

**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
***ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ***



ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ & ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωηλεκτρομαγνητική μελέτη καλδέρας Νισύρου,  
ανατολικό ηφαιστειακό τόξο νοτίου Αιγαίου

Μπουντουράκης Στυλιανός  
Τουρκαντώνης Σπυρίδων

*Επιβλέπουσα καθηγήτρια*  
Δρ. Μαρία Κούλη

ΧΑΝΙΑ 2019

**HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY**

***BRANCH OF CHANIA***



DEPT OF NATURAL RESOURCES & ENVIRONMENT  
SECTION OF WATER RESOURCES & GEOENVIRONMENT  
LAB OF GEOPHYSICS & SEISMOLOGY



THESIS

Geoelectrical study of Nisyros caldera,  
East volcanic arc of the South Aegean

Mpountourakis Stylianos  
Tourkantonis Spyridon

*Supervisor*

ASC. PROF. Maria Kouli

CHANIA 2019

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την επιβλέπουσα αυτής της πτυχιακής εργασίας, την καθηγήτρια Μαρία Κούλη για την ανάθεση του θέματος, καθώς και την Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη για την εξαιρετικά πολύτιμη βοήθειά της κατά την διεκπεραίωση της διπλωματικής μας εργασίας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την υπομονή που δείχνουν, καθώς και την υλική και ψυχολογική υποστήριξή τους.

### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

*1<sup>ος</sup> Εξεταστής:* Δρ. Βασίλειος Σάλτας

*2<sup>ος</sup> Εξεταστής:* Δρ. Ιωάννης Μακρής

*Επιβλέπουσα καθηγήτρια:* Δρ. Μαρία Κούλη

|                    |
|--------------------|
| <b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> |
|--------------------|

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>  | <b>4</b>  |
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>   | <b>6</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>   | <b>7</b>  |
| <br>  |           |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>   | <b>8</b>  |
| 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ  | 8         |
| 1.2 ΣΚΟΠΟΣ  | 9         |
| <br>  |           |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ</b>   | <b>10</b> |
| 2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ   | 10        |
| 2.2 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΙΣΤΟΡΙΑ                                    | 12        |
| 2.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ   | 13        |
| 2.4 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ  | 14        |
| 2.5 ΧΛΩΡΙΔΑ ΚΑΙ ΠΑΝΙΔΑ ΝΙΣΥΡΟΥ  | 14        |
| <br>  |           |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ</b>   | <b>16</b> |
| 3.1 ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ   | 16        |
| 3.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΖΩΝΗ ΥΠΟΒΥΘΙΣΗΣ  | 18        |
| 3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΝΙΣΥΡΟΥ  | 19        |
| 3.4 ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΝΙΣΥΡΟΥ   | 22        |
| <br>  |           |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ</b>  | <b>24</b> |
| 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ  | 24        |
| 4.1.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ   | 24        |
| 4.1.2 ΣΤΑΔΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ  | 24        |
| 4.1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ   | 25        |
| 4.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ   | 25        |
| 4.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ  | 25        |
| 4.2.2 ΑΡΧΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ  | 26        |
| 4.2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ                                 | 26        |
| 4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ (TEM)  | 27        |
| 4.3.1 ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ TEM   | 30        |
| 4.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ TEM   | 31        |
| 4.3.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ TEM   | 31        |
| 4.4 ΜΑΓΝΗΤΟΤΕΛΛΟΥΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ (MT)  | 32        |
| 4.4.1 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ  | 33        |
| 4.4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ MT  | 38        |
| 4.4.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΗ MT  | 38        |
| <br>  |           |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ</b> | <b>39</b> |
| 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ  | 39        |
| 5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΜ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ (TEM)  | 39        |



|  |           |
|--|-----------|
| 5.2.1 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ TEM                           | 39        |
| 5.2.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ               | 42        |
| 5.2.3 1D ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ                               | 43        |
| 5.2.4 ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ (2-D imaging)          | 57        |
| 5.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΜΑΓΝΗΤΟΤΕΛΛΟΥΡΙΚΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ (MT)   | 57        |
| 5.3.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ               | 57        |
| 5.3.2 ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ MT                        | 61        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ-ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b> | <b>62</b> |
| 6.1 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΩΝ (TEM)            | 62        |
| 6.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΑΓΝΗΤΟΤΕΛΛΟΥΡΙΚΩΝ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΩΝ (MT)   | 63        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>                      | <b>65</b> |
| 7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΑΣ                             | 65        |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>                                  | <b>66</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>                                     | <b>67</b> |

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό την μελέτη της δομής της καλδέρας της Νισύρου με χρήση ηλεκτρομαγνητικών γεωφυσικών μεθοδολογιών. Οι τεχνικές οι οποίες εφαρμόζονται είναι η μαγνητοτελλουρική μέθοδος (MT) και η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος παροδικών πεδίων (TEM). Στα πλαίσια του προγράμματος MT-GEAR τον Μάιο του 2013 είχαν πραγματοποιηθεί δύο μετρήσεις MT σε απόσταση 2,5 χιλιομέτρων και 14 βυθοσκοπήσεις TEM, όπου πραγματοποιήθηκαν σε ένα πυκνό προφίλ με βήμα 200 μέτρων μεταξύ των δύο MT μετρήσεων. Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε αρχικά επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων MT με χρήση του προγράμματος EMTF, εφαρμόζοντας τον κώδικα του Egbert (single station και remote reference) και στη συνέχεια έγινε 1D μοντελοποίηση με το πρόγραμμα WinGLink. Τα TEM δεδομένα επεξεργάστηκαν, αναλύθηκαν και μοντελοποιήθηκαν με το πρόγραμμα TEM-RES. Η μέθοδος TEM συνδυάστηκε τόσο με την MT μέθοδο για την απεικόνιση της επιφανειακής δομής σε κάθε μία από τις δύο MT θέσεις αλλά και έδωσε πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την επιφανειακή γεωλογία και την τεκτονική της καλδέρας μέσω της 2-D τομογραφίας. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων για την περιοχή έρευνας, είναι τα εξής: (α) στο μονοδιάστατο MT μοντέλο παρατηρούνται 2 ασυνέχειες, η μία περίπου σε βάθος από τα 100 μέτρα μέχρι το 1 km και η δεύτερη περίπου στα 10 km, όπου η δεύτερη ασυνέχεια μπορεί να συσχετιστεί με την ύπαρξη μαγματικού θαλάμου και (β) στο προφίλ των TEM παρατηρήθηκε μία πλευρική ασυνέχεια που πιθανώς σχετίζεται με την ύπαρξη τεκτονικής ζώνης, όπως φαίνεται και στον γεωλογικό χάρτη.

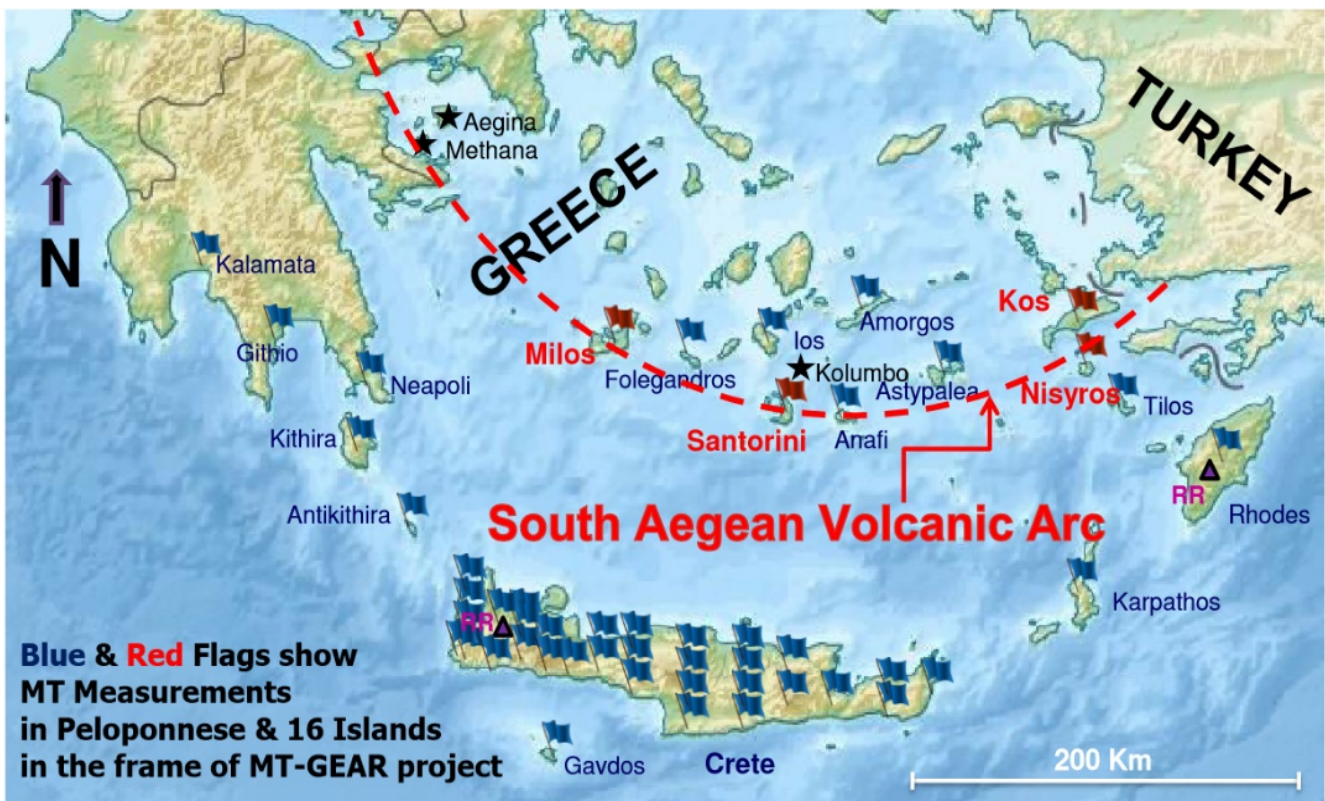
## ABSTRACT

This thesis aims to study the structure of the caldera of Nisyros using electromagnetic geophysical methodologies. The techniques that are applied are the magnetotelluric method (MT) and the transient electromagnetic method (TEM). Under the MT-GEAR program, in May 2013 two MT measurements were acquired at 2.5 km distance to each other. In addition 14 TEM soundings were taken with 200-meter step between the two MT measurements in a profile. For the needs of the thesis, processing and analysis of the MT data was performed using the EMTF program, applying the Egbert code (single station and remote reference) and then 1D modeling with the WinGLink program was extracted. TEM data were processed, analyzed and modeled with the TEM-RES program. The TEM method was combined with both the MT method to visualize the surface structure at each of the two MT sites and gave additional information on surface geology and caldera tectonics by 2-D tomography. The conclusions from the interpretation of the results for the research area are as follows: (a) in the one-dimensional MT model there are two discontinuities, one approximately from 100 meters up to 1 km and the second approximately at 10 km, where the second discontinuity can be correlated with the existence of a magma chamber and (b) at 2-D TEM profile a lateral discontinuity is appeared which is possibly related to the existence of a tectonic zone, as shown in the geological map.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ****1.1 Εισαγωγή**

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος MT-GEAR (Magneto Telluric sin studying Geodynamics of the Hellenic Arc), που είχε ως κύριο σκοπό τον προσδιορισμό της γεωηλεκτρικής δομής του Νοτίου Αιγαίου και πιο συγκεκριμένα να απεικονιστεί η Ελληνική Ζώνη Υποβύθισης (Hellenic Subduction Zone) συνδυάζοντας την Μαγνητοτελλουρική (MT) μέθοδο και την μέθοδο βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM), πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις MT και TEM σε επιλεγμένες τοποθεσίες στο Νότιο Αιγαίο, στην Κρήτη και στα νησιά του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου περιλαμβανομένης και της Νισύρου (εικόνα 1).

Για την παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση των γεωφυσικών δεδομένων στο ηφαιστειο της Νισύρου και πιο συγκεκριμένα μέσα στον κρατήρα Στέφανο πάνω σε μια προσπάθεια πιο λεπτομερούς γεωηλεκτρομαγνητικής μελέτης της καλδέρας της νήσου, η οποία βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου.



*Εικόνα 1: Χάρτης Νοτίου Αιγαίου. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή απεικονίζεται το ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου.*

## 1.2 Σκοπός

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Γεωηλεκτρομαγνητική μελέτη καλδέρας Νισύρου, ανατολικό ηφαιστειακό τόξο νοτίου Αιγαίου» έχει σκοπό την μελέτη της δομής του υπεδάφους της Νισύρου με την εφαρμογή γεωφυσικών ηλεκτρομαγνητικών μεθοδολογιών και συγκεκριμένα την εφαρμογή των MT (MagnetoTelluric) και TEM (TransientElectro-Magnetic) μεθοδολογιών για τη γεωφυσική μελέτη της καλδέρας της Νισύρου.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ****2.1 Γεωγραφική θέση και μορφολογία της περιοχής**

Η Νίσυρος βρίσκεται στο νότιο-ανατολικό Αιγαίο (γεωγραφικό πλάτος  $36^{\circ}35'$  βόρεια, γεωγραφικό μήκος  $27^{\circ}10'$  ανατολικά) και ανήκει στα Δωδεκάνησα (Εικόνα 2). Έχει έκταση 41.2 τετραγωνικά χιλιόμετρα και μέγιστο υψόμετρο 698 μέτρα. Περιτριγυρίζεται από άλλα 5 νησιά, το μεγαλύτερο από τα οποία είναι το Γυαλί, ενώ ακολουθούν η Πυργούσα, η Παχιά, η Στρογγυλή και ο Άγιος Αντώνιος.

Το νησί βρίσκεται βορειοδυτικά της Ρόδου, ανάμεσα στην Κω, την Τήλο και την Αστυπάλαια. Συγκεκριμένα, απέχει 8 μίλια βορειοδυτικά της Τήλου, και 10 μίλια νότια της Κω, στην οποία και υπάγεται διοικητικά, και 9 ναυτικά μίλια ανατολικά από το ακρωτήριο Νάτσα της Τουρκίας.

Το σχήμα της Νισύρου ομοιάζει με αυτό ενός κολουρου κώνου, με διάμετρο βάσης 8 χιλιόμετρα. Στο κέντρο του νησιού δεσπόζει μια ευδιάκριτη κυκλική εκρηξιγενής χοάνη, η καλδέρα της Νισύρου: η διάμετρος είναι περίπου 4 χιλιόμετρα, το χείλος της κυμαίνεται σε υψόμετρο μεταξύ 250 και 600 μέτρων, ενώ ο πυθμένας της βρίσκεται στα 100 μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Το δυτικό-βορειοδυτικό αυτής της χοάνης καταλαμβάνουν οι λόφοι του Μποριάτικου, Νίφιου, Προφήτη Ηλία και Τραπεζίνας.

Παρά το έντονο ανάγλυφο και τις γοργές διακυμάνσεις του, η πρόσβαση είναι δυνατή σχεδόν σε κάθε περιοχή του νησιού.

Η μορφολογία των ακτών του νησιού εξαρτάται άμεσα από το είδος των πετρωμάτων που τις αποτελούν. Σχεδόν όλες οι δυτικές και νοτιοανατολικές ακτές είναι πολύ απότομες, καθώς οι συμπαγείς λαβές ακουμπούν στη θάλασσα. Οι βόρειες και ανατολικές ακτές είναι ομαλές με αρκετούς ορμίσκους με αμμουδιά. Στις νότιες ακτές εναλλάσσονται μικροί όρμοι (Αυλάκι, Αγία Ειρήνη, Λευκός) με απότομες ακτές (Βουγιουκαλάκης Γ.Ε., 1998).





*Εικόνα 2: Η γεωγραφική θέση της Νισύρου στο χάρτη της Ελλάδος*

Αποτελείται από ηφαιστειογενή όρη, ενώ στο κέντρο της υπάρχει η τεράστια καλδέρα του ηφαιστείου που έχει μήκος 2400 μέτρα και πλάτος 950 μέτρα. Εκεί μπορεί κανείς να αντικρίσει τους εντυπωσιακούς κρατήρες. Ο μεγαλύτερος υδροθερμικός κρατήρας του κόσμου ονομάζεται Στέφανος και έχει διάμετρο 260 μέτρα και το βάθος του φτάνει τα 30 μέτρα.

Εκεί οι εκλύομενοι υδρατμοί και οι ατμοί διοξειδίου του θείου, το σκοτεινό χρώμα της λάβας και τα κίτρινα στρώματα του θειαφιού στα τοιχώματα του κρατήρα κάνουν το τοπίο μοναδικό. Σε πολλά σημεία του νησιού υπάρχουν θερμές ιαματικές πηγές, οι ονομαστότερες από τις οποίες βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το Μαντράκι.

Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω του ηφαιστείου και του ηφαιστειογενούς του εδάφους το νησί είναι πολύ εύφορο και ευνοεί τη δενδροκομία και την πλούσια βλάστηση.

Το νησί δεν διαθέτει αποθέματα πόσιμου νερού. Η μοναδική πηγή του βρίσκεται στις ανατολικές πλαγιές, κοντά στο μοναστήρι της Παναγιάς Κυράς, και το νερό που παρέχει είναι λιγοστό. Οι στέρνες, με τη συλλογή του βρόχινου νερού, έλυναν το πρόβλημα της ύδρευσης στο παρελθόν. Για αυτό τις συναντάς παντού στο διάβα σου, εγκαταλελειμμένες τις περισσότερες σήμερα. Μια μοντέρνα μονάδα αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης μετριάζει το πρόβλημα της ύδρευσης του νησιού σήμερα (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).

## 2.2 Δημογραφικά στοιχεία, απασχόληση, πολιτισμός και ιστορία

Κατά την απογραφή του 1991 απογράφονται 929 κάτοικοι. Η μεγάλη τους πλειοψηφία (677) βρίσκεται στο Μαντράκι, 150 κατοικούν στο γραφικό λιμανάκι των Πάλων, 41 στον Εμπορειό και 61 στα Νικιά. Οι κύρια ασχολία των κατοίκων της Νισύρου είναι η κτηνοτροφία και γενικότερα ο πρωτογενής τομέας, καθώς και τον τουρισμό.

Όσον αφορά την ιστορία του νησιού, η Νίσυρος έχει μια μακραίωνη ιστορία. Στο νησί έχουν καταγραφεί ίχνη νεολιθικής κατοίκησης από την 5η χιλιετία π.Χ..

Έχει αρκετά θεσμοθετημένα μνημεία και αρχαιολογικούς χώρους με σημαντικότερα:

- τον αρχαιολογικό χώρο Μανδρακίου, ο οποίος περιλαμβάνει το αρχαίο τείχος στο Παλαιόκαστρο (Εικόνα 3)
- την περιοχή του αρχαίου λιμένος και λείψανα υστερο-ρωμαϊκής περιόδου στη θέση του σύγχρονου οικισμού του Μανδρακίου
- το Κάστρο της Ιπποτοκρατίας
- το Μοναστήρι της Παναγίας της Σπηλιανής
- Ολόκληρο το νησί Γυαλί της Νισύρου

Ωστόσο πέρα του αρχαιολογικού ενδιαφέροντος που έχει το νησί, η ιδιαιτερότητα του ως νησί ηφαιστειο είναι αυτό που χαρακτηρίζει τον πολιτισμικό του χαρακτήρα. Για την ανάδειξη του ηφαιστειού της Νισύρου έχει ιδρυθεί το Ηφαιστειολογικό Μουσείο της Νισύρου στα Νικειά καθώς και το Ηφαιστειολογικό Παρατηρητήριο Νισύρου στο Εμπορειό. Στο νησί επίσης λειτουργούν τα παρακάτω μουσεία:

- το Λαογραφικό Μουσείο Νισύρου
- το Αρχαιολογικό Μουσείο

(Επιχειρησιακό σχέδιο αγροτικής ανάπτυξης 2014-2020, Νίσυρος).



*Εικόνα 3: Αρχαίο κάστρο Ιπποτών Νισύρου, Παλαιόκαστρο*

Ο Απολλόδωρος στη «Βιβλιοθήκη» του καταγράφει το μύθο για τη γένεση του νησιού: Ο γίγαντας Πολυβώτης, κυνηγημένος από τον Ποσειδώνα, φτάνει στην Κω. Ο Ποσειδώνας αρπάζει ένα κομμάτι από το νησί και το ρίχνει πάνω του. Ο Πολυβώτης καταπλακώνεται για μια αιωνιότητα. Όποτε βογκά, το νησάκι της Νισύρου αναταράσσεται. Περίπου τον ίδιο μύθο επαναλαμβάνει και ο Στράβωνας στα «Γεωγραφικά» του, ενώ η Νίσυρος αναφέρεται και από τον Όμηρο. Η συμβολή του νευρικού στόλου στον Κρητικό Πόλεμο εκτιμήθηκε από τη Βουλή των Ροδίων, που τίμησε το ναύαρχο Γνωμαγόρα. Πρώτοι κάτοικοι του νησιού ήταν οι Κάρες. Η Νίσυρος ακολούθησε σε γενικές γραμμές την τύχη των υπόλοιπων Δωδεκανήσων. Το «Παλαιόκαστρο» έγινε κλασική ακρόπολη, το ιαματικό νερό στην περιοχή της Θερμιανής έγιναν ρωμαϊκά λουτρά και τα ιπποτικά κάστρα καταδεικνύουν τη γεωγραφική αξία του νησιού στο Μεσαίωνα. Η βυζαντινή ευλάβεια αποτυπώθηκε στο Μοναστήρι της Σπηλιανής και η ιταλική κατοχή στο διοικητήριο που βρίσκεται στο λιμάνι του νησιού. Το νησί σχηματίστηκε από ηφαιστειακές εκρήξεις και είναι ένα από τα δύο ηφαίστεια του Ελληνικού χώρου. Σύμφωνα με την μυθολογία η Νίσυρος σχηματίστηκε όταν ο Ποσειδώνας που κυνηγούσε τον γίγαντα Πολυβώτη που διασχίζει φοβισμένος το Αιγαίο για να σωθεί, έσπασε ένα κομμάτι από την Κω με την τρίαινα του και το πέταξε εναντίον του και τον καταπλάκωσε. Το κομμάτι αυτό της Κω, είναι η Νίσυρος.

Το όνομα του νησιού ανήκει πιθανότατα στα προελληνικά αιγαιακά τοπωνύμια. Οι πρώτοι κάτοικοι της Νισύρου ήταν Κάρες. Ακολούθησαν οι Αχαιοί της Κω και οι (Δωρικής καταγωγής) Ρόδιοι. Σύμφωνα με τον Όμηρο, οι Νισύριοι συγκαταλέγονταν μεταξύ των Ελλήνων που πολέμησαν στην Τροία. Τους Νισυρίους βρίσκουμε και στους φορολογικούς καταλόγους της αθηναϊκής συμμαχίας. Λάτρευαν τον Δελφίνιο Απόλλωνα, όπως και τον πελασγικό Ποσειδώνα, ιερό του οποίου υπήρχε στους σημερινούς Πάλους, όπου ευρίσκονταν κι οι παλιές θερμοπηγές του νησιού. Σωζόμενες αναθηματικές στήλες μας μιλούν για την εξαιρετική θέση που κατείχε στην λατρεία των αρχαίων κατοίκων ο Μιλείχιος Ζευς, η θεά Τύχη, ο Ερμής κλπ (Δήμος Νισύρου, 2019).

Ιστορική πηγή που αναφέρεται στα αμύγδαλα της Νισύρου, τα χαρακτηρίζει ως «νυχάτα», τα οποία ήταν εύθραυστα με απλή πίεση των νυχιών και ήταν το κατεξοχήν εξαγωγίμο προϊόν της Νισύρου. Η ίδια πηγή αναφέρει πως και τα σύκα του νησιού ήταν περίφημα αφού οι Οθωμανοί αποκαλούσαν την Νίσυρο ως Νησί των Σύκων «Ιντζιρλί».

Στο νησί υπάρχουν επίσης πολλές αγραμυθιές από τις οποίες παλιότερα παρήγαγαν γραμυθέλαιο, βελανιδιές από όπου τα βελανίδια εξάγονταν για την βυρσοδεψία. Επίσης την μεγαλύτερη έκταση των αναβαθμίδων κάλυπταν αμπελώνες με βρώσιμα και οινοποιήσιμα σταφύλια (Επιχειρησιακό σχέδιο αγροτικής ανάπτυξης 2014-2020, Νίσυρος).

### 2.3 Γεωμορφολογικές συνθήκες της περιοχής

Η μορφολογία της Νισύρου σχετίζεται άμεσα με την ηφαιστειακή προέλευση του νησιού με κυρίαρχο μορφολογικό στοιχείο το ορεινό ανάγλυφο, οι μεγάλες κλίσεις των πρανών και οι απόκρημνες ακτές. Η πεδινή κεντρική περιοχή της Νισύρου λέγεται Λακκί και περικλείεται δακτυλιοειδώς από κορυφογραμμή, τα υψηλότερα σημεία της οποίας βρίσκονται αντιδιαμετρικά στα δυτικά και ανατολικά. Στα δυτικά υπάρχει η κορυφή Προφήτης Ηλίας με υψόμετρο 698 μέτρα ενώ στα

ανατολικά βρίσκεται η κορυφή Αγίου Ιωάννη με υψόμετρο 589 μέτρα. Στο δυτικό ήμισυ του νησιού το ανάγλυφο είναι περισσότερο σύνθετο σχηματίζοντας αρκετά διακριτά υβώματα με πιο σημαντικό την κορυφή Καραβιώτη με υψόμετρο 539 μέτρα. Εκτός από την κεντρική περιοχή του Λακκιού μικρές πεδινές εκτάσεις σχηματίζονται στη βόρεια και βορειοανατολική ζώνη. Με σημαντικότερη αυτή που σχηματίζεται στο βόρειο τμήμα μήκους περίπου 5 χιλιομέτρων και μέσου πλάτους 100 περίπου μέτρων. Ενώ μια δεύτερη πεδινή ζώνη, αρκετά μικρότερη βρίσκεται στις βορειοανατολικές ακτές του νησιού. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της διαμορφωμένης γεωμορφολογίας του νησιού είναι ο μεγάλος αριθμός αναβαθμίδων (ο μεγαλύτερος στα Δωδεκάνησα) σε όλο το μήκος του νησιού οι οποίες σύμφωνα με μελέτη του Πανεπιστημίου Αιγαίου, καλύπτουν έκταση που ξεπερνά το 58% της επιφάνειάς του νησιού, καλύπτοντας όλες τις διαθέσιμες κλίσεις και εκθέσεις. Σήμερα η πλειονότητα αυτών είναι εγκαταλειμμένες, που όμως μαρτυρούν μια εντατική γεωργική δραστηριότητα κατά το παρελθόν (Οικολογικός Άνεμος στην περιφέρεια Ν. Αιγαίου).

Η μορφολογία των ακτών του νησιού εξαρτάται άμεσα από το είδος των πετρωμάτων που τις αποτελούν. Σχεδόν όλες οι δυτικές και νοτιοανατολικές ακτές είναι πολύ απότομες, καθώς οι συμπαγείς λάβες ακουμπούν στη θάλασσα. Οι βόρειες και ανατολικές ακτές είναι ομαλές με αρκετούς ορμίσκους με αμμουδιά. Στις νότιες ακτές εναλλάσσονται μικροί όρμοι (Αυλάκι, Αγία Ειρήνη, Λευκός) με απότομες ακτές (Επιχειρησιακό σχέδιο αγροτικής ανάπτυξης 2014-2020, Νίσυρος,).

## 2.4 Μετεωρολογικά στοιχεία

Η Νίσυρος κυριαρχείται από ΒΒΑ ενδιάμεσους έως δυνατούς ανέμους (~ 18 μίλια/ώρα ή 4,5 μποφόρ), βόρειους και ΝΝΔ ενδιάμεσους ανέμους (~ 15.6 μίλια/ώρα ή 4,1 μποφόρ και 12.1 μιλίων/ώρα ή 3,4 μποφόρ αντιστοίχως) και σπάνιους ανέμους διεύθυνσης Α-Δ.

Ως προς την θερμοκρασία η μικρότερη μέση ελάχιστη εμφανίζεται το μήνα Φεβρουάριο (8,32°C) με μέση απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία τους 2,75°C ενώ η μεγαλύτερη μέση μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο (30,67°C) με μέση απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία τους 35,75°C.

Ως προς τα κατακρημνίσματα θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μέσο ύψος βροχής είναι 559,54 χιλιοστά. Με τον μήνα Δεκέμβριο να εμφανίζεται με το μεγαλύτερο μέσο μηνιαίο ύψος βροχής τα 121,96 χιλιοστά. Ο Ιανουάριος είναι ο μήνας με το υψηλότερο μέγιστο ημερήσιας βροχής (134,90 χιλιοστά) ενώ παράλληλα παρουσιάζει τις περισσότερες ημέρες βροχής (11,32) και τις περισσότερες ημέρες με καταιγίδα (3,77).

Ως προς τους ανέμους οι επικρατούντες άνεμοι είναι Βόρειοι με μέσο ετήσιο αριθμό ημερών που εμφανίζουν ένταση άνω των 8 μποφόρ τις 17,96, από αυτές οι περισσότερες εμφανίζονται από το Δεκέμβριο έως το Μάρτιο (11,85 ημέρες) (Επιχειρησιακό σχέδιο αγροτικής ανάπτυξης 2014-2020, Νίσυρος).

## 2.5 Χλωρίδα και πανίδα Νισύρου

Η χλωρίδα και πανίδα της Νισύρου παρουσιάζει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον τόσο λόγω της ηφαιστειακής φύσης της όσο και της γεωγραφικής της θέσης πάνω στις οδούς μετανάστευσης ασιατικών ειδών προς τη Νότια Ευρώπη, και αντίστροφα. Η καταγεγραμμένη παρουσία 450 ειδών χλωρίδας, 85 ειδών



ορνιθοπανίδας, 7 ειδών ερπετών, καθώς και η παρουσία της φώκιας *Monachus-monachus* στις ακτές, αναδεικνύουν τη Νίσυρο σε ένα τόπο άξιο ιδιαίτερης προστασίας και μελέτης.

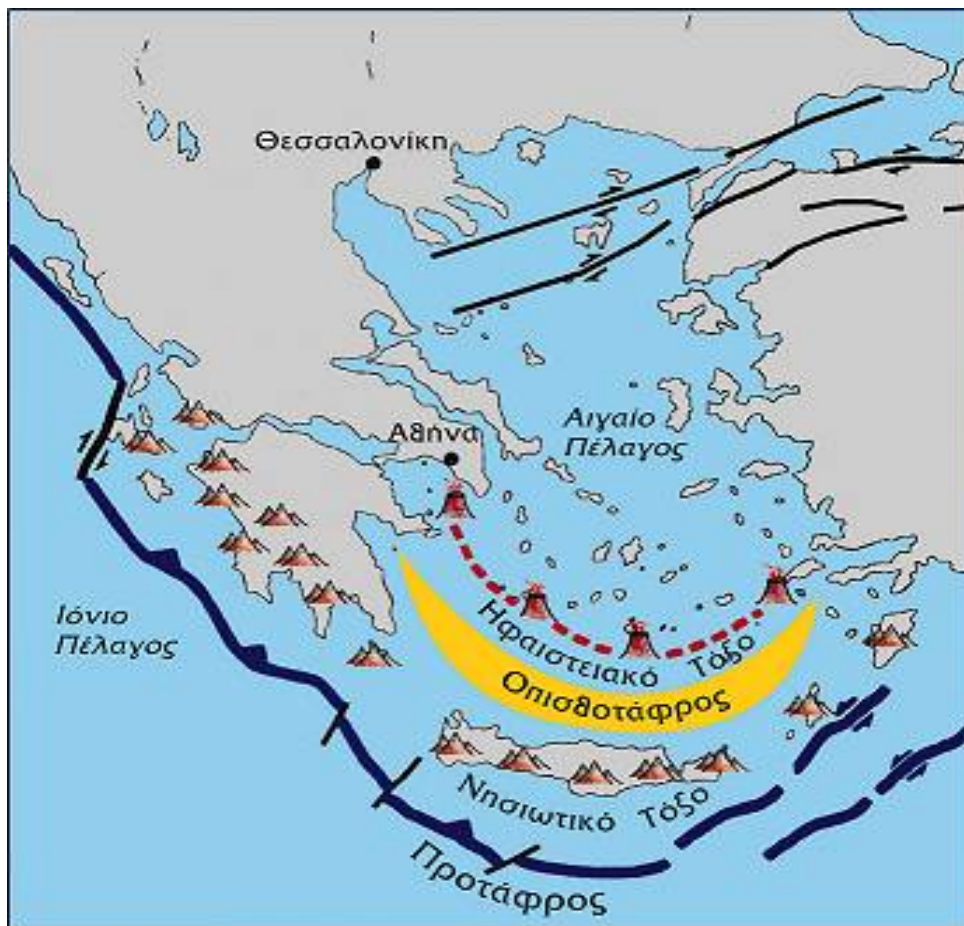
Η πυκνή θαμνώδης βλάστηση αποτελούμενη από τις αστιβές (*Sacropoterium spinosum*), τη σμυρτιά (*Lavandula stoechaw*), το σκίτσο (*Cistus creticus* & *Cistus salvifolius*), το θυμάρι (*Thimus capitatus*), τη θρύμπη (*Satureja thymbra*), τους γλάστρους (*Daphne gnidioides*) και τους ασπαλάθους (*Calicotome villosa*), η καμπανούλα η Νισυριά (*Campanula nisyria*) μοναδικό είδος ενδημικού φυτού, το μεγάλο πλήθος των δέντρων, βελανιδιές, ελιές, συκιές, αμυγδαλιές, αγραμυθιές, λεμονιές, καταδεικνύουν τη Νίσυρο ως το μοναδικό «πράσινο» ενεργό ηφαίστειο του Αιγαίου. Αντίστοιχου εύρους και ποικιλότητας με τη χλωρίδα είναι και η πανίδα που φιλοξενείται στο νησί, γεράκια που αιωρούνται συνεχώς στο στερέωμα, κουρκουταύλοι, τεράστιες μαύρες σαύρες που κρύβονται κάτω από πετρώματα, ενώ υπάρχουν πολλά ζώα ελεύθερης βοσκής όπως κατσίκια, γουρούνια και αγελάδες (Δήμος Νισύρου, 2019).

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

#### 3.1 Ηφαιστειακό τόξο Νοτίου Αιγαίου

Η Νίσυρος είναι το νεότερο από τα μεγάλα ηφαιστειακά κέντρα της Ελλάδας. Τα παλαιότερα πετρώματα που εμφανίζονται έχουν ηλικία λίγο μεγαλύτερη των 160.000 χρόνων ενώ τα νεότερα αγγίζουν τα όρια της προϊστορίας, πριν περίπου 15.000 χρόνια (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).

Συγκαταλέγεται μαζί με τα Μέθανα, τη Μήλο και τη Σαντορίνη στα ενεργά ηφαίστεια της χώρας μας (Εικόνα 4). Όλα αυτά τα ηφαιστειακά κέντρα βρίσκονται κατανομημένα κατά μήκος μιας ζώνης πλάτους λίγων δεκάδων χιλιομέτρων και μήκους 450 χιλιομέτρων, η οποία αρχίζει από τον ισθμό της Κορίνθου και καταλήγει στη Νίσυρο. Επειδή η ζώνη αυτή έχει σχήμα τόξου και σε αυτήν εστιάζεται η πλέον πρόσφατη ηφαιστειακή δράση στο χώρο του Αιγαίου, ονομάζεται «ενεργό ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου» (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).

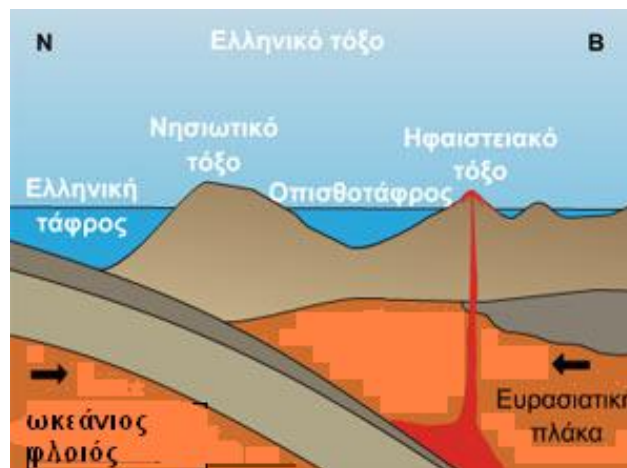


Εικόνα 4: Ηφαιστειακό τόξο Νοτίου Αιγαίου

Η κυρίαρχη σήμερα επιστημονική άποψη για τη διάταξη των ηφαιστειακών κέντρων κατά μήκος αυτής της ζώνης, είναι εκείνη που συνδέει τη γένεση και τη θέση τους με τις κινήσεις των μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών, των θραυσμάτων



δηλαδή του στερεού, σκληρού περιβλήματος του πλανήτη μας. Σήμερα είναι επαρκώς τεκμηριωμένο με διάφορες επιστημονικές μεθόδους ότι η λιθοσφαιρική πλάκα της Αφρικής βυθίζεται νότια της Κρήτης, κάτω από την περιοχή του Αιγαίου, - καθώς αυτή μετατοπίζεται προς τα νοτιοδυτικά με ταχύτητες που εκτιμώνται σε 4 με 5 εκατοστά το χρόνο (Εικόνα 5). Η δημιουργία των παραπάνω ηφαιστειών οφείλεται στην υποβύθιση του υπολείμματος του ωκεάνιου φλοιού της Τηθύος κάτω από την Ευρασιατική πλάκα, ή για να είμαστε πιο ακριβείς, κάτω από την μικροπλάκα του Αιγαίου. Η διαδικασία αυτή είναι ενεργή τουλάχιστον τα τελευταία 15 εκατομμύρια χρόνια, με αποτέλεσμα η βυθιζόμενη λιθόσφαιρα της Αφρικής να διέρχεται κάτω από την περιοχή του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου, εδώ και 5 εκατομμύρια χρόνια και σε βάθη μεταξύ 120 με 140 χιλιομέτρων. Στα βάθη αυτά η παρουσία της βυθισμένης λιθόσφαιρας μέσα στον μανδύα της Γης δημιουργεί συνθήκες τέτοιες που επιτρέπουν την γένεση του μάγματος: λιωμένο πέτρωμα λιγότερο ή περισσότερο πλούσιο σε αέρια, που αρχίζει την αργή άνοδό του προς τα ανώτερα στρώματα του φλοιού της Γης, όπου συγκεντρώνεται σε μικρούς ή μεγάλους ταμιευτήρες, του μαγματικούς θαλάμους. Στην περίπτωση που μεγάλα ρήγματα διαπερνούν τον φλοιό πάνω από τους μαγματικούς θαλάμους, το μάγμα βρίσκει διέξοδο προς την επιφάνεια. Αναβλύζοντας ήπια ή εκτινασσόμενο βίαια, εξέρχεται, ψύχεται, στερεοποιείται σε λάβα και οικοδομεί τα ηφαίστεια (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).



*Εικόνα 5: Αναπαράσταση κίνησης πλακών*

Τα παραπάνω δικαιολογούν την εμφάνιση των πρόσφατων και ενεργών ηφαιστειών της Ελλάδας στην ζώνη του τόξου του Νοτίου Αιγαίου. Τα παλαιότερα ηφαιστειακά πετρώματα του τόξου έχουν ηλικία 5 εκατομμύρια χρόνια, ηλικία που συμπίπτει με την εκτιμώμενη έναρξη της «διέλευσης» της λιθόσφαιρας της Αφρικής κάτω από την περιοχή, σε βάθη 120 – 140 χιλιομέτρων όπου δημιουργείται το μάγμα.

Στην ευρύτερη περιοχή της Νισύρου, στο ανατολικό άκρο του ηφαιστειακού τόξου, η ηφαιστειακή δράση αρχίζει αργότερα. Τα πρώτα ηφαιστειακά επεισόδια χρονολογούνται 2,5 εκατομμύρια χρόνια και τα πετρώματα που δημιουργήθηκαν χερσεύουν σήμερα στη δυτική Κω. Από τότε, με μικρές ή μεγαλύτερες διακοπές που διαρκούν άλλοτε εκατοντάδες χρόνια και άλλοτε δεκάδες χιλιάδες χρόνια, το λιωμένο πέτρωμα αναβλύζει ή εκτινάσσεται βίαια από τα έγκατα της Γης και οικοδομεί διάφορα μικρά και μεγάλα ηφαιστειακά κέντρα. Το μεγαλύτερο της δυτικής Κω, η Πυργούσα, η Παχιά, η Νίσυρος, η Στρογγυλή, το Γυαλί, είναι δημιουργήματα της

ηφαιστειακής δράσης, ή για την ακρίβεια ό,τι χερσεύει από τα ηφαιστειακά κέντρα που οικοδομήθηκαν (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).

Το μεγαλύτερο ηφαιστειακό γεγονός της περιοχής εκδηλώνεται πριν 160 χιλιάδες χρόνια. Μία τεράστια έκρηξη ξεκινά από ένα μεγάλο ηφαίστειο που βρισκόταν τότε πολύ κοντά στο βόρειο Γυαλί. Η έκρηξη τινάζει στο αέρα 240 δισεκατομμύρια τόνους λιωμένο πέτρωμα και καλύπτει της μεγαλύτερο μέρος της Κω με στρώματα ελαφρόπετρας και ηφαιστειακής στάχτης πάχους δεκάδων μέτρων, τον «Πυρομβρίτη» της Κω. Πυκνά σύννεφα πυρακτωμένης τέφρας ξεχύνονται σαν ποτάμια προς όλες τις κατευθύνσεις και ταξιδεύοντας με μεγάλη ταχύτητα στην επιφάνεια της θάλασσας φτάνουν στην Κάλυμνο, τις ακτές της Τουρκίας, την Πυργούσα, την Παχιά και την Τήλο, καλύπτοντας συνολικά 3.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η λεπτή στάχτη που τινάζεται στην ατμόσφαιρα ταξιδεύει χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά. Ορίζοντες με ιζήματα βαθιάς θάλασσας που την φιλοξενούν έχουν εντοπιστεί σε απόσταση 300 χιλιομέτρων νότια της Κω. Την εποχή εκείνη το Γυαλί και η Στρογγυλή δεν υπήρχαν, ενώ η Νίσυρος ήταν ένα υποθαλάσσιο ηφαίστειο που πιθανά μόνο η κορυφή βρισκόταν λίγο πάνω από την θάλασσα (Γ. Ε. Βουγιουκαλάκης, 1998).

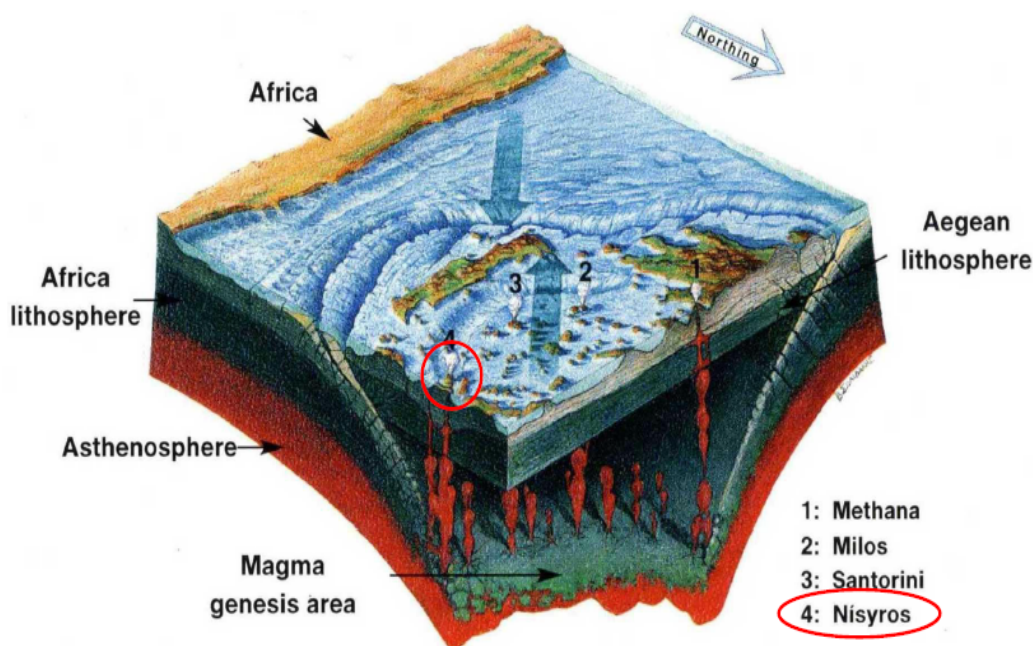
### 3.2 Ελληνική Ζώνη Υποβύθισης

Ο ελληνικός χώρος βρίσκεται στα όρια επαφής και σύγκλισης της Ευρασιατικής πλάκας με την Αφρικανική, γι' αυτό και είναι χώρος μεγάλης σεισμικότητας (Εικόνα 6).

Βασικό τεκτονικό γνώρισμα του Ελληνικού χώρου είναι το Ελληνικό τόξο. Το Ελληνικό τόξο (τόξο του Νοτίου Αιγαίου) αποτελεί το όριο επαφής της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας –τμήμα της οποίας είναι το Αιγαίο-, και της Αφρικανικής πλάκας –τμήμα της οποίας είναι η λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου.

Το τόξο που δημιουργείται στην περίπτωση αυτή αποτελείται από την ελληνική τάφρο, το νησιωτικό τόξο, την οπισθοτάφρο και το ηφαιστειακό τόξο. Η τάφρος δημιουργείται κατά μήκος της επαφής των δύο πλακών. Πρόκειται για ένα σύστημα τάφρων, μία σειρά από βαθιές θαλάσσιες λεκάνες από τη Ρόδο έως και την Κεφαλονιά (γνωστή και ως ελληνική διάυλος). Το μέγιστο βάθος της εντοπίστηκε νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου στο Ιόνιο πέλαγος (βάθος περίπου 4.500 m). Αυτό είναι το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου. Το νησιωτικό τόξο αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών νησιών όπως η Ρόδος, η Κρήτη, τα Κύθηρα και από την Πελοπόννησο. Τοποθετείται παράλληλα ως προς την τάφρο και σε μικρή απόσταση από αυτήν. Το τόξο αυτό δημιουργείται από την παραμόρφωση και ανύψωση πετρωμάτων (κυρίως ιζηματογενών) του περιθωρίου της Ευρασιατικής πλάκας και περιλαμβάνει πολύ παραμορφωμένα πετρώματα της Αλπικής πτύχωσης. (Οργανισμός αντισεισμικού σχεδιασμού και προστασίας).

Η οπισθοτάφρος είναι μία θαλάσσια λεκάνη (στο Κρητικό πέλαγος), μικρότερου βάθους από την τάφρο. Το μέγιστο βάθος της φτάνει τα 2.000 m περίπου. Η λεκάνη αυτή βρίσκεται μπροστά από το νησιωτικό τόξο και πάνω στην Ευρασιατική πλάκα. (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών - Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας – Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων).

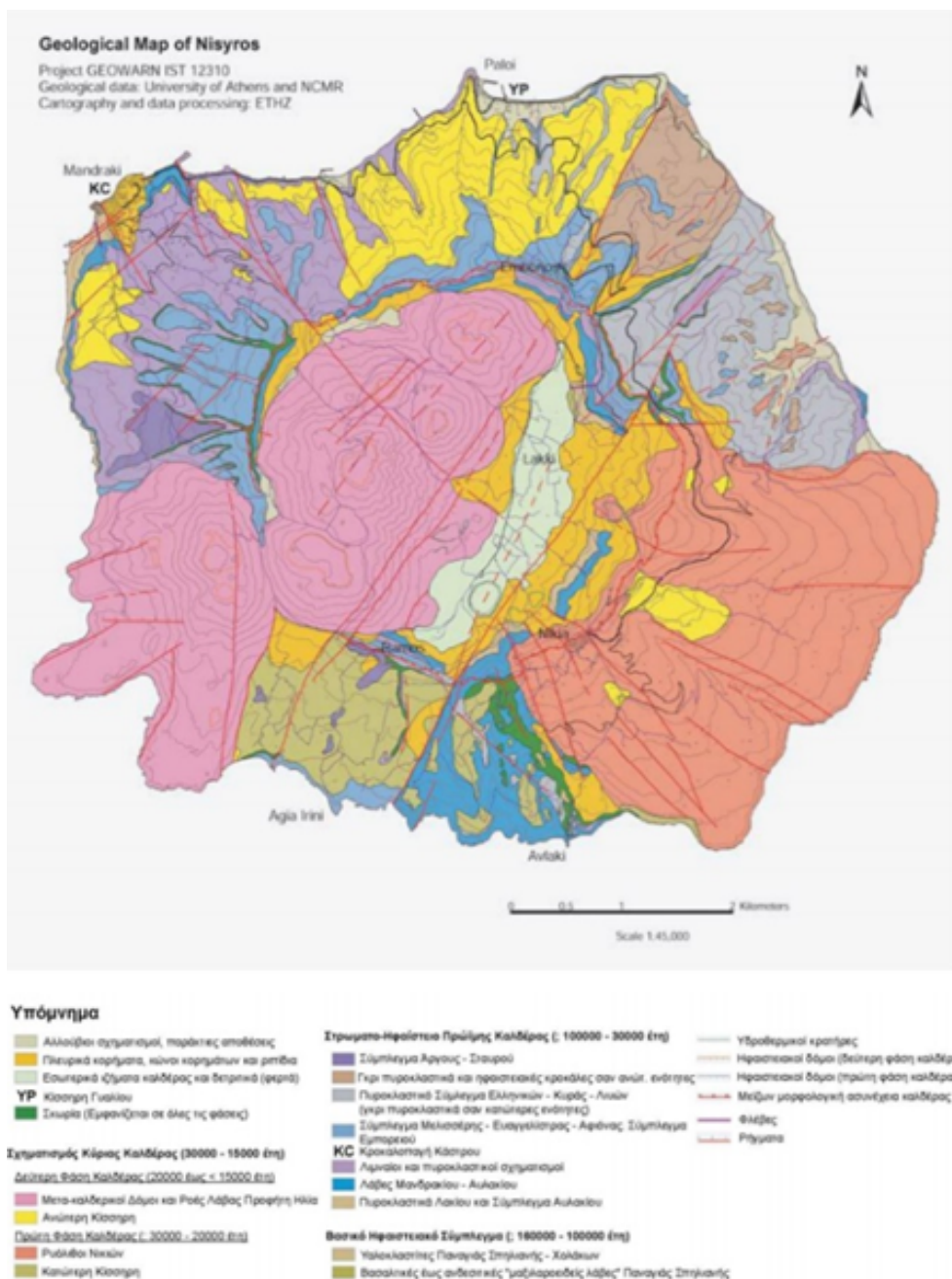


*Εικόνα 6: Η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών και η θέση των ενεργών ηφαιστείων του Αιγαίου*

### 3.3 Γεωλογική δομή Νισύρου

Η Νίσυρος είναι ένα σύνθετο στρωματο-ηφαίστειο, που δημιουργήθηκε καταρχήν στο θαλάσσιο βυθό της περιοχής. Με τη συνεχή εκρηκτική και εκχυτική δραστηριότητα αναδύθηκε πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και δημιούργησε ένα πανέμορφο νησί. Το νησί ανήκει στο πρόσφατο-ενεργό ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου και αποτελεί ένα από τα νεώτερα τμήματά του, γεγονός στο οποίο οφείλεται η πολύ καλή διατήρηση των γεωλογικών σχηματισμών και μια εντυπωσιακή θερμική ανωμαλία ορατή στην επιφάνεια (υπέρθερμες ατμίδες, πηγές, κρατήρες κλπ.). Η ποικιλία των ηφαιστειακών δομών κι η απλότητά τους τις κάνει κατανοητές ακόμη και σε μη ειδικούς, εντυπωσιακή καλδέρα διαμέτρου τεσσάρων χιλιομέτρων, μεγάλοι ηφαιστειακοί θόλοι, φλέβες τροφοδοσίας, εντυπωσιακά ρεύματα λάβας που καταλήγουν στη θάλασσα, πυροκλαστικά προϊόντα (κίσσηρις, σκουριές), μεγακυματικές αποθέσεις ηφαιστειακής στάχτης, ανάμικτα μάγματα, λατύπες κατάρρευσης αργιλοποιημένοι σχηματισμοί και πολλά άλλα δημιουργούν επιστημονικό αλλά και οπτικό ενδιαφέρον τοπίου, χρωμάτων και σχηματισμών (Εικόνα 7).

Στην περιοχή του Ράμου, στο νότιο τμήμα του πυθμένα της Καλδέρας, υπάρχουν ίχνη από 20 υδροθερμικούς κρατήρες, όπου οι 10 είναι καλά διατηρημένοι κι ο καθένας έχει το δικό του όνομα (Εικόνα 8). Ο μεγαλύτερος και επιβλητικότερος κρατήρας είναι ο Στέφανος, όπου είναι ένας από τους μεγαλύτερους και καλύτερα διατηρημένους υδροθερμικούς κρατήρες στον κόσμο, ο οποίος μονοπωλεί και το ενδιαφέρον των τουριστών.

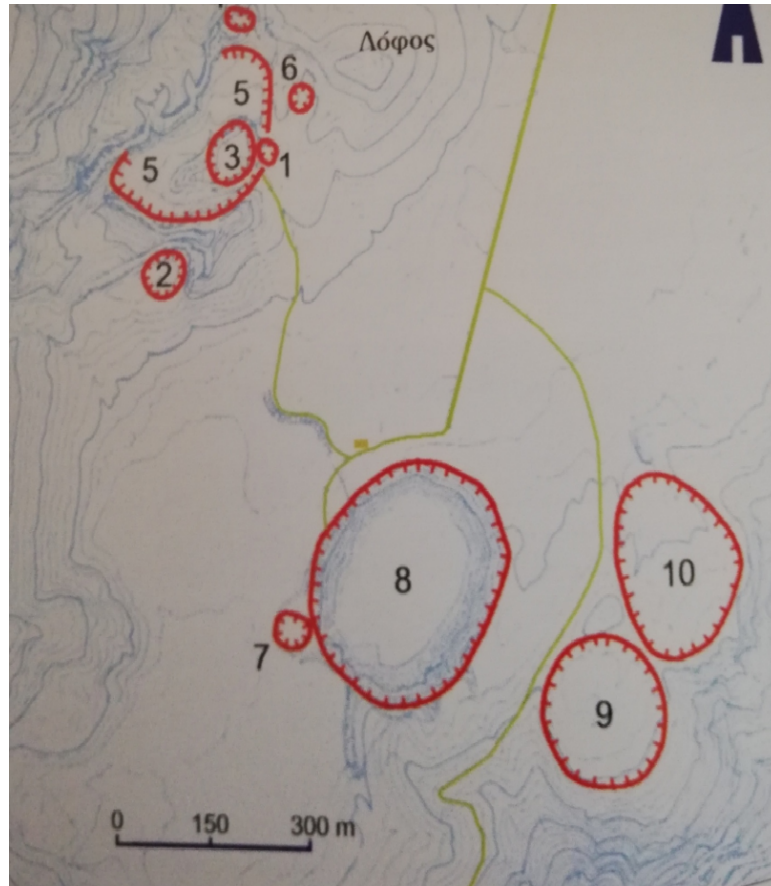


Εικόνα 7: Γεωλογικός χάρτης Νισύρου

Από τα επιφανειακά πετρώματα του ηφαιστείου της Νισύρου, παραγόταν το θειάφι και η στύψη και από τους ηφαιστειακούς τόφρους αφθονούσε η ελαφρόπετρα. Η στύψη (στυπηριά) σχηματιζόταν από τις εκχύσεις της λάβας. Τα δύο αυτά ορυκτά, που βρίσκονταν σε αφθονία γύρω από τους κρατηροειδείς θόλους του ηφαιστείου, το θειάφι για την πολλαπλή χρήση του στη φαρμακευτική και την αμπελουργία, η στύψη για την υψηλή περιεκτικότητά της ως αλάτι θειϊκού αργιλίου και θειϊκού καλίου, είχαν αποκτήσει μεγάλη φήμη. Γνωστός και περιζήτητος για την ποιότητά του, όπως αναφέρει ο Στράβωνας, ήταν ο «μύλιος λίθος», που τα γύρω από τη Νίσυρο νησιά του τον ζητούσαν με την επωνυμία ως «πέτρα νισυρίτης». Η χρήση της νισυρίτης πέτρας ήταν πολύ διαδεδομένη και οι περισσότεροι μύλοι των γειτονικών περιοχών είχαν μύλους από νισυρίτικες μυλόπετρες. Στους ηφαιστειακούς τόφρους αφθονούσε η ελαφρόπετρα (κίσησης), που εξορυσσόταν επιφανειακά και ήταν άριστης ποιότητας.



Μεγάλες ποσότητες φόρτωναν τα νισύρικα πλοία προς όλους τους παραλιακούς χώρους και ιδίως των νησιών, της Μικράς Ασίας, της Κρήτης, της Πελοποννήσου κ.ά. Η ελαφρόπετρα χρησίμευε ως μονωτικό υλικό, ως καλλυντικό και ως ουσία για την παραγωγή των παπύρων και μεμβρανών.



**Εικόνα 8:** Οι υδροθερμικοί κρατήρες της Νισύρου: 1 Μικρός Πολυβώτης, 2 Αλέξανδρος ή Φλέγεθρο, 3 Πολυβώτης 4 Αχιλλέας, 5 Μεγάλος Πολυβώτης, 6 Λογοθέτης, 7 Μικρός Στέφανος, 8 Στέφανος, 9-10 Καμινάκια

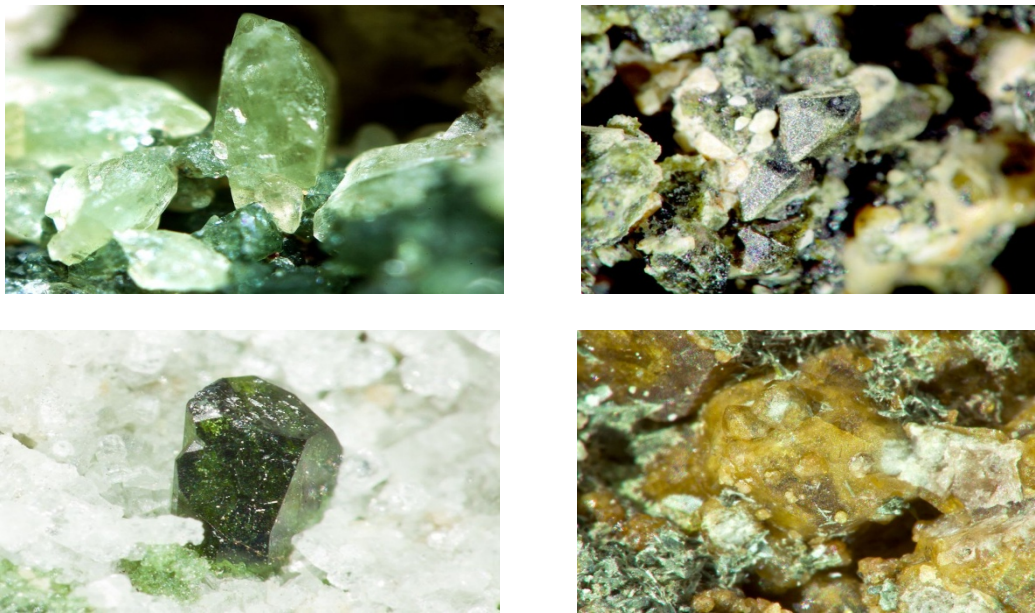
Τα ηφαιστειακά πετρώματα της Νισύρου βρίσκονται στα ορυκτά πυριτίου, αργιλίου, ασβεστίου, νατρίου, καλίου, σιδήρου, μαγνησίου, πτανίου κλπ. Τα βιομηχανικά προϊόντα της Νισύρου είναι το θειάφι, στύψη, πορσελάνη, ελαφρόπετρα, μυλόπετρα, οψιδιανός, βαφές, υφάσματα, κατεργασμένα δέρματα. Η ελαφρόπετρα, το θειάφι, η στύψη, η Νισυρική πέτρα, οι μυλόλιθοι ήταν βασικά προϊόντα του εξαγωγικού εμπορίου. Η πορσελάνη, η μυλόπετρα, εξορύσσονται στο Γυαλί. Ο Λουδοβίκος Λακρουά έγραψε, πως το Γυαλί έβγαζε τις καλύτερες μυλόπετρες γνωστές στην αρχαιότητα.

### 3.4 Πετρώματα Νισύρου

Η Νίσυρος αποτελείται αποκλειστικά από ηφαιστειακά πετρώματα. Το είδος και η σύσταση των πετρωμάτων εξαρτάται άμεσα από τη σύσταση του μάγματος το οποίο τροφοδοτεί τη δράση που τα γεννά. Στην περίπτωση της Νισύρου, το αρχικό μάγμα που τροφοδοτεί την ηφαιστειακή δράση είναι αυτό που οι πετρολόγοι ονομάζουν ασβεσταλκαλικό βασάλτη: ένα ρευστό που αποτελείται από οξείδιο του πυριτίου σε ποσοστό βάρους 50%, οξείδιο του αργιλίου 19%, οξείδιο του μαγνησίου και του σιδήρου από 8%, οξείδιο του ασβεστίου 12%, οξείδιο του νατρίου 2,5% και λιγότερο από 1% οξείδια του τιτανίου και καλίου. Είναι το πρωτογενές μάγμα που συναντάται πάντα στα ηφαίστεια τα οποία γεννιούνται στις ζώνες όπου μια πλάκα της λιθόσφαιρας βυθίζεται κάτω από την άλλη (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).

Όταν αυτό το μάγμα εξέλθει στην επιφάνεια σε μικρό χρονικό διάστημα μετά τη γέννηση και άνοδό του στο φλοιό της Γης δίνει τις βασαλτικές λάβες. Εάν όμως παραμείνει μεγάλο χρονικό διάστημα αποθηκευμένο στο φλοιό, διαφοροποιείται με το χρόνο, αυξάνοντας κυρίως το ποσοστό πυριτίου, καλίου και νατρίου. Έτσι σταδιακά ο βασάλτης γίνεται ανδεσίτης, δακίτης και τέλος ρυόλιθος.

Η δομή των ηφαιστειακών πετρωμάτων (άμορφο γυαλί και ορυκτοί κρύσταλλοι) εξαρτάται τόσο από τη σύσταση του μάγματος, όσο και από την ταχύτητα ψύξης.



*Εικόνα 9: Διάφορα πετρώματα της Νισύρου όπως Σπίνελ, Γρανίτες, Άμορφο γυαλί, Ορυκτοί κρύσταλλοι.*

Έτσι, το ποσοστό του ηφαιστειακού γυαλιού –η χαώδης αυτή μορφή της ύλης που προκύπτει από την απότομη ψύξη του λιωμένου πετρώματος- εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα ψύξης του μάγματος, συναντάται όμως σε μεγαλύτερα ποσοστά στους ρυόλιθους και μικρότερα στους βασάλτες. Το αντίθετο συμβαίνει με τους ορυκτούς κρυστάλλους, οι οποίοι συναντώνται συνήθως σε μεγαλύτερα ποσοστά στους βασάλτες από ότι στους ρυόλιθους (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).



Οι ορυκτοί κρύσταλλοι που βρίσκονται στα πετρώματα της Νισύρου είναι:

- ✚ άστριοι: ορυκτά του πυριτίου, αργιλίου, ασβεστίου, νατρίου και καλίου σε μορφή λευκών διαυγών κρυστάλλων.
- ✚ πυρόξενοι: ορυκτά του πυριτίου, ασβεστίου, σιδήρου και μαγνησίου σε μορφή σκούρων πράσινων έως μαύρων κρυστάλλων.
- ✚ κεροστίλβες: ορυκτά του πυριτίου, μαγνησίου, ασβεστίου, σιδήρου, νατρίου και τιτανίου σε μορφή σκούρων πράσινων έως φαιών κρυστάλλων.
- ✚ ολιβίνες: ορυκτά του μαγνησίου, σιδήρου και πυριτίου σε μορφή μελί έως φαιοπράσινων διαυγών κρυστάλλων (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).

Οι βασάλτες και ανδεσίτες αποτελούνται κυρίως από αστρίους, πυροξένους και ολιβίνες. Οι δακίτες και ρυόλιθοι από αστρίους, πυροξένους, κεροστίλβες και γυαλί (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).

Το χρώμα του πετρώματος είναι επίσης αποτέλεσμα της χημικής του σύστασης και της ταχύτητας ψύξης (Εικόνα 9). Όταν έχουμε χαμηλές ταχύτητες ψύξης, τότε το χρώμα διαφοροποιείται από φαιό στους βασάλτες, σε λευκότεφο στους ρυόλιθους. Εάν η ψύξη είναι ταχεία, ακόμα και οι ρυόλιθοι είναι φαιοί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο οψιανός, ένα πέτρωμα από ρυολιθικό μαύρο ηφαιστειακό γυαλί με ελάχιστους κρυστάλλους (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).

Τα αέρια που φιλοξενούνται στο μάγμα παίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο στην τελική μορφή των ηφαιστειακών πετρωμάτων. Ένα ρευστό βασαλτικό ή ανδεσιτικό μάγμα που περιέχει πολλά αέρια δίνει πετρώματα με σπογγώδη μορφή και χαρακτηριστικό μαύρο ή σκούρο κόκκινο χρώμα που τα ονομάζουμε σκουριές. Ένα παχύρευστο δακιτικό ή ρυολιθικό μάγμα πλούσιο σε αέρια παράγει την ελαφρόπετρα (κίσηρη), λευκό πέτρωμα που αποτελείται από «φουσημένο» γυαλί με λίγους κρυστάλλους. Τα κενά των φυσαλίδων πολλές φορές ξεπερνούν το 70% του συνολικού όγκου του πετρώματος δίνοντάς του τη δυνατότητα να επιπλέει (Βουγιουκαλάκης Γ. Ε., 1998).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 4.1 Εισαγωγή

Η γεωφυσική είναι η επιστήμη που με βάση τους νόμους της φυσικής χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους χωρίς την απαραίτητη εκτέλεση γεωτρήσεων. Η ανάπτυξη και χρηματοδότηση αυτής της έρευνας ξεκίνησε από τις εταιρίες πετρελαίων και εκμετάλλευσης μεταλλείων.

Η εφαρμογή διαφόρων γεωφυσικών μεθόδων, καθώς και η ανάπτυξη, εξέλιξη νέων γεωφυσικών τεχνολογιών, παρείχαν πολλές πληροφορίες για το υπεδάφος χωρίς την απαραίτητη διάτρησή του.

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις μπορούν να εκτελεστούν στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε γεωτρήσεις, σε θέσεις μεταλλείων και εντός στοών.

Για την επιτυχή εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων και την επίλυση του προβλήματος, απαιτείται η πλευρική και κατακόρυφη διαφοροποίηση των σχηματισμών ως προς τις φυσικές τους ιδιότητες. Ο εντοπισμός μιας διαφοροποίησης στις φυσικές ιδιότητες, συνδέεται με τον εντοπισμό διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών ή τεκτονικών ασυνεχειών. Αυτό δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις, διότι διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί μπορούν και έχουν παρόμοιες ή ίδιες φυσικές ιδιότητες.

#### 4.1.1 Φυσικές ιδιότητες

Οι γεωφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούν διάφορες φυσικές ιδιότητες που σχετίζονται με το έδαφος και τα πετρώματα. Οι κύριες φυσικές ιδιότητες και οι μέθοδοι που σχετίζονται με αυτές παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 4.1.1:

| Φυσικές Ιδιότητες          | Γεωφυσικές Μέθοδοι     |
|----------------------------|------------------------|
| Ηλεκτρική Αγωγιμότητα      | Αντίσταση/Αγωγιμότητας |
| Ηλεκτρομαγνητισμός         | Αντίσταση/Αγωγιμότητας |
| Ταχύτητα Σεισμικών Κυμάτων | Σεισμικές              |
| Πυκνότητα                  | Βαρυτικές              |
| Μαγνητισμός                | Μαγνητικές             |
| Ραδιενεργά Στοιχεία        | Ραδιομετρικές          |
| Διηλεκτρική Σταθερά        | Υπεδάφιο Ραντάρ        |

*Πίνακας 4.1.1: Συσχέτιση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους με γεωφυσικές μεθόδους*

#### 4.1.2 Στάδια γεωφυσικών διασκοπήσεων

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις περιλαμβάνουν τα 3 ακόλουθα βασικά στάδια:

- ✓ σχεδίαση έργου, εκτέλεση μετρήσεων και οικονομοτεχνική μελέτη
- ✓ εκτέλεση των μετρήσεων και συλλογή των δεδομένων
- ✓ επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων.

Το πρώτο στάδιο μελέτης είναι πολύ σημαντικό, διότι πρέπει να επιλέξουμε την κατάλληλη μεθοδολογία και τους παραμέτρους που σχετίζονται με αυτή, καθώς και τα όργανα εφαρμογής της μεθόδου, ώστε να διεξάγουμε μια επιτυχή έρευνα. Η εκτέλεση των μετρήσεων υπαίθρου πρέπει να είναι σωστή για να έχουμε στην συνέχεια εύκολη επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων μας.

### 4.1.3 Κατηγορίες γεωφυσικών μεθόδων

- ✚ **Ηλεκτρική μέθοδος:** Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής μελετούν τις ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης, καθώς και τη πόλωση που δημιουργούν με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος. Οι μέθοδοι αυτοί διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) σε εκείνες που βασίζονται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων (μέθοδος τελλουρικών ρευμάτων, μαγνητοτελλουρική και μέθοδος φυσικού δυναμικού) και β) σε εκείνες που βασίζονται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών, τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία (μέθοδοι ειδικής αντίστασης, ισοδυναμικών γραμμών και επαγόμενης πολικότητας).
- ✚ **Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος:** Η θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης βασίζεται στον καθορισμό της γεωηλεκτρικής δομής στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης με βάση τις ιδιότητες του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που παράγεται μέσα στα στρώματα αυτά, σε σχέση με τις ιδιότητες του αρχικού (πρωτογενούς) πεδίου τις οποίες γνωρίζουμε όχι μόνο όταν αυτό παράγεται με τεχνητό τρόπο, αλλά και όταν παράγεται από φυσικά αίτια.
- ✚ **Σεισμική μέθοδος:** Η μέθοδος σεισμικής διασκόπησης προσδιορίζει τις μεταβολές στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα της Γης.
- ✚ **Βαρυτική μέθοδος:** Οι βαρυτομετρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης καθορίζουν τις οριζόντιες μεταβολές της πυκνότητας των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης, με την μέτρηση των μεταβολών της έντασης του πεδίου βαρύτητας και των χωρικών παραγώγων αυτής.
- ✚ **Μαγνητική μέθοδος:** Οι μαγνητικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εντοπίζουν τις μεταβολές της μαγνήτισης των πετρωμάτων μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης, μετρώντας στην επιφάνεια της Γης μαγνητικές ανωμαλίες μικρής κλίμακας.
- ✚ **Ραδιομετρικές μέθοδοι διασκόπησης:** Οι ραδιομετρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ραδιοακτινοβολίας που εκπέμπεται από πυρήνες στοιχείων μεγάλου ατομικού αριθμού.

## 4.2 Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι

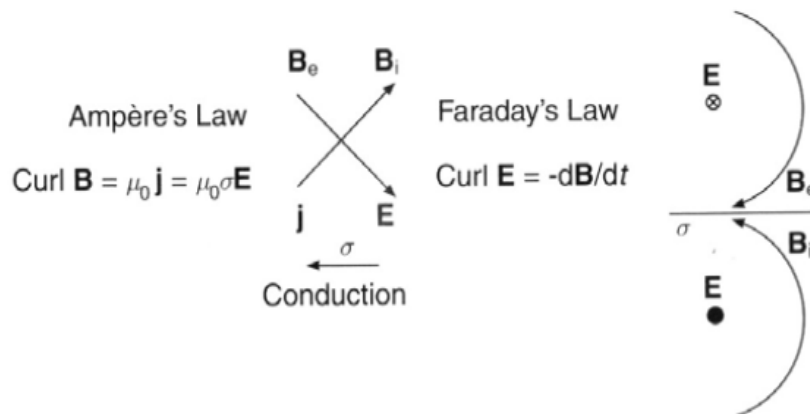
### 4.2.1 Εισαγωγή

Κατά την εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης παράγεται (τεχνητά ή φυσικά) στην επιφάνεια της γης ένα πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το οποίο όχι μόνο φτάνει απευθείας και σχεδόν αμετάβλητο

σε ένα δέκτη στην επιφάνεια της γης, αλλά διαδίδεται και μέσα στη γη όπου, αν συναντήσει ένα ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα (π.χ. μέταλλευμα), επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο αγώγιμο σώμα με συνέπεια τη γένεση ενός δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος, το οποίο επίσης φτάνει στο δέκτη και συμβάλλει με το πρωτεύον κύμα. Το δευτερογενές αυτό κύμα είναι της ίδιας συχνότητας με το πρωτεύον, έχει συνήθως πλάτος πολύ μικρότερο από το πρωτεύον, φθάνει στο δέκτη από διαφορετική διεύθυνση και παρουσιάζει μια διαφορά φάσης σε σχέση με το πρωτεύον.

Τον πομπό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το αγώγιμο ηλεκτρικό σώμα μέσα στη γη και τον δέκτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα θεωρούμε ως πηνία. Το πηνίο του πομπού διαρρέεται από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και παράγει το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο, ενώ στο πηνίο που αντιπροσωπεύει το αγώγιμο σώμα μέσα στη γη επάγεται εναλλασσόμενο ρεύμα με συνέπεια τη γένεση του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου κάποιας έντασης.

Η θεωρητική βάση των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης στηρίζεται στην θεωρία του Maxwell για τον ηλεκτρομαγνητισμό (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Ηλεκτρομαγνητική θεωρία βάσει των εξισώσεων του Maxwell

#### 4.2.2 Αρχή ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων

Χαμηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο κοντά στην επιφάνεια της γης, τα οποία επάγουν μέσα στο φλοιό της γης εναλλασσόμενα ηλεκτρικά ρεύματα που παράγουν δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα δευτερογενή κύματα έχουν την ίδια συχνότητα με τα αρχικά κύματα, αλλά οι υπόλοιπες ιδιότητές τους διαφέρουν (διεύθυνση, πλάτος, φάση), γιατί οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται και από τη γεωηλεκτρική δομή (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) των πάνω κυρίως στρωμάτων του φλοιού. Επομένως, τα δευτερογενή αυτά κύματα συμβάλλουν με τα αρχικά κύματα για να δώσουν ένα συνιστάμενο κύμα, το οποίο καταγράφεται γνωρίζοντας έτσι τις ιδιότητές του.

#### 4.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι σε αντίθεση με τις ηλεκτρικές, μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν μπορεί να γίνει ηλεκτρική σύνδεση

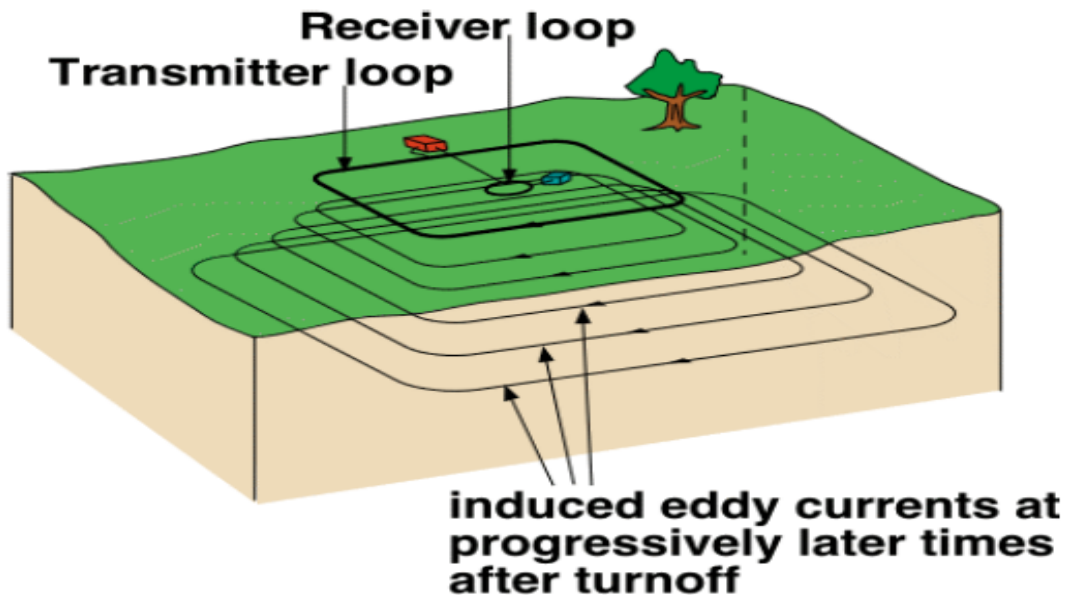
με το έδαφος, εξαιτίας της μεγάλης ειδικής αντίστασής του. Η διασκόπηση μπορεί να εκτελεστεί σε μεγαλύτερα βάθη από ότι οι ηλεκτρικές.

Το μειονέκτημα τους είναι ότι δεν μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση αγωγίμων σωμάτων σε μεγάλα βάθη, όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγωγίμο.

### 4.3 Μέθοδος παροδικών Πεδίων (TEM)

Η χρήση της μεθόδου των παροδικών κυματομορφών ή αλλιώς γνωστή και ως μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων, ξεκίνησε στις αρχές του 20ου αιώνα. Η μεγάλη διάδοση της μεθόδου και η ευρεία χρήση της άρχισε στη δεκαετία του 1960. Η μέθοδος TEM έχει εφαρμοστεί σε μεταλλευτικές έρευνες, γεωθερμικά πεδία, περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές έρευνες, για τον εντοπισμό υδροφόρων και υφάλμυρων οριζόντων, καθώς και σε συνδυασμό με άλλες γεωφυσικές μεθόδους. Έχει γίνει αναφορά στην θεωρία των TEM σύμφωνα με τους McNeill (1980) και Nabighian and Macnae (1991).

Όσον αφορά στο θεωρητικό μέρος της μεθόδου, δημιουργώντας έναν ορθογώνιο βρόχο στην επιφάνεια του εδάφους, υλοποιείται ένα κλειστό κύκλωμα, το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης. Το κύκλωμα αυτό αποτελεί τον πομπό εκπομπής (transmitter) των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Έπειτα από κάποιο χρονικό διάστημα, ικανό ώστε να μην παρατηρούνται ταλαντώσεις στο πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα, το συνεχές αυτό ρεύμα διακόπτεται απότομα ( $t=0$ ). Με χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, η πτώση του ρεύματος γίνεται γραμμικά από  $I_0$  μέχρι 0 και διαρκεί χρόνο  $t_r$ .

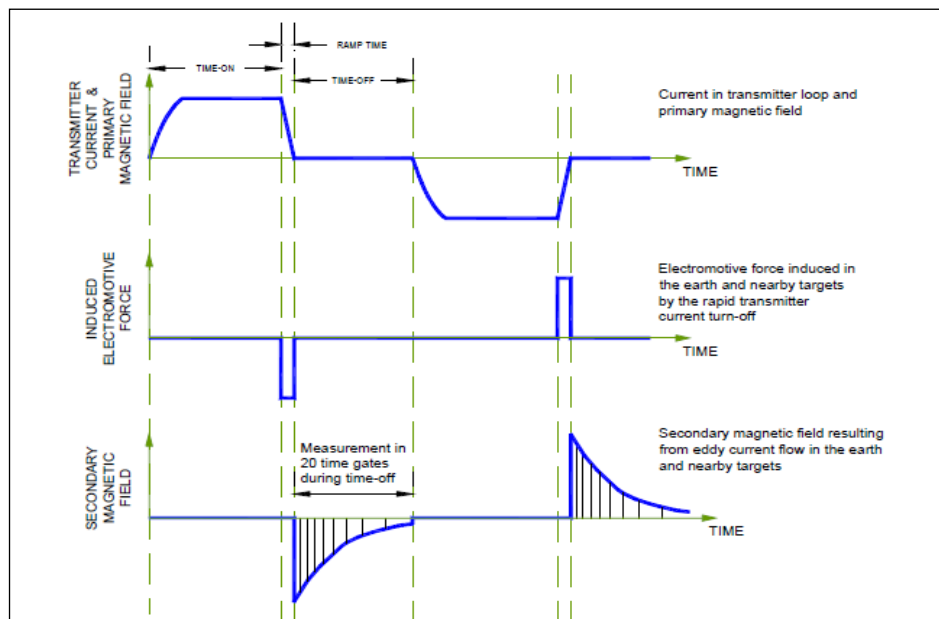


Εικόνα 11: Διάταξη της μεθόδου TEM

Με τη χρήση της μεθόδου TEM παίρνουμε μετρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών ρεύματος και κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Τα επαγωγικά ρεύματα διοχετεύονται μέσα στη γη και διαχέονται με μορφή μετώπου. Η ένταση των ρευμάτων αυτών μειώνεται με το βάθος και ανάλογα με τις γεωηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους. Στη συνέχεια, τα ρεύματα αυτά

δημιουργούν μαγνητικό πεδίο που ανιχνεύεται με κατάλληλο πηνίο - δέκτη και το μετρούμενο δυναμικό στο πηνίο είναι ανάλογο της έντασης του πηνίου. Κατά τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων της μέτρησης, γίνεται ο διαχωρισμός τους σε χρονικές πύλες. Στη συνέχεια, γίνεται επεξεργασία για την αναγνώριση- απομάκρυνση θορύβου, καθώς και μια προσεγγιστική αντίστροφη απεικόνιση και γραμμικοποιημένη αντιστροφή.

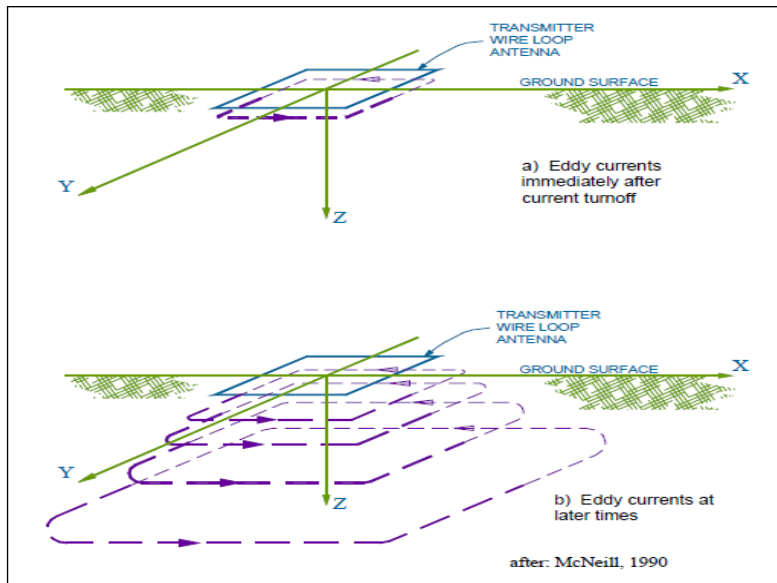
Η μέθοδος TEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση των εδαφών και των αλλαγών στους διάφορους τύπους τους σε συγκεκριμένο εύρος βάθους. Είναι χρήσιμη στην άμμο και σε χαλίκι, για χαρτογράφηση υδροφόρων, για αργιλώδη στρώματα με περιορισμό της ροής των υπογείων υδάτων, για αγωγίμα στραγγίσματα στα υπόγεια ύδατα, για διείδυση θαλασσινού νερού, καθώς και για το βάθος στο βραχώδες υπόστρωμα.



*Εικόνα 12: Κυματομορφές TEM*

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τη θεωρία της λειτουργίας της TEM, οι ηλεκτρομαγνητικές (EM) γεωφυσικές τεχνικές προκαλούν ηλεκτρικά ρεύματα στη γη χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Μια χρονική ποικιλία μαγνητικού πεδίου δημιουργείται χρησιμοποιώντας μια σπείρα ή έναν βρόχο καλωδίου στη γήινη επιφάνεια. Στην Εικόνα 12, παρατηρούμε την κυματομορφή του αρχικού μαγνητικού πεδίου που παράγεται από τη συσκευή αποστολής σημάτων και του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου (ηλεκτρεγερτική δύναμη) που συνοδεύει εκείνο το μαγνητικό πεδίο.





**Εικόνα 13:** Ροή ρευμάτων στροβίλου: α) πρώιμοι χρόνοι, β) ύστεροι χρόνοι

Η αποσύνθεση των δευτεροβάθμιων ρευμάτων εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου και τη γεωμετρία των αγωγίμων στρωμάτων. Ο δέκτης TEM μετρά μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα δευτεροβάθμια ρεύματα. Στις ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές το προκαλούμενο σήμα παρουσιάζεται με ένα δυνατό παλμό ή με ένα παροδικό σήμα.

Τα ρεύματα που προκαλούνται στη Γη είναι αρχικά συγκεντρωμένα κάτω από την συσκευή αποστολής σημάτων. Αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 13:

**α)** Τα ρεύματα αυτά θα διασκορπιστούν με τον χρόνο χαμηλά και μακριά από τη συσκευή αποστολής σημάτων.

**β)** Τα «δακτυλίδια καπνού», χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των ρευμάτων στο έδαφος. Αρχικά, διαβιβάζονται ισχυρά ρεύματα στο έδαφος δίπλα από τον βρόχο. Έπειτα, τα δακτυλίδια αυτά επεκτείνονται, αποδυναμώνονται και ταξιδεύουν κάτω μέσω της γης. Το ποσοστό διάχυσης εξαρτάται από τη γήινη αγωγιμότητα. Τα ρεύματα στα ανθεκτικά μέσα θα διασκορπίζονταν πολύ γρήγορα, ενώ στα αγωγιμα μέσα πιο αργά.

Οι δευτεροβάθμιες μετρήσεις πραγματοποιούνται στη χρονική σειρά από 10  $\mu\text{s}$  σε 10 ms μετά από τη ‘διακοπή’ του πρωτογενούς πεδίου. Οι μετρήσεις διεξάγονται σε 20 έως 30 χρονικά διαστήματα. Για την βαθύτερη ανάλυση των αγωγίμων τμημάτων αυξάνεται ο χρόνος των μετρήσεων μέχρι το λεπτό. Οι μετρήσεις εκτελούνται, όταν το ρεύμα της συσκευής αποστολής σημάτων είναι κλειστό. Άρα, οι μετρήσεις ενδεχομένως να είναι πιο ευαίσθητες από του δευτεροβάθμιου πεδίου. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων διεξάγεται παράγοντας ένα υποθετικό με στρώσεις γήινο μοντέλο, υπολογίζοντας την θεωρητική απάντηση για εκείνο το μοντέλο. Έπειτα, αυτό καθαρίζεται μέχρι η υπολογισμένη απάντηση να ταιριάζει με την παρατηρούμενη. Οι πρότυποι καθαρισμοί μπορούν να γίνουν με τη χρήση μιας αυτοματοποιημένης επαναληπτικής διαδικασίας.

### 4.3.1 Όργανο μέτρησης TEM

TEM FAST 48HPC: ένα σημαντικό όργανο που χρησιμοποιούμε κατά εφαρμογή της μεθόδου TEM. Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του οργάνου (TEM-Fast 48 manual, 2007), είναι ένα φορητό γεωφυσικό σύστημα που βασίζεται στην προηγμένη τεχνολογία FAST-TEM με παροχή υψηλής ανάλυσης, την αποτελεσματική λειτουργία υπό οποιεσδήποτε συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών ζωνών της πόλης με περιορισμένο διάστημα, ερήμους, βουνά, και κάθε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές.

Το TEM FAST 48HPC είναι ένα υψηλής αποτελεσματικότητας εργαλείο που μπορεί να εφαρμοστεί για την επίλυση πολύ δύσκολων προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών ερευνών, υδρογεωλογικών ερευνών, αρχαιολογικών, μεταλλευτικών ερευνών και άλλων. Λειτουργεί με οποιοδήποτε επιτραπέζιο υπολογιστή της IBM, σημειωματάριο ή τον υπολογιστή χειρός μέσω πρότυπο διεπαφής RS 232. Δημιουργεί και στέλνει σύντομους παλμούς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στη γη και η απάντησή της, εξαρτάται από το ηλεκτρικό τμήμα του εδάφους.



*Εικόνα 14: όργανο μέτρησης TEM-FAST 48*

Χρησιμοποιώντας τερματικό υπολογιστή και λαμβάνοντας υπόψη το σήμα και τον θόρυβο, ο χειριστής μπορεί να ορίζει τον αριθμό των παλμών που απαιτούνται για την ακριβή επεξεργασία των δεδομένων. Μετά τη συσσώρευση του σήματος, ο υπολογιστής γυρνάει το σύστημα σε κατάσταση με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και κάνει υπολογισμούς για εξομάλυνση της τάσης και της ακριβείας των μετρήσεων. Αλγόριθμοι των μετρήσεων και επεξεργασίας δεδομένων που εφαρμόζονται σε TEM FAST 48HPC επιτρέπουν τον αποκλεισμό των συστηματικών σφαλμάτων που συνδέονται με μπαταρίες, μεταβολή της θερμοκρασίας και αυξάνουν το σήμα του θορύβου αν το επίπεδο του σήματος είναι μικρό.

Πίνακας 4.3.1: Προδιαγραφές οργάνου

| <u>Παράμετρος</u>       | <u>TEM-FAST 48HPC</u>                  |
|-------------------------|--|
| Χρόνος Πυλών            | 48 Γεωμετρικά Διάστιχα                 |
| Χρονικό Φάσμα           | 4 - 16000 $\mu$ s                      |
| Τρέχων Πομπός           | 1 A ή 4 A                              |
| Μέγεθος Βρόγχου         | 5 cm $\times$ 5cm – 500m $\times$ 500m |
| Εύρος Βάθους Θορύβου    | 1 m – 300m                             |
| Αδιάβροχο Κουτί         | I P65                                  |
| Διαστάσεις (mm)         | 330 $\times$ 35 $\times$ 110           |
| Βάρος (kg)              | 1.5                                    |
| Εσωτερική Μπαταρία      | 12 V, 2 A·h                            |
| Ευαισθησία              | $\sim$ 0.1 $\mu$ V                     |
| Επίδειξη                | Σημειωματάριο ή φορητό υπολογιστή      |
| Θερμοκρασία Λειτουργίας | 45 °C                                  |

#### 4.3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδου TEM

Πλεονεκτήματα της μεθόδου TEM είναι:

- α) η ευαισθησία της σε αγωγούς σε μεγάλα βάθη,
- β) ο ελαφρύς εξοπλισμός έναντι άλλων γεωφυσικών μεθόδων,
- γ) ευχάριστη γρήγορη με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Μειονεκτήματα της μεθόδου TEM είναι:

- α) η χαμηλή ανάλυση των σκληρών στρωμάτων και
- β) ο υψηλός βαθμός της σύγκρισης αποτελεσμάτων με τους προκαλούμενους από τον άνθρωπο αγωγούς.

#### 4.3.3 Σφάλματα στην βυθοσκόπηση TEM

Τα σφάλματα που εμφανίζονται στην εφαρμογή μετρήσεων TEM, οφείλονται σε διάφορες παραμέτρους, οι οποίες μπορεί να επηρεάζουν σημαντικά την ορθή γεωλογική ερμηνεία των μετρήσεων.

Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- ✚ **Ο γεωμετρικός θόρυβος:** οι πηγές θορύβου, οι οποίες προέρχονται λόγω της γεωμετρίας κάθε διάταξης. Όμως, οι μετρήσεις διεξάγονται με απουσία του πρωτεύοντος πεδίου, με αποτέλεσμα τα γεωμετρικά λάθη να έχουν μικρό μέγεθος.

- ✚ **Η τοπογραφία:** η οποία παρουσιάζει μικρές ποσότητες σφαλμάτων στις μετρήσεις, διότι η διάδοση των κυμάτων παρουσιάζει τέτοια συμπεριφορά σαν να ήταν η επιφάνεια του εδάφους επίπεδη.
- ✚ **Ο ανθρωπογενής θόρυβος:** στην περιοχή έρευνας, μπορεί να υπάρχουν διάφοροι μεταλλικοί αγωγοί, οι οποίοι επάγουν ηλεκτρικό ρεύμα (π.χ. μεταλλικοί φράχτες). Επίσης, τέτοιου είδους θόρυβοι έχουν την ικανότητα να διοχετεύουν επαγόμενα ρεύματα στα περιβάλλοντα πετρώματα.
- ✚ **Ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος:** οι κυριότερες πηγές ηλεκτρομαγνητικού θορύβου που επηρεάζουν τις μετρήσεις είναι: i) τα γεωμαγνητικά σήματα ( $< 1$  Hz) που προέρχονται μέσα και πάνω από την Ιονόσφαιρα, ii) πάνω από 1 Hz το φάσμα του φυσικού θορύβου προέρχεται κυρίως από ατμοσφαιρικά παράσιτα, iv) ο ανθρωπογενής ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος προκαλείται από της γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου και από τους σταθμούς χαμηλών συχνοτήτων VLF. Γενικά, τέτοιου είδους θόρυβοι εντοπίζονται εύκολα λόγω του ότι η πηγή από όπου προέρχονται είναι εμφανής.
- ✚ **Ο επαγωγικός θόρυβος:** τέτοιου είδους σφάλματα προέρχονται όταν οι μετρήσεις απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθούν. Η διόρθωση τους γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως στις μαγνητικές μεθόδους.

Γενικά, η αφαίρεση του θορύβου από τις μετρήσεις δεν είναι εύκολη διαδικασία. Σε μια τέτοιου είδους διαδικασία ακολουθείται αρχικά από συνέλιξη της απόκρισης του συστήματος για τον δέκτη, έπειτα αφαίρεση του θορύβου εξαιτίας των γραμμών μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος, κανονικοποίηση για την γεωμετρία του συστήματος και τέλος εάν είναι απαραίτητο αναγνώριση και αφαίρεση του θορύβου χαμηλής συχνότητας που προέρχεται από τους μικροπαλμούς του μαγνητικού πεδίου της Γης.

#### 4.4 Μαγνητοτελλουρική μέθοδος διασκόπησης (MT)

Η μαγνητοτελλουρική μέθοδος αποτελεί μια ηλεκτρομαγνητική μέθοδο διασκόπησης έχοντας ως πηγή το φυσικό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της Γης (Σαββαΐδης Α.Σ., 1998). Αναλυτικότερα, η μαγνητοτελλουρική μέθοδος διασκόπησης είναι μια παθητική μέθοδος που χρησιμοποιεί τα φυσικά HM πεδία της Γης και παρουσιάζει κοινά χαρακτηριστικά με τη μέθοδο των τελλουρικών ρευμάτων αλλά παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι επειδή μετρά της μεταβολές πλάτους τόσο του ηλεκτρικού πεδίου  $E_x$  όσο και του μαγνητικού πεδίου  $H_y$  δίνεται η δυνατότητα του απευθείας υπολογισμού του μοντέλου αντιστάσεων με το βάθος. Οι μετρήσεις της μαγνητοτελλουρικής μεθόδου λαμβάνονται για διάφορες συχνότητες και δεδομένου ότι το βάθος διεξόδου των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι συνάρτηση της συχνότητας, είναι ευνόητο ότι τελικό προϊόν της εφαρμογής της μεθόδου είναι η κατανομή των αντιστάσεων με το βάθος. Περιορισμοί εφαρμογής της μεθόδου, προέρχονται από την αδυναμία των οργάνων να καταγράψουν τις μικρές και απότομες διακυμάνσεις του μαγνητικού πεδίου. Η μέθοδος αρχικά εφαρμόστηκε κυρίως για τη διερεύνηση βαθιών δομών και κυρίως δομών πετρελαίου ενώ χρησιμοποιήθηκε για υδρογεωλογικές μελέτες στα πλαίσια αναγνωριστικών μελετών σε μεγάλες και βαθιές ιζηματογενής λεκάνες.

Κατά την μαγνητοτελλουρική μέθοδο, το φυσικό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο χρησιμοποιείται για την διερεύνηση της δομής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας της Γης.

Φυσικές πηγές του MT πεδίου για συχνότητες μεγαλύτερες του 1 Hz είναι οι καταιγίδες που εμφανίζονται σε ολόκληρη τη Γη, από τις οποίες οι αστραπές δημιουργούν πεδία τα οποία διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Για συχνότητες μικρότερες του 1 Hz, ο μεγαλύτερος όγκος του σήματος οφείλεται σε συστήματα ρευμάτων στην μαγνητόσφαιρα που δημιουργούνται από την ηλιακή δραστηριότητα.

Και στις δύο περιπτώσεις τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην επιφάνεια της Γης συμπεριφέρονται σχεδόν ως επίπεδα κύματα. Το μεγαλύτερο τμήμα της ενέργειας τους ανακλάται στην επιφάνεια της Γης, αλλά ένα μικρό κομμάτι διαδίδεται κατακόρυφα μέσα στην Γη. Το πλάτος, η βάση και η σχέση της διεύθυνσης μεταξύ του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου στην επιφάνεια της Γης εξαρτάται από την κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην Γη. Με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων και τον σχεδιασμό εργασιών υπαίθρου μπορούν να μελετηθούν περιοχές που παρουσιάζουν γεωλογικό ενδιαφέρον και εκτείνονται σε βάθη από μερικές δεκάδες μέτρα έως την οροφή του άνω μανδύα.

Σκοπός, με την χρήση της μεθόδου, είναι η εύρεση της συνάρτησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με την θέση και το βάθος. Στο τελευταίο αυτό στάδιο χρησιμοποιούνται αριθμητικά μοντέλα για μονοδιάστατες, δισδιάστατες και τρισδιάστατες δομές.

Η ισχύς της μεθόδου έγκειται στην ικανότητα της μεθόδου να εξερευνά από πολύ μικρά έως πολύ μεγάλα βάθη χωρίς την χρήση τεχνητών ισχυρών πηγών και χωρίς περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις.

Η κυριότερη εφαρμογή των MT είναι η αναζήτηση υδρογονανθράκων σε περιοχές όπου τα σεισμικά ανάκλασης είναι πολύ δαπανηρά ή αναποτελεσματικά. Τέτοιες περιοχές είναι όσες παρουσιάζουν δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες όπως π.χ. περιοχές όπου η αναζήτηση γίνεται κάτω από ηφαιστειακά ιζήματα. Ακόμη, μία επιτυχής εφαρμογή αποτελεί την εξερεύνηση των γεωθερμικών πεδίων (Σαββαΐδης Α. Σ., 1998).

#### 4.4.1 Όργανα μετρήσεων

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση ενός τέτοιου πειράματος στο ύπαιθρο αποτελούνται από μαγνητόμετρα ευαίσθητα στις συχνότητες που ενδιαφέρουν και ζευγάρια ηλεκτροδίων που απέχουν μεταξύ τους τέτοιο μήκος ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή των μεταβολών του ηλεκτρικού πεδίου. Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει επίσης ενισχυτές, φίλτρα, και κατάλληλα συστήματα ψηφιακών καταγραφών και ανάλυσης των σημάτων. Πιο συγκεκριμένα τα μαγνητόμετρα πρέπει να έχουν πολύ μικρό λόγο σήματος προς θόρυβο και μεγάλη σταθερότητα διότι τα σήματα που πρέπει να καταγράψουν είναι πολύ ασθενή.

Αφού τα σήματα καταγραφούν πρέπει να υποστούν επεξεργασία και να αναλυθούν. Η επεξεργασία γίνεται στην περιοχή των συχνοτήτων γιατί οι μαθηματικές σχέσεις είναι απλούστερες από ότι στην περιοχή του χρόνου. Έτσι η επεξεργασία ξεκινά με τον μετασχηματισμό Fourier, από όπου στην συνέχεια υπολογίζεται η εμπέδηση της Γης για το προσπίπτον κύμα σε σχέση με τη συχνότητα, τη διεύθυνση, και τη θέση. Η επεξεργασία σε όλα τα συστήματα γίνεται σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή κατά τη διάρκεια καταγραφής του σήματος.

Τα ηλεκτρομαγνητικά όργανα αποτελούνται από φωρατές (π.χ. μαγνητόμετρα και ηλεκτρόδια) και καταγραφικά συστήματα δεδομένων. Οι μαγνητοτελλουρικές (MT) μελέτες στοχεύουν στον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας της Γης. Για τον σκοπό αυτό έχουμε την καταγραφή σημάτων για περιόδους από 100 έως



10000 δευτερόλεπτα. Η επινόηση των μικροεπεξεργαστών είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των ακουστο-μαγνητοτελλουρικών (AMT). Οι συχνότητες καταγραφής με την μέθοδο AMT είναι από 1000Hz έως 0.01Hz. Η νέα αυτή τεχνολογία των μικροεπεξεργαστών επέτρεψε εκτός από την δειγματοληψία σε μεγάλες συχνότητες και την επεξεργασία μεγάλου πλήθους δεδομένων (Σαββαΐδης Α. Σ., 1998)

Το κυρίως όργανο που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνά μας είναι το MT24LF. Το σύστημα αυτό είναι ένας μαγνητοτελλουρικός δέκτης που χρησιμοποιεί έναν ισχυρό επεξεργαστή και έναν διπλό δέκτη A/D υψηλών και χαμηλών ταχυτήτων 24-bits. Χρησιμοποιεί CompactFlash μνήμη για το firmware και τη συλλογή των MT-δεδομένων, ενώ συνδέεται με φορητό H/Y για τη ρύθμιση, την παραμετροποίησή του και την ανάκτηση των δεδομένων. Ο συνδυασμός του εσωτερικού ταλαντωτή υψηλής ακρίβειας μαζί με τον συγχρονισμό του GPS επιτρέπει τον τέλειο χρονισμό των μετρήσεων. Ένα πλήρες σύστημα MT24/LF περιλαμβάνει τον δέκτη, την μονάδα τροφοδοσίας με τον φορτιστή, τους μαγνητικούς αισθητήρες (μαγνητόμετρα) BF, τα ηλεκτρόδια με τα διπολικά καλώδια, ένα σύστημα GPS, έναν φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή καθώς και όλα τα υπόλοιπα καλώδια με τους απαραίτητους συνδέσμους.



*Εικόνα 15: MT όργανο μέτρησης MT-24LF*

Αναλυτικότερα τα **επιμέρους εξαρτήματα**:

- **Δέκτης:** Δέχεται είσοδο από του αισθητήρες και πραγματοποιεί ενίσχυση, φιλτράρισμα, διανομή ρεύματος, μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D) και αποθήκευση των χρονοσειρών. Επικοινωνεί με τον φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή για ρύθμιση και ανάκτηση δεδομένων. Ο δέκτης χρησιμοποιεί έναν 32-bit επεξεργαστή CMOS με πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Έχει έξι ελεγχόμενους επεξεργαστές υψηλών ταχυτήτων 24-bit A/D για δειγματοληψίες σε υψηλές συχνότητες, και οκτώ χαμηλών ταχυτήτων 24-bit A/D για δειγματοληψίες σε χαμηλές συχνότητες. Αυτό το χαρακτηριστικό απλοποιεί τις εργασίες στο ύπαιθρο επιτρέποντας ταυτόχρονη συλλογή δεδομένων τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές τιμές συχνοτήτων. Το σύστημα χρησιμοποιεί μία Compact Flash κάρτα μνήμης (συνήθως 256 Mb) για την αποθήκευση δεδομένων. Το περίβλημά του είναι συμπαγές και ανθεκτικό λόγω της προστατευτικής θήκης Pelican.

**Τεχνικά χαρακτηριστικά του δέκτη MT24/LF**

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| Συγχρονισμός GPS:                  | ±1 microsecond |
| Αριθμός καναλιών:                  | 6              |
| Αναλογικό σε Ψηφιακό:              | 24 bit         |
| Μέγιστη δειγματοληπτική συχνότητα: | 1000Hz         |
| Κατανάλωση Ισχύος (με αισθητήρες): | <2W            |
| Τάση:                              | ±12V, +6V      |

- Μονάδα τροφοδοσίας και φορτιστής:** Μία μονάδα τροφοδοσίας χρησιμοποιείται για την παροχή ενέργειας σε όλες τις μονάδες του συστήματος. Δεν υπάρχει διακόπτης και έτσι η ενέργεια παρέχεται στους αισθητήρες απλώς συνδέοντας τα καλώδια CCAB-5P.H μονάδα τροφοδοσίας (μπαταρία) του MT24/LF μπορεί να τροφοδοτεί το σύστημα έως και 60 ώρες συνεχόμενα. Περιέχει τρεις αεροστεγώς κλεισμένες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες με τρεις τάσεις εξόδου: +/-12 και +6V οι οποίες είναι κατάλληλα τοποθετημένες μέσα σε μία προστατευτική θήκη Pelican. Οι σύνδεσμοι για την φόρτιση των μπαταριών (6V και 12V) είναι τοποθετημένοι και αυτοί μέσα στην θήκη η οποία πρέπει να κρατείται ανοιχτή κατά διάρκεια της φόρτισης.
- Αισθητήρες Μαγνητικού Πεδίου (Μαγνητόμετρα):** Οι επαγωγικοί αισθητήρες είναι οι BF αισθητήρες μαγνητικής ανάδρασης της EMI που χρησιμοποιούνται κυρίως σε γεωφυσικές έρευνες. Οι αισθητήρες έχουν κατασκευαστεί με μεγάλης μαγνητικής διαπερατότητας πυρήνα, μ-metal, πυρήνα με κατάλληλα τυλίγματα. Τα τυλίγματα του πηνίου είναι καλυμμένα και εποξικά διατηρημένα μέσα σε προστατευτικό κάλυμμα από φάιμπεργκλας. Κάθε αισθητήρας περιέχει έναν ειδικό προενισχυτή χαμηλού θορύβου τοποθετημένο στο ένα άκρο του κυλινδρικού πηνίου. Ο αισθητήρας είναι ρυθμισμένος έτσι ώστε να μεγιστοποιεί την απόδοση χαμηλού θορύβου. Ο αισθητήρας BF-4 είναι ιδανικός για συλλογή δεδομένων στις συχνότητες από 0.0001 Hz έως 700 Hz. Είναι ελαφρύς (7.9Kg), χρησιμοποιεί χαμηλή ισχύ της τάξης των 225 mW, ενώ προσφέρει εξαιρετική απόδοση χαμηλού θορύβου, σταθερότητα και ανθεκτικότητα.

**Τεχνικά χαρακτηριστικά Μαγνητομέτρων BF-4**

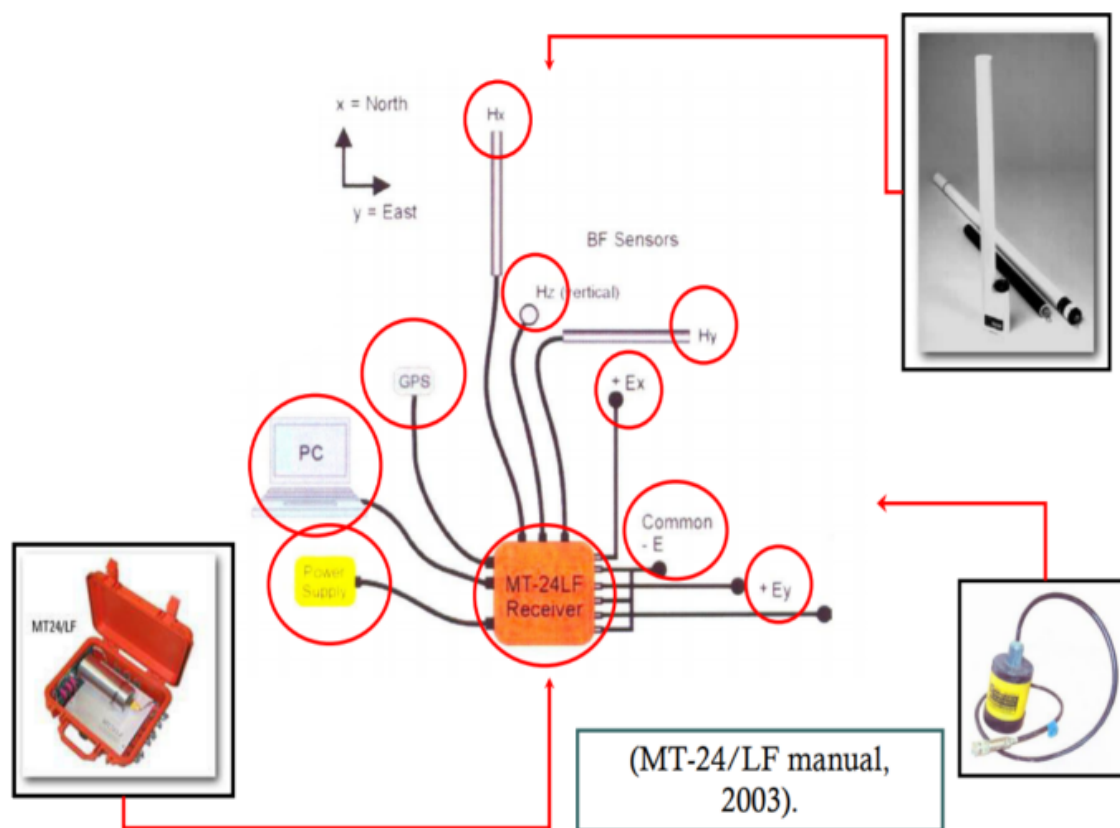
|                         |                     |
|-------------------------|---------------------|
| Εύρος συχνοτήτων:       | 0.0001 έως 1000 Hz  |
| Γωνίες συχνοτήτων 3 dB: | 0.2 Hz, 500 Hz      |
| Ευαισθησία (FlatRegion) | 0.3 V/nT (standard) |
| Κατανάλωση Ισχύος:      | 12 mA στα $\pm 12V$ |

- Αισθητήρες Τελλουρικού Πεδίου (Ηλεκτρόδια):** Επειδή δεν είναι δυνατό να μετρηθεί απ' ευθείας η πυκνότητα ρεύματος στη Γη, μετρούνται οι διαφορές δυναμικού μεταξύ ηλεκτροδίων τοποθετημένων εντός του εδάφους. Η χρήση απλών μεταλλικών ράβδων καρφωμένων στο έδαφος ως ηλεκτροδίων, συνήθως οδηγεί σε ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που παράγουν δυναμικά επαφής μεταξύ ηλεκτροδίου και εδάφους (συνεπώς και μεταξύ ηλεκτροδίων), τα οποία πολλές φορές είναι αρκετά ισχυρότερα από τα ανιχνεύσιμα τελλουρικά πεδία (πόλωση ηλεκτροδίων). Επιπλέον, το πλάτος των δυναμικών επαφής εξαρτάται από τις εδαφικές συνθήκες και μεταβάλλεται με τη θέση μέτρησης αλλά και συναρτήσει του χρόνου, οπότε είναι αδύνατη η εκ των υστέρων διόρθωσή τους. Δεδομένου ότι ο μόλυβδος είναι σχετικά χημικά αδρανής, η χρήση μολύβδινων πλακών είναι μία μερική απάντηση στο πρόβλημα αυτό. Πραγματική λύση, όμως, προσφέρει μόνον η χρήση αντιπολωτικών ηλεκτροδίων. Αυτά αποτελούνται από σύστημα μετάλλου εμβαπτισμένου σε (υγρό ή στερεό) κεκορεσμένο διάλυμα ενός εκ των αλάτων του, όπως για παράδειγμα Cu σε  $CuSO_4$ , Ag σε  $AgCl$ , Pb σε  $PbCl_2$ , το οποίο περιέχεται σε πορώδες κεραμικό που επιτρέπει στο διάλυμα να διαρρέει με βραδείς ρυθμούς και να δημιουργεί καλή αγωγίμη επαφή χαμηλού θορύβου με το έδαφος. Εξ όλων των ανωτέρω, τα ηλεκτρόδια Pb/ $PbCl_2$  είναι τα σταθερότερα και τα πλέον αξιόπιστα, κι αυτός τύπος ηλεκτροδίων χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις με το MT24/LF. Εγκαθίστανται σε ρηχές τρύπες στο έδαφος, προσθέτοντας λίγο νερό για τη δημιουργία λάσπης και έπειτα στερεώνοντας τα ηλεκτρόδια πάνω στην λάσπη. Το επάνω μέρος της τρύπας καλύπτεται για την προστασία του ηλεκτροδίου από τον ήλιο, ενώ συνίσταται και η προσθήκη αργίλου για τη διατήρηση της υγρασίας ή/και αλατιού στη λάσπη για την ελάττωση της αντίστασης επαφής. Η αντίσταση επαφής ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ενός δίπολου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 KΩ.
- Μονάδα GPS:** Η μονάδα GPS είναι το μοντέλο GPS 35-LVS της Garmin. Είναι ένας πλήρης 12-κάναλος δέκτης GPS με εσωτερική κεραία που εντοπίζει μέχρι και δώδεκα δορυφόρους την στιγμή ενώ παρέχει ανανέωση ανά 1 sec και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το GPS 35-LVS είναι καλά προφυλαγμένο μέσα σε ένα μαύρο, αδιάβροχο πλαστικό κουτί σχεδιασμένο ούτως ώστε να αντέχει σε σκληρές επιχειρησιακές συνθήκες. Έχει ένα συνδεδεμένο καλώδιο ρεύματος/δεδομένων 10 μέτρων με έναν σύνδεσμο Tajimi 7-pin. Το σύστημα επικοινωνεί με τον δέκτη δια μέσου δύο RS232 συμβατών καναλιών επικοινωνίας δύο κατευθύνσεων. Η αποθήκευση των δεδομένων στην εσωτερική μνήμη επιτρέπει στην μονάδα την διατήρηση

κρίσιμων δεδομένων όπως είναι οι τροχιακές παράμετροι των δορυφόρων, η τελευταία θέση, η ημερομηνία και η ώρα.

### Τεχνικά χαρακτηριστικά του Garmin GPS 35-LVS

|                    |   |
|--------------------|---|
| Δέκτης             | Δέκτης διαφορικής ετοιμότητας 12 παράλληλων καναλιών εντοπίζει και χρησιμοποιεί έως και 12 δορυφόρους για τον υπολογισμό και την ενημέρωση της θέσης. |
| Χρόνοι λειτουργίας | 15 δευτερόλεπτα όταν είναι ζεστός (όλα τα δεδομένα γνωστά)  |
|                    | 45 δευτερόλεπτα όταν είναι κρύος (αρχική θέση, χρόνος και almanac γνωστά, ephemeris άγνωστη)  |
|                    | 5 λεπτά αυτόματος εντοπισμός (almanac γνωστό, αρχική θέση και χρόνος άγνωστα)   |
|                    | 5 λεπτά αναζήτησης στον ουρανό (κανένα δεδομένο γνωστό)   |



Εικόνα 16: Διάταξη μέτρησης του MT-24LF

#### 4.4.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδου MT

Τα **πλεονεκτήματα** από την χρήση της μαγνητοτελλουρικής μεθόδου είναι:

- Δεν απαιτεί ισχυρές τεχνητές πηγές.
- Έχει την μοναδική ικανότητα εξερεύνησης σε πολύ μεγάλα βάθη (εκατοντάδες χιλιόμετρα), καθώς και σε ρηχές έρευνες, χωρίς τη χρήση τεχνητής πηγής ενέργειας.

Τα **μειονεκτήματα** από την χρήση της ίδιας μεθόδου είναι τα ακόλουθα:

- Η ερμηνεία, διότι οι πληροφορίες είναι σπάνια πλήρεις και τα μοντέλα δεν είναι ποτέ αρκετά σύνθετα για να αντιπροσωπεύουν την πραγματική Γη. Για τον λόγο αυτό, και για την όσο είναι δυνατό καλύτερη χρήση των MT δεδομένων, χρησιμοποιούνται άλλα διαθέσιμα δεδομένα για την καλύτερη ερμηνεία όπως διαγραφίες γεωτρήσεων, σεισμικά, ηλεκτρικά δεδομένα, ή οποιαδήποτε σχετική πληροφορία.
- Η δυσκολία της καταγραφής καλών δεδομένων σε ηλεκτρικά θορυβώδεις περιοχές.
- Η ερμηνεία σε περιοχές όπου η υπεδάφια δομή είναι τρισδιάστατη, την ανάπτυξη αλγορίθμων επεξεργασίας του σήματος για την συμπίεση του θορύβου και την βελτίωση της ταχύτητας επεξεργασίας και ερμηνείας των δεδομένων.
- Είναι πολύ ευαίσθητη στον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο που δημιουργείται από διάφορες τεχνητές πηγές που αποτελούν κατασκευές του ανθρώπου για διάφορες χρήσεις (Σαββαΐδης Α. Σ., 1998).
- Η μεταβλητότητα της ισχύος του σήματος αλλά και η κατεύθυνσή του, απαιτεί πολύ χρόνο (5-10 ώρες) ανά τοποθεσία, καθιστώντας την μέθοδο αργή.

#### 4.4.3 Σφάλματα στην βυθοσκόπηση MT

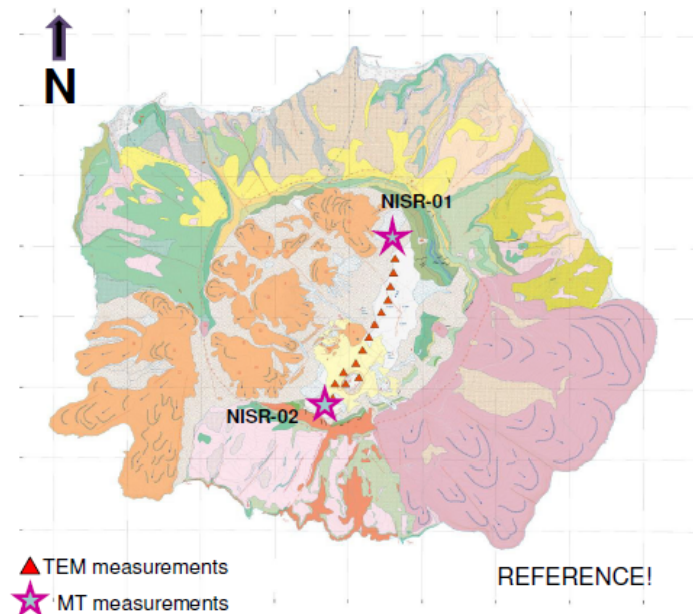
Κατά την εφαρμογή βυθοσκοπήσεων MT αρκετές φορές παρουσιάζονται ορισμένα σφάλματα που επηρεάζουν τα δεδομένα των μετρήσεων. Το κυριότερο σφάλμα που εμφανίζεται με τη χρήση της μεθόδου αυτής είναι όταν κοντά στο σημείο όπου εκτελούνται οι μετρήσεις, υπάρχει θόρυβος ο οποίος προέρχεται από ανθρώπινους παράγοντες (π.χ. εργοτάξια, αγροτικές εργασίες, γραμμές ισχύος ΔΕΗ κλπ.).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

### 5.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια του προγράμματος MT-GEAR τον Μάιο του 2013 είχαν πραγματοποιηθεί δύο μετρήσεις MT σε απόσταση 2,5 χιλιομέτρων και 14 βυθοσκοπήσεις TEM, όπου πραγματοποιήθηκαν σε ένα πυκνό προφίλ με βήμα 200 μέτρων μεταξύ των δύο MT μετρήσεων (εικόνα 17). Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε αρχικά επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων MT και TEM και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο.



*Εικόνα 17: Εφαρμογή γεωφυσικών μετρήσεων TEM και MT στη Νίσυρο*

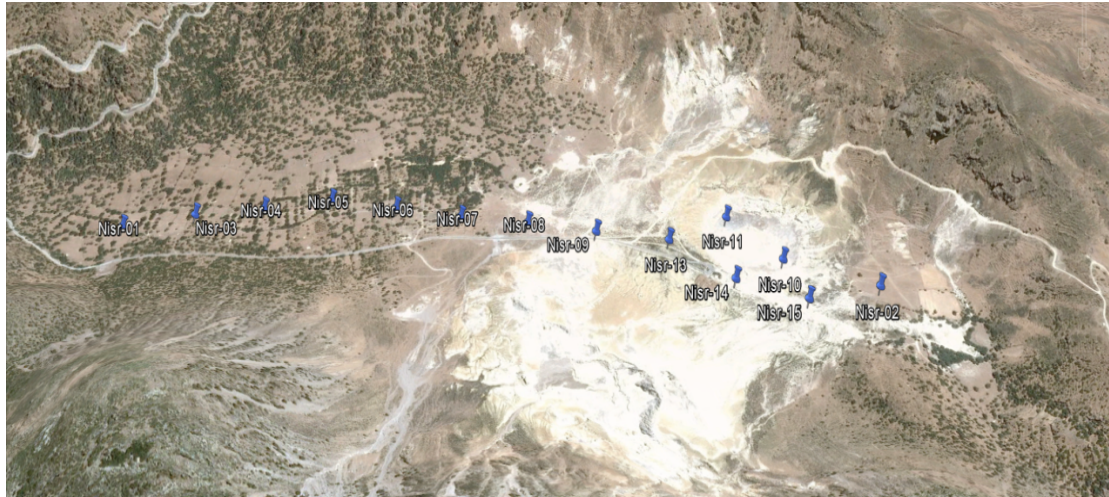
### 5.2 Εφαρμογή ΗΜ Μεθόδου Παροδικών Πεδίων (TEM)

#### 5.2.1 Εκτέλεση μεθόδου TEM

Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα στις 16/05/2013 όπου συνολικά αποκτήθηκαν 48 μετρήσεις (Εικόνα 17) σε 14 θέσεις. Το προφίλ έχει μήκος 2,5 Km και διεύθυνση BBA-NNΔ. Η απόσταση για κάθε μέτρηση είναι περίπου στα 200 m και ο βρόγχος είχε διαστάσεις 50 επί 50 μέτρα. Το stack ορίστηκε ίσο με 5 (65 κύκλοι) και το Time-Range κυμάνθηκε μεταξύ 5 – 7 (32 έως 40 χρονικά παράθυρα) (Πίνακας 5.1).

Από τα 14 σημεία του προφίλ, δύο (Nisr\_10 και Nisr\_11) βρίσκονταν εντός του κρατήρα του Στέφανου. Η σημασία του μεγάλου αριθμού μετρήσεων TEM είναι σημαντική. Κάνοντας πολλαπλές επαναλήψεις καταφέρνουμε να αυξήσουμε την ποιότητα στα δεδομένα μας για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Κατά τη διάρκεια της επιτόπιας έρευνας με την μέθοδο TEM, η ομάδα ήταν πολύ προσεκτική για την επιλογή της καλύτερης δυνατής τοποθεσίας, τη σωστή εγκατάσταση του βρόγχου καθώς και άλλων παραγόντων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν θόρυβο και κατά συνέπεια δεδομένα κακής ποιότητας. Τέτοιοι θόρυβοι θα μπορούσαν να είναι ανθρωπογενείς και να προέρχονται για παράδειγμα από: το δίκτυο της ΔΕΗ, το δίκτυο της τηλεφωνίας, αγωγούς, φράκτες κλπ.



**Εικόνα 18:** Τα 14 σημεία όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις TEM

Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τις 14 θέσεις. Αυτά τα δεδομένα τα φιλτράραμε, τα εξομαλύνουμε με τη χρήση του ειδικού λογισμικού TEM-RES και τέλος τα διορθώσαμε πριν από την τελική μοντελοποίηση και απεικόνιση.

Η εκτέλεση των ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων TEM, πραγματοποιήθηκε με την χρήση των παρακάτω διάταξης:

- TEM-FAST 48-HPC, AEMR: Ένα αυτόματο πολυκαναλικό-πολυσυχνοτικό σύστημα μέτρησης κατανομής της αντίστασης με το βάθος.
- Υπολογιστής Laptop: Για τη συλλογή και την απεικόνιση των δεδομένων.
- 2 πολύκλινα καλώδια χαλκού πολύ χαμηλής αντίστασης και συγκεκριμένης διατομής μήκους 100 μέτρα το καθένα.
- 2 μπαταρίες 12 V, οι οποίες συνδέονται σε σειρά για να αποδώσουν 24 V και να υπάρχει η δυνατότητα μεγαλύτερης αυτονομίας στο ύπαιθρο.
- Καλώδιο RS232: Για την μεταφορά των δεδομένων από το σύστημα καταγραφής στον υπολογιστή (περαιτέρω επεξεργασία).

**Πίνακας 5.1:** Τα στοιχεία των μετρήσεων TEM που πάρθηκαν στα πλαίσια της έρευνας. Στον πίνακα φαίνεται ο αύξοντας αριθμός των μετρήσεων, το όνομα της μέτρησης, οι διαστάσεις του πομπού, οι διαστάσεις του δέκτη, τα χρονικά παράθυρα που επιλέχθηκαν, το πλήθος των σωρεύσεων, η εφαρμοζόμενη ένταση του ρεύματος και το εφαρμοζόμενο συχνοτικό φίλτρο απομάκρυνσης του βιομηχανικού θορύβου.

| Αριθμός μετρήσεων | Όνομα     | T-Loop (m) | R-Loop (m) | Time Range | Stack | I (A) | FILTR (Hz) |
|-------------------|-----------|------------|------------|------------|-------|-------|------------|
| 01                | NISR-01-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 02                | NISR-01-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 03                | NISR-01-C | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 04                | NISR-01-D | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 05                | NISR-02-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 06                | NISR-02-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 07                | NISR-02-C | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 08                | NISR-02-D | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 09                | NISR-02-D | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 10                | NISR-03-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 11                | NISR-03-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 12                | NISR-03-C | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 13                | NISR-03-D | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 14                | NISR-04-A | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 15                | NISR-04-B | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 16                | NISR-04-C | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 17                | NISR-05-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 18                | NISR-05-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 19                | NISR-05-C | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 20                | NISR-06-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 21                | NISR-06-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 22                | NISR-06-C | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 23                | NISR-06-D | 50         | 50         | 8          | 5     | 3.7   | 50         |
| 24                | NISR-07-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 25                | NISR-07-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 26                | NISR-07-C | 50         | 50         | 4          | 5     | 3.7   | 50         |
| 27                | NISR-08-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 28                | NISR-08-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 29                | NISR-08-C | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 30                | NISR-08-D | 50         | 50         | 8          | 5     | 3.7   | 50         |
| 31                | NISR-10-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 32                | NISR-10-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 33                | NISR-10-C | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 34                | NISR-11-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 35                | NISR-11-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 36                | NISR-11-C | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 37                | NISR-09-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 38                | NISR-09-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 39                | NISR-13-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 40                | NISR-13-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 41                | NISR-13-C | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 42                | NISR-13-D | 50         | 50         | 8          | 5     | 3.7   | 50         |
| 43                | NISR-14-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 44                | NISR-14-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 45                | NISR-14-C | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |
| 46                | NISR-15-A | 50         | 50         | 5          | 5     | 3.7   | 50         |
| 47                | NISR-15-B | 50         | 50         | 6          | 5     | 3.7   | 50         |
| 48                | NISR-15-C | 50         | 50         | 7          | 5     | 3.7   | 50         |

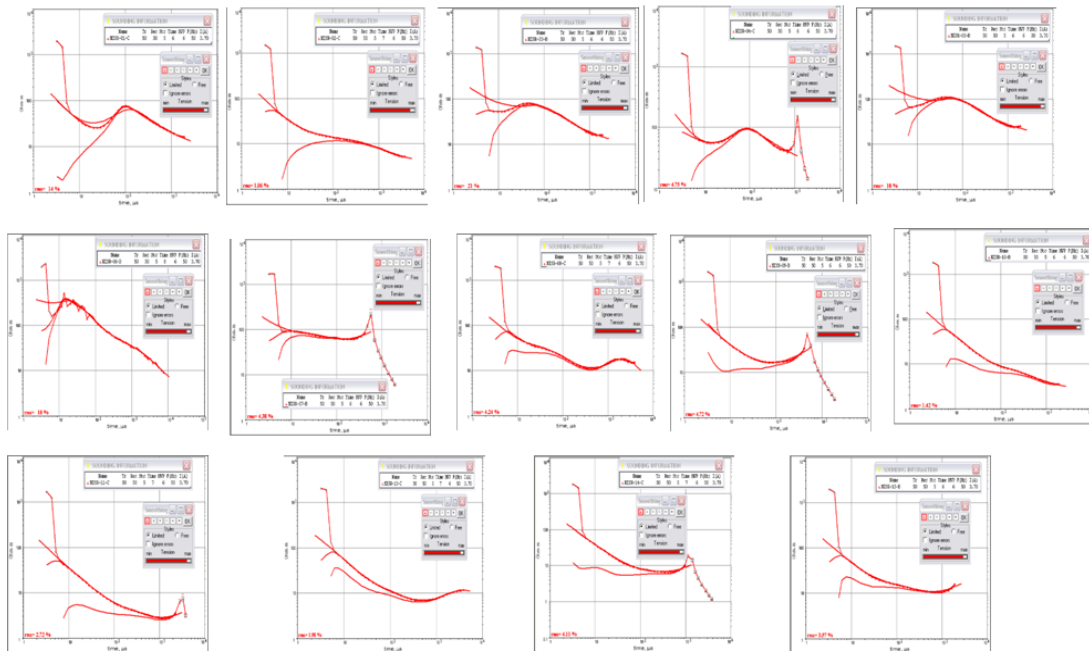
## 5.2.2 Επεξεργασία και Ανάλυση δεδομένων

Μετά τη συλλογή των μετρήσεων, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία, η ανάλυση και η μοντελοποίηση των δεδομένων με την χρήση του λογισμικού TEM-RES.

Το λογισμικό TEM-RES είναι διαθέσιμο με το όργανο TEM-Fast 48. Είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό των Windows, το οποίο ήταν το εργαλείο με το οποίο επεξεργαστήκαμε τα δεδομένα της TEM μεθόδου και τέλος κάναμε αντιστροφή των δεδομένων μας με αυτό. Γενικά, το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται για την επεξεργασία, την εξομάλυνση, την ανάλυση, την επεξεργασία και την μοντελοποίηση δεδομένων TEM.

Αρχικά, είχαμε δεδομένα ειδικής αντίστασης συναρτήσε χρόνου και μέσω της αντιστροφής (Inversion) καταφέραμε να μετατρέψουμε τα δεδομένα σε αντίσταση συναρτήσε βάθους.

### Καμπύλες φαινόμενης ειδικής αντίστασης



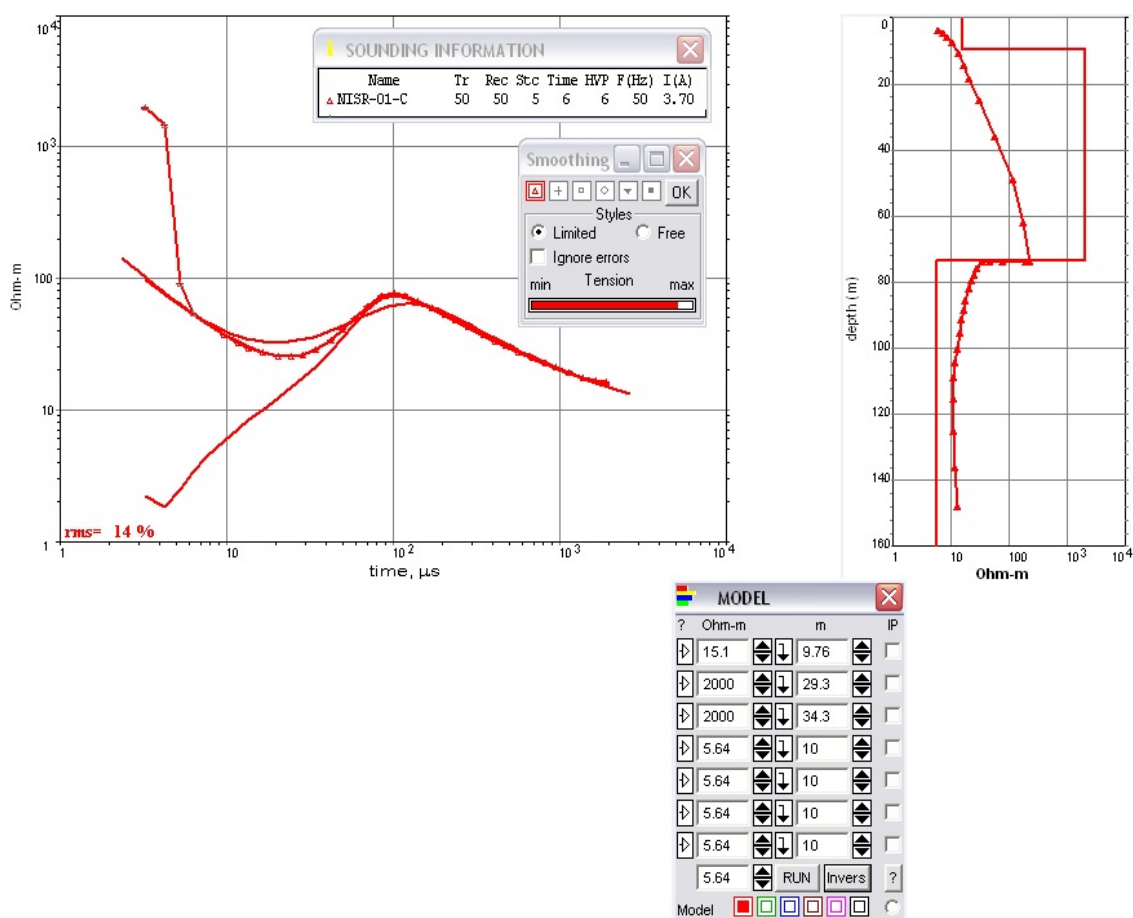
*Εικόνα 19: Συγκεντρωτικά οι 14 καμπύλες φαινόμενης ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με τον χρόνο*

Αρχικά γίνεται η επιλογή της καλύτερης καμπύλης για κάθε θέση (σύνολο 14 από τις 48 μετρήσεις). Γενικά, η ποιότητα των δεδομένων ήταν αρκετά καλή και στη συνέχεια η επεξεργασία περιέλαβε μόνο την παράλειψη κάποιων σημείων στους ύστερους χρόνους όπου το σήμα ήταν ελλειπές. Το επόμενο βήμα μετά την επεξεργασία και πριν από τη μοντελοποίηση ήταν η εξομάλυνση των δεδομένων (smoothing), όπως προτείνει ο κατασκευαστής για τη βελτιστοποίηση των καμπυλών. Στην εικόνα 19 απεικονίζονται συγκεντρωτικά όλες οι τελικές καμπύλες φαινόμενης αντίστασης συναρτήσε του χρόνου και για τις 14 θέσεις.

### 5.2.3 1D Μοντελοποίηση

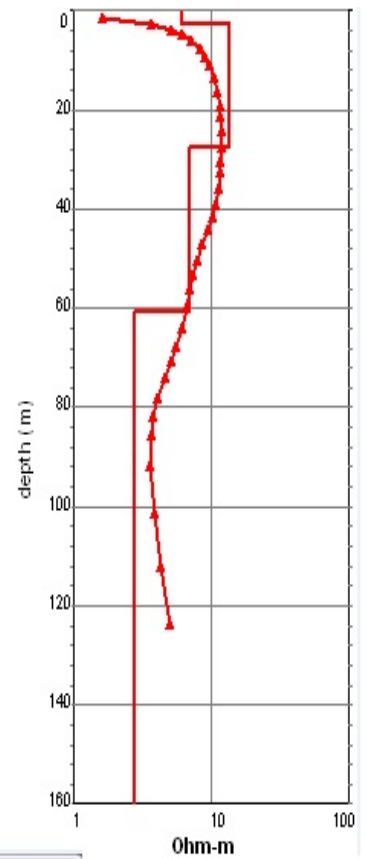
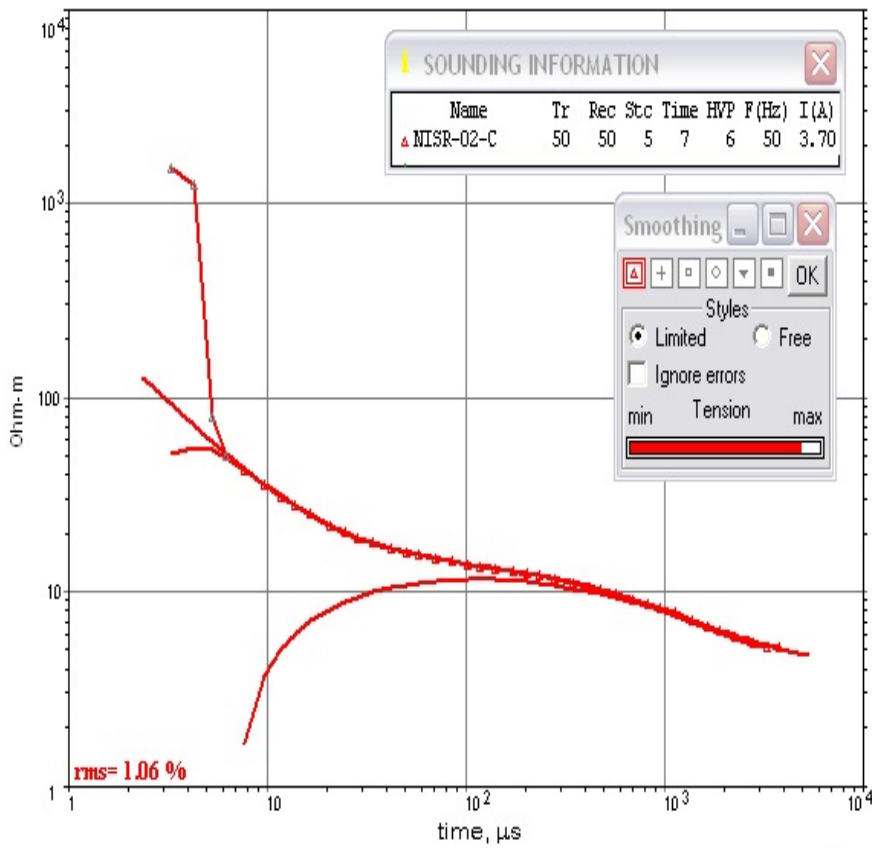
Τα μονοδιάστατα μοντέλα της φαινόμενης ειδικής αντίστασης συναρτήσει του βάθους υπολογίστηκαν σύμφωνα με την μέθοδο της αντιστροφής (Inversion) με χρήση του λογισμικού TEM-RES. Στην συνέχεια ακολουθούν όλες οι καμπύλες της φαινόμενης ειδικής αντίστασης συναρτήσει του χρόνου μαζί με τα αντίστοιχα μονοδιάστατα μοντέλα και για τις 14 βυθοσκοπήσεις .

#### NISR-01-C





### NISR-02-C

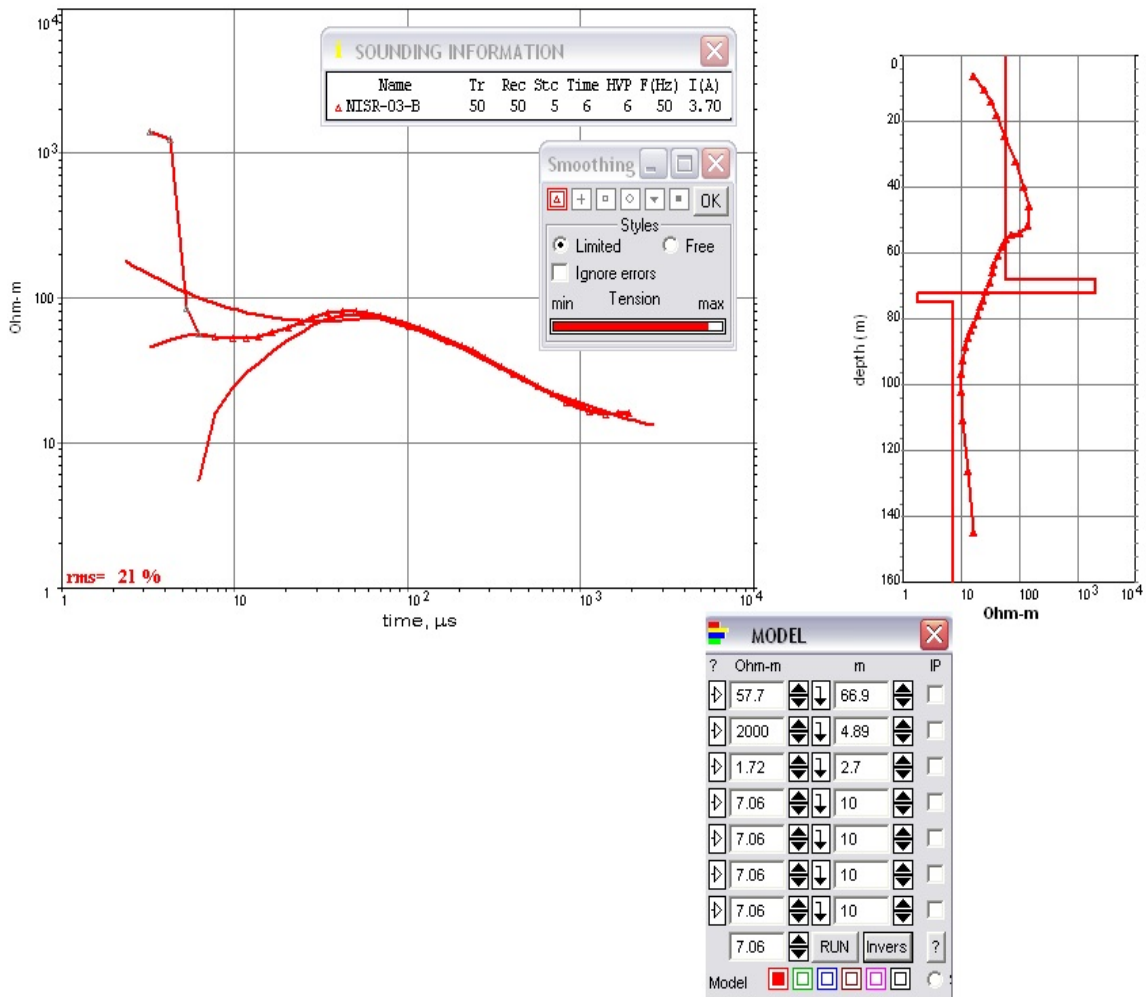


**MODEL**

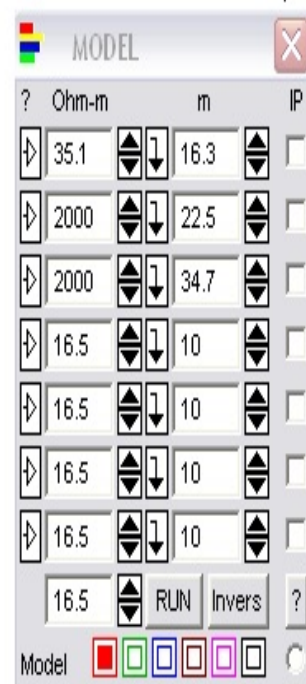
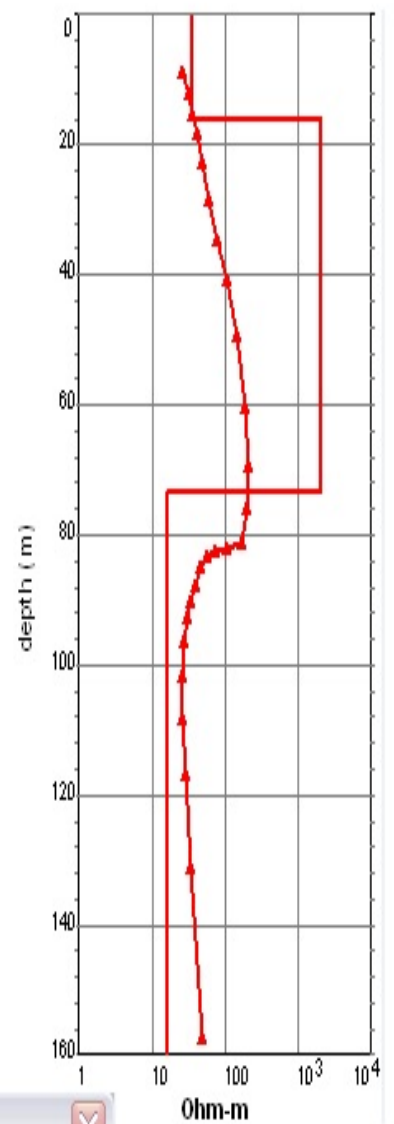
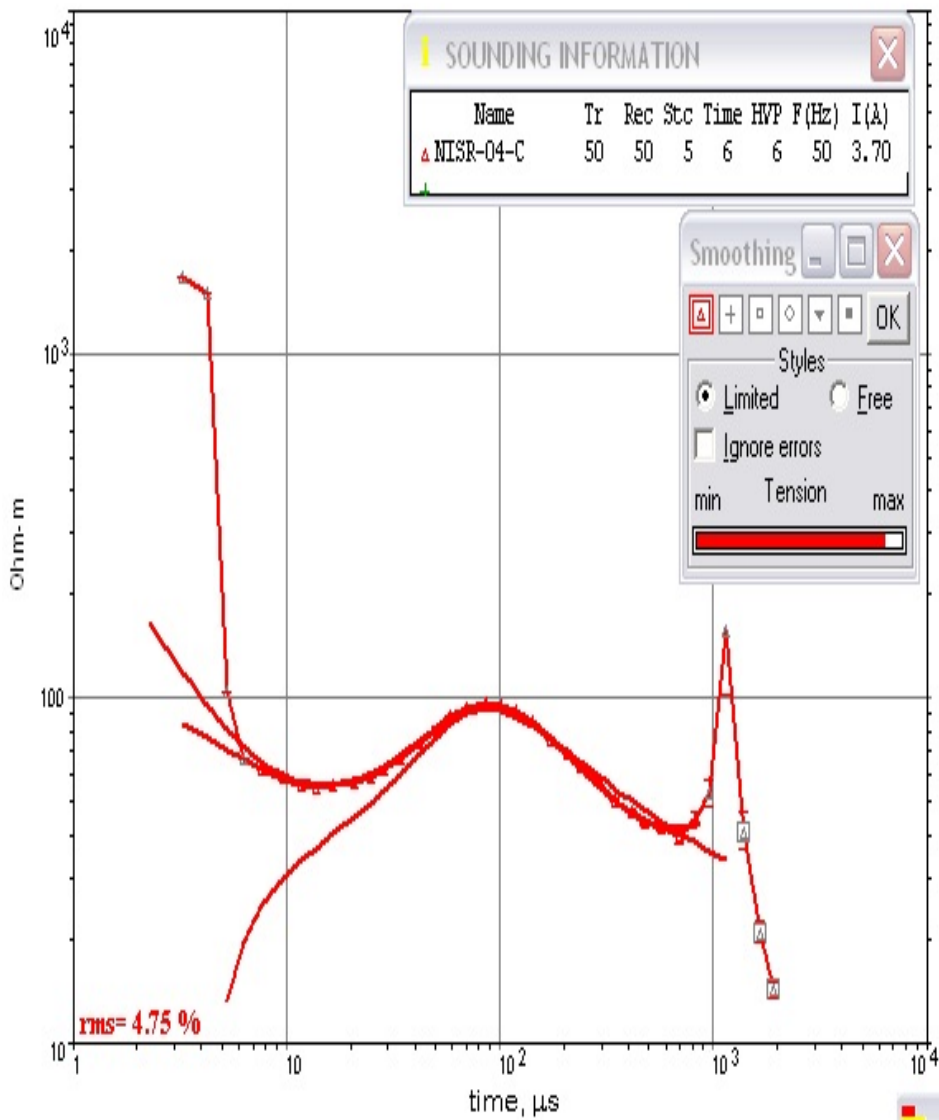
| ?    | Ohm-m | m | IP |
|------|-------|---|----|
| 6.08 | 2.74  |   |    |
| 13.5 | 25    |   |    |
| 6.84 | 33    |   |    |
| 2.71 | 10    |   |    |
| 2.71 | 10    |   |    |
| 2.71 | 10    |   |    |
| 2.71 | 10    |   |    |
| 2.71 | 10    |   |    |
| 2.71 |       |   |    |

Model ■ ■ ■ ■ ■ ■

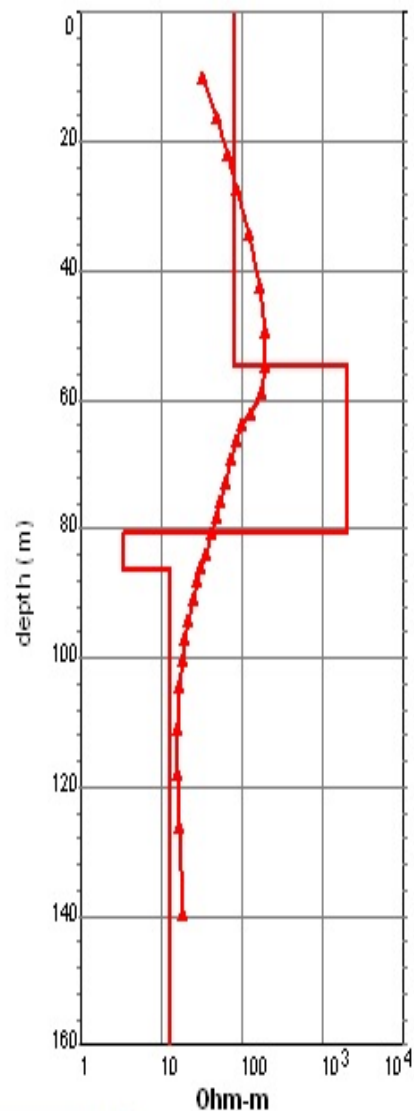
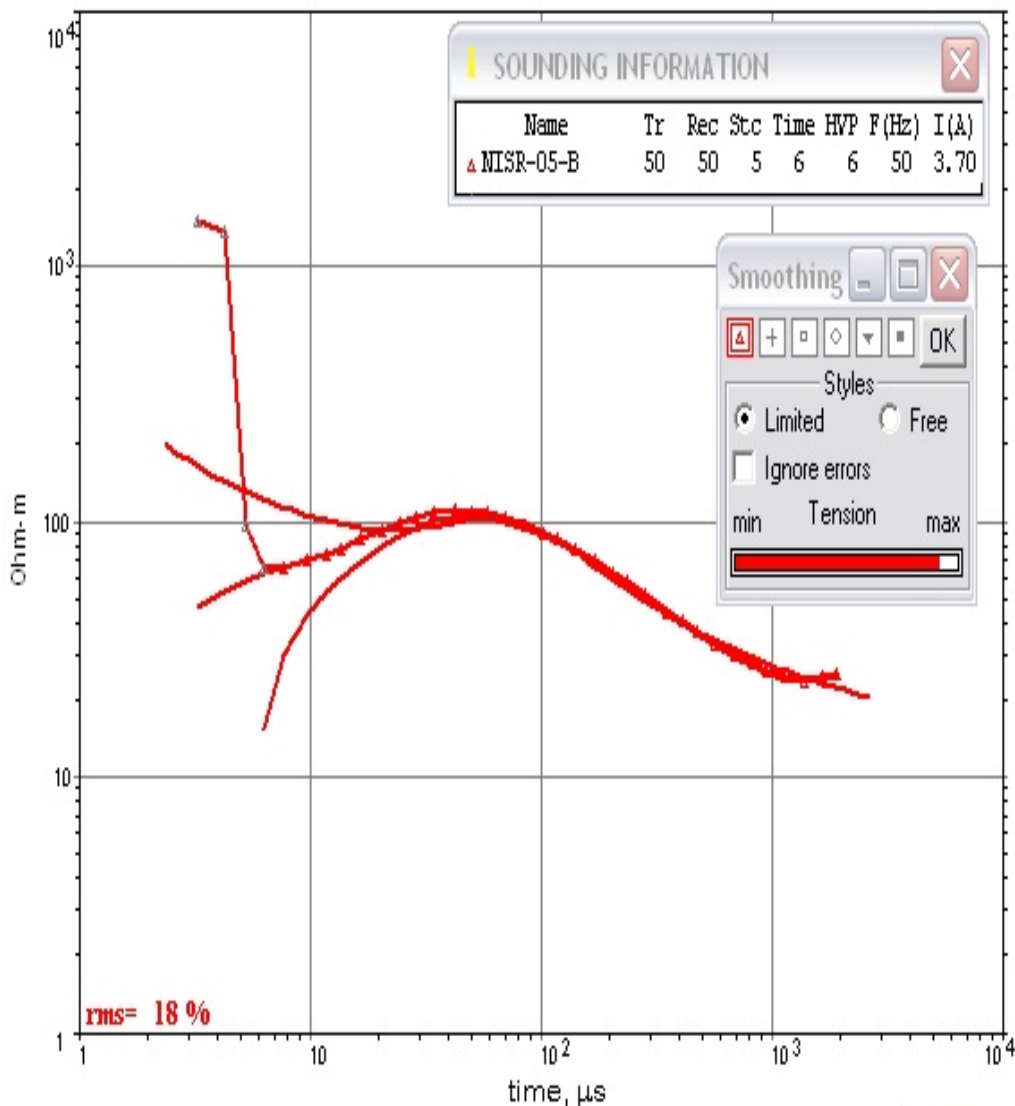
### NISR-03-B



NISR-04-C



NISR-05-B

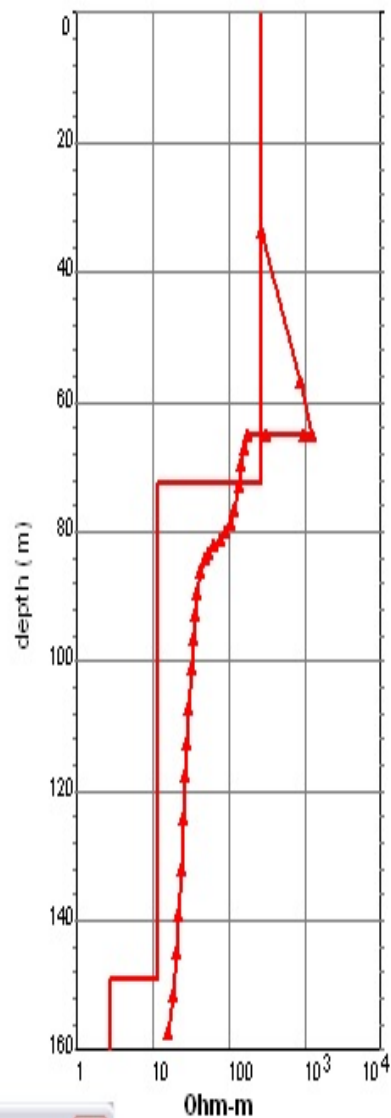
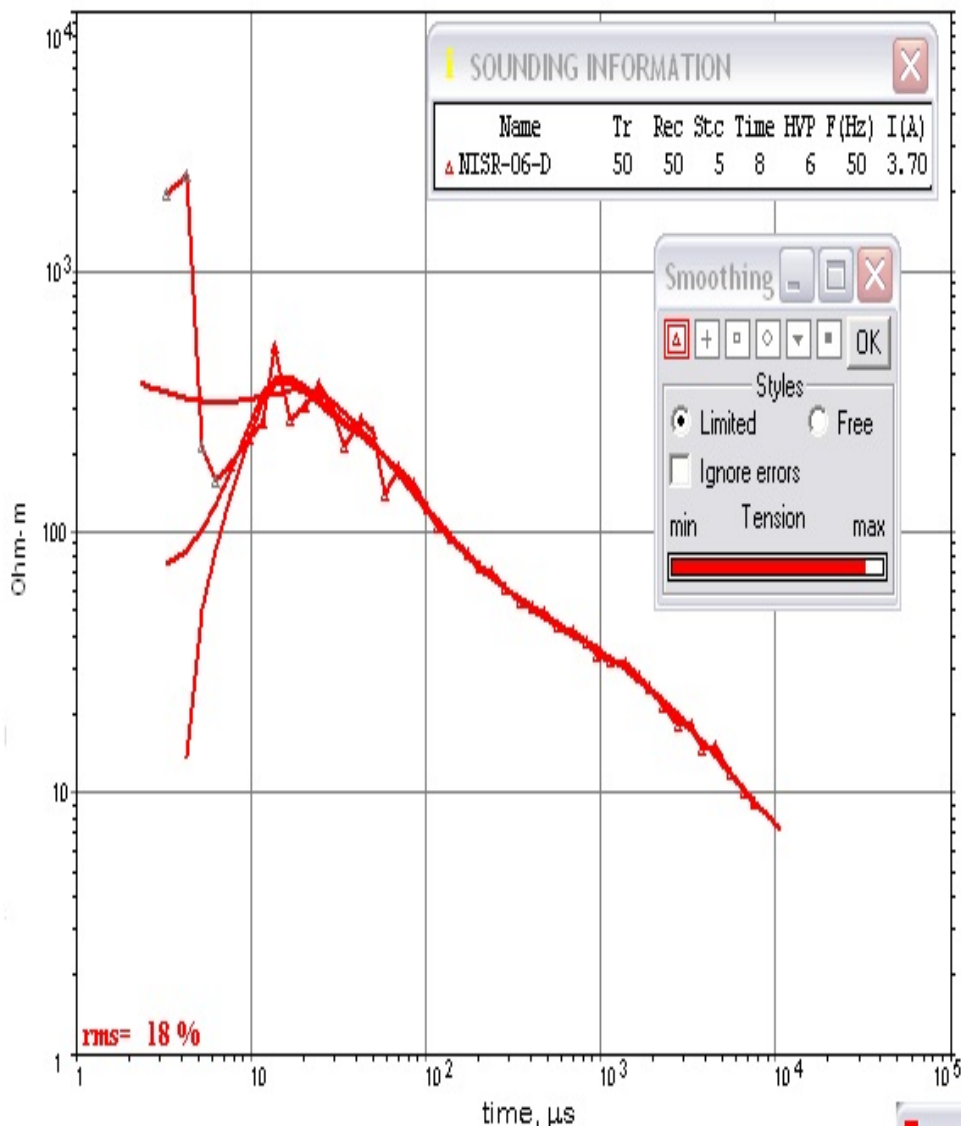


**MODEL**

| ? | Ohm-m | m    | IP                       |
|---|-------|------|--------------------------|
| ▷ | 80.2  | 54.8 | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 2000  | 25.8 | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 3.29  | 5.66 | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 12.8  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 12.8  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 12.8  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 12.8  | 10   | <input type="checkbox"/> |
|   | 12.8  | RUN  | Invers ?                 |

Model

**NISR-06-D**



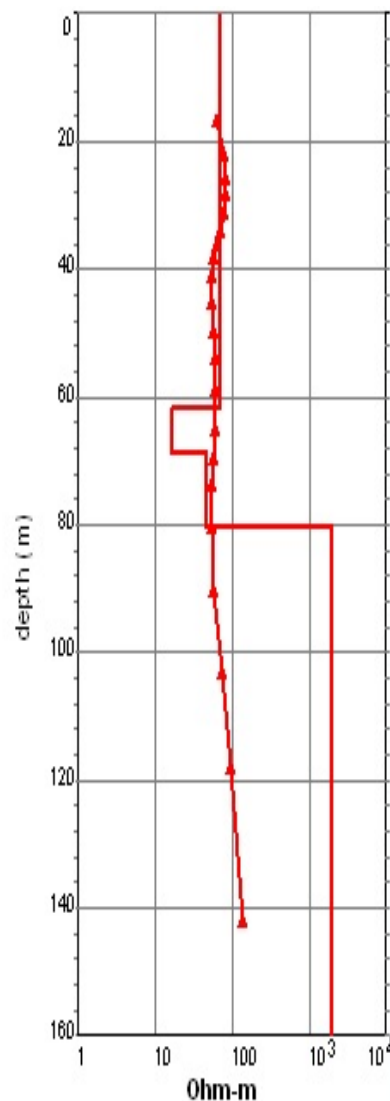
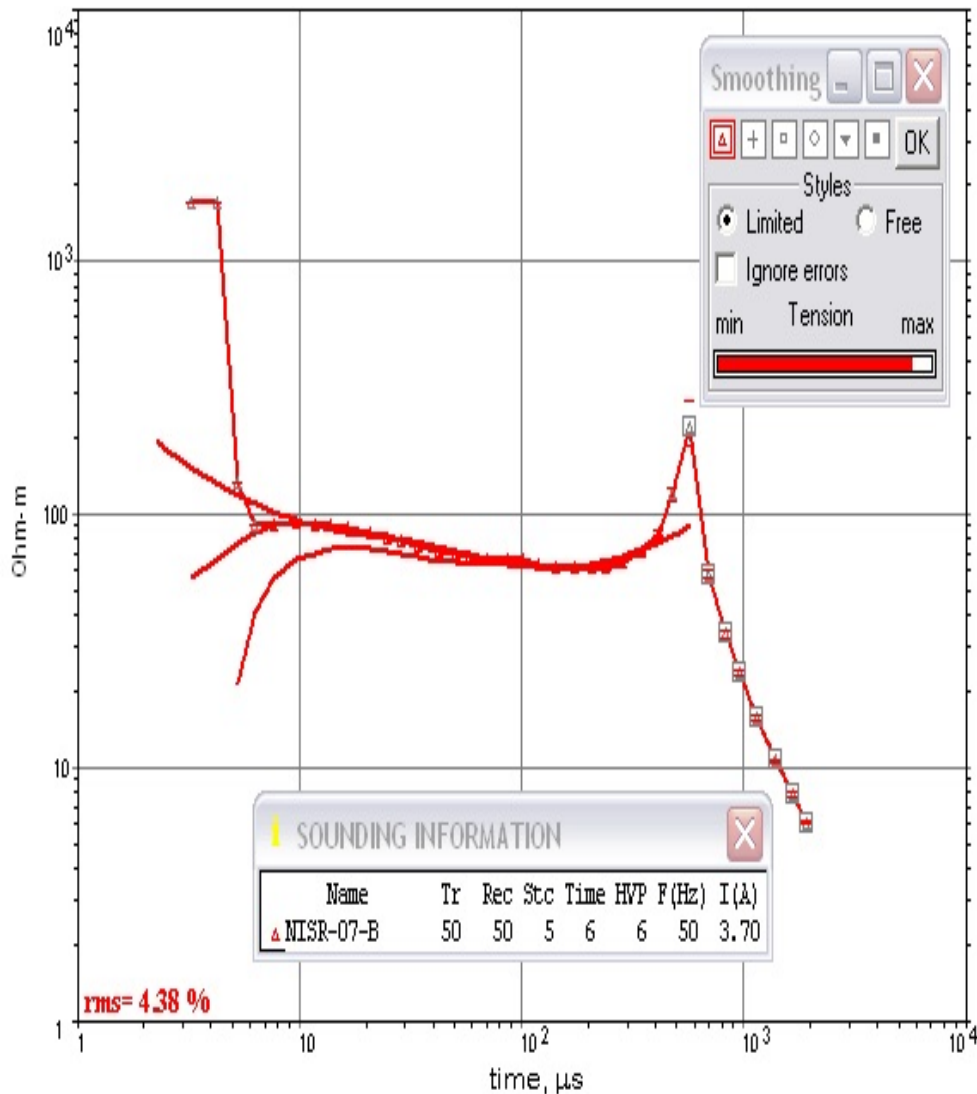
**MODEL**

| ? | Ohm-m | m    | IP                       |
|---|-------|------|--------------------------|
| ↕ | 264.6 | 72.7 | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 11.5  | 76.4 | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 2.77  | 41.2 | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 0.895 | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 0.895 | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 0.895 | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 0.895 | 10   | <input type="checkbox"/> |
|   | 0.895 | RUN  | Invers ?                 |

Model



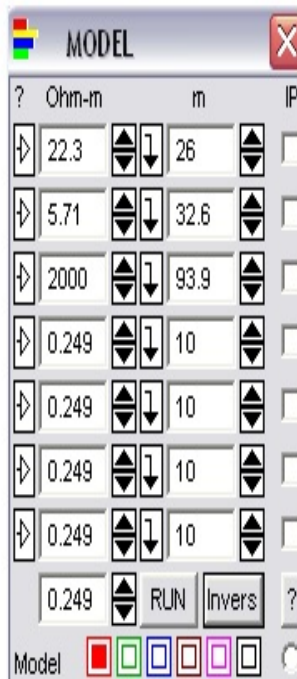
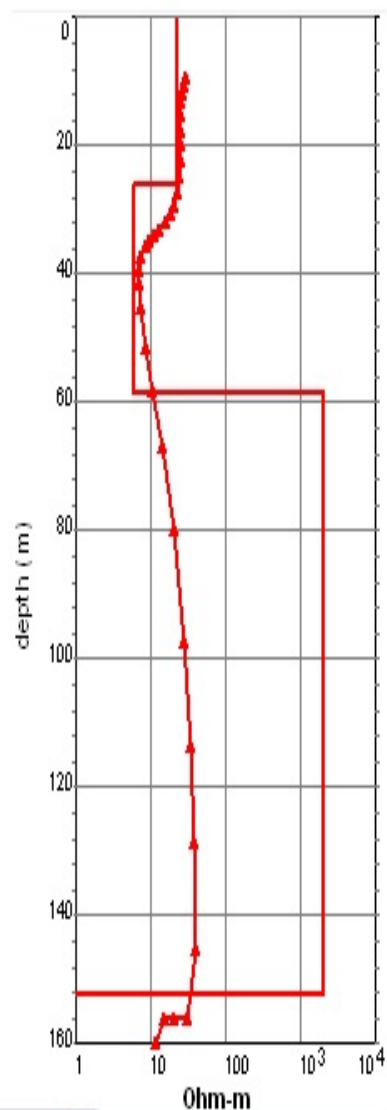
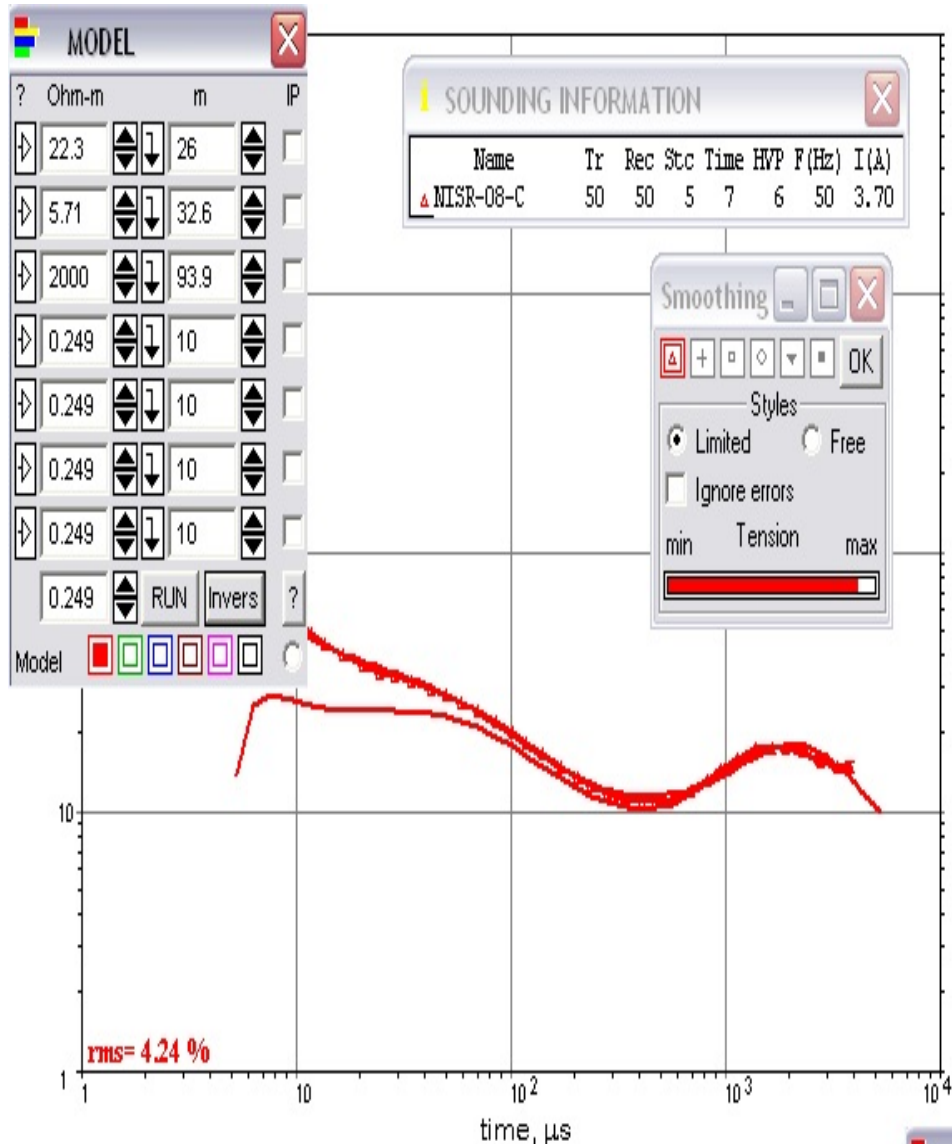
**NISR-07-B**



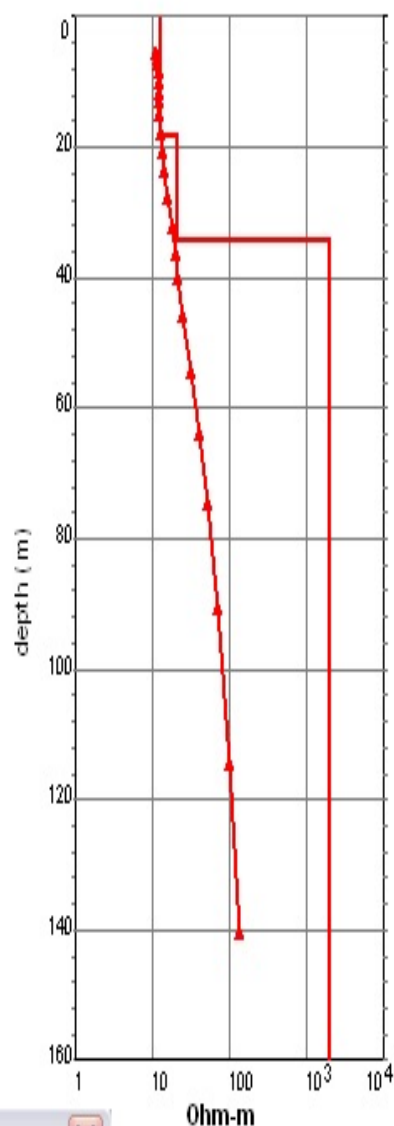
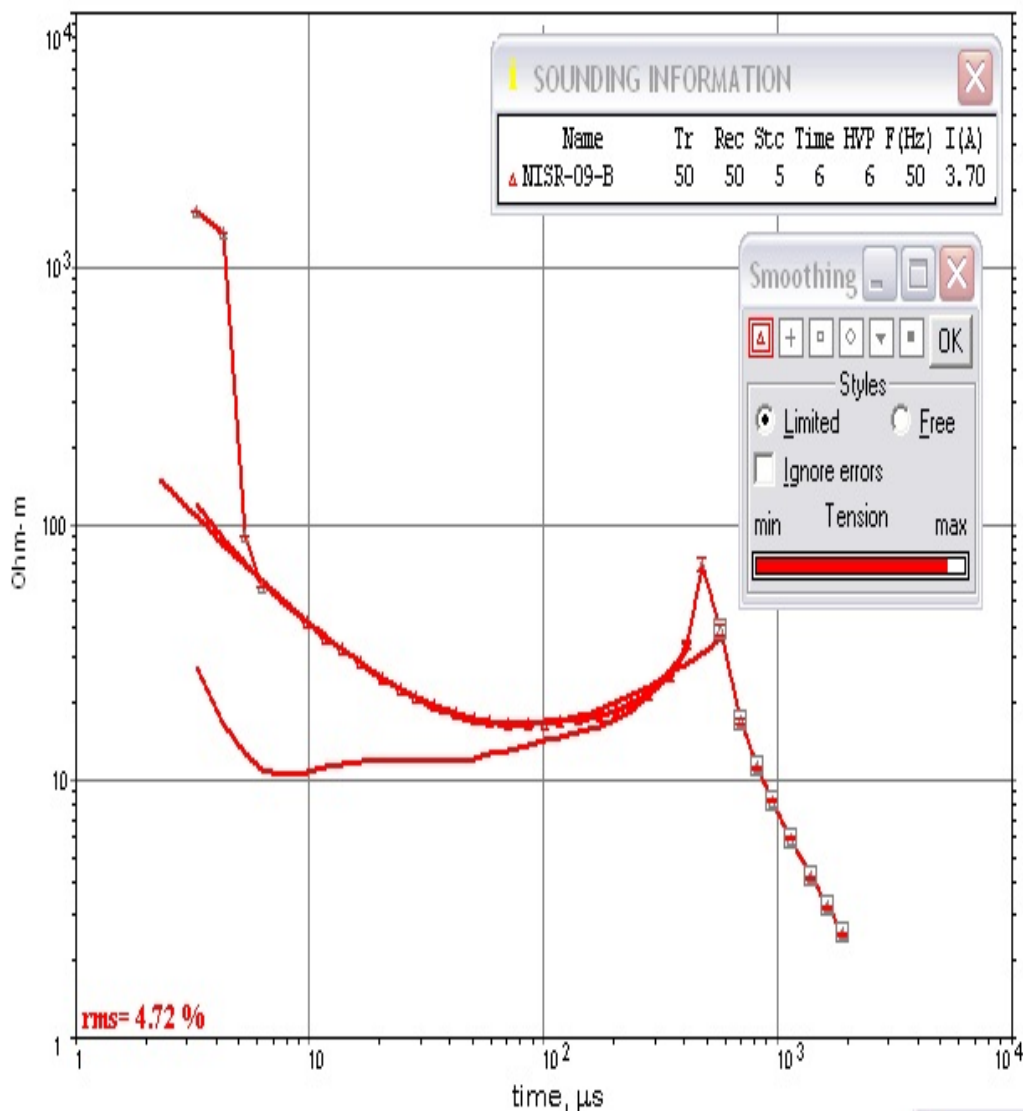
**MODEL**

| ?     | Ohm-m | m    | IP       |
|-------|-------|------|----------|
| ↔     | 68.6  | 61.7 | ☐        |
| ↔     | 16.3  | 7    | ☐        |
| ↔     | 45.7  | 11.5 | ☐        |
| ↔     | 2000  | 10   | ☐        |
| ↔     | 2000  | 10   | ☐        |
| ↔     | 2000  | 10   | ☐        |
| ↔     | 2000  | 10   | ☐        |
|       | 2000  | RUN  | Invers ? |
| Model | ☐     | ☐    | ☐        |

NISR-08-C



NISR-09-B

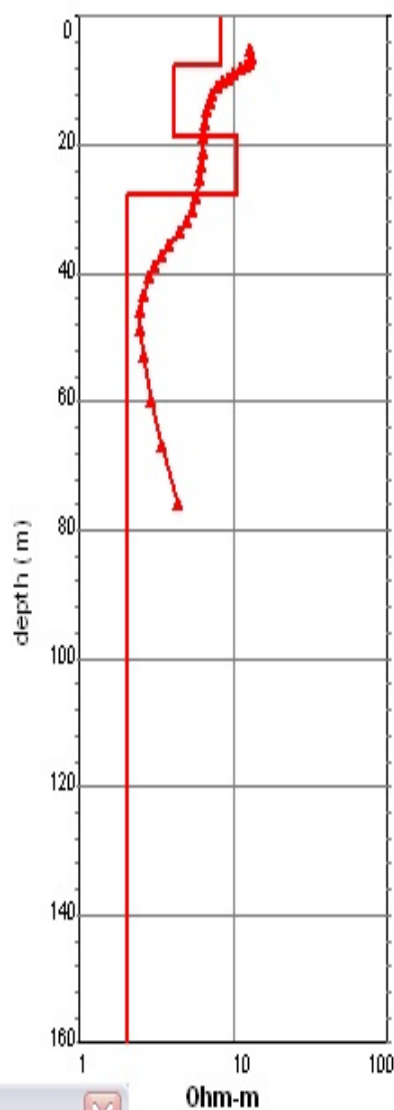
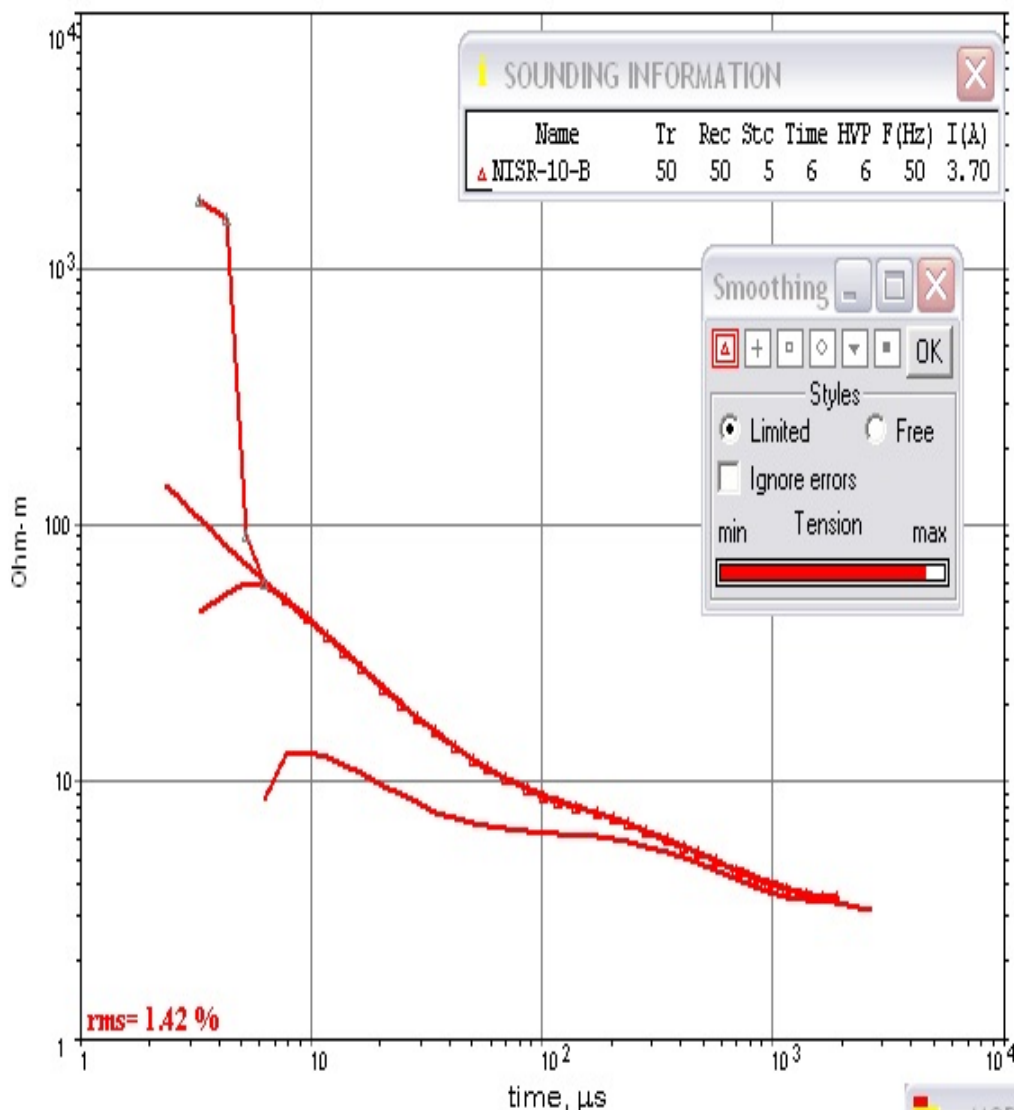


**MODEL**

| ? | Ohm-m | m    | IP                       |
|---|-------|------|--------------------------|
| ▷ | 12.5  | 8.82 | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 12.7  | 9.63 | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 20.4  | 16   | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 2000  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 2000  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 2000  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 2000  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ▷ | 2000  | 10   | <input type="checkbox"/> |
|   | 2000  | RUN  | Invers ?                 |

Model

**NISR-10-B**

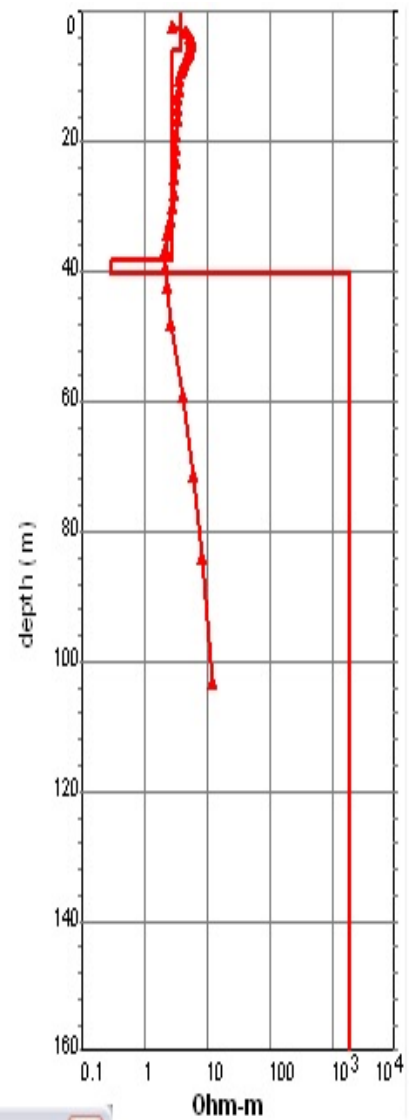
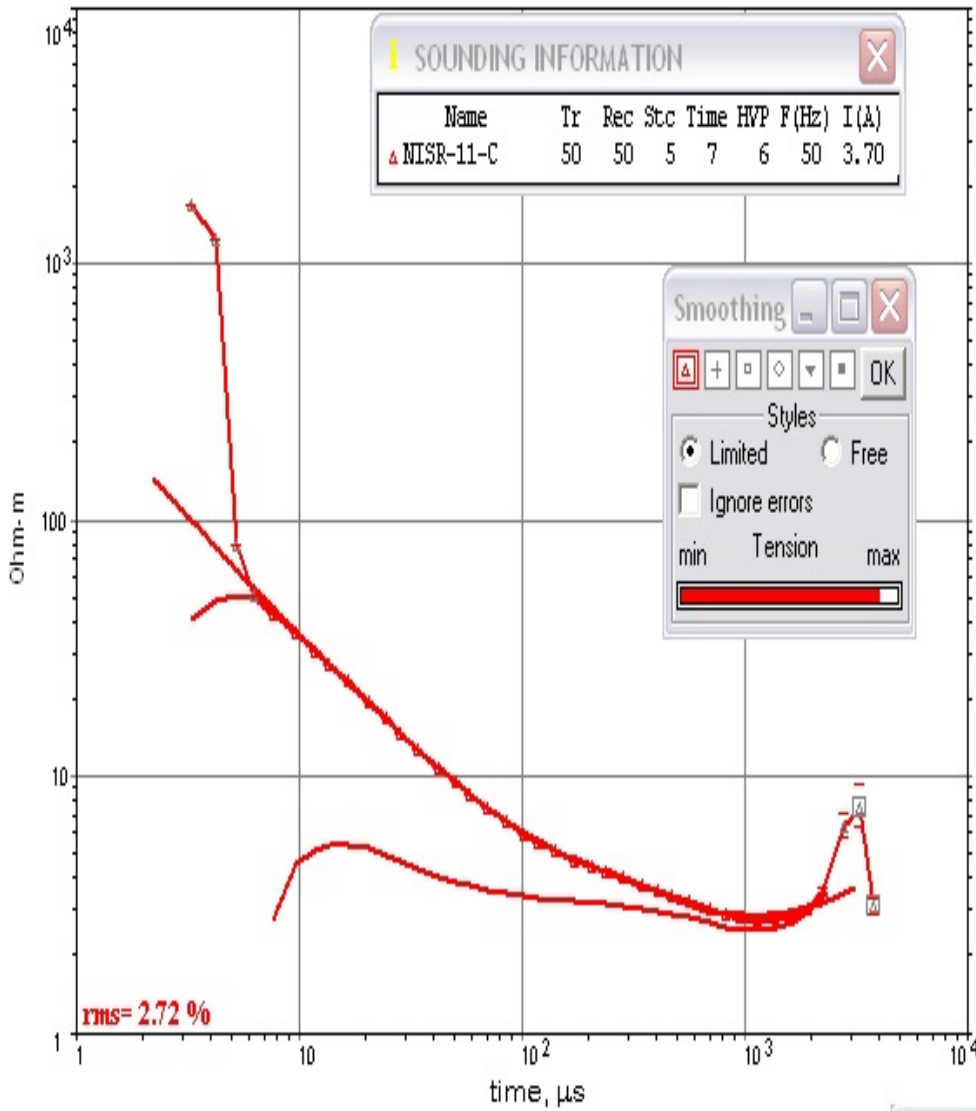


**MODEL**

| ? | Ohm-m | m    | IP                       |
|---|-------|------|--------------------------|
| ↕ | 8.36  | 7.48 | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 4.11  | 11.4 | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 10.6  | 8.7  | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 2.07  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 2.07  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 2.07  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 2.07  | 10   | <input type="checkbox"/> |
|   | 2.07  | RUN  | Invers ?                 |

Model

NISR-11-C

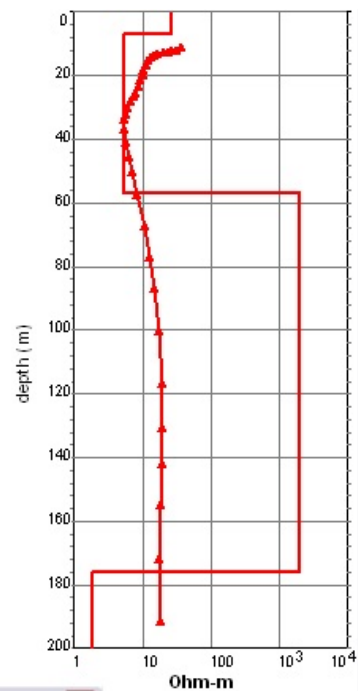
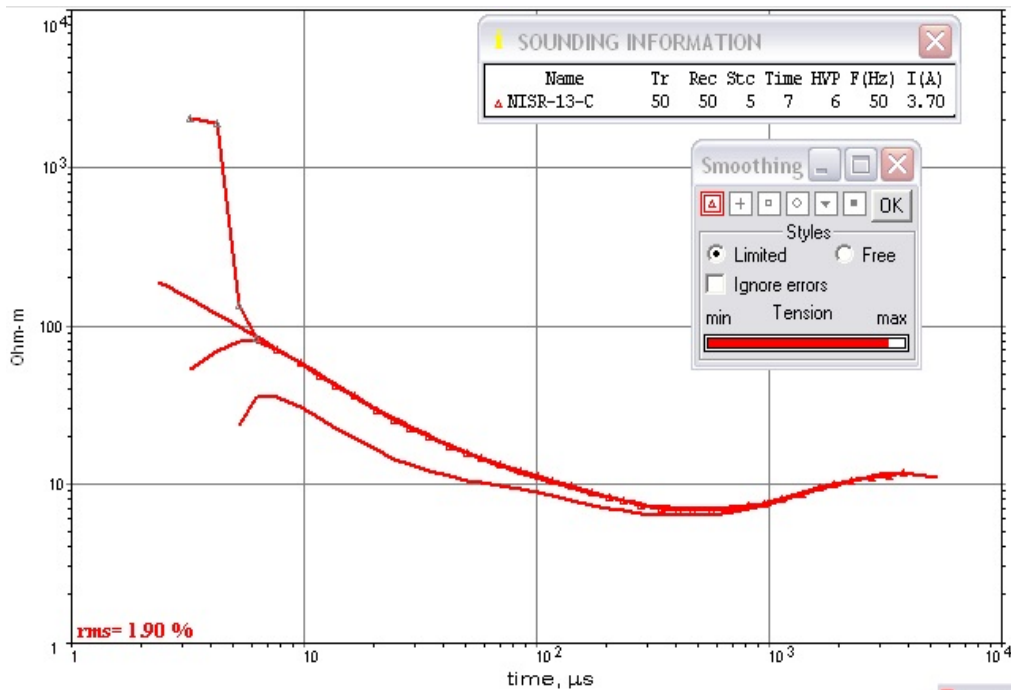


| ?     | Ohm-m | m      | IP                       |
|-------|-------|--------|--------------------------|
| 3.82  | 6.13  |        | <input type="checkbox"/> |
| 2.74  | 32.1  |        | <input type="checkbox"/> |
| 0.298 | 1.98  |        | <input type="checkbox"/> |
| 2000  | 10    |        | <input type="checkbox"/> |
| 2000  | 10    |        | <input type="checkbox"/> |
| 2000  | 10    |        | <input type="checkbox"/> |
| 2000  | 10    |        | <input type="checkbox"/> |
| 2000  | RUN   | Invers | ?                        |

Model



### NISR-13-C

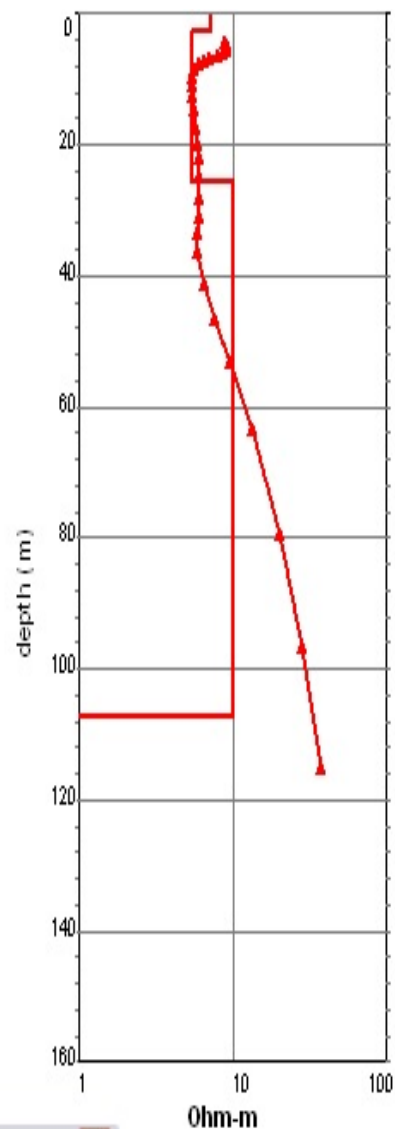
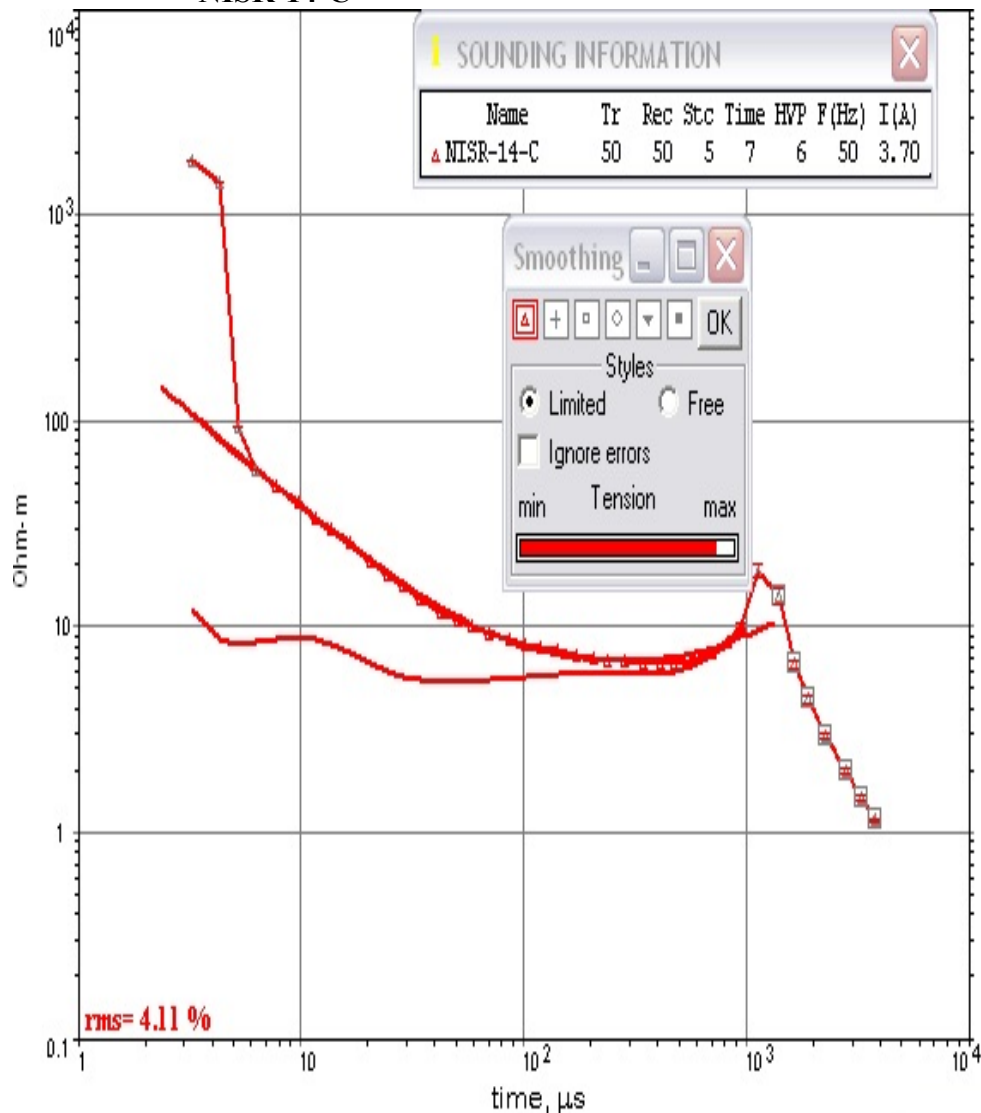


**MODEL**

| Ohm-m | m     | IP                       |
|-------|-------|--------------------------|
| 26    | 7     | <input type="checkbox"/> |
| 5.49  | 50.2  | <input type="checkbox"/> |
| 2000  | 118.9 | <input type="checkbox"/> |
| 1.81  | 10    | <input type="checkbox"/> |
| 1.81  | 10    | <input type="checkbox"/> |
| 1.81  | 10    | <input type="checkbox"/> |
| 1.81  | 10    | <input type="checkbox"/> |
| 1.81  | RUN   | Invers ?                 |

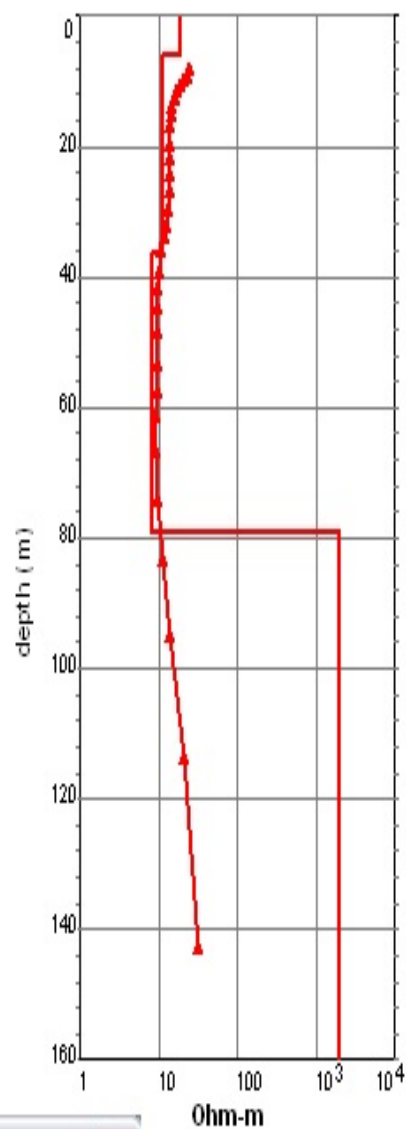
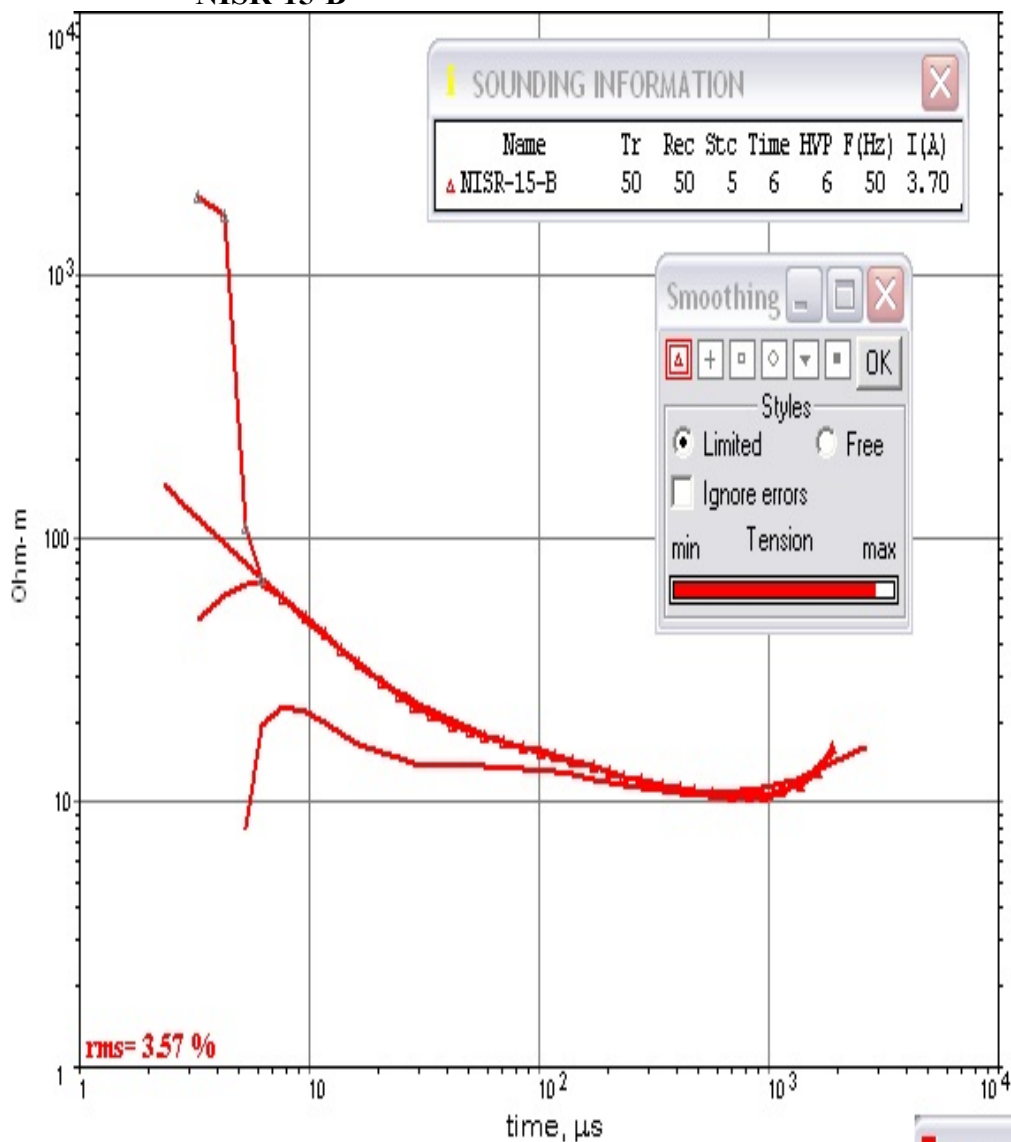
Model ■ ■ ■ ■ ■ ○

NISR-14-C



| MODEL   |       |      |                          |
|---|-------|------|--------------------------|
| ?   | Ohm-m | m    | IP                       |
| ↔   | 7.13  | 2.75 | <input type="checkbox"/> |
| ↔   | 5.37  | 22.9 | <input type="checkbox"/> |
| ↔   | 9.92  | 81.5 | <input type="checkbox"/> |
| ↔   | 0.1   | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↔   | 0.1   | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↔   | 0.1   | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↔   | 0.1   | 10   | <input type="checkbox"/> |
| 0.1   |       | RUN  | Invers ?                 |
| Model <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |       |      |                          |

**NISR-15-B**



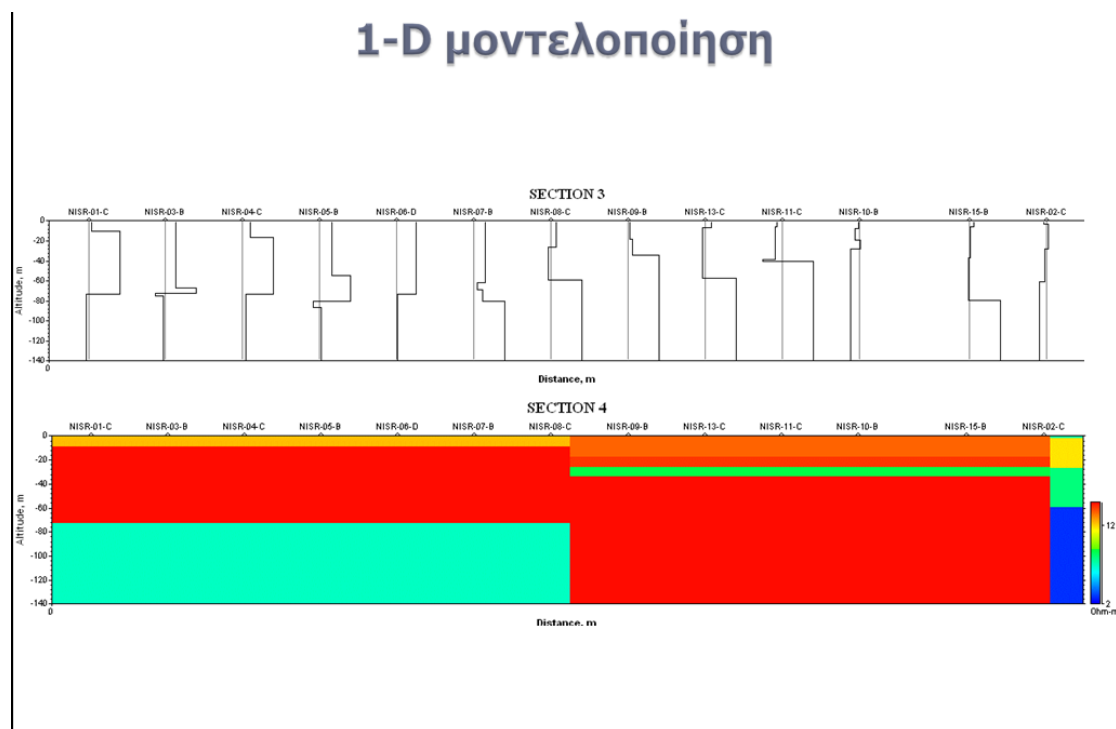
**MODEL**

| ? | Ohm-m | m    | IP                       |
|---|-------|------|--------------------------|
| ↕ | 18.9  | 6.06 | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 11.2  | 30.3 | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 8.3   | 43   | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 2000  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 2000  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 2000  | 10   | <input type="checkbox"/> |
| ↕ | 2000  | 10   | <input type="checkbox"/> |
|   | 2000  |      |                          |

Model

## 5.2.4 Δισδιάστατη απεικόνιση (2-D Imaging)

Μετά την ολοκλήρωση της μονοδιάστατης μοντελοποίησης (1-D modeling), ακολουθεί η δισδιάστατη απεικόνιση των δεδομένων με την κατασκευή της γεωηλεκτρικής τομογραφίας πάλι με την χρήση του προγράμματος TEM-RES. Με κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύονται οι υψηλές αντιστάσεις ενώ με μπλε χρώμα οι χαμηλές αντιστάσεις (υψηλές αγωγιμότητες). Στην εικόνα 20 στο πάνω μέρος απεικονίζονται τα 14 1D inversion loggings ενώ στο κάτω μέρος τα αποτελέσματα τις 1D αντιστροφής σαν γεωηλεκτρική τομογραφία



*Εικόνα 20: Η μονοδιάστατη μοντελοποίηση των TEM δεδομένων και η ηλεκτρομαγνητική τομογραφία*

## 5.3 Εκτέλεση μαγνητοτελλουρικών βυθοσκοπήσεων (MT)

Το διάστημα μεταξύ 14/05/2013 έως 17/05/2013 πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις MT σε απόσταση 2,5km όπως φαίνεται και στην εικόνα 17 (Nisr01 και Nisr02) όπου η θέση Nisr02 ήταν πλησίον του κρατήρα Στέφανου.

### 5.3.1 Επεξεργασία–Ανάλυση–Αποτελέσματα

Η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων MT πραγματοποιήθηκε από το πρόγραμμα EMTF (σε περιβάλλον Linux) εφαρμόζοντας τον κώδικα του Egbert. Ακολούθησαν τρία βήματα:

- Προετοιμασία των δεδομένων
- Μετασχηματισμός Fourier

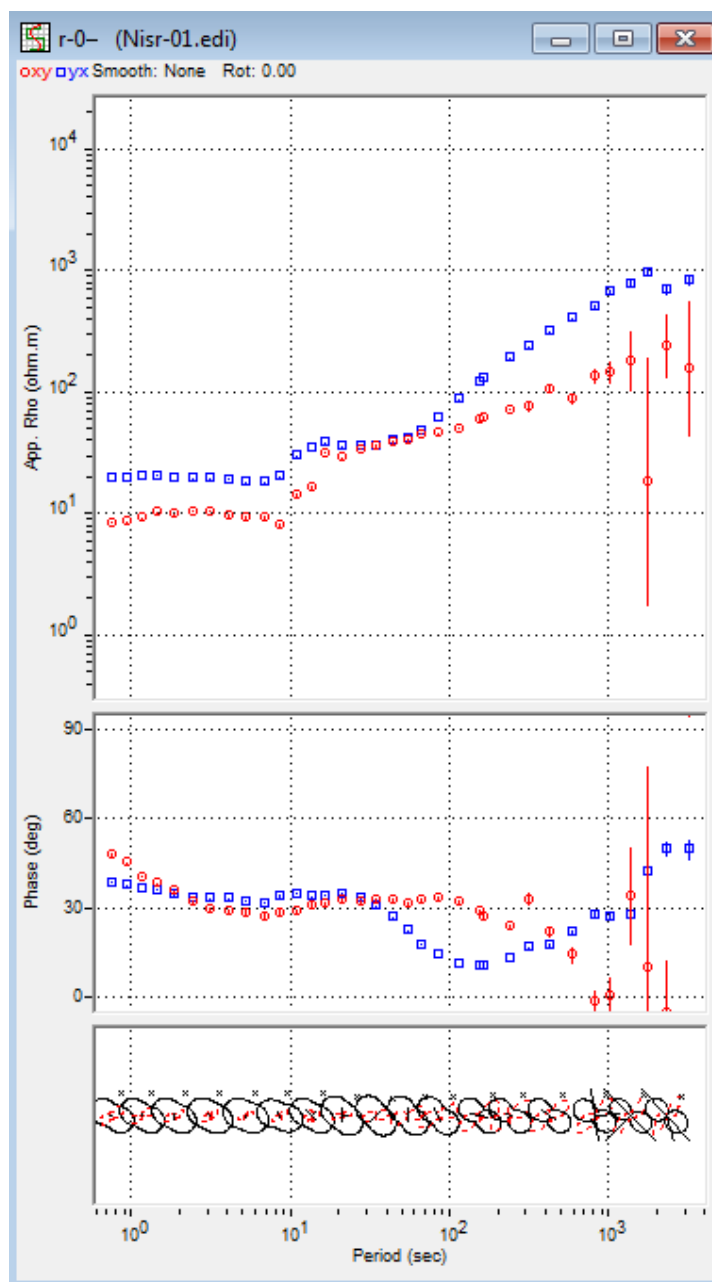
- **Ανθεκτική εκτίμηση (RobustEstimation) των συναρτήσεων μεταφοράς**

Το **WinGlink software** του οίκου Schlumberger περιλαμβάνει ένα σετ εργαλείων για την απεικόνιση-ανάλυση-επεξεργασία-μοντελοποίηση γεωφυσικών δεδομένων κυρίως Μαγνητοτελλουρικών. Στην παρούσα μελέτη το πρόγραμμα WinGlink χρησιμοποιήθηκε μόνο για την απεικόνιση καμπυλών φαινόμενης ειδικής αντίστασης και των φάσεων καθώς και για την μονοδιάστατη Μοντελοποίηση (κώδικας Bostick και κώδικας Occam).

Παρακάτω στις Εικόνες 21 και 22 ακολουθούν οι καμπύλες ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με την περίοδο (πάνω) και φάσεων σε συνάρτηση με την περίοδο (κάτω) για την L band (συχνότητα δειγματοληψίας 6,25Hz) για τις δύο μετρήσεις Nisr-01 και Nisr-02 αντίστοιχα.

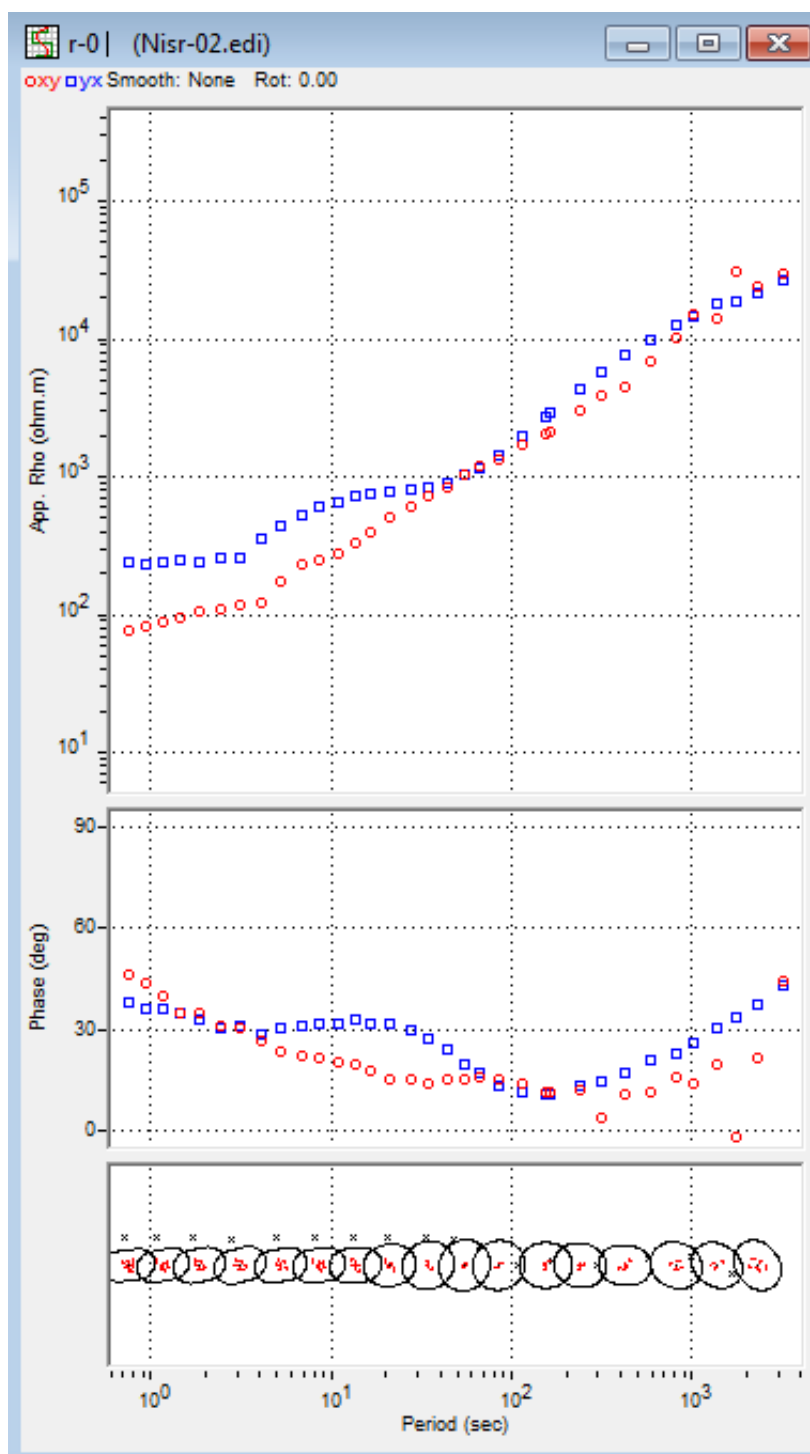


Site: Nisyros 01  
 Date: 14/05/13 – 17/05/13 (3 nights)  
 L Band (6.25 Hz Sampling)



**Εικόνα 21:** Καμπύλη ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με την περίοδο (πάνω) και φάσεων σε συνάρτηση με την περίοδο (κάτω) για την L band (συχνότητα δειγματοληψίας 6,25Hz)

Site: Nisyros 02  
 Date: 14/05/13 – 17/05/13 (3 nights)  
 L Band (6.25 Hz Sampling)

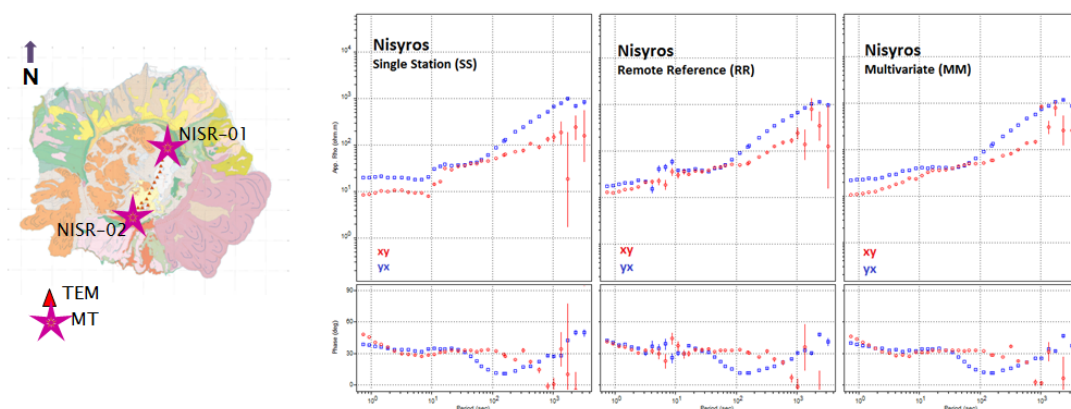


**Εικόνα 22:** Καμπύλη ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με την περίοδο (πάνω) και φάσεων σε συνάρτηση με την περίοδο (κάτω) για την L band (συχνότητα δειγματοληψίας 6,25Hz)

Για την επεξεργασία των MT δεδομένων εφαρμόστηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι: robust Single Station (SS), Remote Reference (RR) and Multiple-station (MM). Η MM έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα.

## Μετρήσεις MT

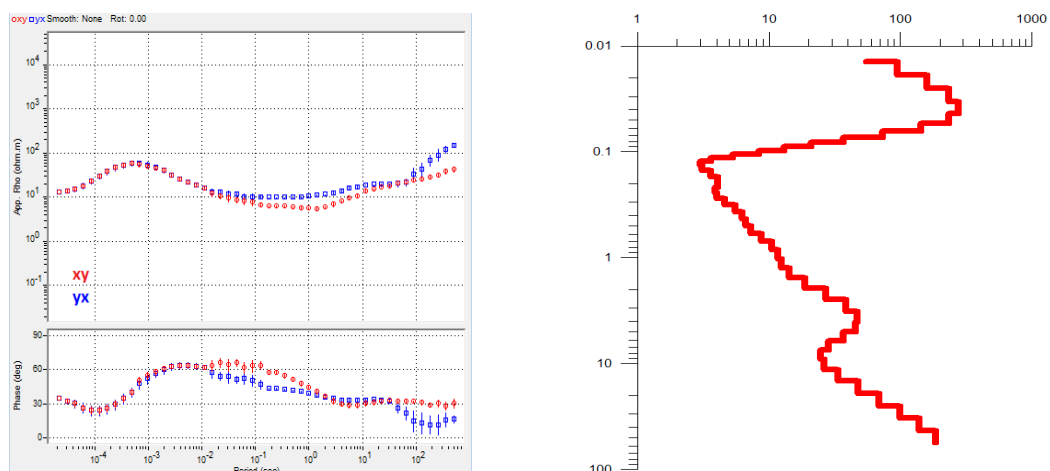
Παράδειγμα NISR-01



**Εικόνα 23:** Εφαρμογή τριών διαφορετικών μεθόδων για επεξεργασία των MT δεδομένων για την θέσης Nisr01, Nisr02: robust Single Station (SS), Remote Reference (RR) and Multiple-station (MM)

### 5.3.2 Μονοδιάστατο μοντέλο MT

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το 1D μοντέλο κατασκευάστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού WingLink όπου εφαρμόστηκαν ο κώδικα του Occum (Εικόνα 24).



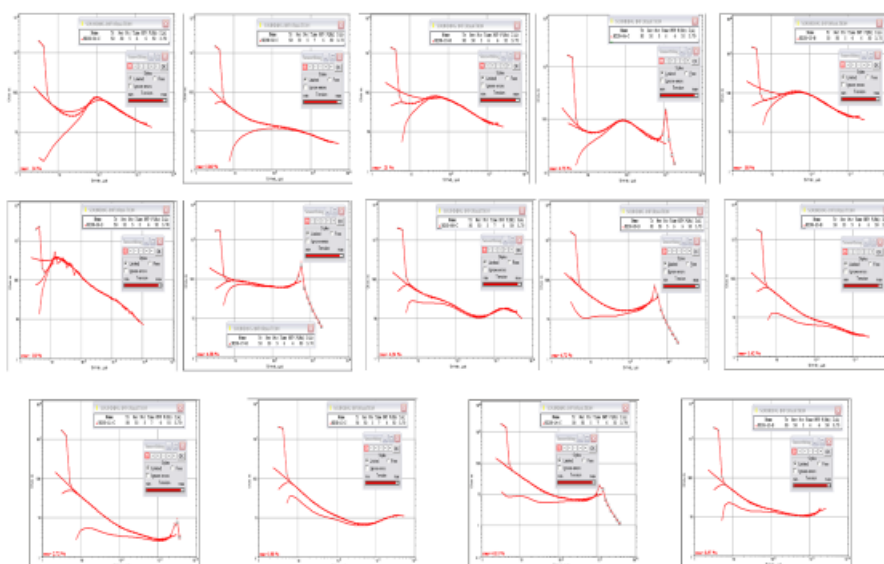
**Εικόνα 24:** Μονοδιάστατο μοντέλο MT με εφαρμογή του κώδικα Occum

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ-ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 6.1 Ερμηνεία παροδικών κυματομορφών (TEM)

Ως γνωστό η TEM μέθοδος ήταν η κύρια μέθοδος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στην Εικόνα 25 παρουσιάζονται όλες οι βέλτιστες καμπύλες φαινόμενης ειδικής αντίστασης συναρτήσει του χρόνου που αποκτήθηκαν μετά την επεξεργασία από της δεκατέσσερις βυθοσκοπήσεις που έγιναν στην περιοχή μελέτης. Οι πρώτοι χρόνοι αφορούν τα επιφανειακά, ενώ οι ύστεροι χρόνοι αφορούν τα βαθύτερα στρώματα.

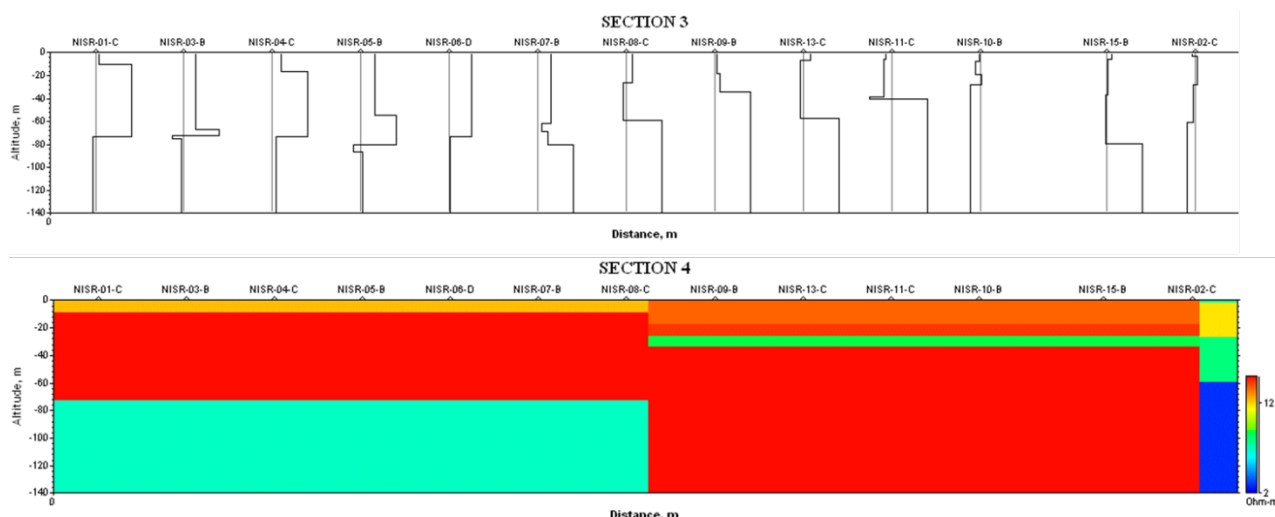
#### Καμπύλες φαινόμενης ειδικής αντίστασης



24

**Εικόνα 25:** Καμπύλες φαινόμενης ειδικής αντίστασης από τις 14 βυθοσκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης

Στην συνέχεια έγινε η μοντελοποίηση όπου διακρίνεται για κάθε μία βυθοσκόπηση το μονοδιάστατο μοντέλο καθώς και το έγχρωμο προφίλ όπου και παρατηρείται μια κάθετη ασυνέχεια μεταξύ τις βυθοσκόπησης Nisir-08 και Nisir-09 (Εικόνα 26)



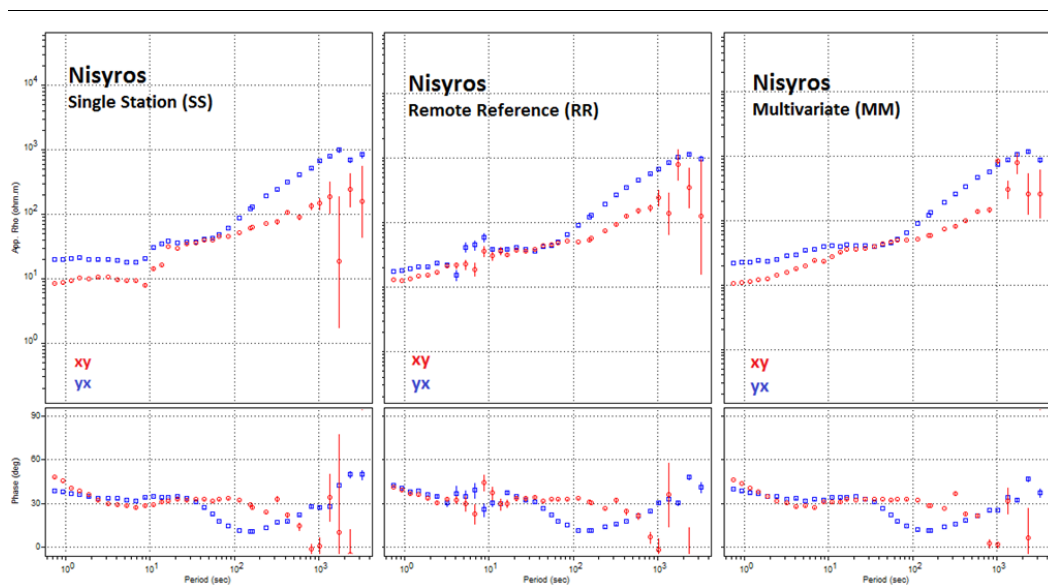
**Εικόνα 26:** Μονοδιάστατο μοντέλο για κάθε μια βυθοσκόπηση καθώς και η τομογραφία, όπου παρατηρείται η ασυνέχεια.

## 6.2 Ερμηνεία μαγνητοτελλουρικών βυθοσκοπήσεων (MT)

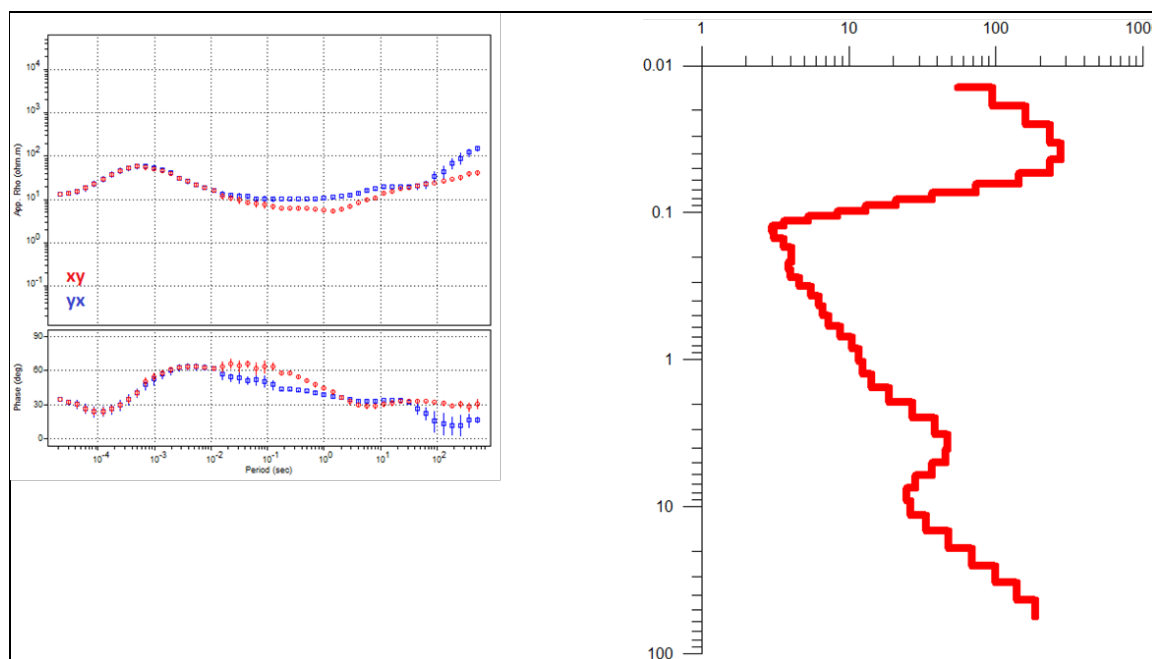
Η γεωφυσική μέθοδος MT ήταν η επικουρική μας μέθοδος, όπου όπως αναφέραμε εφαρμόστηκε σε δύο σημεία NSR-01 και NISR-02. Τα καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν από το πρώτο σημείο (NISR-01) όπου και πειραματιστήκαμε με τρεις διαφορετικές μεθόδους singlestation μεθοδος για επεξεργασία, η δεύτερη είναι remote reference, όπου και χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο σταθμοί της Νισύρου (NISR-01, NISR-02) και η Multivariate μέθοδος όπου χρησιμοποιήθηκαν και οι 3 σταθμοί για την επεξεργασία των MT δεδομένων (NISRR-01, NISIR-02 και ο μόνιμος MT σταθμός στον Ομαλό Χανίων (Εικόνα 27).

Στην συνέχεια στην μέτρηση NISR-01 που είχε τα καλύτερα αποτελέσματα έγινε η ένωση των TEM δεδομένων τις JBand που είναι η δειγματοληψία των 500Hz υψηλό συχνά HF και τον LF JBand που είναι η δειγματοληψία στα 6,25Hz χαμηλό συχνά όπου και φτιάξαμε μια μεγάλη καμπύλη από 10 εις την μείων 5 sec έως 10 εις την τρίτη sec. Σε αυτή την καμπύλη δίνονται πληροφορίες για την επιφάνεια του εδάφους από μερικά εκατοστά μέχρι αρκετά χιλιόμετρα (Εικόνα 28).





**Εικόνα 27:** Οι τρεις διαφορετικές μέθοδοι single station μέθοδος για επεξεργασία, η δεύτερη είναι η remote reference όπου και χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο σταθμοί της Νισύρου και η Multivariate μέθοδος όπου χρησιμοποιήθηκαν και οι 3 σταθμοί (συμπεριλαμβανομένου του Ομαλού) για την επεξεργασία των MT δεδομένων.



**Εικόνα 28:** Μοντέλο αντιστροφής μετά την συγχώνευση (joint) των TEM και MT δεδομένων

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **7.1 Συμπεράσματα έρευνας**

Εφαρμόστηκαν οι TEM και MT γεωφυσικές μέθοδοι μέσα στην καλδέρα της Νισύρου, όπου κατασκευάστηκε προκαταρκτικό 1-D μοντέλο της γεωηλεκτρικής δομής.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων για την περιοχή έρευνας, είναι τα εξής:

**(α)** στο μονοδιάστατο MT μοντέλο παρατηρούνται 2 ασυνέχειες, η μία περίπου σε βάθος από τα 100 μέτρα μέχρι το 1 km και η δεύτερη περίπου στα 10 km, όπου η δεύτερη ασυνέχεια μπορεί να συσχετιστεί με την ύπαρξη μαγματικού θαλάμου και

**(β)** στο προφίλ των TEM παρατηρήθηκε μία πλευρική ασυνέχεια που πιθανώς σχετίζεται με την ύπαρξη τεκτονικής ζώνης, όπως φαίνεται και στον γεωλογικό χάρτη.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Βουγιουκαλάκης Γ. Ε. (1998), *Στα γαλάζια ηφαίστεια: ΝΙΣΥΡΟΣ*, Έκδοση του συμβουλίου περιοχής Νισύρου

Δήμος Νισύρου (2019) [www.nisyros.gr](http://www.nisyros.gr)

Επιχειρησιακό σχέδιο αγροτικής ανάπτυξης 2014-2020, Νίσυρος (2019) [www.ecoanemos.files.wordpress.com](http://www.ecoanemos.files.wordpress.com)

Οικολογικός Άνεμος Νοτίου Αιγαίου (2019) [www.ecoanemos.files.wordpress.com](http://www.ecoanemos.files.wordpress.com)

Μακρής Ι. (1997), *Ηλεκτρομαγνητική Μελέτη της Γεωηλεκτρικής Δομής Περιοχής Ευαίσθητης στην Ανίχνευση προσεισμικών ηλεκτρικών σημάτων*, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Σαββαΐδης, Α. Σ. (1998), *Γεωφυσική Μελέτη του Βορειοδυτικού Τμήματος της Χερσονήσου της Χαλκιδικής*, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών - Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας – Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (2019), από <https://www.ggde.gr/>

EMI (2003), *MT24/LF System. Operation and Maintenance Manual, ElectroMagnetic Instruments, Inc.*

Fytikas M. and Marinelli G. (1976), *Geology and geothermics of the island of Milos (Greece), Proceedings of the International Congress on Thermal Waters, Geothermal Energy and Volcanism of the Mediterranean area, Athens, v.1, p.516-524.*

Kalisperi D., Romano G., Smirnov M., Nomikou P., Kouli M., Perrone A., Makris J.P., and Vallianatos F. (2014), *Nisyros' Caldera: Towards a detailed geoelectromagnetic study, 1st International Geo-cultural Symposium - Kaldera 2014, 6-8 June 2014, Santorini, Greece*

McNeill, J.D. (1980), *Applications of transient electromagnetic techniques. Geonics Limited Technical Note TN-7*

Nabighian, M.N. & Macnae, J.C. (1991), *Time domain electromagnetic methods. Electromagnetic methods in applied geophysics 2: Applications, chapter 6, Nabighian, M.N, (Ed.) SEG Publ., 427-520*

TEM-Fast 48 (2007), *TEM Fast 48 manual Version 7.3, The Netherlands: Applied Electromagnetic Research (AEMR)*

TEM-RES manual., 2007. *The Netherlands: Applied Electromagnetic Research (AEMR).*

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Φωτογραφίες από μετρήσεις MT και TEM τον Μάιο του 2013 στην Νίσυρο, όπου πήραν μέρος η Δέσποινα Καλησπέρη, ο Gerardo Romano, η Angela Perrone και ο Γιώργος Πέντες.



