

## ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΘΑΜΜΕΝΩΝ ΑΠΟΛΙΘΩΜΕΝΩΝ ΚΟΡΜΩΝ ΣΤΟ ΑΠΟΛΙΘΩΜΕΝΟ ΔΑΣΟΣ ΣΙΓΡΙΟΥ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΛΕΣΒΟΥ\*

Γ. ΒΑΡΓΕΜΕΖΗΣ<sup>1</sup>, Η. ΦΙΚΟΣ<sup>1</sup>, Ι. ΜΕΡΤΖΑΝΙΔΗΣ<sup>1</sup>, Ε. ΖΑΝΑΝΙΡΙ<sup>1</sup>, Ζ. ΡΟΥΜΕΛΙΩΤΗ<sup>1</sup>,  
Ν. ΖΟΥΡΟΣ<sup>2</sup>, Ε. ΚΟΝΤΗΣ<sup>2</sup> ΚΑΙ Η. ΒΑΛΙΑΚΟΣ<sup>2</sup>

### ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα πρόδρομα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο Απολιθωμένο δάσος στο Σίγρι της Λέσβου με στόχο τον εντοπισμό θαμμένων απολιθωμένων κορμών. Εφαρμόστηκαν μέθοδοι ηλεκτρικής (τομογραφία), μαγνητικής (οριζόντια χαρτογράφηση ολικού μαγνητικού πεδίου) και ηλεκτρομαγνητικής διασκόπησης (υπεδάφιο ραντάρ). Η αποτελεσματικότητα των μεθόδων που εφαρμόστηκαν σε σχέση με το συγκεκριμένο πρόβλημα διαπιστώθηκε σε γνωστούς στόχους όπου έγινε και η βαθμονόμηση των μετρήσεων. Συνέχεια απολιθωμένων κορμών διαπιστώθηκε τόσο με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας όσο και με τη μαγνητική μέθοδο. Έρευνα πραγματοποιήθηκε και σε περιοχές με μη ορατούς στόχους και προτάθηκαν πιθανές θέσεις για μελλοντική ανασκαφή, έτσι ώστε να βελτιωθούν τα κριτήρια διάκρισης των ανωμαλιών που προκαλούν οι απολιθωμένοι κορμοί στις γεωφυσικές μετρήσεις.

### ABSTRACT

Remains of fossil plants, which form the famous «Petrified forest of Lesvos», have been found in many localities on the western part of Lesvos Island. The fossilized forest of Lesvos was developed during Late Oligocene to Lower - Middle Miocene, due to the intense volcanic activity in the area (Velitzelos and Zouros, 1997). The products of the volcanic activity had covered the vegetation of the area and the fossilization process took place due to favorable conditions. The fossilized plants in Lesvos are silicified remnants of a sub-tropical forest that existed on the northwest part of the island 20-15 million years ago.

In the present study the results of the geophysical survey that has been applied to several locations of the petrified forest are presented. Electrical tomography, magnetic mapping and Ground Penetrating Radar methods of geophysical prospecting have been applied.

The surrounding material, which is formed mainly by volcanic ash, contains also volcanic rocks in that size that it could be detected as petrified trunk. So, the effectiveness of the geophysical methods in such an environment has been tested in selected areas where petrified trunks were semi-uncovered.

Lied trunks have been successfully detected by the electric tomography in several cases, since the resistivity of the fossilized material is much higher than the resistivity of the volcanic ash. The horizontal mapping of the total magnetic field in the same cases of lied trunks has been also successful since it was combined with the electric tomography and the anomaly were located in the same place and shape.

Detection of petrified trunks looks to be uncertain in cases of standing trunks. That, because anomaly of the same pattern could be produced by an intrusion of a rock which the magnetic susceptibility is lower than this of the fossilized material. The same problem has been noticed also to the GPR (Ground Penetrating Radar) data.

Several positions to be excavated have been proposed.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** απολιθωμένο δάσος, ηλεκτρικές μέθοδοι, μαγνητικές μέθοδοι, ραντάρ

**KEY WORDS:** petrified forest, geoelectrical survey, magnetic survey, radar.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο δυτικό άκρο της νήσου Λέσβου, στο Σίγρι, έχει αποκαλυφθεί ένα τμήμα του απολιθωμένου δάσους ηλικίας 20.000.000 ετών (Βελιτζέλος και συνεργάτες, 1999). Το 1994 ιδρύθηκε το Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου με σκοπό την μελέτη, έρευνα, ανάδειξη, συντήρηση και φύλαξη του Απολιθω-

\* GEOPHYSICAL SURVEY TO THE PETRIFIED FOREST OF SIGRI IN LESVOS ISLAND (NORTH AEGEAN)

1. Geophysical Laboratory, 540 00 ATHENS, GREECE.

2. Natural History Museum of Lesvos' Petrified Forest, Sigri, Lesvos Island, GR- 811 12, Greece. Email: lesvospf@otenet.gr

μένου Δάσους της Λέσβου που έχει χαρακτηριστεί διατηρητέο μνημείο της Φύσης. Οι χώροι ανασκαφών βρίσκονται στην περιοχή του Πάρκου του Απολιθωμένου δάσους στη Θέση «Μπαλί Αλώνια», όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη συγκέντρωση απολιθωμένων δένδρων, στο Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους Σιγρίου καθώς και στην περιοχή Άντισσας. Οι ανασκαφές που έχουν γίνει στην περιοχή έχουν αποκαλύψει σημαντικό πλήθος απολιθωμένων κορμών που ποικίλλουν τόσο σε σχέση με το μέγεθος όσο και σε σχέση με την θέση στην οποία βρίσκονται (Βελιτζέλος και συνεργάτες, 1999).

Οι μέχρι τώρα ανασκαφές γίνονται με βάση τις ελπιφανειακές εμφανίσεις τμήματος των κορμών ή με βάση τα στοιχεία της χαρτογράφησης που πραγματοποιείται από τους γεωλόγους του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας. Γεωφυσικές μέθοδοι εντοπισμού θαμμένων αρχαιοτήτων εφαρμόζονται στην Ελλάδα τα τελευταία 20 χρόνια. Με σημαντικό βαθμό επιτυχίας εφαρμόζονται σε σημαντικούς αρχαιολογικούς χώρους όπως το Δίον, η Βεργίνα, ο Κεραμεικός, η Μαντινεία και πολλοί άλλοι αρχαιολογικοί χώροι (Tsokas et al, 1994; Tsokas et al, 1995; Savva et al, 1999). Η εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων επιτρέπει την μη καταστροφική έρευνα σε μία περιοχή, με λήψη μετρήσεων από την επιφάνεια, η οποία καταλήγει στον εντοπισμό της ακριβούς θέσης θαμμένων δομών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος και καθοδηγεί το πρόγραμμα των ανασκαφών. Την δυνατότητα αυτή την δίνουν οι διαφορετικές φυσικές ιδιότητες των αρχαιολογικών στόχων σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο. Δεδομένου ότι οι απολιθωμένοι κορμοί στο Σίγρι αναμένεται να εμφανίζουν κάποιες φυσικές ιδιότητες διαφορετικές από το υλικό περιβάλλον που τους φιλοξενεί, η ερευνητική ομάδα του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης εργάστηκε στην περιοχή έρευνας με σκοπό α) τη μελέτη των γεωφυσικών ιδιοτήτων των κορμών και του περιβάλλοντος υλικού και β) την πιλοτική εφαρμογή διαφόρων γεωφυσικών μεθόδων σε επιλεγμένους στόχους. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε επέτρεψε την εφαρμογή ηλεκτρικών, μαγνητικών και ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων.

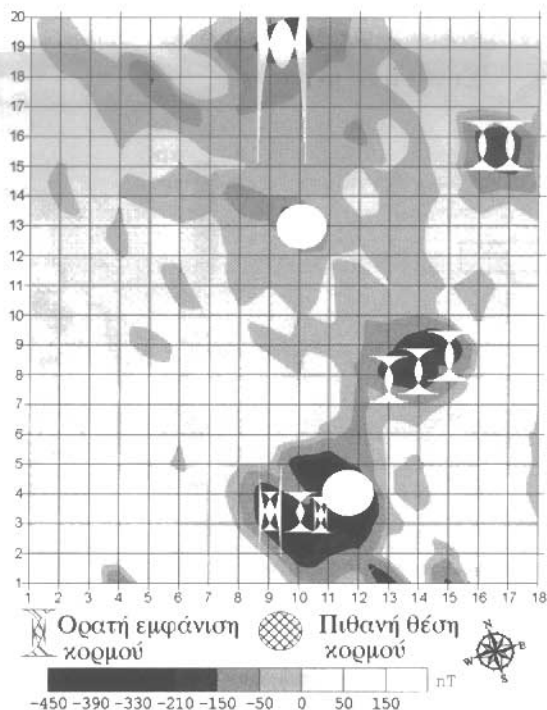
## 2. ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Κατά την εφαρμογή της μαγνητικής διασκόπησης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του ολικού μαγνητικού πεδίου σε κορυφές καννάβου και χαρτογραφήθηκαν οι καμπύλες ίσων τιμών του πεδίου. Δεδομένου ότι το ολικό μαγνητικό πεδίο υπόκειται σε κανονικές ημερήσιες μεταβολές οι τιμές διορθώνονται έτσι ώστε οποιαδήποτε μεταβολή που παρατηρείται στον χάρτη των ισοκαμπύλων να οφείλεται μόνο σε χωρικές μεταβολές του πεδίου και όχι σε χρονικές. Οι κορμοί αποτελούνται σε ποσοστό 95% από πυριτικά ορυκτά ενώ περιβάλλονται από επικλαστικούς σχηματισμούς που κατά βάση αποτελούνται από αργιλικό υλικό ενώ περιέχονται και σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά (βιοτίτη, κερσοσίλβη). Με βάση τα στοιχεία αυτά αναμένεται αρνητική αντίθεση μαγνητισμού των κορμών. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε και τον αρχικό προβληματισμό για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου στο συγκεκριμένο πρόβλημα, δεδομένου ότι στα στρώματα που καλύπτουν τα δέντρα περιέχονται τεμάχια λάβας σε διάφορα μεγέθη και σχήματα. Η λάβα λόγω της σύστασής της αναμένεται να παρουσιάζει ισχυρή ανωμαλία η οποία θα εκφράζεται ως μαγνητικό δίπολο. Δυσκολίες αναμένεται να αντιμετωπιστούν στην διάκριση μεταξύ των αρνητικών ανωμαλιών των κορμών και των ανωμαλιών των ογκόλιθων της λάβας. Για τη ρημνεία των μαγνητικών δεδομένων και την κατασκευή απ' ευθείας μοντέλων μαγνητικών ανωμαλιών πραγματοποιήθηκαν in situ μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας των απολιθωμένων κορμών και των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Προέκυψαν οι παρακάτω τιμές:

Πρώτος οριζοντας επικλαστικών υλικών	$K = 1100 \times 10^{-5} \text{ SI}$
Δεύτερος οριζοντας επικλαστικών υλικών	$K = 50 \times 10^{-5} \text{ SI}$
Βολίδες μέσα στον δεύτερο οριζοντα	$K = 1500-6000 \times 10^{-5} \text{ SI}$
Βράχος μέσα στον πρώτο οριζοντα	$K = 1000 \times 10^{-5} \text{ SI}$
Ηφαιστειακή διείσδυση	$K = 1000 \times 10^{-5} \text{ SI}$
Ρίζα απολιθωμένου κορμού	$K = 5-35 \times 10^{-5} \text{ SI}$
Περιβάλλον βράχος (στη ρίζα)	$K = 100-300 \times 10^{-5} \text{ SI}$
Η διακριτική ικανότητα του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε είναι της τάξης των $5 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$ .	

### Παράδειγμα 1.

Στο παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου που παρουσιάζεται παρακάτω πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία σε κάρναβο 20'20 με βήμα 1m. Μετά από την επεξεργασία των μετρήσεων (ημερήσια διόρθωση και αφαίρεση της μέσης τιμής από κάθε μέτρηση) προέκυψε ο "μαγνητικός χάρτης" του παρακάτω σχήματος. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων καταγράφηκε μεταβολή της ολικής έντασης του μαγνητικού πεδίου κατά 14nT.



Σχ. 1 Μαγνητικός χάρτης καννάβου στο πάρκο Μουσείου. Οι ελλείψεις με τις γραμμές αντιστοιχούν σε ορατούς κορμούς και οι ελλείψεις με τετράγωνα δείχνουν πιθανές θέσεις από θαμμένους απολιθωμένους κορμούς.  
 Fig. 1. Magnetic mapping of the total magnetic field in the park of the Museum of Sigri. Rounds with lines correspond to visible trunks and rounds with squares show probable existence of buried fossilized trunks.

Παρατηρήθηκαν αρκετές πηγές αρνητικών μαγνητικών ανωμαλιών της τάξης των 100-450nT. Η μορφή των μαγνητικών ανωμαλιών δεν είναι διπολική. Πρέπει να ληφθούν υπόψη ότι (α) στο σύνολο τους οι κορμοί απολιθωμένων δέντρων που εμφανίζονται στη συγκεκριμένη θέση είναι κατακόρυφοι, και (β) οι κορμοί βρίσκονται σε σκάμματα βάθους περίπου 50 εκατοστών, οπότε οι κορμοί περιβάλλονται από αέρα (η πάνω επιφάνεια των κορμών που βρίσκονται σε σκάμματα εξέχει 30-100 cm από το έδαφος). Από το σχήμα 1 προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις:

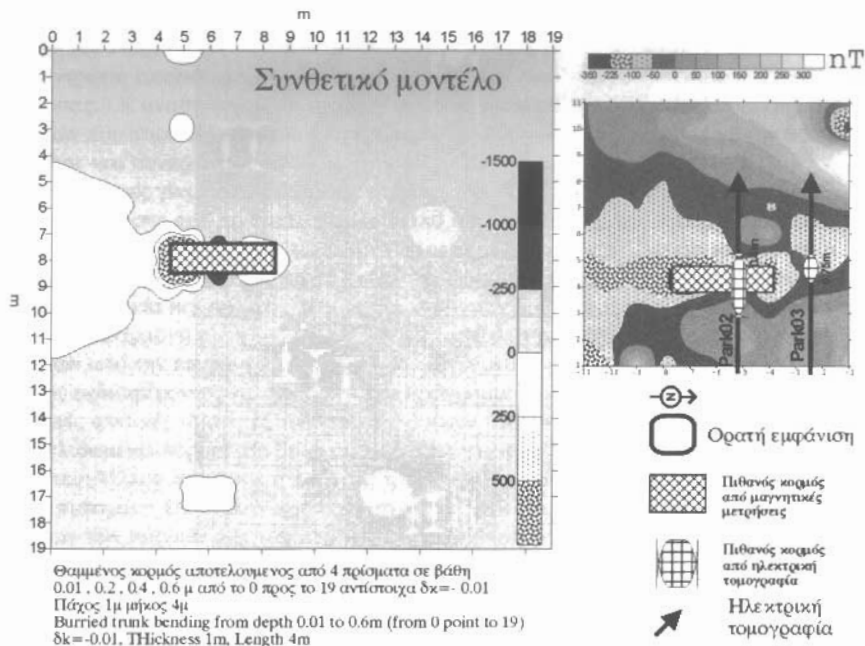
Οι μαγνητικές ανωμαλίες στην περίπτωση των ορατών επιφανειακών στόχων, εμφανίζονται σαν αρνητικές και περιβάλλουν κυκλικά τον κορμό.

Ταυτόχρονα, αρνητικές μαγνητικές ανωμαλίες παρατηρούνται και σε θέσεις όπου δεν υπάρχει επιφανειακή εμφάνιση κορμού. Οι παρατηρημένες μαγνητικές ανωμαλίες είναι σχεδόν κυκλικές, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε κατακόρυφο επίμηκες σώμα που συμφωνεί με την περίπτωση των κατακόρυφων κορμών.

Η ομοιότητα της μορφής των μαγνητικών ανωμαλιών που παρατηρήθηκαν σε θέσεις χωρίς επιφανειακή εμφάνιση κορμού, με τις αποδεδειγμένες ανωμαλίες που οφείλονται σε απολιθωμένους κορμούς, συνηγορεί υπέρ της άποψης ότι πιθανώς και στις θέσεις αυτές υπάρχουν θαμμένοι κατακόρυφα ιστάμενοι κορμοί, και μπορούν να αποτελέσουν πιθανές μελλοντικές θέσεις εκσκαφής.

#### Παράδειγμα 2.

Στο πάρκο του απολιθωμένου δάσους συναντάται επιφανειακή εμφάνιση κατακείμενου κορμού, που αποκαλύφθηκε λόγω της διάβρωσης του εδάφους. Ο κορμός εμφανίζει διάμετρο περίπου 1 μέτρον ενώ η παράλληλη με τον άξονα του εμφάνιση είναι περίπου 1,2 μέτρα. Στη θέση αυτή πραγματοποιήθηκαν μαγνητικές μετρήσεις και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν και ηλεκτρικές τομογραφίες.



Σχ.2 Μαγνητικός χάρτης καννάβου περιοχής πάρκου απολιθωμένου δάσους. Στο αριστερό μέρος παρουσιάζεται το συνθετικό μοντέλο που κατασκευάστηκε με στόχο τη συσχέτιση με τις πραγματικές μαγνητικές μετρήσεις και τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής τομογραφίας που παρουσιάζονται στο δεξί μέρος.

Fig. 2. Magnetic mapping in the park of the Petrified Forest. On the left the forward modeling of the anomaly produced by a buried trunk is presented and on the right the magnetic data and the results of the electrical tomography.

Οι μετρήσεις του ολικού μαγνητικού πεδίου έγιναν σε κάνναβο διαστάσεων 10x10 μέτρα με βήμα δειγματοληψίας 1 μέτρο. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 2 όπου χαρτογραφήθηκαν οι διαφορές του διορθωμένου ολικού πεδίου από τη μέση στάθμη του καννάβου. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται η επιφανειακή εμφάνιση του κορμού και οι θέσεις των τομογραφικών οδεύσεων Park02 και Park03 μαζί με τις θέσεις των ανωμαλιών τους όπως περιγράφηκαν παραπάνω. Για την καλύτερη ερμηνεία των μαγνητικών μετρήσεων πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση του προβλήματος. Ο κορμός προσομοιάστηκε με ομάδα πρισμάτων και οι τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας που χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκαν στις in situ μετρήσεις. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 2 όπου φαίνεται και η θέση του πρίσματος. Συγκρίνοντας τη μορφή της ανωμαλίας που μας δίνει το πρίσμα με τα μαγνητικά αποτελέσματα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αρνητική ανωμαλία στο κέντρο της εικόνας οφείλεται στο θαμμένο κορμό. Η αναμενόμενη λοιπόν συνέχεια του κορμού όπως προκύπτει από το συνδυασμό των ηλεκτρικών και των μαγνητικών ανωμαλιών είναι αυτή που φαίνεται πάνω στο Σχήμα 2.

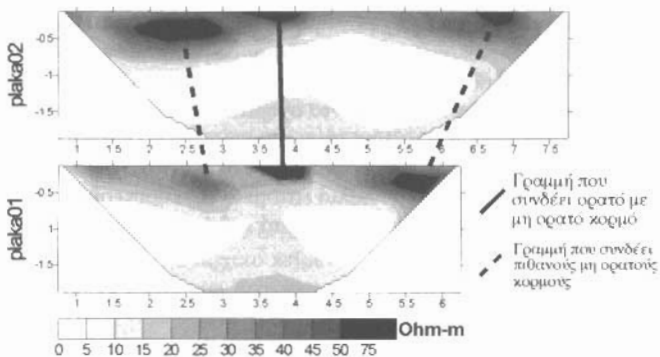
### 3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ

Ο όρος ηλεκτρική τομογραφία (ΗΤ) περιγράφει γενικά έναν τύπο μετρήσεων της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός δύο συμβατικών τεχνικών μέτρησης: της όδευσης και της βυθοσκοπησης. Ειδικότερα, η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να περιγραφεί σαν μία σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής έρευνας ή σαν μία σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λήψη πληροφορίας τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή μελέτης και έτσι λαμβάνεται μία πληρέστερη "εικόνα" του υπεδάφους.

Για την ερμηνεία των μετρήσεων έχουν προταθεί νέες τεχνικές ερμηνείας και επεξεργασίας. Οι τεχνικές αυτές επιδιώκουν την επίλυση του αντίστροφου γεωηλεκτρικού προβλήματος είτε με χρήση προσεγγιστικών μεθόδων, π.χ. μέθοδος Zhody-Barker, (Barker 1992), μέθοδος οπισθοπροβολής (Tsourlos et al. 1993), είτε με τη χρήση υπαρχόντων μη γραμμικών τεχνικών αντιστροφής (π.χ. Tripp et al. 1992) που προσαρμόζονται στο πρόβλημα της ΗΤ (Shima 1990, Tsourlos et al. 1995).

Η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας εφαρμόστηκε σε θέσεις όπου υπήρχαν κατακείμενοι κορμοί οι οποίοι ήταν μερικώς αποκαλυπμένοι και το ένα άκρο τους παρέμενε μέσα στο έδαφος σε πραγματικές συνθήκες ταφής. Στις περιπτώσεις αυτές η τομογραφία υλοποιήθηκε στην νοητή προέκταση του κορμού έτσι ώστε να διαπιστωθεί η πιθανή συνέχειά του και να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά της ανωμαλίας.

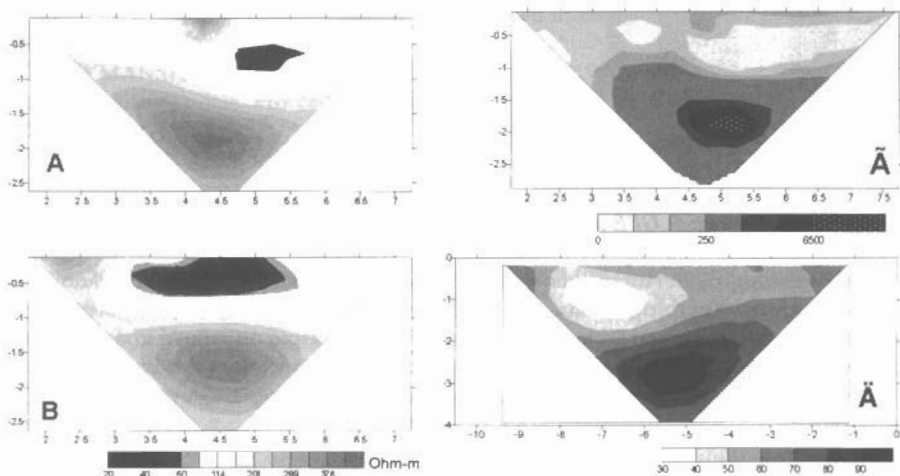
Η τομογραφία που παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί πραγματοποιήθηκε στην περιοχή «Πλάκα» στη νοητή συνέχεια κατακείμενου ορατού κορμού που βρίσκεται σχεδόν στην επιφάνεια. Η τομογραφία τοποθετήθηκε έτσι ώστε ο κορμός να βρίσκεται στο κέντρο της τομογραφίας. Υλοποιήθηκε η διάταξη ηλεκτροδίων διπόλου-διπόλου και η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού ήταν 0.5 μέτρο.



Σχ.3 Εικόνες αντιστροφής των τομογραφικών οδεύσεων plaka01 και plaka02. Με συνεχή γραμμή συνδέεται ορατός κορμός (τομογραφία plaka01) με πιθανή συνέχειά του και με διακεκομμένη γραμμή συνδέονται πιθανοί μη ορατοί στόχοι που διακρίνονται στις δύο παράλληλες τομογραφίες.

Fig. 3. Geoelectrical models of plaka01 and plaka02 traverses. Continuous line connects visible trunk (at plaka01) with its probable non-visible continuation. Discontinuous line connects probable non-visible targets.

Στην συγκεκριμένη περιοχή οι αποθέσεις χαρακτηρίζονται από σημαντική περιεκτικότητα σε αργιλικό υλικό (Σχ. 3) γεγονός που δικαιολογεί τις χαμηλές αντιστάσεις που εμφανίζει, ενώ το πυριτωμένο υλικό του απολιθωμένου κορμού εμφανίζει αντιστάσεις μεγαλύτερες. Τα αποτελέσματα των τομογραφιών κρίνονται ιδιαίτερα θετικά αφού στο σημείο που προβλεπόταν η συνέχεια του κορμού είναι εμφανής η περιοχή αντιστάσεων μεγαλύτερων των 60Ωm. Στην προβλεπόμενη θέση εμφανίζεται η ίδια ανωμαλία και στην τομή plaka02 σε πολύ μικρό βάθος.



Σχ. 4. Γεωηλεκτρικά μοντέλα δύο διαστάσεων όπου φαίνονται περιοχές που αντιστοιχούν σε αναμενόμενες ή πιθανές εμφανίσεις απολιθωμένων κορμών.

Fig. 4. 2D geoelectrical models where dark anomalies show probable fossilized trunks.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



Παράλληλα, παρατηρούνται δύο ακόμα αντίστοιχες ανωμαλίες σε λίγο μεγαλύτερο βάθος εκατέρωθεν της ανωμαλίας αυτής. Οι ανωμαλίες αυτές είναι πολύ πιθανό να αντιστοιχούν σε δύο άλλους κορμούς που δεν έχουν επιφανειακή εμφάνιση.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται δύο ακόμα παραδείγματα όπου φαίνονται πιθανοί απολιθωμένοι κορμοί σε γεωηλεκτρικά μοντέλα που προέκυψαν από αντιστροφή δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας.

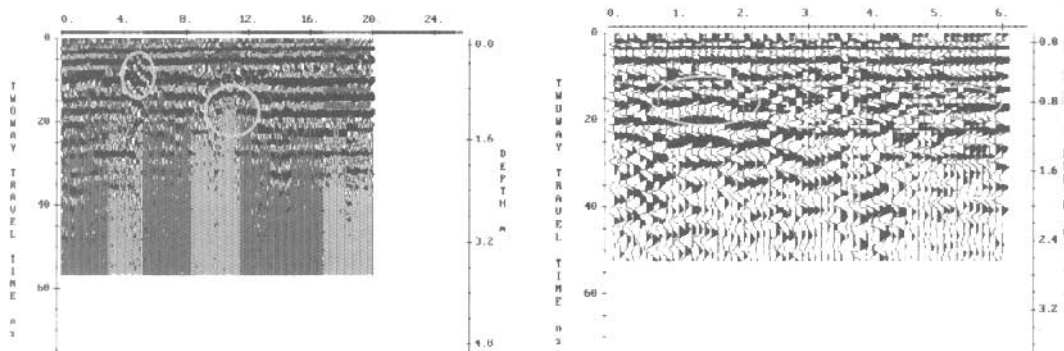
Οι τομογραφίες Α και Β αντιστοιχούν στις Park02 (B) και Park03 (A) (Σχήμα 2). Στην τομογραφική απεικόνιση Β ο κατακείμενος κορμός είναι ορατός σε απόσταση λίγων εκατοστών από την αντίστοιχη τομογραφική οδευση (σχήμα 2) και αντιστοιχεί στην μαύρη περιοχή που φαίνεται επιφανειακά και στο μέσο περίπου της απεικόνισης. Αντίστοιχα, στην τομογραφική απεικόνιση Α η συνέχεια αναμένεται επίσης στην μαύρη περιοχή. Σημαντικό εδώ είναι το στοιχείο ότι στην περιοχή αυτή η ανωμαλία που οφείλεται στον συγκεκριμένο κορμό είναι αρνητική. Το γεγονός αυτό πιθανολογείται ότι οφείλεται στην σύσταση του περιβάλλοντος σχηματισμού σε συνδυασμό με την συνοχή του κορμού που πιθανόν είναι κατακεραματισμένος, γεγονός που του προσδίδει χαμηλότερη ηλεκτρική αντίσταση από τον περιβάλλοντα σχηματισμό. Στο λόγο αυτό πιθανόν οφείλεται και το γεγονός της μεγαλύτερης ανάπτυξης της ανωμαλίας στην τομογραφία Β (Park02).

Αντίθετα, στις τομογραφικές απεικονίσεις που βρίσκονται δεξιά στο σχήμα 4 και έγιναν μέσα στο απολιθωμένο δάσος (απεικόνιση Γ, πάνω δεξιά) και σε παλιό λατομείο της ευρύτερης περιοχής (απεικόνιση Δ, κάτω δεξιά) οι αναμενόμενοι κορμοί εμφανίζουν αντιστάσεις κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές του περιβάλλοντος σχηματισμού.

#### 4. ΥΠΕΔΑΦΙΟ ΡΑΝΤΑΡ (GROUND PENETRATING RADAR - G.P.R.)

Η μέθοδος του γεωραντάρ στηρίζεται στην εκπομπή ραδιοκυμάτων, με συχνότητα συνήθως 1 ως 1000 MHz, προκειμένου να χαρτογραφηθούν δομές και χαρακτηριστικά του υπεδάφους που προέρχονται από επιφανειακές γεωλογικές ανακατατάξεις ή και ανθρώπινες επεμβάσεις.

Στην περίπτωση του απολιθωμένου δάσους αναμένονται ανακλάσεις των ηλεκτρομαγνητικών παλμών στις επάνω επιφάνειες των κορμών σε οποιαδήποτε θέση και να βρίσκονται αυτοί. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται χαρακτηριστικές εικόνες από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στην περιοχή του πάρκου του Μουσείου στο Σίγρι και στην περιοχή Πλάκας.



Σχ.5. Τομές γεωραντάρ στο πάρκο Μουσείου (αριστερά) και Πλάκας (δεξιά)  
Fig. 5. GPR measurements at the park of Sigri Museum.

Στα σχήματα αυτά παρατηρούνται υπερβολές που σχηματίζονται από επιφάνειες ανάκλασης που συσχετίζονται με ύπαρξη κορμών. Χαρακτηρίζονται από καθαρά τοπικές εμφανίσεις σε μία ή δύο συνεχόμενες παράλληλες οδεύσεις και σε πολύ μικρό βάθος γεγονός που είναι ενδεικτικό ότι πιθανά πρόκειται για κατακόρυφο κορμό που όπως είναι αναμενόμενο, η κύρια επιφάνεια ανάκλασης είναι η πάνω διατομή του κορμού. Κατακείμενοι κορμοί διαπιστώνονται από την γραμμική συνέχεια που εμφανίζουν οι υπερβολές σε συνεχείς παράλληλες οδεύσεις.

#### 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία των δεδομένων συνάγονται τα παρακάτω:

1. **Ηλεκτρική τομογραφία.** Λειτουργήσε με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού σε όλα τα σημεία που ήταν αναμενόμενη η παρουσία κορμών, προέκυψαν μετρήσιμα αποτελέσματα που ανταποκρίθηκαν στις πραγματικές του διαστάσεις.

Προτείνεται σε όλες τις περιπτώσεις που οι κορμοί αναμένεται να είναι κατακεείμενοι. Σε περίπτωση ιστάμενου κορμού θα πρέπει να έχει σημαντική διάμετρο έτσι ώστε να Ιφρανεί καθαρά στην τομογραφία.

**2.Μαγνητικές μετρήσεις.** Τόσο με βάση τα θεωρητικά μοντέλα που κατασκευάστηκαν όσο με τις πραγματικές μετρήσεις διαπιστώθηκε ότι οι απολιθωμένοι κορμοί προκαλούν ανωμαλίες στο μαγνητικό πεδίο που τους κάνει ανιχνεύσιμους από την μέθοδο. Τα αποτελέσματα των έργων εκσκαφής σε πιλοτικά προτεινόμενα σημεία αναμένεται να δώσουν πληροφορίες σχετικές με την αντιστοιχία μεταξύ παρατηρημένων ανωμαλιών και μεγέθους-θέσης του κορμού. Ένα άλλο αναμενόμενο από τις πιλοτικές εκσκαφές θα είναι επίσης και η απόκριση των όγκων λάβας που περιέχονται στα επικλαστικά ιζήματα.

**3.Μέθοδος υπεδάφιου ραντάρ.** Σε αναμενόμενους στόχους που δοκιμάστηκε η μέθοδος ραντάρ διαπιστώθηκε ότι οι επιφάνειες των κορμών αποτελούν ευδιάκριτες επιφάνειες ανάκλασης, με αποτέλεσμα η μέθοδος να κρίνεται ικανή στον εντοπισμό θαμμένων απολιθωμένων κορμών. Από την μελέτη του συνόλου των μετρήσεων που έγιναν στην περιοχή επίσης, και που για λόγους οικονομίας χώρου δεν παρουσιάζονται στην εργασία, διαπιστώθηκε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις ανωμαλίες στις εικόνες ραντάρ ταυτίστηκαν είτε με μαγνητικές ανωμαλίες είτε με περιοχές υψηλών αντιστάσεων στις ηλεκτρικές τομογραφίες.

#### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τους κριτές Ταξιάρχη Παπαδόπουλο και Ιωάννη Λούη για την προσεκτική ανάγνωση και τις ουσιαστικές παρατηρήσεις που έκαναν στο αρχικό κείμενο.

Η εργασία αυτή αποτελεί δημοσίευση του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης με αριθμό 549/2001.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BARKER R.D. (1992). A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. *First Break*, 10, 53-63.
- ΒΕΛΙΤΖ'ΕΛΟΣ Ε., ΖΟ'ΥΡΟΣ Ν., ΣΕΡΑΪΔΗΣ Π. ΚΑΙ ΚΟΝΤ'ΗΣ Ε. (1999). Συμβολή στη μελέτη της παλαιολιθώδας του απολιθωμένου δάσους της Λέσβου-Δημιουργία του γεωπάρκου Σιγρίου. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τομ. XXXIII, σελ. 89-98.
- SAVVAIDIS A., TSOKAS G., LIRITZIS Y. AND M. APOSTOLOU (1999). The location and mapping of ancient ruins on the castle of Lefkas (Greece) by resistivity and GPR methods. *Archaeological Prospection*, 6, p63-73.
- SHIMA H. (1990). 2-D automatic resistivity inversion technique using alpha centers. *Geophysics*, 55, 682-694.
- TRIPP A., HOHM-MANN, G. AND SWIFT, C. (1992). 2-D resistivity inversion. *Geophysics*, 57, 1004-1013.
- TSOKAS G.N., GIANNOPOULOS A., TSOURLOS P., VARGEMEZIS G., TEALBY J.M., SARRIS A., PAPAΖACHOS C.B., AND T. SAVOPOULOU (1994). A large scale geophysical survey in the archaeological site of Europos (northern Greece) *Journal of Applied Geophysics* 32, p.85-98.
- TSOKAS G., PAPAΖACHOS C.B., VAFIDIS A., LOUKOYIANNAKIS M.Z., VARGEMEZIS G. AND K. TZIMEAS (1995). The detection of monumental tombs buried in tumuli by seismic refraction, *Geophysics*, Vol. 60, No. 6, p. 1735-1742.
- TSOURLOS P., SZYMANSKI J., DITTMER J. AND TSOKAS G. (1993). The use of back-projection for fast inversion of 2-D resistivity data. *Proceedings of the 2nd congress of the Greek Geophysical Union, Florina Greece, 5-7 May, Vol. 1, 71-81.*
- TSOURLOS P., DITTMER J. AND SZYMANSKI J. (1995). A study of non-linear techniques for the 2-D inversion of earth resistivity data. *Expanded abstracts of the 57th meeting of the EAEG: Glasgow, Scotland, 29 May-2 June, 1995, P031.*
- VELITZELOS, E. AND ZOUROS N. (1997). The Petrified Forest of Lesvos-Protected Natural Monument, *Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the environment, organized by the Greek National Group of IAEG/ATHENS/GREECE/23-27 JUNE 1997, pp3037-3043.*