

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΒΩΞΙΤΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ ΣΕ ΣΤΟΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ

Τσουρλος Π.¹, Τσόκας Γ.¹ και Γιαμάς Α.²

¹ Τομέας Γεωφυσικής, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 541 24 Θεσσαλονίκη, tsourlos@geo.auth.gr,
gsokas@geo.auth.gr

² S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε., Α. Μεταξά 15, 145 64 Κηφισιά, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία περιγράφει τον τρόπο διεξαγωγής και τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης η οποία πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας ανίχνευσης φακών βωξίτη σε στοές των μεταλλείων βωξίτη Παρνασσού - Γκιώνας σε περιοχή έρευνας και εκμετάλλευσης της εταιρείας S&B Minerals A.E. Σκοπός της έρευνας ήταν να αποτιμηθεί η αποτελεσματικότητα των γεωφυσικών μεθόδων στο να δώσουν ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες σε σχέση με την έκταση των φακών βωξίτη μέσα σε υπάρχουσες μεταλλευτικές στοές ώστε να εκτιμηθεί η δυνατότητα εκμετάλλευσής τους. Η γεωφυσική δομή μελετήθηκε κάνοντας χρήση της γεωηλεκτρικής τομογραφίας και της μεθόδου του ραντάρ διασκόπησης υπεδάφους (GPR). Οι γεωφυσικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, ιδιαίτερα η γεωηλεκτρική τομογραφία, έδειξαν ότι μπορούν να δώσουν θετικά αποτελέσματα στον εντοπισμό βωξίτη κατά την εφαρμογή τους μέσα σε στοές.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο εντοπισμός βωξιτικών κοιτασμάτων με τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων θεωρείται γενικά δύσκολος στόχος, λόγω της σχετικά μικρής αντίθεσης των φυσικών ιδιοτήτων του βωξίτη σε σχέση με τα περιβάλλοντα ασβεστολιθικά πετρώματα που τον φιλοξενούν. Αυτό σε συνδυασμό με τυχόν μεγάλο βάθος ταφής του βωξίτη και σχετικά μικρού πάχους του κοιτάσματος, όπως συμβαίνει στην περιοχή μελέτης, καθιστούν τον εντοπισμό φακών βωξίτη με επιφανειακές γεωφυσικές τεχνικές ιδιαίτερα δύσκολη (Drascovic & Simon, 1992). Τα παραπάνω επιβεβαιώθηκαν για την περιοχή των μεταλλείων βωξίτη Παρνασσού-Γκιώνας. Εργαστηριακές μετρήσεις δειγμάτων, όσο και μετρήσεις εμφανίσεων in-situ έδειξαν ότι οι βωξίτες της περιοχής παρουσιάζουν μικρή αντίθεση ιδιοτήτων π.χ. η τυπική ειδική ηλεκτρική αντίσταση του βωξίτη στην περιοχή είναι 500 Ohm-m ενώ η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υπερκείμενου ασβεστολιθικού σχηματισμού είναι περίπου 300 Ohm-m. Αυτή η σχετικά μικρή αντίθεση της αντίστασης, καθιστά τον εντοπισμό βωξιτικών φακών μέσου πάχους 10m σε βάθος >100m με γεωηλεκτρικές μετρήσεις από την επιφάνεια του εδάφους πρακτικά αδύνατη. Αυτό αποδείχτηκε τόσο με μελέτες προσομοίωσης όσο και με δοκιμαστικές μετρήσεις με διάφορες γεωφυσικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν στην επιφάνεια του εδάφους.

Σε αντίθεση με την επιφανειακή διασκόπηση η γεωφυσική έρευνα μέσα στις στοές φαίνεται να είναι εφικτή καθώς λόγω της εγγύτητας του πομπού/δέκτη με το στόχο η αντίθεση των αντιστάσεων μεταξύ του βωξίτη και του περιβάλλοντος πετρώματος (περίπου 2:1) παρουσιάζεται ως επαρκής. Η χρησιμότητα μιας τέτοιας διασκόπησης έγκειται στο ότι δίνει τη δυνατότητα να εκτιμηθούν οι υπολειπόμενες ποσότητες βωξίτη μέσα στη στοά ώστε να προγραμματιστεί πιθανή μελλοντική εκμετάλλευση. Ανάλογες πληροφορίες μπορούν να ληφθούν μόνο με γεωτρήσεις οι οποίες είναι σαφώς πιο δαπανηρές και χρονοβόρες. Βάσει των παραπάνω αποφασίστηκε η δοκιμαστική χρήση των γεωφυσικών μεθόδων της ηλεκτρικής τομογραφίας και του γεωραντάρ ώστε να αποτιμηθεί η αποτελεσματικότητα των γεωφυσικών μεθόδων στο να δώσουν ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες σε σχέση με την έκταση των φακών βωξίτη μέσα σε υπάρχουσες στοές.

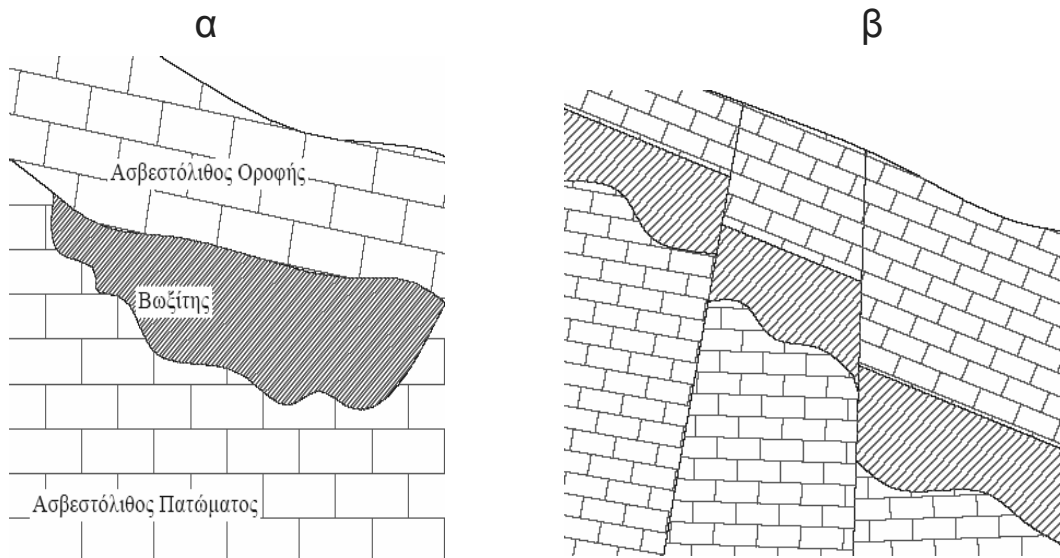
2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η περιοχή του κοιτάσματος ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή των μεταλλείων βωξίτη Παρνασσού - Γκιώνας είναι: φλύσχη, συμπαγείς έως και κρυσταλλικοί βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι του Σενωνίου και Τουρώνιου, ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι του Κενομανίου και Τιθωνίου, σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι του Κενομανίου και Τιθωνίου, και σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι του Κιμεριδίου.

Η σειρά των πετρωμάτων είναι που αφορούν τη περιοχή εκμετάλλευσης είναι:

- α. Φλύσχη (Παλαιογενές).
- β. Λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι (Σενώνιο – Παλαιογενές).
- γ. Συμπαγείς (ή κρυσταλλικοί) βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι (Τουρώνιο – Σενώνιο).
- δ. Βωξίτης ανώτερου βωξίτικου ορίζοντα.
- ε. Ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι (Τιθώνιο- Κενομάνιο) – (Υποκείμενος ασβεστόλιθος).

Η οροφή των κοιτασμάτων είναι επίπεδη και διαταράσσεται μόνο από τεκτονικές ανωμαλίες, ενώ αντιθέτως το δάπεδο είναι ανώμαλο και παρουσιάζονται σημαντικές εξάρσεις των πατωμάτων εντός του βωξίτη λόγω των καρστικών σχηματισμών.



Σχήμα 1: α) τυπική μορφή (κατακόρυφη τομή κατά μέγιστη κλίση) κοιτάσματος βωξίτη περιοχής Παρνασσού – Γκιώνας, β) τυπική μορφή κοιτάσματος βωξίτη με τεκτονισμούς

Η μορφή που απαντάται συχνότερα είναι αυτή της δολίνας. Το σχήμα της είναι οβάλ έως κυκλικό, σπανιότερα δε με ακανόνιστη περίμετρο. Τα τοιχώματα της δολίνας είναι συνήθως μεγάλης κλίσης (πάνω από 50°) ενώ συχνά εμφανίζονται και κατακόρυφα. Ο πυθμένας της δολίνας είναι ανώμαλος, με τυπικά καρστικά "δόντια" που δίνουν την εντύπωση καναλιών. Μία χαρακτηριστική περίπτωση κοιτάσματος βωξίτη φαίνεται στο Σχ. 1α. Σε πολλές περιπτώσεις η μετάβαση από τον βωξίτη στον ασβεστόλιθο, γίνεται σταδιακά με την παρεμβολή στρωμάτων μικρού συνήθως πάχους "γκρι βωξίτη" που είναι καλής ποιότητας με μεγάλη περιεκτικότητα σε Al_2O_3 και πολύ μικρή περιεκτικότητα σε Fe_2O_3 . Βωξίτης ανάλογης ποιότητας εμφανίζεται και κοντά σε τεκτονισμούς από τους οποίους έχουν κυκλοφορήσει υπόγεια ύδατα. Οι ποσότητες τέτοιου βωξίτη είναι μικρές, αλλά λόγω της εξαιρετικής ποιότητας δεν αφήνονται ανεκμετάλλευτες.

Η γενική παράταξη των στρωμάτων είναι Α – Δ και η κλίση τους είναι περίπου 20 grad N. Από άποψη τεκτονικής δομής επικρατούν συστήματα επιπτεύσεων με διεύθυνση σχεδόν παράλληλη σε αυτή της παράταξης των στρωμάτων, καθώς και ρήγματα με διεύθυνση κάθετη στη παράταξη και με εμφανείς τάσεις «ψαλιδισμού» παρουσιάζοντας μεγαλύτερο άλμα πτώσης νοτιότερα (Σχ 1β). Γενικά η κατάσταση εξαλλοίωσης των τοιχωμάτων των ασυνεχειών κρίνεται καλή, αν και κατά τόπους

παρουσιάζονται εμφανίσεις ζωνών με πηλούς και αργίλους. Η παρουσία υπόγειου νερού στις επιφάνειες των ασυνεχειών είναι μέτρια, ενώ σποραδικά παρουσιάζεται σχετικά υψηλή.

Η μέθοδος εξόρυξης που εφαρμόζεται είναι η μηχανοποιημένη μέθοδος των θαλάμων και στύλων με λιθογόμωση.

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

3.1 Μέθοδος τομογραφίας ειδικής αντίστασης

Οι τεχνικές της ηλεκτρικής τομογραφίας είναι καθιερωμένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες στην επίλυση πολλών προβλημάτων ανίχνευσης του υπεδάφους (Ward 1989).

Στόχος της μεθόδου τομογραφίας ειδικής αντίστασης είναι η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού στην επιφάνεια λόγω της ροής ρεύματος εντός του εδάφους. Η μετρηθείσα πτώση του δυναμικού αντικατοπτρίζει τη δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να εξαναγκασθεί να ρέει στο έδαφος, δίδοντας έτσι μια ένδειξη της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους, η οποία εξαρτάται άμεσα από τον τρόπο με τον οποίο το ρεύμα διαρρέει το υπέδαφος. Εφόσον η ροή του ρεύματος σχετίζεται με τη λιθολογική σύσταση του υπεδάφους η γνώση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να αποτελέσει τη βάση διάκρισης των χαρακτηριστικών του.

Σύμφωνα με την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, πρέπει να χρησιμοποιηθούν δύο ηλεκτρόδια ρεύματος (θετικός και αρνητικός πόλος) για τη διοχέτευση ρεύματος στο υπέδαφος, ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά ηλεκτρόδια (probes) για τη μέτρηση της πτώσης του δυναμικού, δηλαδή κάθε μέτρηση απαιτεί συνολικά τέσσερα ηλεκτρόδια. Το βάθος στο οποίο η κάθε μέτρηση μπορεί να «φθάσει» εντός του εδάφους μπορεί να ελέγχεται με τη ρύθμιση της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων. Γενικά το βάθος διείσδυσης αυξάνεται όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Βάσει αυτών των αρχών, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μια σειρά μετρήσεων (όδευση), αυξάνοντας την απόσταση των ηλεκτροδίων, προκειμένου να ληφθεί μια ένδειξη της διακύμανσης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους της υπό μελέτη περιοχής, τόσο προς την οριζόντια, όσο και προς την κατακόρυφη κατεύθυνση. Όπως συμβαίνει σε κάθε γεωφυσική τεχνική, οι μετρήσεις αυτές (επνομαζόμενες φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης) δεν παρέχουν μια άμεσα αναγνώσιμη «εικόνα» της υπεδάφιας κατάστασης, αλλά απλώς το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα των ιδιοτήτων του υπεδάφους. Επομένως, η εικόνα των φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων μπορεί να απέχει πολύ από την κατανομή των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων (σε περιπτώσεις πολυσύνθετης κατανομής ιδιοτήτων του υπεδάφους).

Πρόσφατα, η έλευση ταχύτατων υπολογιστών επέτρεψε την ανάπτυξη πλήρως αυτοματοποιημένων αλγορίθμων, γνωστοί ως αλγόριθμοι αντιστροφής, οι οποίοι είναι σε θέση να δημιουργήσουν «ακριβείς» εικόνες της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους. Ο όρος «αντιστροφή» στη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης περιγράφει τη (συνήθως πλήρως αυτοματοποιημένη) διαδικασία δημιουργίας μιας εικόνας της «πραγματικής» κατανομής της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους με βάση τα δεδομένα των μετρήσεων.

Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι, από μαθηματικής πλευράς, πολύπλοκοι και επιτρέπουν την ανακατασκευή οποιωνδήποτε ομάδων δεδομένων που έχουν μετρηθεί, ανεξάρτητα από τη διάταξη των ηλεκτροδίων. Επιπλέον, η έλευση κατά τα τελευταία έτη των οργάνων μέτρησης ειδικής αντίστασης επέτρεψε την αυτοματοποίηση της διαδικασίας μέτρησης και, υπό την έννοια αυτή, κάθε συνδυασμός μετρήσεων μπορεί να ληφθεί εύκολα (ακόμη και εντός γεωτρήσεων, για το μεταξύ τους χώρο).

Ο συνδυασμός των αυτοματοποιημένων συστημάτων μέτρησης με τις νέες μεθόδους ερμηνείας (αντιστροφή) περιγράφεται με τον όρο «τομογραφία ειδικής αντίστασης». Ο όρος οφείλεται στην ομοιότητα της ανωτέρω διαδικασίας προς τις ιατρικές τεχνικές δημιουργίας εικόνας (π.χ. τομογραφία με ακτίνες Χ).

3.2 Γεωραντάρ (GPR)

Το ραντάρ διασκόπησης υπεδάφους (ή εν συντομία GPR) είναι ένας γενικός όρος που ισχύει για τεχνικές στις οποίες χρησιμοποιούνται ραδιοκύματα, συνήθως σε φάσμα συχνότητας από 1 έως

1000 MHz, για τη χαρτογράφηση στοιχείων θαμμένων στο έδαφος (ή σε τεχνητές κατασκευές) ή γενικά τη μελέτη του υπεδάφους. Η μέθοδος GPR ερευνά το υπεδάφος με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που διαδίδονται στο έδαφος. Ο τρόπος με τον οποίο τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αλληλεπιδρούν με φυσικά υλικά ελέγχει τη διασπορά των χαμηλών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στο έδαφος και ταυτόχρονα τα εξασθενεί. Επιπλέον, η διαφοροποίηση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων προκαλεί τις ανακλάσεις που λαμβάνονται με το σύστημα GPR (Annan 1992).

Το βάθος διεξόδου του συστήματος ελέγχεται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους και τη συχνότητα που χρησιμοποιείται. Στην πραγματικότητα, όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα και η αγωγιμότητα, τόσο μικρότερο είναι το βάθος διεξόδου.

Σε γεωλογικά υλικά η παρουσία ύδατος αποτελεί έναν από τους σπουδαιότερους παράγοντες προσδιορισμού των ηλεκτρικών ιδιοτήτων. Τα μόρια του ύδατος έχουν μια φυσική, εγγενή, διπολική ροπή. Κατά συνέπεια, τούτο προσδίδει στο υλικό την υψηλή τιμή διηλεκτρικής σταθεράς 80 σε χαμηλή συχνότητα (δηλ. στις τυπικές συχνότητες γεωφυσικών μετρήσεων). Επιπλέον τα διασπώμενα στο νερό ιόντα προκαλούν ηλεκτρική αγωγιμότητα που αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στους περισσότερους σχηματισμούς εδάφους και βράχου. Η αγωγιμότητα είναι χονδρικά ανάλογη προς τη συνολική περιεκτικότητα διαλυμένων στερεών και ως εκ τούτου όσο περισσότερα ιόντα διασπώνται στο διάλυμα τόσο υψηλότερη είναι η αγωγιμότητα.

Το έδαφος μπορεί να εκληφθεί ως τριφασικό σύστημα που αποτελείται από μείγμα ύλης εδάφους, αέρα και ύδατος. Αναλόγως της ποσότητας ύδατος και αέρα στους πόρους του εδάφους, μπορούν να διαφοροποιηθούν σε μεγάλο βαθμό οι ηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού.

Οι κεραίες PULSE ΕΚΚΟ που χρησιμοποιήθηκαν είναι διπολικές αντιστατικές κεραίες. Τα μοντέλα ακτινοβολίας των κεραιών είναι μοντέλα δίπολου μισού μήκους κύματος. Όταν οι συνθήκες εδάφους είναι κατάλληλες για εφαρμογή της μεθόδου GPR, η μεγάλη πλειονότητα του σήματος μεταδίδεται στο έδαφος (τυπικά το 90%). Οι κεραίες χαρακτηρίζονται από μια μέση ονομαστική συχνότητα. Επειδή η βέλτιστη απόδοση του ραντάρ επιτυγχάνεται όταν οι κεραίες βρίσκονται κοντά στο έδαφος, η πραγματική κεντρική συχνότητα θα ποικίλει ελαφρώς ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους. Σε γενικές γραμμές όσο υψηλότερη είναι η διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, τόσο χαμηλότερη θα είναι η κεντρική συχνότητα. Κάθε ζεύγος κεραιών σχεδιάζεται ώστε ο λόγος εύρους ζώνης/συχνότητας να είναι 1. Δηλαδή οι κεραίες με κεντρική συχνότητα 112,5MHz έχουν ωφέλιμη ενέργεια στην περιοχή συχνοτήτων από 56 έως 168 MHz περίπου.

4 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΗ ΣΤΟΑ

4.1 Τομογραφίες

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 6 τομογραφίες κατά μήκος 3 οδούσεων. Δύο από τις οδούσεις αυτές έγιναν στο δάπεδο της στοάς, όπως φαίνεται στο Σχ. 2 και φέρουν τους κωδικούς T1 και T2. Η τρίτη (T3), έγινε στο τοίχωμα της στοάς (παραμέντο) όπως επίσης φαίνεται στο Σχ. 2. Σε κάθε οδούση, ελήφθησαν μετρήσεις τόσο με την διάταξη διπόλου-διπόλου, όσο και με τη διάταξη Schlumberger. Αυτό έγινε γιατί η όλη εργασία έχει πειραματικό χαρακτήρα και έπρεπε να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα των επιλογών μας. Επομένως κάθε τομογραφία φέρει ως κωδικό αναγνώρισης, εκτός του ονόματος της οδούσης, και δύο γράμματα ως αναγνωριστικά της διάταξης που χρησιμοποιήθηκε. Εάν χρησιμοποιήθηκε η διάταξη διπόλου-διπόλου, αυτό δηλώνεται με τα γράμματα DD, η δε διάταξη Schlumberger δηλώνεται με τα γράμματα SC.

Η γεωμετρία της διάταξης διπόλου-διπόλου ήταν η ακόλουθη: η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ορίστηκε σε 4 m και η μέγιστη απόσταση (n) μεταξύ του διπόλου δυναμικού και του διπόλου ρεύματος ήταν 10 δίπολα. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 21 κανάλια (ηλεκτρόδια). Η διάταξη Schlumberger πραγματοποιήθηκε επίσης με απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ίση με 4 m και η μέγιστη απόσταση (n) των ηλεκτροδίων ρεύματος από το πλησιέστερο ηλεκτρόδιο δυναμικού ήταν 9 δίπολα δυναμικού.

Οι μετρήσεις έγιναν με όργανο ABEM Terrameter συνοδευόμενο από ενισχυτή πομπού (Booster) και κατάλληλη συσκευή πολυπλεξίας των ηλεκτροδίων. Το μέσο σφάλμα των μετρήσεων υπολογίζεται σε <3%. Οι αποστάσεις ηλεκτροδίων και οδούσεων εξαρτώνται από το μέγεθος των προς ανίχνευση δομών στο χώρο μελέτης όσο και από την απαιτούμενη διακριτική ικανότητα των μετρήσεων πεδίου, ενώ η μέγιστη απόσταση, n, μεταξύ του διπόλου δυναμικού και του ηλεκτροδίου

ρεύματος από το απαιτούμενο βάθος διερεύνησης. Η διάταξη διπόλου-διπόλου, επιλέχθηκε καθώς σύμφωνα με τον Ward (1989) έχει πολύ καλή πλευρική διακριτική ικανότητα της. Από την άλλη μεριά, η διάταξη Schlumberger έχει πολύ καλή διακριτική ικανότητα στη κατακόρυφη διεύθυνση με πολύ καλό λόγο σήματος προς θόρυβο.

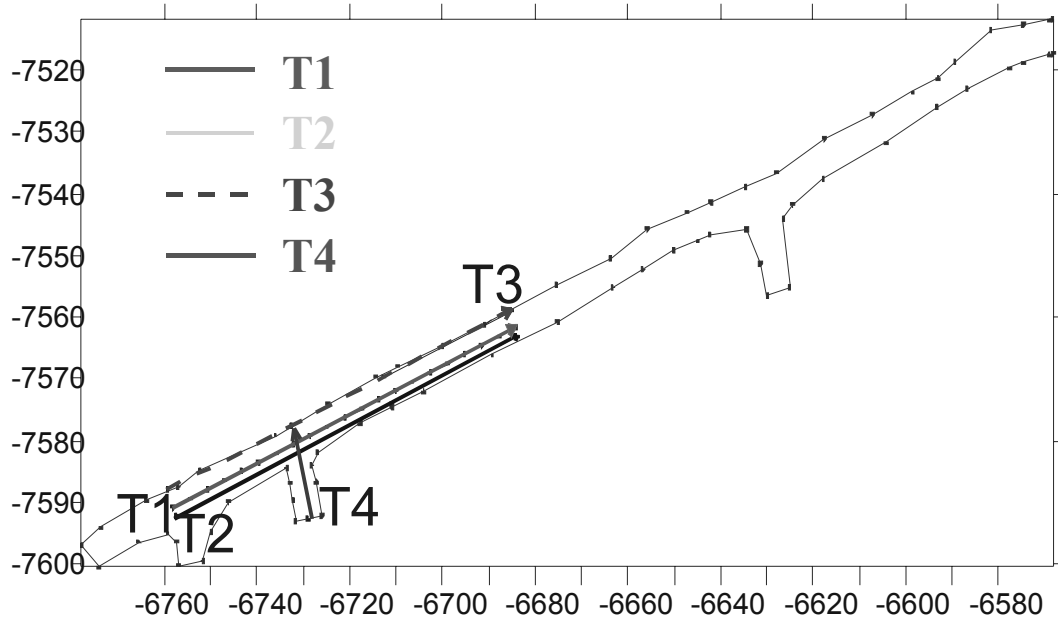
Όλες οι μετρηθείσες τομές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης αντιστράφηκαν με τη χρήση ενός προγράμματος που αναπτύχθηκε από τον Tzourlos (1995). Το δισδιάστατο πρόγραμμα αντιστροφής πραγματοποιεί μια επαναληπτική βελτιστοποίηση του μοντέλου που προκύπτει από μια διαδικασία πεπερασμένων στοιχείων 2,5 διαστάσεων. Ο αλγόριθμός είναι πλήρως αυτοματοποιημένος και αυτοδιορθούμενος και πραγματοποιεί αντιστροφή με περιορισμούς ομαλότητας (Constable et al. 1987). Η διαδικασία αντιστροφής επιταχύνεται από τη χρήση της τεχνικής Newton για την αναβάθμιση του Ιακωβιανού πίνακα (deGroot-Hedlin & Constable 1990).

Όλες οι αντιστροφές είχαν μικρό λάθος RMS (4-5%) παρά το γεγονός ότι η υπεδάφια κατάσταση της περιοχής είναι πλήρως τρισδιάστατη. Τα αποτελέσματα της αντιστροφής που παρουσιάζονται δεικνύονται στις επόμενες σελίδες της εργασίας αυτής απεικονίζουν αποτελεσματικά την «πραγματική» ειδική αντίσταση του υπεδάφους

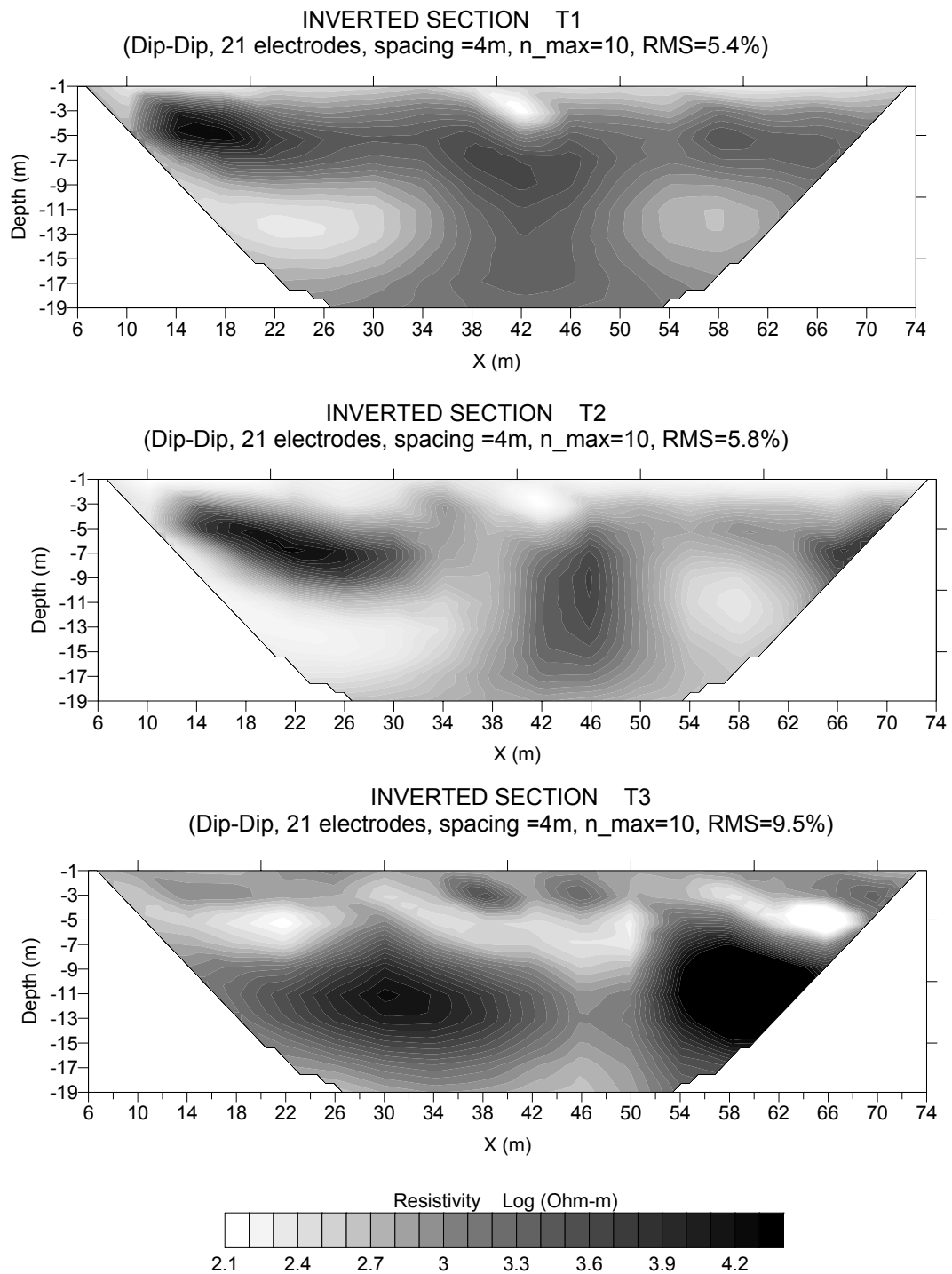
Στο Σχ. 3 φαίνονται τα αποτελέσματα της αντιστροφής για τις 3 τομογραφίες όπου για τη διεξαγωγή τους χρησιμοποιήθηκε η διάταξη διπόλου-διπόλου. Τα αποτελέσματα για τις ίδιες τομές, με τη διάταξη Schlumberger δίνονται στο Σχ 4.

Τα αποτελέσματα των δύο διατάξεων είναι πλήρως συμβατά, εφόσον πάρουμε υπ' όψη όσα αναφέρθηκαν για σχετικές διαφορές τους. Από την άλλη μεριά, οι εικόνες που προέκυψαν για τις τομογραφίες T1 και T2 είναι σχεδόν ίδιες, γεγονός που επιβεβαιώνει το σωστό της όλης διαδικασίας μετρήσεων. Υπενθυμίζεται, ότι οι δύο αυτές οδεύσεις απέχουν μόλις 1,5 m μεταξύ τους.

Επιπλέον, σε απόσταση 30 από την αρχή των τομογραφιών, πραγματοποιήθηκε στο δάπεδο της στοάς, ηλεκτρική οδεύση με τη διάταξη διπόλου-διπόλου, κάθετα προς τις τομογραφίες T1 και T2. Στο σημείο αυτό υπήρχε μέτωπο εγκάρσιας στοάς, πράγμα που έδινε λίγο χώρο για την πραγματοποίηση της οδεύσης. Ο χώρος όμως, δεν ήταν αρκετός για τη διεξαγωγή τομογραφίας. Το αποτέλεσμα της οδεύσης δίνεται στο Σχ 5.

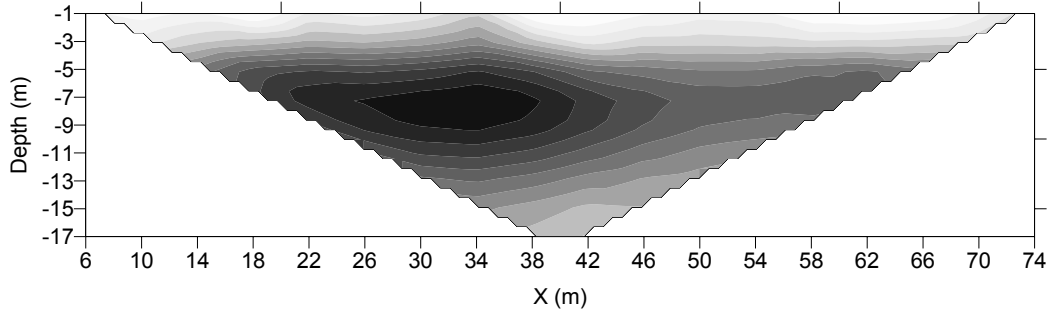


Σχήμα 2. Οι τομές T1, T2 και T3 κατά μήκος των οποίων πραγματοποιήθηκαν τομογραφίες μέσα στη στοά. Η τομή T3 ευρίσκεται στο τοίχωμα της στοάς και σε ύψος 1,3 m περίπου από το δάπεδο. Η οδεύση με τη μέθοδο GPR έγινε κατά μήκος της τομής T1. Κατά μήκος της τομής T4 πραγματοποιήθηκε ηλεκτρική οδεύση.

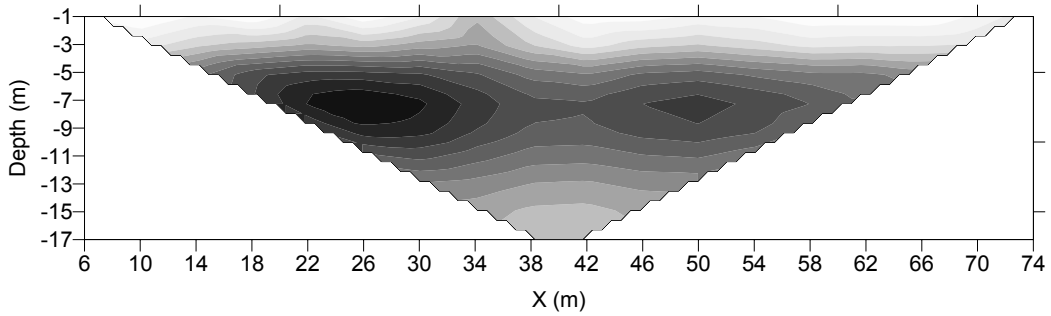


Σχήμα 3. Μεταβολή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά μήκος των τομών T1, T2 και T3 (τομογραφίες). Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη διπόλου –διπόλου.

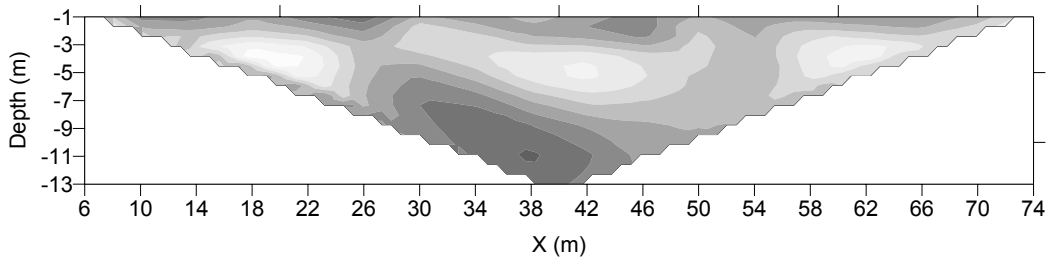
INVERTED SECTION T1
 (Schlumberger, 21 electrodes, spacing =4m, n_max=9, RMS=2.4%)



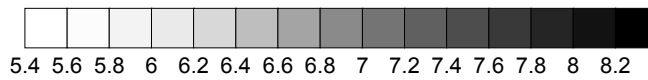
INVERTED SECTION T2
 (Schlumberger, 21 electrodes, spacing =4m, n_max=9, RMS=2.8%)



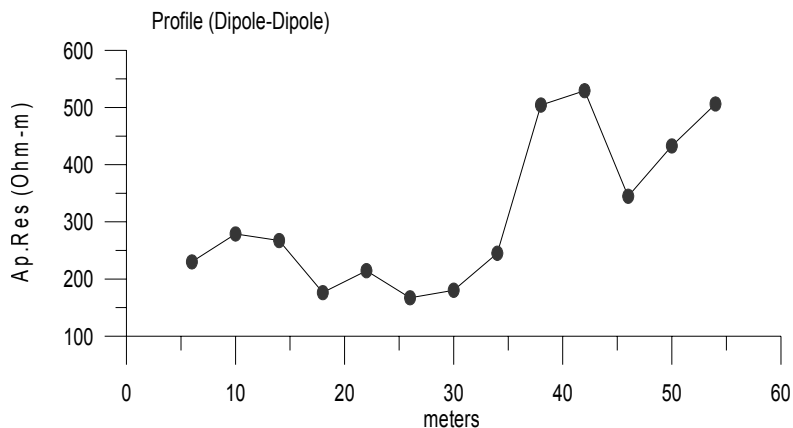
INVERTED SECTION T3
 (Schlumberger, 21 electrodes, spacing =4m, n_max=7, RMS=6.2%)



Resistivity (Log10 Ohm-m)



Σχήμα 4. Μεταβολή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά μήκος των τομών T1, T2 και T3 (τομογραφίες). Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Schlumberger.

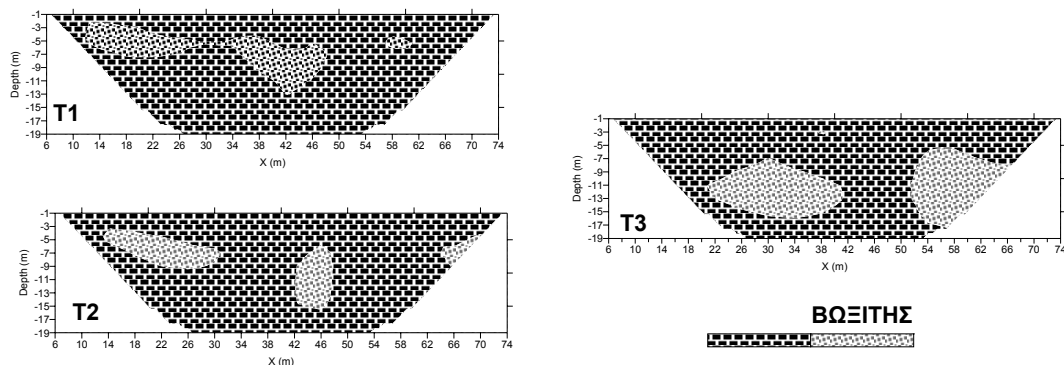


Σχήμα 5 Μεταβολή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά μήκος της όδευσης T4. Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη διπόλου –διπόλου.

Μεταξύ του 14ου και του 30ου μέτρου των τομογραφιών T1 και T2, εμφανίζονται ανωμαλίες υψηλών αντιστάσεων οι οποίες αποδίδονται σε αντιστατική δομή. Η δομή εμφανίζεται σχεδόν επιφανειακά με ελαφρά κλίση από το μέτωπο προς το εσωτερικό της στοάς. Στο επιφανειακότερο σημείο της υπάρχει εμφάνιση Βωξίτη. Επίσης, οι προηγούμενες έρευνες, αλλά και η όδευση του σχήματος 5, δίνουν διπλάσια τιμή ειδικής αντίστασης για το βωξιτικό κοίτασμα απ' ότι του ασβεστόλιθου. Τα δεδομένα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η αντιστατική δομή αντιπροσωπεύει βωξιτικό φακό. Παρόμοια ερμηνεία δίδεται όσον αφορά την αντιστατική δομή που εμφανίζεται από το 40ο ως το 50ο μέτρο κατά μήκος των τομών.

Στην τομογραφία T3 παρουσιάζονται εμφανώς δύο ανωμαλίες υψηλών αντιστάσεων, για τις οποίες ισχύουν τα ίδια όπως για τις τομογραφίες T1 και T2. Ιδιαίτερα η ανωμαλία μεταξύ του 52ου και του 65ου μέτρου, πιθανόν να συνδέεται με την δεύτερη που σχολιάστηκε για τις τομογραφίες T1 και T2.

Συνολικά η γεωλογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ηλεκτρικής τομογραφίας παρουσιάζεται στο Σχ. 6 όπου εμφανίζονται για κάθε τομή οι εκτιμώμενες βωξιτικές αποθέσεις.



Σχήμα 6. Γεωλογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ηλεκτρικής τομογραφίας.

4.2 Όδευση GPR

Η όδευση GPR που μετρήθηκε έγινε πάνω στην τομή T1. Χρησιμοποιήθηκε η κεραία συχνότητας 112,5 MHz.

Ανάλογα με την εγγύτητα του πομπού και του δέκτη και τις ηλεκτρικές ιδιότητες του εδάφους, το εκπεμπόμενο σήμα μπορεί να προκαλέσει μια βραδώς μεταβαλλόμενη επαγωγική συνιστώσα χαμηλής συχνότητας (wow) η οποία να καλύπτει τις αντανάκλασεις υψηλής συχνότητας. Η ανεπιθύμητη χαμηλή συχνότητα απαλείφεται ενώ ταυτόχρονα διατηρείται το σήμα υψηλής συχνότητας. Η απαλοιφή του «wow» από τα δεδομένα καλείται επίσης διόρθωση κορεσμού σήματος. Το «wow»

απαλείφεται από τα δεδομένα με την εφαρμογή φίλτρου μέσης τιμής σε κάθε ίχνος. Τοποθετείται σε κάθε ίχνος (ραδιόγραμμα) παράθυρο πλάτους ίσου με ένα εύρος παλμού στην ονομαστική συχνότητα. Η μέση τιμή όλων των σημείων σε αυτό το παράθυρο αντικαθιστά την τιμή στο κέντρο του παραθύρου. Στη συνέχεια το παράθυρο μετακινείται κατά ένα σημείο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Το πρόβλημα που συνίσταται στην χρήση του παραθύρου στην αρχή του ίχνους αντιμετωπίζεται με την έναρξη της διαδικασίας με μισό παράθυρο μετά την αρχή του ίχνους. Παρομοίως, το παράθυρο καταρρέει στο τέλος του ίχνους.

Η τομή GPR υπέστη απαλοιφή του “wow” πριν την εφαρμογή οποιασδήποτε άλλης επεξεργασίας. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν χωρικά φίλτρα διέλευσης υψηλών κυματιδίων όπου το κατώφλι αποκοπής ορίστηκε σε 10% της συχνότητας χώρου Nyquist. Δηλαδή, λαμβάνοντας υπόψη ότι το διάστημα δειγματοληψίας ήταν 0,5 m, επιτρέπονται όλες οι συχνότητες χώρου εκτός από τις συχνότητες που είναι μικρότερες από 0,1 κύκλους/m. Στόχος μας ήταν να δοθεί έμφαση σε δομές μικρών σχετικά διαστάσεων, σε βάρος επιπέδων επιφανειών και γενικότερα σχηματισμών μεγάλου μήκους κύματος.

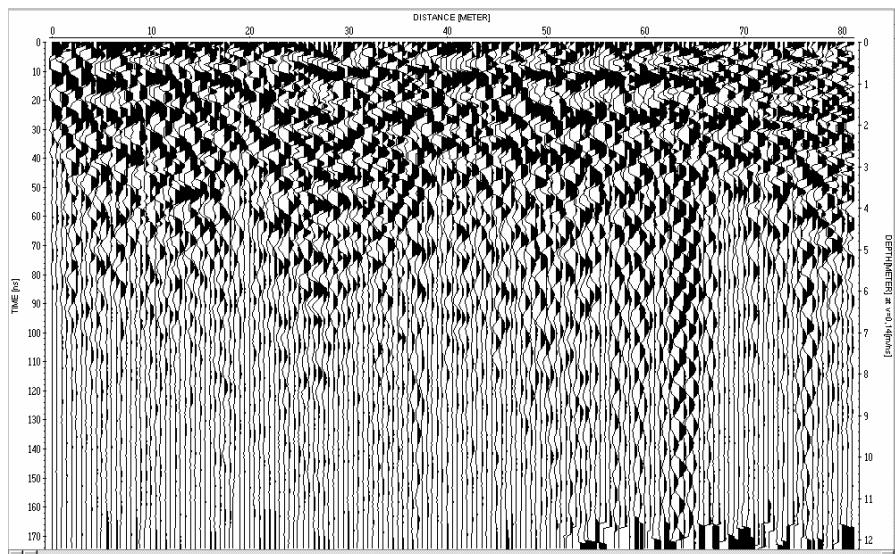
Η επεξεργασμένη τομή παρουσιάζεται στο Σχ. 7. Είναι φανερό, ότι παρουσιάζεται μία ανάκλαση, σχετικά κοντά στο δάπεδο της στοάς, η οποία ακολουθεί τη μορφολογία της άνω οροφής του φακού, όπως αυτός παρουσιάζεται στην αρχή της τομογραφίας T2. Επίσης, παρουσιάζεται μία έντονη ανάκλαση στο 40ο μέτρο της τομής, που συμπίπτει με την δεύτερη ανωμαλία υψηλών αντιστάσεων της τομογραφίας.

Πιθανόν η τομή να εντοπίζει και το δάπεδο του φακού. Αυτό όμως θα πιστοποιηθεί από τα στοιχεία που θα μας παράσχει η εταιρεία μετά τις σχετικές δικές τις έρευνες.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι γεωφυσικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, ιδιαίτερα η γεωηλεκτρική τομογραφία, έδειξαν ότι μπορούν να δώσουν θετικά αποτελέσματα κατά τη εφαρμογή τους μέσα σε στοά. Είναι επίσης φανερό, ότι αν υπάρχει μεγαλύτερο μήκος στοάς διαθέσιμο, το βάθος διερεύνησης μπορεί να μεγαλώσει αρκετά. Επίσης, θα μπορούσε να γίνει έρευνα τόσο με μεγάλο μήκος διπόλων, έτσι ώστε να έχουμε μεγαλύτερη διεύθυνση, όσο και με σχετικά μικρό μήκος για να αποτυπωθούν καλύτερα οι μορφολογικές λεπτομέρειες. Οι λεπτομέρειες αυτές θα μπορούσαν να δοθούν επίσης με τη χρήση του υπεδάφιου ραντάρ, εφ' όσον ο στόχος δεν απέχει πολύ από το επίπεδο διεξαγωγής της όδευσης.

Υπάρχει ένα μικρό τεχνικό πρόβλημα ως προς την εισαγωγή ηλεκτροδίων στο σκληρό τοίχωμα των στοών. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με τη χρήση τρυπανιού είτε με ηλεκτρόδια επαφής.



Σχήμα 7 Όδευση GPR κατά μήκος της τομής T1.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τους συναδέλφους Δρ. Π. Σουπιό, Π. Σωτηρόπουλο και Ο. Κουμου-
ντσάκου για τη βοήθειά τους στη λήψη μετρήσεων στο πεδίο.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Annan P. A. 1992. Ground penetrating radar workshop notes, Sensors and Software, Mississauga, Ontario.
Constable S. Parker R. & Constable C. 1987. Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth
models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, 52:289-300.
deGroot-Hedlin C. & Constable, S. 1990. Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from
magnetotelluric data. *Geophysics*, 55:1613-1624.
Draskovits P & Simon A. 1992. Application of geoelectric methods using buried electrodes in exploration and
mining. *Geophysical Prospecting*, 40, 573-586.
Tsourlos P. 1995. Modelling interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data. Ph.D. Thesis,
University of York.
Ward S. 1989. Resistivity and induced polarization methods: in investigations in Geophysics no 5, *Geotechnical
and Environmental Geophysics vol I*, ed. S. Ward, SEG, Tulsa, 147-184.

ABSTRACT

DETECTING BAUXITIC LENSES IN GALLERIES USING GEOPHYSICAL TECHNIQUES

Tsourlos P.¹, Tsokas G.¹ and Yiamas Ath.²

¹ *Department of Geophysics, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 541 24,
Thessaloniki, tsourlos@geo.auth.gr, gtsokas@geo.auth.gr*

² *S&B Industrial Minerals S.A., 15 A. Metaxa Str., GR 145 64 Kifissia, P.O. Box 51528, Greece*

The present work describes the methodology and the results of geophysical prospection which was realized aiming to the investigation of possibility of detection Bauxite lenses in galleries in the prospect of S&B Minerals S.A.. The aim was to value the effectiveness of geophysical methods in providing qualitative and quantitative information concerning the extent of lenses of bauxite in existing galleries so that their possibility of exploitation is considered. The geophysical structure was studied using the techniques of electrical resistivity tomography and the ground probing radar method (GPR). The geophysical methods that were used in the present work, particularly the geoelectrical tomography, showed that they can give positive results at their application in galleries.