



**Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**Εργαστήριο Γεωφυσικής-Τηλεπισκόπησης & Αρχαιοπεριβάλλοντος**  
**Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών (ΙΜΣ), Ίδρυμα Τεχνολογίας και**  
**Έρευνας (ΙΤΕ)**

**Τμήμα της Γης, Περιβάλλοντος και γεωχωρικών Επιστημών**  
**Lehman College, City University της Νέας Υόρκης**

**Geoelectromagnetic Κέντρο Ερευνών ΙΡΕ RAS, Ρωσική Ακαδημία**  
**Επιστημών, Μόσχα, Ρωσία**

**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ**  
**ΑΠΤΕΡΑΣ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΘΑΜΜΕΝΩΝ**  
**ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μιχάλης Εμμανουήλ-Παναγιωτίδης Χρήστος**

**Χανιά , Κρήτη, Ελλάδα**  
**ΙΟΥΝΙΟΣ 2012**



**Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**Εργαστήριο Γεωφυσικής-Τηλεπισκόπησης & Αρχαιοπεριβάλλοντος  
Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών (ΙΜΣ), Ίδρυμα Τεχνολογίας και  
Έρευνας (ΙΤΕ)**

**Τμήμα της Γης, Περιβάλλοντος και γεωχωρικών Επιστημών  
Lehman College, City University της Νέας Υόρκης**

**Geoelectromagnetic Κέντρο Ερευνών ΙΡΕ RAS, Ρωσική Ακαδημία  
Επιστημών, Μόσχα, Ρωσία**

**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ  
ΑΙΤΕΡΑΣ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΘΑΜΜΕΝΩΝ  
ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μιχάλης Εμμανουήλ-Παναγιωτίδης Χρήστος**

**Επιβλέπων : Παντελής Σουπιός**

## **Ευχαριστίες**

Με το πέρας της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κύριο Παντελή Σουπίο για την ευκαιρία που μας έδωσε , για την βοήθεια που μας πρόσφερε κατά την όλη διάρκεια της εκτέλεσης της εργασίας αλλά και της πειραματικής διαδικασίας και την συνεχή του καθοδήγηση και την στήριξη που μας παρείχε με τις γνώσεις του . Επιπλέον θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Y. Gorokhovich , τον κύριο Νίκο Παπαδόπουλο και τον κύριο Pavel Barsukov για την εξαιρετική εμπειρία που μας προσέφεραν με τις γνώσεις τους κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων στην Αρχαία πόλη των Απτέρων. Η συμμετοχή τους στην πραγματοποίηση της εργασίας αυτής, ήταν καθοριστικής σημασίας και τους οφείλω παραπάνω από μια ευχαριστία για τα εφόδια που απεκτήσαμε.

## **Thanks**

Upon completion of this thesis would like to thank Professor Mr. Pantelis Soupio for the opportunity given us to help you offered us during the whole lifetime of the work and the experimental procedure and his continuous guidance and support provided us with knowledge. In addition we wish to thank Mr. Y. Gorokhovich, Mr. Nikos Papadopoulos and Mr. Pavel Barsukov for the excellent experience we bring to their knowledge during the experimental measurements of the ancient city of Aptaera. Their participation in the realization of this work was crucial and I owe them more than a thanksgiving for the skills acquired.

## **Περίληψη**

Στην παρούσα εργασία θα αναλύσουμε τα γεωλογικά δεδομένα που παρήχθησαν από τις μετρήσεις στον αρχαιολογικό χώρο των Απτέρων , που θα μας επιδεικνύουν τα υπόγεια υδρομαστευτικά συστήματα που τροφοδοτούσαν την πόλη χιλιάδες χρόνια πριν .

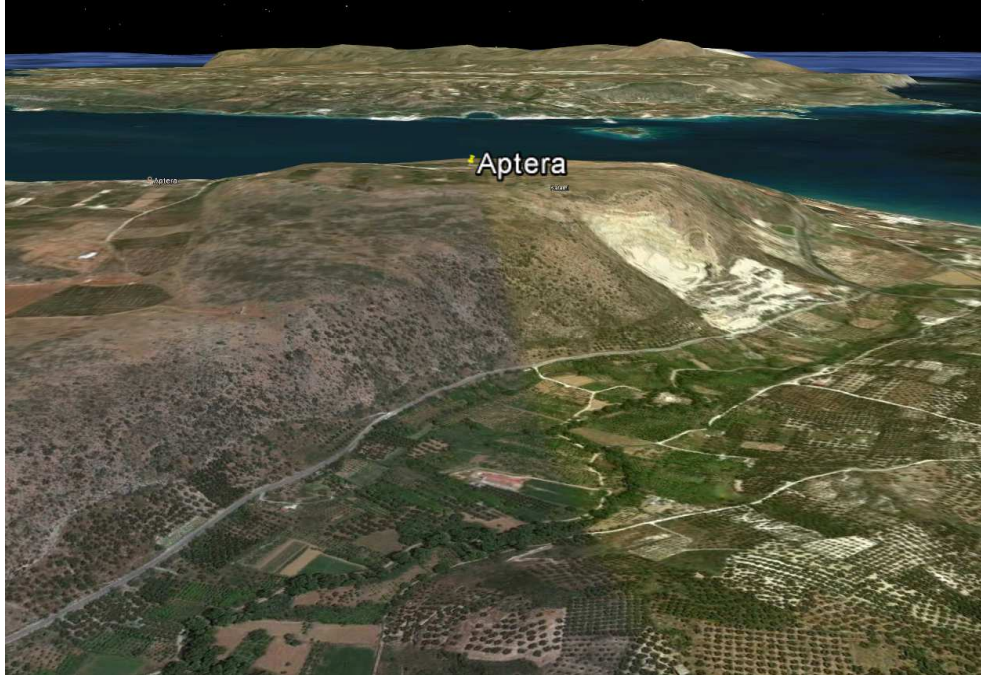
## **Summary**

In this work we analyze the geological data taken from measurements at the archaeological site of Aptaera that will show the underground ydromastefitika systems supplied the city thousands of years ago.



## Σκοπός της πτυχιακής εργασίας

Το ερώτημα που υπήρχε σαν μυστήριο ήταν :  
Ρωμαϊκές δεξαμενές στην Αρχαία Άπτερα: πώς οι αρχαίοι τους γέμιζαν με  
νερό τις δεξαμενές ;



Τοποθεσία της Αρχαίας Άπτερας: λόφος πάνω από το λιμάνι της Σούδας



Είναι εμφανέστατες οι δεξαμενές που θα μας απασχολήσουν παρακάτω.



Σύμφωνα με τις αρχαιολογικές ανασκαφές και τις δομές των δεξαμενών και της μορφολογίας εδάφους προκύπτει ότι :

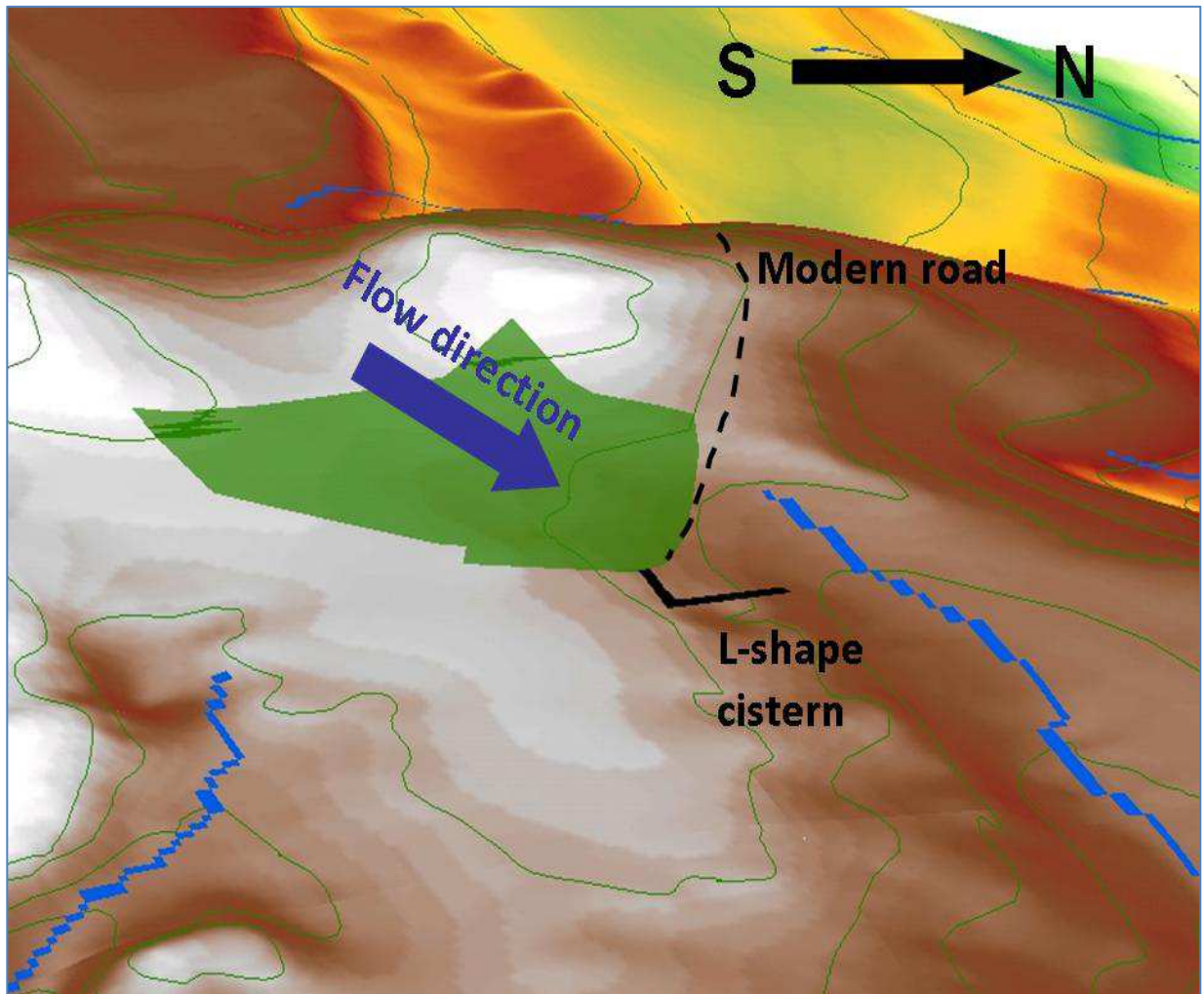
Δεν υπάρχουν υπολείμματα δομών υδραγωγείου

Δεν υπάρχουν απομεινάρια της δομής συγκομιδής νερού

Δεν είναι ορατή η καμπή της λεκάνης

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικοί υδροφόροι ορίζοντες σε προσβάσιμο βάθος

Άρα ένα γρήγορο αποτέλεσμα αυτών των μελετών υποδεικνύουν την πιθανότητα της επιφανειακής απορροής ως κύρια πηγή του νερού.



Μια σχηματική αναπαράσταση του ανάγλυφου της περιοχής που μας ενδιαφέρει που δείχνει ξεκάθαρα την επιφανειακή απορροή των υδάτων προς τη θέση L-shape cistern .

Η πρώτη τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στην αρχαία πόλη Άπτερα ήταν τα ηλεκτρικά

Που τοποθετήθηκαν κατά μήκος του δρόμου όπως φαίνεται παρακάτω αλλά τα αποτελέσματα που παρείχαν δεν βοήθησαν στην τεκμηρίωση του αποτελέσματος.

Για αυτό παρακάτω θα αναλύσουμε τις άλλες δυο γεωφυσικές τεχνικές που χρησιμοποιήσαμε για την τεκμηρίωση του αποτελέσματος και μας παρείχαν πολλές σημαντικές πληροφορίες .



Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων κατά μήκος του δρόμου



Τα παρελκόμενα των ηλεκτροδίων , είναι εμφανής η μονάδα ελεγχου και η μπαταρία

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

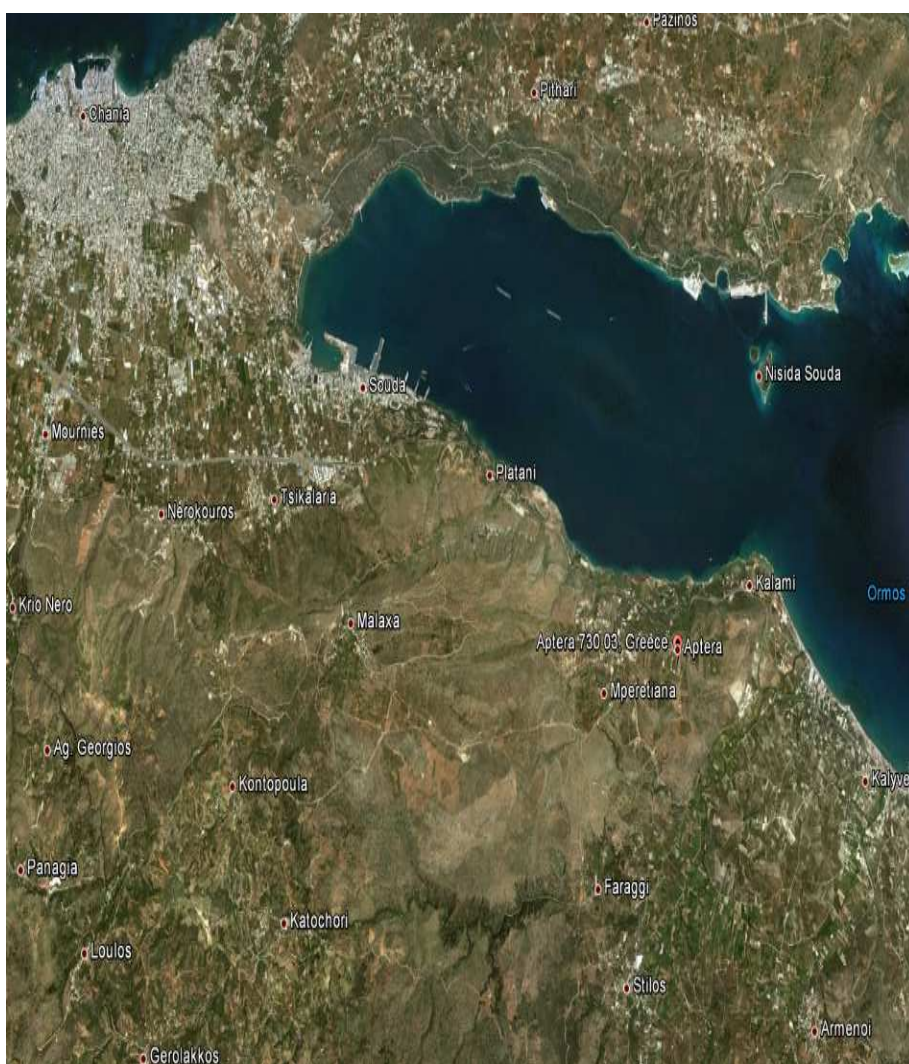
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΕΙΝΑΙ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ .....	8
1.2	Ο ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΑΠΤΕΡΑ.....	10
2.	Η ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΤΑ ΑΠΤΕΡΑ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΟΡΓΑΝΩΝ...13	
3.	ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΙΣ.....	16
3.1	ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ (GPR).....	16
4	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ.....	20
4.1	ΜΕΤΩΠΟ ΚΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΑΚΤΙΝΑΣ.....	20
4.2.	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ.....	21
5.	ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ.....	22
5.1	ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ.....	22
5.2	Η GROUND RADAR ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	23
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	24
6.1	ΥΠΕΛΔΑΦΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑ ΡΑΝΤΑΡ(ΕΙΚ. 6.1-6.7).....	24
7.1	ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΟΔΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ.....	30
	ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	32
	ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	33
	ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	35
	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	37
	ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	38
7.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΜ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΑΠΤΕΡΑ.....	39
	ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ.....	49



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Αντικείμενο της έρευνας στον τομέα γεωφυσικής ομάδας

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις στα Άπτερα (Χανιά) πραγματοποιήθηκαν κατά την περίοδο 9 - 10 Ιουν 2012 , Μάιος 2013 και Ιούνιος 2013 κάτω από τη συνεργασία του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας (Ι.Τ.Ε.) , το ΤΕΙ της Κρήτης και με το Lehman College, City University of Νέα Υόρκη (καθηγητής Yuri Gorokhovich ). Τα Άπτερα βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της Κρήτης, περίπου 14 χιλιόμετρα ανατολικά της πόλης των Χανίων (Εικ. 1,1). Ο στόχος των γεωφυσικών εκστρατειών, η οποία υποστηρίχθηκε από το City University της Νέας Υόρκης, ήταν να διερευνηθεί η υπόθεση της προέλευσης του νερού που γέμιζε τις Ρωμαϊκές δεξαμενές.





**Σχήμα 1.1:**(Επάνω) Τοποθεσία των Απτέρων σε σχέση με τα Χανιά στο δυτικό τμήμα της Κρήτης. (προς τα κάτω) Παρουσίαση της ευρύτερης περιοχής αρχαιολογικού χώρου Απτέρας. Οι γεωφυσικές έρευνες επικεντρώθηκαν κατά το μήκος του δρόμου που οδηγεί στον αρχαιολογικό χώρο (Δορυφορικοί χάρτες από το Google Earth)

Η γεωφυσική χαρτογράφηση της περιοχής πραγματοποιήθηκε υπό την καθοδήγηση Δρ Νίκος Παπαδόπουλος από το Εργαστήριο Γεωφυσικής Τηλεπισκόπησης και Αρχαιοπεριβάλλοντος (ΙΜΣ - ΙΤΕ) και ο Δρ Παντελής Σούπιος από το Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης και με την υποστήριξη του καθηγητή Yuri Gorokhovich του Lehman College, City University της Νέας Υόρκης.

## **1.2 Ο αρχαιολογικός χώρος των Απτέρων**

Βρίσκεται σε ένα οροπέδιο 231 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, κοντά στις ακτές του κόλπου της Σούδας, ανάμεσα στα ακρωτήρια Κύαμος και

Δρέπανο, Άπτερα (ή Aptara, Arteria, Apteraiia, Apterion) ήταν μια από τις σημαντικότερες πόλεις στη βόρεια ακτή της δυτικής Κρήτης. Με τα δύο λιμάνια της, Κισάμου και Μίνωα, η πρώην τοποθετείται από ορισμένους μελετητές ανατολικά του σημερινού χωριού των Καλυβών και από άλλους κάτω από το χωριό Καλάμι, ο τελευταίος βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο του ακρωτηρίου, κάτω από το χωριό Στέρνες, τα Άπτερα ήταν ένα πολυάσχολο εμπορικό κέντρο. Τα Άπτερα βρίσκονταν στη θέση του σημερινού χωριού Παλαικάστρου, στην επαρχία Αποκορώνου του νομού Χανίων. Ο Κ. Ντουνάκης, ειδικός στην ιστορία των Απτέρων, ισχυρίζεται ότι η πόλη είχε οκτώ προάστια στην κοιλάδα του Στύλου, από τις όχθες του ποταμού Κοιλίαρη στο Νέο Χωριό, στους λόφους Καλοσυκία, Agozyre, Σελιά, και Λιάς Άη. Τα ευρήματα από τις περιοχές αυτές επιβεβαιώνουν τις υποθέσεις του. Τα σωζόμενα ερείπια δείχνουν δύναμη και πλούτο. Τα Κλασσικής και Ελληνιστικής τείχη είναι περίπου 4 χλμ., με πύργους και προμαχώνες. Ένα μικρό ιερό ανασκάφηκε από τον Heinrich Drexler χρονολογείται στο τέλος του πέμπτου αιώνα - αρχές του τέταρτου αιώνα π.Χ.. Αποτελείται από δύο σεκοί, το καθένα με μια πόρτα στα ανατολικά. Κτίρια (τοίχοι και δάπεδο) του όγδοου αιώνα π.Χ. ανασκάφηκαν δίπλα στο τέμενος το 1988.

Δύο καλές διατηρημένες ρωμαϊκές δεξαμενές είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτες. Μία από αυτές είναι χωρισμένη σε τρία κλίτη από πυλώνες. Το κτίριο είναι σύγχρονο τρίκογχο με τις στέρνες. Το Θέατρο της πόλης είναι μόλις και μετά βίας ορατό σήμερα. Επιγραφικά στοιχεία υποδηλώνουν την παρουσία ενός ναού της θεάς Ειλειθυίας και του πρυτανείου, και τη λατρεία της Αρτέμιδος στα Άπτερα. Ένα νεκροταφείο με λαξευμένα στο βράχο, ως επί το πλείστον Ρωμαϊκοί τάφοι εντοπίστηκαν 500 μ. δυτικά της πόλης. Η αρχαία πόλη και τα περίχωρά της, δεν έχουν ακόμη ερευνηθεί συστηματικά. Ο μεγάλος αριθμός των οικονομικών επιγραφών και πολλά νομίσματα αποδεικνύουν την εμπορική σημασία της πόλης από την Ύστερη κλασική με τη Ρωμαϊκή περίοδο.

Κατά τη Βυζαντινή περίοδο, στα Άπτερα έγινε επισκοπή. Σταδιακά, όμως, η μετατόπιση του κέντρου εμπορίου, οι επιδρομές των Σαρακηνών πειρατών, και τα συνεχόμενα κρούσματα παρασίτων, η χολέρα, και paludism οδήγησε στην κατάρρευση της πόλης. Η πόλη μπορεί να έχει οριστικά καταστραφεί κατά τη διάρκεια της κατάκτησης των Σαρακηνών της Κρήτης το μ. Χ 823. Σύμφωνα με τον Νικηφόρο Φωκά, στα Άπτερα ούτε ξαναχτίστηκε ούτε κατοικήθηκε εκ νέου, και το έδαφος της πόλης χωρίστηκε σε μεγάλα κτήματα. Παραμένει ιδιοκτησία της Μονής από τότε. Ο οικισμός Παλαικάστρου έχει αναπτυχθεί έξω από το οχυρωματικό τείχος της πόλης στα ανατολικά της ενετικής περιόδου, αλλά καταστράφηκε από τον Khair-Εντίν Μπαρμπαρόσα το 1538. Ο Σουλτάνος Σελίμ Β προκάλεσε περαιτέρω καταστροφή το 1571. Κατά την οθωμανική περίοδο, ο Reuf Πασάς χρησιμοποίησε οικοδομικό υλικό που χρησιμοποιείται από τα αρχαία τείχη στα Άπτερα να χτίσει το κοντινό φρούριο Izedin. Η περιοχή παρέμεινε ακατοίκητη μέχρι το τέλος της επανάστασης του 1866. Σύμφωνα με τις απογραφές 1881 και 1928, η περιοχή Μεγάλα Χωράφια σταδιακά ανακαταλήφθηκαν από τις οικογένειες από αλλού.



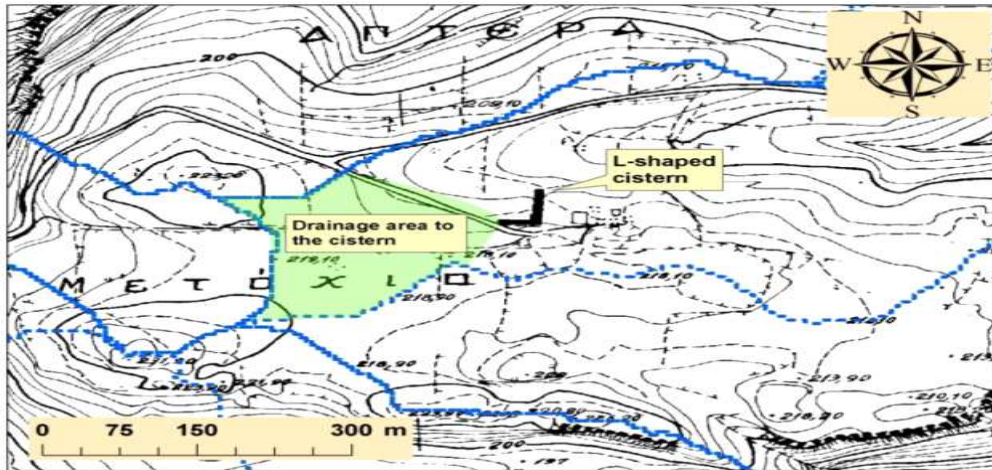


**Σχήμα 1.21** Ένα αρχαιολογικό κομμάτι από την αγορά των Αρχαίων Απτέρων



**Σχήμα 1.22.** Διασωθέντα τοιχία από οικισμό

Ο Χώρος της Άπτερας είναι μία από τις πιο ενδιαφέρουσες αρχαιολογικές θέσεις στην Κρήτη. Το πιο εντυπωσιακό οικοδόμημα που έχει είναι σχήματος L δεξαμενή που προφανώς ήταν η κύρια αποθήκευση του γλυκού νερού με το συνολικό όγκο των 3050 m<sup>3</sup> (Νινιού-Κινδελή και Χριστοδουλάκος, 2004). Πρόσφατες μελέτες που σχετίζονται με την ύδρευση Άπτερα που έγιναν από Gorokhovich , Χριστοδουλάκος , Γκίκας και Νινιού-Κινδελή και Χριστοδουλάκος (2004). Οι μελέτες αυτές εξηγούν πιθανούς τρόπους πλήρωσης σχήματος L δεξαμενή με νερό, όμως, δεν υπάρχουν αρχαιολογικά ευρήματα υποστηρίζουν οποιαδήποτε θεωρία ακόμα.



Η τελευταία μελέτη του Gorokhovich απέδειξε ότι η επιφανειακή απορροή είναι η πηγή νερού για να γεμίσει τις δεξαμενές. Η μελέτη αυτή χρησιμοποίησε απλή εδάφους-based υδρολογική μοντελοποίηση με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) για τον εντοπισμό ενός δυναμικού της λεκάνης απορροής και αξιολογήθηκε η ικανότητα της να καλύψει σε σχήμα L δεξαμενή με νερό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι δεξαμενές θα μπορούσαν ενδεχομένως να γεμίσουν με νερό από την επιφανειακή απορροή που παρέχεται από την περιοχή αποστράγγισης.

Το δίκτυο αποχέτευσης που παράγεται από ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών ορίζει μια πιθανή λεκάνη απορροής στην κύρια δεξαμενή της Άπτερας. Όταν αυτή η περιοχή βρίσκεται επάνω στο σημερινό χάρτη της Απτέρας, το κατώτερο όριο της λεκάνης απορροής και της υφιστάμενης οδού στην περιοχή της Αρχαίας Άπτερα. Το τέλος του δρόμου αγγίζει σχεδόν την γωνία της δεξαμενής. Αυτή η σύμπτωση υποδεικνύει την πιθανή ύπαρξη μιας δομής παροχής νερού που θα μπορούσαν να έχουν χρησιμοποιηθεί για να γεμίσει η δεξαμενή με απορροή του νερού.

Εφαρμόσαμε δύο γεωφυσικές μεθόδους για να εντοπίσετε αυτή τη δομή: GPR (γεωραντάρ, GPR) και παροδική ηλεκτρομαγνητική έρευνα (παροδική μέθοδος ηλεκτρομαγνητική, TEM). Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα των δύο μεθόδων δείχνουν ισχυρά σήματα επιστροφής κατά μήκος της εθνικής οδού. Ωστόσο, λόγω των διαφορών σε βάθος, παραμένει ασαφές εάν συσχετίζονται τα αποτελέσματα. Χρειαζόμαστε περισσότερες ψηφοφορίες με διάφορες γεωφυσικές μεθόδους για να διευκρινίσει τα αποτελέσματα.



## 2. Η γεωφυσική εξερεύνηση στα Άπτερα και τα όργανα

Το γεωραντάρ (GPR) κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται για την εξερεύνηση του χώρου .. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η γεωφυσική τεχνική υπογράμμισε τη λεπτομερή χαρτογράφηση των περιοχών έρευνας (5 cm κατά μήκος του GPR που την διασχίζει και διαχωρίζονται στα 50 εκατοστά του παραλλήλου προφίλ.). Ένας χώρος 900 τετραγωνικών μέτρων ερευνήθηκε με την μέθοδο GPR φθάνοντας σε μέγιστο βάθος 2,4 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους



**Σχήμα 2.1.** Ο δρόμος που έγινε η τεχνική του Γεωραντάρ . Είναι εμφανής η τοποθέτηση των μετροταινιών κατά μήκος του δρόμου.





**Σχήμα 2.2** . Μια από της δεξαμενές νερού στην Αρχαία πόλη των Απτέρων



**Σχήμα 2.3**. Η ίδια δεξαμενή με την παραπάνω από άλλη οπτική γωνία





**Σχήμα 2.4.** Η ίδια δεξαμενή με την παραπάνω από άλλη οπτική γωνία



**Σχήμα 2.5.** Η ίδια δεξαμενή με την παραπάνω από άλλη οπτική γωνία



### **3. Γεωφυσικές διασκοπήσεις: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

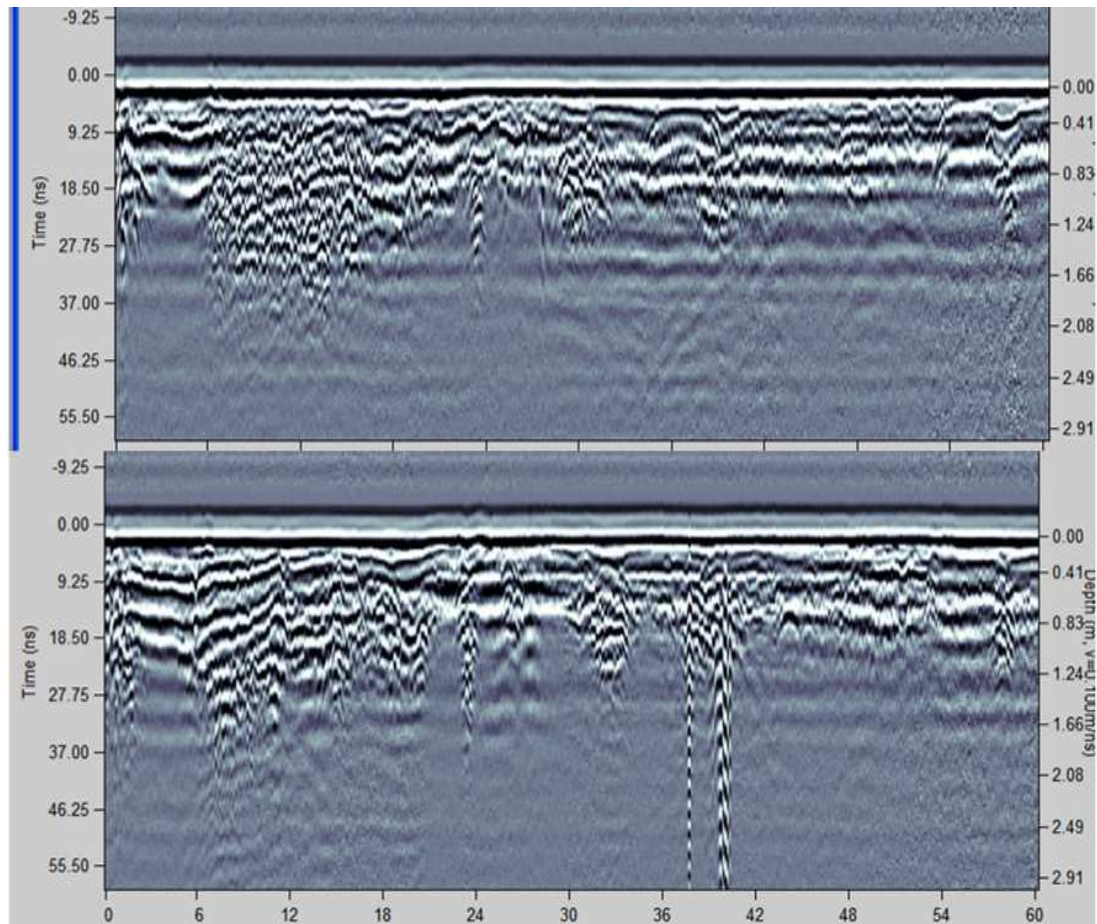
Οι Γεωφυσικοί μέθοδοι μπορούν να ανιχνεύσουν διάφορα είδη κάτω από την επιφάνεια του εδάφους χαρακτηριστικά όπως λάκκους, ιδρύματα, χαντάκια, εστίες φωτιάς, κλιβάνους και συγκεντρώσεις κεραμικής. Αυτοί οι μέθοδοι είναι μη καταστρεπτική και εμπλέκουν την μέτρηση των φυσικών ιδιοτήτων των εδαφών (όπως μαγνητικής επιδεκτικότητας ή ηλεκτρική αντίσταση) πάνω ή κάτω από την επιφάνεια μιας τοποθεσίας. Οι τεχνικές αντίστασης του εδάφους ταιριάζει καλύτερα για τα χαρακτηριστικά που η αντίθεση με τα γύρω εδάφη σε πορώδες, την πυκνότητα και την περιεκτικότητα σε νερό, όπως τοίχους και τάφρους. Η μαγνητική μέθοδος ταιριάζει καλύτερα για τα χαρακτηριστικά που η αντίθεση με τα περιβάλλοντα εδάφη στις συγκεντρώσεις των μαγνητικών ανόργανων ουσιών που περιέχουν όπως κοιλότητες ή τάφρους γεμίζουν με ενσωματωμένη φυτική γη στα υπο-εδάφη. Ειδικότερα, καμένα εδάφη, μονάδες κατοίκησης και τάφροι γεμίζουν με οργανικό υλικό που ενισχύουν τη μαγνητική επιδεκτικότητα του εδάφους και έτσι είναι καλοί στόχοι για τις μαγνητικές μεθόδους. Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος είναι ιδανική για τη συλλογή πληροφοριών τόσο για την αγωγιμότητα του εδάφους και της μαγνητικής επιδεκτικότητας του εδάφους κατά τη μεγάλη διεύθυνση είναι απαραίτητη. Οι ηλεκτρικές 2-D/3-D έρευνες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφοριών για την οριζόντια και την κατακόρυφη μεταβολή της ειδικής αντίστασης. Αυτό το είδος των μετρήσεων χρησιμοποιείται επίσης για την ποσοτική ερμηνεία των υπόγειων κατασκευών (προσδιορισμός του βάθους, το μέγεθος, το σχήμα του σώματος). 2-D/3-D ηλεκτρικής τομογραφίας ισχύει επίσης για τον εντοπισμό θαμμένων αρχαιοτήτων.

Κατά τη διάρκεια της γεωφυσικής αναζήτησης στο έδαφος στα Άπτερα το ραντάρ χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της υπόγειας πληροφόρησης στις συγκεκριμένες περιοχές του αρχαιολογικού χώρου. Η ανώτερη γεωφυσική τεχνική επιλέχθηκε ως το πλέον κατάλληλο για την επίτευξη των στόχων του έργου, σύμφωνα με τις ανάγκες της έρευνας, τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του χώρου και τα αναμενόμενα υπεδάφους αρχαιολογικών στόχων - όσον αφορά την ανίχνευση και χαρτογράφηση τους. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην αναλυτική (υψηλή ανάλυση) κάλυψη των συγκεκριμένων περιοχών. Μια περίληψη είδος των ιδιοτήτων από τις παραπάνω τεχνικές αναζήτησης και τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στο πεδίο παρουσιάζεται στις ακόλουθες παραγράφους.

#### **3.1 Γεωραντάρ (GPR)**

Το Ραντάρ είναι το ακρωνύμιο για το ραδιόφωνο Ανίχνευσης και που κυμαίνονται. Πρόκειται για ένα σύστημα που χρησιμοποιεί την υψηλή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συχνότητας. Η μέθοδος Υπεδάφειου ραντάρ έχει την ίδια αρχή λειτουργίας με τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης. Αυτή η γεωφυσική τεχνική είναι εφαρμόσιμη σε στρώματα χαρτογράφησης στις περιπτώσεις των εδαφών και των πετρωμάτων και εξαρτάται από τις

διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες που έχουν διάφορα υλικά. Η ανάπτυξη της μεθόδου ξεκίνησε κυρίως το 1956, αλλά επιταχύνθηκε σημαντικά μετά το 1970, ως αποτέλεσμα της τεράστιας προόδου που πραγματοποιήθηκε στο χώρο της ηλεκτρονικής και της τεχνολογίας των υπολογιστών μετά το 1960. Το G.P.R. μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία σειρά από εφαρμογές όπως η χαρτογράφηση του βάθους υποβάθρου, ο προσδιορισμός του πάχους κερατίνης και το βάθος υδροφόρου ορίζοντα, η θέση των φυσικών και τεχνητών κοιλοτήτων στο υπέδαφος, ρωγμές στο βραχώδες υπόστρωμα και για την ανίχνευση των αλλαγών στην σύνθεση βράχια ». Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ειδικά στην Αρχαιομετρία για τον εντοπισμό των θαμμένων αρχαιοτήτων. Μια υψηλή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συχνότητας μεταδίδεται στο έδαφος και καταγράφονται τα ανακλώμενα κύματα. Η πολλαπλασιαστική ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στο έδαφος εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους, την αγωγιμότητα και τη διηλεκτρική σταθερά. Βασικά η μέθοδος εξαρτάται από τις καταγραφές των κυμάτων που ανακλώνται σε επιφάνειες που χωρίζουν τις περιοχές με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες. Το G.P.R. είναι παρόμοια με την μέθοδο σεισμικής ανάκλασης. Μια υψηλή συχνότητα, μικρό ηλεκτρομαγνητικών παλμών διάρκειας μεταδίδεται στο έδαφος. Ο παλμός (το σήμα) διαχέεται στα υλικά κάτω από την επιφάνεια και την κατεύθυνση της εξαρτάται από τις ιδιότητες του. Ένα μέρος της ενέργειας παλμού ανακλάται στην επιφάνεια που διαχωρίζει υλικά με διαφορετικές ιδιότητες και καταγράφεται σε ένα δέκτη στην επιφάνεια. Το υπόλοιπο της ενέργειας παλμού διαχέεται σε βαθύτερα επίπεδα. Ο χρόνος μεταξύ της εκπομπής και της λήψης παλμού εξαρτάται από την ταχύτητα κατά το μήκος του ίχνους και ο παλμός ακολουθείται. Αυτός ο χρόνος μπορεί να μετράται και εάν η ταχύτητα διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι γνωστό τότε το βάθος του ανακλαστήρα μπορεί να προσδιοριστεί. Στα περισσότερα από τα γεωλογικά υλικά η αγωγιμότητα και η διηλεκτρική σταθερά (σχετική επιτρεπτότητα) είναι οι κύριοι παράμετροι που επηρεάζουν τον παλμό. Επιπλέον η απορρόφηση του σήματος εξαρτάται κυρίως από τη συχνότητα της κεραίας, την αγωγιμότητα και τη διηλεκτρική σταθερά. Το μέγιστο βάθος διεισδύσεως του G.P.R. εξαρτάται από την απορρόφηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι αυξήσεις απορρόφησης με τη συχνότητα και κατά συνέπεια μία μικρότερη συχνότητα χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των στόχων βαθύτερα. Από την άλλη πλευρά, η ανάλυση της μεθόδου μειώνεται καθώς η συχνότητα αυξάνεται. Για παράδειγμα το G.P.R. σύστημα εργάζεται στο εύρος των 25-50 MHz μπορεί να διερευνήσει τα βάθη άνω των 50 μέτρων σε εδάφη με χαμηλή αγωγιμότητα (μικρότερη από 1 ns / m), όπως άμμο και χαλίκια. Οι καταγραφές του Ραντάρ (ραδιογραφήματα) τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο έτσι ώστε να κατασκευάσουν ένα τμήμα που προσομοιώνει την πραγματική υποεπιφάνεια ηλεκτρολογικού τμήματος, παραγωγή πληροφοριών των μεταβολών των ηλεκτρικών ιδιοτήτων με το βάθος. Μετά από αυτή τη στρατηγική μια κάθετη τομή βάθους δημιουργείται ότι προσομοιώνει τις πραγματικές ιδιότητες υπεδάφους σε γεωηλεκτρικές



**Σχήμα 3.1.1** Το Radiogram προέκυψε από μετρήσεις GPS, όπου η παρουσία ανακλαστήρων είναι ορατή

Η Noggin Plus-Smart καλαθιού (Αισθητήρες & Software) GPR με κεραίες των 250 MHz χρησιμοποιήθηκε στις εκστρατείες γεωφυσικών του 2012 στα Άπτερα. Το πραγματικό βάθος διείσδυσης της κεραίας μπορεί να φτάσει τα 3-4m κάτω από την επιφάνεια, αλλά λόγω της υγρασίας / αγωγιμότητας του εδάφους αυτό μειώθηκε σε περίπου 2-3m. Οι μετρήσεις έγιναν κατά μήκος των παραλλήλων τομών 0.5m μεταξύ τους με μία δειγματοληψία περίπου 5 εκατοστών κατά μήκος των τομών.





**Σχήμα 3.1.2** Οι μετροταινίες που χρησιμοποιήθηκαν για τις αποστάσεις που χρειαζόταν η συγκεκριμένη τεχνική του Γεωραντάρ



**Σχήμα 3.1.3** Το γεωραντάρ που χρησιμοποιήθηκε στα Αρχαία Άπτερα



## Ιστορική εξέλιξη του γεωραντάρ

Από τα μέσα της δεκαετίας του '80 το γεωραντάρ έγινε ιδιαίτερα δημοφιλές στις κοινότητες των γεωφυσικών, των γεωλόγων και των αρχαιολόγων. Εν τούτοις χρησιμοποιείται σε γεωλογικές εφαρμογές από το 1960 σχετικά με την ανάπτυξη της ραδιοανιχνεύσης σε παγετώνες.

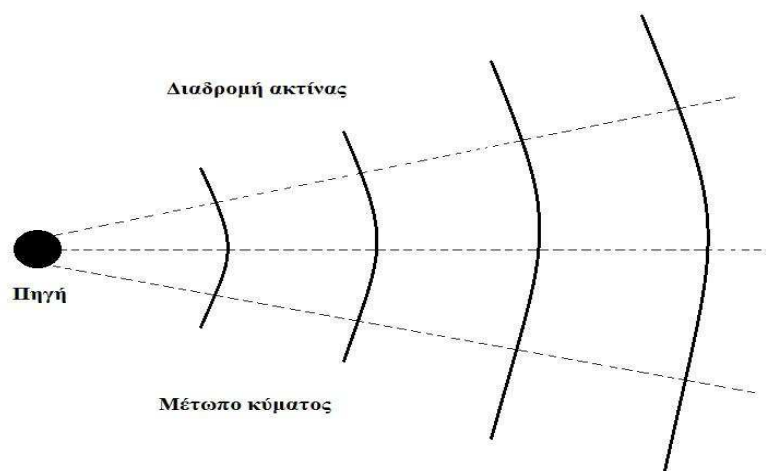
Το 1910 στη Γερμανία ήταν η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρομαγνητικά κύματα για τον προσδιορισμό της θέσης θαμμένων αντικειμένων. Η πρώτη φορά που εκδόθηκε η περιγραφή μια τέτοιας ερευνάς ήταν το 1904. Στις έρευνες τότε χρησιμοποιούσαν συνεχή κύματα. Η διάδοση παροδικών κυμάτων εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1926 από τον Hulsenbeck με σκοπό να μελετήσει τη φύση των θαμμένων αντικειμένων.

Η τεχνική της διάδοσης κυμάτων σε παλμούς εξελίχθηκε σημαντικά τις επόμενες πέντε δεκαετίες. Έτσι τις δεκαετίες 1960-1970 έγιναν πολλές μελέτες σε παγετώνες από πολλούς επιστήμονες, ενώ αργότερα το ενδιαφέρον στράφηκε στην μελέτη κατασκευών όπως σήραγγες, δρόμοι κτλ. Οι γεωλογικές εφαρμογές άρχισαν τις δυο τελευταίες δεκαετίες με σκοπό τον καθορισμό της στρωματογραφίας, κοιτασμάτων και χαρτογράφηση σπηλαίων. Επίσης το γεωργώντας χρησιμοποιήθηκε και από αστυνομικές αρχές για την εύρεση πτωμάτων μέσα και έξω από τσιμεντένιες κατασκευές.

Περαιτέρω εξελίχθηκε από τον Αμερικανικό στρατό κατά τη διάρκεια του πολέμου στο Βιετνάμ με σκοπό τον εντοπισμό του λαβύρινθου από σήραγγες που χρησιμοποιούσαν οι Βιετκόνγκ.

## Μέτωπο κύματος και διαδρομή ακτίνας

Όταν το Η/Μ πεδίο διαδίδεται με τη μορφή κύματος χαρακτηρίζεται από το μέτωπο κύματος ή τη διαδρομή ακτίνας. το μέτωπο κύματος είναι η επιφάνεια στην οποία η ένταση του Η/Μ είναι ίδια. Η ακτίνα διαδρομής είναι κάθετη στο μέτωπο κύματος ενώ το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα στην ακτίνα διαδρομής.



Σχήμα 3.1.4 Μέτωπο κύματος και ακτίνα διαδρομής

#### **4. Επεξεργασία των γεωφυσικών μετρήσεων αναζήτησης**

Τα τμήματα GPR ήταν αρχικά δεδομένης της σχετικής X, Y συντεταγμένες σύμφωνα με ένα τοπικό σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε για κάθε μία από τις θέσεις. Αρχικά, η πρώτη κορυφή προσδιορίστηκε έτσι ώστε να καθορίσει το αρχικό χρήσιμο σήμα από κάθε γραμμή. Αυτός ο προσδιορισμός με βάση το ποσοστό της έντασης της ανακλώμενης πρώτου κύματος (5-30%). Η εξίσωση της γραμμής ανάλογα με την επιλεγμένη πρώτη κορυφή ακολουθήθηκε προσπαθώντας να φέρει τις πρώτες ανακλάσεις κάθε γραμμής σε ένα κοινό χρόνο έναρξης. Στη συνέχεια, η εφαρμογή της AGC, Dewow μετατόπισης και DC φίλτρων βελτίωσε το ανακλώμενο σήμα, ενώ η απόρριψη του θορύβου υποβάθρου και της εξομάλυνσης των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με ένα ίχνος-προς-τον εντοπισμό φίλτρου εξαγωγής μέσης τιμής. Τέλος, οι οριζόντιες φέτες βάθους σε διαφορετικά επίπεδα βάθους δημιουργήθηκαν από τις αρχικές κατακόρυφες τομές υποθέτοντας μια ταχύτητα για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ίση με 0.1m/nsec. Η σύνθεση των επεξεργασμένων τμημάτων επιτεύχθηκε με την SLICE GPR.

Χρώμα και της κλίμακας του γκρι γεωφυσικοί χάρτες παρήχθησαν: Καυτά χρώματα (κόκκινο χρώμα) σε έγχρωμους χάρτες και φως (λευκό) σε χρώματα γκρι χαρτών κλίμακας αντιπροσωπεύουν υψηλές τιμές έντασης. Κρύα χρώματα (μπλε χρώμα) σε έγχρωμους χάρτες και σκούρα (μαύρο) χρώματα στους γκρίζους χάρτες κλίμακας που αντιπροσωπεύουν χαμηλή ένταση στις ανωμαλίες

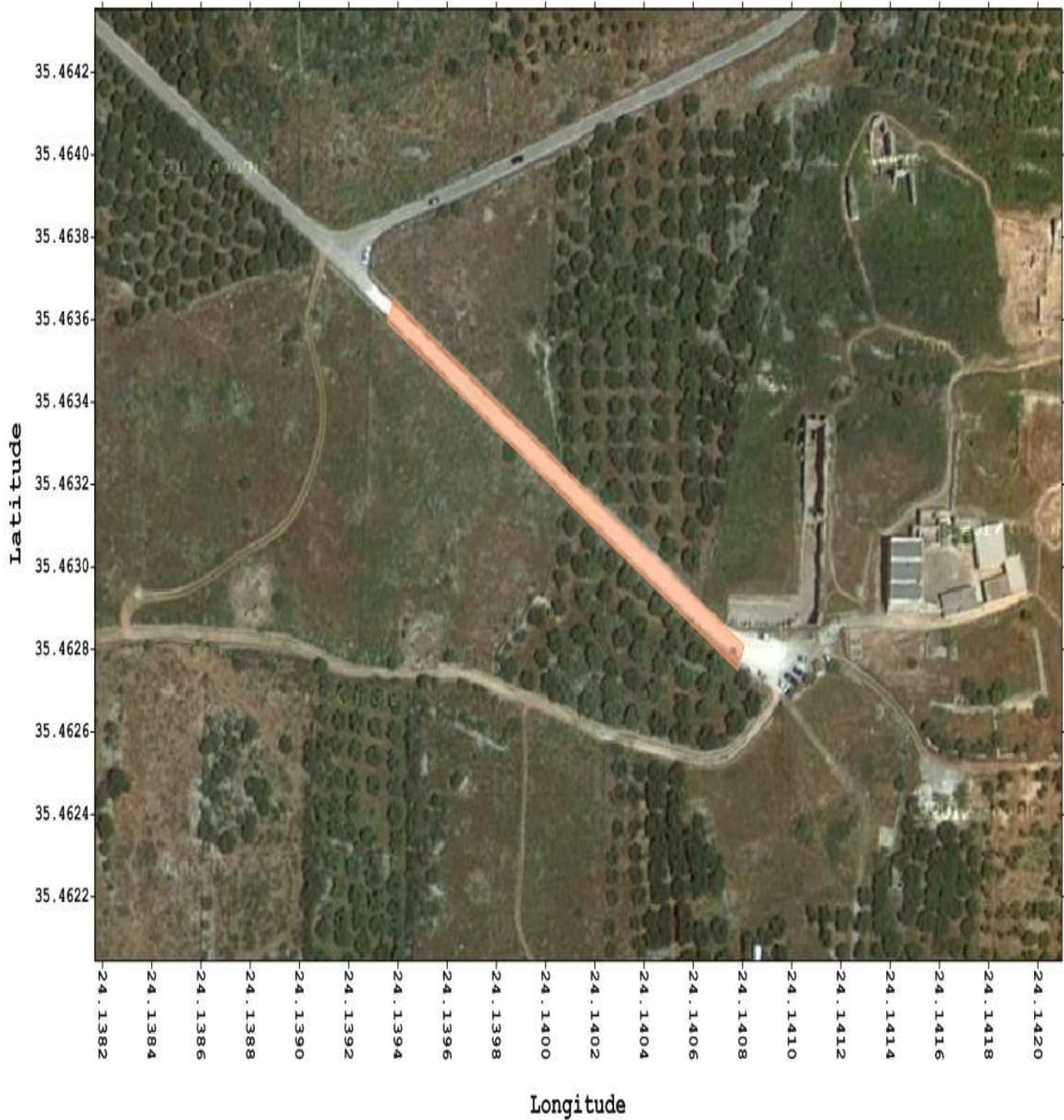
Surfer Χρυσό και λογισμικού (V.11) χρησιμοποιήθηκε για τη διόρθωση των γεωφυσικών χαρτών και της επικάλυψής τους πάνω στο τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής



## 5. Γεωφυσικές έρευνες αναζήτησης

### 5.1. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ

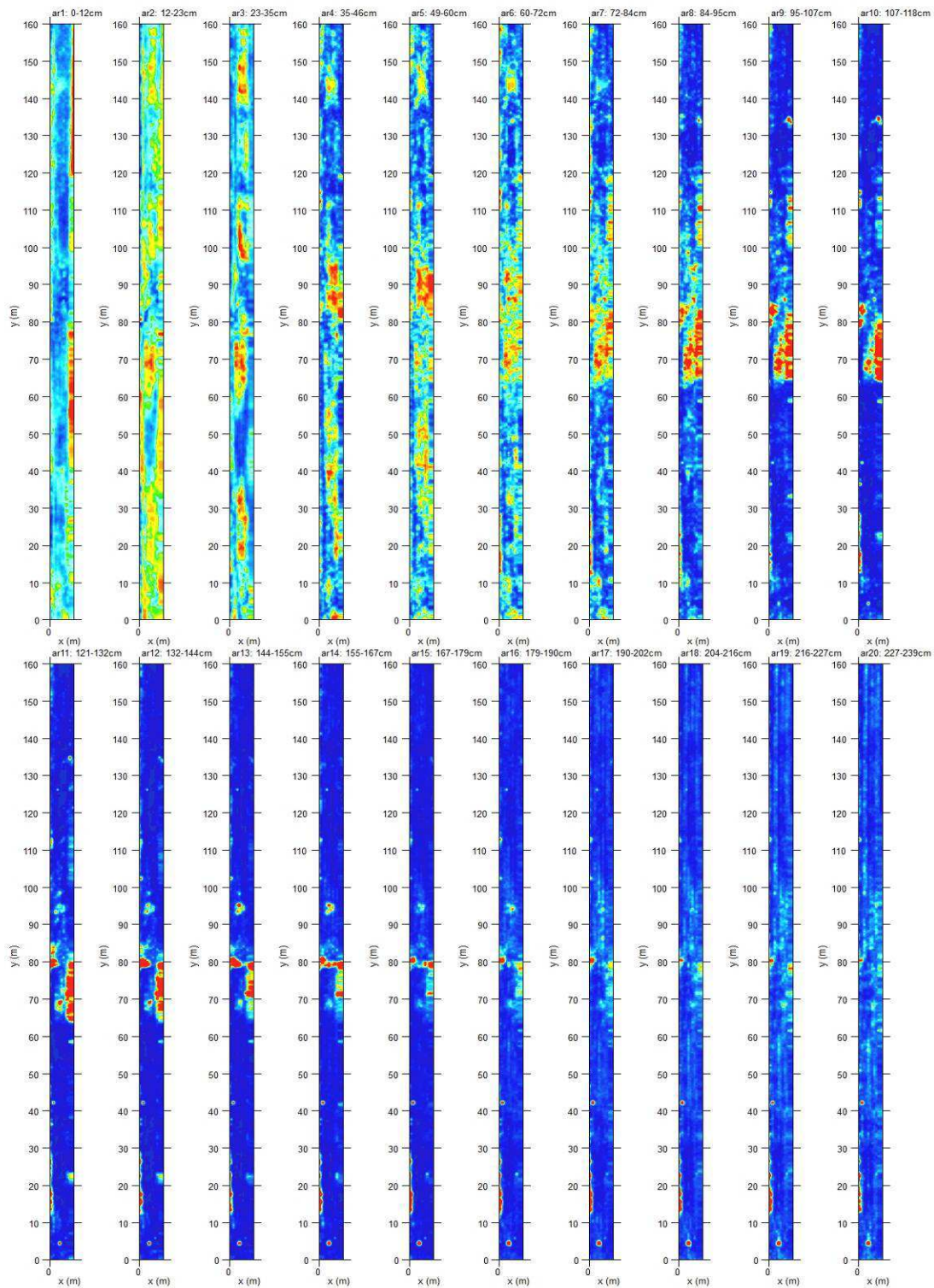
Το παρακάτω σχήμα δείχνει την περιοχή που καλύπτεται με τη μέθοδο GPR



Σχήμα 5.1. Κάλυψη περιοχής με τις τεχνικές GPR

## 5.2. Τα Αποτελέσματα Υπεδάφειου RADAR

Chania-Aptera 2012



Σχήμα 5.2. Οριζόντιες φέτες βάθους που προέρχονται από τα 3D ογκομετρικά GPR δεδομένα

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Επιλεγμένες φέτες GPR σε διάφορα στρώματα βάθους ήταν η γεωαναφορά στο σύστημα WGS84 όπου επικαλύπτονται σε ένα Google Earth δορυφορικής εικόνας της περιοχής.

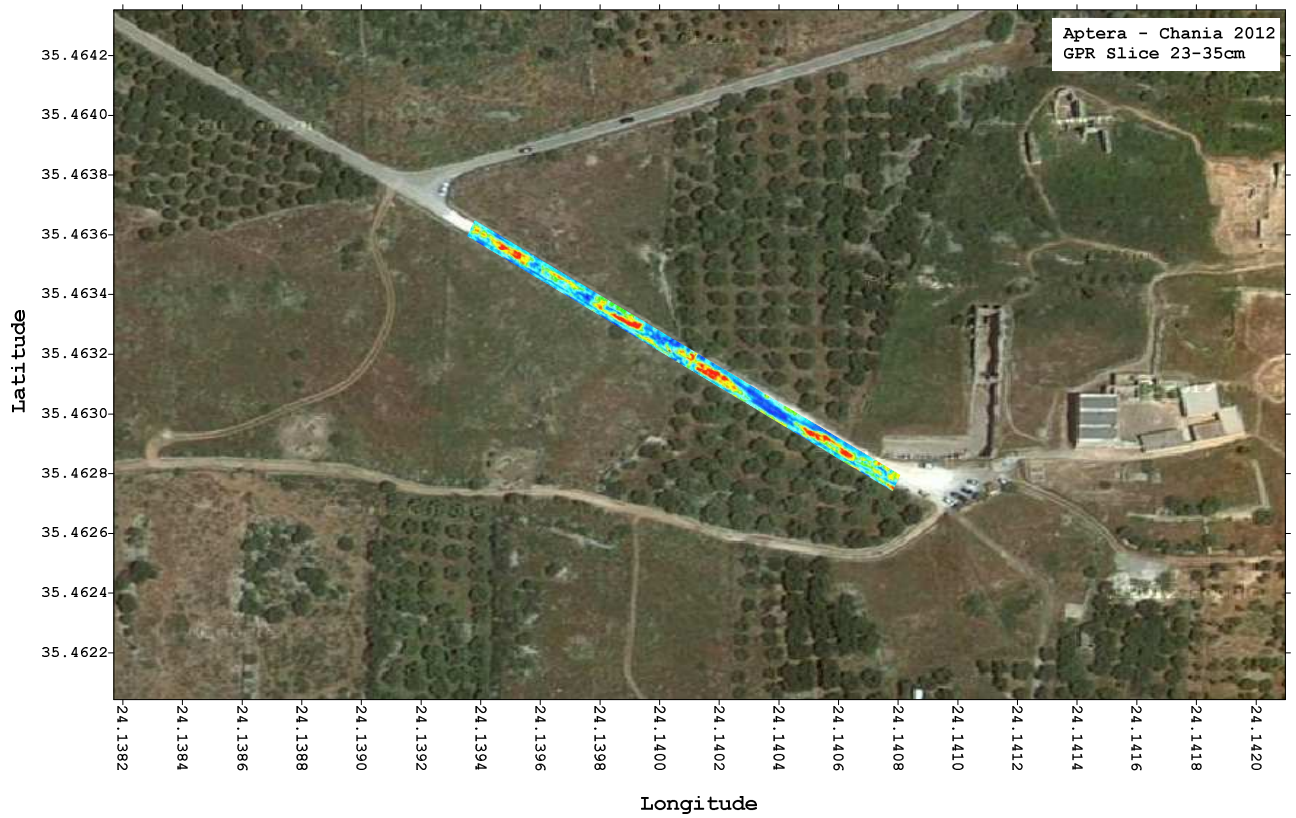
### **Υπεδάφεια Έρευνα ραντάρ (Εικ. 06.01 - 06.07).**

Το έδαφος διεισδυτικής έρευνας ραντάρ ήταν αρκετά επιτυχής, δεδομένου ότι παράγεται μια σειρά από γραμμικά χαρακτηριστικά που μπορούν να διακρίνονται σαφώς. Τα σήματα GPR δείχνουν μια σειρά από γραμμικά και χωρίζονται σε ανωμαλίες οι οποίες είναι ευθυγραμμισμένες στο νοτιοανατολικό τμήμα της χώρας - βορειοδυτική κατεύθυνση. Έχουν μια πολύ επιφανειακή εμφάνιση, δεδομένου ότι είναι εγγεγραμμένοι στο εύρος βάθους 20 - 60 cm κάτω από το έδαφος του δρόμου που οδηγεί στην είσοδο του αρχαιολογικού χώρου. Είναι εμφανή ότι αυτές οι ανωμαλίες ακολουθούν τον ίδιο προσανατολισμό.

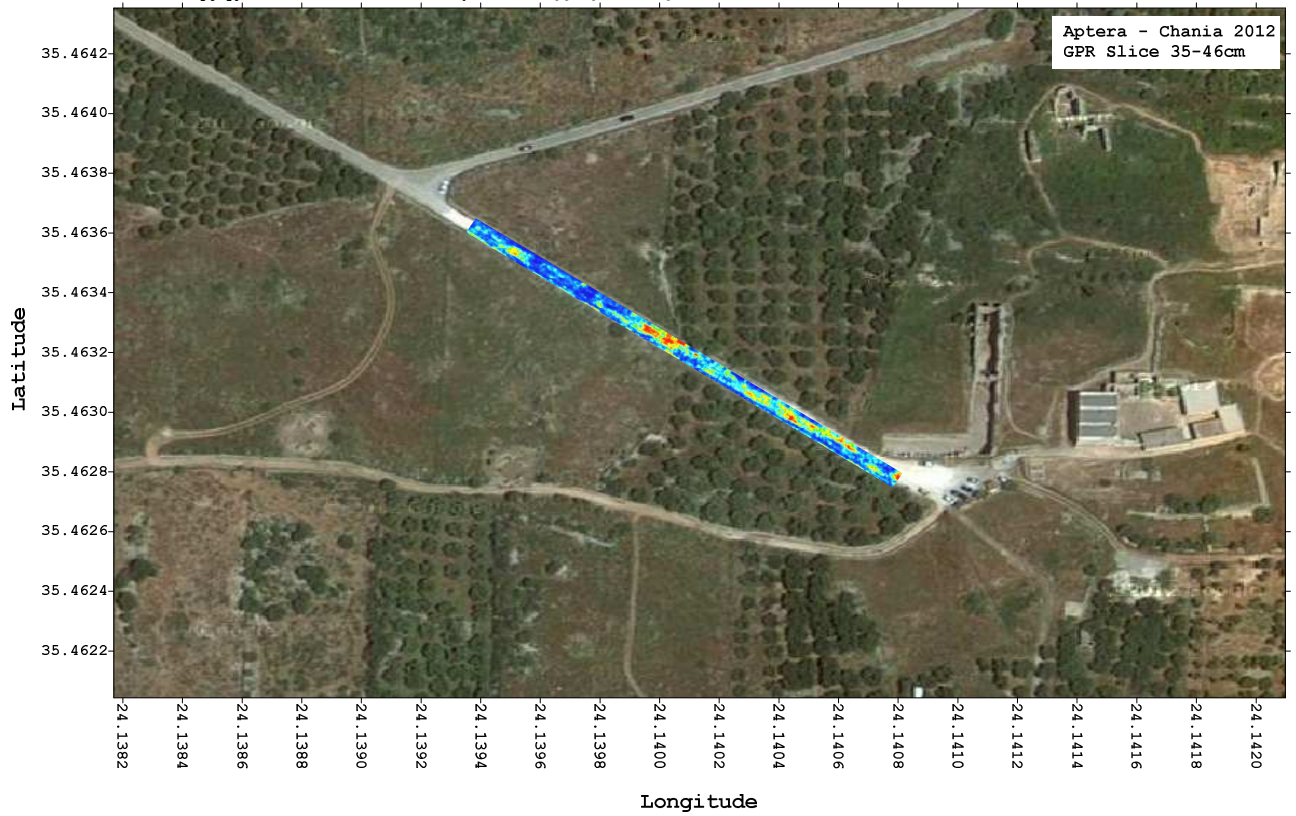
Το χαρακτηριστικό, της γραμμικότητας είναι ο προσανατολισμός αυτών των ανωμαλιών που μπορεί να δικαιολογήσει, ενδεχομένως, την ύπαρξη μιας υπόγειας τάφρου να συλλέγουν το νερό. Η ασυνεχής φύση αυτών των γραμμικών ανωμαλιών θα μπορούσαν να αντανακλούν το γεγονός ότι η τάφρος έχει εν μέρει καταστραφεί στις αντίστοιχες θέσεις. Διαφορετικές γεωφυσικές μέθοδοι, όπως Ηλεκτρολόγων Τομογραφίας Αντίστασης των Παροδικών Ηλεκτρομαγνητικών πρέπει επίσης να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να ενισχύσει τις γνώσεις εκχυλίζοντας με GPR.

Εικόνα 6.7 παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα από τις πιο γνωστές γεωφυσικές ανωμαλίες, με αποτέλεσμα από την GPR. Το επίπεδο εμπιστοσύνης των συγκεκριμένων ανωμαλιών (πιθανοί στόχοι) δίνεται είτε από την ένταση του σήματος τους (λαμβάνοντας πάντα υπόψη το συσχετισμό τους με σύγχρονα χαρακτηριστικά).



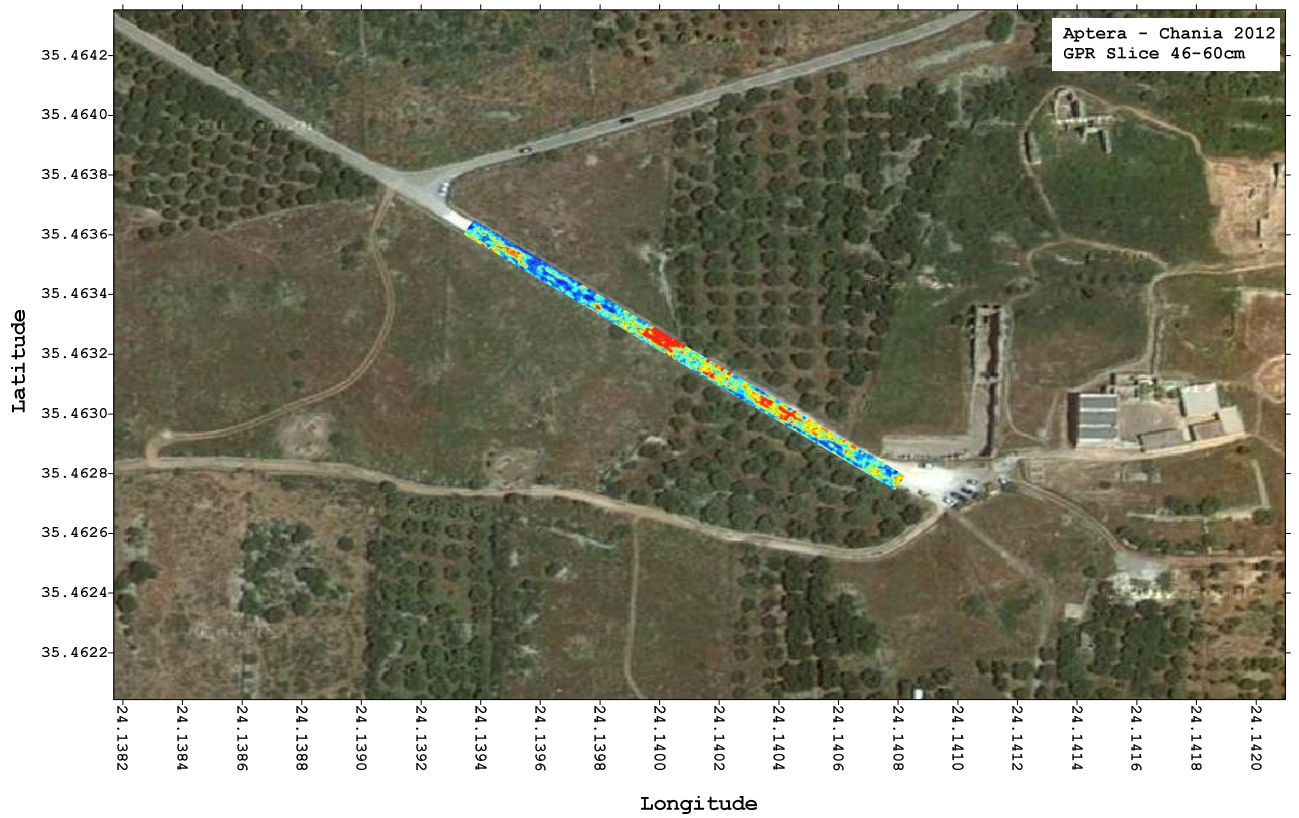


**Σχήμα 6.1.** Αποτελέσματα της έρευνας GPR. Φέτα 23-35 cm.

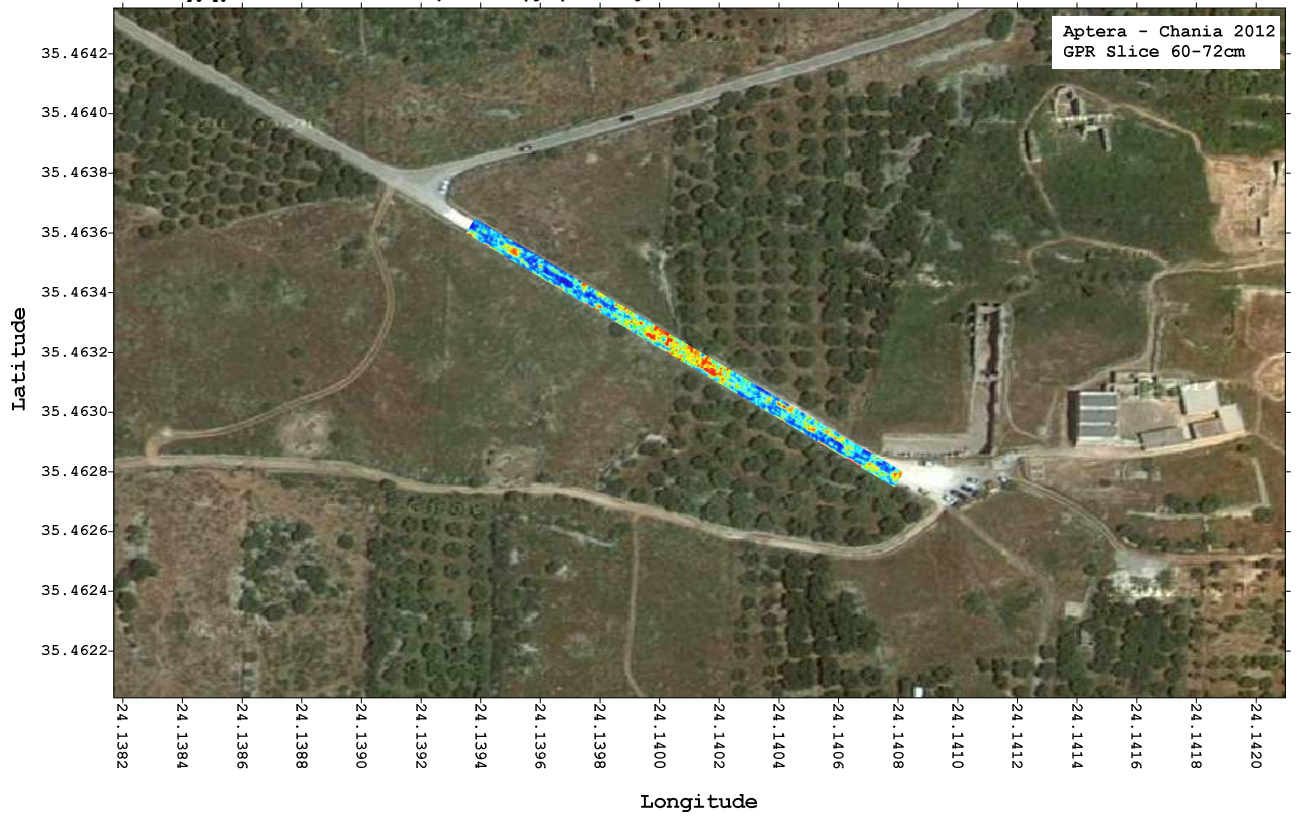


**Σχήμα 6.2.** Αποτελέσματα της έρευνας GPR. Φέτα 35-46 cm



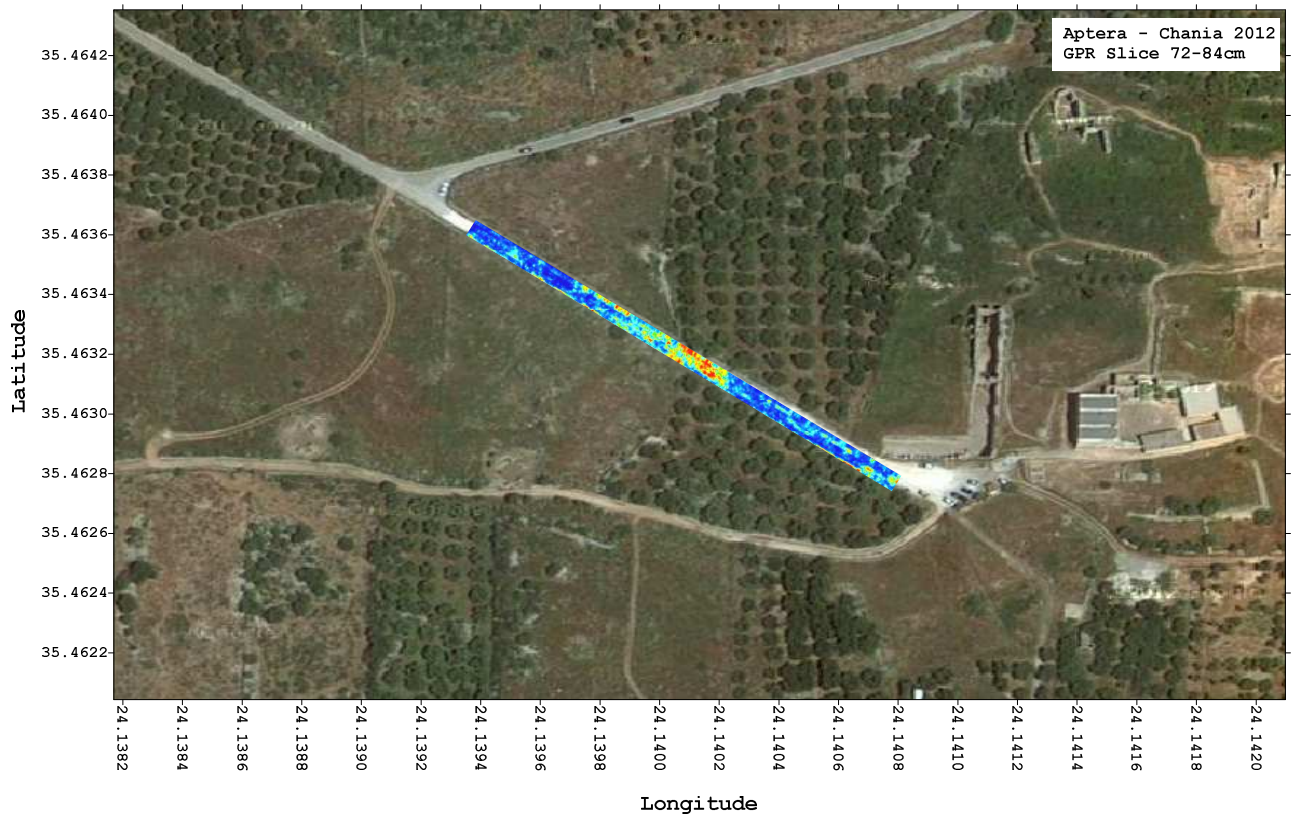


Σχήμα 6.3. Αποτελέσματα της έρευνας GPR. Φέτα 46-60 cm

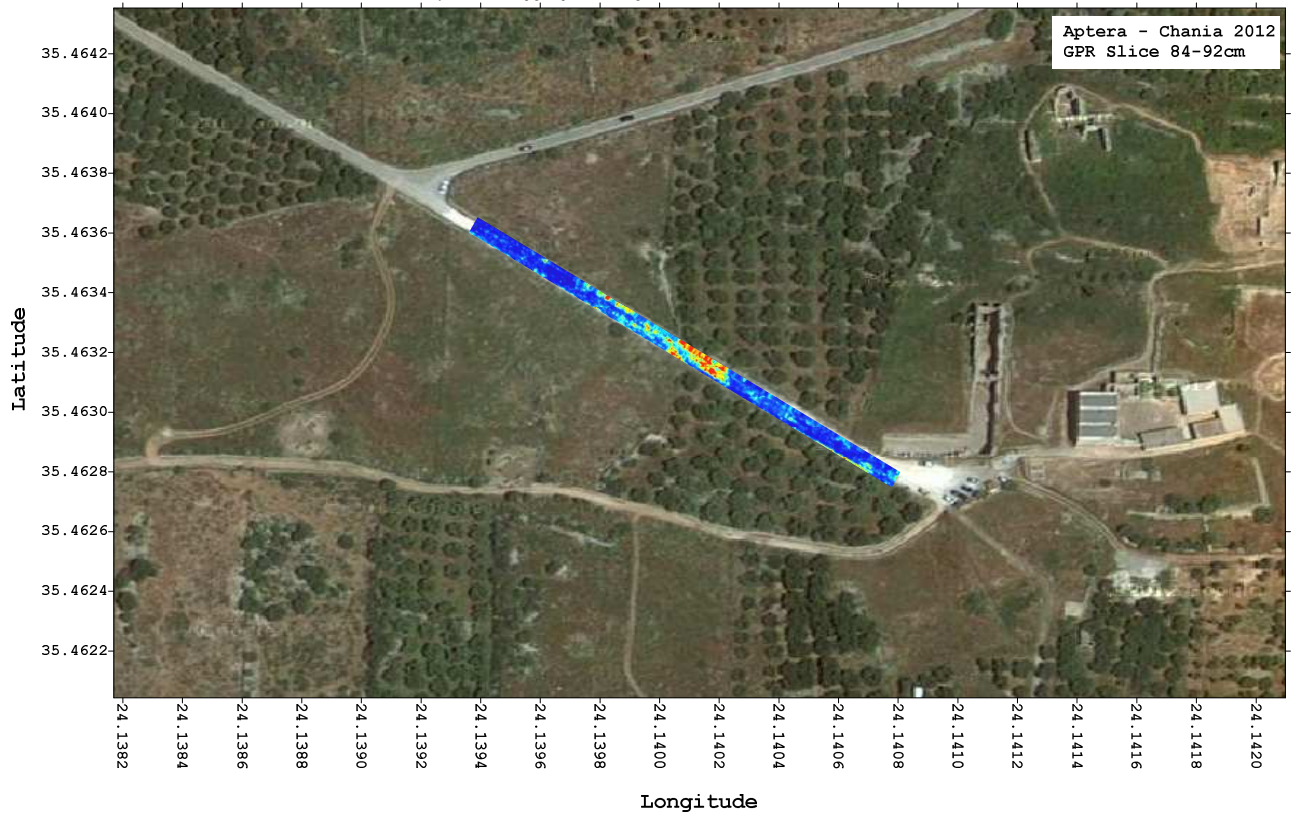


Σχήμα 6.4. Αποτελέσματα της έρευνας GPR. Φέτα από 60-72 εκατοστά



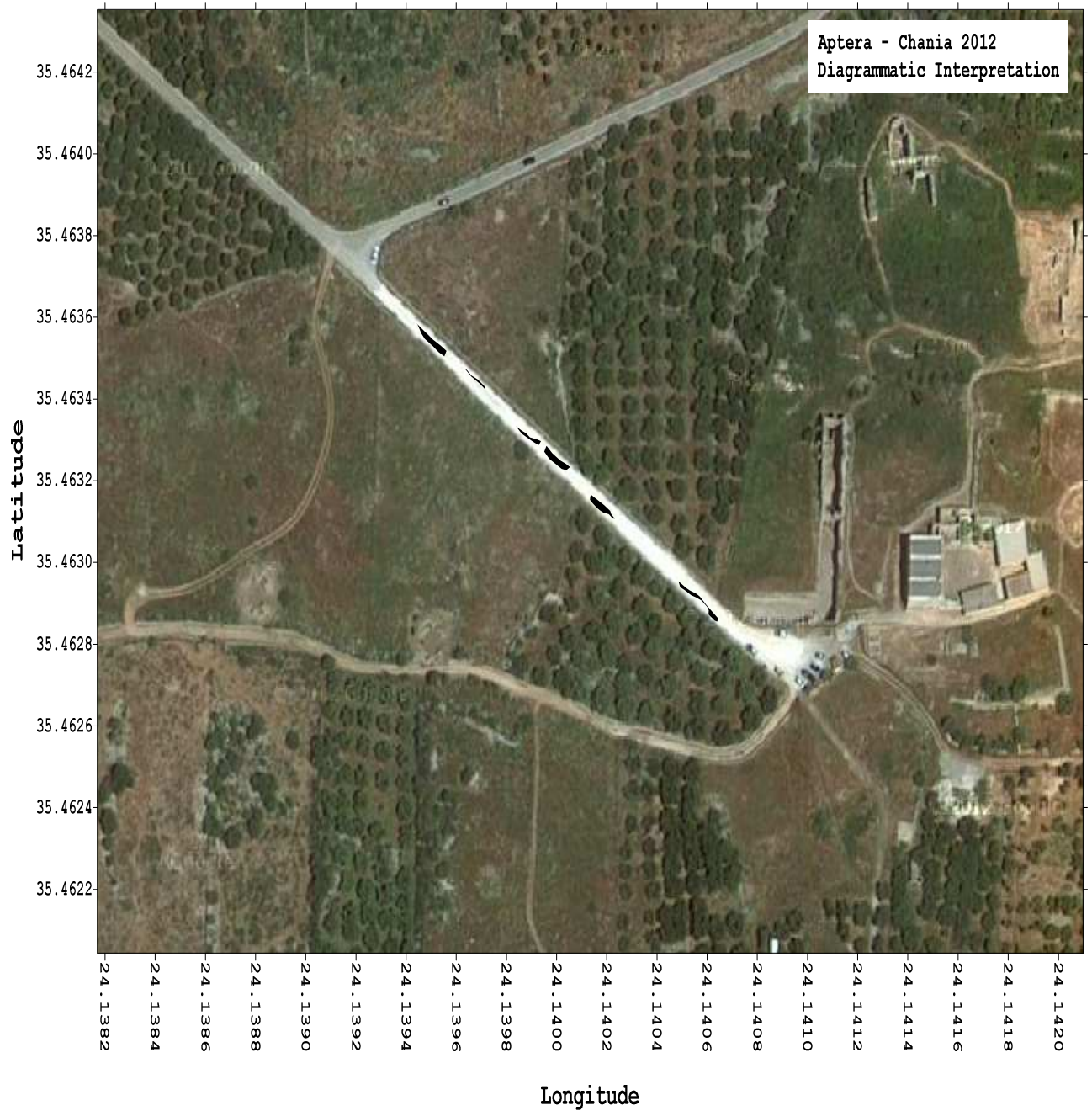


**Εικόνα 6.5.** Αποτελέσματα της έρευνας GPR. Φέτα 72-84 cm.



**Σχήμα 6.6.** Αποτελέσματα της έρευνας GPR. Φέτα 84-92 cm.





**Σχήμα 6.7.** Εικόνα της διαγραμματικής ερμηνείας των GPR των γεωφυσικών ανωμαλιών

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΟΔΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

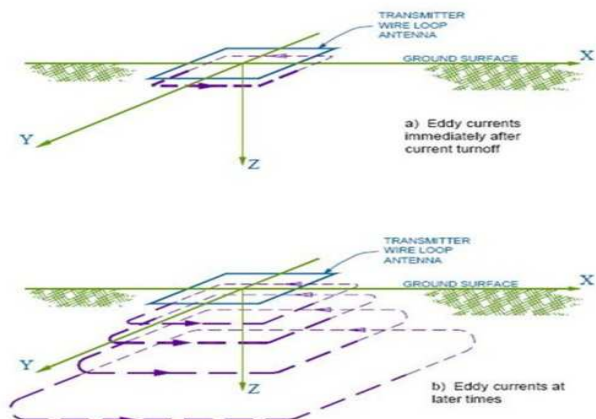
#### 7.1 Ηλεκτρομαγνητικές βυθοσκοπήσεις

Οι ηλεκτρομαγνητικές βυθοσκοπήσεις χρησιμοποιούνται συστηματικά τα τελευταία χρόνια σε διάφορα πεδία της γεωεπιστημονικής έρευνας, εναλλακτικά ή συμπληρωματικά με τις ηλεκτρικές DC βυθοσκοπήσεις. Λαμβάνουν χώρα συνήθως με τη χρήση μεγάλου βρόχου εκπομπής και πηνίου – δέκτη (ή βρόχου) συνδεδεμένα με την κεντρική μονάδα του Η/Μ συστήματος (σχήμα 3.1). Ο βρόχος εκπομπής διαρρέεται από σταθερό ρεύμα και δημιουργεί πρωτογενές μαγνητικό πεδίο. Το ρεύμα διακόπτεται με ταχύ ρυθμό και ελεγχόμενο τρόπο που έχει τη μορφή ράμπας, διακόπτοντας το μαγνητικό πεδίο. Κατά τον Faraday επαγωγικά ρεύματα δημιουργούνται στο υπεδάφος, συντηρώντας το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο. Το σύστημα των επαγωγικών ρευμάτων κυκλοφορεί σε κλειστούς δρόμους κάτω από το βρόχο εκπομπής και φθίνοντας δημιουργεί με τη σειρά του δευτερεύον μαγνητικό πεδίο. Μεταβολές της τιμής του μαγνητικού πεδίου επάγουν δυναμικό στο πηνίο του δέκτη που βρίσκεται είτε στο κέντρο του βρόχου εκπομπής είτε είναι ο ίδιος βρόχος εκπομπής. Η κατανομή και η ένταση των ρευμάτων του υπεδάφους εξαρτάται από την τιμή της ειδικής αντίστασης και σαν αποτέλεσμα οι τιμές του μετρούμενου δυναμικού δίδουν πληροφορίες για την κατανομή και τιμή της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους. Με την πάροδο του χρόνου, η θέση της μέγιστης τιμής της έντασης των επαγωγικών ρευμάτων διαχέεται προς το βάθος και προς τα έξω του βρόχου εκπομπής, με τη μορφή δακτυλίων ρεύματος (Nabighian 1979).

# Μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (Transient EM, TEM)

- Ηλεκτρομαγνητική Γεωφυσική Μέθοδος
- Ενεργή Γεωφυσική Μέθοδος (δηλ. με πηγή)

- Εφαρμογή μεθόδου:**
- Μεταλλευτική έρευνα
  - Γεωθερμικά πεδία
  - Περιβαλλοντικές έρευνες
  - Γεωτεχνικές έρευνες
  - **Εντοπισμός υδροφόρων**



**Σχήμα 7.1.** Στο σχήμα παρουσιάζεται τόσο η διάταξη των βρόγχων όσο και γενικά πληροφοριακά στοιχεία για τη μέθοδο και την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου.

Στην περίπτωση διαστρωματωμένου ημιχώρου, αρχικά τα επαγωγικά ρεύματα είναι συγκεντρωμένα κοντά στην επιφάνεια και το επαγόμενο δυναμικό, μένει σταθερό με το χρόνο και είναι ανάλογο της ειδικής αντίστασης του πρώτου επιφανειακού στρώματος. Αυτή είναι η λεγόμενη πρόωμη κατάσταση (early stage) και αντιστοιχεί στην κατάσταση αντιστατικού ορίου, που είναι γνωστή στο πεδίο συχνοτήτων σαν επαγωγική ζώνη (inductive zone) ή εγγύς ζώνη (near zone). Αυτή στα συστήματα πεδίου συχνοτήτων ορίζεται σαν η περιοχή όπου η απόσταση πομπού-δέκτη είναι κατά πολύ μικρότερη του επιδερμικού βάθους και ο επαγωγικός αριθμός είναι μικρός. Στην περιοχή αυτή η φανταστική συνιστώσα του δευτερεύοντος πεδίου είναι πολύ μεγαλύτερη της πραγματικής και εμφανίζει γραμμική εξάρτηση με τον επαγωγικό αριθμό. Χρήση αυτού του χαρακτηριστικού κάνουν τα φορητά H/M συστήματα που λειτουργούν στο πεδίο συχνοτήτων και τα οποία μετρούν την αγωγιμότητα του επιφανειακού στρώματος (Geonics EM 31), καθώς επίσης στους μεταλλικούς ανιχνευτές και είναι γνωστά σαν συστήματα μικρού επαγωγικού αριθμού (low induction number). Με την πάροδο του χρόνου η θέση του μέγιστου της έντασης του ρεύματος διαχέεται προς το βάθος και το δυναμικό εμφανίζεται να είναι ανάλογο του  $t^{-5/2}$  και του  $\rho^{-3/2}$  όπου  $\rho$  η ειδική αντίσταση του βαθύτερου στρώματος. Αυτή είναι η λεγόμενη ύστερη κατάσταση (late stage).

Κατά τους πρόωμους χρόνους (early times), η TEM απόκριση ελέγχεται μόνον από την αγωγιμότητα του επιφανειακού στρώματος  $\sigma_1$ . Το δεύτερο στρώμα αρχίζει να έχει επίδραση που είναι δυνατό να παρατηρηθεί, σε χρόνο που ορίζεται από την εξίσωση

$$t \approx 10^{-7} \sigma_1 d^2 \quad \text{Spies (1980).}$$

Έτσι ο μικρότερος χρόνος στον οποίο η επίδραση ενός σώματος, ή ενός αγωγίου ορίζοντα σε βάθος  $d$ , είναι δυνατό να μετρηθεί, είναι συνάρτηση του βάθους και της αγωγιμότητας του υπεδάφους, του υπερκείμενου στο σώμα. Η



δυνατότητα όμως να ανιχνευθεί ένα σώμα σε αυτό το βάθος εξαρτάται από πολλούς άλλους παράγοντες, που εξετάζονται παρακάτω.

## Βάθος διασκόπησης

Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ένταση μαγνητικής ροής, ρεύματος, από το χρόνο καθυστέρησης του τελευταίου καναλιού, αλλά και από τη φύση της γεωηλεκτρικής δομής που ερευνάται. Κατά τη διάχυση του H/M πεδίου σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρείται εξασθένιση του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου με το χρόνο, που ακολουθεί

μια συμπεριφορά φθίνουσα εκθετική με συντελεστή  $\left(-\frac{5}{2}\right)$  για την κατακόρυφη συνιστώσα και  $-3$  για την οριζόντια συνιστώσα.

Θεωρητικά η καμπύλη εξασθένισης του μαγνητικού πεδίου, (ή ισοδύναμα του δυναμικού που μετράται στο πηνίο του δέκτη), συμπεριλαμβάνει πληροφορίες για διάφορα βάθη και ως εκ τούτου,

αυξανόμενου του χρόνου καθυστέρησης, αυξάνεται και το βάθος διασκόπησης. Αυξανόμενου όμως του χρόνου, το φθίνον σήμα φθάνει σε τόσο μικρές τιμές που υπερκαλύπτονται από το θόρυβο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αξιοπιστία των λαμβανομένων μετρήσεων και να μην αυξάνεται ανάλογα το βάθος διασκόπησης.

Οι Spies – Frischknecht (1992), προτείνουν τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο για τον υπολογισμό του βάθους διασκόπησης

$$d \approx 0.5 \left( \frac{IA}{\sigma_1 \eta_v} \right)^{1/5}$$

όπου I το ρεύμα εκπομπής, A το εμβαδόν του βρόχου,  $\sigma_1$  η αγωγιμότητα του υπερκείμενου στρώματος και  $\eta_v$  το μικρότερο δυνατό σήμα που είναι δυνατό να μετρηθεί πάνω από το επίπεδο θορύβου. Αναφέρουν τιμές για το  $\eta_v$  ίσες με 0.5 nV/m<sup>2</sup> τιμή που είναι κατά τη γνώμη μας υπερβολικά χαμηλή.

Η τιμή αυτή συμφωνεί με τη τιμή της στάθμης θορύβου του κατασκευαστή του οργάνου, που είναι 12 nV/m<sup>2</sup>.

Αντίστοιχα ο αργότερος χρόνος που μπορεί να μετρηθεί το σήμα αυτό είναι:

$$t_L \approx 1.9 \times 10^{-7} (IA)^{2/5} \sigma_1 \eta_v^{2/5} \quad (\text{Spies – Frischknecht 1992})$$

Τονίζεται ότι οι τιμές βαθών είναι προσεγγιστικές και μόνο η επίλυση του ευθέως προβλήματος για το συγκεκριμένο πρόβλημα δίδει τη δυνατότητα ρεαλιστικής εκτίμησης του βάθους διασκόπησης.

## Διεξαγωγή των μετρήσεων

Ένας κοινός παράγοντας όλων των επαγωγικών παροδικά μεταβαλλόμενων τεχνικών είναι ότι για τη διασκόπηση χρησιμοποιούνται τετραγωνικοί ή ορθογώνιοι βρόχοι ως πομποί και δέκτες. Ανάλογα με τη διάταξη πομπού-δέκτη οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες διατάξεις είναι (σχήμα 3.3):

Διάταξη ενός βρόχου (Single-Loop or Coincident Loop Configuration). Αποτελείται από έναν μόνο βρόχο, ο οποίος λειτουργεί και ως πομπός και ως δέκτης. Κατά τη διάρκεια που το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το κύκλωμα, λειτουργεί ως πομπός. Μόλις διακοπεί η λειτουργία του κυκλώματος, οι ακροδέκτες του βρόχου συνδέονται αυτόματα με το δέκτη και οι μετρήσεις παίρνονται κατά τη διάρκεια που ο πομπός είναι κλειστός. Το μέγεθος της πλευράς του βρόχου ποικίλει από 5 μέχρι και 200 μέτρα και είναι συνήθως τετραγωνικός ή ορθογώνιος.

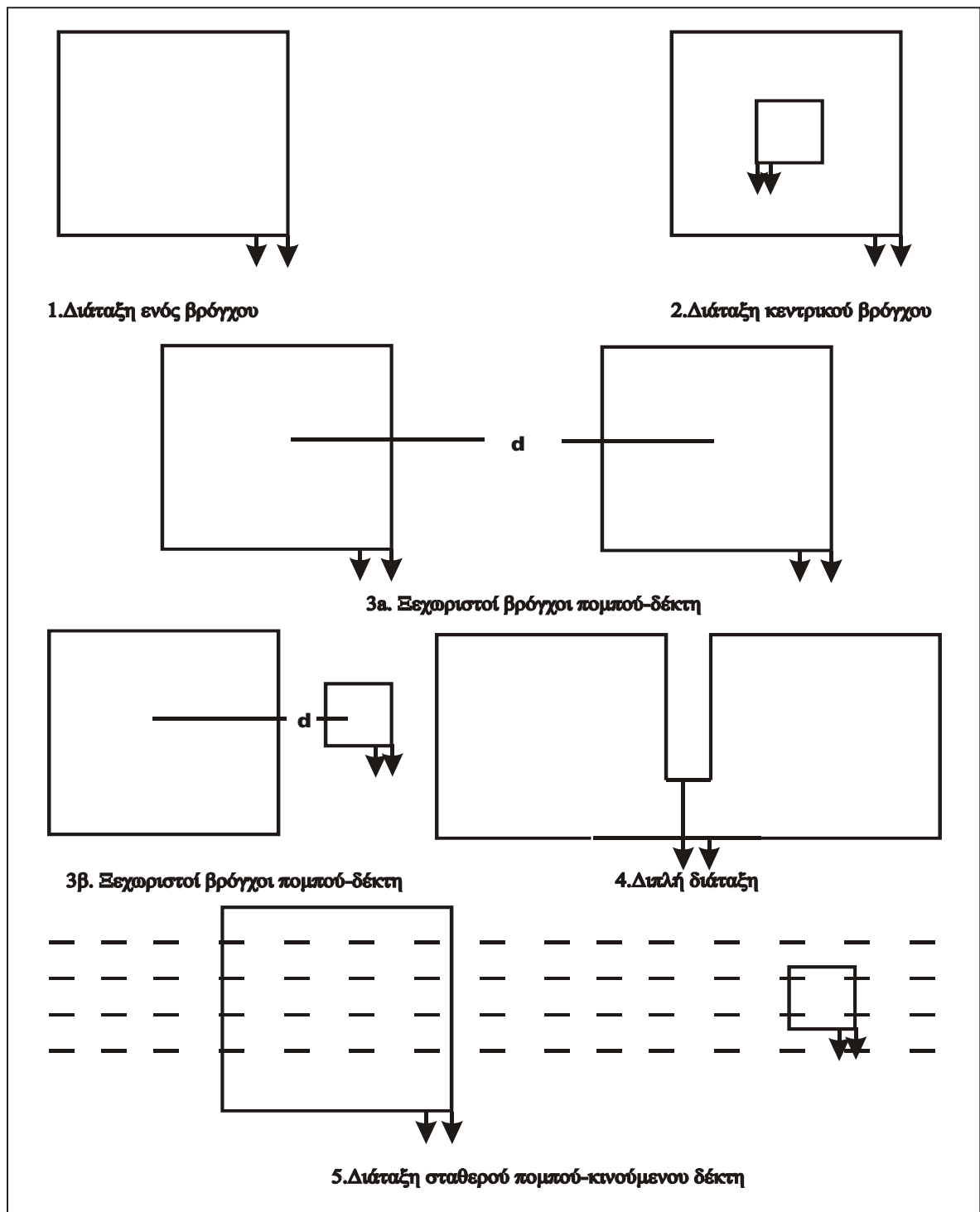
Διάταξη κεντρικού βρόχου (In-Loop or Central Loop Configuration). Αυτή η διάταξη είναι παραλλαγή της προηγούμενης, με την διαφορά ότι ο βρόχος του δέκτη είναι πολύσπειρος, ισοδύναμης επιφάνειας με τον πομπό, και τοποθετείται στο κέντρο του βρόχου που συνδέεται με τον πομπό.

Ξεχωριστοί βρόχοι πομπού-δέκτη (Separated Transmitter-Receiver Loop Configuration). Η διάταξη αυτή μοιάζει με την διάταξη Slingram, όπου πομπός και δέκτης βρίσκονται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους. Οι βρόχοι έχουν διαστάσεις μερικών δεκάδων μέτρων. Μια παραλλαγή αυτής της διάταξης είναι ο δέκτης να είναι πολύ μικρότερος από τον πομπό.

Διπλή διάταξη (Dual-Loop Configuration). Σε αυτή τη διάταξη, διαμορφώνονται δύο παρακείμενοι βρόχοι που συνδέονται παράλληλα για καλύτερη σύζευξη με κάθετους αγωγούς (Spies 1975). Επιπλέον, επειδή ο θόρυβος που επάγεται λόγω κινούμενων πηγών που προκαλούν παράσιτα στο σήμα είναι αντίθετος στους δύο βρόχους στην διάταξη αυτή, μειώνεται σημαντικά το επίπεδο του.

Μεγάλος σταθερός βρόχος πομπού-κινούμενος δέκτης (Large Fixed Transmitter, Roving Receiver). Σε αυτή την διάταξη, υλοποιείται ένας πολύ μεγάλος βρόχος-πομπός που παραμένει σταθερός και ένας πολύ μικρότερος βρόχος-δέκτης χρησιμοποιείται κατά μήκος οδούσεων που είναι παράλληλες προς μια πλευρά του πομπού. Το μήκος της πλευράς του πομπού είναι της τάξης μερικών εκατοντάδων μέτρων (σε πολλές περιπτώσεις φτάνει μέχρι και πέντε χιλιόμετρα).

Εναέριες διατάξεις (Airborne TDEM). Η μέθοδος των TEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από αέρος για έρευνα και μάλιστα καλύπτοντας πολύ μεγάλη έκταση σε μικρό χρονικό διάστημα (Smith και Keating 1996).



Σχήμα 7.2 Διατάξεις μετρήσεων TEM



## Όργανα μετρήσεων

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για διασκοπήσεις με την μέθοδο των TEM (σχήμα 7.3), αποτελούνται από ένα πομπό που συνδέεται με τον βρόχο προς υλοποίηση, και παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως μέχρι και 12 A, χρησιμοποιώντας δωδεκάβολτους συσσωρευτές ή γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος.

Το καταγραφικό του δέκτη βρίσκεται στο ίδιο όργανο με τον πομπό, και χρησιμοποιεί την ίδια έξοδο με αυτόν. Με ηλεκτρονικό κύκλωμα (στην περίπτωση της διάταξης μονού βρόχου) συνδέεται με τον βρόχο κατά την διακοπή του κυκλώματος.

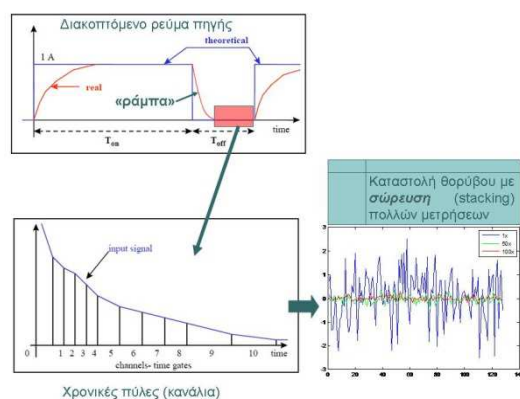
Ο βρόχος διαρρέεται από συνεχές ρεύμα εντάσεως  $I_0$  και τη στιγμή  $t=0$  διακόπτεται απότομα η λειτουργία του κυκλώματος. Σύμφωνα με τον νόμο της αυτεπαγωγής, η μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος από την αρχική τιμή  $I_0$  στην τιμή μηδέν δεν είναι ακαριαία, αλλά διαρκεί χρόνο  $\tau$  και είναι εκθετική.

Δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο επαγωγικά ρεύματα σε κοντινούς αγωγίμους στόχους που βρίσκονται στο υπέδαφος, και η δημιουργία δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, το οποίο ανιχνεύεται από το δέκτη.

Στο σχήμα (7.4) φαίνεται ενδεικτικά η διπολική κυματομορφή του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον πομπό, κατά τον χρόνο  $t$ . Οι κατασκευαστές των οργάνων δεν δίνουν ακριβείς πληροφορίες, αλλά τα παρακάτω στοιχεία είναι διαθέσιμα ή μπορούν να εξαχθούν (Asten 1987).



**Σχήμα 7.3** Στη σχήμα παρουσιάζεται το TEM Fast 48 HPC, του οίκου AEMR. Το όργανο αποτελείται από τους βρόγχους (κόκκινα καλώδια υψηλής αγωγιμότητας), τη κεντρική μονάδα παραγωγής και διάθεσης των παλμών (συσκευή σε μαύρο χρώμα) και το μονάδα καταγραφής και αποθήκευσης (palmtop – υπολογιστής χειρός).



**Σχήμα 7.4** Ενδεικτικό παράδειγμα κυματομορφής του πομπού. Κατά το διάστημα παύσης της πομπού υπάρχει βαθμιαία μείωση η οποία φαίνεται στο διάγραμμα για τις διάφορες χρονικές πύλες. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της μέτρησης η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές με σκοπό την άθροιση του σήματος και τη μείωση του θορύβου.

Το τμήμα της διέγερσης της κυματομορφής είναι εκθετικής μορφής ανάλογο της σταθεράς χρόνου  $\tau$  του κυκλώματος, και εξαρτάται από την εμπέδηση του (μέγεθος βρόχου, αντίσταση καλωδίου, αντίσταση εδάφους) και τον σχεδιασμό του οργάνου. Η τιμή του  $\tau$  κινείται μεταξύ 0.3 και 0.6 μικρών του δευτερολέπτου.

Το τμήμα της κυματομορφής που αντιστοιχεί στην μείωση του ηλεκτρικού ρεύματος από  $I_0$  σε μηδέν, είναι περίπου γραμμικής μορφής και αντιστοιχεί σε χρόνο  $\tau_r$ . Η τιμή του  $\tau_r$  κινείται μεταξύ των 30 και 350 μικρών του δευτερολέπτου, και εξαρτάται από το μέγεθος του βρόχου και το ρεύμα του πομπού. Η παροδική εξασθένιση που μετράται στον δέκτη γίνεται με πυκνή δειγματοληψία στο χρονικό παράθυρο μεταξύ  $\tau_r$  και  $T/4$ .

Η Ηλεκτρεγερτική Δύναμη που αναπτύσσεται στον βρόχο κατά τον χρόνο  $\tau_r$  μπορεί γενικά να περιγραφεί από την εξίσωση

$$E(p, h) = \frac{p\mu_0 a I}{2} \int_0^{\infty} \left[ \frac{\lambda - s}{\lambda + s} e^{-2\lambda h} + 1 \right] J_1^2(\lambda a) d\lambda$$

για την περίπτωση κυκλικού βρόχου ακτίνας  $a$ , όπου:

$h$  = το ύψος πάνω από το υπέδαφος που βρίσκεται ο βρόχος.

$p$  = η μεταβλητή του μετασχηματισμού Laplace που αντιστοιχεί στον παράγοντα  $(-i\omega)$  για μεταβολή του χρόνου  $(-i\omega t)$ .

$I$  = το ρεύμα του πομπού.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ , η μαγνητική διαπερατότητα στο κενό.

$\lambda$  = η μεταβλητή του μετασχηματισμού.

$J_1(\lambda a)$  = συνάρτηση Bessel πρώτης τάξης.

$$s = \sqrt{\lambda^2 + \mu_0 p}$$

Η γενική αυτή εξίσωση αποδεικνύεται πως ισχύει και για την περίπτωση που ο βρόχος είναι τετραγωνικής μορφής, πλευράς  $a$  (Raiche και Spies 1981).

Λόγω της μεγάλης ακρίβειας στον χρόνο καταγραφής που απαιτείται, τα όργανα των TEM διαθέτουν πολλά ακόμα ηλεκτρονικά όργανα, γεγονός που τα καθιστά και σχετικά ακριβότερα από άλλα γεωφυσικά όργανα μέτρησης. Τα περισσότερα όργανα μετρούν με ακρίβεια 0.1 μικρών του δευτερολέπτου ( $10^{-6}$ ), και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στο χρονικό παράθυρο από 4 μικρά μέχρι και 164 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Τα πλέον σύγχρονα όργανα δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να προγραμματίσει τη διάρκεια κατά την οποία παίρνονται οι μετρήσεις.

Η ανάπτυξη όλο και ακριβέστερων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, οδηγεί στην συνεχή εξέλιξη των οργάνων μέτρησης και στην μείωση του όγκου τους. Τα σημερινά όργανα είναι συμπαγή, εύχρηστα και διαθέτουν μικροεπεξεργαστές για την καταγραφή και αποθήκευση των μετρήσεων.

## Σχεδιασμός της έρευνας

Πριν από κάθε γεωφυσική έρευνα, γίνεται ένας αρχικός σχεδιασμός για τον τρόπο που θα διεξαχθεί, στον οποίο λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά των πιθανών στόχων (βάθος, σχήμα, ιδιότητες), η μορφολογία του εδάφους, η επιθυμητή ανάλυση των αποτελεσμάτων, ο χρόνος που θα απαιτηθεί κλπ.

Στην περίπτωση των TEM, πρωταρχικό ρόλο στη γεωφυσική έρευνα παίζουν η διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί και το μέγεθος του βρόχου που θα υλοποιηθεί (MacNae 1984). Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των πιθανών στόχων, λαμβάνονται και οι κατάλληλες αποφάσεις.

Ένας γενικός κανόνας για την διάταξη μονού βρόχου, είναι πως το μέγεθος του βρόχου πρέπει να είναι περίπου της ίδιας τάξης μεγέθους με το βάθος του στόχου προς εξερεύνηση. Αν π.χ. ο στόχος αναμένεται να είναι στα 100 μέτρα βάθος, το μέγεθος της πλευράς του βρόχου που θα πραγματοποιηθεί θα πρέπει να είναι μεταξύ 80 και 120 μέτρων.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως η ισχύς του πομπού και η συνοδεύουσα ενέργεια του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου που παράγεται, αυξάνονται με το μέγεθος του βρόχου ή, για να είμαστε απόλυτα ακριβείς, με την συνολική επιφάνεια που αντιστοιχεί στον βρόχο. Αν π.χ. ο βρόχος είναι τετραγωνικός πλευράς  $a$  και αποτελείται από 2 σπείρες, τότε η επιφάνεια του βρόχου είναι  $2a^2$ .

Η απόσταση μεταξύ των σταθμών μετρήσεων και των γραμμών οδεύσεως, εξαρτάται από τον τύπο της έρευνας (λεπτομερής ή αναγνωριστικός).

Για αναγνωριστική έρευνα και με τη διάταξη μονού βρόχου, η απόσταση μεταξύ διαδοχικών βυθοσκοπήσεων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον τέτοια ώστε ανά δύο να βρίσκονται πάνω από τον γεωλογικό στόχο που ερευνάται.

Όσον αφορά την απόσταση μεταξύ διαδοχικών οδεύσεων, θα πρέπει να είναι ανάλογη του μήκους που εκτείνεται ο στόχος.

Για τη διεξαγωγή λεπτομερούς έρευνας, το βήμα δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι αρκετά μικρότερο.



### **Πηγές σφαλμάτων στις μετρήσεις**

Τα σφάλματα που μπορεί να υπεισέλθουν στις μετρήσεις TDEM μπορεί να οφείλονται σε διάφορους λόγους, όπως είναι ο γεωλογικός θόρυβος, η ημερήσια μεταβολή του μαγνητικού πεδίου της Γης κ.α. Οι σημαντικότεροι λόγοι είναι:

**α) Γεωμετρικός θόρυβος.** Σε αυτόν συμπεριλαμβάνονται όλες οι πηγές θορύβου που πηγάζουν εξαιτίας της γεωμετρίας της κάθε διάταξης. Σε αντίθεση με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους που λειτουργούν στην περιοχή των συχνοτήτων, όπου είναι δύσκολο να απομονωθεί η συμφασική συνιστώσα του δευτερεύοντος πεδίου από το γεωμετρικά εξαρτώμενο πρωτεύον πεδίο, τα γεωμετρικά λάθη είναι αμελητέα σε μέγεθος γιατί οι μετρήσεις λαμβάνονται κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Η τοπογραφία είναι άλλη μια πηγή σφαλμάτων στις μετρήσεις. Και αυτή όμως είναι αμελητέα, καθώς μετά το πρώιμο στάδιο η διάδοση των κυμάτων έχει τέτοια συμπεριφορά ως να ήταν η επιφάνεια του εδάφους απολύτως επίπεδη.

**β) Ανθρωπογενής θόρυβος.** Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται όλοι οι μεταλλικοί αγωγοί που μπορεί να επάγουν ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκονται στην περιοχή έρευνας, όπως είναι οι γραμμές του τηλεφωνικού δικτύου, υπόγειοι αγωγοί, μεταλλικοί φράχτες κλπ. Εξαιτίας όμως της μικρής διατομής που έχουν συνήθως, οι σταθερές χρόνου  $\tau$  για την απευθείας επαγωγή τους είναι συνήθως αμελητέες. Η κύρια συνεισφορά τους στα σφάλματα προέρχεται από την ικανότητα τους να διοχετεύουν επαγόμενα ρεύματα στα περιβάλλοντα πετρώματα.

**γ) Ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος.** Υπάρχουν πολλές πηγές που επηρεάζουν τις μετρήσεις των TEM και οφείλονται σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο. Γεωμαγνητικά σήματα κάτω από 1 Hz προέρχονται κυρίως από μέσα και πάνω από την Ιονόσφαιρα. Πάνω από 1 Hz το φάσμα του φυσικού θορύβου προέρχεται κυρίως από ατμοσφαιρικά παράσιτα, που είναι όλες οι φυσικές παροδικές ηλεκτρομαγνητικές μεταβολές που δημιουργούνται από εκκενώσεις κεραυνών. Ο ανθρωπογενής θόρυβος αυτής της κατηγορίας προέρχεται από της γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου (με συχνότητα 50 ή 60 Hz), ενώ οι σταθμοί πολύ χαμηλών συχνοτήτων (VLF) παράγουν μεγαλύτερης συχνότητας θόρυβο (10 με 25 kHz). Είναι η κυριότερη πηγή σφαλμάτων, όμως είναι εύκολο να εντοπιστεί καθώς η πηγή από όπου προέρχεται είναι πολύ σημαντικός, καθώς το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι 100.000 φορές μεγαλύτερο από το πεδίο που δημιουργεί ο πομπός. Προβλήματα από τέτοιου είδους θόρυβο αντιμετωπίζονται όταν οι μετρήσεις απαιτούν πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθούν, και η διόρθωση των μετρήσεων γίνεται με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιείται στις μαγνητικές μεθόδους.

Η αφαίρεση του θορύβου από τις μετρήσεις δεν είναι εύκολη διαδικασία. Συνήθως περιλαμβάνει αποσυνέλιξη της απόκρισης του συστήματος για τον δέκτη, την αφαίρεση του θορύβου εξαιτίας των γραμμών μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος, κανονικοποίηση για την γεωμετρία του συστήματος και (αν είναι απαραίτητο) αναγνώριση και αφαίρεση του θορύβου χαμηλής συχνότητας που προέρχεται από τους μικροπαλμούς του μαγνητικού πεδίου της Γης

## 7.2 Εφαρμογή της Παροδικής Μέθοδος Ηλεκτρομαγνητικής –TEM Στο χώρο της Αρχαίας Άπτερας

Η TEM έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε Γεωπεριβαλλοντικές μελέτες σε ολο το κόσμο και έχει δημοσιευτεί και σε ερευνητικά άρθρα . Οι βολιδοσκοπήσεις στον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Άπτερας έγινε με εξοπλισμό TEM-FAST 48 (AEMR Company) αρχικά με μέγεθος (10 x 5 μέτρα ) και έπειτα με μέγεθος 2 x 2 μέτρα) . Οι πρώτες έρευνες TEM διεξήχθησαν τον Μάρτιο του 2013 χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο τετράγωνο διαμόρφωσης βρόχου με διαστάσεις 10 x 5 m (Σχήμα 7.24) και συλλέγοντας 39 βολιδοσκοπήσεις κατά μήκος του δρόμου κάτω σε ένα βάθος 20 μέτρων. Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των δεδομένων TEM χρονοσειρές συλλέγονται με 10 x 5 m βρόχου έδειξε ότι όλες οι καμπύλες (για όλες τις μεταβατικές φορές) συσχετίζεται καλά στο (Σχήμα 7.26). Τα αποτελέσματα έδειξαν, επίσης, ότι στα τέλη του χρόνου (δηλαδή  $t > 20\mu s$ ) οι απαντήσεις είναι «μεταλλικές απαντήσεις» με  $E \sim 1 / t$  (Σχήμα 7.27). Επειδή το "έδαφος" και "μεταλλικές" απαντήσεις (κυρίως από μεταλλικούς φράχτες κατά μήκος του δρόμου) δεν μπορούσαν να διαχωριστούν, είναι δύσκολο να αντιστραφουν τα δεδομένα και να εκτιμηθεί το τελικό μοντέλο 1D αντίστασης. Συνεπώς, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι τα TEM-FAST στοιχεία ήταν θορυβώδης και ο βρόχος 5 x 10 m εργάστηκε κυρίως ως ένας μεταλλικός ανιχνευτής. Επιπλέον, προηγούμενες μελέτες TEM στην περιοχή της Άπτερας έδειξαν ότι ο βρόχος έχει ισχυρές ιδιότητες SPM .



**Σχημα7.21** . Έναρξη κατασκευής ενιαίου βρόγχου 10 x 5 μέτρα



**Σχημα7.22** . Προετοιμασία του ενιαίου βρόγχου ΤΕΜ 10 Χ 5 μέτρα



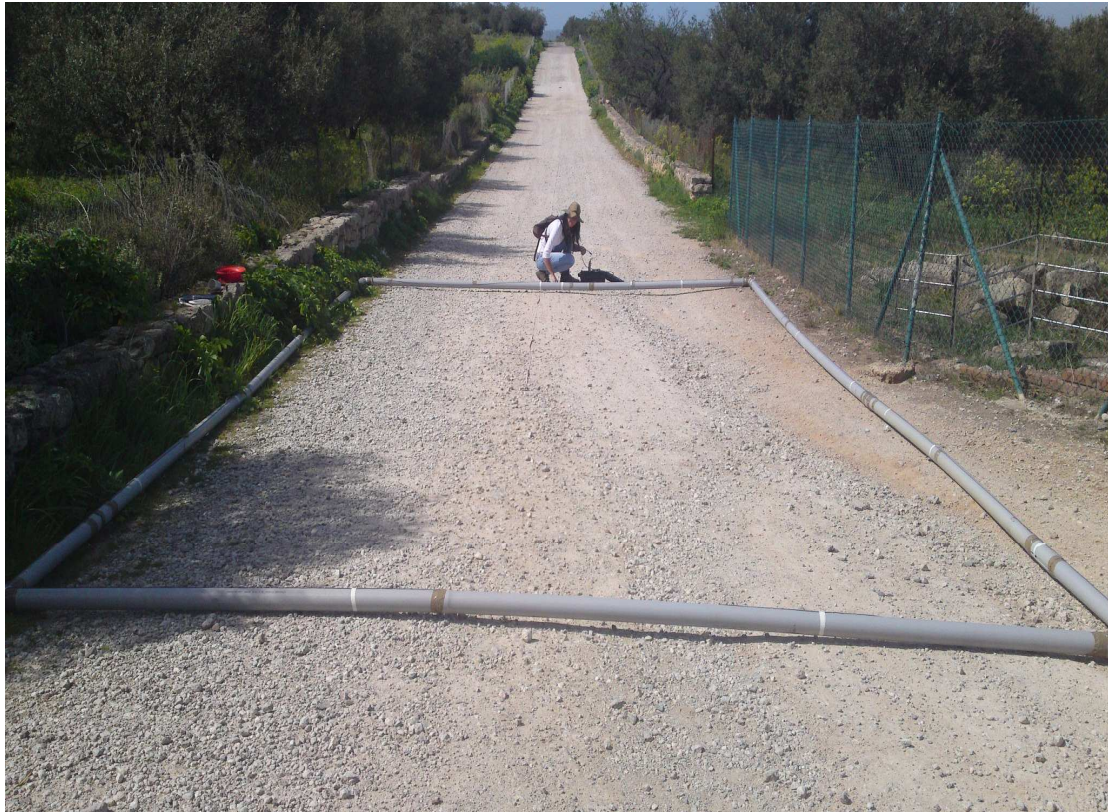


**Σχήμα 7.23.** Προετοιμασία του 10 x 5 m ενιαίο βρόγχου για έρευνα TEM στο χώρο της Αρχαίας Άπτερα.

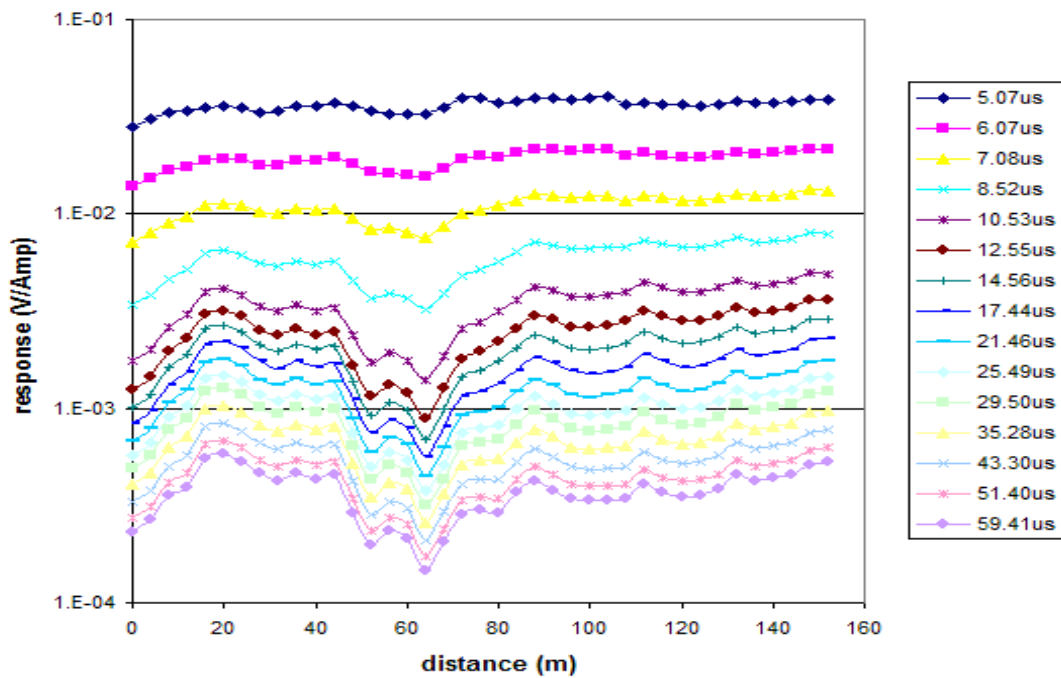


**Σχημα7.24 .** Ολοκλήρωση της κατασκευής του βρόγχου

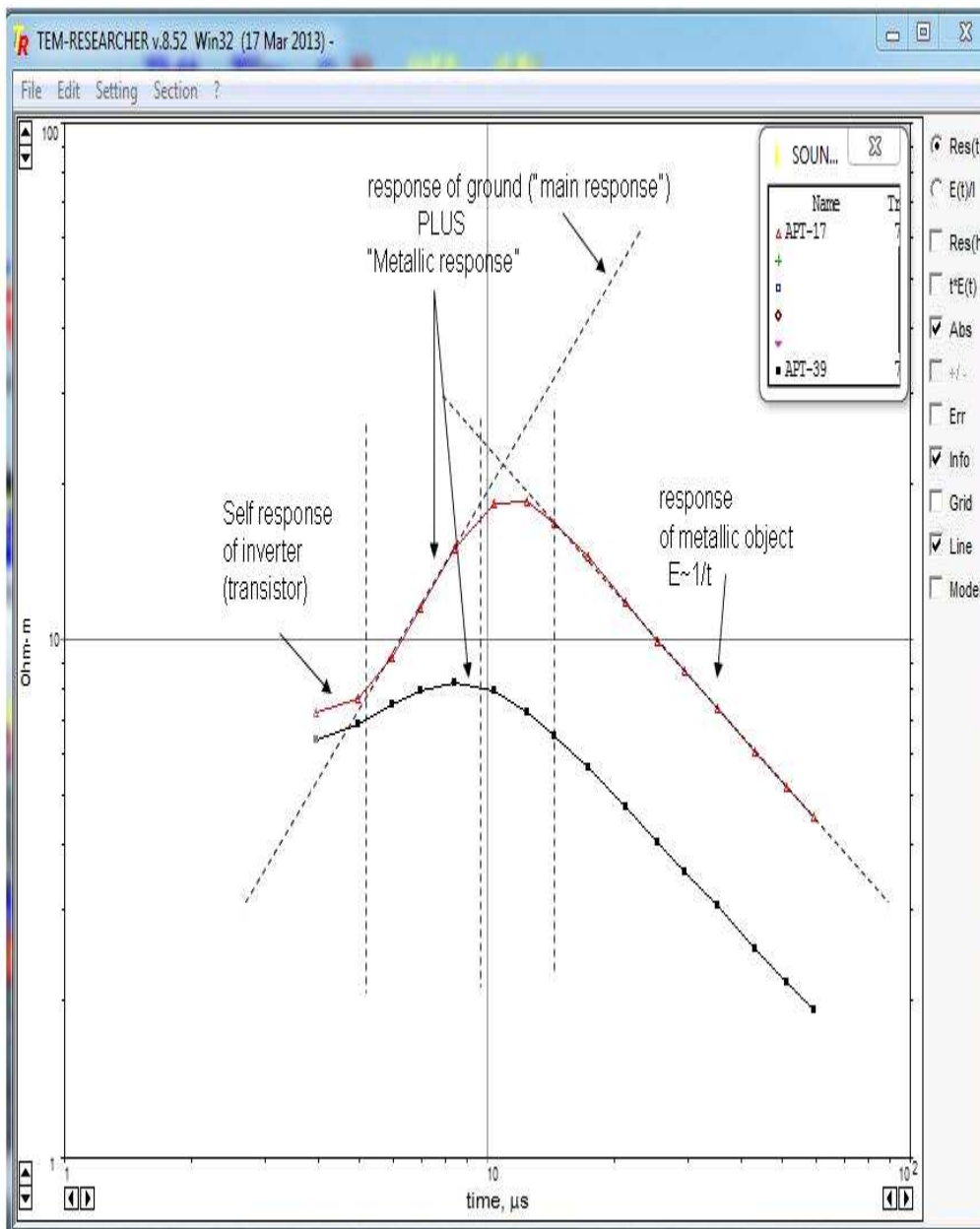




Σχήμα 7.25 . Διαδικασία μέτρησης με ενιαίο βρόγχου 10 x 5 μέτρα



Σχήμα 7.26 Καμπύλες TEM για όλες τις μεταβατικές περιόδους



Σχήμα 7.27. Αντίσταση καμπύλης 19ο και 39ο βαθοσκοπήσεων.





A)

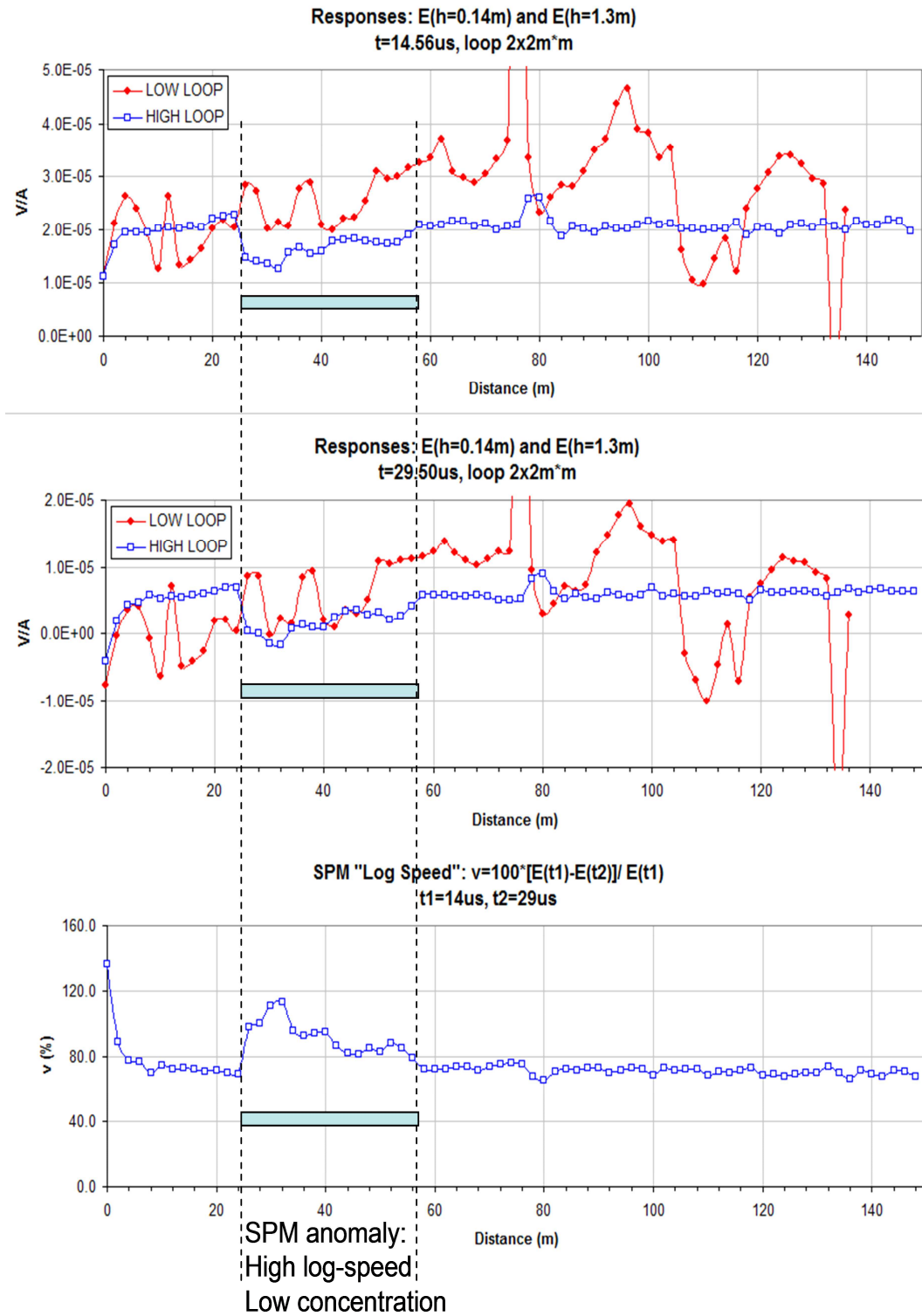


B)

**Σχήμα 7.28.** (α) 2 x 2 m και μονού βρόγχου 1,30 m πάνω από το έδαφος (β) τον ίδιο βρόχο, 0,14 m πάνω από το έδαφος.

Η ανάλυση των δεδομένων από την προηγούμενη έρευνα έδειξε επίσης ότι περίπου το 10% της ηλεκτρομαγνητικής απόκρισης (σήμα) οφειλόταν σε βράχο SPM και περίπου το 90% οφείλεται σε μεταλλικές περιφράξεις κατά μήκος του δρόμου και τις πιθανές δυνατότητες κάτω από την επιφάνεια. Δεδομένου SPM είναι ανάλογη με το μέγεθος βρόγχου (Barsukov et al. 2007), αλλάξαμε το μέγεθος του βρόγχου σε 2 x 2 m και έλαβε επίσης μετρήσεις μακριά από τους φράχτες (Σχ. 7.28a, b), ακολουθώντας την κατεύθυνση κατά μήκος στη μέση του δρόμου Έτσι, με την αφαίρεση του σήματος από διαφορετικά υψόμετρα E (h = 0,14 m)-E (h = 1.30m) που αναμένεται να λάβει μετρήσεις SPM απευθείας από τους άγνωστους κάτω από την επιφάνεια στόχους. Νέα μέθοδος βασίστηκε σε 2 x 2 m βρόγχου που χρησιμοποιήθηκε για την απόκτηση των μετρήσεων σε δύο διαφορετικά ύψη από το έδαφος (1,30 m και 0,14 m, βλέπε σχήμα 7.28α και 7.28β). Για κάθε ύψος 72 βαθυσκοπήσεων ελήφθησαν κατά μήκος του δρόμου και στη συνέχεια να συνδυάζονται για την τελική ερμηνεία. Σε αυτή τη νέα διαμόρφωση ο βρόχος σε 1,30 m πάνω από το έδαφος είχε χρησιμοποιηθεί για το φιλτράρισμα ανωμαλιών που παράγονται από κοντά αντικείμενα στην επιφάνεια.

Οι απαντήσεις από διαφορετικά υψόμετρα για κάθε μέτρηση κατά μήκος του δρόμου υπολογίστηκαν για διαφορετικά χρονικά διαστήματα (Σχήμα 7.29). Τα δεδομένα δείχνουν ότι η χαμηλή (0,14 m) Απόκριση βρόγχου συγκαλύπτεται από ετερογένειες στην επιφάνεια. Η υψηλή (1,30 m) Απόκριση βρόγχου ήταν η βέλτιστη και πολύ σταθερή παρέχοντας αξιόπιστα αποτελέσματα μέχρι το βάθος των 5 m. Βάσει των τελικών μοντέλων (Σχήμα 7.29), τουλάχιστον μία ανωμαλία SPM προσδιορίστηκε (βλέπε μπλε γεμάτο ορθογώνιο μεταξύ διακεκομμένων γραμμών). Δεδομένου ότι αυτή η ανωμαλία είναι τουλάχιστον 5-10 φορές περισσότερο από τα σφάλματα των ερευνών και δεδομένων συλλέχθηκαν με υψηλή εμπιστοσύνη, μπορεί ενδεχομένως να συνδέονται με τους κάτω από την επιφάνεια στόχους που βρίσκονται μεταξύ 1,5 - 2 μ. (κορυφή) και 3 - 5 m (κάτω) βάθους χρονικών διαστημάτων.

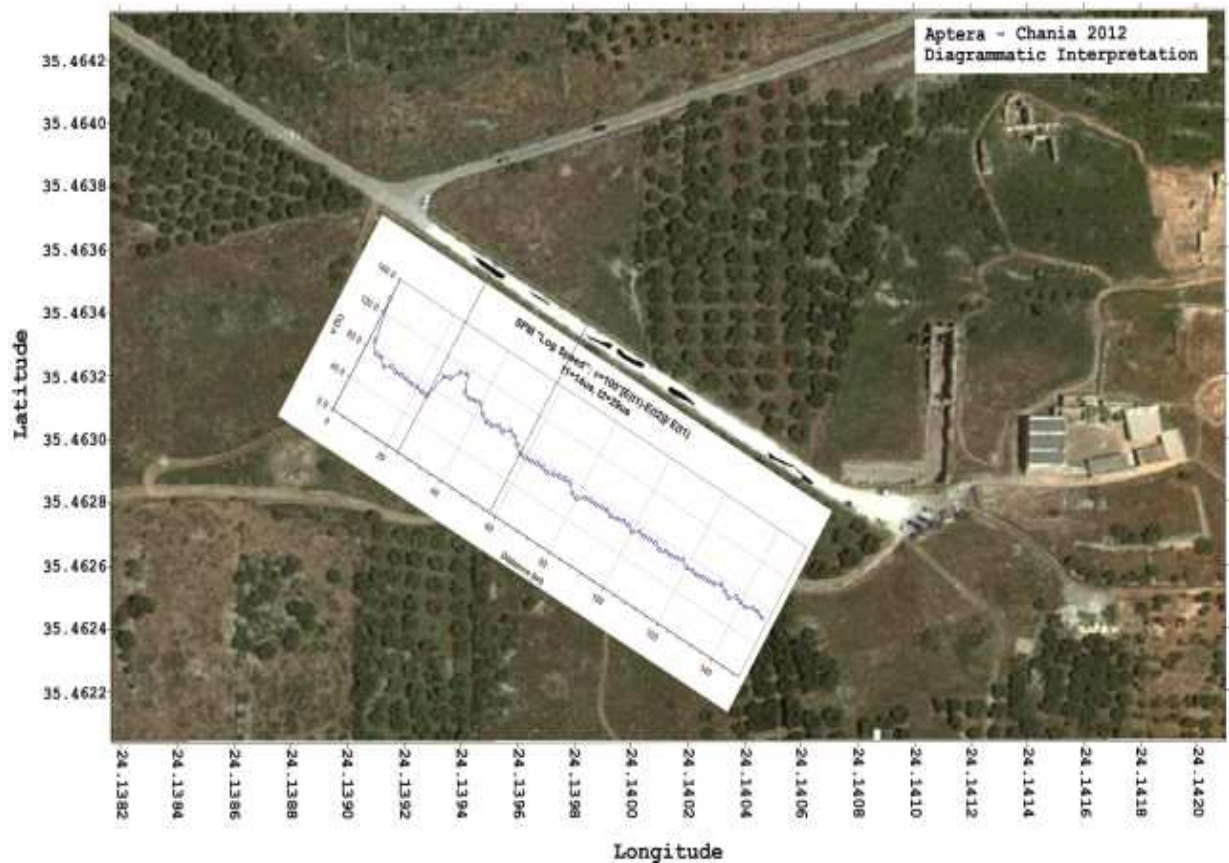


**Σχήμα 7.29.** Αντιδράσεις από διαφορετικά υψόμετρα (E (h = 0,14 m)-E (h = 1,30 m) και έλαβε ανωμαλία SPM.



Παρουσιάστηκε μελέτη που έδειξε πως το GIS εδάφους με βάση το μοντέλο υδρολογικής μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό πιθανής επιτόπιας έρευνας για την αρχαιολογική έρευνα. Μετά την θέση ταυτίστηκε, σε δύο διαφορετικές γεωφυσικές μεθόδους, GPR και TEM που χρησιμοποιήθηκαν για να ανακαλύψουν τις δυνατότητες κάτω από την επιφάνεια στόχων που θα μπορούσαν να είναι ένα απομεινάρι της υποθετικής δομής της προσφοράς νερού, πιθανώς ένα κόψιμο του χαντακιού. Και οι δύο μέθοδοι παράγουν ανωμαλίες σε διάφορα επίπεδα. Επομένως, η σύγκριση των αποτελεσμάτων δεν είναι απλή. Ωστόσο, ο συνδυασμός της TEM και GPR μοντέλων (Σχήμα 7.3) δείχνει ότι τουλάχιστον εντός της ρηχού τμήματος του δρόμου δεν υπάρχει κάποια συμφωνία στις απαντήσεις του σήματος.

Για να αυξηθεί η εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα που λαμβάνονται είναι αναγκαία για την διεξαγωγή διαφόρων γεωφυσικών ερευνών (π.χ. μαγνητική χαρτογράφηση, σεισμική τομογραφία διάθλασης ή ηλεκτρική αντίσταση) και την ενσωμάτωση με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης. Επιπλέον, παράγοντες όπως οι ιδιότητες βράχου και την εποχικότητα (π.χ. υγρή και ξηρή περίοδο) την αβεβαιότητα όσον αφορά την ερμηνεία των τελικών αποτελεσμάτων. Ας ελπίσουμε ότι αυτή η μελέτη θα κατευθύνουν αρκετό ενδιαφέρον για να συλλέξουν διάφορα δείγματα και να προσδιορίσει τις ιδιότητες βράχου στο εργαστήριο.



**Σχήμα 7.3.** Συνδυασμένα αποτελέσματα TEM και GPR που μας δείχνει τις ανωμαλίες σε ένα κομμάτι του δρόμου που μας απασχολεί

Η έρευνα GPR παράγεται από μια σειρά των γραμμικών επιφανειών που χωρίζονται σε ανωμαλίες, οι οποίες είναι ευθυγραμμισμένες με την Νοτιοανατολική - Βορειοδυτική κατεύθυνση. Έχουν αρκετά επιφανειακή εμφάνιση, δεδομένου ότι είναι εγγεγραμμένοι στο εύρος βάθους 20 έως 60 cm κάτω από την επιφάνεια του δρόμου που οδηγεί στην είσοδο του αρχαιολογικού χώρου. Είναι εμφανή ότι αυτές οι ανωμαλίες ακολουθούν τον ίδιο προσανατολισμό. Το χαρακτηριστικό, είναι η γραμμικότητα και ο προσανατολισμός αυτών των ανωμαλιών που θα μπορούσαν ενδεχομένως να δικαιολογήσουν την ύπαρξη μιας κάτω από την επιφάνεια δομής για να συλλέγουν το νερό. Η ασυνεχής φύση αυτών των γραμμικών ανωμαλιών θα μπορούσαν να αντικατοπτρίζουν το γεγονός ότι η δομή είναι εν μέρει έχει καταστραφεί. TEM έρευνα αποκάλυψε τουλάχιστον μία τυχαία ανωμαλία με GPR διακεκριμένη ανωμαλία (Σχήμα 7.3). Η προσθήκη ενός άλλου γεωφυσικής μέθοδο (π.χ. μαγνητική ή / και σεισμική δραστηριότητα) θα προσθέσει περισσότερη σαφήνεια και αυτοπεποίθηση για επιτευχθέντα αποτελέσματα.

## ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

Abu-Zreiga, M., Attomb M., Hamasha N. 2000. Οι βροχοπτώσεις συγκομιδής με τη χρήση χαντακιών άμμο στην Ιορδανία. Τη διαχείριση των υδατικών 46, 183-192

Barsukov, P.O., Fainberg E.B., Khabensky E.O. 2007. Μικρό έρευνα από TEM-FAST τεχνική: μεθοδολογία και την υπόθεση ιστορίες. Σε: Spichak v.v. (επιμ.), Μέθοδοι γεωχημείας και geophysics.Elsevier,55-77

Carluer, N., DeMarsily Γ. 2004. Αξιολόγηση και μοντελοποίηση της επίδρασης των τεχνητών δικτύων σχετικά με την υδρολογία μιας μικρής καμπή: επιπτώσεις για γρήγορη συνιστώσες της ροής, της ποιότητας του νερού και του τοπίου Εφημερίδα της διαχείρισης της Υδρολογίας 285, 76-95

Ψηφιακή Κρήτη. Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών, Αρχαιολογικός Άτλαντας της Κρήτης. [http://digitalcrete.ims.forth.gr/sites\\_display.php?id=1144&l=1](http://digitalcrete.ims.forth.gr/sites_display.php?id=1144&l=1), Las χρόνος πρόσβαση στις 13 Ιουνίου 2013.

Γκίκας, Π., Christodoulakos, Y., Γκίκας, Β. και Ν. Αγγελάκης, Α. Ν. 2009. Ύδρευσης στην Ρωμαϊκή πόλη της Απτέρας, Κρήτη, Ελλάδα. Σε: Proc. του 2ου IWA Διεθνές Συμπόσιο για το Νερό και Λύματα Τεχνολογιών στην αρχαίων πολιτισμών, Μάιος 28 - 30, 2009, Μπάρι, Ιταλία.

Gorokhovich, Γ., Α. Αλεξόπουλος, Β. Γκίκας, Αγγελάκης Α., Γκίκας Ν. 2012. Ύδρευσης και χρήση στην Ρωμαϊκή πόλη της Απτέρας, Κρήτη, Ελλάδα: το μυστήριο του αρχαίου συστήματος νερού. Σε: Proc. του 3D IWA Διεθνές Συμπόσιο για το Νερό και Λύματα Τεχνολογίες Αρχαίοι Πολιτισμοί, 22 έως 24 Μαρ 2012, Κωνσταντινούπολη, Τουρκία.

Κάντα Α., Soupios Π., Barsukov Π., Κούλη Μ. και Φ. Βαλλιανάτος 2013. Χαρακτηρισμό υδροφορέα με ρηγά γεωφυσική στη λεκάνη απορροής Κερίτη της Δυτικής Κρήτης, Ελλάδα, Περιβαλλοντικές Επιστήμες της Γης (Springer), DOI: 10.1007/s12665-013-2503-z

Kaufman A, Keller G. 1983. Συχνότητα και παροδικές βολιδοσκοπήσεις. Μέθοδοι Γεωχημείας και Γεωφυσικής, Elsevier, Άμστερνταμ

Kedar Y. 1957. Αρχαία γεωργίας σε Shivtah στο Negev. Israel Exploration Journal, 7 (3), 178-189

Nabighian M.N., Macnae J.C.1991. Στο πεδίο του χρόνου ηλεκτρομαγνητικά αναζήτηση μεθόδων. Ηλεκτρομαγνητική μεθόδους Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Tulsa, 427-520

Nagata, T., Rock μαγνητισμός, Maruzen, Τόκιο, 1961

Neel L.1950. Theorie du trainage magnetique des ουσίες massives dans le Domaine Le Rayleigh. J.Phys.et Radium. 2, 49



Νινιού-Κινδελή, V. και Χριστοδουλάκος Y. 2004. [Roman Άπτερα - σε μια πρώτη προσέγγιση]. Διεθνές Συνέδριο: Creta Romana e Protobizantina, Ηράκλειο, Ελλάδα, Bottega d'Erasmus, Padova, Ιταλία, (στα ελληνικά).