



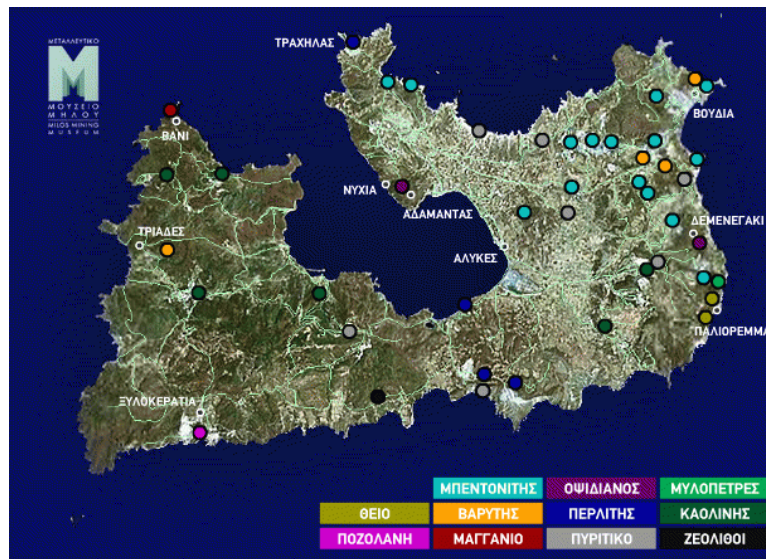
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

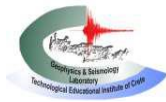
“Γεωφυσική διασκόπηση της νήσου Μήλου με χρήση ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων”

ΖΥΜΒΡΑΚΑΚΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ

ΒΗΧΟΣ ΝΙΚΟΛΑΣ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Δρ. ΚΟΥΛΗ ΜΑΡΙΑ

ΧΑΝΙΑ 2019



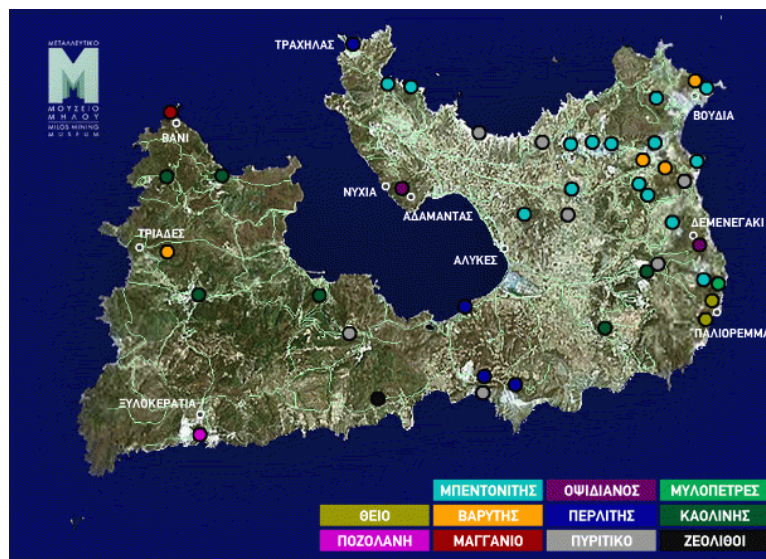
HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY

BRANCH OF CHANIA

DEPT OF NATURAL RESOURCES & ENVIRONMENT

SECTION OF WATER RESOURCES & GEOENVIRONMENT

LAB OF GEOPHYSICS & SEISMOLOGY



THESIS

" Geophysical survey of Milos island using electromagnetic methods "

ZIMVRAKAKIS VASSILIOS

VICHOS NIKOLAOS

Supervisor **Dr. KOULI MARIA**

CHANIA 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την επιβλέποντα της πτυχιακής αυτής εργασίας την Δρ. Μαρία Κούλη για την ανάθεση του θέματος, καθώς και την Δρ. Δέσποινα Καλησπέρη για την πολύτιμη βοήθειά της καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μας εργασίας. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή Δρ. Ιωάννη Π. Μακρή για την βοήθεια του στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Τέλος, ευχαριστούμε θερμά τις οικογένειες μας για την ηθική και οικονομική στήριξή τους, καθώς και για την εμπιστοσύνη που μας έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Εξεταστής: Δρ. Ιωάννης Π. Μακρής

2. Εξεταστής: Δρ. Βασίλειος Σάλτας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Δρ. Μαρία Κούλη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.2 Σκοπός.....	9
1.3 Νήσος Μήλος.....	10
1.3.1 Ιστορία.....	10
1.3.2 Γεωγραφία.....	11
1.3.3 Μορφολογία.....	11
1.3.4 Κλίμα.....	12
1.3.5 Έδαφος.....	12
1.3.6 Ηφαιστειότητα.....	13
1.3.7 Υδρολογία.....	13
1.3.8 Σεισμολογία.....	15
1.3.9 Η οικονομία της Μήλου.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΜΗΛΟΥ	17
2.1 Γεωλογική δομή της Μήλου.....	17
2.2 Πετρώματα και ορυκτά της Μήλου.....	20
2.2.1 Μπετονίτης.....	20
2.2.2 Περλίτης.....	21
2.2.3 Καολίνης.....	22
2.2.4 Θείο.....	24

2.3 Γεωτεκτονική Μήλου.....	25
2.4 Ηφαιστειακή δραστηριότητα.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	27
3.1 Εισαγωγή.....	27
3.1.1 Φυσικές Ιδιότητες.....	28
3.1.2 Στάδια γεωφυσικών διασκοπήσεων.....	28
3.1.3 Κατηγορίες Γεωφυσικών Μεθόδων.....	28
3.1.4 Αρχή Ηλεκτρομαγνητικών Μεθόδων.....	30
3.1.5 3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων.....	30
3.2 ΜΑΓΝΗΤΟΤΕΛΛΟΥΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (MT).....	31
3.2.1 Εισαγωγή.....	31
3.2.2 Φυσικές πηγές του Ηλεκτρομαγνητικού πεδίου της Γης.....	32
3.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα MT.....	34
3.2.4 Αρχές μαγνητοτελλουρικής μεθόδου.....	35
3.2.5 Ομογενής Ημιχώρος.....	36
3.2.6 Οριζόντια στρωματογραφία.....	37
3.2.7 Τανυστής εμπέδησης (Impedance) και διάνυσμα διεύθυνσης (tipper).....	38
3.2.8 Όργανο μέτρησης MT-24LF.....	40
3.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΟΔΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ TEM.....	45
3.3.1 Θεωρία TEM Μεθόδου.....	45
3.3.2 Όργανα Μετρήσεων.....	46
3.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδου TEM.....	48
3.3.4 Σφάλματα στην βυθοσκόπηση TEM.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ- ΑΝΑΛΥΣΗ-ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	50
4.1 Εισαγωγή.....	50
4.2 Εκτέλεση Μαγνητοτελλουρικής Βυθοσκόπησης ΜΤ.....	50
4.2.1 Χρονοσειρές ΜΤ.....	51
4.2.2 Επεξεργασία – Ανάλυση – Αποτελέσματα	52
4.2.3 Πολικά Διαγράμματα.....	54
4.2.4 Μονοδιάστατο Μοντέλο ΜΤ.....	54
4.3 Εκτέλεση Ηλεκτρομαγνητικών Βυθοσκοπήσεων TEM.....	55
4.3.1 Επεξεργασία – Ανάλυση – Μοντελοποίηση – Αποτελέσματα	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ- ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	56
5.1 Ερμηνεία Μαγνητοτελλουρικών ΜΤ.....	57
5.2 Ερμηνεία Ηλεκτρομαγνητικών Βυθοσκοπήσεων TEM.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	61
6.1 Συμπεράσματα Έρευνας.....	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Φωτογραφίες από τις μετρήσεις στην Ύπαιθρο.....	65

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μέρος της μεταδιδακτορικής έρευνας MT-GEAR κι έχει ως σκοπό την διερεύνηση της γεωηλεκτρικής δομής της Νήσου Μήλου με την εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών γεωφυσικών μεθόδων, και συγκεκριμένα την μαγνητοτελλουρική μέθοδο (MT), η οποία είναι και η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο βυθοσκόπησης παροδικών πεδίων (TEM) που λειτούργησε επικουρικά. Η περιοχή έρευνας βρίσκεται νοτιοανατολικά του νησιού, δυο χιλιόμετρα νότια του χωριού Ζεφυρία, όπου είχε πραγματοποιηθεί μία μέτρηση MT και μία βυθοσκόπηση TEM στα πλαίσια του προγράμματος MT GEAR τον Οκτώβριο του 2013. Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε αρχικά επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων MT με χρήση του προγράμματος EMTF, εφαρμόζοντας τον κώδικα του Egbert και στη συνέχεια 1D μοντελοποίηση με το πρόγραμμα WinGLink. Επίσης έγινε εξαγωγή των πολικών διαγραμμάτων (polar diagrams) για διάφορες συχνότητες. Τα TEM δεδομένα επεξεργάστηκαν, αναλύθηκαν και μοντελοποιήθηκαν με το πρόγραμμα TEM-RES. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων για την περιοχή έρευνας, προκύπτουν τα εξής: (α) Η επιφανειακή δομή παρουσιάζει μεγάλη ανομοιογένειά και χαμηλές αντιστάσεις, (β) Στα πολικά διαγράμματα μετά τα 20 sec ($F=0.610$ Hz) παρατηρούμε ότι η δομή γίνεται δισδιάστατη, η οποία συνεχίζεται με το βάθος (γ) Στην TEM έχουμε αύξηση της ειδικής αντίστασης σε σχέση με τον χρόνο, δηλαδή με το βάθος.

ABSTRACT

This thesis is part of the MT-GEAR post-doctoral research and aims to investigate the geoelectrical structure of the island of Milos by applying electromagnetic geophysical methods, namely the magnetotelluric method (MT), which is the main method used, as well as the transient electromagnetic (TEM) technique as supplementary method. The research area is located southeast of the island, two kilometers south of the village of Zephyria, where an MT measurement and a TEM sounding were carried out under the MT-GEAR program in October 2013. For the purposes of this thesis, MT data were processed and analyzed using the EMTF program, applying the Egbert code and then a 1D model was extracted with the WinGLink program. Polar diagrams were also obtained for different frequencies. TEM data were processed, analyzed and modeled with the TEM-RES program. The outcomes from the interpretation of the results for the research area are as follows: (a) Surface structure is very heterogeneous and appears low resistances; (b) In the polar diagrams after 20 sec ($F = 0.610$ Hz) we observe that the structure becomes two-dimensional, which continues with the depth (c) In TEM method there is an increase of the apparent resistivity in relation to time, that is with depth.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μέρος της μεταδιδακτορικής έρευνας MT-GEAR «Μαγνητοτελλουρικά για τη Γεωδυναμική Μελέτη του Ελληνικού Τόξου» που είχε ως κύριο σκοπό την όσο το δυνατό πιο λεπτομερή διερεύνηση της γεωηλεκτρικής δομής του Ελληνικού Τόξου στο Νότιο Αιγαίο με την εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών γεωφυσικών μεθόδων, καθώς και τη συσχέτιση μεταβολών των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων ή/και αλλαγών της γεωηλεκτρικής δομής με τη σεισμική δραστηριότητα. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόστηκαν η μαγνητοτελλουρική (MT) μέθοδος και η μέθοδος βυθοσκόπησης παροδικών κυμάτων (TEM) κατά το 2013 στη Κρήτη, σε 15 νησιά του Νοτίου Αιγαίου (Γαύδος, Κύθηρα, Αντικύθηρα, Σαντορίνη, Ανάφη, Μήλος, Φολέγανδρος, Ίος, Αστυπάλαια, Νίσυρος, Ρόδος, Κως, Τήλος, Αμοργός, Κάρπαθος), καθώς και στη Νότια Πελοπόννησο (Καλαμάτα, Γύθειο, Γεράκι, Μονεμβασιά). Επίσης, δύο μόνιμοι μαγνητοτελλουρικοί (MT) σταθμοί εγκαταστάθηκαν για πρώτη φορά στο μέτωπο του Ελληνικού Τόξου και συγκεκριμένα στη Δυτική Κρήτη (οροπέδιο Ομαλός) και στη Ρόδο (Λάερμα) (**Εικ. 1.1**).

Για την παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση των γεωφυσικών δεδομένων από το νησί της Μήλου και πιο συγκεκριμένα έγινε μια προσπάθεια πιο λεπτομερούς γεωηλεκτρομαγνητικής μελέτης του νησιού αυτού το οποίο βρίσκεται στο Νότιο τμήμα του τόξου στο Νοτιοδυτικό Αιγαίο.

1.2 Σκοπός

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Γεωφυσική Διασκόπηση της Νήσου Μήλου με χρήση ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων» έχει σκοπό την μελέτη της δομής του υπεδάφους της Νήσου Μήλου με την εφαρμογή γεωφυσικών ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων και συγκεκριμένα, των MT και TEM.



Εικόνα 1.1 Στα πλαίσια του MT-GEAR πραγματοποιήθηκαν κατά το 2013 γεωφυσικές μετρήσεις στη Κρήτη, σε 15 νησιά του Νοτίου, καθώς και στη Νότια Πελοπόννησο. Επίσης, δύο μόνιμοι μαγνητοτελλουρικοί (MT) σταθμοί στη Δυτική Κρήτη (οροπέδιο Ομαλός) και στη Ρόδο (Λαέρμα).

1.3 Νήσος Μήλος

1.3.1 Ιστορία

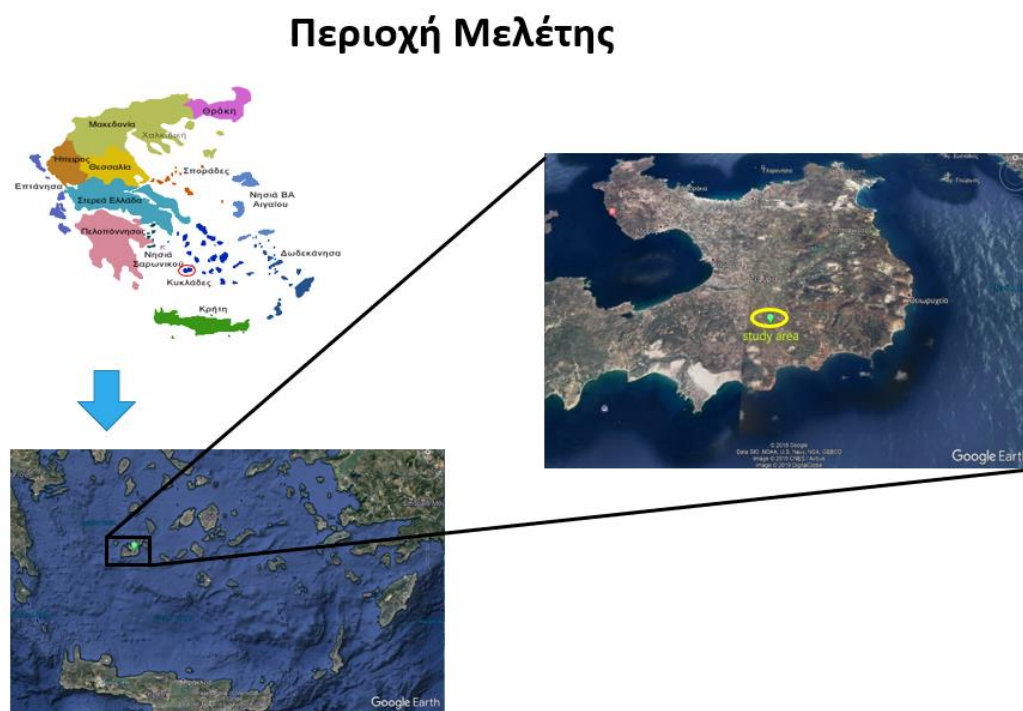
Πολλοί αρχαίοι συγγραφείς αναφέρονται στο νησί δίνοντάς του ξεχωριστά ονόματα, όπως Βιβλίσ, Γοργίς, Μιμαλλίς, Άκιτος, Ζεφυρία. Το επικρατέστερο όμως όνομά του ήταν Μήλος. Ο αρχαίος μύθος θέλει, ο πρώτος οικιστής του νησιού να ονομάζεται Μήλος. Λέγεται ότι κάποιος νέος με το όνομα αυτό έφυγε από τη Δήλο και πήγε στην Κύπρο.

Ονοματολογικά έχει διατυπωθεί η άποψη ότι το όνομα της Μήλου προέρχεται από την προελληνική λέξη "βήλος", που μεταγενέστερα εξελίχτηκε στο αρχαιολογικό "μήλος" που σήμαινε πρόβατο. Ως πρώτοι κάτοικοι του νησιού θεωρούνται οι Κάρες ή οι Φοίνικες.

Η ιστορία της Μήλου από την αρχαιότητα έως σήμερα συνδέεται κυρίως με την εξόρυξη διαφόρων ορυκτών και μεταλλευμάτων. Η σπουδαιότητα αυτής της σύνδεσης γίνεται εμφανής τόσο από τις χαμένες στα προϊστορικά χρόνια, απαρχές της εξορυκτικής δραστηριότητας, όσο και από την εντυπωσιακή της συνέχεια στον ιστορικό χρόνο μέχρι σήμερα.

1.3.2 Γεωγραφία

Η νήσος Μήλος βρίσκεται στο σύμπλεγμα των Κυκλάδων με γεωγραφικό πλάτος 36° 41' Βόρειο και γεωγραφικό μήκος 24° 25' Ανατολικό. Η επιφάνειά του ανέρχεται σε 151 km² με μήκος ακτών 126 km και έδαφος μάλλον ορεινό με χαμηλό ύψος βουνών και υψηλότερη κορυφή του Προφήτη Ηλία στα 751m. Είναι ένα ηφαιστειακό νησί, ξηρό και ανεμώδες με ετήσια βροχόπτωση κάτω των 400 mm. Οι οικισμοί του νησιού αποτελούν σήμερα τον Δήμο της Μήλου με κύριο λιμάνι στον Αδάμαντα. Οι περισσότεροι οικισμοί είναι συγκεντρωμένοι στο Β – ΒΑ μέρος του νησιού. (Αιολική Μήλου Α.Ε., 2016)



Εικόνα 1.2 :Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης (Google earth, 2019)

1.3.3 Μορφολογία

Η Μήλος έχει έκταση 151.000 στρέμματα με χαμηλό υψόμετρο γύρω στα 200 μέτρα. Η μορφολογία του νησιού εξαρτάται άμεσα από την μορφολογία της.

Στο Νοτιοδυτικό και δυτικό μέρος του νησιού οι μεγάλοι και πολυάριθμοι ηφαιστειακοί δόμοι επέδρασαν καθοριστικά στη μορφολογία του. Το μέρος αυτό είναι πιο λοφώδες σε σχέση με το ανατολικό με υψηλότερο σημείο την κορυφή

Προφήτης Ηλίας, με υψόμετρο 751 μέτρα, η οποία είναι και η υψηλότερη του νησιού. Στο ανατολικό μέρος του νησιού, η μεγαλύτερη εξάπλωση των χαλαρών και εξ αλλοιωμένων πετρωμάτων έδωσε χαμηλό ανάγλυφο. Στο τμήμα αυτό το μεγαλύτερο υψόμετρο είναι 251μ. στην Μουρτόραχη.

Οι μορφολογικές κλίσεις ποικίλουν, αλλά είναι γενικά πολύ μεγάλες στις κλιτή των ηφαιστειακών δομών (Πλάκα) και στις εξωτερικές κλιτείς των ηφαιστειακών κώνων (Φυριπλάκα) καθώς και στο σύνολο των κλιτύων του ηφαιστειακού κώνου του Προφήτη Ηλία. Πιο απότομο ανάγλυφο και μεγάλες μορφολογικές κλίσεις παρουσιάζονται στις Ανατολικές ακτές της νήσου με χαρακτηριστικές περιπτώσεις τους κρημούς της ακτογραμμής ανατολικά της περιοχής Δεμενεγάκι και Θειωρυχείων, στα μεγάλα ρήγματα (Λεκάνη Ζεφυρίας) και στα ορυχεία της ΒΑ Μήλου. **(Αναπτυξιακή Εταιρεία Κυκλάδων Α.Ε. 2001)**

1.3.4 Κλίμα

Το κλίμα της Μήλου είναι μεσογειακό και τις περισσότερες μέρες του χρόνου επικρατεί ηλιοφάνεια. Οι χειμώνες είναι ήπιοι με λίγες βροχοπτώσεις και τα καλοκαίρια είναι ζεστά με καθόλου βροχοπτώσεις. Κύριος παράγοντας δροσιάς είναι τα κυκλαδίτικα μελτέμια (βόρειοι περιοδικοί άνεμοι) που από τα μέσα του Ιουλίου μέχρι και τα μέσα Αυγούστου πνέουν σχεδόν καθημερινά.

Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού της ΕΜΥ στη Μήλο, το νησί είναι άνομβρο γενικά και η ετήσια βροχόπτωση στο νησί εκτιμάται κάτω των 400mm το χρόνο, ενώ η μέση ετήσια υγρασία είναι 811.4mm. Οι περισσότερες βροχές παρατηρούνται τον Δεκέμβριο (85mm μέσο μηνιαίο ύψος βροχής), ενώ τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι βροχές είναι ιδιαίτερα σπάνιες (0,3mm και 1.1mm μέσο μηνιαίο ύψος βροχής για τον Ιούλιο και τον Αύγουστο αντίστοιχα). **(Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2019)**

Οι μέσες **θερμοκρασίες** κυμαίνονται από 10,7οC τον Ιανουάριο ως 25,1οC τον Ιούλιο. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία και η μέση μέγιστη θερμοκρασία είναι 8,5οC τον Φεβρουάριο και 28,3οC τον Ιούλιο αντίστοιχα, δηλαδή περίπου 1 προς 3,3. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17,4οC, η μέση θερινή θερμοκρασία είναι 24οC και η μέση χειμερινή 12οC, δηλαδή η μέση θερινή είναι μόλις 2 φορές μεγαλύτερη από τη μέση χειμερινή.

1.3.5 Έδαφος

Το έδαφος της Μήλου, εκτός από μερικά μέρη του Χάλακα (Δυτική Μήλος), είναι σχετικά δύσκολο να συντηρήσει δενδρώδη βλάστηση λόγω του μικρού του βάθους και των εκλύσεων που έχει υποστεί από τις θρεπτικές και οργανικές ουσίες.

Βέβαια, σε σχέση με άλλα νησιά των Κυκλάδων λόγω της μεγαλύτερης έκτασης σε πεδιάδα, υπάρχει περισσότερη δενδρώδης βλάστηση. Γενικά όμως το μέσο βάθος του εδάφους κυμαίνεται από λίγα εκατοστά έως περίπου ένα μέτρο σε ορισμένους θύλακες που σχηματίζονται από μητρικό πέτρωμα, καθώς και σε σύγχρονες αποθέσεις χειμάρρων.



Εικόνες 1.3- 1.4 : Πετρώδη εδάφη Μήλου

1.3.6 Ηφαιστειότητα

Τα ηφαιστειακά φαινόμενα στην Μήλο φαίνεται ότι άρχισαν στο Α. Πλειόκαινο. Χρονικά προηγούνται τα πυροκλασικά πετρώματα που ακολουθούνται από μία ιγνιμβρητική σειρά περιορισμένης σύστασης. Ακολουθεί δραστηριότητα κύρια εκχύσεων που δίνει δόμους και ρεύματα λάβας ανδεσίτικης έως ρυολιθικής σύστασης. Μέρος της ίδιας δραστηριότητας είναι περιορισμένης έκτασης πυροκλασικά προϊόντα, προϊόντα από πυρακτωμένα σύννεφα καθώς και ο σχηματισμός του «πράιμου λαχάρ».

Μετά την δραστηριότητα του τύπου των εκχύσεων που αναφέρθηκε ανορθώθηκαν στην Μήλο, μερικά μεγαλύτερα ηφαιστειακά κέντρα (σειρά Φυριπλάκας-Τράχυλα). Η δραστηριότητα τους ήταν κύρια εκρηκτική και δημιουργησε στρώση από τεμάχια λάβας, κισσήρεις και τέφρες σε συνεχή εναλλαγές.

Η τελευταία αυτή δραστηριότητα τερμάτισε ουσιαστικά τον ηφαίστειο κύκλο του νησιού. Ακολούθησαν βέβαια τοφφίτες που αποτέθηκαν σε σύγχρονες εποχές αλλά όμως είναι άγνωστη η ακριβής τους τοποθέτηση. Οι σύγχρονες εκδηλώσεις περιορίζονται πλέον σε ισχυρά γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας και σε έντονη υδροθερμική δραστηριότητα. **(Αναπτυξιακή Εταιρεία Κυκλάδων Α.Ε. 2001)**

1.3.7 Υδρολογία

Η υπάρχουσα μορφολογία, η τεκτονική δομή, η ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων, η ηλικία του γεωλογικού υποβάθρου και το κλίμα επέδρασαν κατά μεγάλο βαθμό στη μορφή της ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου.

Η ύπαρξη των δόμων και των ηφαιστειακών κώνων συντελεί στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου σε ακτινοειδή μορφή. Το δίκτυο αποκλίνει από την

κεντρική υπερυψωμένη περιοχή όπως παρατηρείται στο δυτικό τμήμα του νησιού στις περιοχές Χονδρό Βουνό και Προφήτης Ηλίας, όπου τα ρέματα του Αγίου Ιωάννη, Δασίφνου, Κακοποταμός, Τούλι, Λεμονιάς και άλλα ενδιάμεσα ρέματα αποκλίνουν και δημιουργούν κενές περιοχές, δηλαδή περιοχές χωρίς υδρογραφικό δίκτυο. Η ακτινοειδής μορφή επομένων του υδρογραφικού παρατηρείται στις θέσεις εκείνες του νησιού όπου υπάρχουν δόμοι και λόφοι. Στο ανατολικό τμήμα επίσης, στη θέση Άγιοι Θεόδωροι, στη Μουρτόραχη, υπάρχει κενή περιοχή χωρίς ρέματα, λόγω απόκλισης εξαιτίας του ψηλού ανάγλυφου. Παράλληλη επίσης ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου παρατηρείται στα δυτικά και νοτιοδυτικά του νησιού όπου υπάρχουν απότομες κλιτείς των δομών και των λόφων.

Γενικά οι κύριοι κλάδοι των διαφόρων δικτύων είναι παράλληλοι μεταξύ τους, καθώς επίσης σε πολλές θέσεις και οι δευτερεύοντες κλάδοι διατάσσονται παράλληλα. Οι δευτερεύοντες κλάδοι σε πολλά σημεία συνδέονται ορθογώνιώς με τους κύριους κλάδους. Στις θέσεις Ζεφύρια, Λειβαδιά, Βουβάλια και Λουτρά, το υδρογραφικό δίκτυο λείπει ή είναι ελάχιστα ανεπτυγμένο (τυφλά ρέματα διότι δεν εκβάλλουν στη θάλασσα) εξαιτίας των πετρωμάτων τα οποία έχουν μεγάλη περατότητα. Τα συναντώμενα πετρώματα εδώ είναι αλλούβιες αποθέσεις, πρόσφατοι ηφαιστειακοί σχηματισμοί και ρεύματα λάβας που παρουσιάζουν μεγάλη περατότητα.



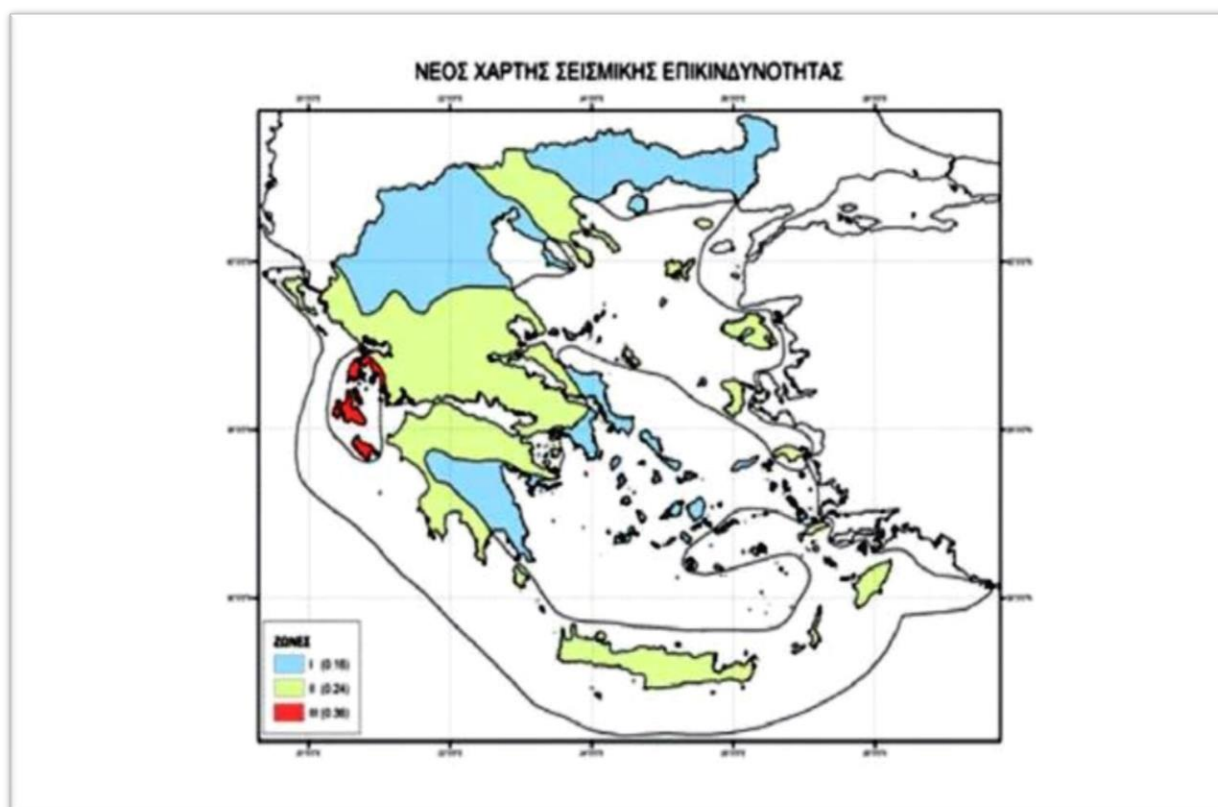
Εικόνα 1.5 : Έλος στην Νήσο Μήλο

Η περιοχή που απεικονίζεται στην φωτογραφία, καλύπτεται από μακκία, φρύγανα και λιγοστές αρόσιμες καλλιέργειες. Στην περιοχή περιλαμβάνεται μια μικρή λίμνη και παλιές αλυκές. Υπάρχουν πολλά ορυχεία και λατομεία. **(Αναπτυξιακή Εταιρεία Κυκλάδων Α.Ε. 2001)**

1.3.8 Σεισμικότητα

Τα γεωθερμικά ρευστά που κινούνται στο υπέδαφος της Μήλου είναι υπεύθυνα τόσο για την έντονη σεισμικότητα του νησιού, όσο και για την γεωθερμική του δραστηριότητα όπως αυτή φαίνεται απ' τις θερμές πηγές, τα ιαματικά νερά και τις ηφαιστειακές ατμίδες, αλλά και για την δημιουργία ορυκτών και μεταλλευμάτων σε σημαντικές ποσότητες και σε μεγάλη ποικιλία.

Η Μήλος, χαρακτηρίζεται από μικρή σεισμική επικινδυνότητα όπως παρουσιάζεται στον χάρτη βρισκόμενη στην 1η Ζώνη με τιμές ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού έως 0,16 g.



Εικόνα 1.6 :Νέος Χάρτης Σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας 2004, Πηγή: **Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας – Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων.**

1.3.9 Η οικονομία της Μήλου

Η Μήλος διαθέτει πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή τομέα. Ως προς τον πρωτογενή τομέα, η Μήλος διαθέτει αρκετές ομαλές εκτάσεις, κατάλληλες για την ανάπτυξη της γεωργίας. Η στροφή σε άλλους τομείς δραστηριότητας (εξόρυξη, τουρισμός) λειτούργησε εις βάρος της διατήρησης της γεωργίας. Η γεωργική γη συγκεντρώνεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στο ανατολικό τμήμα του νησιού. Τα εδάφη του νησιού είναι ιδιαίτερα παραγωγικά, γιατί λόγω της ηφαιστειακής τους

προέλευσης είναι πλούσια σε μέταλλα. Η κτηνοτροφία δεν αποτελεί έναν δυναμικό κλάδο απασχόλησης καθώς και ο ζωικός πληθυσμός του νησιού είναι μικρός.

Ως προς τον δευτερογενή τομέα, εξαιτίας της γεωλογικής τους προέλευσης, τα νησιά του συμπλέγματος διαθέτουν ιδιαίτερα αξιόλογο ορυκτό πλούτο και η εξορυκτική δραστηριότητα αποτέλεσε βασικό οικονομικό πόρο. Ο τομέας της εξόρυξης απορρόφησε το μεγαλύτερο μέρος του εργατικού δυναμικού της Μήλου. **(Αναπτυξιακή Εταιρεία Κυκλάδων Α.Ε., 2001)**



Εικόνα 1.7 : Ορυχείο της Αγίας Ειρήνης-Αγγεριά

Οι εξορυκτικοί χώροι είναι διάσπαρτοι σε όλη τη Μήλο, με έντονη συγκέντρωση των σημερινών ενεργών ορυχείων στο ΒΑ τμήμα της Μήλου. Από τα ορυκτά που κατά καιρούς εξορύχτηκαν ή συνεχίζουν να εξορύσσονται αξίζει να αναφερθούν, από τα χαρακτηριζόμενα ως «μεταλλευτικά», η βαρυτίνη, ο αλλουνίτης, το μαγγανιομετάλλευμα και το θειάφι, ενώ από τα «βιομηχανικά», η ποζολάνη, ο περλίτης, ο μπετονίτης και ο καολίνης.

Στις οικονομικές δραστηριότητες του δευτερογενή τομέα, αναφέρεται και η λειτουργία δύο ελαιοτριβείων στην Τρυπητή και τον Πέρα Τριοβάσαλο. Όσον αφορά στην μεταποίηση, αυτή περιορίστηκε στα πλαίσια της οικοτεχνίας και των ατομικών εργαστηρίων παραγωγής χειροτεχνημάτων που προορίζονται για τουριστική κατανάλωση κατά τη θερινή περίοδο. Τα ίδια φαινόμενα σχετικής υποτονικότητας παρατηρούνται και στο εμπόριο, που παρουσιάζει αιχμή μόνο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Τέλος, ως προς τον τριτογενή τομέα, μέχρι και την δεκαετία του 1980 ο τουρισμός στην Μήλο δεν είχε αναπτυχθεί ιδιαίτερα. Όμως, το ιδιαίτερο αξιόλογο φυσικό τοπίο του νησιού αρχίζει σιγά- σιγά να εκτιμάται από τους τουρίστες, που χρόνο με τον χρόνο αρχίζουν να εισρέανε σε αυξανόμενα επίπεδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΜΗΛΟΥ

2.1 Γεωλογική δομή Μήλου

Το γεωλογικό υπόβαθρο της Μήλου ανήκει στην μεταμορφωμένη Αττικοκυκλαδίτικη Μάζα της Πελαγονικής Ζώνης. Το νησί είναι κυρίως ηφαιστειακό και αποτελεί τμήμα του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου. Το τόξο σχηματίστηκε παράλληλα με το όριο των λιθοσφαιρικών πλακών της Αφρικής και του Αιγαίου. Έχει διαπιστωθεί ότι η Αφρικάνικη πλάκα βυθίζεται κάτω από αυτήν του Αιγαίου. Τα πετρώματα της Αφρικανικής πλάκας κάτω από συνθήκες μεγάλης πίεσης και θερμοκρασίας, λιώνουν, ανεβαίνουν προς τα πάνω βρίσκοντας διέξοδο μέσα από ρήγματα βγαίνουν προς την επιφάνεια σχηματίζοντας το ηφαιστειακό τόξο.

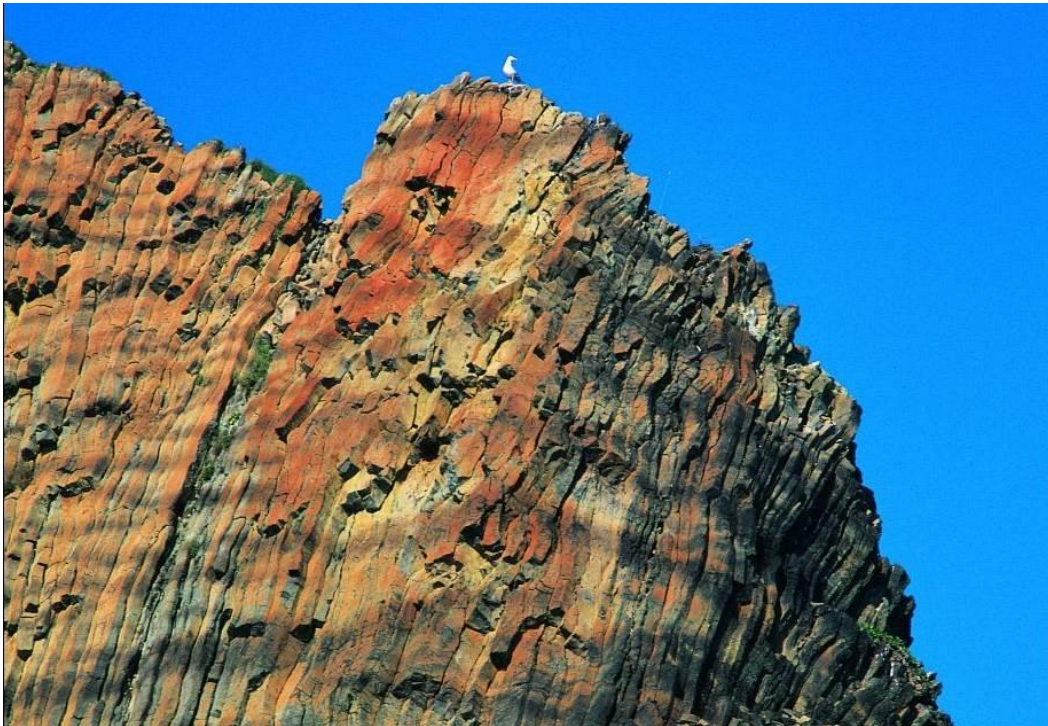
Στην Ελλάδα ιδιαίτερα έντονη ηφαιστειακή δράση είχαμε στο γεωλογικό παρελθόν μόνο κατά μήκος του Ελληνικού ηφαιστειακού τόξου. Το ηφαιστειακό τόξο δημιουργήθηκε και αυτό εξαιτίας της σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών στην περιοχή του Αιγαίου. Περιλαμβάνει τα ηφαίστεια στο Σουσάκι, στα Μέθανα, στη Σαντορίνη, στη Μήλο και στη Νίσυρο. Κατά τους ιστορικούς χρόνους πραγματοποιήθηκαν εκρήξεις μόνο στα τρία εξ αυτών, στην Σαντορίνη στη Νίσυρο και στα Μέθανα (ενεργά ηφαίστεια). **(Ηφαιστειακό Τόξο στην Ελλάδα, 2019)**



Εικόνα 2.1 : Το ηφαιστειακό τόξο στην Ελλάδα

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα στο χώρο της Μήλου άρχισε πριν από 2 εκατομμύρια χρόνια. Τα ρήγματα της Μήλου που έχουν διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ, Α-Δ, και Β-Ν είναι αυτά που επέτρεψαν την άνοδο των μαγμάτων. Αποτέλεσμα ήταν ο εμπλουτισμός του υπεδάφους του νησιού με πλήθος ορυκτών, μεταλλευμάτων και γεωθερμικών ρευστών.

Τα παλαιότερα πετρώματα της Μήλου είναι μεταμορφωμένα, και πάνω σε αυτά βρίσκονται θαλάσσια νεογενή ιζηματογενή πετρώματα και ακολουθούν τα προϊόντα της ηφαιστειακής δράσης. Σε κάποιες περιοχές υπάρχουν και αλλουβιακές αποθέσεις.



Εικόνα 2.2 : Ηφαιστειογενής αποθέσεις πάνω σε πετρώματα

Το στρωματογραφικό υπόβαθρο του νησιού από κάτω προς τα πάνω είναι :

- Το κρυσταλλοσχιστώδες που έχει επιζωνική μεταμόρφωση. Αποτελείται από σχιστόλιθους πρασινίτες και ασβεστολιθικές.
- Η Νεογενής σειρά που δεν είναι συνεχής και αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους.



Εικόνα 2.3: Απεικονίζονται σχιστόλιθοι

- Τα ηφαιστειακά ασβεστοαλκαλικά (ανδεσιτικά) που είναι τα :
 - a. Εκρηξιγενή που αποτελούνται από όξινους τόφφους, τοφφίτες κ.ά.
 - b. Πετρώματα που σχηματίστηκαν με έκχυση και αποτελούνται από δόμους, εύματα λάβας ανδεσίτικης δοτικής και ρυολιθικής σύστασης.
 - c. Ρυολιθικά προϊόντα και λαχάρ (πυρακτωμένα νέφη) κ.ά.



Εικόνα 2.4: Μαύρος ανδεσίτης

- Οι Αλουβιακές αποθέσεις που έχουν σημαντικό πάχος μόνο στην πεδιάδα της Μήλου

2.2 Πετρώματα και ορυκτά της Μήλου

Το 1952 είναι το εναρκτήριο έτος της σύγχρονης περιόδου εξόρυξης και εμπορίας των ορυκτών της Μήλου. Η εταιρεία του χημικού μηχανικού Γ.Μπούρλου εγκαθίσταται στη Μήλο και ασχολείται με την εξόρυξη και εμπορία Μπετονίτη και Καολίνη. Η εκμετάλλευση των δύο αυτών ορυκτών, αλλά κυρίως του Μπετονίτη και του Περγλίτη προκαλούν την γιγάντωση της σύγχρονης εξορυκτικής δραστηριότητας στη Μήλο. Η επιφανειακή εξόρυξη όλων των παραπάνω ορυκτών σε τεράστιες ποσότητες είναι αυτή που δημιουργεί τα οποιαδήποτε προβλήματα στο περιβάλλον της Μήλου. (Περιβαλλοντική ομάδα Ενιαίου Λυκείου Μήλου 2000)

2.2.1 Μπετονίτης

Ο Μπετονίτης είναι πλαστική άργιλος που εξορύσσεται από επιφανειακά ορυχεία. Προέρχεται από την εξαλλοίωση ηφαιστειακών πετρωμάτων και έχει την ικανότητα να απορροφά περισσότερο νερό και να διογκώνεται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από άλλες πλαστικές άργιλους. Ορυκτολογικά αποτελείται από μοντροιλλονίτη και σε μικρότερη αναλογία από βαϊδελλίτη ή και άλλα ορυκτά της ομάδας του μοντροιλλονίτη.

Ανάλογα με τα προσροφημένα κατιόντα χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, σε μπετονίτη νατρίου και μπετονίτη ασβεστίου. Όμως τα προσροφημένα κατιόντα μπορούν να εναλλαχθούν και να γίνει μετατροπή ενός φυσικού μπετονίτη ασβεστίου σε μπετονίτη νατρίου. Ο μπετονίτης της Μήλου είναι ασβεστούχος και είναι χαμηλότερης απορροφητικότητας από τον νατριούχο, άρα και χαμηλότερης ποιότητας. Για αυτό τον λόγο ο μπετονίτης της Μήλου, εκτός από το να ξηραίνεται, ταυτόχρονα αναμιγνύεται με σόδα (άνυδρο ανθρακικό νάτριο), για να γίνει η ενεργοποίηση του και η μετατροπή του από ασβεστούχο σε νατριούχο μπετονίτη.

Οι χρήσεις του ανά τομέα και αγορές είναι :

- Σίδηρος και Χάλυβας – Χυτήρια
Συνδετικό υλικό στην σφαιροποίηση σιδηρομεταλλεύματος, συνδετικό υλικό της άμμου καλουπιών για χυτήρια
- Προστασία Περιβάλλοντος – έργα Πολιτικού Μηχανικού
Μονωτικό υλικό για στεγανοποίηση δεξαμενών και χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Θιξοτροπικό πρόσθετο σε αιωρήματα εκσκαφών και θεμελιώσεων.

- Γεωτρήσεις Πετρελαίου
Θιξοτροπικό πρόσθετο στην λάσπη γεωτρήσεων.
- Προσοφητικά υλικά
Προσοφητική άμμος υγιεινής για κατοικίδια ζώα
- Ειδικές εφαρμογές
Πρόσθετο υλικό σε απορρυπαντικά, ενισχύσεις από γεωσυνθετική άργιλο, αφυγραντικά, οργανοφιλικές αργίλους.

2.2.2 Περλίτης

Ο περλίτης είναι φυσικό ηφαιστειακό γυαλί με παγιδευμένο νερό στη μάζα του. Το γυαλί αυτό σχηματίζεται με την απότομη ψύξη και στερεοποίηση ηφαιστειακής λάβας. Στην ύπαρξη του παγιδευμένου νερού οφείλεται η πιο σημαντική ικανότητα του να διογκώνεται σε θερμοκρασία 800-950 βαθμούς Κελσίου. Με την εξάτμιση του παγιδευμένου νερού λόγω της απότομης θέρμανσης, ο περλίτης διογκώνεται σχηματίζοντας μία λευκή μάζα που αποτελείται από μικροσκοπικές γυάλινες φυσαλίδες. Ο αρχικός του όγκος αυξάνεται δέκα έως και είκοσι φορές με αντίστοιχη ελάττωση του ειδικού του βάρους. Η δομή του διογκωμένου περλίτη παρουσιάζει ξεχωριστές ιδιότητες θερμικής και ηχητικής μόνωσης. Οι χρήσεις του ανά τομέα και αγορά είναι :

- Δομικά υλικά – Επιχρίσματα
Πλάκες οροφής, χωρίσματα χώρων, σοβάδες, κονιάματα, ελαφρά σκυροδέματα, μονωτικό υλικό.
- Γεωργικές χρήσεις και Διήθηση υγρών
Υπόστρωμα ανάπτυξης σε υδροπονικές καλλιέργειες, μέσα διήθησης ποτών, εδώδιμων ελαίων, χημικών και πετρελαϊκών προϊόντων
- Βιομηχανικές χρήσεις
Κρυογενική μόνωση σε μεταφορά και αποθήκευση υγροποιημένων αερίων. Πυρίμαχες εφαρμογές σε χυτήρια, πρόσθετο στην παραγωγή φωσφορικού οξέος.

2.2.3 Καολίνης

Ο Καολίνης είναι πυριτικό ορυκτό, είναι η κυριότερη ποικιλία αργίλου και αποτελεί προϊόν αποσαθρώσεως πλουτονιών και ηφαισθητών. Κρυσταλλώνεται στην ολοεδρία του μονοκλινούς συστήματος, σε εξαγωνικά μικρά εύκαμπα πλακίδια. Έχει μικρή σκληρότητα, αλλά με διάφορες προσμίξεις η σκληρότητα του αυξάνει. Είναι λευκός με λάμψη μαργαριτοειδή, αν είναι χωρίς ξένες προσμίξεις. Με προσμίξεις, όπως οξειδίων του σιδήρου, εμφανίζεται κίτρινος ή ερυθρωπός.

Ο καολίνης αποτελεί ορυκτό προϊόν της Μήλου με διαχρονικότητα στην εκμετάλλευσή του. Η ονομασία του κατά την αρχαιότητα ήταν 'Μήλινο' και οι αρχαίοι τον χρησιμοποιούσαν στην ζωγραφική για να πετύχουν το λευκό χρώμα.

Ο καθαρός καολίνης χωρίς ξένες προσμίξεις παλαιότερα χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην κατασκευή πορσελάνης, ενώ στην σύγχρονη εποχή χρησιμοποιείται πολύ στην καλλυντική βιομηχανία. Ο μη καθαρός χρησιμοποιείται στη βιομηχανία χάρτου και στην ταπητουργία, ενώ είναι γνωστή και η χρήση του για την παραγωγή λευκού τσιμέντου.

2.2.4 Θείο

Από τα αρχαιότερα μετά τον οψιδιανό εξορυσσόμενα ορυκτά. Από τους Μινωικούς χρόνους ήδη χρησιμοποιούνταν στην καλλιέργεια των αμπελιών. Από τις περιοχές της Μήλου που βρέθηκε και εξορύχτηκε το θείο, σημαντικότερη στη νεότερη περίοδο είναι αυτή στο Παλιόρεμα (Θειορυχεία).



Εικόνα 2.5 : Παλιό Θειορυχείο νήσου Μήλου

Από τότε μέχρι και το 1958 που σταματάνε τα Θειορυχεία οριστικά την λειτουργία τους, λόγο κυρίως της παραγωγής φτηνού θείου από τις μονάδες διύλισης πετρελαίου, εξορύσσονται και επεξεργάζονται στην περιοχή χιλιάδες τόνοι θειούχου μεταλλεύματος.

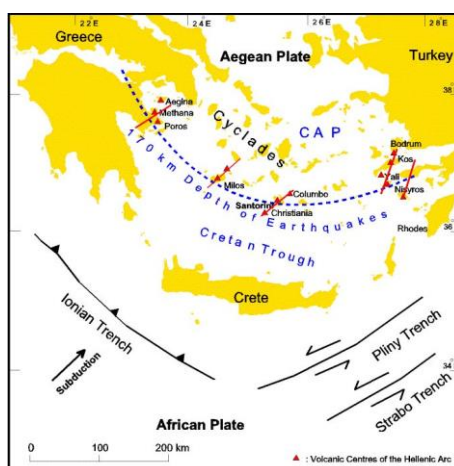
Δημιουργείται ένα σημαντικό βιομηχανικό συγκρότημα, με ένα μεγάλο για τα δεδομένα της Μήλου αριθμό εργαζομένων. Ο τόπος εργασίας είναι και τόπος κατοικίας για αυτούς.

Τα κτίρια, τα μηχανήματα και γενικότερα τα αποτελέσματα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε αυτή την περιοχή αποτελούν ένα σημαντικό βιομηχανικό μνημείο που επιβάλλεται να διασωθεί για τη διατήρηση της μνήμης των επερχόμενων γενεών. Θα μπορούσε αυτό να αποτελέσει έναν πόλο έλξης εναλλακτικού τουρισμού. (Καλυκάκη, 1996).

Οι γραπτές αναφορές και οι μαρτυρίες αναδεικνύουν όρους εργασίας, διαμονής και πληρωμής προσβλητικούς για τον πολιτισμό μας, ενδεικτικούς ταυτόχρονα των όρων ανάπτυξης της ελληνικής βιομηχανίας κατά το τέλος του 19^{ου} αιώνα μέχρι και τα μέσα του 20^{ου}. Όρους ληστρικούς τόσο απέναντι στο περιβάλλον όσο και στους εργαζόμενους.

2.3 Γεωτεκτονική Μήλου

Η Μήλος βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του επονομαζόμενου ενεργού ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου και γεωτεκτονικά ανήκει στην κεντρική-δυτική κρυσταλλική ακολουθία του Αιγαίου.



Εικόνα 2.6 : Ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου, Πηγή : **Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας (2019)**

Τέσσερις κύριες διευθύνσεις ρηγμάτων έχουν αναγνωριστεί στο νησί της Μήλου :

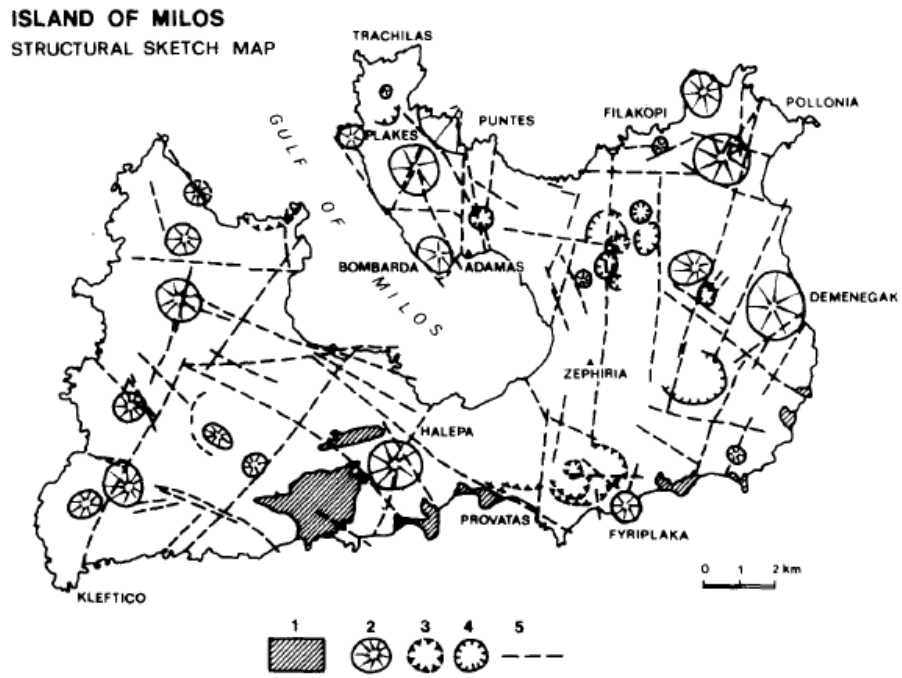
1. Η **ΒΔ-ΝΑ**, που κυρίως επέδρασε και τεκτονικά καθόρισε το μεταμορφικό υπόβαθρο. Αυτή η διεύθυνση είναι παράλληλη στο ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου και είναι η κύρια κατεύθυνση της περιθωριακής ρηματογόνου ζώνης των νεογενών λεκανών στις δυτικές Κυκλάδες και στο ΝΔ Πελοπόννησο. Επιπλέον, η κατεύθυνση περιλαμβάνει τη μεγάλη τάφρο του κόλπου της Μήλου, την πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα στις περιοχές Τράχηλα και Φυριπλάκα (ανατολική Μήλος) και το αντίστοιχο κέρασ της περιοχής Προφήτης Ηλίας-Χονδρό Βουνό (δυτική Μήλος).
2. Η **Α-Δ**, η οποία θεωρείται ότι είναι το αποτέλεσμα δύο χρονολογικά διαφορετικών διαδικασιών. Η παλαιότερη, η οποία σχετίζεται με εκείνες τις σειρές της τεκτονικής δραστηριότητας που επηρέασαν το υπόβαθρο και μια επικείμενη η οποία αντιστοιχεί στην επαναδραστηριοποίηση της προηγούμενης διαδικασίας και που σχετίζεται με την τοποθέτηση των υπερκείμενων σειρών. Η νεότερη χρονολογικά, πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια του Τεταρτογενούς. Αυτή η τεκτονική φάση αφορούσε όλο το ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου κατά το Τεταρτογενές και χαρακτηρίζεται από μεγάλα μπλοκ ρηματομένων δομών. Σε αυτή την τεκτονική φορά ανήκει η τάφρος Αμμουδαράκι-Ντασίφνος-Πλακωτά-Ριβάρι στο κεντρικό τμήμα της Μήλου. Αυτό το σετ ρηγμάτων επηρέασε όλους τους τύπους πετρωμάτων της Μήλου.
3. η **Β-Ν**, που επηρέασε τόσο το μεταμορφωμένο υπόβαθρο όσο και τον υπερκείμενο μαγματικό σωρό. Θεωρείται ότι η φορά αυτή είναι υπεύθυνη για την άνοδο του μάγματος αλλά και υπεύθυνη για την τοποθέτηση μερικών από τους δόμους στη δυτική Μήλο κατά μήκος αυτής της κατεύθυνσης. Οι Β-Ν δομές των τάφρων και των κεράτων στη Μήλο περιλαμβάνουν την τάφρο στη Ζεφυρία (ανατολική Μήλος), το κέρασ της Χαλέπας (κεντρικό τμήμα της νότιας Μήλου) και ένα μικρό κέρασ που αποκαλύπτει πετρώματα του υποβάθρου ανατολικά από το βουνό του Προφήτη Ηλία (δυτική Μήλος).
4. Η **ΒΑ-ΝΔ**, η οποία είναι περίπου κανονική ως προς τον άξονα του εξωτερικού (νοτίου) ιζηματογενούς τόξου. Αυτή είναι επίσης η φορά για τα κύρια γεωμορφολογικά γνωρίσματα του νησιού. Οι τοποθεσίες των επικέντρων των σεισμών υποδεικνύουν ότι οι ίδιες οριζοντιολισθητικές δομές διευκόλυναν την πλάγια σύγκλιση μέσω επαναδραστηριοποίησης κατά τη διάρκεια διαδοχικών σεισμών.

2.4 Ηφαιστειακή δραστηριότητα

Η εκτεταμένη ηφαιστειακή δραστηριότητα στην περιοχή της Μήλου άρχισε στο μέσο έως ανώτερο Πλειόκαινο ως επακόλουθο της υποβύθισης, με φορά προς το βορρά, της αφρικανικής πλάκας κάτω από τη μικροπλάκα του Αιγαίου (Fytikas et al., 1984). Η υποβύθιση άρχισε στο μέσο Μειόκαινο (Le Pichon and Angelier, 1981), και η οποία είναι υπεύθυνη για τον σχηματισμό του ανδσειτικού μάγματος, μάγμα το οποίο είναι υπεύθυνο για την ηφαιστειακή δραστηριότητα που έλαβε χώρα στο ενεργό ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου και η οποία “μετέβει” από τον Σαρωνικό κόλπο στα δυτικά, μέσω του νησιωτικού συμπλέγματος της Μήλου, στο νησί της Νισύρου στα ανατολικά. Νεοτεκτονικές και γεωφυσικές πληροφορίες (Le Pichon and Angelier, 1981) σε συνδυασμό με ηφαιστειολογικά, πετρογενετικά και γεωχημικά στοιχεία (Fytikas et al., 1984), οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου, π.χ. στη Μήλο, ένα ισχυρό εντατικό τεκτονικό καθεστώς επέτρεψε στο μάγμα να ανέλθει και να σχηματίσει μεγάλους μαγματικούς θαλάμους κοντά στην επιφάνεια.

Στην Μήλο συναντώνται πέντε χαρακτηριστικές ηφαιστειακές ενότητες, οι οποίες είναι (από την νεότερη στην αρχαιότερη) : α) προϊόντα φρεατικής δραστηριότητας (2,6 εκατ. χρόνια έως σήμερα), β) όξινο σύμπλεγμα Τραχήλας και Φυριπλάκας (1,8 εκατ. χρόνια έως 0,01 εκατ. χρόνια πριν), γ) πυροκλαστικές σειρές (3,5 με 2 εκατ. χρόνια πριν), δ) σύμπλεγμα δόμων και ρών λάβας (3,6 με 2,6 εκατ. χρόνια πριν) και ε) βασικές πυροκλαστικές σειρές (4,5 με 2,6 εκατ. χρόνια πριν).

Αξίζει να σημειωθεί πως η αναπαράσταση των ηφαιστειακών φαινομένων που έλαβαν χώρα στην περιοχή της Μήλου είναι ιδιαίτερα δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητας αυτής, λόγω των έντονων τεκτονικών γεγονότων και της βαθιάς υδροθερμικής μεταμόρφωσης των ηφαιστειτών. Μια μικρή αποτύπωση της προαναφερθείσας ηφαιστειακής δράσης έλαβε χώρα τοπικά μέσα από συνδυασμό στρωματογραφικών συσχετίσεων μαζί με παλαιοντολογικά και κυρίως γεωχρονολογικά δεδομένα.



Εικόνα 2.7: Ηφαιστειακές ενότητες νήσου Μήλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Εισαγωγή

Γεωφυσική είναι μια από τις επιστήμες που με βάση τους νόμους της φυσικής χρησιμοποιείται για να μελετήσει τις φυσικές ιδιότητες της Γης. Ο όρος γεωφυσική όμως έχει ευρεία έννοια γι αυτό το λόγο έχει επικρατήσει ο όρος αυτός να ταυτίζεται με την έρευνα του υπεδάφους ενώ για τις άλλες επιστήμες χρησιμοποιούνται πιο ειδικευμένοι όροι. Επομένως η γεωφυσική χρησιμοποιεί μεθόδους μέτρησης φυσικών μεγεθών στην επιφάνεια του εδάφους, χωρίς να το καταστρέφει. Όλες αυτές οι μέθοδοι της γεωφυσικής λέγονται "μη-καταστροφικές" και είναι συνεπώς φιλικές προς το περιβάλλον.

Η γεωφυσική έρευνα βασίζεται στη συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία των γεωφυσικών παρατηρήσεων που γίνονται απευθείας στη φύση με γεωφυσικά όργανα. Οι φυσικές παράμετροι του εδάφους είναι η ηλεκτρική του αντίσταση, η επιδεκτικότητα, η πυκνότητα, η θερμοκρασία, οι ελαστικές σταθερές, η πίεση κλπ. Μέσα από αυτές τις μετρήσεις και τον συνδυασμό τους αποκαλύπτεται σιγά σιγά η εικόνα του υπεδάφους δίνοντας μας πληροφορίες τόσο για την φυσική κατάσταση και σύσταση του υλικού και τις κινήσεις του, όσο και για τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό της γης.

Η εφαρμογή διαφόρων γεωφυσικών μεθόδων, καθώς και η ανάπτυξη και εξέλιξη νέων γεωφυσικών τεχνολογιών, παρείχαν πολλές πληροφορίες για το υπέδαφος χωρίς την απαραίτητη διάτρησή του. Οι γεωφυσικές διασκοπίσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν, στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε γεωτρήσεις, σε θέσεις μεταλλείων και μέσα σε στοές.

Για να εκτελέσουμε σωστά τις γεωφυσικές μετρήσεις και για την επίλυση του προβλήματος, απαιτείται η πλευρική και κατακόρυφη διαφοροποίηση των σχηματισμών ως προς τις φυσικές τους ιδιότητες. Ο εντοπισμός μίας διαφοροποίησης στις φυσικές ιδιότητες, συνδέεται με τον εντοπισμό διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών ή τεκτονικών ασυνεχειών. Το παραπάνω δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις, γιατί διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί μπορούν να έχουν παρόμοιες ή ίδιες φυσικές ιδιότητες.

3.1.1 Φυσικές ιδιότητες

Οι φυσικές ιδιότητες σχετίζονται με το έδαφος και τα πετρώματα. Οι γεωφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούν διάφορες από αυτές. Οι κύριες φυσικές ιδιότητες και οι μέθοδοι που σχετίζονται με αυτές απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα.

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

Πίνακας 3.1 : Φυσικές ιδιότητες και οι γεωφυσικές τους μέθοδοι

3.1.2 Στάδια γεωφυσικών διασκοπήσεων

Οι γεωφυσικές διασκοπίσεις περιλαμβάνουν 3 στάδια :

- ❖ Την σχεδίαση έργου, την εκτέλεση μετρήσεων και την οικονομοτεχνική μελέτη.
- ❖ Την εκτέλεση των μετρήσεων καθώς και την συλλογή των δεδομένων.
- ❖ Την επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων.

Το πρώτο στάδιο μελέτης είναι πολύ σημαντικό. Επιλέγουμε την σωστότερη μεθοδολογία και τους παραμέτρους που έχουν σχέση με αυτήν, καθώς και τα όργανα εφαρμογής της μεθόδου ώστε να η έρευνα να επιτύχει. Όσο πιο σωστή είναι η εκτέλεση των μετρήσεων υπαίθρου τόσο ευκολότερη θα είναι η επεξεργασία και η ερμηνεία των δεδομένων μας.

3.1.3 Κατηγορίες γεωφυσικών μεθόδων

- 1. Ηλεκτρική μέθοδος:** Οι περισσότερες ηλεκτρικές μέθοδοι της Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής βασίζονται σε διαφορές επί της ηλεκτρικής αγωγιμότητας την οποία παρουσιάζουν τα πετρώματα του ανώτερου τμήματος του φλοιού της Γης, ανάλογα με το είδος και τη φυσική τους κατάσταση. Στα συμπαγή πετρώματα και στα ξηρά εδάφη η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μηδενική, ενώ

στα πορώδη πετρώματα και τα υγρά εδάφη αποκτά σημαντικές τιμές. Συνεπώς, η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ή της ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων, παρέχει υπό ορισμένες προϋποθέσεις τη δυνατότητα να εκτιμήσουμε τη σύσταση των στρωμάτων του υπεδάφους. Οι ηλεκτρικές μέθοδοι διασκόπησης του εδάφους διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: **(α)** τις μεθόδους κατά τις οποίες χρησιμοποιούνται τα υφιστάμενα φυσικά ηλεκτρικά πεδία και **(β)** τις μεθόδους κατά τις οποίες δημιουργούνται τεχνητά ηλεκτρικά πεδία.

- 2. Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος:** Οι ηλεκτρομαγνητικές ή επαγωγικές μέθοδοι διασκόπησης βασίζονται στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και έχουν ως κύριο πεδίο εφαρμογής την αναζήτηση και τον εντοπισμό κοιτασμάτων μεταλλικών κυρίως ορυκτών, ευρισκόμενων εντός μη αγώγιμων πετρωμάτων. Σύμφωνα με τον νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, εάν εντός χρονικά μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου βρεθεί αγώγιμο σώμα, επάγονται εντός αυτού εναλλασσόμενα ρεύματα, των οποίων οι γραμμές ροής είναι κλειστοί βρόχοι, κάθετοι προς τη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου. Τα ρεύματα αυτά δημιουργούν δευτερογενές μαγνητικό πεδίο και σε κάθε σημείο του χώρου το ολικό πεδίο ισούται με τη συνισταμένη του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος πεδίου. Εάν συνεπώς δημιουργήσουμε στο υπέδαφος ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, ένα τυχόν υπάρχον εντός του υπεδάφους αγώγιμο σώμα θα καταστεί πηγή δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου, το οποίο θα επιφέρει τοπική παραμόρφωση στο πρωτεύον πεδίο. Η παραμόρφωση αυτή μπορεί να ανιχνευθεί με κατάλληλες μετρήσεις στην επιφάνεια και να οδηγήσει στον εντοπισμό του αγώγιμου σώματος.
- 3. Σεισμική μέθοδος :** Οι σεισμικές μέθοδοι διερεύνησης του υπεδάφους βασίζονται στην αρχή ότι τα ελαστικά κύματα τα οποία δημιουργούνται τεχνητά, παραδείγματος χάριν με την έναυση εκρηκτικής ύλης ή με κρούσεις στο έδαφος, κινούνται μέσα στο υπέδαφος με ταχύτητα η οποία εξαρτάται από την πυκνότητα των ελαστικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων. Για τη σεισμική διασκόπηση του υπεδάφους αναπτύχθηκαν δύο μέθοδοι: Η μέθοδος διάθλασης και η μέθοδος ανάκλασης.
- 4. 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.

- 5. 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.
- 6. Ραδιομετρικές Μέθοδοι Διασκόπησης:** Οι ραδιομετρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ραδιοακτινοβολίας που εκπέμπεται από πυρήνες στοιχείων μεγάλου ατομικού αριθμού.

3.1.4 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 ιδιότητες του.

3.1.5 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 αγώγιμων σωμάτων σε μεγάλα βάθη, όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγώγιμο.

Όμως, οι μέθοδοι αυτοί εκτελούν καταγραφές σε μικρά βάθη. Για τον λόγο αυτό εφαρμόζονται στη διασκόπηση των μεταλλευμάτων και όχι του πετρελαίου.

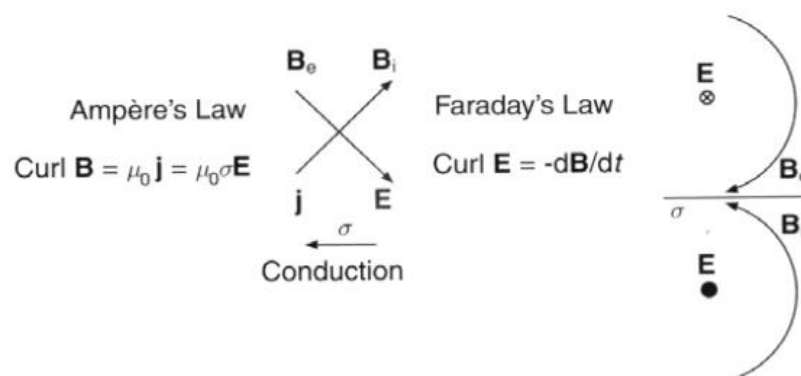
3.2 Μαγνητοτελλουρικές Μέθοδοι (MT)

3.2.1 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 3.1 : Εξισώσεις Maxwell

3.2.2 Φυσικές πηγές του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου της Γης

Τα φυσικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία παράγονται από εξαιρετικά πολλές και διαφορετικές διεργασίες και πηγές που εκτείνονται από τον πυρήνα της Γης μέχρι τα άκρα του Σύμπαντος. Υπάρχουν δύο κύριες πηγές φυσικών πεδίων τις οποίες εκμεταλλεύεται η Μαγνητοτελλουρική Μέθοδος. Η πρώτη οφείλεται στην περίπλοκη αλληλεπίδραση της Ιονόσφαιρας και της Μαγνητόσφαιρας με τη ροή πλάσματος που εκτοξεύεται από τον Ήλιο (Ηλιακός άνεμος) και παράγει H/M κύματα με συχνότητες 0.0005-1Hz, ενώ η δεύτερη αφορά τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (1-400Hz) τα οποία παράγονται στην Ιονόσφαιρα από τις εκφορτίσεις των κεραυνών (αστραπές).

Το εύρος των συχνοτήτων που χρησιμοποιεί η Μαγνητοτελλουρική Μέθοδος και το οποίο παράγεται από τις πηγές αυτές κυμαίνεται από 0.0005 έως 103 Hz. Το ευρύ αυτό φάσμα των φυσικών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων απεικονίζεται στο παρακάτω γράφημα.

Ηλιακή δραστηριότητα (Ηλιακός Άνεμος)

Η μαγνητόσφαιρα είναι η περιοχή γύρω από τη Γη όπου το κύριο μαγνητικό πεδίο της τελευταίας παγιδεύεται από τον ηλιακό άνεμο. Περιλαμβάνει την Ιονόσφαιρα και την Ατμόσφαιρα (**Rostoker 1979, in Vodoff 1993**) ενώ περιέχει αέρια όπως το οξυγόνο και το άζωτο, η πυκνότητα των οποίων ελαττώνεται συναρτησίως του ύψους. Τα αέρια αυτά ιονίζονται από την υπεριώδη και λοιπή ηλιακή ακτινοβολία που ουσιαστικά τα μετατρέπει σε πλάσμα. Σε υψόμετρα όμως μικρότερα των 100Km από την επιφάνεια της Γης, η υψηλή πίεση που επικρατεί αναγκάζει τα ιόντα να επανασυνδέονται ταχέως με αποτέλεσμα αυτά να μειώνονται στον αριθμό, και τα αέρια να είναι (σχεδόν) ηλεκτρικώς ουδέτερα. Ο μηχανισμός αυτός είναι υπεύθυνος και για τον καθορισμό της Ατμόσφαιρας. Σε υψόμετρα άνω των 100Km, τα ιόντα δεν επανασυνδέονται και η πυκνότητα των φορτισμένων σωματιδίων αυξάνει ταχύτατα και συνεχώς έως τα 250Km περίπου. Όμως από το ύψος αυτό η πυκνότητα αρχίζει να ελαττώνεται εκ νέου με ταυτόχρονη τώρα μείωση και της πίεσης. Η περιοχή αυτή της σχετικά υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ονομάζεται Ιονόσφαιρα.

Η Ιονόσφαιρα όπως και ολόκληρη η μαγνητόσφαιρα είναι ένας έντονα ανισοτροπικός αγωγός εντός του οποίου λαμβάνουν χώρα διάφορα φαινόμενα. Τα φαινόμενα αυτά είναι πηγές ακτινοβολίας ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ULF(συχνότητες < 1Hz) προς την ατμόσφαιρα. Συγκεκριμένα, το μαγνητικό πεδίο ασκεί μια δύναμη σε κάθε κινούμενο φορτίο κάθετα στην διεύθυνσή του και κάθετα στο ίδιο το μαγνητικό πεδίο. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο ένα ηλεκτρικό πεδίο σε μια διεύθυνση μπορεί να παράγει ρεύματα σε άλλες διευθύνσεις. (**Parkinson 1983 in Vozoff 1993**)

Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο προκειμένου να φτάσει στην επιφάνεια της γης από την μαγνητόσφαιρα πρέπει να ταξιδέψει μέσα από την ιονόσφαιρα και ακολούθως μέσα και από την ατμόσφαιρα η οποία θεωρείται μονωτικό υλικό. Το κατακόρυφο ηλεκτρικό (E) και μαγνητικό (H) πεδίο δεν διεισδύει στην ιονόσφαιρα και έτσι οι οριζόντιες συνιστώσες είναι ισχυρά τροποποιημένες (HughesandSouthwood,1976a; 1976b, Orr, 1984). Επιπρόσθετα, οριζόντια ιονοσφαιρικά ρεύματα δημιουργούνται από αυτή την αλληλεπίδραση με αποτέλεσμα οι διακυμάνσεις του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που παρατηρούνται στην επιφάνεια της Γης να είναι μεγαλύτερες εξαιτίας των εν λόγω ρευμάτων.

Αστραπές

Για την παραγωγή πεδίων συχνότητας άνω του 1Hz (ULF – ELF) που διαδίδονται διαπολλαπλών ανακλάσεων μεταξύ της επιφάνειας της Γης και του δαπέδου της Ιονόσφαιρας (συντονισμοί Schumann) υπεύθυνες είναι οι αστραπές. Οι αστραπές ουσιαστικά αποτελούν μία ακολουθία εκφορτίσεων που ονομάζονται κεραυνοί. Οι ακολουθίες αυτές περιλαμβάνουν 3-4 κεραυνούς κατά μέσο όρο ενώ διαρκούν 200-300ms. Η πρώτη εκφόρτιση κάθε κεραυνού είναι ο οδηγός της διαδρομής νέφος-έδαφος που ιονίζει ένα κανάλι για τα ρεύματα που ακολουθούν. Ακολουθεί ο κεραυνός επαναφοράς του εδάφους (ground return stroke) ο οποίος είναι και η κύρια πηγή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Τα τυπικά ρεύματα επαναφοράς είναι της τάξης των 20000A με διάρκεια 40μs και εκτείνονται από την επιφάνεια της Γης ως το κατώτερο σημείο του νέφους. (Ogawa, 1982; in Vozoff, 1993)

Μία εκτίμηση της συχνότητας εμφάνισης των αστραπών σε ολόκληρο τον κόσμο μπορεί να κυμαίνεται από 100 έως 1000 αστραπές ανά δευτερόλεπτο. Το πεδίο που καταγράφεται από τα MT συστήματα εξαρτάται από την ισχύ, το μήκος της διαδρομής (ύψος νεφών), τη συχνότητα εμφάνισης και την απόσταση από τις ηλεκτρικές εκφορτίσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των MT καταγραφών. Τα σήματα αυτά, που ονομάζονται και σφαιρικά (spherics), είναι μεγαλύτερα κατά τις απογευματινές ώρες του καλοκαιριού ειδικότερα στις τροπικές περιοχές της υφελίου.

Η ισχύς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που καταγράφεται και η οποία δημιουργείται από τους κεραυνούς εξαρτάται έντονα από την απόσταση του συστήματος καταγραφής από την καταιγίδα. Για μία καταιγίδα που παρατηρείται σε απόσταση μικρότερη από μερικές δεκάδες χιλιόμετρα από το σύστημα καταγραφής, μεμονωμένοι κεραυνοί μπορούν να αναγνωριστούν στις καταγραφές της ισχύος του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Κάθε καταγραφή περιέχει συνιστώσες υψηλών συχνοτήτων που συνδέονται άμεσα με την ταχεία έναρξη της ροής ρεύματος, καθώς επίσης και άλλες σχετικά χαμηλών συχνοτήτων συνιστώσες που συμπεριλαμβάνονται στο τμήμα της ουράς. Οι ενέργεια στις κεντρικές συχνότητες

(γύρω στα 1000Hz) τείνει να μειώνεται πολύ πιο γρήγορα σε σχέση με τις υψηλές και χαμηλές συχνότητες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την βαθμιαία μεταβολή τους σχήματος του φάσματος ισχύος του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με την απόσταση.

Τα σφαιρικά που προέρχονται από καταιγίδες με κεραυνούς οι οποίες εκδηλώνονται σε μεγάλη απόσταση από το σταθμό καταγραφής παρέχουν ένα εντυπωσιακά ομοιόμορφο επίπεδο δραστηριότητας, λαμβάνοντας υπόψη ότι θα πρέπει σχεδόν πάντα να υπάρχει μία καταιγίδα σε εξέλιξη κάπου στη Γη. Υπάρχουν τρία κύρια κέντρα καταιγίδων στη περιοχή του ισημερινού της Γης τα οποία παρέχουν ένα μέσο όρο 100 καταιγίδων περίπου το χρόνο, με μικρότερα κέντρα μέσα σε αυτές που δίνουν κατά μέσο όρο 200 ημέρες καταιγίδων το χρόνο. Τα κέντρα αυτά βρίσκονται στη Βραζιλία, στην Κεντρική Αφρική και στην Ινδονησία ,κατανεμημένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε κάθε ώρα της ημέρας, υπάρχει μία καταιγίδα σε κάποιο σημείο της Γης. **(Makino and Ogawa, 1984 in Zhdanov and Keller, 1994).**

Τα μεγαλύτερα σφαιρικά (spherics) ταξιδεύουν παραπάνω από μία φορά γύρω από τη Γη. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια κατά κάποιο τρόπο καθοδηγείται από την επιφάνειά της, εφόσον αναμένουμε από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα να ταξιδεύουν σε ευθείες γραμμές. Στην πραγματικότητα, το μονωτικό κέλυφος του αέρα μεταξύ της αγώγιμης Ιονόσφαιρας και της αγώγιμης Γης δημιουργεί έναν κυματοδηγό που παγιδεύει μερικώς το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Όπως και στους περισσότερους κυματοδηγούς, η απόκρισή του εξαρτάται από την συχνότητα και κατά κάποιο τρόπο καθορίζεται από το μέγεθος του, το σχήμα του, και από τη φύση των ορίων του.

Η ευκολία με την οποία παγιδεύεται η ενέργεια εξαρτάται από την οξύτητα και την κανονικότητα των ορίων αυτών. Στον κυματοδηγό Γη-Ιονόσφαιρα, η εσωτερική επιφάνεια είναι μία σφαίρα στην επιφάνεια της οποίας η αντίσταση κυμαίνεται από 0.25 Ω στους ωκεανούς έως 10000 Ω , στον ηπειρωτικό φλοιό της Γης και τις μόνιμα παγωμένες περιοχές .Στην Ιονόσφαιρα η αντίσταση μειώνεται βαθμιαία με την αύξηση του υψομέτρου, εξαρτώμενη από την τοπική ώρα και την ηλιακή δραστηριότητα. Η μείωση αυτή κατά την διάρκεια της ημέρας συντελείται 20Km υψηλότερα απ' ότι τη νύχτα. Έτσι, ο κυματοδηγός δεν είναι ένα εντελώς σφαιρικό κέλυφος, και για αυτό η απόκριση του είναι ανομοιογενής στο χώρο και στο χρόνο.

Η κοιλότητα μεταξύ της Γης και της Ιονόσφαιρας λειτουργεί ως αντηχείο. Επομένως, υπάρχει συντονισμός ο οποίος ονομάζεται συντονισμός Schumann (Schumann resonances) και η συχνότητά του είναι κοντά στα 8Hz, με υψηλότερους αρμονικές κοντά στα 14, 20 και 26Hz. **(Polk, 1982 in Vozoff, 1993)**

3.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα MT

Τα μειονεκτήματα από την χρήση μαγνητοτελλουρικών μεθόδων είναι :

1. Η ερμηνεία, διότι οι πληροφορίες είναι σπάνια πλήρης 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.
2. Η δυσκολία της καταγραφής καλών δεδομένων σε ηλεκτρικά θορυβώδεις περιοχές.
3. Η ερμηνεία σε περιοχές όπου η υπεδάφη δομή είναι τρισδιάστατη, την ανάπτυξη αλγορίθμων επεξεργασίας του σήματος για την συμπίεση του θορύβου και την βελτίωση της ταχύτητας επεξεργασίας και ερμηνείας των δεδομένων.

Τα πλεονεκτήματα από την χρήση μαγνητοτελλουρικών μεθόδων είναι :

1. Δεν απαιτεί ισχυρές τεχνητές πηγές
2. 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 περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
3. Χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση υπογείων υδάτων και των κυρίων μεταλλικών αποθεμάτων για βάθη από 50-100 μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα.

3.2.4 Αρχές της μαγνητοτελλουρικής μεθόδου

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 τη 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 μετρά 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, δυσδιάστατες 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., 1998)**

3.2.5 Ομογενής Ημχώρος

Εμπέδηση, Z & Ειδική Αντίσταση, ρ

Ο λόγος του μετρούμενο ηλεκτρικού πεδίου προς το ορθογώνιο μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια ενός ομογενούς ημχώρου (uniform half-space) με ειδική αντίσταση ρ, ορίζεται ως εξής:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{i\omega\mu\rho} = Z$$

Σε ομογενή ημχώρο, η ειδική αντίσταση μπορεί να υπολογιστεί από την εμπέδηση ως εξής:

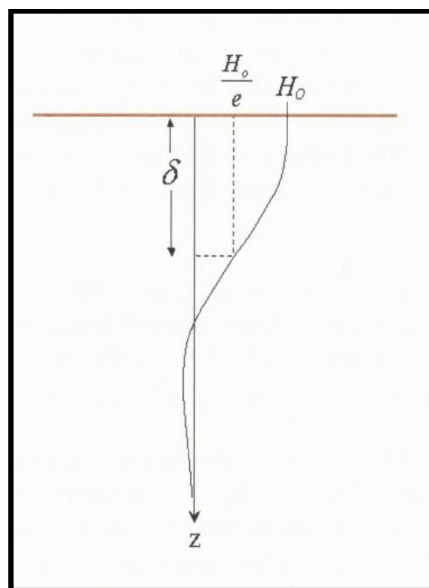
$$\rho = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E}{H} \right|^2$$

Επιδερμικό Βάθος, δ

Τα ΗΜ κύματα στην επιφάνεια διαχέονται μες στη Γη αποσβένοντας εκθετικά με το βάθος. Οι χαμηλές συχνότητες (μεγάλες περίοδοι) εισχωρούν πιο βαθιά από ότι οι υψηλές συχνότητες.

Το βάθος στο οποίο το κύμα έχει αποσβένει $1/e$ από την αρχική τιμή του στην επιφάνεια ονομάζεται επιδερμικό βάθος, δ , (skin depth) και για ομογενή ημιχώρο ορίζεται ως εξής:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \approx 500 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$



Εικόνα 3.2 : Επιδερμικό βάθος, δ

3.2.6 Οριζόντια στρωματογραφία

Φαινόμενη Ειδική Αντίσταση και Φάση

Στην περίπτωση μη ομογενούς γης, η ειδική αντίσταση υπολογίζεται σαν η γη να ήταν ομογενής και η ειδική αντίσταση που προκύπτει ορίζεται ως φαινόμενη ειδική αντίσταση (ρ_α)

- Η Φαινόμενη Ειδική Αντίσταση (**apparent resistivity**), είναι η μέση ειδική αντίσταση της Γης σε μια συγκεκριμένη περίοδο:

$$\rho_{\alpha,ij}(\omega) = \frac{1}{\mu_0 \omega_{37}} |Z_{ij}(\omega)|^2 (\Omega m)$$

Ο ταυυστής εμπέδησης αποτελείται από ένα πραγματικό κι ένα φανταστικό μέρος κι εκτός από μέγεθος έχει και φάση.

- Η φάση (**impedance phase**) του ταυυστή εμπέδησης παρέχει πρόσθετες πληροφορίες για τις αγώγιμες δομές.

$$\varphi_{ij}(\omega) = \arctan\left(\frac{\text{Im}\{Z_{ij}\}}{\text{Re}\{Z_{ij}\}}\right)$$

3.2.7 Ταυυστής εμπέδησης (Impedance) και διάνυσμα διεύθυνσης (Tipper).

Ταυυστής Εμπέδησης

Τα πραγματικά μοντέλα της Γης είναι πιο πολύπλοκα από ότι ο ομογενής και ισότροπος ημιχώρος (uniform half-space). Τέτοια μοντέλα είναι η οριζόντια διαστρωμένη Γη (1-D horizontally layered Earth), ή η δισδιάστατη (πλευρική ασυνέχεια, 2-D) ή η τρισδιάστατη (3-D) δομή της Γης.

Ο ταυυστής εμπέδησης συσχετίζει τις οριζόντιες συνιστώσες του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου ως εξής:

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} H_x \\ H_y \end{pmatrix}$$

Μορφές του Ταυυστή Εμπέδησης (Dimensionality)

Οι μορφές του ταυυστή εμπέδησης για μονοδιάστατα και δισδιάστατα μοντέλα:

Ομογενής ημιχώρος ή 1-D: $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$

$$Z_{yx} = -Z_{xy}$$

2-D, εάν ο x ή ο y άξονας είναι κατά μήκος της διεύθυνσης παράταξης (strike). :

$$Z_{xx} = Z_{yy} = 0$$

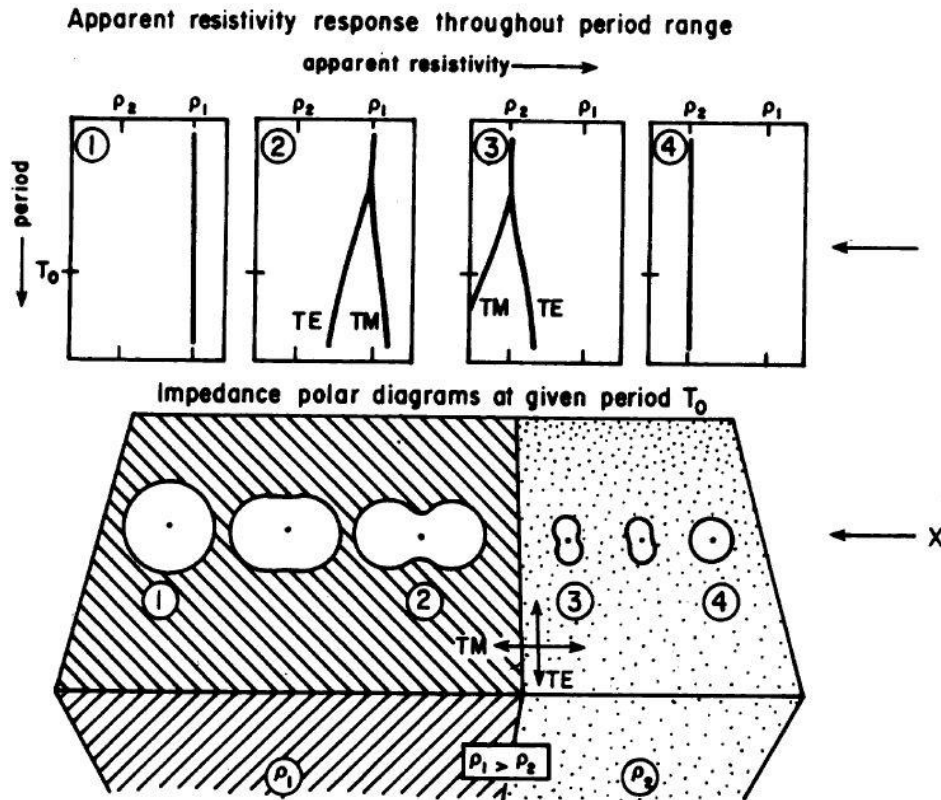
$$Z_{xy} \neq -Z_{yx}$$

2-D, κανένας άξονας δεν είναι κατά μήκος της διεύθυνσης παράταξης (strike). :

$$Z_{xx} = -Z_{yy} \neq 0$$

$$Z_{xy} \neq -Z_{yx}$$

Διάφοροι τρόποι χρησιμοποιούνται για την εύρεση της γωνίας στροφής, θ , μεταξύ της διεύθυνσης των μετρήσεων και της διεύθυνσης παράταξης. Μία από αυτές τις μεθόδους είναι η στροφή του Z_{ij} σε βήματα (έστω 5°), και η χαρτογράφηση του σε πολικά διαγράμματα, απ' όπου γίνεται η επιλογή της διεύθυνσης παράταξης. Η βέλτιστη γωνία μεγιστοποιεί ή ελαχιστοποιεί κάποιους συνδυασμούς του Z_{ij} . Τα πολικά διαγράμματα, ή όπως ονομάζονται αλλιώς, πολικά διαγράμματα εμπέδησης, κατασκευάζονται συνήθως για διαφορετικές συχνότητες, διότι στην πράξη η διεύθυνση παράταξης αλλάζει με το βάθος. Στην **(Εικ. 3.2)** φαίνονται τέτοια διαγράμματα για συνθετικά δεδομένα που παρήχθησαν από ένα διδιάστατο μοντέλο (μόνο η Z_{xy}). Τα διανύσματα αυτά κατασκευάστηκαν για τις συνιστώσες Z_{xy} και Z_{xx} .



Εικόνα 3.3 : Πολικά διαγράμματα εμπέδησης (για μία συχνότητα) και καμπύλες φαινόμενων ειδικών αντιστάσεων για τέσσερις θέσεις που προέκυψαν από συνθετικά δεδομένα χρησιμοποιώντας ένα απλό δισδιάστατο μοντέλο. Τα TE και TM αναφέρονται αντίστοιχα σε ηλεκτρική συνιστώσα παράλληλη στην διεύθυνση παράταξης (Transverse Electric) και κάθετη στην διεύθυνση παράταξης (Transverse Magnetic).

	1D	2D	3D	
			a	b
$ Z_{xx} $				
$ Z_{xy} $				
$\text{arg}Z_{xy}$				

Εικόνα 3.4 : Συγκεντρωτικός πίνακας για όλες τις περιπτώσεις 1D, 2D και 3D

Στην δισδιάστατη περίπτωση, ο άξονας x ή y είναι κατά μήκος της παράταξης (strike). Τα παραπάνω πολικά διαγράμματα έχουν και τις δύο περιπτώσεις Z_{xy} και Z_{yx} . Στην μονοδιάστατη περίπτωση το πολικό διάγραμμα έχει μορφή σαν κύκλος. Στην τρισδιάστατη δομή τα πολικά διαγράμματα παίρνουν διάφορες μορφές ανάλογα με τη πολυπλοκότητα της υπεδάφιας δομής.

3.2.8 Όργανο μέτρησης MT-24LF

Το μετρητικό σύστημα με το οποίο διενεργήθηκαν οι μαγνητοτελλουρικές μετρήσεις στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας ήταν το **MT24/LF**. 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.

Η δομή της αγωγιμότητας του υπεδάφους είναι δυνατό να υπολογιστεί πρωταρχικά στο πεδίο από τις μετρήσεις των επιφανειακών ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, μέσω συνοδευτικού λογισμικού ανάλυσης στον φορητό H/Y, οπότε και επιβεβαιώνεται η ποιότητα 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. **(EMI, 2003)**

Δέκτης MT-24LF

Ο δέκτης MT24/LF δέχεται είσοδο από τους 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 45ύπαιθρο επιτρέποντας ταυτόχρονη συλλογή δεδομένων τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές τιμές συχνοτήτων. Το σύστημα χρησιμοποιεί μία CompactFlash κάρτα μνήμης (συνήθως 256Mb) για την αποθήκευση δεδομένων. Το

περίβλημά του είναι συμπαγές και ανθεκτικό λόγω της προστατευτικής θήκης Pelican.



Εικόνα 3.5 : Δέκτης MT (MT-24LF 24-bit)

Μονάδα τροφοδοσίας και φορτιστής

Μία μονάδα τροφοδοσίας χρησιμοποιείται για την παροχή ενέργειας σε όλες τις μονάδες του συστήματος. Η 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 αισθητήρες έχουν κατασκευαστεί με μεγάλης μαγνητικής διαπερατότητας πυρήνα, μ -Metal, πυρήνα με κατάλληλα τυλίγματα. Τα τυλίγματα του πηνίου είναι καλυμμένα και εποχικά διατηρημένα μέσα σε προστατευτικό κάλυμμα από φάμπεργκλας. 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.

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 αντιπολοτικών ηλεκτροδίων.

Ο τύπος ηλεκτροδίων που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις μας ήταν μόλυβδου $PbCl_2$, τα οποία είναι και σταθερότερα και πλέον αξιόπιστα.

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.

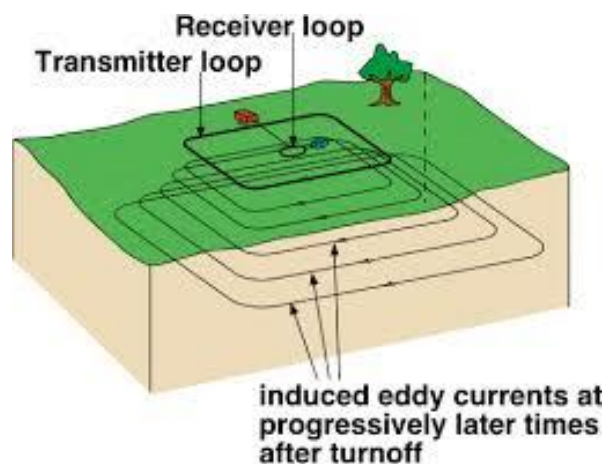
Το σύστημα επικοινωνεί με τον δέκτη δια μέσου δύο RS232 συμβατών καναλιών επικοινωνίας δύο κατευθύνσεων. Η αποθήκευση των δεδομένων στην εσωτερική μνήμη επιτρέπει στην μονάδα την διατήρηση κρίσιμων δεδομένων όπως είναι οι τροχιακές παράμετροι των δορυφόρων, η τελευταία θέση, η ημερομηνία και η ώρα.

3.3 Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος Παροδικών Πεδίων

3.3.1 Θεωρία TEM μεθόδου

Η χρήση της μεθόδου των παροδικών κυματομορφών, 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).

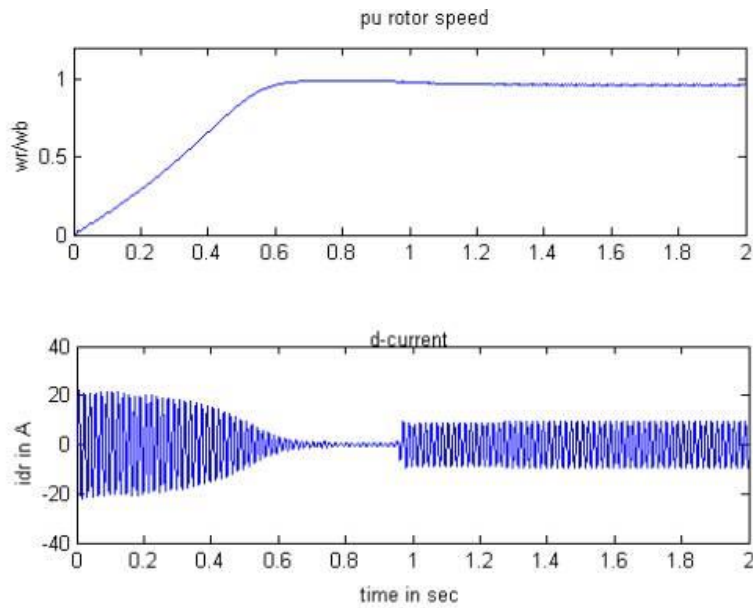
Όσον αφορά στο θεωρητικό μέρος της μεθόδου, δημιουργώντας έναν ορθογώνιο βρόχο στην επιφάνεια του εδάφους, υλοποιείται ένα κλειστό κύκλωμα, το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης. Το κύκλωμα αυτό αποτελεί τον πομπό εκπομπής (transmitter) των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Έπειτα από κάποιο 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 3.6 : Διάταξη της μεθόδου TEM

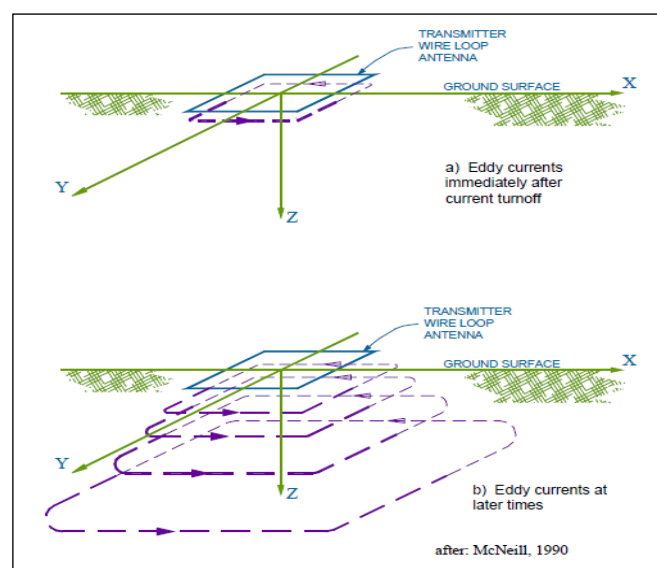
Με τη χρήση της μεθόδου TEM παίρνουμε μετρήσεις στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών ρεύματος και κατά την απουσία του πρωτεύοντος πεδίου. Τα επαγωγικά ρεύματα διοχετεύονται μέσα στη γη και διαχέονται με μορφή μετώπου. Η ένταση των ρευμάτων αυτών μειώνεται με το βάθος και ανάλογα με τις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

Η μέθοδος TEM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση των εδαφών και των αλλαγών στους διαφόρους 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 3.7: 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 3.8, 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 3.8 : Ροή ρευμάτων στροβίλου α) πρώιμοι χρόνοι, β) ύστεροι χρόνοι

Η αποσύνθεση των δευτεροβάθμιων ρευμάτων εξαρτάται από την αγωγιμότητα του μέσου και τη γεωμετρία των αγώγιμων 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 3.9**:

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 αγώγιμα μέσα πιο αργά.

Οι δευτεροβάθμιες μετρήσεις πραγματοποιούνται στη χρονική σειρά από 10 μ 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 αγώγιμων 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.

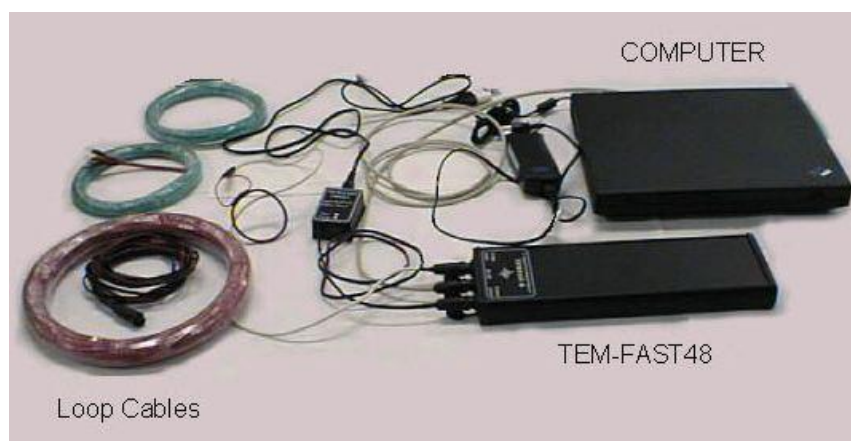
3.3.2 Όργανα μετρήσεων

TEM FAST 48HPC

Ένα σημαντικό όργανο που χρησιμοποιούμε κατά εφαρμογή της μεθόδου TEM είναι το TEM FAST 48HPC. 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 οποιοσδήποτε συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών ζωνών της

πόλης με περιορισμένο διάστημα, ερήμους, βουνά, και κάθε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές. Περιέχει: α) γεννήτρια ορθογωνίων σφυγμών (συσκευή αποστολής σημάτων) β) ο μετρώνας φραγμός που παρέχει την εγγραφή των σημάτων (δέκτης), γ) φραγμός ελέγχου, δ) παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (μπαταρία).

Το TEM FAST 48HPC είναι ένα βολικό και 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 3.9 : Δείγμα οργάνου TEMFAST 48HPC

Χρησιμοποιώντας τερματικό υπολογιστή και λαμβάνοντας υπόψη το σήμα και τον θορύβου, 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 ανακρίβειας 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.

Παράμετρος	TEM-FAST 48HPC
Χρόνος Πυλών	48 Γεωμετρικά Διάστιχα
Χρονικό Φάσμα	4 - 16000 μ 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 μ V
Επίδειξη	Σημειωματάριο ή φορητό υπολογιστή
Θερμοκρασία Λειτουργίας	45 °C

Πίνακας 3.2 : Προδιαγραφές

3.3.3 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.

3.3.4 Σφάλματα κατά την 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 η οι μετρήσεις απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για να πραγματοποιηθούν. Η διόρθωση τους γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως στις μαγνητικές μεθόδους.

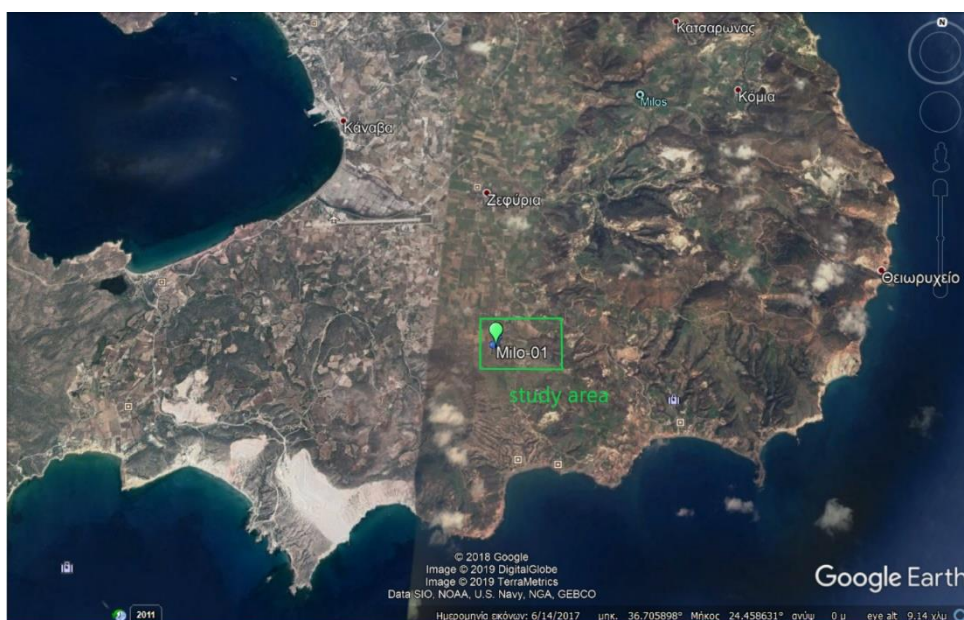
Γενικά, η **αφαίρεση του θορύβου** από τις μετρήσεις δεν είναι εύκολη διαδικασία. Σε μια τέτοιου είδους διαδικασία ακολουθείται αρχικά αποσυνέλιξη της απόκρισης του συστήματος για τον δέκτη, έπειτα αφαίρεση του θορύβου εξαιτίας των γραμμών μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος, κανονικοποίηση για την γεωμετρία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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ - ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Το διάστημα μεταξύ 14/10/13 έως 16/10/13 (2 βράδια) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις MT και TEM στην περιοχή της Μήλου, περίπου 2 χιλιόμετρα νότια του χωριού Ζεφυρία (γεωγραφικό πλάτος: 36.682835° και γεωγραφικό μήκος: 24.493543°) (Εικ. 4.1).



Εικόνα 4.1 : Δορυφορική εικόνα της περιοχής έρευνας (Πηγή Google Earth)

4.2 Εκτέλεση Μαγνητοτελλουρικής Βυθοσκόπησης MT

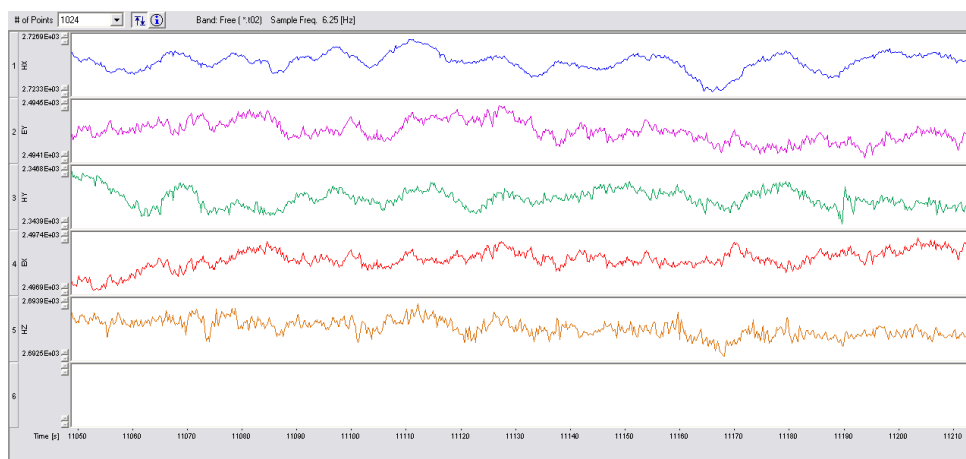
Η MT μέθοδος, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, ήταν η κύρια μέθοδος μας. Εφαρμόστηκε για μια μέτρηση στην περιοχή που απεικονίζεται παραπάνω.

Η εκτέλεση των ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων **MT**, πραγματοποιήθηκε με την χρήση της διάταξης που αναφέρεται παρακάτω:

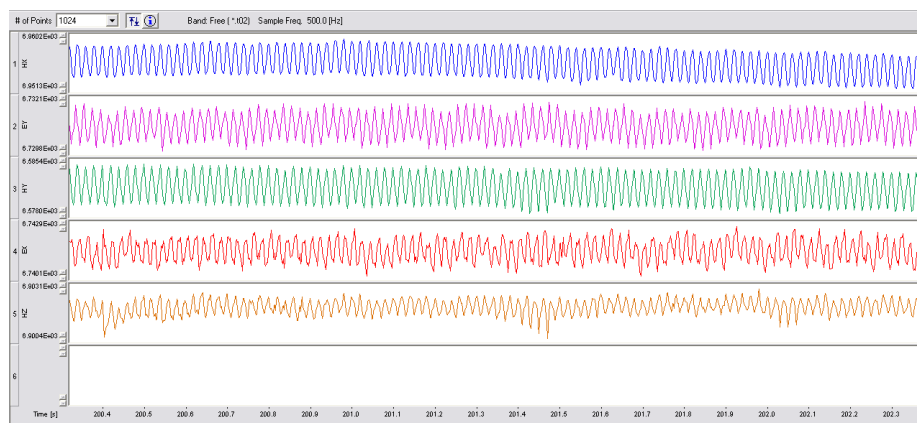
- **MT-24LF**, είναι ένας μαγνητοτελλουρικός δέκτης που χρησιμοποιεί έναν ισχυρό επεξεργαστή
- **3 Αισθητήρες Μαγνητικού Πεδίου EMI (Μαγνητόμετρα)**
- **4 Ηλεκτρόδια Pb-PbCl**
- **1 Μονάδα τροφοδοσίας (12V μπαταρία αυτ/του)**, η οποία συνδέεται σε σειρά για να αποδώσει 24V και να υπάρχει η δυνατότητα μεγαλύτερης αυτονομίας στο ύπαιθρο.
- **1 Μονάδα GPS (Garmin)**
- **1 Laptop**, για την συλλογή και απεικόνιση δεδομένων
- **Καλώδια**, για την μεταφορά των δεδομένων από το σύστημα καταγραφής στον υπολογιστή (περαιτέρω επεξεργασία).

4.2.1 Χρονοσειρές MT

Στην (Εικ. 4.2) και στην (Εικ. 4.3) παρουσιάζεται ένα τμήμα των χρονοσειρών (πρωτογενή δεδομένα) για την L-Band και J-Band αντίστοιχα.



Εικόνα 4.2 : MT χρονοσειρές L-Band (δειγματοληψία στα 6.25 Hz)



Εικόνα 4.3: MT χρονοσειρές J-Band (δειγματοληψία στα 500 Hz)

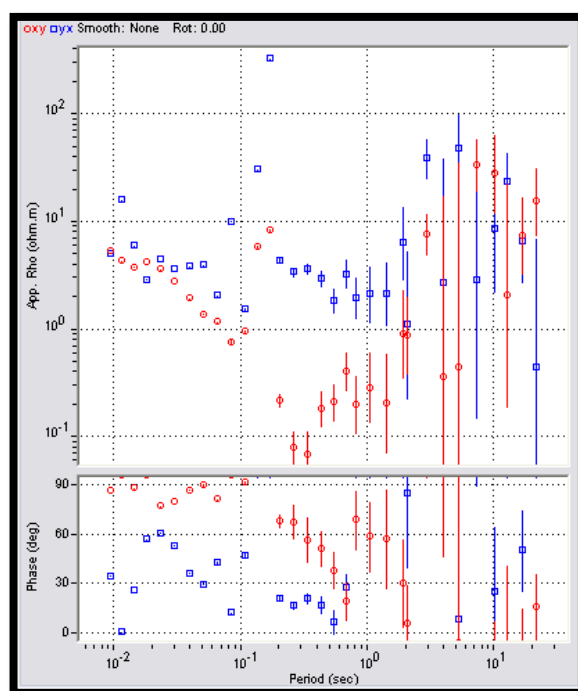
4.2.2 Επεξεργασία - Ανάλυση - Αποτελέσματα

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

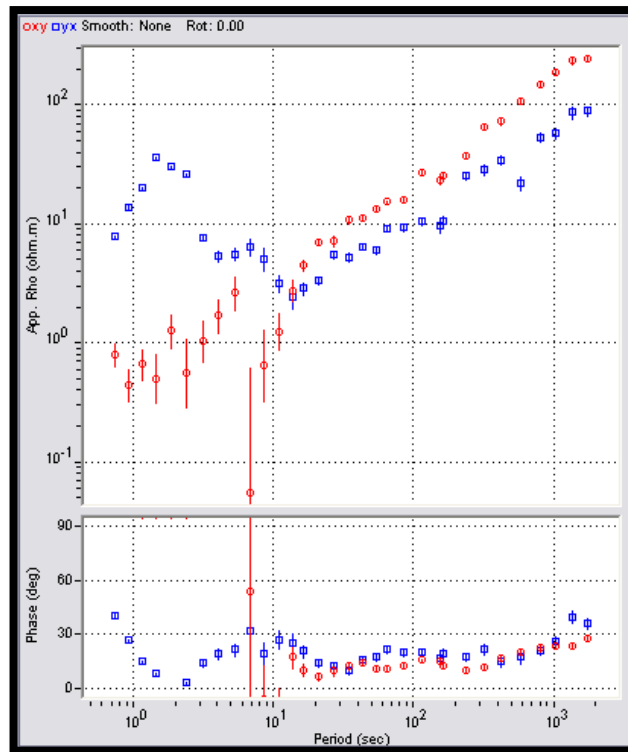
Ακολούθησαν τρία βήματα :

- Προετοιμασία των δεδομένων
- Μετασχηματισμός Fourier
- Ανθεκτική εκτίμηση (Robust Estimation) των συναρτήσεων μεταφοράς

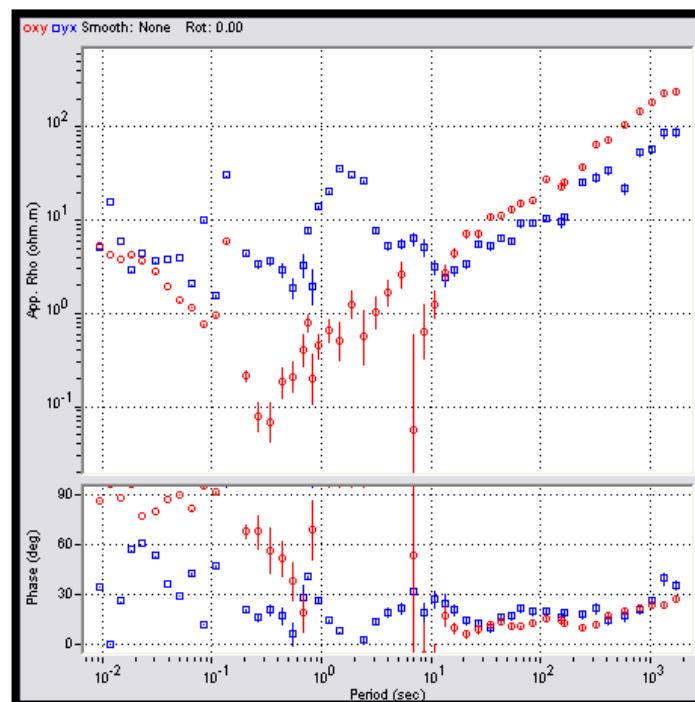
Το **WinGlink software** του οίκου Schlumberger περιλαμβάνει ένα σετ εργαλείων για την απεικόνιση-ανάλυση-επεξεργασία-μοντελοποίηση γεωφυσικών δεδομένων, κυρίως Μαγνητοτελλουρικών. Στην παρούσα μελέτη το πρόγραμμα WinGlink χρησιμοποιήθηκε μόνο για την απεικόνιση καμπυλών φαινόμενης αντίστασης και των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



Εικόνα 4.4: Καμπύλη ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με την περίοδο (πάνω) και φάσεων σε συνάρτηση με την περίοδο (κάτω) για την J band (συχνότητα δειγματοληψίας στα 500 Hz)



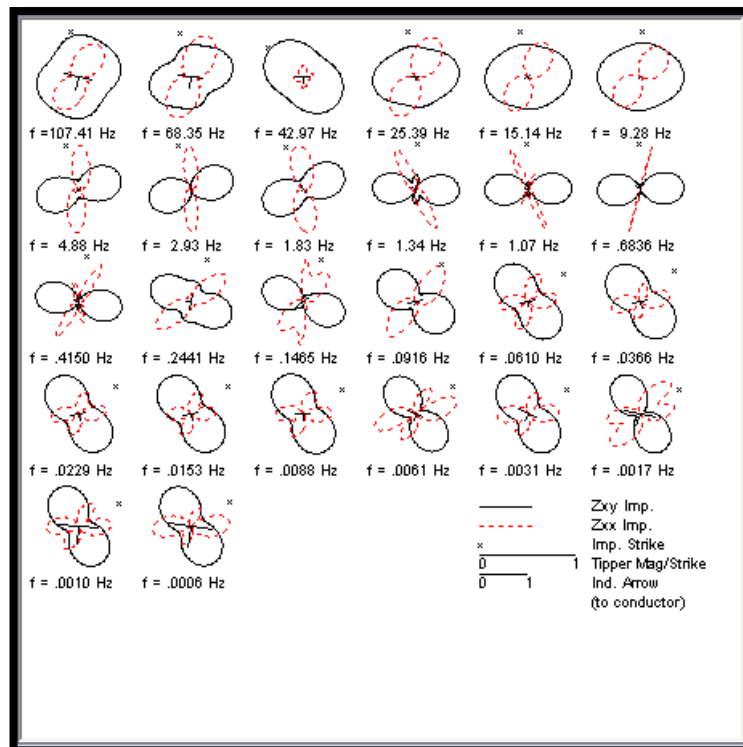
Εικόνα 4.5: Καμπύλη ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με την περίοδο (πάνω) και φάσεων σε συνάρτηση με την περίοδο (κάτω) για την L band (συχνότητα δειγματοληψίας 6,25 Hz)



Εικόνα 4.6 : Συνένωση (Merge) της καμπύλης ειδικής αντίστασης και της φάσης για τις L+J bands

4.2.3 Πολικά Διαγράμματα

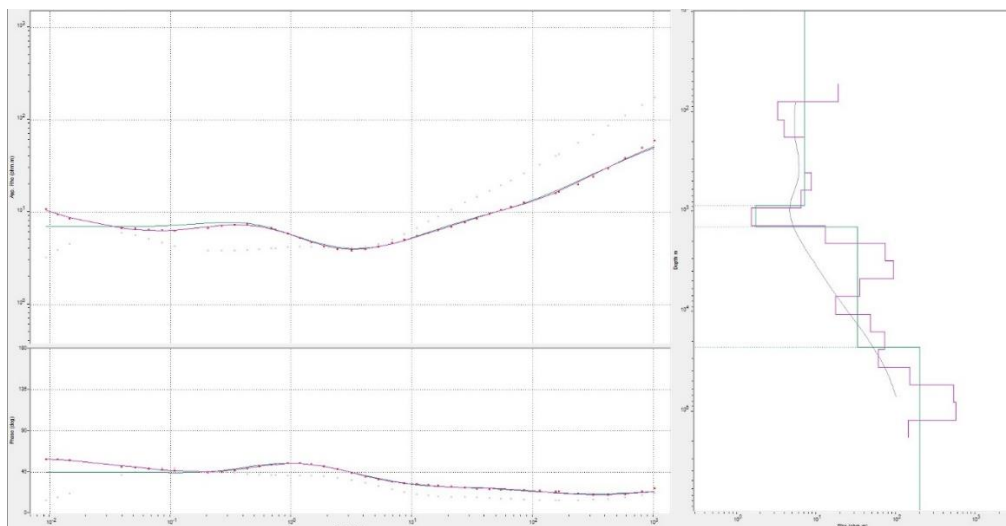
Στην (Εικ. 4.7), παρατηρούνται τα πολικά διαγράμματα για διάφορες συχνότητες. Η Z_{xy} απεικονίζεται με μαύρο χρώμα ενώ η Z_{xx} με διακεκομμένο κόκκινο. Με 'x' συμβολίζεται η διεύθυνση παράταξης.



Εικόνα 4.7: Πολικά Διαγράμματα

4.2.4 Μονοδιάστατο Μοντέλο ΜΤ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το 1D μοντέλο κατασκευάστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού WingLink όπου εφαρμόστηκαν ο κώδικα του Occum και ο κώδικας του Bostick (Εικ. 4.8).



Εικόνα 4.8: Μονοδιάστατο μοντέλο MT (κώδικας Occum και κώδικας Bostick)

4.3 Εκτέλεση Ηλεκτρομαγνητικών Βυθοσκοπήσεων TEM

Η εκτέλεση των μετρήσεων TEM, πραγματοποιήθηκε **επικουρικά**, με σκοπό: α) την αναγνώριση των πετρωμάτων της περιοχής έρευνας, καθώς και β) τον εντοπισμό πιθανής υπόγειας υδροφορίας.

Η εκτέλεση των ηλεκτρομαγνητικών μετρήσεων (TEM), πραγματοποιήθηκε με την χρήση των παρακάτω **επιστημονικών οργάνων**:

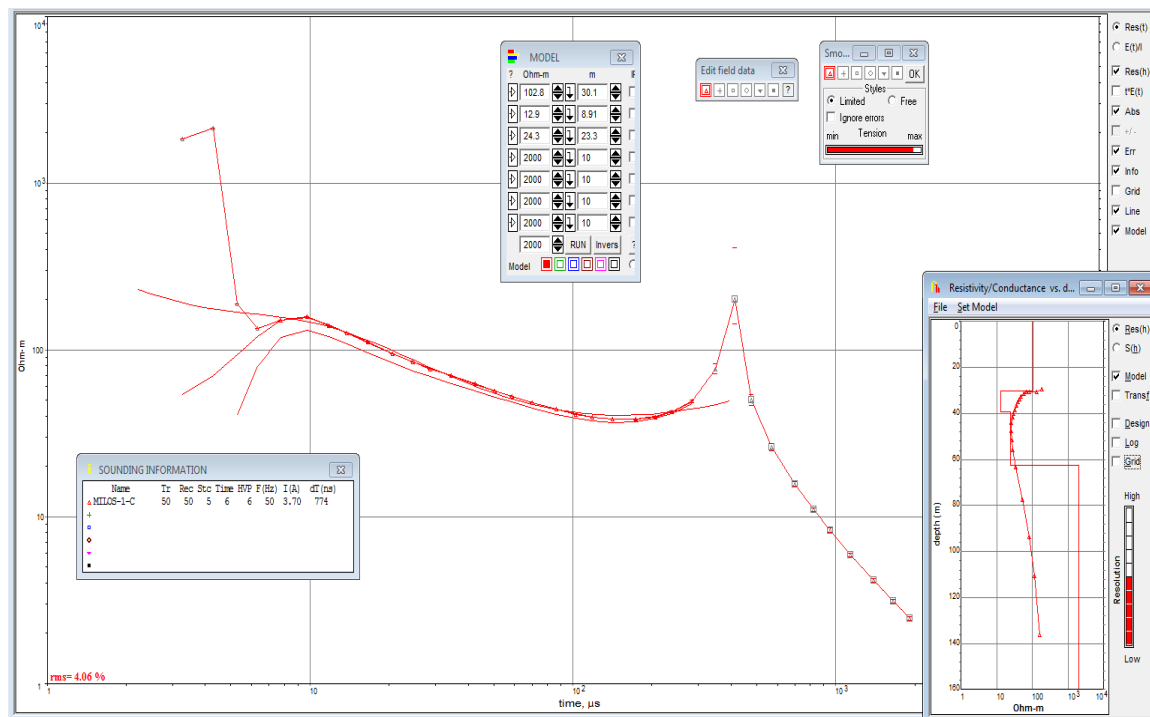
- **TEM-FAST 48-HPC, AEMR.** Ένα αυτόματο πολυκαναλικό - πολυσυχνотικό σύστημα μέτρησης κατανομής της αντίστασης με το βάθος.
- **Υπολογιστής Laptop.** Συλλογή και απεικόνιση των δεδομένων.
- **2 πολύκλινα καλώδια χαλκού** πολύ χαμηλής αντίστασης και συγκεκριμένης διατομής μήκους 100 μέτρα το καθένα.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

4.3.1 Επεξεργασία – Ανάλυση – Μοντελοποίηση – Αποτελέσματα

Στη περιοχή έρευνας για την εφαρμογή της TEM μεθόδου πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις στη συγκεκριμένη θέση για βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επεξεργασία, ανάλυση και μοντελοποίηση των δεδομένων με την χρήση του λογισμικού **TEM-RES**.

Αποτελέσματα μετρήσεων TEM:

Η μέτρηση που επιλέχτηκε λόγω χαμηλού θορύβου, ήταν η MILOS-1-C. Μετά από επεξεργασία (editing και smoothing) των δεδομένων της καμπύλης της ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με τον χρόνο, έγινε στη συνέχεια αντιστροφή (inversion) και κατασκευάστηκε το τελικό 1D μοντέλο (**Εικ. 4.9**).



Εικόνα 4.9 Καμπύλη ειδικής αντίστασης με τον χρόνο και 1-D μοντέλο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ- ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

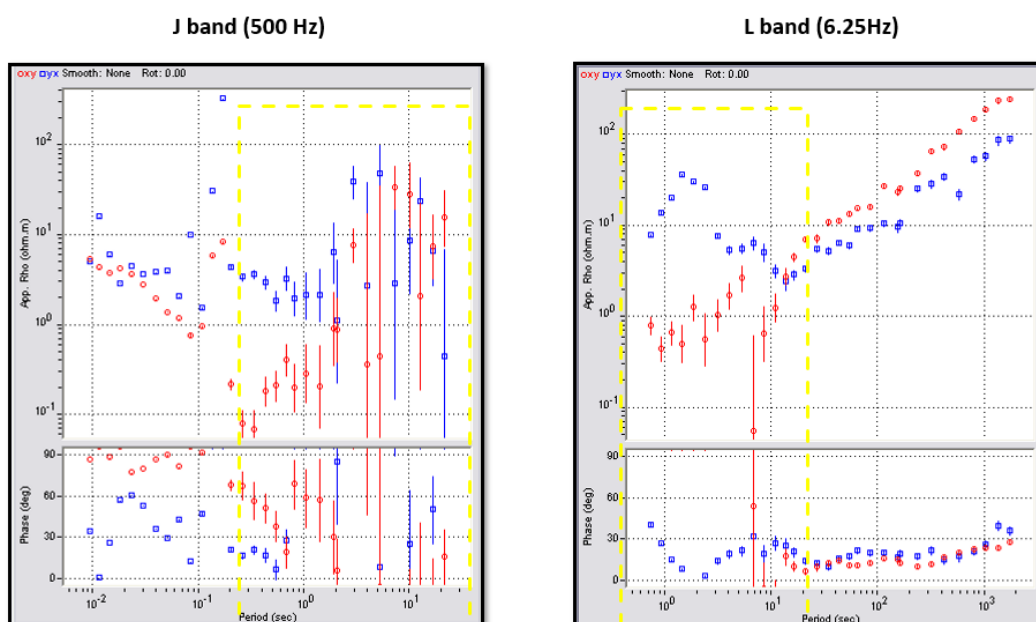
5.1 Ερμηνεία Μαγνητοτελλουρικών ΜΤ

Ως γνωστό, η ΜΤ μέθοδος ήταν η κύρια μέθοδος της παρούσας διπλωματικής.

Στην **(Εικ. 4.2)**, έχουμε ένα απόσπασμα χρονοσειρών L-Band (6.25 Hz) από τις μετρήσεις. Παρατηρούμε τις πέντε συνιστώσες, τρεις μαγνητικές (H_y , H_x , H_z), και δύο ηλεκτρικές (E_x , E_y). Όπως είναι αναμενόμενο, η H_y συνιστώσα συσχετίζεται με την E_x , που σημαίνει ότι τα δεδομένα είναι καλής ποιότητας.

Στην **(Εικ. 4.3)**, παρατηρούμε χρονοσειρές για την J-Band με συχνότητα δειγματοληψίας 500 Hz πάλι για τις 5 συνιστώσες.

Στην **(Εικ. 5.1)**, αριστερά παρατηρούμε την καμπύλη της φαινόμενης ειδικής αντίστασης με την περίοδο από τα δεδομένα της J-Band. Από 10^{-1} έως 10 sec έχουν αυξημένο θόρυβο. Δεξιά παρατηρούμε την αντίστοιχη φαινόμενη αντίσταση με την περίοδο της L-Band. Για τις ίδιες περιόδους μέχρι περίπου 10 sec, οι μετρήσεις έχουν καλύτερη ποιότητα.

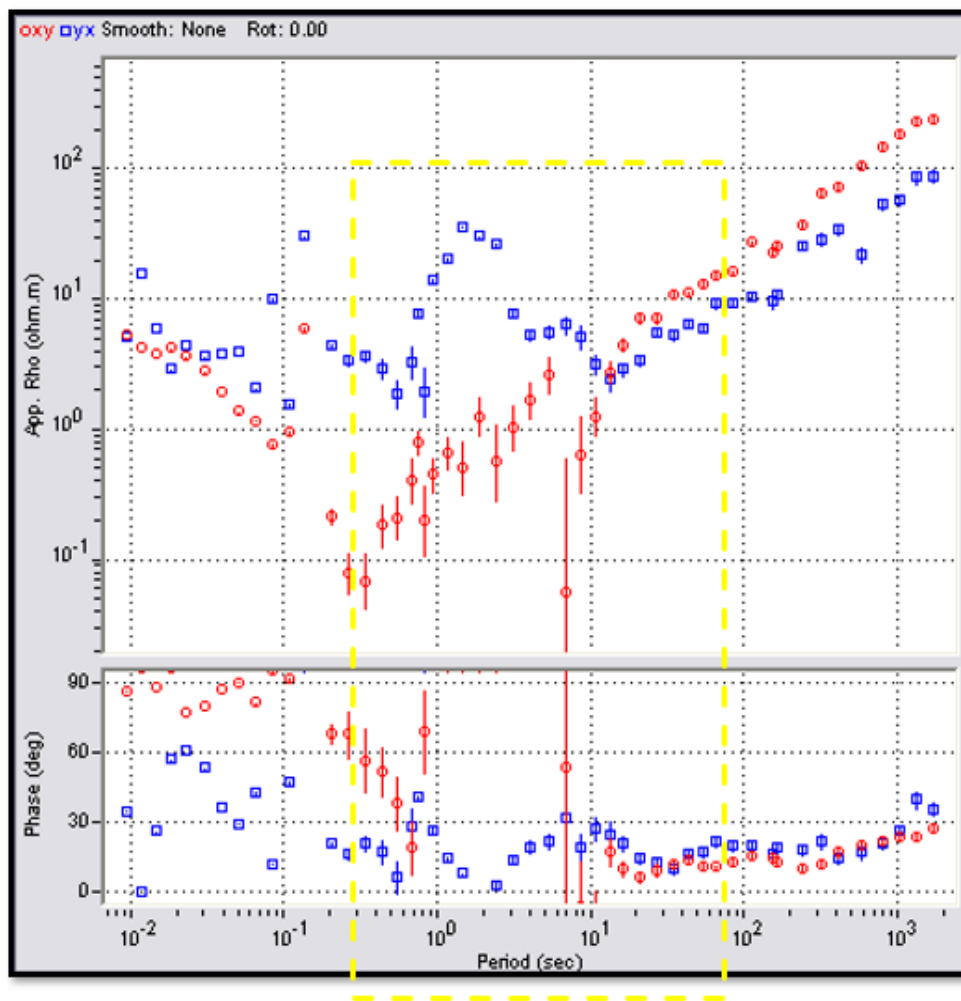


Εικόνα 5.1 Καμπύλες ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με την περίοδο και φάσεων σε συνάρτηση με την περίοδο για την L και J bands. Με κίτρινο πλαίσιο σημειώνονται οι περιοχές των μετρήσεων που ο θόρυβος είναι αυξημένος

Στην **(Εικ. 5.2)**, πραγματοποιήθηκε συνένωση της J-Band με την L-Band. Η νέα καμπύλη περιλαμβάνει μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων με περιόδους, από 10^{-2} έως 10^3 . Για τις περιόδους που επικαλύπτονται, κρατήσαμε τα δεδομένα για την L-Band επειδή ήταν καλύτερης ποιότητας.

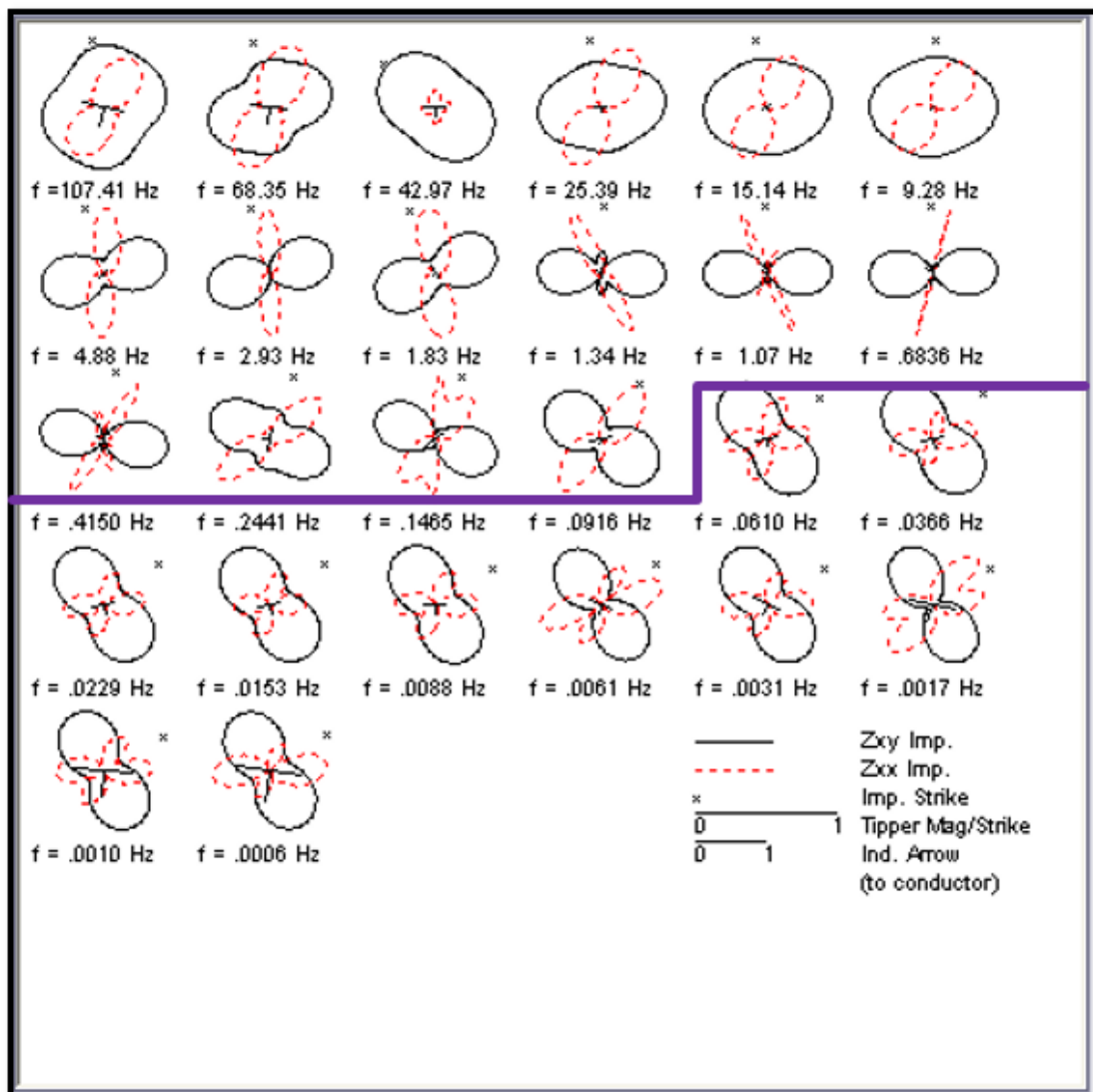
Γενικά, τα δεδομένα της Μήλου είναι μέτριας ποιότητας, αλλά μπορούμε να προχωρήσουμε σε μοντελοποίηση με χρήση του λογισμικού WinGLink. Συγκεκριμένα κοντά στο 1 sec ο λόγος που δεν έχουμε καλά δεδομένα είναι λόγω του Dead-Band.

Η επιφανειακή δομή, παρουσιάζει μεγάλη ανομοιογένειά και χαμηλές αντιστάσεις. Υπάρχει μία τάση όμως αύξησης της εμπέδησης όσο βαθύτερα πηγαίνουμε. Είμαστε στο contactive μέρος της δομής και αυτό επιβεβαιώνεται με το γεγονός ότι η xy (κόκκινη καμπύλη) είναι πάνω από την yx (μπλε καμπύλη). Οι φάσεις είναι κάτω των 45 μοιρών.



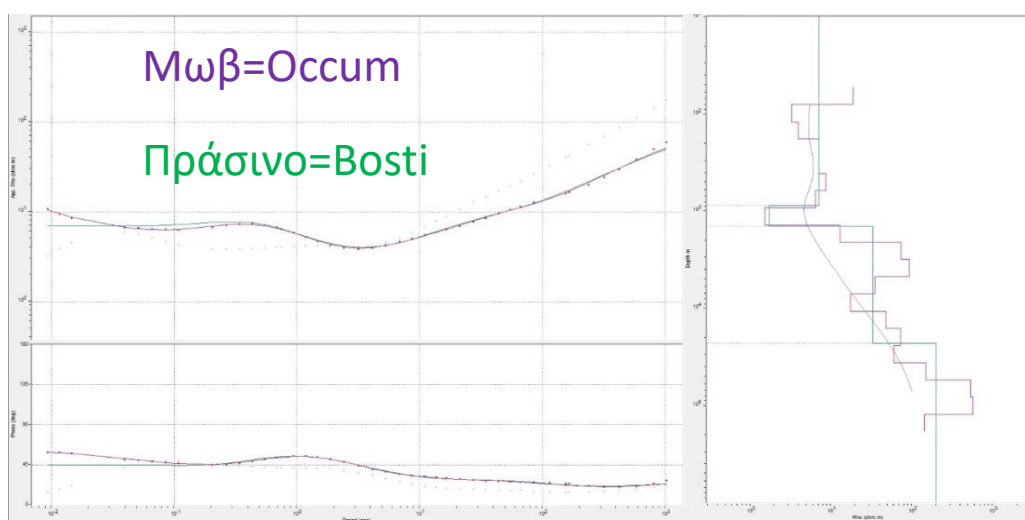
Εικόνα 5.2 Συνένωση (Merge) της καμπύλης ειδικής αντίστασης και της φάσης για τις L+J bands. Με κίτρινο πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή της επικάλυψης.

Στην (Εικ. 5.3), παρατηρούμε τα πολικά διαγράμματα για τις διάφορες συχνότητες από 107 Hz, που είναι επιφανειακά, έως 0,0006 Hz, που είναι τα βαθύτερα. Δεξιά είναι τοποθετημένα τα πολικά διαγράμματα κάτω από κάθε τιμή της ειδικής αντίστασης για τις διάφορες περιόδους, έτσι ώστε να φαίνεται πόσο αλλάζει η δομή με το βάθος. Στα επιφανειακά έχουμε μεγάλη ανομοιογένεια ενώ μετά τα 20 sec ($F=0.610$ Hz) παρατηρούμε ότι η δομή γίνεται δισδιάστατη, η οποία μέχρι τα βαθύτερα παραμένει σταθερή.



Εικόνα 5.3 Πολικά διαγράμματα για διάφορες περιόδους. Η γραμμή είναι το όριο όπου η δομή στα βαθύτερα στρώματα γίνεται δισδιάστατη

Στην **(Εικ. 5.4)**, παρατηρούμε το μονοδιάστατο μοντέλο της δομής εφαρμόζοντας δύο κώδικες. Με το μωβ χρώμα έχουμε τον κώδικα **Occum** και με πράσινο χρώμα τον κώδικα **Bostick**. Φαίνεται καλύτερα πόσο ανομοιογενής είναι η επιφανειακή δομή. Όσο βαθύτερα πηγαίνουμε (κάτω από 1 χιλιόμετρο), έχουμε μια αύξηση της ειδικής αντίστασης.



Εικόνα 5.4

5.2 Ερμηνεία Ηλεκτρομαγνητικών Βυθοσκοπήσεων TEM

Όπως αναφέραμε και πριν, η TEM ήταν η επικουρική μας μέθοδος **(Εικ. 4.9)**. Βλέπουμε την καμπύλη της ειδικής αντίστασης με τον χρόνο. Οι πρώτοι χρόνοι αφορούν τα επιφανειακά, ενώ οι ύστεροι χρόνοι αφορούν τα βαθύτερα. Παρατηρούμε ότι για τους πολύ ύστερους χρόνους δεν έχουμε καλής ποιότητας δεδομένα, για αυτό και έχουν απαλειφθεί. Δεξιά είναι το μονοδιάστατο μοντέλο, που προκύπτει από την αντίστροφη των δεδομένων. Παρατηρούμε, αύξηση της ειδικής αντίστασης σε σχέση με τον χρόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συμπεράσματα έρευνας

- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της MT μεθόδου, στην περιοχή έρευνας η επιφανειακή δομή φαίνεται να παρουσιάζει μεγάλη ανομοιογένεια, ενώ σε βαθύτερα στρώματα (>1 Km) η δομή είναι 2-D και η ειδική αντίσταση της δομής φαίνεται να αυξάνει με το βάθος.
- Η TEM μέθοδος επιβεβαιώνει την ανομοιογένεια της επιφανειακής δομής.
- Χρειάζεται να γίνει περαιτέρω επεξεργασία και εφαρμογή κι άλλων εργαλείων για ερμηνεία της βαθιάς δομής της Μήλου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αιολική Μήλου Α.Ε. Μέλος του ομίλου: ΙΤΑ – International Technological Applications S.A (2016) Μελέτη Σκοπιμότητας: Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Μήλο.

Αναπτυξιακή Εταιρεία Κυκλάδων Α.Ε., 2001, «Ειδική Περιβαλλοντική Μελέτη Προγράμματος Βιοτόπου οχιάς της Μήλου», εκπονήθηκε από την εταιρεία ΟΙΚΟΣ – Διαχείριση Φυσικού Περιβάλλοντος Ε.Π.Ε. ύστερα από ανάθεση στα πλαίσια του Προγράμματος «Βιότοποι οχιάς της Μήλου» (1999-2001), που εντάσσεται στο Ε.Π.ΠΕΡ. του Β' ΚΠΣ.

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας (2019), από www.geo.auth.gr

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία-Hellenic National Meteorological Service- (2019) από <http://www.hnms.gr>

Ηφαιστειακό Τόξο Στην Ελλάδα, 2019, από <http://www.gein.noa.gr>

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

Περιβαλλοντική ομάδα Ενιαίου Λυκείου Μήλου, 2000. Έξορυκτική δραστηριότητα και περιβάλλον ορυχεία και αποκατάσταση τοπίου στην Μήλο , Δήμος Μήλου-Επαρχείο Μήλου & Νομαρχία Κυκλάδων

Πολιτιστικό Ίδρυμα Ομίλου Πειραιώς, 2005. Ιστορικά Μεταλλεία στο Αιγαίο 19^{ος} – 20^{ος} αιώνας Επιστημονικό Συνέδριο (2003 : Μήλος)

Σαββαΐδης, Α. (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/>

Barsukov, P.O., Fainberg, E.B. & Khabensky, E.O., 2007. *Shallow Investigations by TEM-FAST Technique: Methodology and examples*. In: *Electromagnetic Sounding of the Earth's Interior*, Spichak, V.V. (Ed.), Holland: Elsevier, 55-77.

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

Egbert G.D. and Booker J.R. 1986. Robust estimation of geomagnetic transfer functions, *Geophys.J. R. Astron. Soc.*, 87, 173-194.

Egbert G.D. 1997. Robust multiple-station magnetotelluric data processing, *Geophys J. Int.*, 130,475-496.

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.

Makino, M. and Ogawa, T., 1984: 'Responses of atmospheric electric field and air-earth current to variations of conductivity profiles', *Journ. of Atmos. And Terres. Physics*, 46,5, 431-445.

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.

Ogawa, T., 1982: 'The lightning current', in Volland H., Ed., *CRC Handbook of Atmospheric*, Vol. 1: CRC Press Inc., 23-63.

Parkinson, W.D., 1983: 'Introduction to geomagnetism', Scottish Academic Press.

Rostoker, G., 1979: 'Geomagnetic Micropulsations', *Fund. of Cosmic Phys.*, 4, 211-311.

Straton, J.A., 1941: 'Electromagnetic Theory', McGraw-Hill.pp.615.

Sharma, P.V., 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.

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

TEM-Fast 48 manual., 2007. The Netherlands: Applied Electromagnetic Research (AEMR) Version 7.

Vozoff, K., 1993: 'The Magnetotelluric Method', 641-711, in Nabighian, M.N., Ed., Electromagnetic methods in applied geophysics-Application, Vol. II, SEG Investigation on Geophysics No 3.

Παράρτημα: Φωτογραφίες από τις μετρήσεις στην Ύπαιθρο (Οκτώβριος 2013)

