

## ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΘΑΜΜΕΝΩΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ ΧΩΡΟΥ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗ ΛΑΜΙΑ\*

Γ.Ν. ΤΣΟΚΑΣ<sup>1</sup>, Γ.ΒΑΡΓΕΜΕΖΗΣ<sup>1</sup>, Γ.ΣΟΥΛΙΟΣ<sup>2</sup>, Ι.ΜΕΡΤΖΑΝΙΔΗΣ<sup>1</sup> ΚΑΙ Π.ΤΣΟΥΡΑΟΣ<sup>1</sup>.

### ΣΥΝΟΨΗ

Πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με τη μέθοδο του υπεδάφιου ραντάρ (G.P.R.) σε περιοχή ανέγερσης χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων στο κέντρο του πολεοδομικού συγκροτήματος στη Λαμία. Στόχος της έρευνας ήταν ο εντοπισμός και η χαρτογράφηση θαμμένων αρχαιοτήτων προτού αρχίσουν οι εργασίες ανοικοδόμησης.

Τα αποτελέσματα δείχνουν την έντονη παρουσία περιθλάσεων οι οποίες δημιουργήθηκαν από την ύπαρξη ανομοιογενειών στο υπέδαφος σε πολύ μικρό βάθος. Οι θέσεις των ανομοιογενειών αυτών συσχετίστηκαν με ορατά αρχιτεκτονικά λείψανα στα παρακείμενα οικοπέδα. Έτσι, έγινε δυνατή η χαρτογράφηση των θαμμένων λειψάνων στην περιοχή έρευνας. Η ανασκαφή που επακολούθησε επιβεβαίωσε τα ευρήματα της γεωφυσικής μεθόδου.

### ABSTRACT

Geophysical exploration by means of the Ground probing Radar (G.P.R.) method was carried out in an area where a parking will be erected in the center of the city of Lamia. The exploration aimed to detect and map concealed ancient foundation remains and thus aid the following excavation. The presence of ancient remains was indicated by the revealed ones in the neighboring grounds and there obvious continuation towards the target area.

Prospecting was conducted along profiles spaced normally at 1 m separation from the other. Traces were taken stepwise at 0.1 or 0.2 m intervals using antennae of 225 MHz central frequency. Nine profiles of about 40 m long were measured in this fashion.

All traces were subjected to dewow filtering, i.e. removal of the slow changing near field inductive component. Also, they were subjected to low pass filtering with the cut off threshold set at 600 Mhz. The particular processing sequence was fixed after several tests run on the traces using various filtering processes.

The resulting sections show intense diffraction hyperbolae indicative of the presence of near surface heterogeneities. The so detected subsurface structures were correlated with the visible ruins in the near by grounds. It seems that they have the same direction and thus they all belong to the same urban complex.

The positions along the profiles where the hyperbolae occur were marked on a sketch of the area. Thus, the exact map of the concealed foundations was obtained. Slicing, was also attempted, by integrating the amplitudes for several time intervals along the profiles. The obtained pictures confirmed the initial result of the sketch.

This case study shows the potential and the benefits of the whole operation. The concealed antiquities were mapped with a non destructive, inexpensive, swift and safe manner. The excavations which followed the geophysical search, confirm the findings. For the shake of interest, the investment proceeded by modifying the initial plans such that big pillars were planted and the antiquities remain intact below a multistore building.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Υπεδάφιο ραντάρ, Λαμία, αρχαιολογική διασκόπηση.

**KEY WORDS:** Ground Penetrating Radar, Lamia, archaeological Propection.

\* GEOPHYSICAL PROSPECTING FOR BURIED ANTIQUITIES BY MEANS OF THE G.P.R. METHOD IN A PARKING CONSTRUCTION AREA IN LAMIA.

1. Εργαστήριο Γεωφυσικής, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη.

2. Εργαστήριο Υδρογεωλογίας και Γεωχημείας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

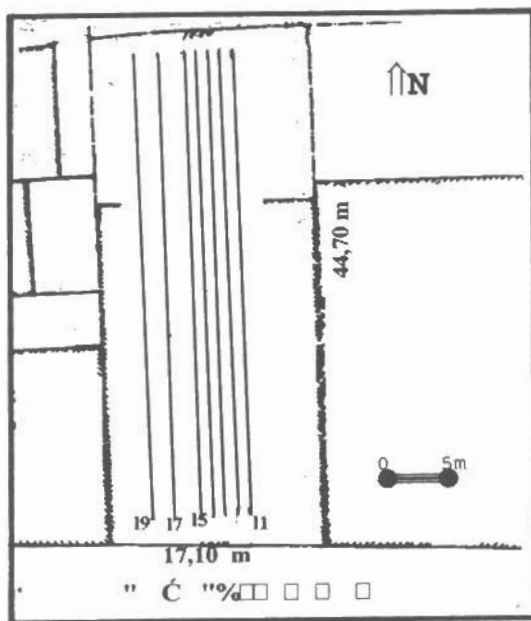
Στο κέντρο του πολεοδομικού συγκροτήματος της Λαμίας, σε ακάλυπτο ασφαλτοστρωμένο χώρο, πρόκειται να ανεγερθεί κατασκευή η οποία θα λειτουργήσει ως χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων. Κατά τις εργασίες κάλυψης των παρακειμένων οικοπέδων, αποκαλύφθηκαν αρχαία οικοδομικά λείψανα με προφανή συνέχεια προς τον εν λόγω ακάλυπτο χώρο. Κατά συνέπεια, ο χώρος αυτός έπρεπε να ερευνηθεί πριν από οποιαδήποτε επέμβαση με σκοπό να ανιχνευθούν θαμμένα λείψανα. Επιπλέον, τα λείψανα αυτά θα μπορούσαν να χαρτογραφηθούν και έτσι να δοθεί κάποια βοήθεια στους ανασκαφείς.

Λόγω του μικρού βάθους ταφής των αρχαιοτήτων, αλλά και του γεγονότος ότι ο χώρος ήταν ασφαλτοστρωμένος, επιλέχθηκε ως μέθοδος διασκόπησης αυτή του υπεδάφιου ραντάρ (Ground Probing Radar, G.P.R.).

Το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. έχει διεξάγει πολλές παρόμοιες διασκοπήσεις στο πλαίσιο συστηματικών ή σωστικών ανασκαφών (π.χ. Giannopoulos et al.1994, Tsokas et al. 1994, Savvaidis et al. 1999, Mertzaniides et al. 1999). Κατά συνέπεια διαθέτει τόσο την τεχνογνωσία διεξαγωγής διασκοπήσεων με τη μέθοδο του γεωραντάρ όσο και την πείρα στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων της διασκόπησης.

## 2. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥΣ

Στον χώρο έρευνας πραγματοποιήθηκαν εννέα παράλληλες οδεύσεις με τη μέθοδο του γεωραντάρ. Το μήκος κάθε οδεύσεως έφθανε τα 40 m και η τοποθέτησή τους στο χώρο φαίνεται στο σχήμα (1). Κάθε οδευση απείχε από τη διπλανή της κατά 1 m. Κατά μήκος των οδεύσεων, λήφθηκε ένα ραδιογράμμα ανά 0.1 m ή 0.2 m χρησιμοποιώντας κεραίες 225 MHz τόσο για την εκπομπή όσο και για τη λήψη του ηλεκτρομαγνητικού σήματος.



Σχ.1. Διάταξη των οδεύσεων μέτρησης στο χώρο έρευνας. Οι οδεύσεις 12 έως 14 είναι σε σειρά μεταξύ των οδεύσεων 11 και 15. Το όνομά τους δεν σημειώνεται στο σχήμα για λόγους ευκρίνειας.

Fig.1. Lay out of the profiles measured in the investigated area. The profile numbering is successive from right to left so that profiles 12 to 14 are not annotated in the figure to avoid confusion.

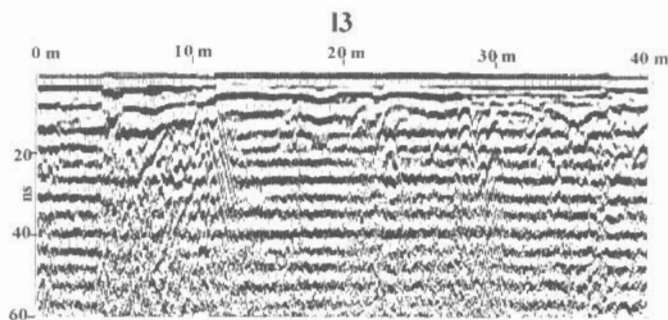
Στο σχήμα (2) φαίνεται η τομή κατά μήκος της οδεύσεως 13. Στην τομή αυτή παρατηρούνται έντονες υπερβολές περιθλάσεων σε αποστάσεις 5, 11, 21, 28.5, 33 και 37 m από την αρχή της οδεύσεως.

Όλες οι τομές υπέστησαν επεξεργασία με εφαρμογή φίλτρου απομάκρυνσης της ελαγωγικής συνιστώσας και φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων με κατώφλι αποκοπής στα 600 MHz. Εφαρμόστηκε επίσης φίλτρο κινουμένου μέσου όρου πέντε σημείων κατά μήκος κάθε ραδιογράμματος χωριστά. Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας ήταν από τη μια μεριά η απομάκρυνση του υπέρηχου θορύβου, ο οποίος οφειλόταν σε ηλεκτρονικά κυρίως αίτια. Επίσης απομακρύνθηκαν οι εξαιρετικά χαμηλόσυχνες συνιστώσες που ελάγο-

νται μεταξύ των κεραιών εκπομπής και λήψης.

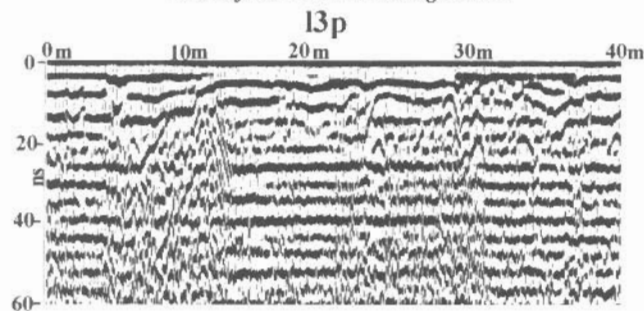
Στο σχήμα (3) δίνεται η τομή I3 μετά την επεξεργασία της. Εύκολα συμπεραίνεται ότι η ποιότητα των δεδομένων της τομής αυτής έχει βελτιωθεί σε σχέση με την εικόνα που παρουσιάζεται στο σχήμα (2).

Σε όλες τις τομές παρουσιάζονται έντονα φαινόμενα περίθλασης με περιορισμένη τοπική έκταση. Τα φαινόμενα αυτά είναι χαρακτηριστικά των μορφών που αναμένονται να δίνουν οι τοπικές ανομοιογένειες στο υπέδαφος. Δηλαδή, η παρουσία δομών με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες απ' ό,τι το περιβάλλον που τις φιλοξενεί. Είναι, λοιπόν, εύλογο να υποθεθεί ότι οι δομές αυτές είναι οικοδομικά λείψανα του παρελθόντος με δεδομένο ότι αυτές είναι εμφανείς στα γειτονικά οικοπέδα και φανερά συνεχίζονται κάτω από το χώρο έρευνας.



Σχ.2. Τομή κατά μήκος της οδού I3. Τα έντονα φαινόμενα περίθλασης που φαίνονται σε διάφορα τμήματα της τομής αποδίδονται στην παρουσία ανομοιογενειών στο υπέδαφος στις συγκεκριμένες θέσεις.

Fig.2 The resulted section along profile I3. Intense diffraction phenomena are present, which are indicative of subsurface lateral inhomogeneities.



Σχ.3. Επεξεργασμένη τομή κατά μήκος της οδού I3.

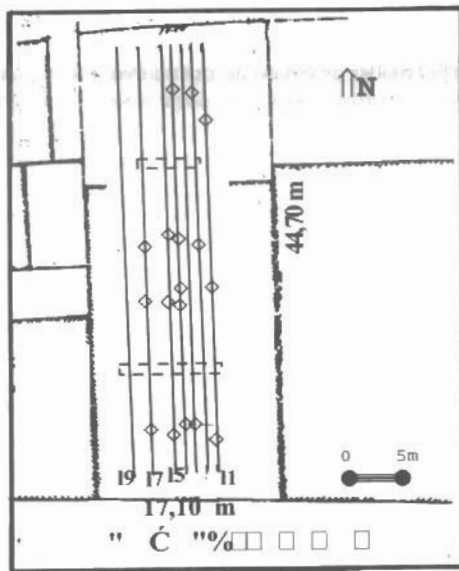
Fig.3. Processed section along the profile I3.

Το στρώμα της ασφάλτου δεν αποτυπώνεται σε καμία τομή πράγμα το οποίο αναμενόταν. Εφ' όσον η κεντρική συχνότητα των κεραιών που χρησιμοποιήθηκαν είναι 225 MHz, το χρονικό εύρος του παλμού που εκπέμπεται στο έδαφος είναι της τάξης των 6 ns (Annan and Cosway 1992). Στο χρονικό αυτό διάστημα, ο παλμός έχει ταξιδέψει περισσότερο από 30 cm στο έδαφος αν υποθέσουμε ότι κινείται με ταχύτητα 0.1 m/ns. Επομένως έχει διαπεράσει το στρώμα της ασφάλτου το οποίο μπορεί να έχει πάχος 0.15 m το περισσότερο. Δηλαδή, το αποτέλεσμα της παρουσίας της ασφάλτου εμφανίζεται σε συμβολή με την ανάκλαση από την επιφάνεια του εδάφους και δε μπορεί να διακριθεί από αυτή.

Ανιχνεύοντας τις περιθλάσεις σε κάθε μία τομή χωριστά, τις σημειώσαμε στην θέση που παρατηρήθηκαν σ' ένα σχεδιάγραμμα της περιοχής έρευνας. Με τον τρόπο αυτό προέκυψε μια κάτοψη των αρχαιοτήτων η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα (4).

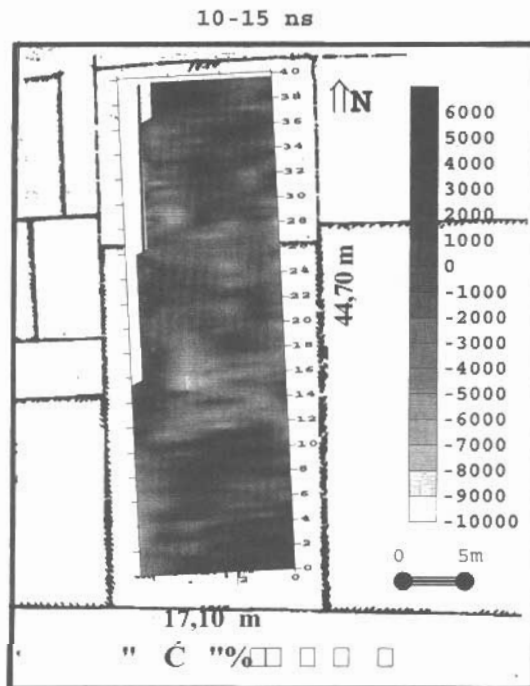
Στη συνέχεια επιχειρήθηκε η ολοκλήρωση των πλατών των ανακλάσεων σε συγκεκριμένα χρονικά παράθυρα. Στο σχήμα (5) φαίνεται η οριζόντια τομή που προέκυψε για το χρονικό παράθυρο από 10 έως 15 ns. Είναι φανερό ότι η τομή αυτή συμφωνεί με το αποτέλεσμα του σχήματος (5) και επιπλέον δίνει πληροφορίες και για ισχυρές ανακλάσεις προερχόμενες από δομές παράλληλες με την διεύθυνση των οδεύσεων.

Χρησιμοποιήθηκε η ψηφιακή Βιβλιοθήκη της Θεσσαλονίκης για την επεξεργασία των γεωλογικών και γεωφυσικών κυμάτων στο στρώμα



Σχ.4. Διάταξη των οδεύσεων μέτρησης στο χώρο έρευνας στο οποίο έχουν σημειωθεί με ρόμβους οι θέσεις στις οποίες παρατηρήθηκαν περιθλάσεις. Τα παραλληλόγραμμα με τις ασυνεχείς πλευρές σημειώνουν την θέση όπου παρατηρήθηκαν περιθλάσεις στο ίδιο ακριβώς σημείο σε κάθε τομή. Τα φαινόμενα αυτά αποδόθηκαν σε γραμμικές δομές στο υπέδαφος οι οποίες ερμηνεύτηκαν ως θεμελιώσεις αρχαίων κτισμάτων.

Fig.4. The diamonds show the positions where diffraction hyperbolae occurred. The parallelograms shown by dashed sides have been drawn to denote that diffractions occurred at exactly the same position along each profile.



Σχ.5. Οριζόντια τομή που προέκυψε με ολοκλήρωση των πλατών των ηλεκτρομαγνητικών ανακλάσεων στο διάστημα 10-15 ns

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

της ασφάλτου και η τιμή 0.08 για την ταχύτητα στον υποκείμενο εδαφικό ορίζοντα. Επομένως, όλες οι περιθλάσεις προέρχονται από δομές των οποίων οι άνω επιφάνειες ευρίσκονται μεταξύ 0.4 και 1 m.

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συγκεκριμένη διασκόπηση διεξήχθη σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα, απαιτήθηκαν 4 περίπου ώρες για τις εργασίες πεδίου και περίπου δύο ημέρες για την επεξεργασία και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Επομένως, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα αποκτήθηκε η σχετική γνώση που αφορούσε τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση των θαμμένων αρχιτεκτονικών λειψάνων. Ας σημειωθεί ότι ο χώρος ήταν ασφαλοστρωμένος, πράγμα που καθιστούσε πολύ δύσκολη την εφαρμογή γεωηλεκτρικών μεθόδων διασκόπησης. Επίσης, ο χώρος ευρίσκεται στο κέντρο της Λαμίας, πράγμα που από την άλλη μεριά σημαίνει ότι δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν η μαγνητική και η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος διασκόπησης.

Η μέθοδος του γεωραντάρ έδειξε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια μέσα σε πόλεις. Επίσης ότι είναι ικανή να δώσει σημαντικά αποτελέσματα σε σχετικά πολύ σύντομο χρόνο, αποτελεσματικά και με πολύ μικρό κόστος σε σχέση με τις ανασκαφές και τις καθυστερήσεις που αυτές συνεπάγονται.

### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τον κ. Πέτρο Κάρμη και τον άγνωστο κριτή των οποίων τα σχόλια βοήθησαν στη βελτίωση της εργασίας.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ANNAN, P. AND COSWAY, S.W., 1992, Ground Penetrating Radar survey design. SAGEEP, Chicago, April, 26-29.
- GIANNOPOULOS, A., TEALBY, J.M. AND TSOKAS, G.N., 1994, A 2-D forward model of ground probing radar: The transmission line matrix method. Proceedings of the second conference of the Hellenic Geophysical Union, 2, 172-183.
- MERTZANIDES, I.C., SOUPIO, P.M., TSOKAS, G.N., VARGEMEZIS, G. AND PALIADELI-SAATSOGLU, C., 1999, GPR exploration for concealed antiquities in the archaeological site of Verghina (Macedonia-Hellas). Book of abstracts, Second Balkan Geophysical Congress and Exhibition, Istanbul, July 5-9, 130-131.
- SAVVAIDIS, A., TSOKAS, G.N., LIRITZIS, Y. AND APOSTOULOU, M., 1999, The location and mapping of ancient ruins on the castle of Lefkas (Greece) by resistivity and GPR methods. Archaeological Prospection, 6, 63-73.
- TSOKAS, G.N., GIANNOPOULOS, A., TSOURLOS, P., VARGEMEZIS, G., TEALBY, J.M., SARRIS, A., PAPAACHOS, C.B. AND SAVOPOULOU, T., 1994, A large scale geophysical survey in the archaeological site of Europos (northern Greece). "Journal of Applied Geophysics", 32, 85-98.