**Η ανακάλυψη της σπηλιάς και η γεωφυσική μέθοδος**

**Διαβάστε την αφήγηση της εφαρμογής της γεωφυσικής μεθόδου κατά τη διάρκεια της ανασκαφής της Σπηλιάς του Μακρυγιάννη και τη μελέτη που ακολουθεί και αφορά στην εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων στον εντοπισμό των αρχαιοτήτων. Απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις:**

**Τι συνέβει στην ανασκαφή της σπηλιάς;**

**Ποιος συμμετείχε στο γεγονός;**

**Πότε συνέβει;**

**Πού συνέβει;**

**Γιατί συνέβει;**

**Ποια ήταν τα αποτελέσματα;**

**Ποιες εντυπώσεις σας δημιουργούνται;**

«Βρίσκομαι στην άκρη της δυτικής πλευράς του ναού, όταν την προσοχή μου τραβά ένα μικρό βαν με το σήμα του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Ηλεκτρόδια και καλώδια, που μπήγονται στα σπλάχνα του ιερού χώρου, με κάνουν ακόμα πιο περίεργη. Πλησιάζω για να ρωτήσω έναν ευγενικό νεαρό, τον Κωνσταντίνο Λεονταράκη, δρ εφαρμοσμένης γεωφυσικής, όπως μου συστήνεται και ο οποίος με ενημερώνει ότι ερευνητές της σχολής Μηχ.-Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Πολυτεχνείου, με επικεφαλής τον καθηγητή εφαρμοσμένης γεωφυσικής, κ. Γιώργο Αποστολόπουλο, σε συνεργασία με την Εφορεία Αρχαιοτήτων Αθηνών, ερευνούν την κοιλότητα που αποκαλύφθηκε εκ νέου στη διάρκεια των ανασκαφών.

 Η έκπληξή και των δύο ήταν μεγάλη, του καθενός βέβαια για διαφορετικό λόγο. Η δική μου γιατί έβλεπα μπροστά μου το χώρο, τον οποίο πνευματικοί άνθρωποι, εδώ και περισσότερο από ένα αιώνα εύχονται να αποκαλυφθεί, δηλαδή «τη σπηλιά» του Μακρυγιάννη και του Κωνσταντίνου, γιατί ...κρατούσα μία φωτογραφία αυτών ακριβώς των θολωτών κατασκευών που ερευνούσαν! Οι ερευνητές έσκυψαν με ενδιαφέρον, ακούγοντας με έκπληξη για τη χρήση του χώρου από το στρατηγό Μακρυγιάννη. Ο καθηγητής κ. Γιώργος Αποστολόπουλος μετακίνησε βιαστικά ένα μηχάνημα για να πάρει λήψεις πάνω από το σημείο, όπου με βάση τη φωτογραφία του Βλαχογιάννη υπάρχει η δεύτερη θολωτή κατασκευή!

 Με ιδιαίτερη συγκίνηση κατέβηκα για να δω από κοντά τη σπηλιά, την οποία ο Μακρυγιάννης είχε μετασκευάσει σε εκκλησία, διωκόμενος επειδή διεκδικούσε σύνταγμα, σε ζοφερούς για την πατρίδα μας χρόνους:

 *Ὅταν κιντυνεύαμεν ἀπό τόν Ἀρμασπέρη[[1]](#footnote-0) καί συντροφιά του, ὁπού μέ εἶχε κλεισμένον μέ τά στρατέματα τόσες ἡμέρες[[2]](#footnote-1) [...] (...διά νά μιλῶ, μέ κιντύνευαν), εἶπα νά λευτερωθεῖ ἡ πατρίς καί νά φκιάσω εἰς τό περιβόλι μου μιάν ἐκκλησία, τήν Ἁγία Τριάδα τήν Χρυσοσπηλιώτισσα, ὅτ’ εἶναι σπηλιά ἐκεῖ, καί τόν Ἁ-Γιάννη τόν Βαφτιστή. Ἔφκιασα τήν σπηλιά, τήν μερεμέτισα καί ἔβαλα καί τήν ἁγία Τράπεζα καί ἔφκιασα καί τίς τρεῖς εἰκόνες· κάνοντας ἔξοδα τώρα διά τήν μεταβολή καί ἄλλα, δέν εἶχα τόν τρόπον· εἶπα, ὅποτε ὁ Θεός βοηθήσει καί νά στερεώσει τήν πατρίδα καί θρησκεία, τότε θά κάμω τό χρέος μου*. (Μακρυγιάννης, 1985: 54-55)»

Οι John Weymouth και Bruce Bevan διεξήγαγαν διάφορες έρευνες στις Ηνωµένες Πολιτείες που κατέδειξαν τη χρησιµότητα της γεωφυσικής. Εντούτοις, στις Ηνωµένες Πολιτείες η πιο συνήθης περίπτωση είναι τα στοιχεία αρχαιολογικού ενδιαφέροντος να είναι σκεπασµένα και τα κοιλώµατα τους γεµισµένα µε χώµα. Μεταλλικά αντικείµενα δεν παρουσιάζονται στα προϊστορικά αρχεία και πέτρινα οικοδοµήµατα βρίσκονται µόνο σε λίγες περιοχές. Η εξέλιξη στην πληροφορική ήταν αυτή που επέτρεψε την συλλογή, επεξεργασία και χαρτογράφηση χιλιάδων δεδοµένων και γενικά δεδοµένων που ήταν δύσκολο να ερµηνευτούν. Το γεωραντάρ (GPR) είναι µια κάπως πιο πρόσφατη προσθήκη στο γεωφυσικό οπλοστάσιο. Το GPR αναπτύχθηκε αρχικά για να εντοπιστούν κοιλότητες, όπως φρέατα ορυχείων και σήραγγες.

Συγκεκριµένα, από τους χάρτες των ηλεκτροµαγνητικών δεδοµένων εντοπίζουµε αρχικά τρείς δεξαµενές και ένα µεγάλο χώρο µε πολιτιστικά στοιχεία. Με την περαιτέρω ανάλυση τους, µε ειδικό λογισµικό, έχουµε την δυνατότητα παραγωγής νέων χαρτών (πρώτης παραγώγου σε συγκεκριµένες διευθύνσεις και φίλτρων χαµηλής συχνότητας) από τους οποίους λαµβάνονται περαιτέρω πληροφορίες τόσο στην τοποθέτηση των τοιχίων όσο και των δεξαµενών. Στη συνέχεια, εφαρµόζουµε την µέθοδο του γεωραντάρ, του οποίου η ανάλυση των δεδοµένων, µας επιβεβαιώνει την ύπαρξη των τοιχίων και δεξαµενών µε πολλαπλές ανακλάσεις. Τελικά εφαρµόζεται η µέθοδος της ηλεκτρικής αντίστασης µε την τεχνική της γεωηλεκτρικής τοµογραφίας. Έτσι επιτυγχάνουµε την πιο ολοκληρωµένη εικόνα των δεξαµενών ( σε βάθος και θέση) και των επικρατούντων γεωλογικών συνθηκών στην περιοχή.

Ηλεκτρική Αντίσταση. Ηλεκτρική αντίσταση είναι ο βαθµός στον οποίο ένα υλικό περιορίζει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύµατος, και µετριέται σε Ohm. Η διακύµανση της ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από το ποσό της υγρασίας στο έδαφος, χονδρόκοκκα εδάφη, καλά στραγγισµένα εδάφη (χαλίκια, άµµος) παρουσιάζουν σχετικά υψηλή αντίσταση, ενώ λεπτόκοκκα εδάφη (αργίλους, ιλύς), που περιέχουν περισσότερη υγρασία παρουσιάζουν µικρότερη αντίσταση. Σε σύγκριση µε το χώµα, οι πέτρες και τα τούβλα συνήθως χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή αντίσταση. Η ηλεκτρική αντίσταση είναι χρήσιµη στις αρχαιολογικές έρευνες επειδή τα στοιχεία προς µελέτη παρουσιάζουν τοπικές διαφορές µε την φυσική στρώση του εδάφους και συχνά παρουσιάζουν συγκεντρώσεις οργανικών υλικών, πέτρες και άλλα αντικείµενα. Αυτές οι διαφοροποιήσεις ως προς το έδαφος σχετίζονται µε µια τοπική αντίθεση στην κατακράτηση υγρασίας και συνεπώς µε την ηλεκτρική αντίσταση. Ένας τοίχος φτιαγµένος από πέτρα ή τούβλο, για παράδειγµα, έχει συνήθως µεγαλύτερη αντίσταση από την γύρω περιοχή.

Η µέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης µπορεί να γίνει µε τέσσερα ηλεκτρόδια που καρφώνονται στο έδαφος. Με τον τρόπο αυτό και διατηρώντας την ίδια απόσταση ηλεκτροδίων µπορούν να γίνουν προφίλ ηλεκτρικής αντίστασης που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριµένο βάθος. Αυξάνοντας την απόσταση των ηλεκτροδίων, αυξάνεται και το 19 βάθος διείσδυσης, αποκαλύπτοντας όλο και βαθύτερες πληροφορίες , µε αποτέλεσµα την εµφάνιση της κοιλότητας είτε σαν µέγιστο είτε σαν ελάχιστο επάνω στα προφίλ.

. Επίγειο ραντάρ (GPR) Τα όργανα GPR λειτουργούν µε τη µετάδοση της ηλεκτροµαγνητικής ενέργειας (πολύ υψηλής συχνότητας ράδιο παλµοί [VHF]) στο έδαφος και τη µέτρηση του ποσού ενέργειας που ανακλάται πίσω και του χρόνου που παίρνει για να φθάσει στην επιφάνεια (Bevan 1998 Conyers και Goodman 1997 Gaffney και Gater 2003 Kvamme 2001). Χώµατα, βράχοι, θαµµένα αντικείµενα διάφορα στοιχεία διαφέρουν στο βαθµό στον οποίο απορροφούν ή ανακλούν την ενέργεια. Οι παλµοί του ραντάρ ανακλώνται πίσω στην επιφάνεια γρηγορότερα από τα ρηχά αντικείµενα από αυτά που είναι βαθύτερα. Ο χρόνος που απαιτείται για την ανάκλαση µπορεί να χρησιµοποιηθεί για να υπολογιστούν τα βάθη των αντικειµένων και των επιφανειών. Αυτή η τεχνική χρησιµοποιείται από την αρχαιολογία.

Εφαρµογή του ΕΜ-31 σε αρχαιολογικό χώρο , στο 5000 ετών νεκροταφείο στην νοτιοανατολική ακτή της Babedh-Dhra, της Ιορδανίας. Με τον εξοπλισµό αυτό, αναγνωρίστηκαν διαφοροποιήσεις στην αγωγιµότητα λόγο των τάφρων γύρω από τους τύµβους (Εικόνα 3.1). Επίσης, εξακριβώθηκε ποιοι τάφοι είχαν ανοιχτεί από τυµβωρύχους. Σε κάθε περίπτωση, ήταν δυνατόν να εντοπιστεί το ακριβές κέντρο των τύµβων. Με την επιτυχηµένη εφαρµογή της µεθόδου αυτής, περιορίστηκε κατά πολύ ο χρόνος εντοπισµού των τύµβων και έτσι δόθηκε περισσότερος χρόνος στην εκσκαφή και την επεξεργασία τους

Συµπεράσµατα Από την εφαρµογή των τριών γεωφυσικών µεθόδων και την επεξεργασία των αποτελεσµάτων τους προκύπτουν τα εξής συµπεράσµατα: Κάθε µια από τις γεωφυσικές µεθόδους που χρησιµοποιήθηκαν σε αυτή την έρευνα, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσµατα στην προσπάθεια εντοπισµού αρχαιοτήτων. Η γεωηλεκτρική τοµογραφία αποδείχτηκε πως είναι χρήσιµη στις αρχαιολογικές έρευνες επειδή τα στοιχεία προς µελέτη παρουσιάζουν τοπικές διαφορές µε την φυσική στρώση του εδάφους. Αυτές οι διαφοροποιήσεις ως προς το έδαφος σχετίζονται µε µια τοπική αντίθεση στην ηλεκτρική αντίσταση. Ένας τοίχος φτιαγµένος από πέτρα ή τούβλο, για παράδειγµα, έχει συνήθως µεγαλύτερη αντίσταση από την γύρο περιοχή. Έτσι µε την γεωηλεκτρική τοµογραφία µπορέσαµε να εντοπίσουµε τις δεξαµενές από το κυρίως το αγώγιµο υλικό που βρίσκεται µέσα σ’ αυτές. Επίσης το µεγάλης ειδικής αντίστασης επιφανειακό στρώµα σχετίζεται µε µπάζα ή θαµµένα τοιχία κυρίως εκεί που φαίνονται κάποιες πεπερασµένες δοµές πολύ υψηλής ειδικής αντίστασης. Με τις ηλεκτροµαγνητικές µεθόδους, ηλεκτρική αγωγιµότητα και in-phase συνιστώσα (µαγνητική επιδεκτικότητα), µπορέσαµε να εντοπίσουµε τοιχία τα οποία σε σχέση µε τους εδαφικούς σχηµατισµούς είναι µη αγώγιµα και µη µαγνητικά επιδεκτικά. Επίσης, εντοπίσαµε υλικό , µέχρι τα έξι µέτρα, που σε σχέση µε τον περιβάλλοντα χώρο είναι αγώγιµο και πιστεύουµε ότι αυτός είναι ο χώρος των δεξαµενών. Είναι λογικό το υλικό µέσα στις δεξαµενές να είναι πιο µαγνητικό είτε λόγω της υγρασίας που περιέχετε µέσα στη δεξαµενή, είτε λόγω της φύσης του υλικού που επεξεργαζόταν εκεί. Αναλυτικότερα για τις ηλεκτροµαγνητικές µεθόδους, οι αρχικοί χάρτες ηλεκτρικής αγωγιµότητας µας δίνουν πολύ καλά αποτελέσµατα για την ακριβή θέση των τοιχίων και των δεξαµενών. Οι χάρτες “in phase” τιµών δείχνουν επίσης ικανοποιητικά την θέση των τοιχίων. Από τους χάρτες των φίλτρων «Distance weighting», “Inverse Distance”, “Moving Average” δεν εξάγουµε κάποιο νέο συµπέρασµα, απλά διαπιστώνεται ποιος είναι ο ευρύτερος χώρος ενδιαφέροντος. Κατά την εφαρµογή των παραγώγων διευθύνσεων στους χάρτες ηλεκτρικής αγωγιµότητας, υπάρχει ο κίνδυνος να δηµιουργηθούν ανωµαλίες οι οποίες στην πραγµατικότητα δεν υπάρχουν και έτσι να εξαχθούν εσφαλµένα αποτελέσµατα. Ωστόσο 124 στη συγκεκριµένη έρευνα εξήχθησαν πολύ καλά και χρήσιµα συµπεράσµατα από συνδυασµένους χάρτες παραγώγων 60 και -30 µοιρών µαζί. Με τη µέθοδο του γεωραντάρ που στηρίζεται στη µετάδοση της ηλεκτροµαγνητικής ενέργειας στο έδαφος, τη µέτρηση του ποσού ενέργειας που ανακλάται πίσω και του χρόνου που παίρνει για να φθάσει στην επιφάνεια, ανιχνεύσαµε ανακλάσεις που πιθανά αντιστοιχούν σε τοιχία τα οποία πιθανά είναι από δωµάτια που κατοικούσαν οι εργάτες, ή µέρος των επεξεργαστικών µονάδων του µεταλλεύµατος. Τα αποτελέσµατα των τριών µεθόδων είναι σε σηµαντική συµφωνία µεταξύ τους όσον αφορά την ύπαρξη και την θέση των τοιχίων και των δεξαµενών. Όσον αφορά τις δεξαµενές εντοπίζονται κυρίως από την σύγκριση των αποτελεσµάτων της γεωηλεκτρικής τοµογραφίας και της ηλεκτρικής αγωγιµότητας (εικόνα 7.1), ενώ τα τοιχία από την σύγκριση των αποτελεσµάτων της µαγνητικής επιδεκτικότητας, ηλεκτρικής αγωγιµότητας και γεωραντάρ (στην εικόνα 7.1 η περιοχή των τοιχίων στην γεωηλεκτρική τοµή που τα διαπερνάει φαίνεται µία υψηλής ειδικής αντίστασης επιφανειακή δοµή που έχουµε ορίσει ως ανθρωπογενείς αποθέσεις). Θεωρούµε ότι οι γεωφυσικές µέθοδοι µπόρεσαν να απαντήσουν στο κύριο ερώτηµα, που βρίσκονται οι δεξαµενές που βοηθούν στην επεξεργασία του µεταλλεύµατος και κάποια τοιχία που βρίσκονται κυρίως γύρω από τις δεξαµενές. Τέλος, θεωρούµε ότι ο τρόπος ροής των γεωφυσικών µετρήσεων που ακολουθήσαµε στην περιοχή είναι ο ενδεδειγµένος, ώστε να καλύψουµε γρήγορα και αποτελεσµατικά την περιοχή. Με την ηλεκτροµαγνητική µέθοδο εντοπίσαµε τα τοιχία και την πιθανή ύπαρξη δεξαµενών, µε το γεωραντάρ επιβεβαιώσαµε την ύπαρξη των τοιχίων και τέλος µε την γεωηλεκτρική τοµογραφία, που µπορεί να αποτυπώσει µε µεγάλη ακρίβεια δοµές και στρωµατογραφία, σαρώσαµε την περιοχή υψίστου ενδιαφέροντος.

1. [**Εφαρµογή Γεωφυσικών Μεθόδων για τον Εντοπισµό Ενταφιασµένων Αρχαιοτήτων**](https://core.ac.uk/download/pdf/38430113.pdf)**.**
1. Ιωσήφ Λουδοβίκος Άρμανσπεργκ (1787-1853): Βαυαρός πολιτικός και πρόεδρος του συμβουλίου της Αντιβασιλείας.. [↑](#footnote-ref-0)
2. Ιανουάριος 1837 (Βλαχογιάννης, 1907: Β΄: 330) [↑](#footnote-ref-1)