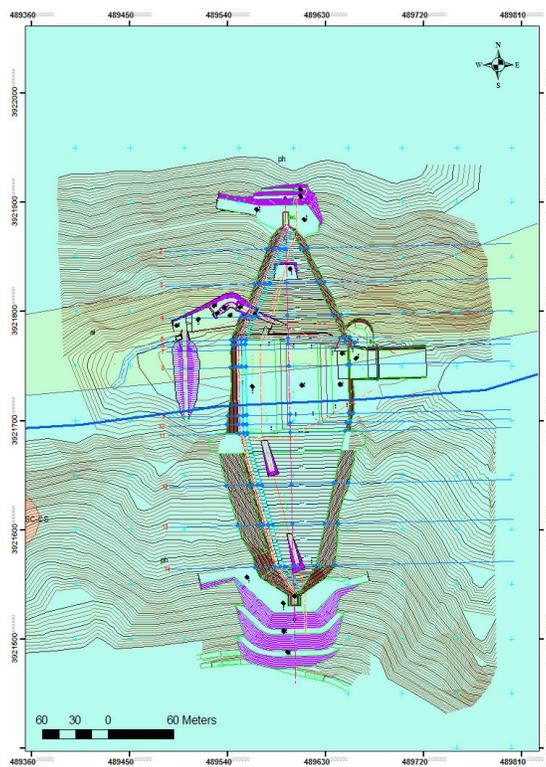




Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ



ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗ
ΣΕ ΦΡΑΓΜΑ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΝΙΚΟΣ – ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ ΚΑΛΛΙΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2010



Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ



ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗ
ΣΕ ΦΡΑΓΜΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΣΜΙΔΗΣ ΝΙΚΟΣ – ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ ΚΑΛΛΙΑ

Επιβλέπουσα : *Δρ. Κόκκινου Ελένη*
Επίκουρος Καθηγήτρια

Επιτροπή Αξιολόγησης : *Δρ. Ελένη Κόκκινου*
: *Δρ. Σάλτας Βασίλειος*
: *Δρ. Σουπιός Παντελής*

Ημερομηνία Παρουσίασης :

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την Δρ. Κόκκινου Ελένη για την βοήθεια και υποστήριξή της καθ' όλη την διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την εξεταστική επιτροπή.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των θερμομαγνητικών ιδιοτήτων υλικών από γεώτρηση στο φράγμα του Βασαρμιώτη στο νομό Χανίων. Η μελέτη των μαγνητικών ιδιοτήτων των ορυκτών δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τον τρόπο μαγνήτισης των υλικών και τους φορείς της μαγνήτισης. Οι γνώσεις αυτές βρίσκουν πλήθος εφαρμογών σε γεωλογικά προβλήματα που σχετίζονται με την τεκτονική και τις συνθήκες διαγένεσης.

Abstract

Main purpose of the present study is to study the thermomagnetic properties of soils from a borehole in the Basarmiotis dam up to a depth of 54m. The study of the magnetic properties comprises a useful tool in order to define the way of soil magnetization. This information is precious for a wide range of geological problems.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|-----------|---|---------------|
| 1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ | - 4 - |
| 1.1 | Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας | - 4 - |
| 1.2 | Μεθοδολογία εκπόνησης | - 4 - |
| 1.3 | Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής | - 4 - |
| 1.4 | Μορφολογία της εξεταζόμενης περιοχής και υδρολογικά στοιχεία | - 6 - |
| 1.5 | Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης | - 7 - |
| 2. | ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ | - 9 - |
| 2.1 | Γεωλογικά στοιχεία για την εξεταζόμενη περιοχή | - 9 - |
| 3. | ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ | - 11 - |
| 3.1 | Εισαγωγή | - 11 - |
| 3.2 | Βασικές μαγνητικές ιδιότητες | - 12 - |
| 3.3 | Μαγνητική υστέρηση | - 12 - |
| 3.4 | Μαγνητική επιδεκτικότητα | - 16 - |
| 3.5 | Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία | - 18 - |
| 3.6 | Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα | - 20 - |
| 3.7 | Μαγνήτιση των ιζημάτων και διαγένεση | - 21 - |
| 3.8 | Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας | - 25 - |
| 3.8 | Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington | - 26 - |
| 3.9 | Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων | - 34 - |
| 4. | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ | - 36 - |
| 4.1 | Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας | - 36 - |
| 4.2 | Τα μαγνητικά ορυκτά | - 39 - |
| 4.3 | Παρουσίαση των αποτελεσμάτων | - 39 - |
| 5. | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ | - 45 - |
| 5.1 | Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας | - 45 - |
| 5.2 | Προτάσεις | - 45 - |
| 6. | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | - 46 - |

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της μεθόδου του θερμομαγνητισμού για την μελέτη των μαγνητικών ιδιοτήτων υλικών από γεώτρηση στο φράγμα του Βασαρμιώτη στο νομό Χανίων. Η μελέτη των μαγνητικών ιδιοτήτων των ορυκτών δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τον τρόπο μαγνήτισης των υλικών και τους φορείς της μαγνήτισης. Οι γνώσεις αυτές βρίσκουν πλήθος εφαρμογών σε γεωλογικά προβλήματα που σχετίζονται με την τεκτονική και τις συνθήκες διαγένεσης.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι:

- **Η λήψη εδαφικού υλικού από γεώτρηση στην εξεταζόμενη περιοχή και η θερμομαγνητική ανάλυσή τους. Τέλος η επεξεργασία των μετρήσεων με στόχο να προκύψει ένα πρότυπο για την περιοχή μελέτης.**

1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης

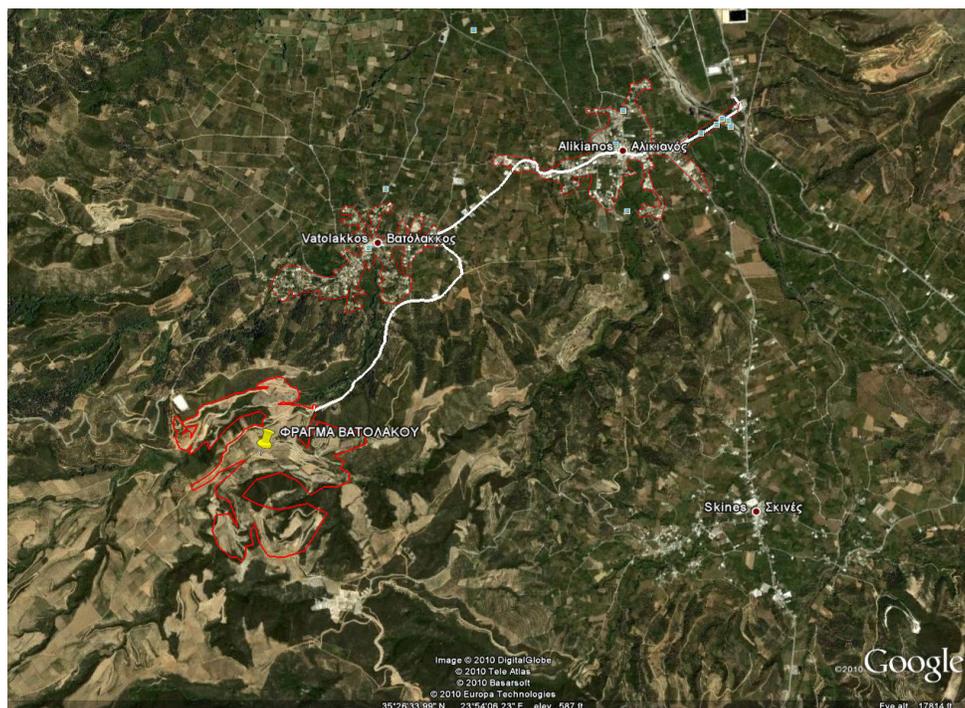
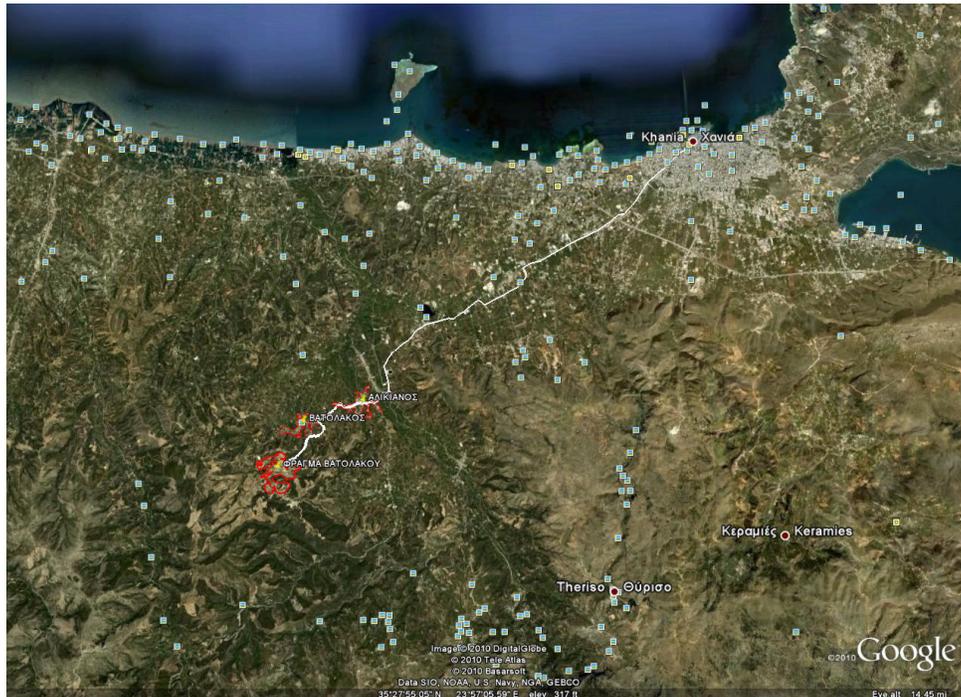
Η μεθοδολογία εκπόνησης της εργασίας περιλαμβάνει:

- Την συγκέντρωση των διαθέσιμων πληροφοριών και στοιχείων που αφορούν την περιοχή μελέτης και την ευρύτερη περιοχή από κάθε είδους γεωλογικές, υδρογεωλογικές, εδαφοτεχνικές μελέτες και έρευνες που έχουν εκπονηθεί από διάφορους ιδιωτικούς ή δημόσιους φορείς και επιστημονικές δημοσιεύσεις από την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία, καθώς και ερμηνεία αεροφωτογραφιών για τις περιοχές ενδιαφέροντος και την ευρύτερη περιοχή. Κύρια πηγή πληροφόρησης για τα παραπάνω υπήρξε ο Οργανισμός Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης.
- Την έρευνα πεδίου.
- Την επεξεργασία και αξιολόγηση του συνόλου των δεδομένων χρησιμοποιώντας σύγχρονο λογισμικό.
- Σύνταξη της παρούσας εργασίας.

1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής

Η θέση του φράγματος Βασαρμιώτη (σχ. 1.1) βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο του ρέματος Βασαρμιώτη και απέχει περίπου 900 μ. από το χωριό Βατόλακκος. Η

προσπέλαση στη θέση του φράγματος γίνεται με σταθερή αγροτική οδό πολύ καλής βατότητας, η οποία από το χωριό Βατόλακκος κινείται προς ΝΝΔ κατά μήκος του ρέματος Βασαρμιώτη και καταλήγει στο εκκλησάκι Αγ. Στυλιανός που βρίσκεται πλησίον της θέσης του φράγματος στη νότια πλευρά του ρέματος και συνεχίζει δυτικά της λεκάνης κατάκλυσης



Σχήμα 1.1 Εικόνα της ευρύτερης περιοχής (<http://earth.google.com/>)

Η λεκάνη απορροής του χειμάρρου ανέρχεται σε 2850 στρέμματα και η κοίτη του, διερχομένη από τις παρυφές του οικισμού ενώνεται με τον χείμαρρο Κερίτη. Από πηγές της λεκάνης απορροής υδρεύεται η κοινότητα Βατόλακκου. Ο χείμαρρος Βασαρμιώτης παρουσιάζει ποικιλία στο εύρος και την μορφή, ενώ παράλληλα ενδιαφέρον παρουσιάζει η ποικιλία που διακρίνει την δασική χλωρίδα αλλά και την πανίδα της ευρύτερης περιοχής. Από άποψη δομής και συμπεριφοράς η περιοχή του χειμάρρου Βασαρμιώτη χωρίζεται σε δύο υποπεριοχές.

1. Στην περιοχή ανάντη της θέσης του φράγματος με την περιοχή που προβλέπεται να κατακλυσθεί και την ευρύτερη λεκάνη απορροής. Η λεκάνη κατάκλισης χαρακτηρίζεται από απότομες κλίσεις και έντονη φυτοκάλυψη. Γεωλογικά αποτελείται κυρίως από Φυλλιτικούς - Χαλαζιτικούς σχηματισμούς που έχουν επαρκή στεγανότητα και ευστάθεια παρ'όλο ότι τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται ισχυρά καταπονημένα λόγω της ρηξιγενούς δομής τους.

2. Στην περιοχή κατάντη της θέσης του φράγματος και μέχρι την έξοδο του Βασαρμιώτη στον χείμαρρο Κερίτη. Στην περιοχή αυτή και μέχρι τον οικισμό συνκεντρώνεται πλούσια παραποτάμια βλάστηση. Ο Βατόλακκος απέχει 2,5 χλμ. δυτικά του Αλικιανού με τον οποίο ήδη έχει συνδεθεί.

1.4 Μορφολογία της εξεταζόμενης περιοχής και υδρολογικά στοιχεία

Η μορφολογία της ζώνης εδράσεως του φράγματος όπως και όλη η περιοχή της λεκάνης κατάκλισης, είναι λοφώδης με μεγάλες κλίσεις των φυσικών πρηνών. Το άνοιγμα της λεκάνης στον άξονα του φράγματος σε υψόμετρο 135μ. περίπου είναι 80μ. ,ενώ στο υψόμετρο των 180μ. στο οποίο τοποθετείται η στέγη του φράγματος το άνοιγμα είναι 260μ. .

Η διεύθυνση του ρέματος Βασαρμιώτη στη ζώνη εδράσεως του φράγματος είναι περίπου Α-Δ, ενώ ο άξονας του φράγματος έχει διεύθυνση Β-Ν.

Στο νότιο αντέρεισμα η μέση κλίση του πρηνούς του μεταξύ των υψομέτρων 140 και 180μ. είναι περίπου 20°.

Το βόρειο αντέρεισμα είναι πιο απότομο. Η μέση κλίση του πρηνούς μεταξύ των υψομέτρων 140 και 180μ. ανέρχεται περίπου σε 35° ή γενικά πρόκειται για απότομη πλαγιά.

Τα αντερείσματα στη ζώνη εδράσεως του φράγματος συνίσταται εξολοκλήρου από πετρώματα της ενότητας φυλλιτών-χαλαζιτών, ενώ η κοίτη του ρέματος κατέχεται από πρόσφατες ποταμοχειμάρριες αλλουβιακές αποθέσεις που καλύπτουν μια ζώνη πλάτους 50μ. περίπου και πάχους 3μ. έως 8μ. και προέρχονται από τη διάβρωση των φυλλιτών-χαλαζιτών.

Στο νότιο αντέρεισμα η γεωλογική δομή συνίσταται σε εναλλαγές φυλλιτών-χαλαζιτών. Πιο συγκεκριμένα από την κοίτη του ρέματος ανεβαίνοντας προς το πρηνές συναντώνται:

- Χαλαρές κροκαλολατυποπαγείς αποθέσεις αποσάθρωσης
- Εναλλασσόμενα στρώματα φυλλιτών-χαλαζιτών
- Στρώμα χαλαζίτη συνολικού φαιν. πάχους 5μ. περίπου
- Χαλαρές κροκαλολατυποπαγείς αποθέσεις
- Στρώμα χαλαζίτη φαιν. πάχους 10μ. περίπου
- Εναλλασσόμενα στρώματα φυλιτών-χαλαζιτών
- Μεγάλου πάχους στρώμα φυλλιτικού πετρώματος.

Στο βόρειο αντέρεισμα από τη βάση του αντίστοιχου πρηνούς και μέχρι το υψόμετρο 170μ. περίπου, καλύπτεται από τις χαλαρές κροκαλολατυποπαγείς αποθέσεις των υλικών αποσάθρωσης φυλλιτών-χαλαζιτών.

Στο βόρειο τμήμα του ορεινού ασβεστολιθικού συγκροτήματος Λευκών Ορέων πηγάζουν οι πηγές των Μεσκλών σε υψόμετρο +200 περίπου μέτρων. Οι πηγές είναι συνεχούς λειτουργίας και ο ελάχιστος μέσος και μέγιστος ετήσιος όγκος νερού που εκρέει αντίστοιχα από τις πηγές βάσει μετρήσεων των ετών 1971-1985 ανέρχεται σε: 18,4 , 36,6 και 61,1 εκατομ. m³.

Η παροχή των πηγών έχει μεγάλες διακυμάνσεις κατά την παραπάνω χρονική περίοδο. Η μετρηθείσα ελάχιστη, μέση και μέγιστη παροχή ανέρχεται αντίστοιχα σε: 0, 0,38, 1,62 και 4,548 m³/s . Στις πηγές έχει κατασκευασθεί υδροληπτικό έργο. Το συλλεγόμενο νερό μεταφέρεται στις δεξαμενές της Αγιάς (+140) με χαλύβδινο αγωγό. Κατά τη χειμερινή-εαρινή περίοδο (Δεκέμβριος έως και μέσα Απριλίου) ένα μικρό ποσοστό της παροχής των πηγών χρησιμοποιείται κυρίως για ύδρευση, ενώ το υπόλοιπο ρέει ανεκμετάλλευτο προς τη θάλασσα δια μέσου του ποταμού Κερίτη. Η αποθήκευση σε ταμιευτήρα της πλεονάζουσας παροχής είναι η μόνη λύση για την αύξηση του εκμεταλλεύσιμου υδατικού δυναμικού των πηγών Μεσκλών, που θα χρησιμοποιηθεί τους θερινούς μήνες αιχμής της ζήτησης.

1.5 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης

Η Κρήτη και γενικότερα σχεδόν ολόκληρη η Μεσόγειος θάλασσα βρίσκονται βορειότερα των περιοχών υποτροπικών νηνεμιών. Σ' αυτές τις περιοχές λόγω της διανομής ατμοσφαιρικής πίεσης και της κυκλοφορίας των ανέμων, παρατηρούνται δύο κυρίως εποχές: η βροχερή και η ξηρή. Εάν σαν βάση του διαχωρισμού χρησιμοποιηθεί η θερμοκρασία του αέρα, τότε και πάλι παρατηρούνται δύο εποχές: η ψυχρή και η θερμή. Στο μεσογειακό τύπο

κλίματος, υπάρχει σαφής συσχετισμός ανάμεσα στην ψυχρή και βροχερή, καθώς και ανάμεσα στην ξηρή και θερμή εποχή.

Σαν θερμή εποχή χαρακτηρίζεται το διάστημα Ιουνίου – Σεπτεμβρίου και σαν ψυχρή εποχή το διάστημα Οκτωβρίου – Μαΐου, αν και οι μήνες Οκτώβριος και Μάιος μπορούν να θεωρηθούν μεταβατικοί μήνες.

Το κλίμα της Κρήτης είναι εύκρατο και πλησιάζει προς το θαλάσσιο. Σε υψηλά υψόμετρα, τείνει προς τον ορεινό τύπο κλίματος. Από την άποψη ηπιότητας και των μεταβολών, το κλίμα της Κρήτης θεωρείται προνομιούχο και οφείλεται στην κεντρική θέση που κατέχει το νησί στην ανατολική Μεσόγειο. Ο χειμώνας αρχίζει περίπου από τα μέσα Δεκεμβρίου και είναι ήπιος. Ο ψυχρότερος μήνας του έτους είναι ο Ιανουάριος που διαφέρει ελάχιστα θερμομετρικά από το Φεβρουάριο. Η διαφορά τους όμως τόσο με το Δεκέμβριο όσο και με το Μάρτιο, είναι αισθητή. Γενικά τα πεδινά της Ανατολικής Κρήτης είναι από τις θερμότερες περιοχές της Ελλάδας με μακρά ηλιοφάνεια ακόμα και κατά τους μήνες Οκτώβριο μέχρι Απρίλιο. Η νέφωση είναι γενικά μικρή και μειώνεται από ανατολικά προς δυτικά. Το ανατολικό άκρο κατά τους χειμερινούς μήνες ανήκει σε περιοχή μεγίστου νεφώσεως. Οι βροχές αυξάνονται από τα ανατολικά προς δυτικά και από τα παράλια προς την ηπειρωτική χώρα.

Κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος στο νησί είναι:

- Υψηλά ποσοστά βροχοπτώσεων με μη κανονική κατανομή τόσο τυπικά (αυξητική κλίμακα από ανατολικά προς δυτικά και μεγάλο ημερήσιο ποσοστό βροχοπτώσεων στην Κεντρική και Δυτική Κρήτη που φτάνει το 1/3) όσο και χρονικά (την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων, διαδέχονται περίοδοι με μεγάλη ξηρασία).
- Έντονη ηλιοφάνεια
- Ήπιες θερμοκρασιακές αποκλίσεις.
- Δεν παρατηρείται ποτέ παγετός.
- Η θερμοκρασία σπάνια πέφτει κάτω από τους 0°C.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

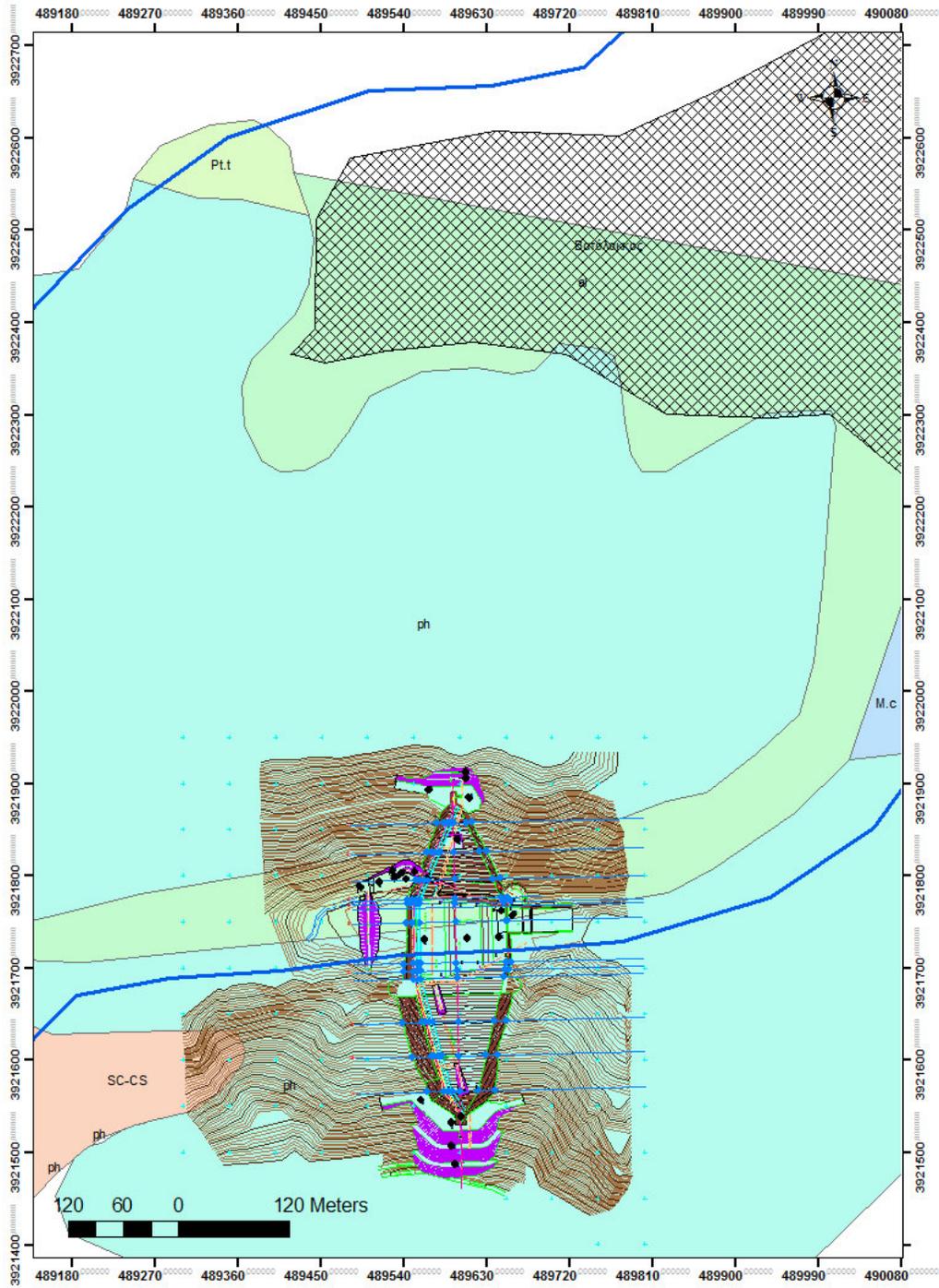
2.1 Γεωλογικά στοιχεία για την εξεταζόμενη περιοχή

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί (σχ. 2.1) που αποκαλύπτονται στη ζώνη θεμελιώσεως του Φράγματος Βασαρμιάτη, διακρίνονται σε πρόσφατες ποταμοχειμάρριες αποθέσεις που αναπτύσσονται στην κοίτη του υδατορέματος, σε πλευρικά κορήματα τα οποία αποτελούν αποθέσεις υλικών αποσαθρώσεως καθώς και σε φυλλιτικά πετρώματα της γεωλογικής ενότητας φυλλιτών - χαλαζιτών που καταλαμβάνουν τα δύο πρανή.

Τα φυλλιτικά πετρώματα αντιπροσωπεύονται από εναλλασσόμενο στρώματα αργιλικών, σερεκιτικών και χλωριτικών φυλλιτών στα οποία παρεμβάλλονται κατά θέσεις φακοί ή ζώνες χαλαζιτών.

Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα των φυλλιτών, είναι ο έντονος επιφανειακός τους κατακερματισμός και η εκτεταμένη τους αποσάθρωση η οποία φαίνεται να αναπτύσσεται σε βάθος. Κατά θέσεις παρατηρείται ευθρυπτότητα του υλικού με συνέπεια τη δημιουργία ενός επιφανειακού καλύμματος από αμμώδη (φυλλιτική) άργιλο, χάλικες και τεμάχια χαλαζίτη.

Η ρηξιγενής τεκτονική, αντιπροσωπεύεται από δύο κύριες οικογένειες διακλάσεων που διατρέχουν τους βραχώδεις σχηματισμούς. Οι διευθύνσεις της πρώτης οικογένειας κυμαίνονται από ΒΔ - ΝΑ έως ΒΒΔ - ΝΝΑ, ενώ οι διευθύνσεις της δεύτερης οικογένειας των διακλάσεων κυμαίνονται από ΒΑ - ΝΔ έως ΑΒΑ - ΔΝΔ. Σε ότι αφορά την πτυχογόνο τεκτονική, αυτή εκπροσωπείται από μερικές μικρού εύρους πτυχώσεις που αποκαλύπτονται στη θέση του νότιου αντερίσματος του φράγματος.



Σχήμα 2.1 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης.

3. ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

3.1 Εισαγωγή

Οι μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών έχουν μεγάλη σημασία αφενός για την μακροσκοπική τους αναγνώριση και αφετέρου για τον διαχωρισμό τους από μείγματα διαμαγνητικών, παραμαγνητικών και παραμαγνητικών ορυκτών. Ο διαχωρισμός τους γίνεται με την βοήθεια ειδικών μαγνητικών συσκευών, που ονομάζονται μαγνητικοί διαχωριστές.

Ως σιδηρομαγνητικά χαρακτηρίζονται τα υλικά, τα οποία όταν εκτεθούν στην δράση μαγνητικού πεδίου, διατηρούν τμήμα της μαγνήτισης τους ακόμα και όταν αυτό παύσει να υφίσταται. Με θέρμανση πάνω από την θερμοκρασία Curie, την κρίσιμη θερμοκρασία μετατροπής ενός σιδηρομαγνητικού υλικού σε παραμαγνητικό, τα σιδηρομαγνητικά υλικά χάνουν το μόνιμο μαγνητισμό τους και μεταπίπτουν σε παραμαγνητικά. Φυσικά σιδηρομαγνητικά ορυκτά είναι ο μαγνητίτης, ο μαγνητοπυρίτης και ο μαγκεμίτης.

Παραμαγνητικά ονομάζονται τα ορυκτά, οι κρύσταλλοι των οποίων περιέχουν ιόντα που χαρακτηρίζονται από παράλληλη ταξινόμηση των ιδιοπεριστροφών (spins) των ηλεκτρονίων τους. Τα μαγνητικά δίπολα των ορυκτών αυτών χαρακτηρίζονται από τυχαία κατανομή, παρουσιάζουν γενικά μικρή επιδεκτικότητα και έλκονται ελαφρά από το μαγνητικό πεδίο. Γνωστά παραμαγνητικά ορυκτά είναι οι πυρόξενοι, ο ολιβίνης και ο βιοτίτης.

Διαμαγνητικά ονομάζονται τα ορυκτά οι κρύσταλλοι των οποίων περιέχουν στοιχεία, τα ηλεκτρόνια των οποίων χαρακτηρίζονται για την περιστροφή τους γύρω από τον πυρήνα του ατόμου. Παρουσιάζουν μηδενική ή ελάχιστη μαγνητική επιδεκτικότητα.

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά οι βασικές έννοιες του μαγνητισμού και της μαγνητικής επιδεκτικότητας, ο τρόπος που μετράται καθώς και η χρήση της μαγνητικής επιδεκτικότητας στην επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Επιβάλλεται να αναφερθεί ότι η πλειονότητα των θεωρητικών στοιχείων προέρχεται από το βιβλίο των Thompson and Oldfield (1986), Environmental Magnetism. Επιπρόσθετα παρατίθενται και παραδείγματα από περιπτώσεις περιοχών με περιβαλλοντικά προβλήματα, όπου χρησιμοποιήθηκε η μαγνητική επιδεκτικότητα ως δείκτης για τον εντοπισμό τους.

3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες

Διαμαγνητισμός (Diamagnetism). Πρόκειται για μια ασθενή αρνητική μαγνήτιση (magnetization) που προκύπτει κατά την αλληλεπίδραση ενός εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου με το πεδίο που προκύπτει κατά την τροχιακή (orbital) κίνηση των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα του ατόμου. Ο διαμαγνητισμός είναι ανεξάρτητος της θερμοκρασίας και χαρακτηρίζει υλικά όπως ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης, ο μαρμαρυγίας και το νερό.

Παραμαγνητισμός (Paramagnetism). Γενικά παραμαγνητική συμπεριφορά παρουσιάζουν άτομα, ιόντα ή μόρια, τα οποία εμφανίζονται μόνιμα ως μαγνητικά δίπολα και τα οποία τείνουν να προσανατολιστούν παράλληλα στην διεύθυνση εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου με αποτέλεσμα να προκληθεί μια ασθενής θετική μαγνήτιση. Παρόλα αυτά, μόλις παύσει η δράση του μαγνητικού πεδίου, η μαγνήτιση του παραμαγνητικού υλικού χάνεται.

Σιδηρομαγνητισμός (Ferromagnetism). Ήδη έχει αναφερθεί ότι τα σιδηρομαγνητικά ορυκτά χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα, στην θερμοκρασία Curie να αλλάζουν δραματικά οι μαγνητικές ιδιότητες τους. Κάτω από την θερμοκρασία Curie το σιδηρομαγνητικό υλικό παρουσιάζει μια ισχυρή παραμένουσα μαγνήτιση, ενώ πάνω από την θερμοκρασία Curie συμπεριφέρεται ως παραμαγνητικό υλικό.

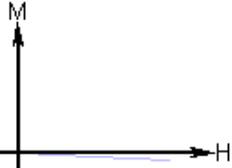
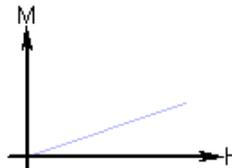
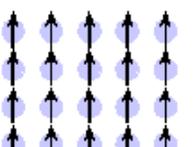
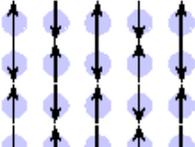
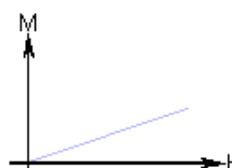
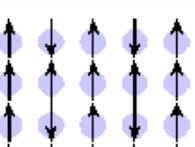
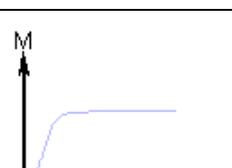
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

Στον Πίνακα (3.1) δίνονται συγκεντρωτικά όλα τα είδη μαγνήτισης διάφορων υλικών.

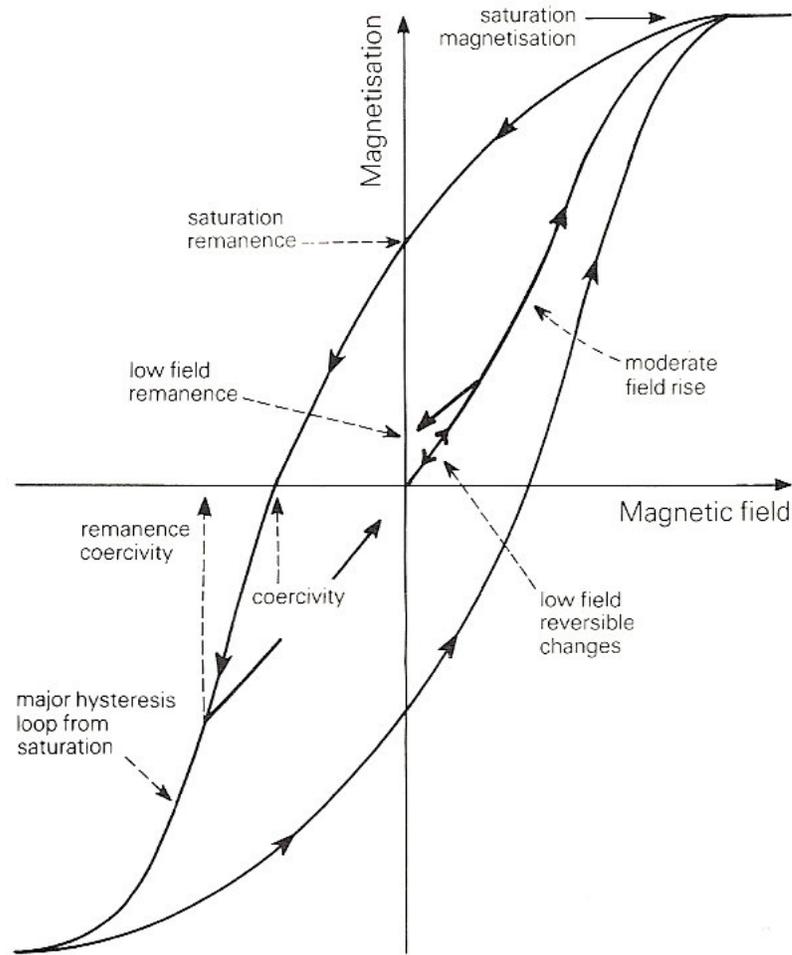
3.3 Μαγνητική υστέρηση

Το μαγνητικό καθεστώς μια ράβδου σιδήρου εξαρτάται από το μαγνητικό πεδίο, στο οποίο εκτίθεται και την μαγνητική ιστορία της ράβδου. Το σχήμα 3.1 παρουσιάζει την σχέση της μαγνήτισης μιας ράβδου σιδήρου με το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο.

Αν θεωρήσουμε μια μη μαγνητισμένη ράβδο, η οποία εισάγεται σε ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο, από το σχήμα 3.1 φαίνεται ότι η μαγνήτιση αυξάνει αργά. Όταν παύσει η δράση του μαγνητικού πεδίου, η μαγνήτιση της ράβδου μηδενίζεται. Αν στην συνέχεια εφαρμοστεί ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο, η μαγνήτιση της ράβδου δεν είναι πλέον αντιστρεπτή και εμφανίζεται το φαινόμενο της υστέρησης. Εφόσον απομακρυνθεί το μαγνητικό πεδίο η ράβδος σιδήρου διατηρεί παραμένουσα μαγνήτιση.

| Τύπος μαγνήτισης | Μαγνητική επιδεκτικότητα | Σχέση Μαγνήτισης – Εφαρμοζόμενου πεδίου | Παραδείγματα υλικών / επιδεκτικότητα |
|--------------------------|--|--|---|
| Διαμαγνητισμός | Μικρή και αρνητική | Τα άτομα δεν έχουν μαγνητική ροπή   | -2.74×10^{-6} Au -0.77×10^{-6} Cu |
| Παραμαγνητισμός | Μικρή και θετική | Τυχαίος προσανατολισμός των μαγνητικών ροπών των ατόμων   | 0.19×10^{-6} β-Sn 21.04×10^{-6} Pt 66.10×10^{-6} Mn |
| Σιδηρομαγνητισμός | Μεγάλη και θετική, συνάρτηση του εφαρμοζόμενου πεδίου, εξαρτάται από τη μικροδομή. | Τα άτομα έχουν παράλληλες μαγνητικές ροπές   | Fe ~100,000 |
| Αντι - σιδηρομαγνητισμός | Μικρή και θετική | Ανάμειξη παράλληλων και αντιπαράλληλων μαγνητικών ροπών   | Cr 3.6×10^{-6} |
| Σιδηρομαγνητισμός | Μεγάλη και θετική, συνάρτηση του εφαρμοζόμενου πεδίου, εξαρτάται από τη μικροδομή | Τα άτομα έχουν αντιπαράλληλες μαγνητικές ροπές   | Ba ferrite ~3 |

Πίνακας 3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας όλων των τρόπων μαγνήτισης διάφορων υλικών



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα της μαγνητικής υστέρησης και της καμπύλης της μαγνήτισης (Thompson and Oldfield, 1986).

Αν εφαρμοστεί αρκετά ισχυρό μαγνητικό πεδίο το υλικό αποκτά την μαγνήτιση κορεσμού και η καμπύλη της υστέρησης μια σταθερή τιμή.

Οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την καμπύλη της υστέρησης συνοψίζονται ως ακολούθως:

Η κορεσμένη μαγνήτιση M_S , δηλαδή η μαγνήτιση που επάγεται από ισχυρά μαγνητικά πεδία ($>1T$).

Κατά την απομάκρυνση τέτοιων πεδίων η μαγνήτιση δεν μηδενίζεται και ονομάζεται παραμένουσα μαγνήτιση κορεσμού (saturation remanent magnetization) MRS.

Εάν εφαρμοστεί νέο μαγνητικό πεδίο, αντίθετης διεύθυνσης με το πρώτο, η επαγόμενη μαγνήτιση μπορεί να μηδενιστεί. Το αντίθετης διεύθυνσης πεδίο, που μηδενίζει την μαγνήτιση, ονομάζεται *συνεκτικό πεδίο κορεσμού* H_C και συμβολίζεται με $(B_0)_C$.

Το ακόμη ισχυρότερο πεδίο που απαιτείται για να μηδενιστεί η παραμένουσα μαγνήτιση ονομάζεται *συνεκτικό πεδίο παραμένουσας μαγνήτισης* $(B_0)_{CR}$.

Η κλίση της καμπύλης μαγνήτισης ονομάζεται *αρχική μαγνητική επιδεκτικότητα* κ (initial magnetic susceptibility).

Στον πίνακα (3.1) παρουσιάζονται οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στον μαγνητισμό και στον πίνακα (3.2) η μαγνήτιση κορεσμού για διάφορα φυσικά υλικά.

Πίνακας (3.1) μονάδες που χρησιμοποιούνται στον μαγνητισμό (Thompson and Oldfield 1986).

| Quantity | SI | CGS (emu) | Relationship |
|---------------------------------|---|---|---|
| induction in free space (field) | B_0 tesla (T) | B gauss (G) | $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$ |
| magnetic force (field) | H A m^{-1} | H oersted (Oe) | $1 \text{ A m}^{-1} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ Oe}$ |
| permeability of a vacuum | $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ | $\mu_0 = 1$ | 1 H m^{-1} equivalent to $10^7/4\pi \text{ G Oe}^{-1}$ |
| induction in free space (field) | $B_0 = \mu_0 H$ | $B = H$ | 1 T equivalent to 10^4 Oe |
| induction in medium | $B = B_0 + \mu_0 M$ | $B = H + 4\pi I$ | $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$ |
| magnetisation per unit volume | M A m^{-1} | I G | $1 \text{ A m}^{-1} = 10^{-3} \text{ G}$ |
| magnetisation per unit mass | $\sigma = M/\rho$ $\text{A m}^2 \text{ kg}^{-1}$ $\rho = \text{density}$ | $\sigma = I/\rho$ $\text{G cm}^3 \text{ g}^{-1}$ | $1 \text{ A m}^2 \text{ kg}^{-1} = 1 \text{ G cm}^3 \text{ g}^{-1}$ |
| susceptibility per unit volume | $\kappa = M/H$ | $\kappa = I/H$ | $1 \text{ (SI unit)} = 4\pi \text{ G Oe}^{-1}$ |
| susceptibility per unit mass | $\chi = \kappa/\rho$ $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$ | $\chi = \kappa/\rho$ $\text{G Oe}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ | $1 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ G Oe}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ |

Πίνακας (3.2) Μαγνήτιση κορεσμού για διάφορα φυσικά υλικά (Thompson and Oldfield, 1986).

| Mineral | Composition | Curie temperature (°C) | Room temperature (20°C) saturation magnetisation M_s ($\text{A m}^2 \text{ kg}^{-1}$) |
|-----------------|-------------------------------|------------------------|---|
| magnetite | Fe_3O_4 | 585 | 93 |
| ulvospinel | Fe_2TiO_4 | -153 | — |
| haematite | $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ | 675 | 0.5 |
| ilmenite | FeTiO_3 | -218 | — |
| maghaemite | $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ | ~740 | 85 |
| pyrrhotite | ~ Fe_7S_8 | ~300 | ~20 |
| iron | αFe | 780 | 200 |
| goethite | $\alpha\text{FeO.OH}$ | 120 | ~1 |
| lepidocrocite | $\gamma\text{FeO.OH}$ | -196 | — |
| magnesioferrite | MgFe_2O_4 | 440 | 21 |
| jacobsite | MnFe_2O_4 | 310 | 77 |

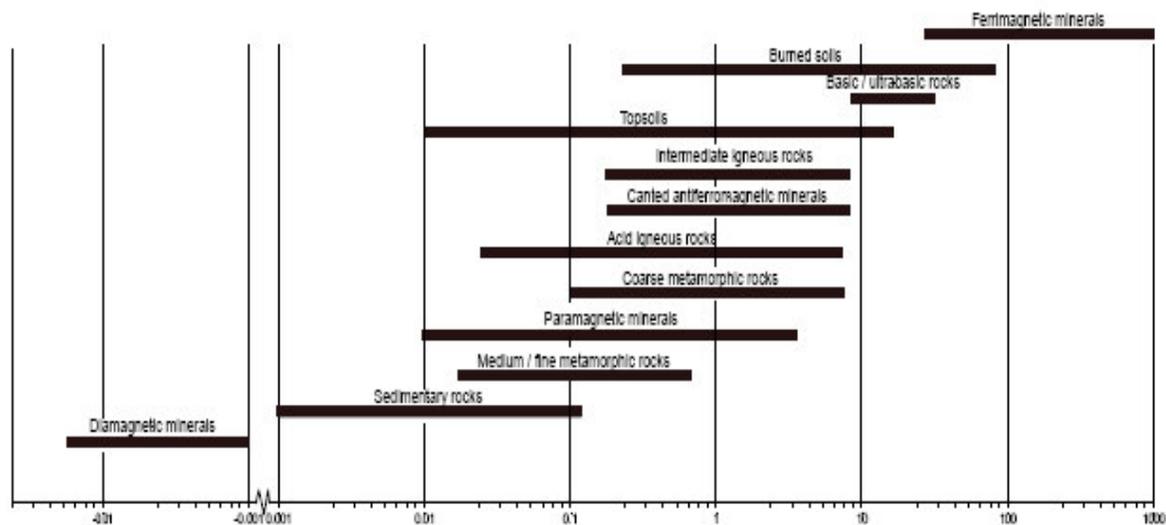
3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

Η μαγνητική επιδεκτικότητα είναι ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία μαγνητίζεται ένα υλικό. Η μαγνητική επιδεκτικότητα κατ' όγκο ορίζεται από την σχέση: $\kappa = M/H$, όπου M η κατ' όγκο μαγνήτιση που αποκτά ένα υλικό επιδεκτικότητας κ , όταν εφαρμοστεί πεδίο έντασης H . Η μαγνητική επιδεκτικότητα δηλαδή, είναι η σταθερά αναλογίας μεταξύ αποτελέσματος (μαγνήτισης) και αιτίου (πεδίου). Τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας για διάφορες κατηγορίες υλικών (μαγνητικών και μη), δίνονται στους Πίνακες 3.3 και 3.4.

Η ειδική επιδεκτικότητα, χ , ορίζεται από την σχέση: $\chi = \kappa/\rho$, όπου ρ η πυκνότητα και εκφράζεται σε m^3/Kgr . Η επιδεκτικότητα μετράται γενικά σε ασθενή πεδία έντασης λιγότερο από 1mT. Ο λόγος είναι ότι σε τέτοια πεδία η επιδεκτικότητα είναι γενικά ανεξάρτητη από την ένταση του εφαρμοζόμενου πεδίου.

Όταν ένα υλικό μαγνητίζεται, το εσωτερικό μαγνητικό πεδίο του είναι μικρότερο από το εξωτερικό. Η εσωτερική μαγνητική επιδεκτικότητα συμβολίζεται με κ_i , ενώ η εξωτερική με κ_e , την οποία και μετράμε. Η σχέση μεταξύ κ_i και κ_e είναι: $\kappa_e = \kappa_i / (1+N \cdot \kappa_i)$ όπου N ο παράγοντας απομαγνήτισης. Για ένα ισχυρό μαγνητικό ορυκτό (μαγνητίτης) $N \cdot \kappa_i > 1$, οπότε και το κ είναι κατά προσέγγιση ίσο με $1/N$. Εφόσον το N είναι γνωστό, η σχέση μεταξύ της μετρούμενης επιδεκτικότητας και της συγκέντρωσης των σιδηρομαγνητικών κόκκων είναι απλή. Στην πράξη έχει βρεθεί ότι για φυσικά δείγματα το N έχει μια τιμή περίπου 1/3.

Πίνακας (3.3) Τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας για διάφορες κατηγορίες υλικών.



Πίνακας (3.4) Τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας για διάφορα υλικά (Thompson and Oldfield 1986)

| Remanence-carrying minerals ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) | | Other iron-bearing minerals ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) | | Other minerals and materials ($10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) | |
|--|----------------------|--|--------|---|-------|
| iron (∞Fe) | 2×10^7 | olivines ($\text{Mg, Fe}_2\text{SiO}_4$) | 1→130 | water (H_2O) | -0.9 |
| magnetite (Fe_3O_4) | 5×10^4 | amphiboles (Mg, Fe, Al silicates) | 16→100 | halite (NaCl) | -0.9 |
| maghaemite (Fe_2O_3) | 4×10^4 | siderite (FeCO_3) | ~100 | quartz (SiO_2) | -0.6 |
| pyrrhotite (Fe_7S_9) | $\sim 5 \times 10^3$ | pyroxenes ($\text{Mg, Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) | 5→100 | calcite (CaCO_3) | -0.5 |
| ilmenite (FeTiO_3)* | ~200 | biotites (Mg, Fe, Al silicates) | 5→ 95 | feldspar (Ca, Na, K, Al silicate) | -0.5 |
| lepidocrocite (FeOOH)* | 70 | nontronite (Fe-rich clay) | ~ 90 | kaolinite (clay mineral) | -2 |
| goethite (∞FeOOH) | 70 | chamosite (Oxidised chlorite) | ~ 90 | montmorillonite (clay) | ~5 |
| haematite (Fe_2O_3) | 60 | epidote (Ca, Fe, Al silicate) | ~ 30 | illite (clay mineral) | ~15 |
| | | pyrite (FeS_2) | ~ 30 | plastic (e.g. perspex, PVC) | ~-0.5 |
| | | chalcopyrite (CuFeS_2) | ~ 3 | | |

* Only remanence carrying at temperatures well below room temperature.

Ακολουθούν οι ορισμοί κάποιων επιμέρους μεγεθών που σχετίζονται με την μαγνητική επιδεκτικότητα:

- 1. Παραμένουσα μαγνήτιση εναπόθεσης (Detrital or depositional remnant magnetization, DRM)** – αφορά την παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτούν τα ιζήματα κατά την απόθεση τους.
- 2. Μέγιστη παραμένουσα μαγνήτιση (Saturation isothermal remnant magnetization, SIRM or MRS or σ_{RS})**. Είναι η μέγιστη παραμένουσα μαγνήτιση που μπορεί να παρατηρηθεί και αποκτάται κατά την εφαρμογή και απομάκρυνση ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου.
- 3. Μέγιστη μαγνήτιση (saturation magnetization MS or σ_S)**. Είναι η μέγιστη μαγνήτιση που μπορεί να παρατηρηθεί σε ένα δείγμα κατά την εφαρμογή ισχυρού μαγνητικού πεδίου.
- 4. Θερμοπαραμένουσα μαγνήτιση (Thermoremanent magnetization, TRM)**. Αφορά την παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτά ένα υλικό καθώς παγώνει κάτω από την θερμοκρασία Curie.
- 5. Η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου με το χρόνο (Viscosity)**.
- 6. Χρονικά εξαρτώμενη παραμένουσα μαγνήτιση (viscous remnant magnetization VRM)**. Η παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτά ένα υλικό, όταν εφαρμόζεται ασθενές μαγνητικό πεδίο για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- 7. Ανισοτροπία της μαγνητικής επιδεκτικότητας (anisotropy of magn. Susceptibility)**. Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την διεύθυνση.

8. Anhysteretic remanent magnetization (ARM). Η παραμένουσα μαγνήτιση που δημιουργείται κατά την ομαλή απομείωση ενός ισχυρού εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου, παρουσία ενός ασθενούς σταθερού πεδίου.

9. Υπερ-παραμαγνητισμός (superparamagnetism). Είναι το φαινόμενο της ταχύτατης μείωσης της παραμένουσας μαγνήτισης των σιδηρομαγνητικών υλικών, όταν οι κόκκοι τους είναι μικρότεροι από μια κρίσιμη διάμετρο (10-8 m). Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας.

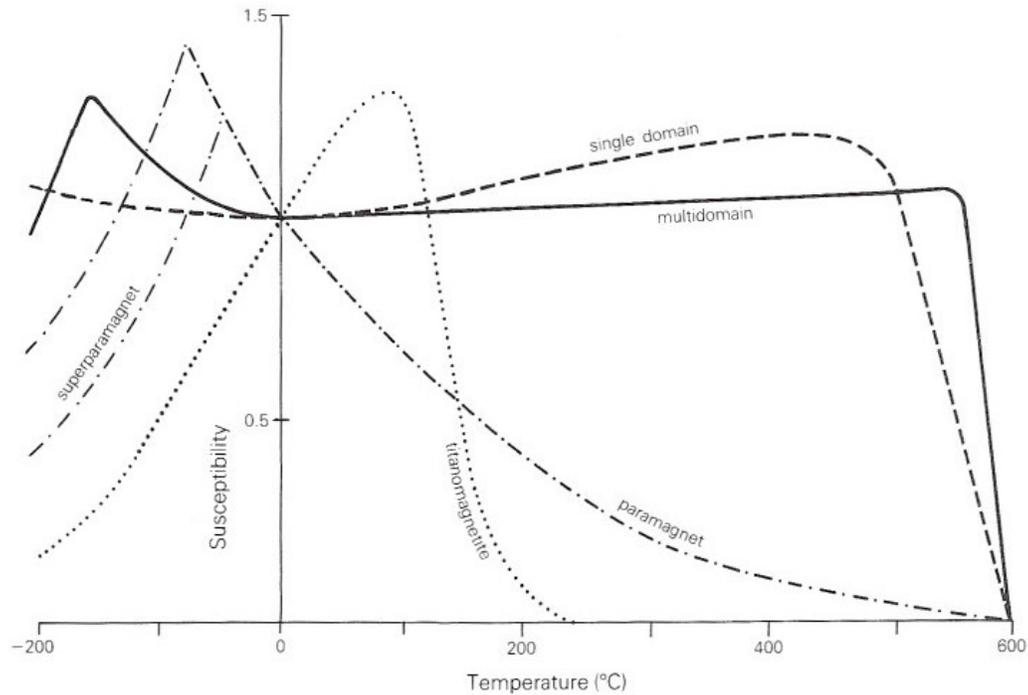
3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία

Η μαγνητική επιδεκτικότητα, k , γενικά μεταβάλλεται με την θερμοκρασία λόγω των εσωτερικών τάσεων και της ανισοτροπίας των κρυστάλλων.

Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται τυπικές μεταβολές της μαγνητικής επιδεκτικότητας κρυστάλλων μαγνητίτη διαφόρων μεγεθών και διαφορετικής σύστασης. Όλες οι καμπύλες έχουν κανονικοποιηθεί, έτσι ώστε η τιμή της επιδεκτικότητας στους 0°C να ισούται με την μονάδα.

Κατά τη διαδικασία της θερμομαγνητικής ανάλυσης το δείγμα υποβάλλεται σε θέρμανση μέχρι τους 700° C ενώ ταυτόχρονα γίνεται μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητάς του. Τα ορυκτά, στη θερμοκρασία Curie (T_c) και πάνω από αυτήν, χάνουν την ικανότητά τους να φέρουν σταθερή μαγνήτιση και μετατρέπονται σε παραμαγνητικά ορυκτά άσχετα με την πρότερη κατάστασή τους. Παρόλα αυτά, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, η παραμένουσα μαγνήτιση μπορεί να χαθεί κάτω από την T_c σε μία άλλη θερμοκρασία, που καλείται θερμοκρασία φραγμού T_b (η οποία είναι η θερμοκρασία κατά την οποία αποκτάται η παραμένουσα μαγνήτιση). Σε πολλά πετρώματα η παραμένουσα μαγνήτιση εκδηλώνεται σε ένα εύρος θερμοκρασιών φραγμού το οποίο αντανakλά και τις διαφορετικές ιδιότητες των υλικών που φέρουν τη μαγνήτιση. Αυτό εκδηλώνεται με την εξασθένηση της παραμένουσας μαγνήτισης καθώς το πέτρωμα θερμαίνεται διαδοχικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Αν η θερμοκρασία φραγμού είναι περίπου ίδια με τη θερμοκρασία Curie τότε η θερμοπαραμένουσα θα χαθεί και θα επαναποκτηθεί σε ένα στενό θερμοκρασιακό διάστημα ακριβώς κάτω από το σημείο Curie. Το δείγμα μετά τη θέρμανσή του ψύχεται σε μηδενικό πεδίο και επαναμαγνητίζεται σε θερμοκρασία δωματίου. Έτσι παράγεται μία δεύτερη καμπύλη. Η πρώτη καμπύλη μας δίνει τις θερμοκρασίες φραγμού των ορυκτών που είναι παρόντα στο δείγμα, ενώ η δεύτερη δείχνει τις θερμοκρασίες φραγμού

των ορυκτών που δημιουργήθηκαν κατά τη θέρμανση. Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν ανιχνεύονται και τα νέα ορυκτά.



(α)



(β)

Σχήμα 3.2 α) Καμπύλες μαγνητικής επιδεκτικότητας (ασθενές εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο) σε σχέση με την θερμοκρασία για διαφορετικού μεγέθους και σύστασης κρυστάλλους μαγνητίτη: Τιτανομαγνητίτης (σικτή), μικρού μεγέθους κόκκοι <math><20\mu\text{m}</math> (διακεκομμένη), μεγάλου μεγέθους κόκκοι >math>>20\mu\text{m}</math> (συμπαγής), υπερ-μαγνητικοί κόκκοι (διακεκομμένη με τελείες) (Thompson and Oldfield 1986), β) Θερμομαγνητική διάταξη

3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα

Γενικά η χρονική καθυστέρηση μεταξύ της εφαρμογής ενός μαγνητικού πεδίου και της απόκρισης της μαγνήτισης δημιουργεί εξάρτηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας (χ_{fd}) από την συχνότητα. Η μεταβολή αυτή είναι γνωστή με τον όρο φάσμα της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Στις υψηλές συχνότητες τα φαινόμενα αποκατάστασης (relaxation phenomena) προκαλούν ελάττωση της μαγνητικής επιδεκτικότητας και απώλειες ενέργειας με την μορφή θερμότητας.

Η μαγνητική επιδεκτικότητα μετριέται συνήθως με την μέθοδο a.c και έχει δύο συνιστώσες, την σε φάση (in phase) και την φανταστική συνιστώσα (Quadrature or out of phase).

Η χρονική καθυστέρηση μεταξύ της εφαρμογής ενός μαγνητικού πεδίου και της πλήρους μαγνητικής απόκρισης, ερευνάται με μέτρηση της φανταστικής συνιστώσας της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Όσο πιο έντονη είναι η μετατόπιση της μαγνητικής απόκρισης τόσο πιο σημαντική αποδεικνύεται η φανταστική συνιστώσα της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Στις χαμηλές συχνότητες η σε φάση συνιστώσα της μαγνητικής επιδεκτικότητας έχει τιμή πλησίον της πραγματικής. Καθώς όμως η συχνότητα αυξάνεται τα φαινόμενα αποκατάστασης γίνονται πιο σημαντικά και η σε φάση συνιστώσα μετά από μια μικρή αύξηση (Spoek, 1948), μειώνεται σταθερά ενώ η τιμή της φανταστικής συνιστώσας αυξάνει, φτάνει σε μία μέγιστη τιμή και στην συνέχεια μηδενίζεται. Η μέγιστη τιμή της φανταστικής συνιστώσας και η απότομη μείωση της πραγματικής θεωρητικά συμβαίνουν στην ίδια συχνότητα. Παρόλα αυτά η γενική τάση που εμφανίζεται είναι μείωση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με αύξηση της συχνότητας.

Με προσεκτική επιλογή της συχνότητας είναι δυνατόν να διερευνηθεί το φάσμα της επιδεκτικότητας, κάνοντας απλά και μόνο δύο μετρήσεις. Το όργανο της Bartington, που χρησιμοποιήθηκε και στην συγκεκριμένη περίπτωση μετράει σε συχνότητες 1 και 10 KHz και σε μια μέγιστη ένταση εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου 3×10^{-4} T (3Oe). Η εισαγωγή του δείγματος μέσα στο πηνίο ανίχνευσης προκαλεί μια μικρή μετατόπιση της συχνότητας. Η διαφορά στην μετατόπιση στα 1 και 10 KHz λαμβάνεται ως μέτρηση της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας, η οποία συμβολίζεται με (χ_{fd}). Συνήθως το εύρος των τιμών για την εξαρτώμενη από την συχνότητα μαγνητική επιδεκτικότητα εκφράζεται ως ποσοστό επί της ολικής επιδεκτικότητας (χ_{fd}/χ) και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 24%.

Η μέγιστη μεταβολή της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας για αδρομερή μαγνητίτη είναι μικρότερη από 26% (Bhathal and Stacey (1969), ενώ οι υψηλότερες διαφορές βρέθηκαν σε σκόνη αιωρούμενων ιζημάτων.

3.7 Μαγνήτιση των ιζημάτων και διαγένεση

Οι πρώτες παλαιομαγνητικές μελέτες πραγματοποιήθηκαν σε πυριγενή πετρώματα (Delesse, 1849; Folgerhaite, 1894) και σε ψημένες αργίλους (Melloni, 1853) καθώς τα ιζήματα είναι, σχεδόν πάντα, ασθενέστερα μαγνητισμένα από τα πυριγενή πετρώματα. Τεταρτογενή ιζήματα και θαλάσσια δείγματα αναφέρονται από τους McNish και Johnson (1938) και αργότερα από τον Ising (1943). Στη συνέχεια ο Granar (1958) ανέπτυξε τις πρώτες θεωρίες σχετικά με τη διάταξη των κόκκων κατά την απόθεσή τους μέσα σε μαγνητικό πεδίο και με το γεγονός ότι αυτή η διάταξη διατηρείται και μετά την απόθεση.

Μελέτες πάνω σε χαλαρά ιζήματα πραγματοποιήθηκαν στις Ην. Πολιτείες από τους Johnson et al. (1948) και για τις Σουηδικές βάρβες από τους Griffiths (1953) και Griffiths et al. (1960). Πρωτοποριακές μαγνητικές μελέτες έγιναν από τους King (1955), Griffiths et al. (1957), Rees (1961), Griffiths et al. (1962) και Hamilton (1963) οι οποίες εδραίωσαν τις βασικές γνώσεις σχετικά με την προέλευση και τη φύση των μαγνητικών δομών στα ιζήματα. Οι παραπάνω ερευνητές έδειξαν ότι οι επιμηκυσμένοι κόκκοι, κατά την απόθεσή τους, 'επιπεδοποιούνται' στο επίπεδο στρώσης. Καθώς αυτοί οι κόκκοι τείνουν να μαγνητισθούν κατά μήκος του μεγάλου άξονά τους, η κλίση της απόθεσης αναγκαστικά περιστρέφει και την αρχική μαγνήτιση προς το επίπεδο στρώσης και με αυτό τον τρόπο ελαττώνεται η έγκλιση και δημιουργείται το 'σφάλμα της έγκλισης' με περισσότερο από 4°-5°.

Βελτιώσεις στα συστήματα δειγματοληψίας από τον Mackereth (1958, 1969) επέτρεψαν τη συλλογή αδιατάρακτων δειγμάτων γεγονός το οποίο οδήγησε στη ραγδαία εξάπλωση των παλαιομαγνητικών ερευνών και στην έρευνα των διαδικασιών που συντελούνται σε λιμναία και θαλάσσια ιζήματα καθώς και στον καθορισμό του παλαιοπεριβάλλοντος (Thompson and Oldfield, 1986). Οι πρώτες μελέτες ιζηματογενών πετρωμάτων πραγματοποιήθηκαν από τους Graham (1949) στην Αμερική και Khramov (1958) στη Ρωσία. Παρόλα αυτά η εξάπλωση των μαγνητικών μελετών συμπαγών ιζηματογενών πετρωμάτων πραγματοποιήθηκε μετά τη δημιουργία, από τον Blackett (1952), ενός νέου αστατικού μαγνητομέτρου το οποίο ήταν κατάλληλο για τη μέτρηση των ασθενώς μαγνητισμένων ιζημάτων. Έτσι, οι πρώτες μελέτες έγιναν πάνω στους κόκκινους ψαμμίτες της Μ. Βρετανίας και της Ευρώπης, ενώ στη συνέχεια οι μελέτες εξαπλώθηκαν τόσο σε

διαφορετικά γεωλογικά πετρώματα όσο και γεωγραφικά, στις διάφορες ηπείρους. Οι μελέτες αυτές αποδεικνύουν ότι αυτά τα ιζήματα περιέχουν μία μαγνήτιση την οποία αποκτούν κατά την απόθεσή τους και η οποία είναι δυνατόν να απομονωθεί από τις μεταγενέστερες μαγνητίσεις όπως είναι η ιξώδης, είτε με θερμική είτε με εναλλασσόμενου πεδίου απομαγνήτιση. Γενικά θεωρήθηκε ότι οι διαγενετικές αλλαγές ήταν πολύ μικρές ή ελάμβαναν χώρα πολύ συχνά μετά την απόθεση και έτσι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στο χρόνο μεταξύ της απόθεσης και της διαγένεσης. Νεότερες έρευνες αφορούσαν στο κατά πόσο η παραμένουσα μαγνήτιση της απόθεσης επηρεάζεται από το 'σφάλμα της έγκλισης'. Σύγκριση των μαγνητικών ιδιοτήτων ιζηματογενών πετρωμάτων με ίδιας ηλικίας πυριγενή πετρώματα απέδειξε ότι δεν υπάρχει τέτοια συσχέτιση, αλλά πιστεύεται ότι είναι πιθανή στα μή συνεκτικά ιζήματα. Η απουσία αυτής της επίδρασης σε πετρώδη ιζήματα υποδηλώνει ότι κάθε 'σφάλμα της έγκλισης' εξαλείφεται κατά τη διάρκεια των μετα-αποθετικών διαδικασιών κυρίως κατά τη διάρκεια της διαγένεσης. Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί για τη διαγένεση. Οι περισσότεροι από αυτούς ικανοποιούν μερικώς τις βιο-χημικο-φυσικές διαδικασίες που περιλαμβάνει ο όρος. Θεωρητικά, οι διαγενετικές διαδικασίες περιλαμβάνουν όλα τα φυσικά και χημικά γεγονότα που επηρεάζουν τα ιζήματα από τη στιγμή της αρχικής τους απόθεσης μέχρι και τα τελευταία στάδια της τεκτονικής μεταμόρφωσής τους. Παρόλα αυτά τα όρια είναι ασαφή. Όταν οι κόκκοι αποτίθενται, αντιδρούν με το περιβάλλον τους και φυσικά και χημικά και έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι η διαγένεση έχει αρχίσει πριν από την απόθεση. Παρομοίως, ο διαχωρισμός μεταξύ βαθιάς διαγένεσης και των φυσικο-χημικών αλλαγών που συνοδεύουν την έναρξη της τεκτονικής παραμόρφωσης είναι περισσότερο σημασιολογικός παρά αληθινός. Και οι δύο διαδικασίες συνήθως συντελούνται ταυτόχρονα. Οι περισσότεροι ιζηματολόγοι αναγνωρίζουν δυο φάσεις διαγένεσης. Τη Νέο-διαγένεση (ή συν-διαγένεση) που περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που συνοδεύουν την απόθεση και το επιφανειακό βάθος ταφής και την Ύστερη-διαγένεση (ή ανα-διαγένεση) η οποία συνδέεται με τα μεγαλύτερα βάθη ταφής. Δυστυχώς το μικρό και το μεγάλο βάθος ταφής δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί γιατί είναι αδύνατον να γίνει οποιαδήποτε γενίκευση: η διαφορά μεταξύ επιφανειακής και βαθιάς διαδικασίας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των ιζημάτων και το περιβάλλον τους. Για παράδειγμα, ανθρακικά ιζήματα μπορούν να σχηματιστούν σε βάθος λίγων εκατοστών, ενώ οι άμμοι αντίστοιχα μπορεί να φτάνουν και σε βάθη που ξεπερνούν το χιλιόμετρο.

Στα κλαστικά ιζήματα όπως είναι οι αργιλικοί σχιστόλιθοι και οι ψαμμίτες υπάρχουν τρεις διαγενετικές φάσεις. **Η πρώτη**, η οξειδοαναγωγή, συνδέεται με τη συμπαγοποίηση και την αποβολή του νερού σε ζώνες που είναι είτε αναγωγικές είτε οξειδωτικές. Πάνω από την

επιφάνεια του νερού οι συνθήκες είναι πολύ οξειδωτικές με αποτέλεσμα οργανικά και θειούχα συστατικά να αντιδρούν με το σίδηρο καταστρέφοντας κάποια από τα σιδηρομαγνητικά ορυκτά και σχηματίζοντας σουλφίδια σιδήρου τα οποία μπορεί να αντιδράσουν και να αποτεθούν ξανά κάπου αλλού. Κάτω από αυτές τις συνθήκες πολλοί μαγνητικοί κόκκοι είναι δυνατόν να χαθούν κατά τη διάρκεια παρατεταμένης διαγένεσης και η αρχική τους παραμένουσα μαγνήτιση μπορεί να μεταφέρεται από εγκλείσματα μαγνητικών κόκκων μέσα σε σχετικά αδρανείς κόκκους όπως χαλαζία και ιλμενίτη (Hounslow et al., 1995). Κάτω από την επιφάνεια, η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου επιτρέπει τη διατήρηση των οργανικών ενώσεων και ο σίδηρος ενώνεται με το θείο για να σχηματίσει σιδηροπυρίτη. Συνήθως κάτω από αυτή τη φάση συντελείται η **δεύτερη φάση** της διαγένεσης η *locomorphic* όπου λαμβάνει χώρα και η κύρια διαγενετική συγκόλληση. Αυτή η συγκόλληση γίνεται συνήθως από άργιλο ή άνθρακα. Και οι δύο αυτές χημικά καθορισμένες φάσεις συνοδεύονται από αλλαγές των φυσικών ιδιοτήτων και ειδικότερα αλλαγές στο πορώδες. Γενικά η συγκόλληση μειώνει τη διαπερατότητα, ενώ κάποιες ορυκτολογικές αλλαγές όπως η δολομιτίωση, μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση της διαπερατότητας. Μέσα σε αυτό το σύμπλεγμα των φυσικών επιδράσεων και των ανόργανων αντιδράσεων η παρουσία οργανισμών και οργανικών υλικών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Μακρο-οργανισμοί όχι μόνο διαταράσσουν τα ιζήματα με τις κινήσεις τους, αλλά συγχρόνως θρυμματίζουν τα υλικά τα οποία διαλύονται. Ζωντανοί οργανισμοί μπορούν επίσης να οδηγήσουν στο σχηματισμό και σε αλλαγές της μαγνητικής ορυκτολογίας. Για παράδειγμα το βακτηρίδιο *Desulfovibrio* προωθεί το σχηματισμό σουλφιδίων σιδήρου σε αναγωγικές συνθήκες και έχει σημαντική επίδραση στη μαγνητική ορυκτολογία λιμναίων και θαλασσίων ιζημάτων ιδιαίτερα όταν είναι παρόντα οργανικά υλικά. Οι γνώσεις μας για τη μαγνητική ορυκτολογία είναι σχετικά καινούριες. Η ύπαρξη του ορυκτού γκρεϊκίτη έγινε γνωστή μετά τις μελέτες των Skinner et al. (1964) λόγω της αστάθειας του ορυκτού κατά την έκθεσή του στον αέρα. Η βιοχημική σημασία μεγάλου ποσοστού τέτοιων οργανισμών παραμένει ακόμα άγνωστη, ακόμα και στις περιπτώσεις που η επίδρασή τους στη μαγνητική ορυκτολογία είναι άμεση. Τα μαγνητοστατικά βακτηρίδια είναι πια γνωστό ότι παράγουν αλυσίδες από μονοφασικές συμφύσεις μαγνητίτη στην επιφάνεια μεταξύ του νερού και του ιζήματος (Blakemore, 1975; Kirschvink and Lowenstam, 1979; Frakel and Blakemore, 1990). Στο βάθος, τέτοιες αλυσίδες ή μεμονωμένοι κόκκοι είναι δυνατόν να διατηρούνται και να παρέχουν έτσι υψηλής σταθερότητας μαγνητικά ορυκτά τα οποία και διατηρούν τη μαγνήτισή τους και μετά τη συμπαγοποίησή τους. Παρόλα αυτά, τα βακτήρια μπορούν να απορροφήσουν μέσα τους ορυκτά του σιδήρου με διάφορους τρόπους (Vali and Kirschvink 1990). Η σημερινή γνώση

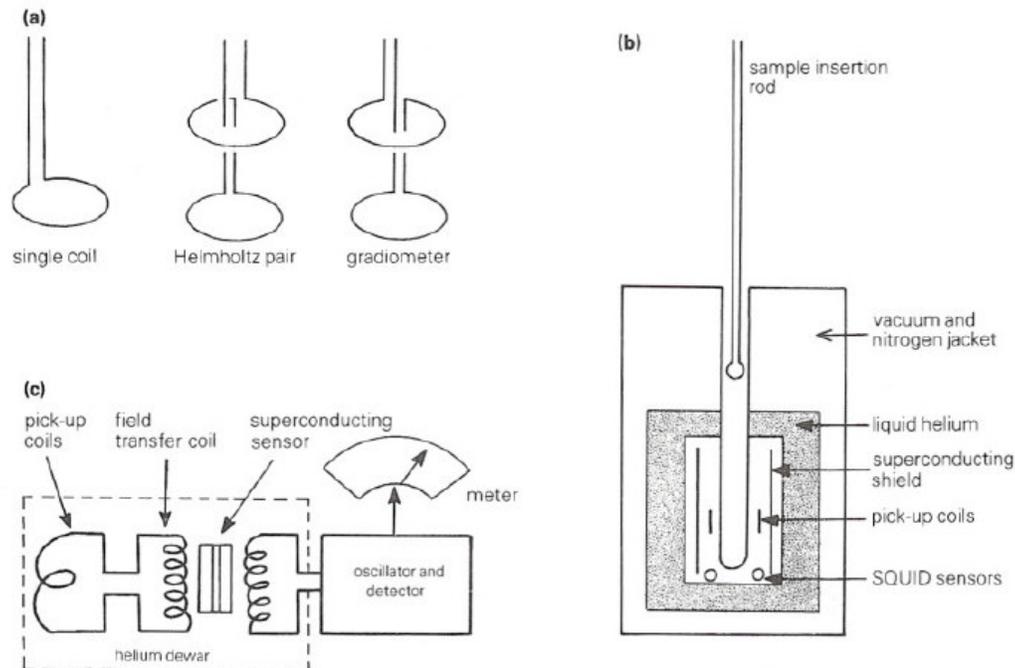
σχετικά με το μέγεθος της επίδρασης αυτών των βακτηρίων είναι φτωχή, αλλά είναι πιθανόν να υπάρχουν σημαντικοί παράγοντες σε διάφορες διαγενετικές διεργασίες σε αναγωγικά ή υπο-οξειδωτικά περιβάλλοντα ακόμα και σε βάθη κάτω από 6-7 km. Παρόλα αυτά, στα περισσότερα οξειδωτικά περιβάλλοντα τέτοιοι βιογενετικοί κόκκοι συνήθως οξειδώνονται. Στα ανθρακικά ιζήματα οι διαγενετικές διεργασίες είναι περισσότερο πολύπλοκες και γρήγορες γιατί τα αρχικά αποθέματα έχουν υψηλό πορώδες 40-70%, και γιατί αρχικά σχηματίζονται ανθρακικά ιζήματα με εξαγωνική μορφή - αραγωνίτης - ο οποίος είναι μετασταθής κάτω από ηπειρωτικές συνθήκες και μετατρέπεται γρήγορα σε πιο σταθερούς ορθορομβικής μορφής, ασβεστίτες. Αυτή η κρυσταλλοποίηση οδηγεί και σε μείωση του αρχικού πορώδους. Σε συνθήκες υψηλής αλμυρότητας όπως σε περιορισμένες θαλάσσιες λεκάνες, η υψηλή συγκέντρωση μαγνησίου στα κατώτερα στρώματα του νερού μπορεί να οδηγήσει σε αντίδραση με τη λάσπη του αραγωνίτη σχηματίζοντας έτσι διαγενετικό δολομίτη (συν-διαγενετικό). Αυτές οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αραγωνίτη, ασβεστίτη και δολομίτη συνοδεύονται επίσης από ανακρυστάλλωση, διάσπαση και ανάπτυξη προϋπαρχόντων ανθρακικών οι οποίοι σχηματίζουν τη νεομορφική φάση της διαγένεσης. Τέτοιες αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα σε διάφορες περιοχές ανάλογα με την προέλευση των ρευστών που είναι εμπλουτισμένα σε μαγνήσιο, τα οποία συνήθως συναντώνται σε μικρά βάθη κάτω από συνθήκες υψηλής αλμυρότητας σε περιορισμένες λεκάνες. Τα ρευστά αυτά μπορούν να εισαχθούν αργότερα στο σύστημα και να προκαλέσουν νέα δολομιτίωση. Ο νέος αυτός δολομίτης, ο οποίος θεωρείται και αυτός συν-διαγενετικός, αναγνωρίζεται εύκολα γιατί συνήθως συνδέεται ή με περισσότερο διαπερατούς ορίζοντες, όπως είναι οι ασυνέχειες, ή με τεκτονικές δομές που κόβουν κάθετα τις επιφάνειες απόθεσης. Όπως στα κλαστικά ιζήματα έτσι και στα ανθρακικά ο ρόλος των μικροοργανισμών είναι κεφαλαιώδης, εφόσον μπορούν να αυξήσουν και τη δολομιτίωση. Είναι πιθανό τα βακτήρια που σχετίζονται με το μαγνητίτη να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στα ανθρακικά από ότι στα κλαστικά ιζήματα. Αυτό συμβαίνει λόγω κυρίως της μικρής συγκέντρωσης άλλων μαγνητικών ορυκτών (που συνήθως είναι διαμαγνητικά) στα ανθρακικά ιζήματα, αλλά μπορεί να οφείλεται και στο γεγονός ότι στα ανθρακικά οι χημικές αντιδράσεις είναι περισσότερες με αποτέλεσμα περισσότεροι κόκκοι να συμπαγοποιούνται πολύ γρήγορα μετά το θάνατο των οργανισμών. Έτσι, όχι μόνο κλειδώνουν κάθε μαγνητικό προσανατολισμό, αλλά και το διατηρούν σε μεταγενέστερες οξειδώσεις. Τέλος, δραστικές χημικές αλλαγές μπορούν να πραγματοποιηθούν ως αποτέλεσμα της μετανάστευσης ρευστών υδρογονανθράκων (Machel, 1995). Όσο το βάθος ταφής αυξάνεται, τόσο στα κλαστικά όσο και στα ανθρακικά ιζήματα, η αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας προκαλεί επιπλέον διαγενετικές διεργασίες που καταλήγουν **στην**

τρίτη φάση τη φυλλομορφική, η οποία περιέχει την ανακρυστάλλωση των αργίλων και την επανακρυστάλλωση των λιγότερο σταθερών φυλλοπυριτικών ορυκτών, όπως ο μοσχοβίτης και ο βιοτίτης, σε μορφές του χλωρίτη. Όταν ο προσανατολισμός αυτών των λεπιωδών ορυκτών παραμένει κοντά στο οριζόντιο επίπεδο, αυτές οι αλλαγές χαρακτηρίζονται ως διαγενετικές, αν όμως οι κρύσταλλοι αναπτύσσονται κάτω από την επίδραση τεκτονικών δυνάμεων υπό γωνία προς το οριζόντιο επίπεδο, τότε χαρακτηρίζονται σαν μεταμορφική διεργασία. Στην πραγματικότητα, τα όρια της διαγένεσης και της μεταμόρφωσης δεν είναι καλά καθορισμένα και κυρίως εξαρτώνται από τη λιθολογία.

Μεγάλης σημασίας είναι και η εισαγωγή ρευστών στην ιζηματογενή λεκάνη λόγω τεκτονικών κινήσεων στα όρια της. Αυτά τα ρευστά μπορεί να καταστρέψουν όλα τα προϋπάρχοντα ορυκτά του σιδήρου, μολονότι νέα σιδηρομαγνητικά ορυκτά μπορούν να χρονολογήσουν την εποχή που τα ρευστά πέρασαν από το ίζημα. Αν τα ρευστά αυτά έχουν θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 200-300°C οι χημικές αλλαγές αυξάνονται. Και αν αυτές οι θερμοκρασίες διατηρηθούν για λίγα εκατομμύρια χρόνια, είναι δυνατόν να προκαλέσουν ολοκληρωτική επαναμαγνήτιση των σιδηρομαγνητικών ορυκτών στη λεκάνη, ανεξάρτητα από τις άλλες χημικές επιδράσεις που τοπικά μπορεί να είναι και πολύ επιβλαβείς (Tarling, 1999).

3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας

Συνήθως η μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας γίνεται με την μέθοδο a.c (σχ. 3.3). Το δείγμα τοποθετείται σε ένα μαγνητικό πεδίο που παράγεται από ένα πηνίο. Ένα δεύτερο πηνίο χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της επαγόμενης μαγνήτισης, που είναι ανάλογη της επιδεκτικότητας του δείγματος. Το σήμα που λαμβάνεται, ενισχύεται και μετράται σε millivolts. Τα μοντέρνα όργανα μαγνητικής επιδεκτικότητας χρησιμοποιούν μαγνητικά πεδία της τάξης 0.1mT (1Oe) σε συχνότητες μεταξύ 1-10KHz. Η A.C μετρούμενη μαγνητική επιδεκτικότητα μπορεί να διακριθεί στην “in phase” και την “quadrature”. Επίσης η επιδεκτικότητα μετράται σε διάφορες συχνότητες. Η μεταβολή της επιδεκτικότητας με την συχνότητα είναι γνωστή ως φάσμα επιδεκτικότητας. Σε χαμηλές συχνότητες η μαγνήτιση του δείγματος είναι σε φάση με το εφαρμοζόμενο πεδίο, οπότε η “in phase” επιδεκτικότητα έχει μια τιμή κοντά στην απευθείας επιδεκτικότητα του δείγματος, ενώ η “quadrature” συνιστώσα πλησιάζει το μηδέν. Καθώς αυξάνει η συχνότητα η “in phase” επιδεκτικότητα μετά από μια μικρή αύξηση, ελαττώνεται σταθερά, ενώ η “quadrature” επιδεκτικότητα αυξάνει.



Σχήμα 3.3 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας (Thompson and Oldfield 1986).

3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington

Το σύστημα MS2 Bartington (Σχήμα 3.4) χρησιμοποιείται για την μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας πυριγενών, μεταμορφωμένων και ιζηματογενών πετρωμάτων με ανάλυση 2×10^{-6} SI units. Μετρήσεις μπορούν να διεξαχθούν τόσο στο εργαστήριο, όσο και σε εξωτερικούς χώρους, αφού το μετρητικό σύστημα είναι φορητό και ανάλογα με την εφαρμογή, μπορεί να προσαρμόζεται διαφορετικός αισθητήρας. Εφαρμόζεται σε γεωλογικές, παλαιομαγνητικές, αρχαιολογικές, παλαιοκλιματολογικές, υδρολογικές, ιζηματολογικές, έρευνες και σε πυρηνοληψίες.

Η μελέτη της μαγνητικής επιδεκτικότητας συνεισφέρει σημαντικά στη διερεύνηση του είδους των μαγνητικών κόκκων των διαφόρων πετρωμάτων και κατά συνέπεια η εφαρμογή της στις διάφορες μαγνητικές μελέτες θεωρείται απαραίτητη. Η μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με τη συχνότητα του επαγόμενου μαγνητικού πεδίου, είναι γνωστή ως “φάσμα” της επιδεκτικότητας. Η μαγνητική επιδεκτικότητα αποτελείται από δύο συνιστώσες που σε σχέση με το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο χαρακτηρίζονται η μία “σε φάση” (in phase) και η άλλη “εκτός φάσης” (quadrature). Για χαμηλές συχνότητες του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου η μαγνήτιση παραμένει σε συμφωνία “φάσης” με το

πεδίο. Έτσι η “σε φάση” επιδεκτικότητα έχει μία τιμή που είναι ανάλογη της επιδεκτικότητας, ενώ η “εκτός φάσης” αυξάνεται μέχρι ένα μέγιστο για να μηδενισθεί στη συνέχεια.

Η μέγιστη “εκτός φάσης” επιδεκτικότητα και η “ταχύτερη μείωση” της “σε φάση” θεωρητικά συμπίπτουν. Γενικά η επιδεκτικότητα μειώνεται όσο αυξάνεται η συχνότητα. Η μαγνητική επιδεκτικότητα των πετρωμάτων και του εδάφους μετρήθηκε με το Bartington MS2 Susceptibility System με το μετρητή διπλής συχνότητας MS2B (σχήμα 3.4). Ο μετρητής αυτός δέχεται δείγματα όγκου 10cm³ σε πλαστικά δοχεία ή 25.40 mm μάζας πυρήνες πετρωμάτων. Είναι ένας φορητός μετρητής που έχει την ικανότητα να μετράει δύο διαφορετικές συχνότητες με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η ανίχνευση των λεπτόκοκκων σιδηρομαγνητικών ορυκτών των εδαφών ή των πετρωμάτων.



Σχήμα 3.4 Το μετρητικό σύστημα MS2 του οίκου Bartington με διάφορους αισθητήρες μέτρησης της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Ο MS2B αισθητήρας έχει εσωτερική διάμετρο 36mm και δέχεται 1” (25.40 mm) και 23 mm κυβικά κουτιά, 20cc και 10cc κυλινδρικά μπουκαλάκια και 1” πυρήνες πετρωμάτων, ανάλογα με την εκάστοτε υποδοχή. Η υψηλή ακρίβεια του δέκτη προέρχεται από τη χρήση καλά καθορισμένων μεγεθών των δειγμάτων. Τα δείγματα τοποθετούνται μέσα στο όργανο με έναν απλό μηχανισμό. Το όργανο μπορεί να λειτουργήσει σε δύο συχνότητες για τη μελέτη της εξαρτώμενης από τη συχνότητα επιδεκτικότητας. Η χαμηλή συχνότητα επιλέγεται

όταν θέλουμε να μετρήσουμε μόνο σε μία συχνότητα. Το ακριβές βάρος των δειγμάτων επιτρέπει και την ακριβή μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας μάζας. Ο δέκτης είναι ειδικά κατασκευασμένος για τη χρήση 10cc όγκου δοχείων με εσωτερικές διαστάσεις 24mm διάμετρο, 23mm ύψος και εξωτερική βάση μέγιστης διαμέτρου 26mm. Τα χαρακτηριστικά του δέκτη δεν επηρεάζονται από την αγωγιμότητα του δείγματος ακόμα και σε 25% αλατούχο διάλυμα. Μεταλλικά αγωγία υλικά μπορούν να μετρηθούν αφού παρέχεται η δυνατότητα να μειωθεί η φαινόμενη διαμαγνητική συνεισφορά η οποία μπορεί να οφείλεται στη δημιουργία δινορευμάτων. Η διαδικασία των μετρήσεων αρχίζει με τη βαθμονόμηση του οργάνου με ένα δείγμα 10cm³ ανθρακικού μαγγανίου το οποίο είναι παραμαγνητικό υλικό με υψηλή και σταθερή μαγνητική επιδεκτικότητα. Όταν μετράμε ασθενώς μαγνητισμένα δείγματα παίρνουμε πριν και μετά τη μέτρηση δύο μετρήσεις ελεύθερου αέρα (χωρίς να υπάρχει δείγμα στο δέκτη) για να διορθώσουμε τη μέτρηση ως εξής:

$$K(\text{διορθωμένο}) = K(\text{δείγματος}) - \left\{ K(\text{πρώτου αέρα}) + K(\text{δεύτερου αέρα}) / 2 \right\}$$

Όταν τα δείγματα είναι ασθενώς μαγνητισμένα, οι διαμαγνητικές ιδιότητες του δοχείου που βρίσκεται το δείγμα και του εσωτερικού του μηχανήματος, μπορεί να συνεισφέρουν σημαντικά στην επιδεκτικότητα, μειώνοντας την πραγματική τιμή της. Για την αποφυγή τέτοιων επιδράσεων προτείνεται η μέτρηση των δοχείων όσο είναι άδεια έτσι ώστε να υπολογισθεί η μέση διαμαγνητική τιμή κ. Μία τυπική τιμή του κ θεωρείται η -0.4×10^{-5} SI για δοχείο 10cm³. Αυτή η τιμή πρέπει να προστίθεται σε όλα τα δείγματα. Υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης του μετρητή επιδεκτικότητας με ηλεκτρονικό υπολογιστή για τον άμεσο υπολογισμό των παραμέτρων και την αποθήκευση των δεδομένων. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το όργανο είναι έτσι προγραμματισμένο ώστε να δίνει απευθείας τις τιμές επιδεκτικότητας θεωρώντας τον όγκο του δείγματος σταθερό και ίσο με 10 cm³. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του συστήματος μονάδων που θα χρησιμοποιηθούν. Στην παρούσα εργασία η επιδεκτικότητα μετρήθηκε σε μονάδες SI.

Οι μετρήσεις είναι μη καταστροφικές και οι χαμηλές συχνότητες που χρησιμοποιούνται διασφαλίζουν το γεγονός ότι τα αποτελέσματα δεν επηρεάζονται από την αγωγιμότητα του δείγματος. Ακολουθούν οι προδιαγραφές του μετρητή MS2 καθώς και των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το είδος του δείγματος (στερεό, υγρό ή υπό μορφή κόνεως) και το είδος της μέτρησης (εργαστηριακή ή μέτρηση πεδίου).

Specification - MS2 Meter

| | |
|--|--|
| Measuring range - volume specific - mass specific | 1-9999 x 10 ⁻⁵ SI (x10 ⁻⁶ CGS) 1-9999 x 10 ⁻⁸ SI (x10 ⁻⁶ CGS) |
| Resolution - volume specific | 2 x 10 ⁻⁵ SI (2 x 10 ⁻⁷ CGS) on x 0.1 range. The resolution achieved will depend on temperature drift and environmental noise. |
| Internal battery | 0.6 Ah sealed Ni-Cad give 8 hours continuous use before recharge is required. |
| Enclosure material | high impact ABS |
| Operating temperature | -10°C to 40°C |
| Weight | 1.3kg |
| Dimensions | 255 x 158 x 50mm |
| Sensor cable | 50 ohm TNC to TNC, 1m length (alternative lengths to 100m on request) |
| Battery charger inlet | 2.1mm socket, 6-14Vd.c., 100mA maximum, polarity protected |
| RS232 interface | 1200/9600 baud selected on rear panel |
| Interface connector | 4-way rear panel Fischer socket |

**Specification - MS2B Sensor**

| | |
|---|---|
| Calibration accuracy | 1% (10ml calibration sample provided) |
| Measurement period: x 1 range CGS (SI) x 0.1range CGS (SI) | 1.2 seconds (1.5s) 12 seconds (15s) |
| Operating frequencies: LF HF | 0.465kHz ±1% 4.65kHz ±1% |
| Amplitude of applied field | 250μT peak ±10% (LF & HF) |
| Maximum resolution | 2 x 10 ⁻⁷ CGS (LF & HF) |
| HF/LF Cross calibration | 0.1% worst case |
| Temperature induced drift: Sample to Sensor Differential Calibration sample | ±0.05 x 10 ⁻⁶ CGS/°C/minute +0.006/°C |
| Enclosure material | high impact ABS |
| Weight | 0.8kg |
| Dimensions | 200 x 145 x 110mm |



Specification - MS2C Sensor

| | |
|--|---|
| Loop internal diameter | 36, 40, 45, 60, 72, 80, 90, 100, 125, 130, 135, 140, 145, 150, 160 or 162mm standard <i>Intermediate sizes can be provided at an additional charge</i> |
| Calibration accuracy | 5% (calibration sample provided) |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1range | 0.9 seconds 9 seconds |
| Operating frequency | 0.565kHz |
| Drift at room temperature | $<2 \times 10^{-6}$ CGS in 10 minutes after 5 minutes operation |
| Enclosure material | white polyacetal |
| Weight | 2-2.65kg depending on diameter |
| Dimensions | 290 x 200 x 144mm |

**Specification - MS2D probe**

| | |
|---|---|
| Depth of response | 50% at 15mm, 10% at 60mm |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1 range | 0.5 seconds 5 seconds |
| Operating frequency | 0.958kHz |
| Drift at room temperature | $<10 \times 10^{-6}$ CGS in 20 minutes after 20 minutes operation |
| Enclosure material | reinforced epoxy |
| Weight | 0.5kg |
| Dimensions | mean diameter 185mm, overall height 100mm |



Specification - MS2E Sensor

| | |
|---|--|
| Area of response | 3.8mm x 10.5mm at the end of the ceramic cylinder |
| Depth of response | 50% at 1mm, 10% at 3.5mm |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1 range | 1.2 seconds 12 seconds |
| Operating frequency | 2kHz |
| Drift at room temperature | $<5 \times 10^{-6}$ CGS in 5 minutes after 5 minutes operation |
| Enclosure material | high impact ABS and ceramic |
| Weight | 0.22kg |
| Dimensions | 64 x 25 x 140mm |

**Specification - MS2F probe**

| | |
|---|---|
| Area of response | end face and cylinder wall up to the shoulder |
| Depth of response | 10% at 6mm from end face and 4.5mm from outer diameter of end cap |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1 range | 0.9 seconds 9 seconds |
| Operating frequency | 0.58kHz |
| Drift at room temperature | $<10 \times 10^{-6}$ CGS in 20 minutes after 20 minutes operation |
| Enclosure material | Nylon 66 |
| Weight | 0.075kg |
| Dimensions - sensitive volume - overall | 15mm diameter x 20mm 35mm diameter x 85mm |



Specification - MS2G Sensor

| | |
|---|---|
| Calibration accuracy | 2% (1ml calibration check sample provided) |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1 range | 0.7 seconds 7 seconds |
| Operating frequency | 1.3kHz |
| Drift at room temperature | $< 2 \times 10^{-6}$ CGS in 5 minutes after 5 minutes operation |
| Enclosure | aluminium and ceramic |
| Sample cavity dimensions | 8.5mm diameter x 28mm in height |
| Sensitive region | 5mm height at centre of cavity |
| Weight | 670g |
| Dimensions (mm) | 189 x 91 x 67 |
| Sample vial - 1ml volume | Kartell part number 730 |

**Specification - MS2K Probe**

| | |
|---|---|
| Area of response | 25.4mm diameter full-width-half-maximum |
| Depth of response | 50% at 3mm, 10% at 8mm |
| Measurement period - x 1 range - x 0.1 range | 1 second 10 seconds |
| Drift at room temperature | $< \pm 2 \times 10^{-6}$ CGS in 5 minutes after 5 minutes operation |
| Operating frequency | 930Hz |
| Weight | 270gms; 1695g (with carrying case) |
| Dimensions | 180 x 170 x 50mm |
| Environmental | May be used under wet conditions – not suitable for immersion |

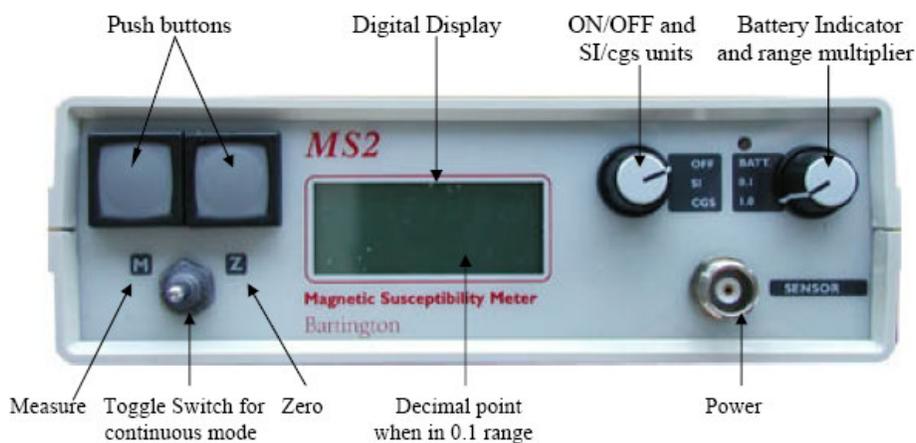
**Specification - MS2 Probe Handle**

| | |
|---|------------------------------|
| Weight | 0.65kg |
| Dimensions - upper section - lower section | 430mm length 360mm length |



Διαδικασία μέτρησης μαγνητικής επιδεκτικότητας δειγμάτων (Σχήμα 3.5)

1. Οι καλύτερες μετρήσεις γίνονται γενικά όταν η θερμοκρασία είναι σταθερή και γενικά σε χαμηλά επίπεδα. Πρέπει να αποφεύγονται οι μετρήσεις όταν υπάρχει υγρασία.
2. Τα δείγματα κοσκινίζονται πριν την μέτρηση έτσι ώστε να απομακρυνθούν τυχόν μικρά μεταλλικά αντικείμενα, αλλά και να είναι ομογενή.
3. Το σύστημα μέτρησης δεν πρέπει να τοποθετείται κοντά σε μεταλλικά αντικείμενα ή σε υψηλής τάσης μηχανήματα.
4. Ρυθμίζεται η συχνότητα στο low. Αφού μετρηθούν όλα τα δείγματα, επαναλαμβάνεται με την συχνότητα στο high.
5. Η ευαισθησία ρυθμίζεται στο εύρος $\times 1.0$.
6. Πιέζεται το κουμπί που γράφει zero (Z), χωρίς δείγμα μέσα στην συσκευή. Στην συνέχεια επιλέγεται continuous measurements (M). Επίσης αν μεταβάλλεται η τιμή που δείχνει το όργανο κατά ± 1 σημαίνει ότι υπάρχει θόρυβος.
7. Τοποθετούνται 10gr δείγματος (μετρημένα με ζυγαριά ακριβείας) μέσα στο ειδικό δοχείο και στην συνέχεια στον αισθητήρα. Πιέζεται το κουμπί που γράφει measure (M) και σημειώνεται η μέτρηση. Υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς μέτρησης και καταγραφής - αποθήκευσης σε H/Y μέσω σειριακής θύρας, ώστε να λαμβάνεται η μέση τιμή των μετρήσεων.



Σχήμα 3.5 Πρόσωση του μετρητικού συστήματος MS2 του οίκου Bartington.

3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων

Αν και η σχέση μαγνητικών οξειδίων και βαρέων μετάλλων στην ιπτάμενη τέφρα και τις βιομηχανικές εκπομπές αερίων έχει κατανοηθεί έως τώρα πολύ λίγο, ωστόσο αρκετές συγγραφείς επιβεβαιώνουν στις εργασίες τους τα παραπάνω.

Οι Theis and Wirth (1977) εντόπισαν σε αναλύσεις επιφανειακών δειγμάτων ιπτάμενης τέφρας από καύση γαιάνθρακα, σχέση μεταξύ του χαλκού, χρωμίου, αρσενικού και ψευδάργυρου με συγκεκριμένα οξείδια του σιδήρου, μαγγανίου και αργιλίου. Ο χαλκός, το χρώμιο, το αρσενικό και ο ψευδάργυρος, στις περισσότερες περιπτώσεις σχετίζονταν με την παρουσία οξειδίων του σιδήρου. Επίσης το κάδμιο και το νικέλιο σχετίζονταν με την παρουσία μαγγανίου και τέλος ο μόλυβδος με την παρουσία άλλων στοιχείων.

Οι Hansen et al. (1981) απέδειξαν ότι το χρώμιο, το μαγγάνιο το νικέλιο ο χαλκός ο ψευδάργυρος και το βηρύλλιο ήταν όλα εμπλουτισμένα σε μαγνητικό κλάσμα από ιπτάμενη τέφρα καύσης γαιανθράκων. Οι Olson and Skogerboe (1975) και Linton et al. (1980) εντόπισαν την σχέση μεταξύ του «μαγνητικού σιδήρου» και του μόλυβδου σε εκπομπές καυσαερίων από οχήματα.

Οι Petrovsky et al. (2001) ανέλυσαν δείγματα από αλλουβιακό έδαφος γύρω από μια περιοχή που λειτουργούσε χυτήριο μόλυβδου, για να καθορίσουν την μαγνητική επιδεκτικότητα αλλά και τις συγκεντρώσεις μόλυβδου, ψευδαργύρου και καδμίου. Κατέληξαν ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στην μαγνητική επιδεκτικότητα και τις συγκεντρώσεις των παραπάνω βαρέων μετάλλων και ότι η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό ρυπασμένων και μη περιοχών.

Οι Lecoanet et al. (2003) μελέτησαν δείγματα εδάφους από μια περιοχή της νότιας Γαλλίας η οποία περικλείει αυτοκινητόδρομο, αεροδρόμιο και βιομηχανίες σιδήρου και χάλυβα με στόχο να καθορίσουν τους συνδυασμούς των μαγνητικών παραμέτρων που απαιτούνταν για τον χαρακτηρισμό τους. Για την ακρίβεια μελέτησαν τις σχέσεις SIRM-χ, IRM_200mT/SIRM-IRM_20mT/SIRM και ARM_40mT/SARM-χ και κατάφεραν να καθορίσουν τις πηγές ρύπανσης αλλά και να παρακολουθήσουν την μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το βάθος.

Οι Boyko et al. (2004) προσπάθησαν να παρακολουθήσουν την χρονική μεταβολή της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε ένα κάμναβο 10x10 Km στην βόρεια και νότια Αυστρία. Πραγματοποίησαν δειγματοληψίες σε δύο χρονικές φάσεις (καλοκαίρι 2000 και 2001). Κατέληξαν ότι η επαναληπτικότητα των μετρήσεων επηρεάζεται από την ανομοιογένεια του

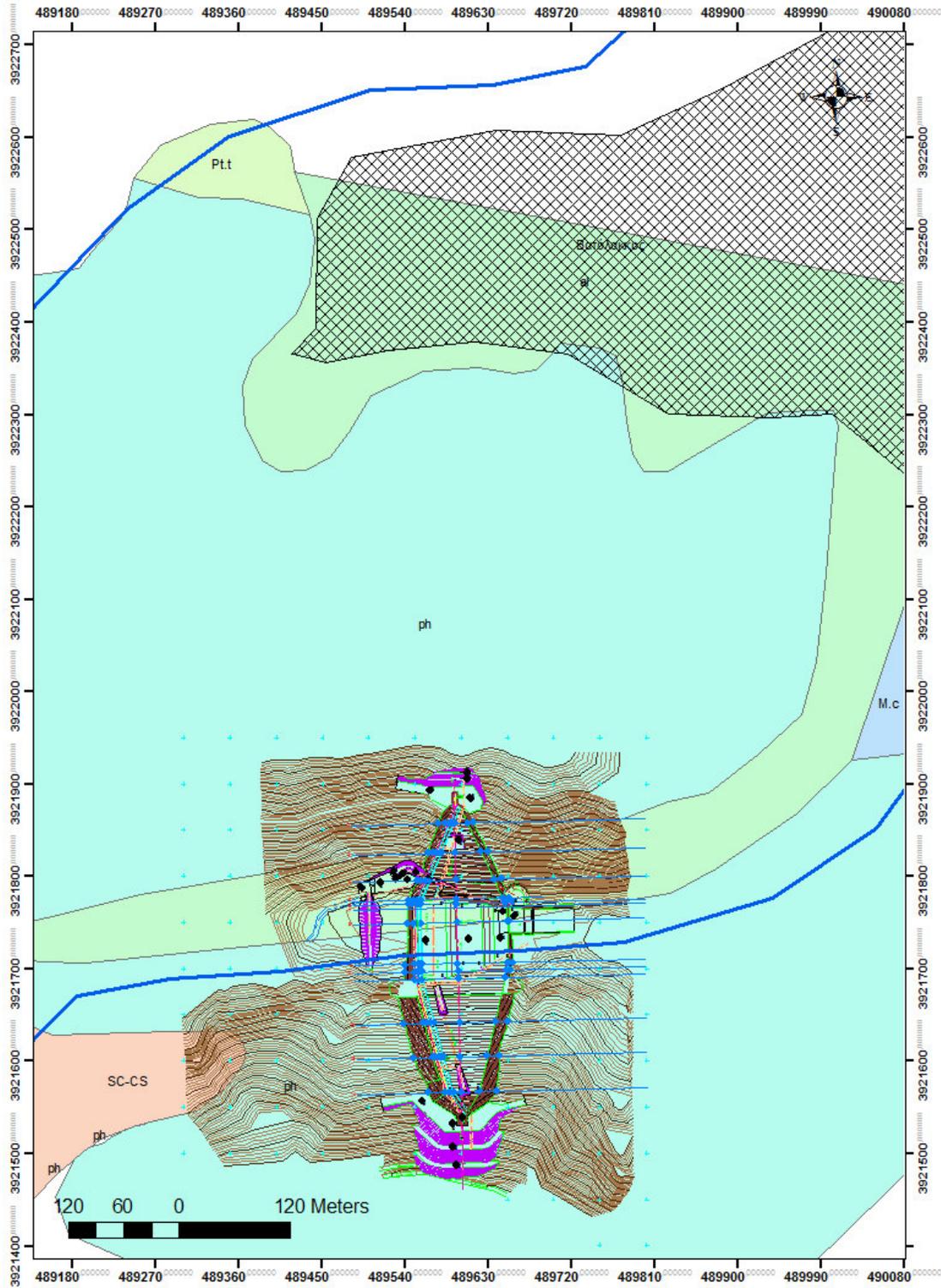
εδάφους, του σημείου μέτρησης, την ακρίβεια καθορισμού της θέσης, τον εξοπλισμό την βλάστηση και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ

4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε ως εξής:

1. Αναζήτηση βιβλιογραφίας που να σχετίζεται με την μαγνητική επιδεκτικότητα και το θερμομαγνητισμό.
2. Επιλογή της περιοχής έρευνας
3. Δειγματοληψίες από την γεώτρηση (σχ. 4.1, 4.2) και αποθήκευση σε πλαστικές σακούλες.
4. Μεταφορά στο εργαστήριο όπου ξεκινάμε την διαδικασία της ταξινόμησης κατά αύξοντα αριθμό δείγματος εδάφους και στην συνέχεια κοσκινίζουμε τα δείγματα, χωρίς την παρουσία μεταλλικών αντικειμένων, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα πάρουμε να είναι όσο το δυνατόν ομοιογενή στην διαδικασία της μαγνητικής επιδεκτικότητας όπως αναφέρουμε στο παραπάνω κεφάλαιο.
5. Αναλύσεις θερμομαγνητισμού.
6. Επεξεργασία, απεικόνιση και ερμηνεία των δεδομένων.



Σχήμα 4.1 Χάρτης που απεικονίζει τις θέσεις των γεωτρήσεων στο φράγμα Βασαρμιώτη



(α)



(β)

Σχήμα 4.2 Φωτογραφίες από τα δείγματα

4.2 Τα μαγνητικά ορυκτά

Η παρουσία των μαγνητικών ορυκτών, η συγκέντρωσή τους και το μέγεθός τους στα ιζήματα των ποτάμιων και λιμναίων ιζημάτων, εξαρτάται από τις συνθήκες απόθεσης των ιζημάτων αλλά και τις μετα-αποθετικές διεργασίες. Το αλλογενές κλάσμα στα ιζήματα έχει ως πηγές τροφοδοσίας την λεκάνη απορροής και τον άνεμο, που μεταφέρουν διάφορα μαγνητικά ορυκτά (οξειδία του σιδήρου: μαγνητίτη (Fe_3O_4), μαγκεμίτη ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$), αιματίτη ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) και υδροξείδια του σιδήρου όπως γκαιτίτη (FeOOH)). Επίσης μεταφέρονται παραμαγνητικά (σιδηρούχοι άργιλοι) υλικά και διαμαγνητικά υλικά (Ca/Mg ανθρακικά άλατα, χαλαζία οργανικό υλικό κ.λ.π). Οι μετα-αποθετικές διεργασίες περιλαμβάνουν διάλυση των σιδηρούχων ορυκτών, την παραγωγή σουλφιδίων του σιδήρου (π.χ. γκραιγκίτης- $\text{greigite-Fe}_3\text{S}_4$ και πυρίτης FeS_2), οξειδίων (μαγνητίτης), ανθρακικών αλάτων (σιδηρίτης- FeCO_3) και των ένυδρων φωσφορικών ορυκτών (όπως βιβιανίτης- $\text{vivanite (Fe}_3(\text{PO}_4)_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$). Τα παραπάνω ορυκτά αποτελούν δείκτες για τις περιβαλλοντικές και κλιματικές μεταβολές στα ηπειρωτικά υδάτινα περιβάλλοντα και ένας από τους τρόπους ανίχνευσης τους αποτελεί και ο θερμομαγνητισμός.

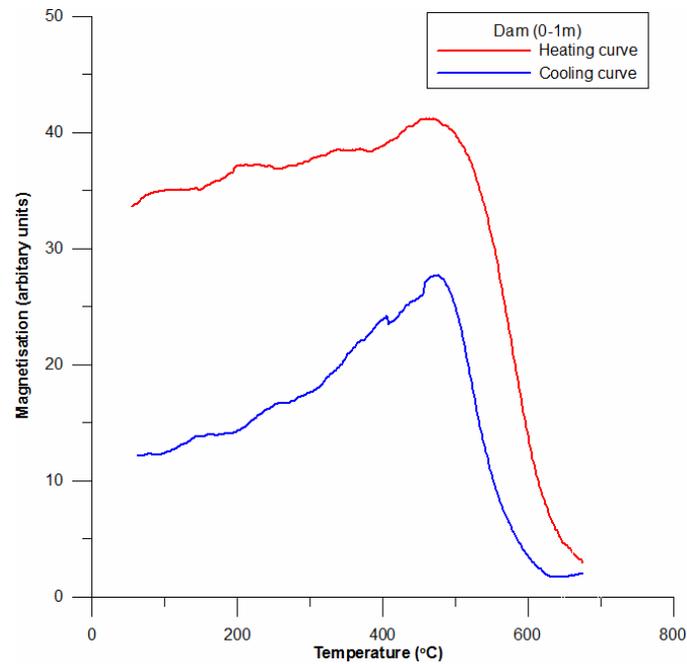
4.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται οι πιο αντιπροσωπευτικές καμπύλες θέρμανσης και ψύξης των δειγμάτων από τους 40°C έως τους 700°C στον αέρα και αντίστροφα.

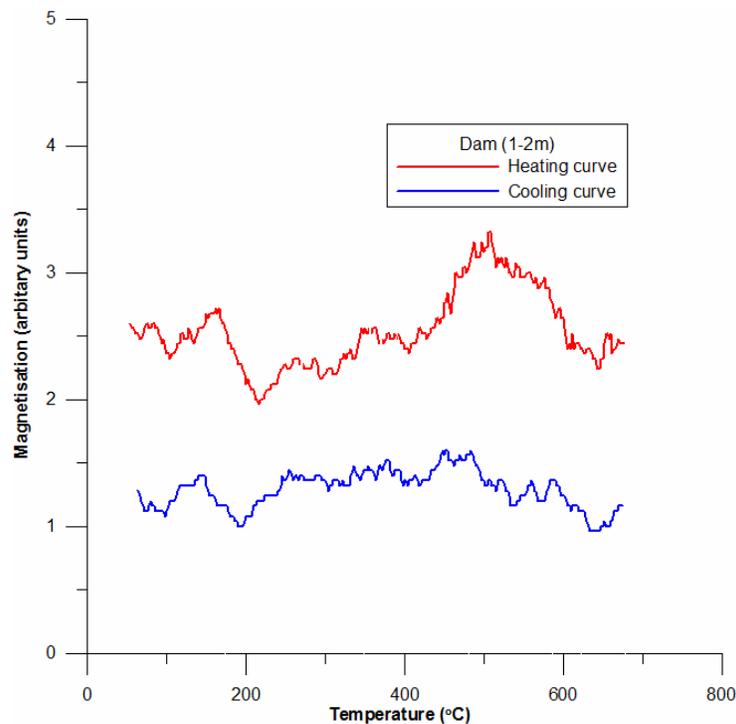
Δύο χαρακτηριστικοί τύποι συμπεριφοράς εντοπίστηκαν κατά τα πειράματα του θερμομαγνητισμού.

1. Στην πρώτη κατηγορία ανήκει το δείγμα το οποίο συλλέχθηκε από 0-1m (σχ. 4.2) το οποίο παρουσιάζει την τυπική θερμομαγνητική συμπεριφορά του μαγνητίτη ή του μαγκεμίτη. Δηλαδή σταδιακή μείωση της μαγνήτισης τους μέχρι τους 700°C , αλλά κατά την διάρκεια της ψύξης παρατηρείται μια αύξηση της μαγνήτισης κάτω από τους 580°C , που είναι η θερμοκρασία Curie του μαγνητίτη.
2. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα υπόλοιπα δείγματα σε βάθος μεγαλύτερο από 1m και μέχρι τα 54m. Τα δείγματα αυτά παρουσιάζουν μείωση της μαγνήτισης τους μέχρι τους 700°C και σταδιακή επαναμαγνήτιση κατά την ψύξη τους μέχρι τους 40°C χωρίς σαφή καθορισμό της θερμοκρασίας Curie για κάποιο ορυκτό. Η συμπεριφορά αυτή δείχνει ότι επικρατούν τα παραμαγνητικά ορυκτά στα συγκεκριμένα δείγματα. Τα συγκεκριμένα ορυκτά δεν υφίσταται κάποιο χημικό

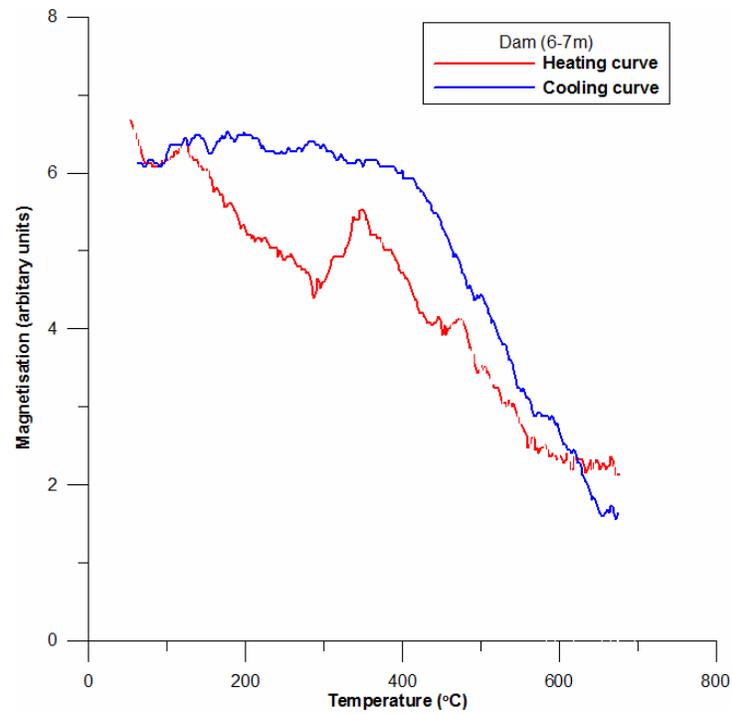
μετασχηματισμό κατά την αντίστροφη διαδικασία της ψύξης. Τέτοια συμπεριφορά παρουσιάζουν οι άμμοι, η άργιλος, τα αργιλοαμμώδη υλικά και το οργανικό υλικό.



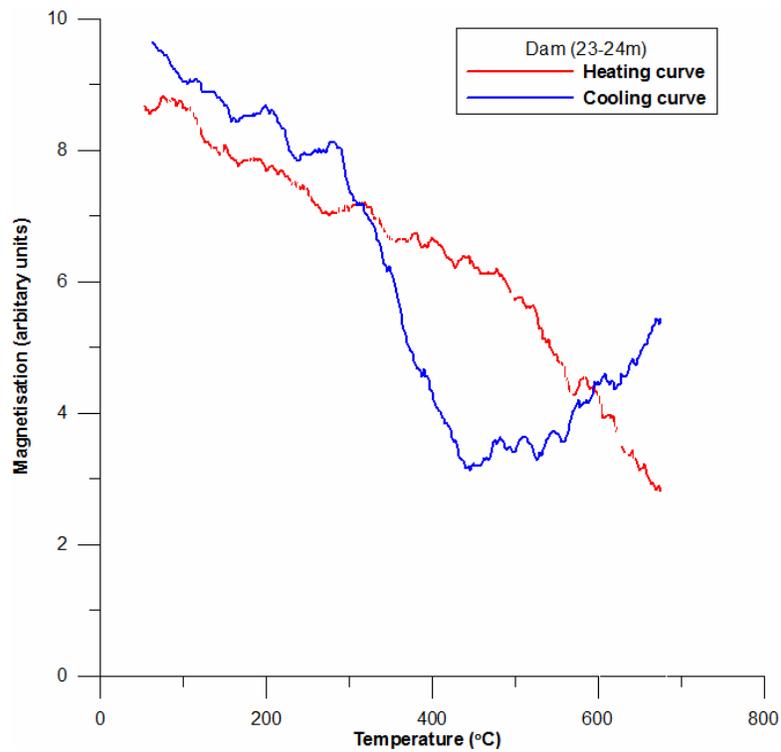
Σχήμα 4.2 Θερμομαγνητική συμπεριφορά του δείγματος από 0-1m βάθος



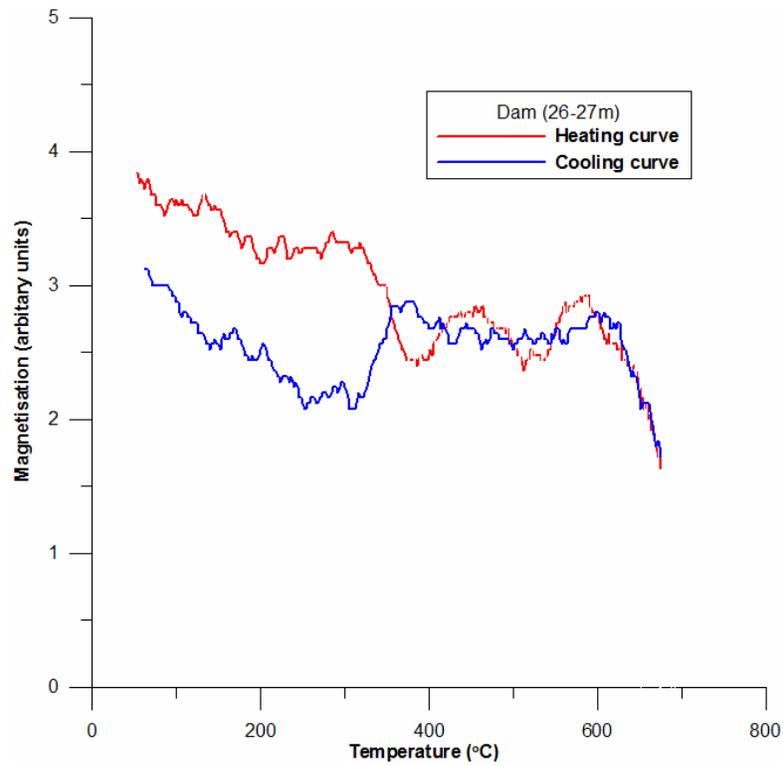
Σχήμα 4.3 Θερμομαγνητική συμπεριφορά του δείγματος από 1-2m βάθος



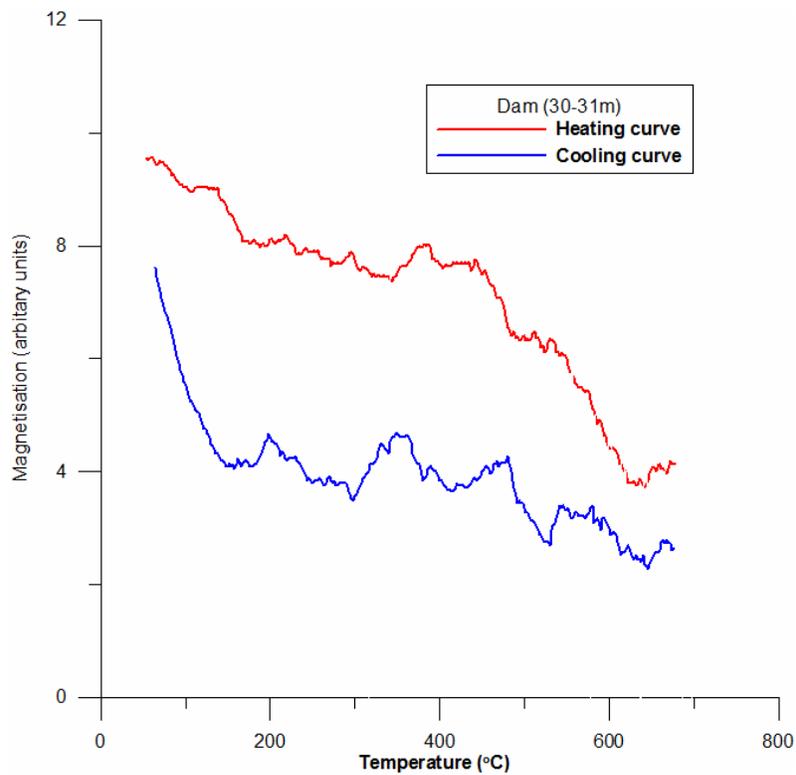
Σχήμα 4.4 Θερμομαγνητική συμπεριφορά του δείγματος από 6-7m βάθος



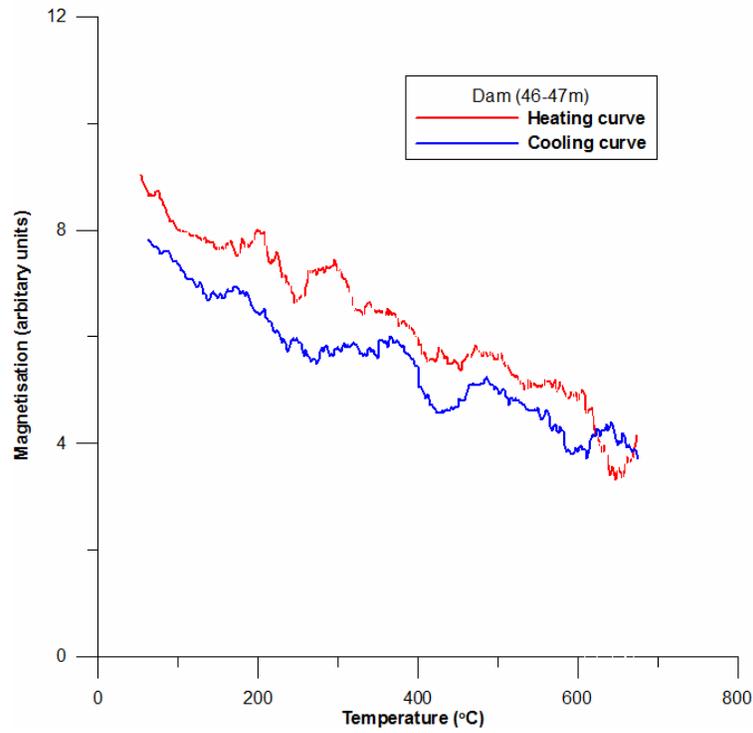
Σχήμα 4.5 Θερμομαγνητική συμπεριφορά του δείγματος από 23-24m βάθος



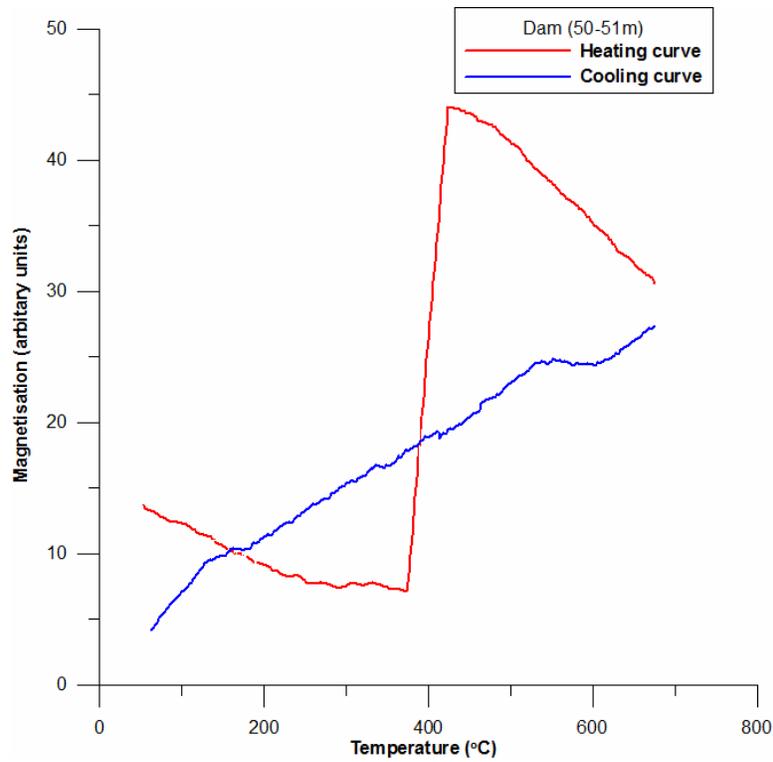
Σχήμα 4.6 Θερμομαγνητική συμπεριφορά του δείγματος από 26-27m βάθος



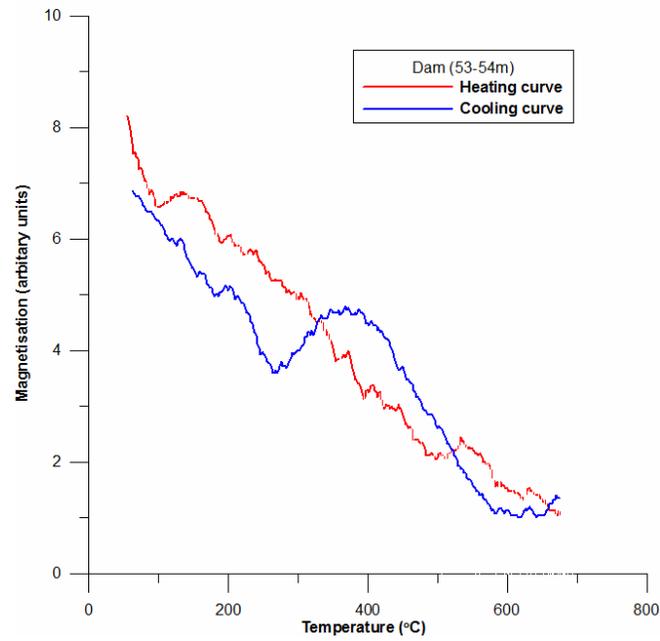
Σχήμα 4.7 Θερμομαγνητική συμπεριφορά του δείγματος από 30-31m βάθος



Σχήμα 4.8 Θερμομαγνητική συμπεριφορά του δείγματος από 46-47m βάθος



Σχήμα 4.9 Θερμομαγνητική συμπεριφορά του δείγματος από 50-51m βάθος



Σχήμα 4.10 Θερμομαγνητική συμπεριφορά του δείγματος από 53-54m βάθος

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εφαρμόστηκε η μέθοδος του θερμομαγνητισμού για να μελετηθεί η μαγνητική συμπεριφορά υλικών από γεώτρηση που έγινε στο φράγμα του Βασαρμιώτη.

Η πλειονότητα των δειγμάτων, τα οποία συλλέχθηκαν παρουσιάζουν παραμαγνητική συμπεριφορά. Δηλαδή μείωση της μαγνήτιση τους μέχρι τους 700°C και σταδιακή επαναμαγνήτιση κατά την ψύξη τους μέχρι τους 40°C χωρίς σαφή καθορισμό της θερμοκρασίας Curie για κάποιο ορυκτό. Τα συγκεκριμένα ορυκτά δεν υφίσταται κάποιο χημικό μετασχηματισμό κατά την αντίστροφη διαδικασία της ψύξης.

Συμπεριφορά μαγνητικού υλικού παρουσιάζει μονάχα το δείγμα μεταξύ 0-1m. Δηλαδή σταδιακή μείωση της μαγνήτισης του μέχρι τους 700°C, αλλά κατά την διάρκεια της ψύξης παρατηρείται μια αύξηση της μαγνήτισης κάτω από τους 580°C, που είναι η θερμοκρασία Curie του μαγνητίτη.

5.2 Προτάσεις

Με βάση την εμπειρία που συλλέχθηκε κατά την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας προτείνονται τα παρακάτω σε μία μελλοντική περιβαλλοντική επανεξέταση της περιοχής:

- Οι γεωχημικές αναλύσεις των δειγμάτων προκειμένου να διαπιστωθεί ο συσχετισμός συγκεκριμένων ορυκτών με τη μετρούμενη μαγνητική επιδεκτικότητα και τα αποτελέσματα του θερμομαγνητισμού.
- Μικροσκοπική ανάλυση των δειγμάτων που συλλέχθηκαν για να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα του θερμομαγνητισμού.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fytrolakis, N., 1980, The geological structure of Crete: Problems, observations and conclusions, Habil. Thesis, Nat. Tech. Univ., Athens.
2. Hansen, L.D., Silberman, D. and Fischer, G.L., 1981, Crystalline components of stack-collected, size-fractionated coal fly ash, Environ. Sci. Technol. 15, 1057-62.
3. Lecoanet, H., Leveque, F., Ambrosi, J.-P., 2003, Combination of magnetic parameters: an efficient way to discriminate soil-contamination sources, Environmental Pollution 122, 229-234.
4. Petrovsky, E., Kapicka, A., Jordanova, N., Borucka, L., 2001, Magnetic Properties of alluvial soils, contaminated with lead, zinc and cadmium, Journal of Applied Geophysics 48, 127-136.
5. Snoek, J.L., 1948, Dispersion and absorption in magnetic ferrites at frequencies above one megacycle, Physica 14, 207-17.
6. Theis, T.L. and Wirth, J.L., 1977, Sorptive behaviour of trace metals on fly ash in aqueous systems, Environ. Sci. Technol. 11, 1095-100.
7. Thompson, R. and Oldfield, F., 1986, Environmental Magnetism, Allen & Unwin Ltd.
8. Υδροσύστημα-Σύμβουλοι μηχανικοί ΕΠΕ, Βασίλειος Παρασχούσης, 1990, Προμελέτη και οριστική μελέτη φράγματος Ποταμών-Αμαρίου Ρεθύμνης.
9. Αηδονά Ε., 2002, Παλαιομαγνητικές και μαγνητικές ιδιότητες ιζημάτων και υποβάθρου σε πυρήνες γεωτρήσεων από τον Β. Ελλαδικό χώρο: συμβολή στην διερεύνηση των συνθηκών διαγένεσης, Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ.
10. Berner R. A., 1971, Principles of chemical sedimentology. McGraw Hill, New York.
11. Berner R. A., 1980, Early diagenesis_ a theoretical approach. Princeton Series in Geochemistry, Princeton University Press
12. Berner R. A., 1981, J. Sed. Petrol., 51, 359-366.
13. Berner R. A., Baldwin T., Holder G. R., J. Sed. Petrol., 49, 1346-1350.
14. Curtis C., 1987. In: Marine Clastic Sedimentology, J. K. Legett and G. G. Zuffa eds. Graham and Trotman, London, 108-123.
15. Dekkers M. J., 1988, Geologica Ultraiectina, 51.
16. Hoffman V., 1992, Phys. Earth Planet. Inter., 70, 288-301.
17. Hoffman V., 1993, Studia geoph. et geod., 37, 366-381.
18. Hus J. J., 1990, Phys. Earth Planet. Inter., 63, 41-57.

19. Jelinowska A., Tucholka P., Gasse F., Fontes J-Ch., 1995, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 953-956.
20. Jelinowska A., Tucholka P., Wieckowski K., 1997, *Geophys. J. Int.*, 129, 727-736.
21. Jelinowska A. Tucholka P., Guichard F., Chalief F., Gasse F., Lefevre I., Tribovillard N., Desprairies A., Badaut-Trauth D., 1998, *Geophys. J. Int.*, 133, 499-509.
22. Jones B. F., Bowser C. J., 1978, In: *Chemistry, Geology, Physics*. Lerman and Springer eds., New York, 179-227.
23. Kohlbeck F., Szarka L., Wesztergom V., Jelinowska A., Menvielle M., Tucholka P., Schott J. J., 1998, Limitations in identification of lake sediment layers by using precise geoelectric sounding. XXIII EGS, Nice.
24. Kohlbeck F., Szarka L., Jelinowska A., Menvielle M., Schott J. J., Tucholka P., Wesztergom V., 2000, *Geophysical Transactions*, 43, 33-45.
25. Krs M., Novak F., Krsova M., Pruner P., Jansa J., 1992, *Geologica Carpathica*, 43, 156-157.
26. Mann S., Sparks N. H. C., Frankel R. B., Bazylinski D. A., Jannasch H. W., 1990, *Nature*, 346, 258-261.
27. Reynolds R. L., Tuttle F., Rice C. A., Fishman N. S., Karaszewski J. A., Sherman D.M. *Am. J. Sci.*, 294, 485-528.
28. Roberts A. P., Turner G. M., 1993, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 115, 247-273.
29. Schwarz E. J., 1975, *Geol. Surv. Can., Paper*, 74-59, 1-24.
30. Snowball I. F., 1991, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 68, 32-40.
31. Thompson R., Oldfield F., 1986, *Environmental magnetism*. Allen and Unwin, London.
32. Tric E., Laj C., Jehanno C., Valet J. P., Kissel C., Mazaud A., Iaccarini S., 1991, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 65, 319-336.
33. Verosub K. L., Roberts A. P., 1995, *J. Geophys., Res.*, 100, 2175-2192.