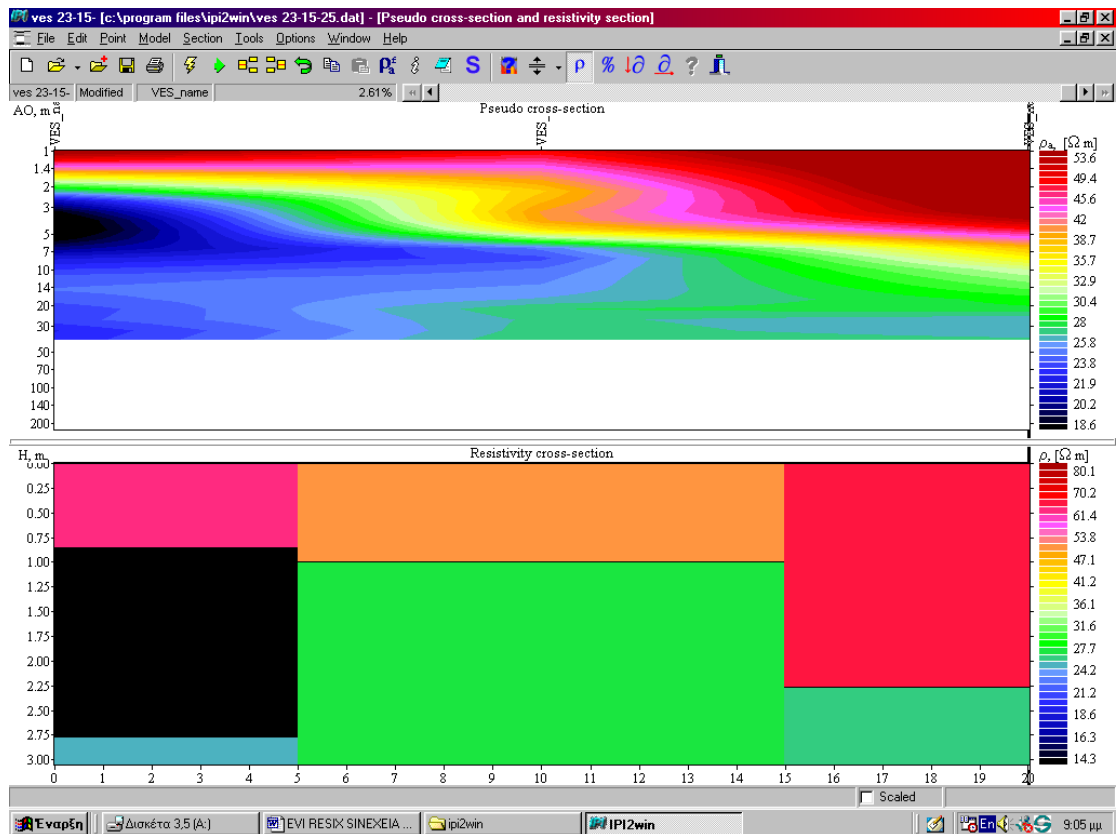
Ψευδοχρωματική 14-22-16-15



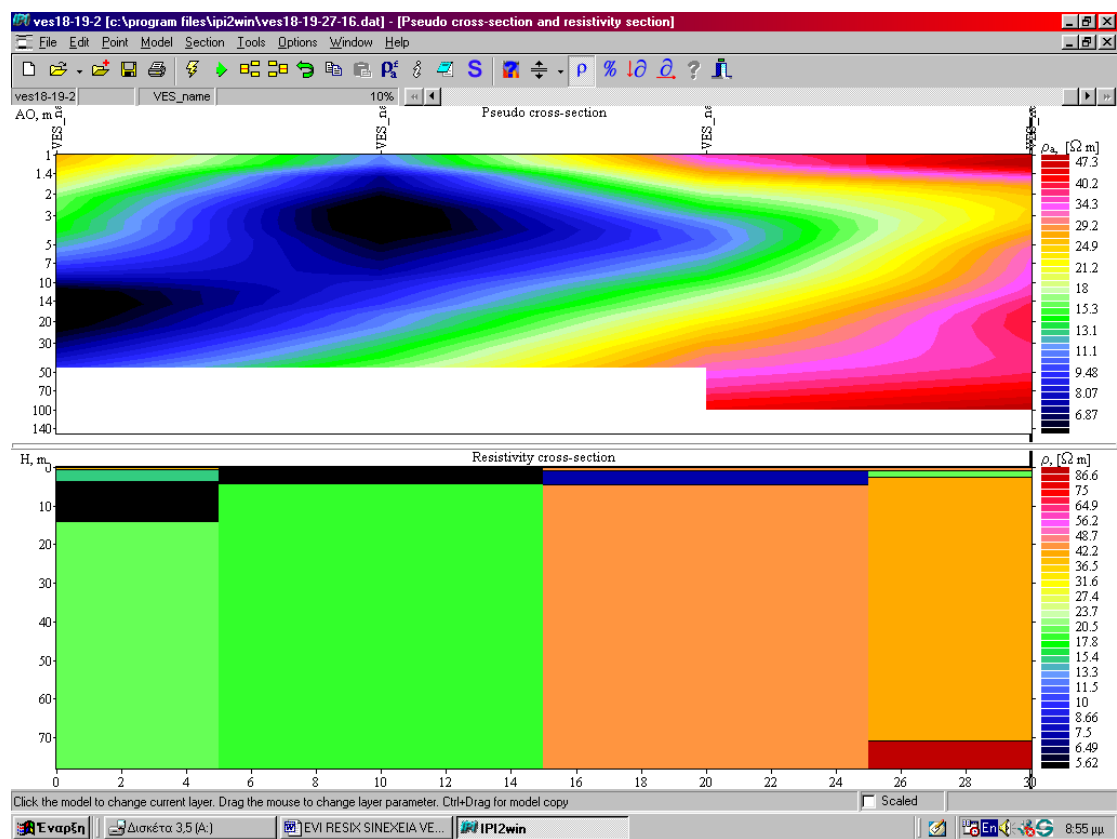
Ψευδοχρωματική 17-21-02



Ψευδοχρωματική 23-15-25



Ψευδοχρωματική 18-19-27-26



ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. Singh-C-L; Yadav-G-S** , Geoelectrical soundings for the study of suitable aquifers in the Gangetic alluvium of Allahabad region, Proceedings of the Indian Academy of Sciences: Earth and Planetary Sciences. Vol. 91; 1, Pages 21-28,1982.
- 2. De-Beer-J-H; Joubert-S-J; Van-Zijl-J-S-V**, Resistivity studies of an alluvial aquifer in the Omaruru Delta, South West Africa/ Namibia, Transactions of the Geological Society of South Africa. Vol 84; 2 , Pages 115-122,1981.
- 3. Oteri-A-U**,Geoelectric investigation of saline contamination of a chalk aquifer by mine drainage water at Tilmanstone, England, Geoexploration. Vol 19, 3, Pages 179-192. 1981.
- 4. Reynolds-J-M**, Resistivity studies of an alluvial aquifer in the Omaruru Delta, South West Africa/ Namibia, Annals of Glaciology. Vol 3; Pages 279-283,1982.
- 5. Haxhiu-Pellumb; Uci-Arian**, The determination of unpolluted underground water bounds in the Lushnja (Albania) seaside region, Publication of the Academy of Finland. 4/94; Pages 119-124,1994.
- 6. Humphreys-G-L; Linford-J-G; West-S-M**, Application of geophysics to the reclamation of saline farmland in Western Australia Investigations in Geophysics. Vol 5 Pages 175-186, 1991.
- 7. Hagemeyer-R-Todd; Stewart-Mark**, Resistivity investigations of salt-water intrusion near a major sea-level canal, Investigations in Geophysics Vol 5 Pages 67-77,1991.
- 8. Robinson, E. S. & Coruh, C.**, “Basic Exploration Geophysics”, New York: Johny Wily, (1988).

Βιβλιογραφία

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Hamdan Hamdan. Γεωηλεκτρική διασκόπηση στην λεκάνη του ποταμού Κερίτη του Νομού Χανίων (2002), Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης
2. Ζήσης Κ . Γεωηλεκτρική διασκόπηση στην περιοχή Κισσάμου του Νομού Χανίων (2000), Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης
3. Κουκαδάκη Μαρία και Τζιμούρτος Εμμανουήλ. Συμβολή του Υπεδάφειου Ραντάρ στην μελέτη της Ρύπανσης των εδαφών και υπογείων νερών, (2002), Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης
4. Παπαζάχος, Β .Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική”. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, (1986),