



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



***ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ  
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΔΕΗ ΣΤΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟ  
ΚΡΗΤΗΣ***



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***Βελονάκη Χριστίνα***

**ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2011**



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



***ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ***  
***ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΔΕΗ ΣΤΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟ***  
***ΚΡΗΤΗΣ***

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***Βελονάκη Χριστίνα***

**Επιβλέπουσα :** ***Δρ. Κόκκινου Ελένη***  
***Επίκουρος Καθηγήτρια***

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

**Ημερομηνία Παρουσίασης :**

**Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :**

## Ευχαριστίες

*Μέσα από αυτό το σημείωμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου, κυρία Ελένη Κόκκινου, για όλη την βοήθεια που μου προσέφερε στο διάστημα της επιμέλειας της πτυχιακής μου εργασίας. Αρχικά θα ήθελα να την ευχαριστήσω για την επιλογή του θέματος, γιατί παρόλο που στην αρχή μου φάνηκε δύσκολο, τελικά μου δόθηκε η ευκαιρία να ασχοληθώ με τον θερμομαγνητισμό και αυτό αποδείχθηκε αρκετά ενδιαφέρον. Χωρίς όμως την υπομονή, την κατανόηση, την διάθεσή της να μοιράζεται τις γνώσεις και την ικανότητά της να εξηγεί τους πιο σύνθετους όρους με τις πιο απλές λέξεις, δεν θα μπορούσα να καταφέρω τίποτα. Για αυτούς τους λόγους λοιπόν, θα ήθελα να της εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και να της πω ένα μεγάλο ευχαριστώ. Επίσης ευχαριστώ θερμά την εξεταστική επιτροπή.*

*Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αγάπη τους, για το ενδιαφέρον και για ότι μου έχουν χαρίσει όλα αυτά τα χρόνια.*

### **Περίληψη**

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να εξετάσει την εφαρμογή του θερμομαγνητισμού ως μεθοδολογία για την έρευνα σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στην περιοχή που βρίσκεται ο υποσταθμός της ΔΕΗ Ηρακλείου, το έτος 2011. Έγιναν αρχικά δειγματοληψίες εδαφικού υλικού μέχρι βάθος 0.25 μέτρα κοντά και γύρω στον υποσταθμό. Στην συνέχεια προσδιορίστηκαν οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης.

### **Abstract**

Main purpose of the present study is to investigate the suitability of thermomagnetism as a pollution monitoring tool around a power plant located near to Heraklion city. Surface soil samples have been collected in 2011 up to a depth of about 0.25 m. The heating and cooling curves of all samples have been estimated.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ _____	- 3 -
1	<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i> _____	- 5 -
	1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας _____	- 5 -
	1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης _____	- 5 -
	1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής _____	- 5 -
	1.4 Γενικά στοιχεία για το κλίμα της Κρήτης _____	- 9 -
2	<i>ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</i> - 10 -	
	2.1 Στρωματογραφικά στοιχεία _____	- 10 -
	2.2 Μεταλλική τεκτονική _____	- 14 -
3.	<i>ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i> _____	- 15 -
	3.1 Εισαγωγή _____	- 15 -
	3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες _____	- 16 -
	3.3 Μαγνητική υστέρηση _____	- 16 -
	3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα _____	- 17 -
	3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία - 19 -	
	3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα ___ - 21 -	
	3.7 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας _____	- 22 -
	3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington - 23 -	
	3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων _____	- 29 -
4.	<i>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΔΕΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ</i> _____	- 30 -
	4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας- 30 -	
	4.2 Τα μαγνητικά ορυκτά _____	- 30 -
	4.3 Περιγραφή του προγράμματος επεξεργασίας των δεδομένων - 31 -	
	4.4 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της χωρικής κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας _____	- 31 -
	4.5 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της θερμομαγνητικής ανάλυσης- 39 -	
5.	<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</i> _____	- 50 -
	5.1 Εισαγωγή _____	- 50 -

<b>5.2 Συμπεράσματα και προτάσεις</b>	<b>- 50 -</b>
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>- 52 -</b>

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της θερμομαγνητικής μεθόδου σε περιαστική περιοχή και κοντά σε υποσταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Είναι γνωστό εδώ και αρκετά χρόνια ότι η μαγνητική επιδεκτικότητα μπορεί να αποτελέσει δείκτη υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόζεται επιτυχώς στο εξωτερικό για την παρακολούθηση της εξάπλωσης της ρύπανσης σε περιοχές που λειτουργούν βαριές βιομηχανίες, χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.ΤΑ), αεροδρόμια κ.λ.π.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι:

- Η λήψη εδαφικού υλικού από την εξεταζόμενη περιοχή και η μελέτη της θερμομαγνητικής συμπεριφοράς των ιζημάτων 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.
- Την έρευνα πεδίου της εξεταζόμενης περιοχής
- Την επεξεργασία και αξιολόγηση του συνόλου των δεδομένων.
- Σύνταξη της παρούσας εργασίας.

## 1.3 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής

Ο νομός Ηρακλείου καλύπτει το κεντρικό τμήμα της Κρήτης κι έχει έκταση 2640Km<sup>2</sup> με ακτογραμμή πάνω από 250 χιλιόμετρα και κατοικείται πάνω από 300000 μόνιμους κατοίκους.

Ο νομός υποδιαιρείται σε επτά επαρχίες του Βιάννου, του Καινουργίου, του Μονοφατσίου, του Μαλεβιζίου, του Τεμένους, της Πυργιωτίσσης και της Πεδιάδος, με πρωτεύουσα την πόλη του Ηρακλείου(137711 κατ). Οι κυριότερες πόλεις της περιοχής είναι το Τυμπάκι οι Μοίρες και η Άνω Βιάννος. Ο Νομός βρίσκεται ανάμεσα σε δυο οροσειρές την Ίδη στα Δυτικά και την Δίκτη στα ανατολικά. Οι κοιλάδες πίσω από την πόλη του Ηρακλείου παράγουν κάποια από τα ωραιότερα σταφύλια. Σε αυτές τις κοιλάδες ο Άγγλος αρχαιολόγος Άρθουρ Έβανς κατόπιν πρόσκλησης του Μίνωα Καλοκαιρινού ανακάλυψε στο μινωικό παλάτι της Κνωσσού, τα ερείπια ενός μεγάλου πολιτισμού. Μια χαμηλή οροσειρά υψώνεται στο μέσο του νομού και κατεβαίνει στην πεδιάδα της Μεσσαράς, όπου βρίσκονται σημαντικές μινωικές ελληνικές και ρωμαϊκές αρχαιολογικές περιοχές οι μεγαλύτερες από τις οποίες είναι η Φαιστός, η Αγία Τριάδα και η Γόρτυνα. Στα νότια υπάρχει μία άλλη χαμηλή οροσειρά, ο "Κοφινάς", που χωρίζει την πεδιάδα από την ακτή. Η εντυπωσιακή κορυφή του Ψηλορείτη, 2.456 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, είναι ορατή σχεδόν από όλα τα σημεία του νομού Ηρακλείου. Είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακή κατά τη διάρκεια του χειμώνα όταν είναι καλυμμένη με χιόνια. Το έδαφος του Ν. Ηρακλείου είναι στη μεγαλύτερή του έκταση ορεινό και ημιορεινό. Ο νομός Ηρακλείου έχει αρκετά αξιοθέατα, όπως τα ερείπια ενός από τους μεγαλύτερους πολιτισμούς, η πιο ωραία συλλογή μινωικών ευρημάτων στον κόσμο και οι βυζαντινές εκκλησίες που είναι διασκορπισμένες παντού. Υπάρχουν ακόμα βενετικά κάστρα και σιντριβάνια. Τα χωριά και τα μοναστήρια έχουν να επιδείξουν μία ιστορία αγώνων για την ανεξαρτησία που φαίνεται από τα μνημεία γι' αυτούς που πέθαναν πολεμώντας εναντίον των κατακτητών της Κρήτης. Οι παραλίες στην Αγία Πελαγία και τη Χερσόνησο στα βόρεια, τα Μάταλα και τους Καλούς Λιμένες στα νότια, προσελκύουν τους επισκέπτες με τα ζεστά και καθαρά νερά τους.

Το ανατολικό τμήμα του νομού Ηρακλείου έχει τα μεγαλύτερα παραθαλάσσια τουριστικά θέρετρα (Λιμένας Χερσονήσου), μερικά από τα μεγαλύτερα αρχαιολογικά αξιοθέατα (Μάλια) και αρκετές σημαντικές βυζαντινές εκκλησίες.

ΟΡΗ, ΣΠΗΛΛΑΙΑ ΚΑΙ ΕΛΑΦΟΣ ΚΡΗΤΗΣ: Το έδαφος της Κρήτης είναι στη μεγαλύτερή του έκταση ορεινό. Σε πολλά δε σημεία βραχώδες. Αναλυτικά η κατανομή του σε κατηγορίες έχει ως εξής : 33% πεδινό, 26% ημιορεινό και 41% ορεινό.

Οροσειρές: Οι αρχαίοι ιστορικοί και γεωγράφοι, όπως ο Στράβωνας, ο Διόδωρος κ.α., χωρίζουν τα βουνά της Κρήτης σε δυο Οροσειρές: τα Λευκά όρη στη Δυτική Κρήτη και τα Ιδαία όρη στο κέντρο και προς ανατολικά. Στα Ιδαία όρη περιλαμβάνονται η Ίδη ή



Ψηλορείτης, η Δίκητη ή Εντίχτης, ο λόφος Πύτνα κ.α. Ωστόσο οι σημερινοί γεωγράφοι έχουν χωρίσει τα Ιδαία όρη σε δυο οροσειρές, στον Ψηλορείτη και τη Δίκητη ή Λασιθιώτικα βουνά .

Τα Λευκά Όρη έχουν ψηλότερη κορυφή τις Πάχνες (2.452 μ.).

Η Ίδη ή Ψηλορείτης έχει ψηλότερη κορυφή τον Τίμιο Σταυρό (2.456 μ.).

Η Δίκητη έχει ψηλότερη κορυφή τον Εντίχη ή Σπαθί (2.148 μ.), Αφέντης (1.475 μ.).

Τα Αστερούσια Όρη (1.231 μ.) ενώνουν τη Δίκητη με Ψηλορείτη από το νότιο μέρος.

Πεδιάδες: Οι πεδιάδες της Κρήτης είναι τόσες όσες και οι κύριες οροσειρές, δηλαδή: η παρά των Λευκών ορέων στα Χανιά και η παρά των Ιδαίων ορέων ή άλλως Μεσαρά στο μέσο και ανατολικό άκρο (η πεδιάδα αυτή βρίσκεται μεταξύ Ψηλορείτη και Δίκητης).

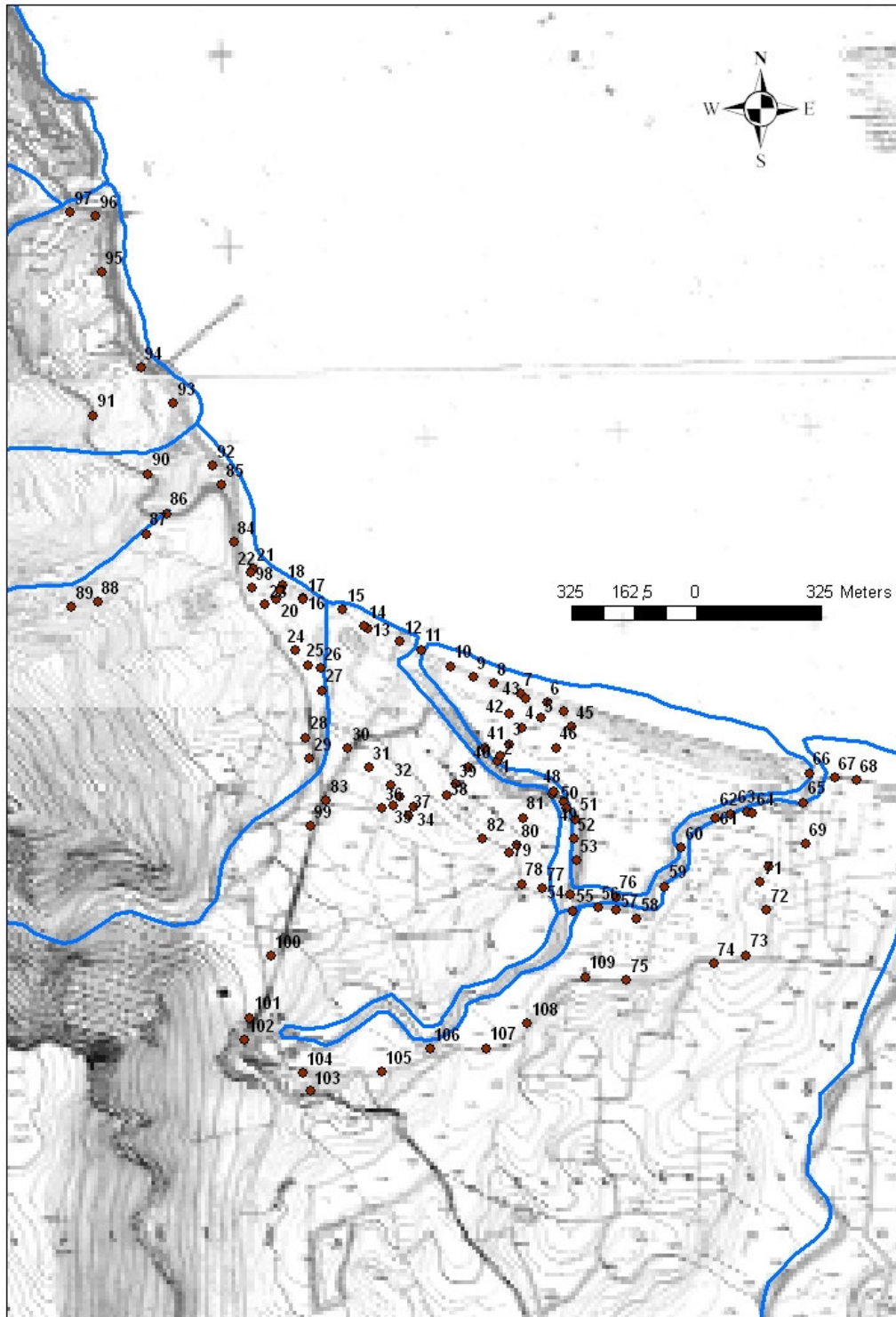
Σπήλαια: το Δικταίο άντρο, όπου γεννήθηκε ο Δίας, Σπηλιάρια της Βοσκοπούλας ή Ιδαίο άντρο, Μελιδονίου και Μιλιάτου, όπου έγιναν ολοκαυτώματα επί Τουρκοκρατίας

ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ ΚΡΗΤΗΣ: Το υπέδαφος της Κρήτης είναι πλούσιο σε ορυκτά. Βρέθηκαν σίδηρος, μόλυβδος, στεατίτης, μαγνήσιο, λιγνίτης, θείο, χαλκός και ψευδάργυρος. Υπάρχουν επίσης πολύτιμα μέταλλα, όπως χρυσός, άργυρος και πολύτιμοι λίθοι.

Το πάριο χρονικό αναφέρει ότι επί Μίνωα Α', το 1453 π.Χ. ή 1210 πριν από το Διόγνητο βρέθηκε σίδηρος στην Ίδη.

Δάση: Πριν πολλά χρόνια η Κρήτη είχε πυκνά δάση, εξ ου και τα όρη της Κρήτης λεγόταν «Ιδαία» = σύδενδρα. Σήμερα η δασοκάλυψη του νησιού είναι μικρή σε σχέση με την αρχαιότητα. Κύρια δασικά δέντρα είναι ο πρίνος (η βελανιδιά και πουρνάρια) και ο ασφένδαμος (λιανό) και ακολουθούν το πεύκο, η δρυς, το κυπαρίσσι και η καστανιά.

Η περιοχή που ερευνήθηκε εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα του κόλπου του Ηρακλείου, με ανάγλυφο το οποίο είναι σχετικά ομαλό (σχ. 1.1) ενώ προς τα δυτικά εντοπίζεται η παρουσία ορεινού όγκου. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι διαρρέεται από τον Αλμυρό ποταμό με τους παραποτάμους του.



Σχήμα 1.1 Σχεδιάγραμμα της ευρύτερης περιοχής του Ηρακλείου με το υδρογραφικό δίκτυο

## 1.4 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 Στρωματογραφικά στοιχεία

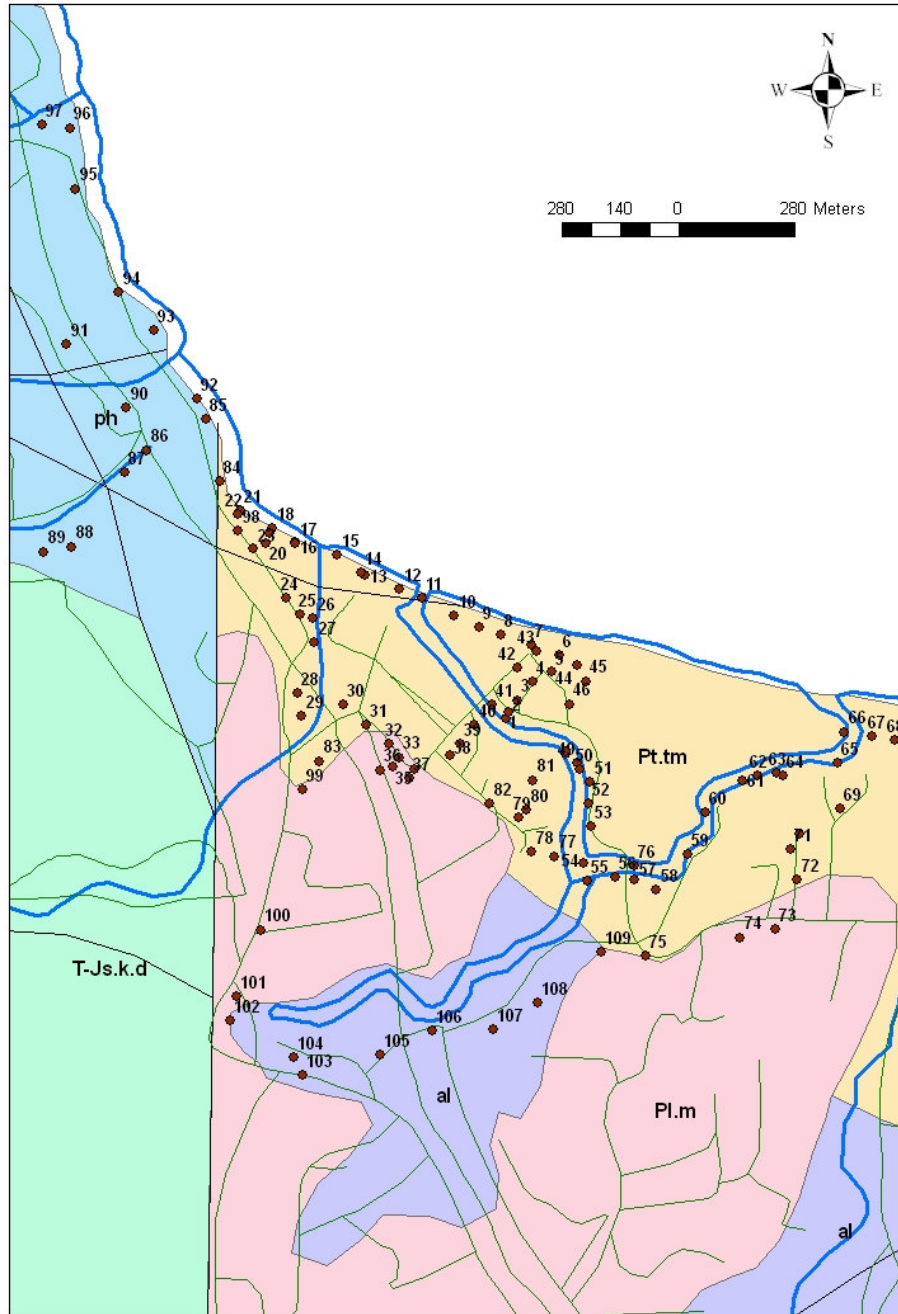
Από την μελέτη του γεωλογικού χάρτη Φύλλου Ηρακλείου, έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50000 (σχ. 2.1) και επιτόπου γεωλογική αυτοψία, προκύπτει ότι η ευρύτερη περιοχή καλύπτεται κυρίως από Αλπικά και Μεταλπικά ιζήματα.

Οι σχηματισμοί οι οποίοι δομούν την εξεταζόμενη περιοχή **από τους νεότερους προς τους παλαιότερους** είναι:

- Α1: Ποτάμιες αποθέσεις και αποθέσεις κλειστών λεκανών ηλικίας Τεταρτογενούς – Ολόκαινο. Ειδικότερα οι αποθέσεις αυτές εντοπίζονται εκατέρωθεν των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου.
- Qs: αδιαίρετες θαλάσσιες αναβαθμίδες και άμμοι ακτών ηλικίας Πλειστόκαινου – Ολοκαίνου. Εντοπίζονται στο παραλιακό τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής.
- Pl.m: Σχηματισμός Φοινικιάς, ο οποίος αποτελείται από λευκές ομοιογενείς μάργες ή μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, τεφρωπές αργίλους με καστανές συχνά λεπτοστρωμένες παρεμβολές από λευκόφαιες απολιθωματοφόρες μάργες, φυλλώδεις μάργες ή διατομίτες και βιοκλαστικούς ασβεστόλιθους. Η βάση του σχηματισμού αποτελείται από ένα αδιαβάθμητο «μαργαϊκό λατυποπαγές» με συστατικά λευκών ομοιογενών μαργών, ασβεστολίθων και μαργών του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρας, πρασινωπών αργίλων και προνεογενών πετρωμάτων. Ο σχηματισμός της Φοινικιάς επίκειται ασύμφωνα του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρας και το πάχος του υπερβαίνει τα 150 m. Η ηλικία του είναι Νεογενές έως Κατώτερο Μέσο Πλειόκαινο.
- Οι αλλόχθονες σειρές που εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της υπό μελέτη περιοχής ανήκουν:
  - Στο τεκτονικό κάλυμμα της Ζ. Τρίπολης (Ts-Jsk,d): Ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες, στην βάση τους μυλονιτωμένοι λόγω τεκτονισμού. Τα κατώτερα μέλη τους αποτελούνται από ημικρυσταλλικούς δολομίτες, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, τεφρόμαυροι, ενώ τα ανώτερα μέλη μεταπίπτουν σε ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους, μεσοστρωματώδεις, τεφρόλευκοι έως τεφρόμαυροι. Στο σύνολο τους είναι καρστικοί, κυρίως στα ανώτερα μέλη. Το μέγιστο πάχος τους φθάνει τα 300 m και η ηλικία τους Αν. Τριαδικό – Αν. Ιουρασικό.

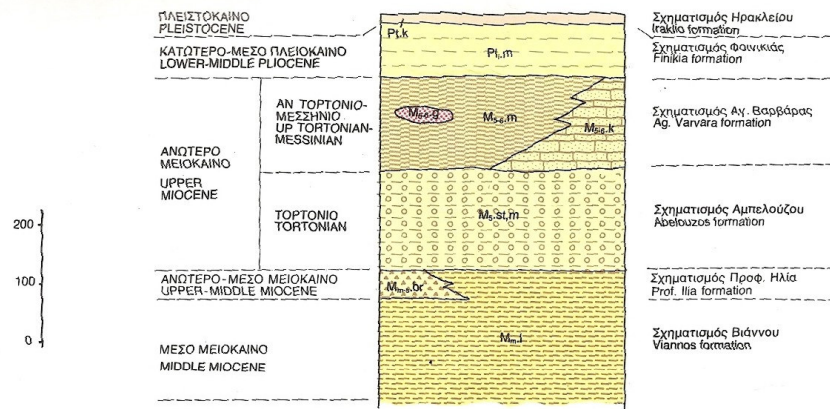
- Στο τεκτονικό κάλυμμα της φυλλιτικής – χαλαζιτικής σειράς(P-Ts.ph): αποτελεί ενότητα πολύ χαμηλής μέχρι χαμηλής μεταμόρφωσης που έχει επωθηθεί μαζί με την τεκτονικά υπερκείμενη της ζώνη Τρίπολης, πάνω στην αυτόχθονη σειρά των «πλακωδών ασβεστόλιθων» κατά το Κατώτερο Μειόκαινο. Πρόκειται για σχιστόλιθους, πρασινίτες - πρασινοσχιστόλιθους και μεταβασίτες με μέγιστο πάχος 400 μ. Πιθανή ηλικία Πέρμιο – Αν. Τριαδικό.

Στο σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η στρωματογραφική στήλη που δείχνει την ακολουθία των πετρωμάτων στην εξεταζόμενη περιοχή.

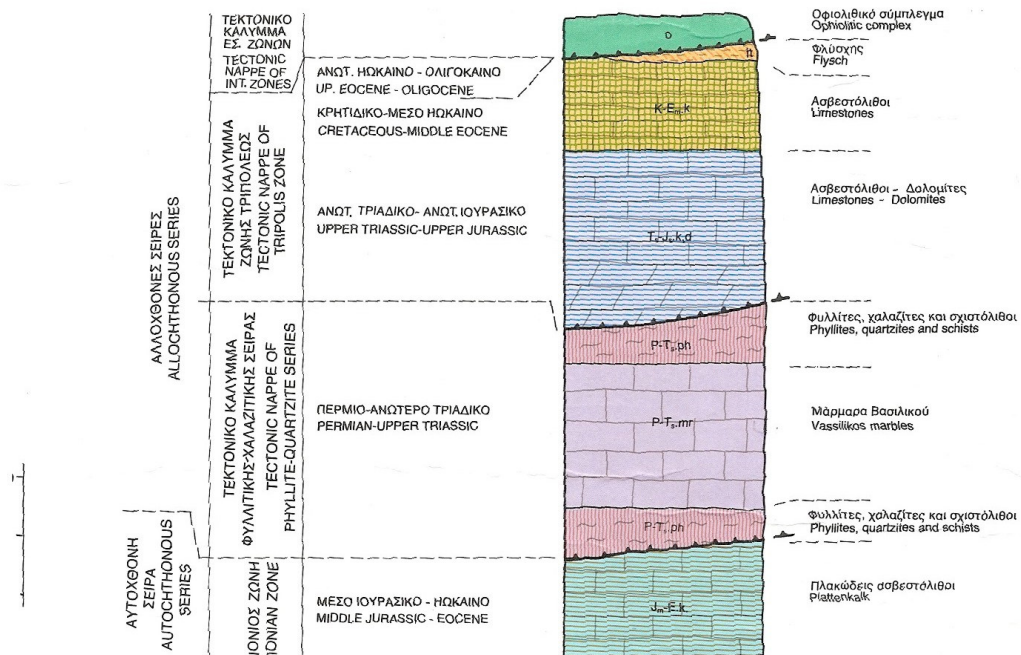


Σχήμα 2.1 Γεωλογικός χάρτης του Ηρακλείου στην περιοχή του υποσταθμού της ΔΕΗ όπου παρουσιάζονται οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί, τα ρήγματα, το οδικό και το υδρογραφικό δίκτυο (Φύλλο χάρτη Ηράκλειο, έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50000)

ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΗΛΗ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ  
STRATIGRAPHIC COLUMN OF NEOGENE FORMATIONS



ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΗΛΗ ΑΛΠΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ  
COMPOSITE STRATIGRAPHIC COLUMN OF ALPINE FORMATIONS



Σχήμα 2.2 Στρωματογραφική στήλη που δείχνει την ακολουθία των αλπικών και μεταλπικών ιζημάτων στην εξεταζόμενη περιοχή (Φύλλο χάρτη Ηράκλειο, έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1:50000)

## 2.2 Μεταλλική τεκτονική

Από τις τεκτονικές κινήσεις, οι οποίες έδρασαν στην διάρκεια του γεωλογικού χρόνου στην περιοχή της Κρήτης και επηρέασαν την δομή της, ενδιαφέρον για την παρούσα μελέτη παρουσιάζει η νεοτεκτονική δράση (Kilias et al., 1993) η οποία εξακολουθεί να δρα έως και σήμερα. Οι νεοτεκτονικές κινήσεις οφείλονται σε γενικότερη περιστροφή του νησιού γύρω από οριζόντιο άξονα διεύθυνσης ΒΑ - ΝΔ (Fytrolakis, 1980). Στην κίνηση αυτή το νησί συμμετέχει σαν ένα σύστημα τεκτονικών τεμαχών διαφορετικού μεγέθους και φοράς κίνησης.

Ενδεικτικό του είδους του τεκτονισμού που έχει επηρεάσει την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος αποτελούν οι εναλλαγές επιφανειών ισοπέδωσης και χαραδρώσεων - ενεργών κοιτών του υδρογραφικού δικτύου. Η ευρύτερη νεοτεκτονική λεκάνη του Ηρακλείου οριοθετείται από ρηξιγενείς ζώνες προσανατολισμένες περί τις γενικές διευθύνσεις Β - Ν και Α - Δ, τα δε επιμέρους ρηξιγενή τεμάχια παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό και φορά ανύψωσης μεταξύ του βόρειου τμήματος τους σε σχέση με το νότιο, το οποίο στην προκειμένη περίπτωση της εξεταζόμενης περιοχής, έχει μεγαλύτερη τιμή. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι ο άξονας περιστροφής είναι προσανατολισμένος στη διεύθυνση Α - Δ και ότι η βύθιση έχει γίνει προς τα βόρεια.

Η τεκτονική κατά την διάρκεια του Νεογενούς για την περιοχή της Κρήτης είναι κυρίως εφελκυστική με πιθανά διαλείμματα συμπιεστικών φάσεων. Από το Μειόκαινο έως σήμερα δύο μεγάλα γεωδυναμικά γεγονότα καθορίζουν την γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης: η σύγκλιση Αφρικής και Ευρασίας και της διαφυγής της μικροπλάκας της Ανατολίας προς τα νοτιοδυτικά. Τρεις μεγάλες ομάδες ρηγμάτων προέκυψαν από τις εφελκυστικές φάσεις που έπληξαν την Κρήτη από το Μειόκαινο έως σήμερα.

Η πρώτη και παλαιότερη ομάδα αποτελείται από ρήγματα γενικής διεύθυνσης Α-Δ με ηλικία Μέσο/Άνω Μειόκαινο με αρχές Μεσσηνίου. Οι λεκάνες που είναι προσανατολισμένες στην διεύθυνση Α-Δ είναι αποτέλεσμα αυτών των ρηγμάτων.

Τα ρήγματα γενικής διεύθυνσης Β-Ν και ηλικίας περίπου τέλος Μεσσηνίου με μέσο Πλειόκαινο αποτελούν την δεύτερη μεγάλη ομάδα, υπεύθυνη για την δημιουργία των λεκανών του Ηρακλείου, Ιεράπετρας και Καστελίου Χανίων.

Τέλος η τρίτη και νεότερη ομάδα αποτελείται από ρήγματα γενικής διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ. Πολλά από αυτά τα ρήγματα είναι ακόμα ενεργά.

Τα πιο αξιόλογα τεκτονικά στοιχεία στην εξεταζόμενη περιοχή (σχ.2.1) είναι η παρουσία ρηξιγενούς ζώνης διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και Β-Ν.



### **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 μαγνήτισής 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.

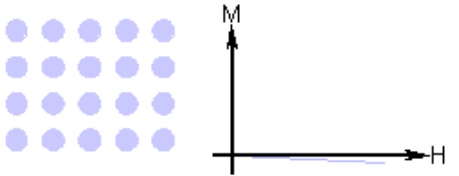
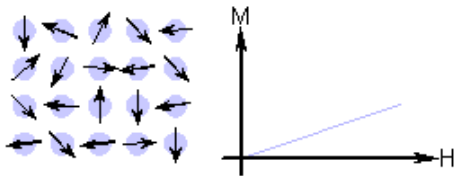
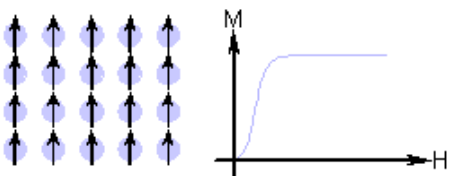
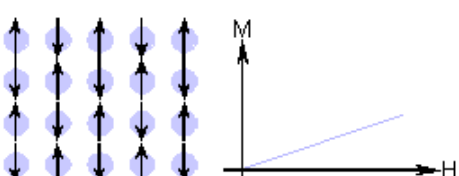
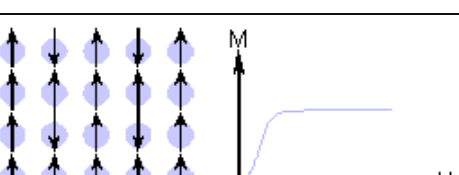
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

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

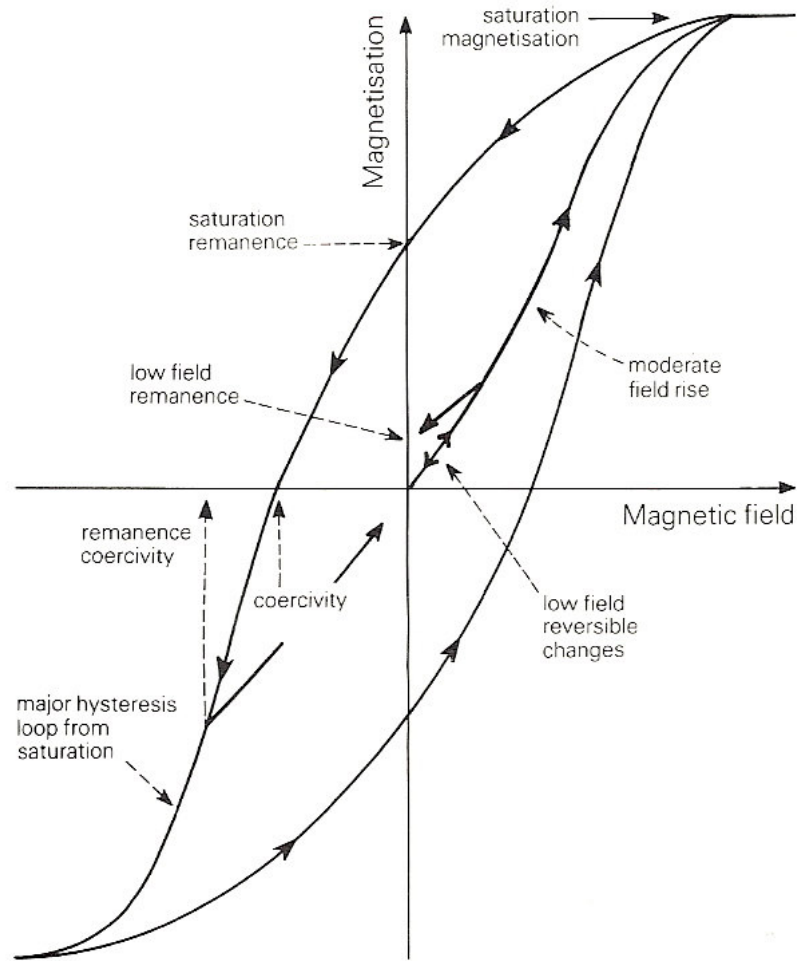
### 3.3 Μαγνητική υστέρηση

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 	Au Cu $-2.74 \times 10^{-6}$ $-0.77 \times 10^{-6}$
Παραμαγνητισμός	Μικρή και θετική	Τυχαίος προσανατολισμός των μαγνητικών ροπών των ατόμων 	$\beta$ -Sn Pt Mn $0.19 \times 10^{-6}$ $21.04 \times 10^{-6}$ $66.10 \times 10^{-6}$
Σιδηρομαγνητισμός	Μεγάλη και θετική, συνάρτηση του εφαρμοζόμενου πεδίου, εξαρτάται από τη μικροδομή.	Τα άτομα έχουν παράλληλες μαγνητικές ροπές 	Fe $\sim 100,000$
Αντι - σιδηρομαγνητισμός	Μικρή και θετική	Ανάμειξη παράλληλων και αντιπαράλληλων μαγνητικών ροπών 	Cr $3.6 \times 10^{-6}$
Σιδηριμαγνητισμός	Μεγάλη και θετική, συνάρτηση του εφαρμοζόμενου πεδίου, εξαρτάται από τη μικροδομή	Τα άτομα έχουν αντιπαράλληλες μαγνητικές ροπές 	Ba ferrite $\sim 3$

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*  $\kappa$  (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)	$H$ $\text{A m}^{-1}$	$H$ oersted (Oe)	$1 \text{ A m}^{-1} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ Oe}$
permeability of a vacuum	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$	$\mu_0 = 1$	$1 \text{ H m}^{-1}$ equivalent to $10^7/4\pi \text{ G Oe}^{-1}$
induction in free space (field)	$B_0 = \mu_0 H$	$B = H$	$1 \text{ T}$ equivalent to $10^4 \text{ Oe}$
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	$M$ $\text{A m}^{-1}$	$I$ 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	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	585	93
ulvospinel	$\text{Fe}_2\text{TiO}_4$	-153	—
haematite	$\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$	675	0.5
ilmenite	$\text{FeTiO}_3$	-218	—
maghaemite	$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$	~740	85
pyrrhotite	~ $\text{Fe}_7\text{S}_8$	~300	~20
iron	$\alpha\text{Fe}$	780	200
goethite	$\alpha\text{FeO.OH}$	120	~1
lepidocrocite	$\gamma\text{FeO.OH}$	-196	—
magnesianoferrite	$\text{MgFe}_2\text{O}_4$	440	21
jacobsite	$\text{MnFe}_2\text{O}_4$	310	77

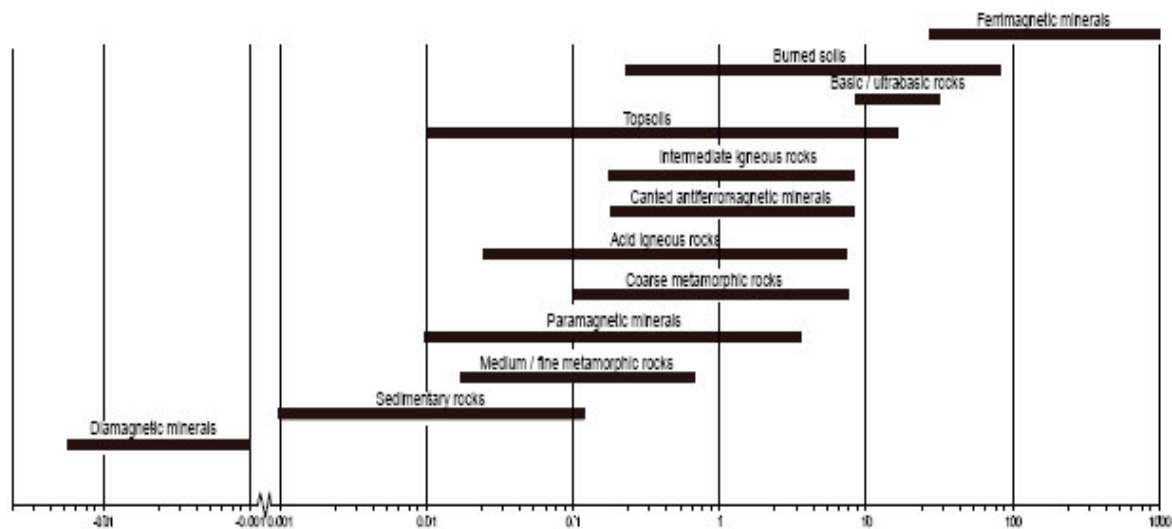
### 3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

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  $\kappa$ , 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,  $\chi$ , ορίζεται από την σχέση:  $\chi = \kappa/\rho$ , όπου  $\rho$  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  $k_i$ , ενώ η εξωτερική με  $k_e$ , την οποία και μετράμε. Η σχέση μεταξύ  $k_i$  και  $k_e$  είναι:  $k_e = k_i / (1+N \cdot k_i)$  όπου  $N$  ο παράγοντας απομαγνήτισης. Για ένα ισχυρό μαγνητικό ορυκτό (μαγνητίτης)  $N \cdot k_i > 1$ , οπότε και το  $\kappa$  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 ( $\infty \text{Fe}$ )	$2 \times 10^7$	olivines ( $\text{Mg, Fe}_2\text{SiO}_4$ )	1→130	water ( $\text{H}_2\text{O}$ )	-0.9
magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	$5 \times 10^4$	amphiboles ( $\text{Mg, Fe, Al}$ silicates)	16→100	halite ( $\text{NaCl}$ )	-0.9
maghaemite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	$4 \times 10^4$	siderite ( $\text{FeCO}_3$ )	~100	quartz ( $\text{SiO}_2$ )	-0.6
pyrrhotite ( $\text{Fe}_7\text{S}_9$ )	$\sim 5 \times 10^3$	pyroxenes ( $\text{Mg, Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ )	5→100	calcite ( $\text{CaCO}_3$ )	-0.5
ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ )*	~200	biotites ( $\text{Mg, Fe, Al}$ silicates)	5→ 95	feldspar ( $\text{Ca, Na, K, Al}$ silicate)	-0.5
lepidocrocite ( $\text{FeOOH}$ )*	70	nontronite ( $\text{Fe-rich clay}$ )	~ 90	kaolinite (clay mineral)	-2
goethite ( $\infty \text{FeOOH}$ )	70	chamosite (Oxidised chlorite)	~ 90	montmorillonite (clay)	~5
haematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	60	epidote ( $\text{Ca, Fe, Al silicate}$ )	~ 30	illite (clay mineral)	~15
		pyrite ( $\text{FeS}_2$ )	~ 30	plastic (e.g. perspex, PVC)	~-0.5
		chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ )	~ 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 remanent magnetization, DRM)** – αφορά την παραμένουσα μαγνήτιση που αποκτούν τα ιζήματα κατά την απόθεση τους.

**2. Μέγιστη παραμένουσα μαγνήτιση (Saturation isothermal remanent magnetization, SIRM or MRS or  $\sigma_{RS}$ ).** 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  $\sigma_S$ ).** 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 remanent 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

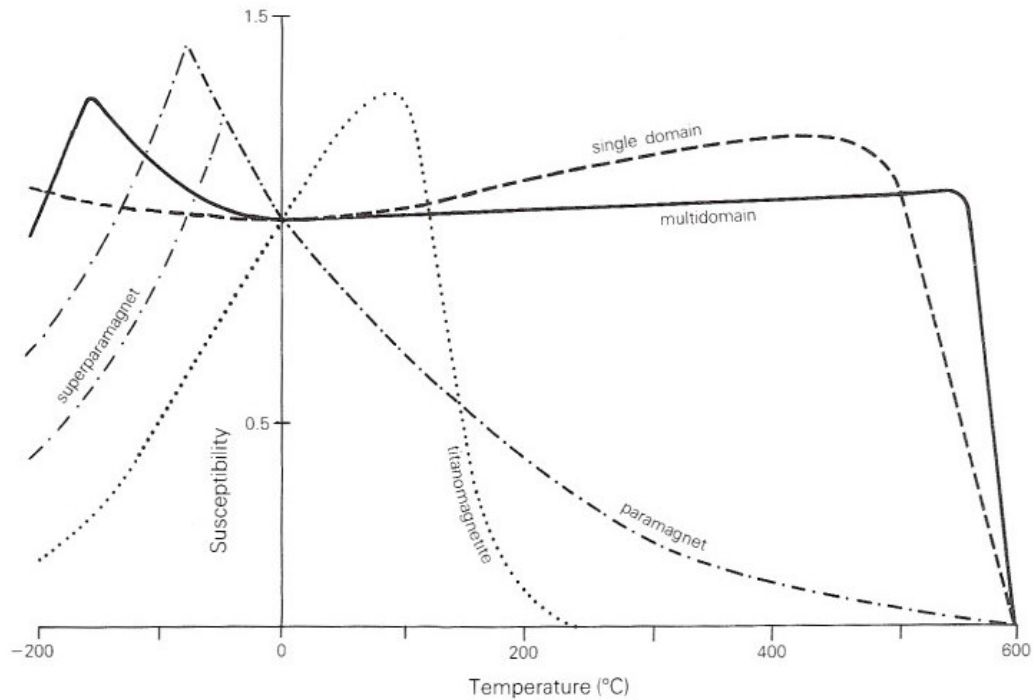
Η μαγνητική επιδεκτικότητα,  $k$ , γενικά μεταβάλλεται με την θερμοκρασία λόγω των εσωτερικών τάσεων και της ανισοτροπίας των κρυστάλλων.

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 700o 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 TB (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 αντανακλά 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  $<20\mu\text{m}$  (διακεκομμένη), μεγάλου μεγέθους κόκκοι  $>20\mu\text{m}$  (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 ( $\chi_{fd}$ ) 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.

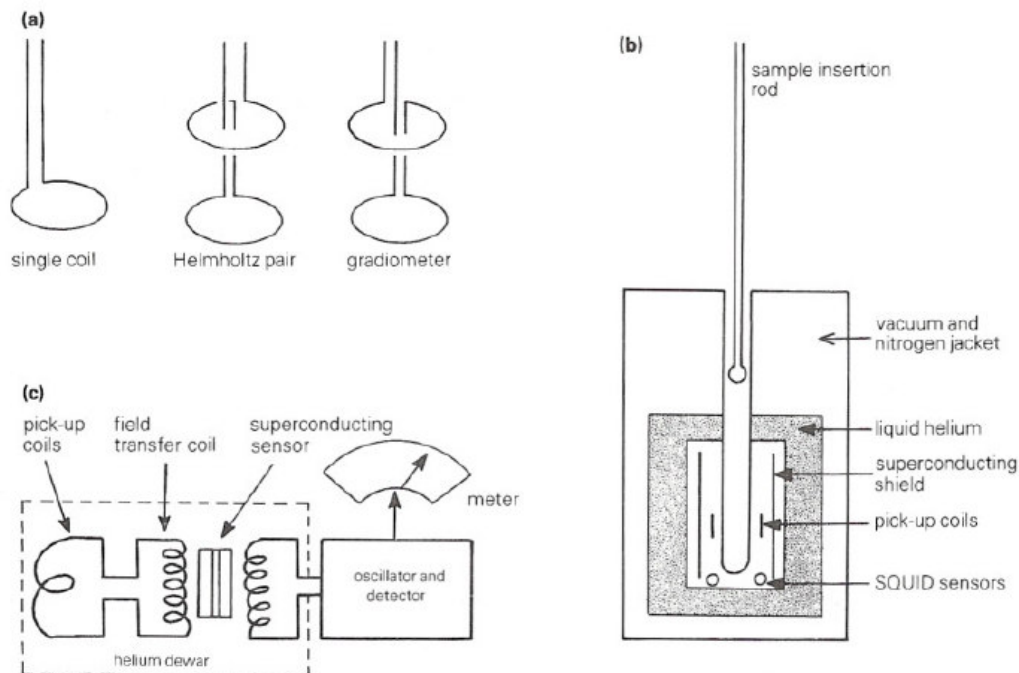
Στις χαμηλές συχνότητες η σε φάση συνιστώσα της μαγνητικής επιδεκτικότητας έχει τιμή πλησίον της πραγματικής. Καθώς όμως η συχνότητα αυξάνεται τα φαινόμενα αποκατάστασης γίνονται πιο σημαντικά και η σε φάση συνιστώσα μετά από μια μικρή αύξηση (Spoek, 1948), μειώνεται σταθερά ενώ η τιμή της φανταστικής 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  $3 \times 10^{-4}$  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 ( $\chi_{fd}$ ). Συνήθως το εύρος των τιμών για την εξαρτώμενη από την συχνότητα μαγνητική επιδεκτικότητα εκφράζεται ως ποσοστό επί της ολικής επιδεκτικότητας ( $\chi_{fd}/\chi$ ) 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 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας

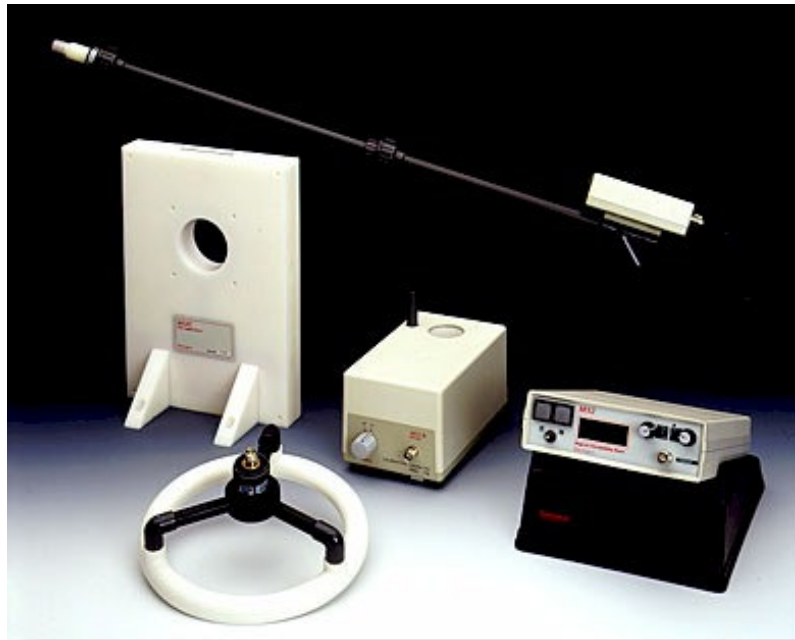
Συνήθως η μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας γίνεται με την μέθοδο a.c (σχ. 3.3). Το δείγμα τοποθετείται σε ένα μαγνητικό πεδίο που παράγεται από ένα πηνίο. Ένα δεύτερο πηνίο χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της επαγόμενης μαγνήτισης, που είναι ανάλογη της επιδεκτικότητας του δείγματος. Το σήμα που λαμβάνεται, ενισχύεται και μετράται σε millivolts. Τα μοντέρνα όργανα μαγνητικής επιδεκτικότητας χρησιμοποιούν μαγνητικά πεδία της τάξης 0.1mT (10e) 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  $2 \times 10^{-6}$  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.



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

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 <sup>-5</sup> SI (x10 <sup>-6</sup> CGS) 1-9999 x 10 <sup>-8</sup> SI (x10 <sup>-6</sup> CGS)
Resolution - volume specific	2 x 10 <sup>-5</sup> SI (2 x 10 <sup>-7</sup> 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 <sup>-7</sup> CGS (LF & HF)
HF/LF Cross calibration	0.1% worst case
Temperature induced drift: Sample to Sensor Differential Calibration sample	±0.05 x 10 <sup>-6</sup> 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**

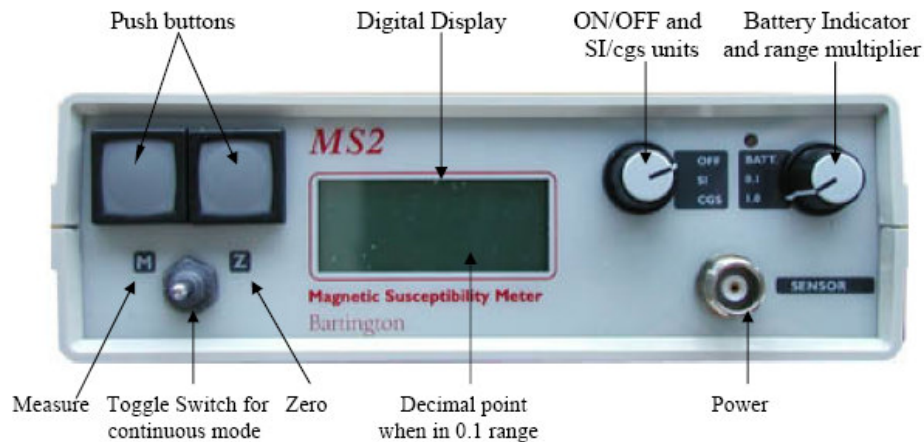
Weight	0.65kg
Dimensions - upper section - lower section	430mm length 360mm length





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  $\pm 1$  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 κάναβο 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 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΤΗΣ ΔΕΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ**

### **4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας**

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στις εξής φάσεις:

1. Αναζήτηση βιβλιογραφίας που να σχετίζεται με χαρτογράφηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας.
2. Επιλογή της περιοχής έρευνας (σχ. 4.1) στην παρούσα περίπτωση είναι η ευρύτερη περιοχή στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου και η συλλογή οτιδήποτε πληροφοριών αφορούν την συγκεκριμένη περιοχή).
3. Συλλογή δειγμάτων εδάφους χωρίς την χρήση μεταλλικών αντικειμένων και αποθήκευση σε πλαστικές σακούλες.
4. Μεταφορά στο εργαστήριο όπου ξεκινάμε την διαδικασία της ταξινόμησης κατά αύξοντα αριθμό δείγματός 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. Επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων με τη χρήση του λογισμικού πακέτου ARCGIS και GRAPHER.

### **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 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), μαγκεμίτη ( $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), αιματίτη ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) και υδροξείδια του σιδήρου όπως γκαιτίτη ( $\text{FeOOH}$ )). 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  $\text{FeS}_2$ ), οξειδίων (μαγνητίτης), ανθρακικών αλάτων (σιδηρίτης-

FeCO<sub>3</sub>) και των ένυδρων φωσφορικών ορυκτών (όπως βιβιανίτης-vivianite (Fe<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>8H<sub>2</sub>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 Περιγραφή του προγράμματος επεξεργασίας των δεδομένων**

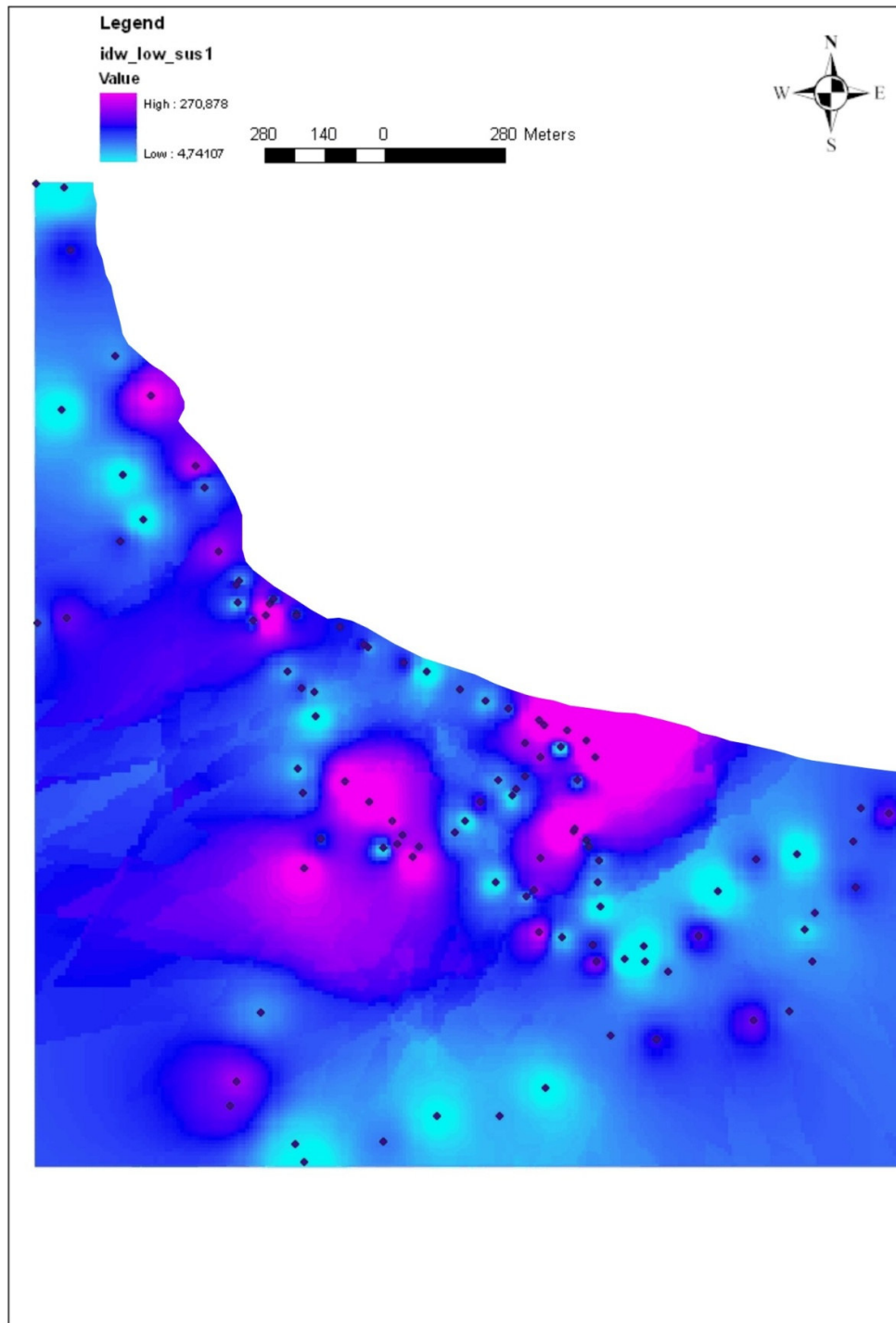
Οι χάρτες που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια έχουν προκύψει από επεξεργασία των παραπάνω χαρτών με την βοήθεια του προγράμματος GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών). Αφού δημιουργήθηκαν τα αρχεία των δεδομένων εφαρμόστηκε η διαδικασία της παρεμβολής (inverse distance weighted, IDW), η οποία επιλέχθηκε μετά από αρκετές δοκιμές μεθόδων παρεμβολής. Με την συγκεκριμένη μέθοδο καθορίζεται η τιμή σε κάθε κυψέλη, από το μέσο όρο των γειτονικών σημείων. Η βαθμός βαρύτητας κάθε σημείου που συμμετέχει στον υπολογισμό της μέσης τιμής μιας κυψέλης εξαρτάται από την απόσταση του.

Τέλος έγινε υπέρθεση των χαρτών, που προέκυψαν, πάνω στο τοπογραφικό υπόβαθρο. Στο υπόμνημα κάθε χάρτη παρουσιάζεται η χρωματική κλίμακα με το αντίστοιχο για κάθε χρώμα εύρος μετρήσεων.

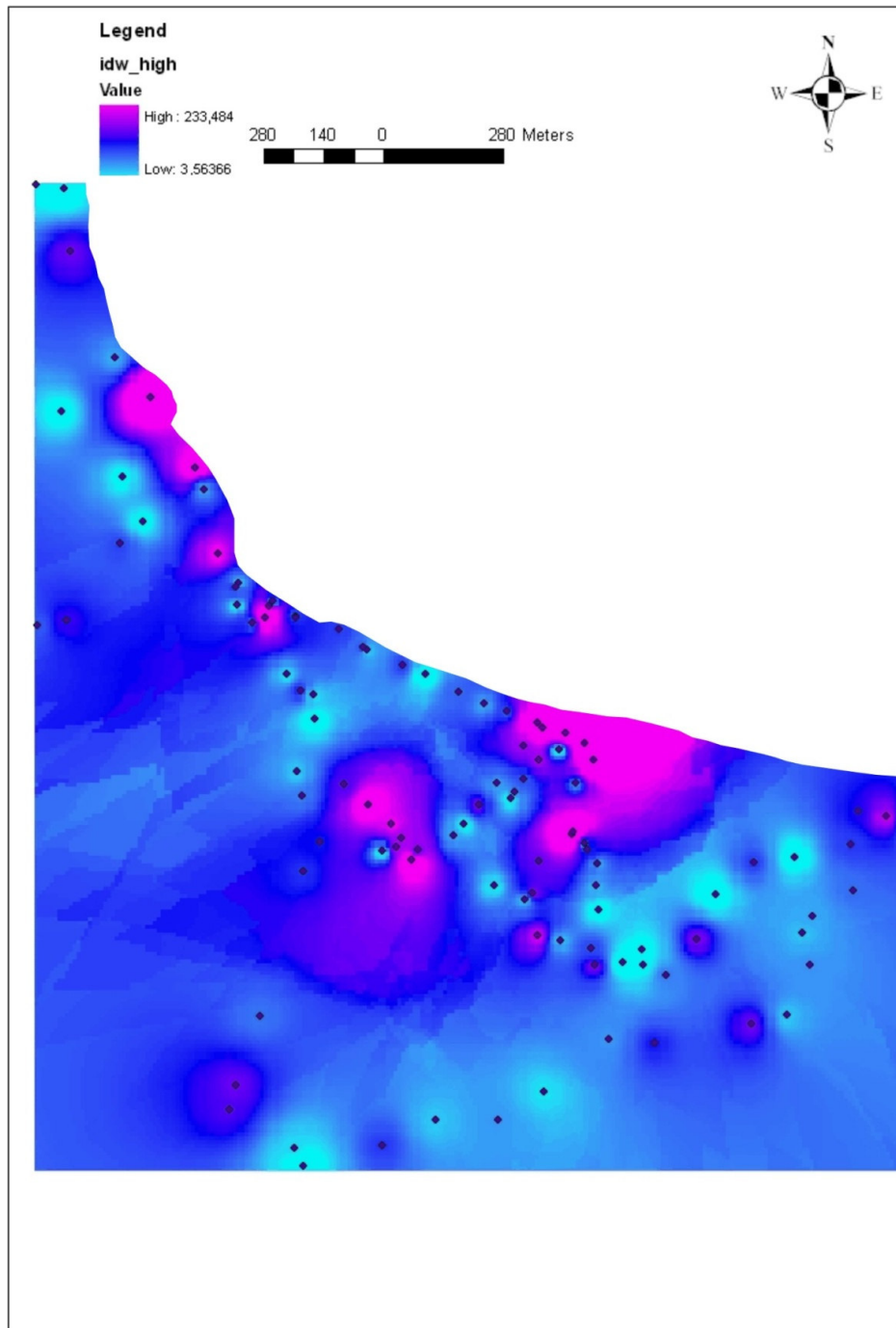
### **4.4 Παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων της χωρικής κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας**

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα, η οποία αντιπροσωπεύει την πραγματική επιδεκτικότητα. Δεν ήταν δυνατή η δειγματοληψία μέσα στο χώρο του υποσταθμού. Υψηλές τιμές εμφανίζονται γενικά περιμετρικά του υποσταθμού και σε τμήμα της παραλίας. Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε υψηλή συχνότητα, η οποία αντιπροσωπεύει την φανταστική επιδεκτικότητα. Παρουσιάζει την ίδια κατανομή με την πραγματική επιδεκτικότητα, με ελαφρά μικρότερο εύρος τιμών. Επίσης προσδιορίστηκε και η μαγνητική επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα με βάση την σχέση  $FD \text{ susceptibility} = [MS(\text{Low}) - MS(\text{High})] / MS(\text{Low})$ , η κατανομή της οποίας παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3. Υψηλές τιμές της εξαρτώμενης από την συχνότητα επιδεκτικότητας εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής και σποραδικά στο νοτιοανατολικό τμήμα της. Στα σχήματα 4.4 και 4.5 αντίστοιχα, παρουσιάζεται η ερμηνεία των μετρήσεων της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα. Η ερμηνεία βασίζεται στην υπέρθεση του οδικού, τεκτονικού και υδρογραφικού δικτύου της

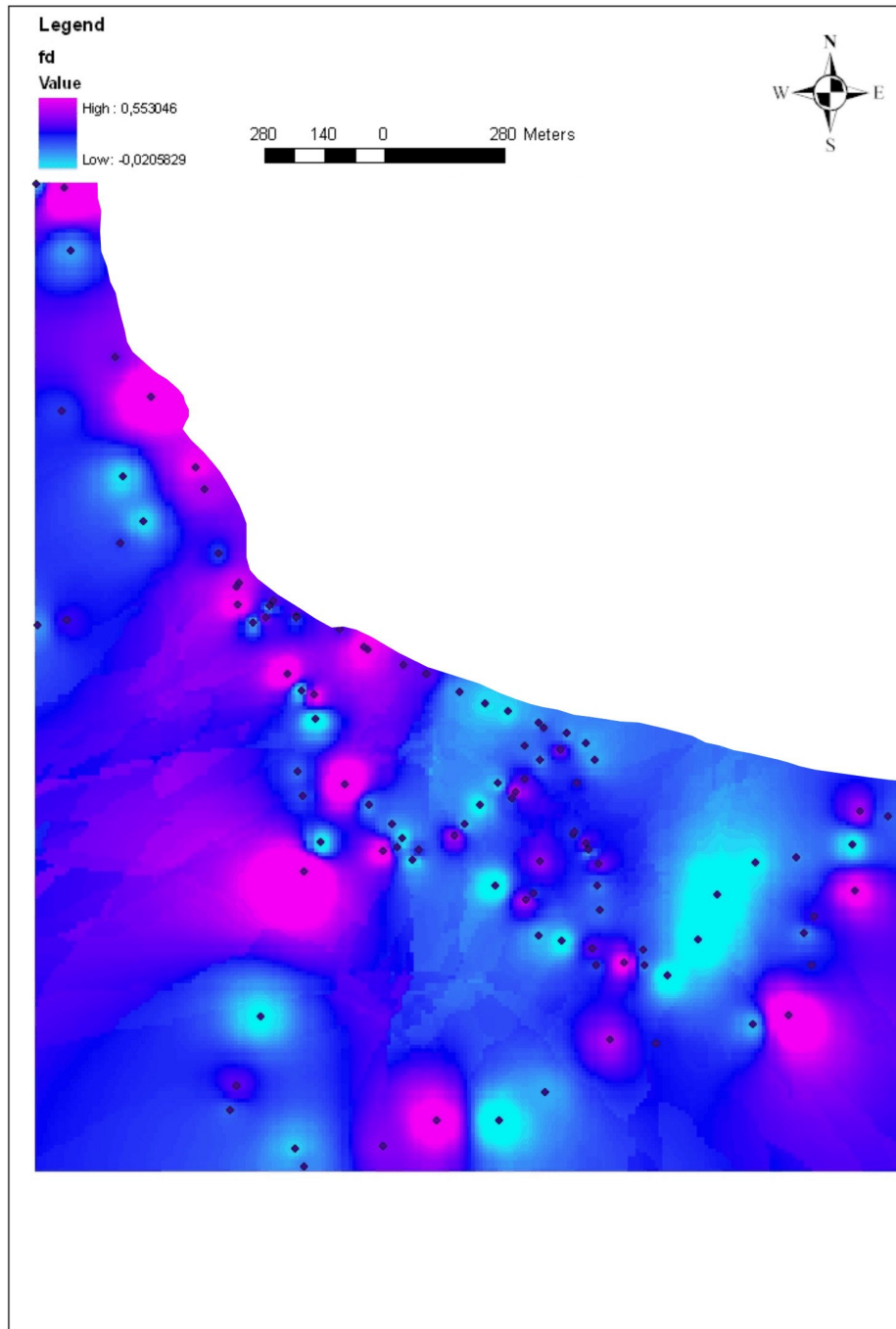
περιοχής. Από την μελέτη της γεωλογίας της περιοχής προκύπτει ότι οι κατανομή των τιμών δεν πρέπει να σχετίζεται με τα γεωλογικά στρώματα, διότι για το ίδιο γεωλογικό στρώμα (π.χ. μάργες) εμφανίζονται μεγάλες αποκλίσεις στην επιδεκτικότητα. Υψηλές τιμές εντοπίζονται περιμετρικά του υποσταθμού της ΔΕΗ, στις επαφές με το οδικό δίκτυο, σε μικρό τμήμα του Αλμυρού ποταμού που βρίσκεται σε γειτονία με τον υποσταθμό καθώς και στο τμήμα της παραλίας που εντοπίζεται μπροστά από τον υποσταθμό. Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζεται η ερμηνεία της εξαρτώμενης από την συχνότητα επιδεκτικότητας. Οι υψηλές τιμές της φαίνεται να σχετίζονται με την πυκνότητα του οδικού δικτύου της περιοχής.



Σχήμα 4.1 Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας ( $m^3 Kg^{-1}$ ) σε χαμηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου

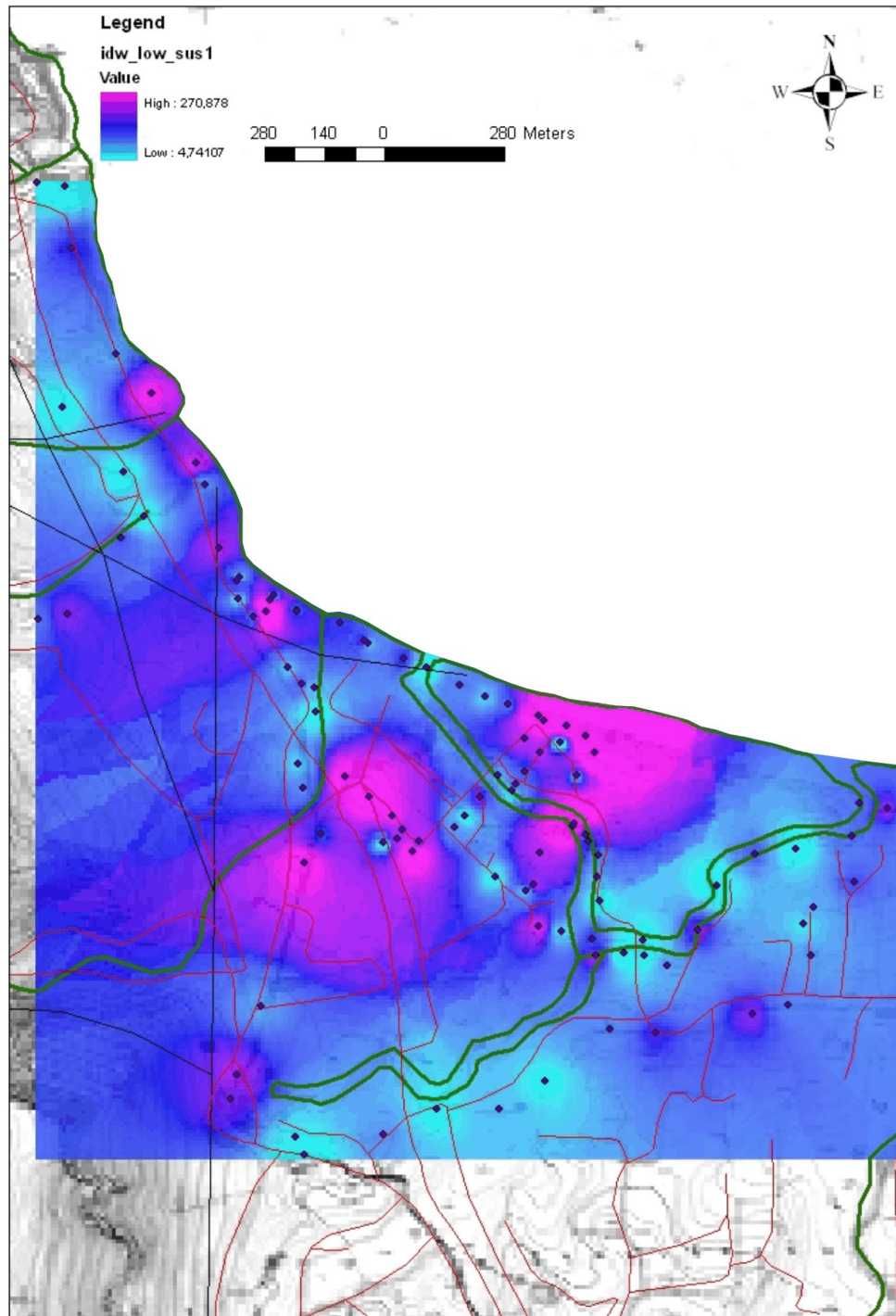


Σχήμα 4.2 Απεικόνιση της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας ( $m^3Kg^{-1}$ ) σε υψηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου

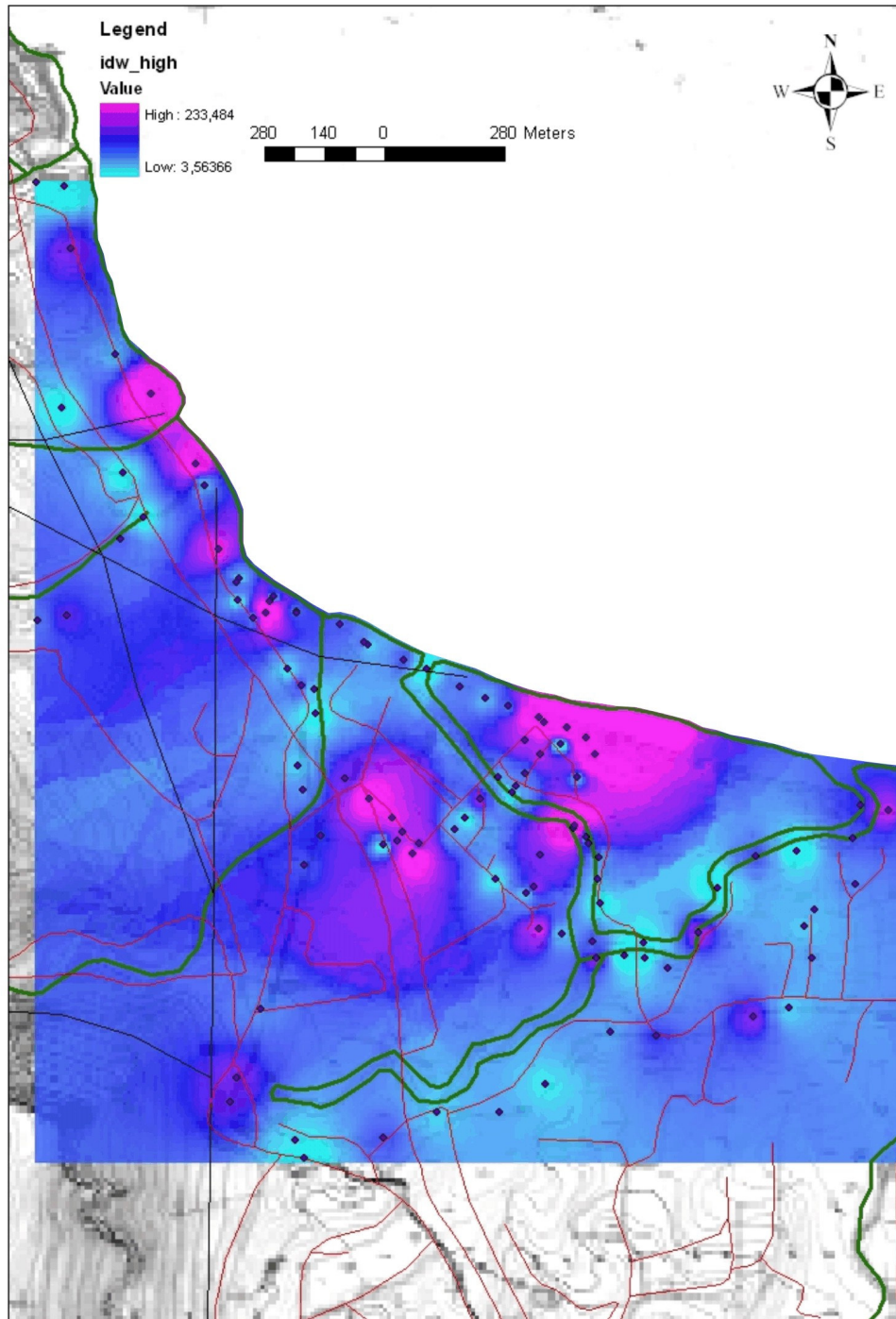


Σχήμα 4.3 Απεικόνιση της κατανομής της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας ( $m^3 Kg^{-1}$ ) με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου

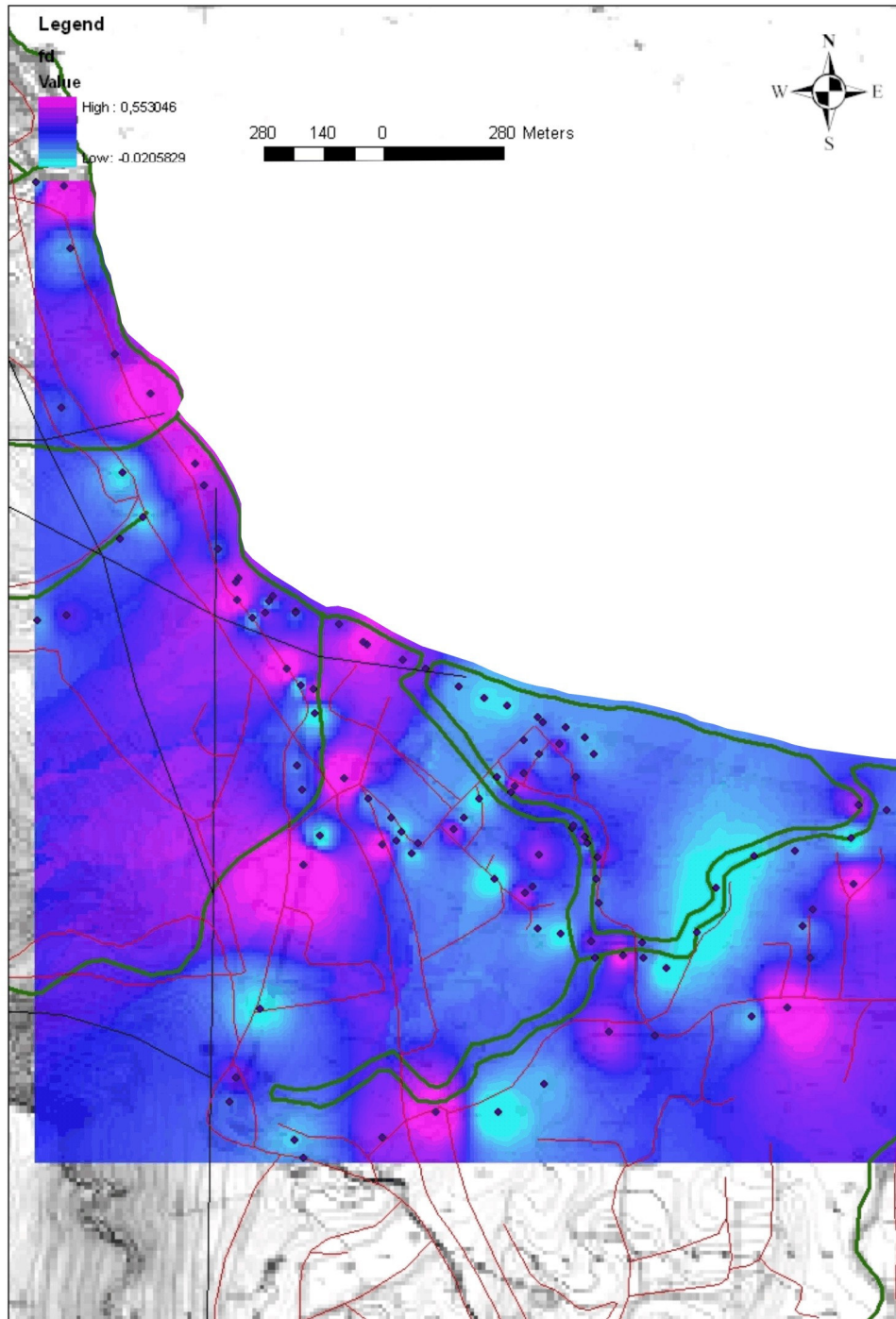




Σχήμα 4.4 Ερμηνεία της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας ( $m^3 Kg^{-1}$ ) σε χαμηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου



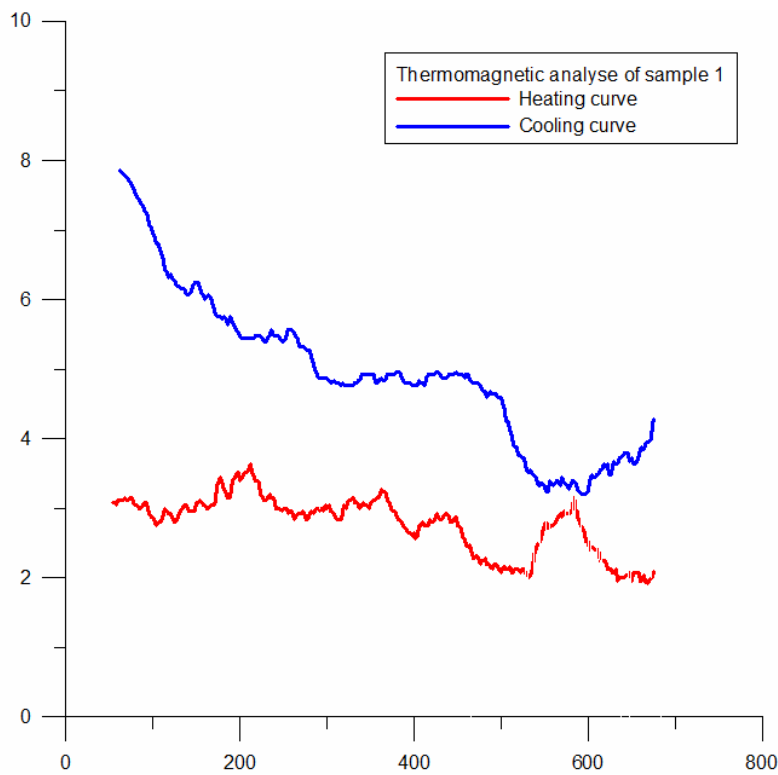
Σχήμα 4.5 Ερμηνεία της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας ( $m^3 Kg^{-1}$ ) σε υψηλή συχνότητα με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υποσταθμό της ΔΕΗ Ηρακλείου



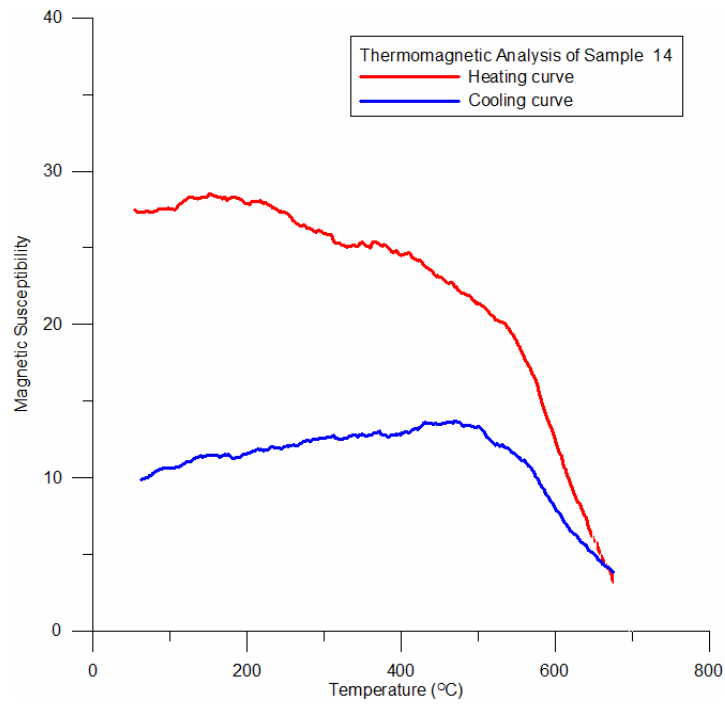
Σχήμα 4.6 Ερμηνεία της κατανομής της εξαρτώμενης από την συχνότητα μαγνητικής επιδεκτικότητας ( $m^3 Kg^{-1}$ ) με την μέθοδο παρεμβολής IDW, στον υπόσταθμο της ΔΕΗ Ηρακλείου

#### 4.5 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της θερμομαγνητικής ανάλυσης

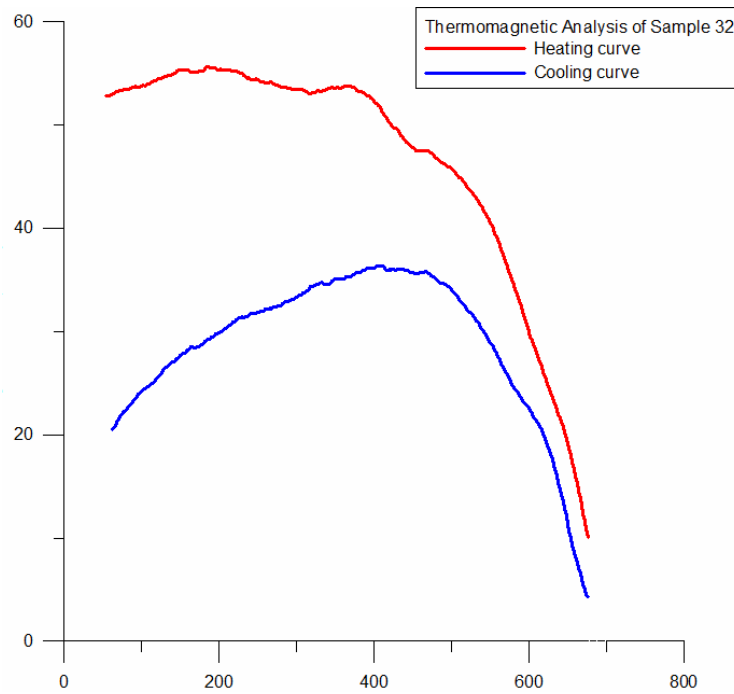
Στα σχήματα που ακολουθούν (4.7-4.26) παρουσιάζονται οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης από από τις 20 πιο αντιπροσωπευτικές θερμομαγνητικές αναλύσεις. Τα δείγματα 32, 40, 72, 74, 76, 82, 102, 107 παρουσιάζουν μαγνητική συμπεριφορά που δεν αντιπροσωπεύει αυτή των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή που μελετήθηκε. Επισημαίνεται ότι τα παραπάνω δείγματα συλλέχθηκαν είτε στην γειτονία με τον υποσταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είτε στην εγγύτητα του υδρογραφικού δικτύου και πιθανότατα να φέρουν φορτίο βαρέων μετάλλων.



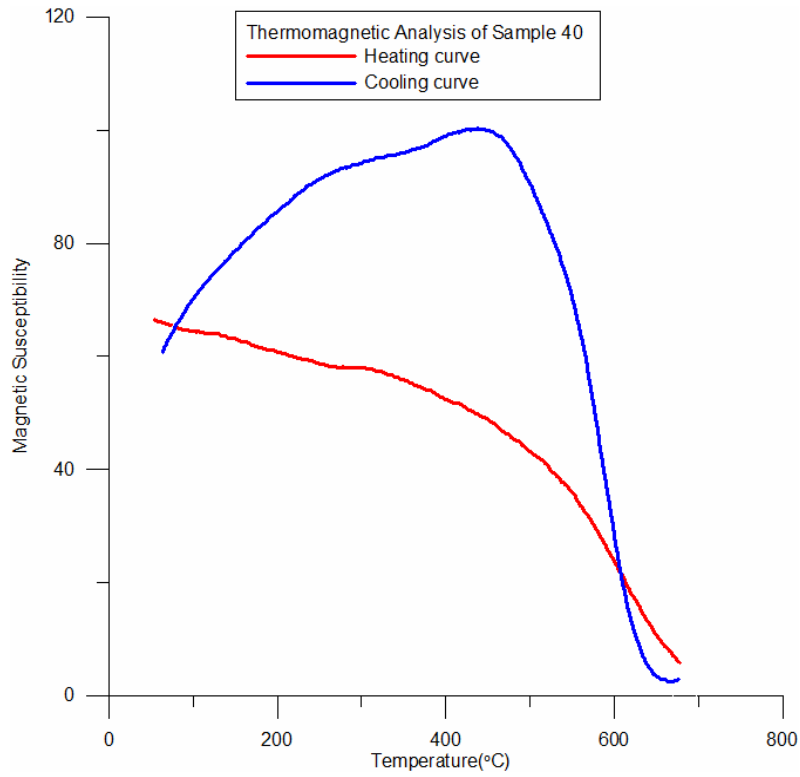
Σχήμα 4.7 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 1



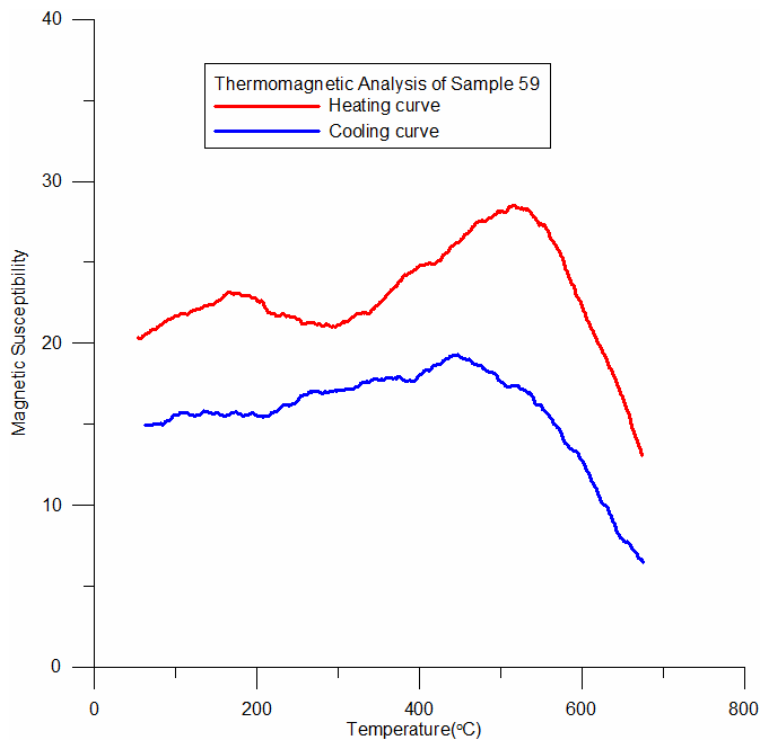
Σχήμα 4.8 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 14



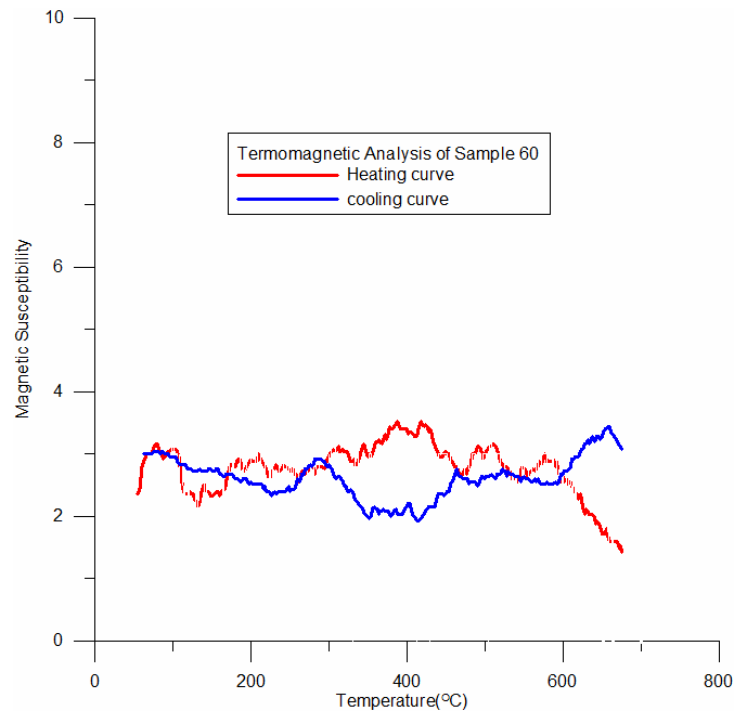
Σχήμα 4.9 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 32



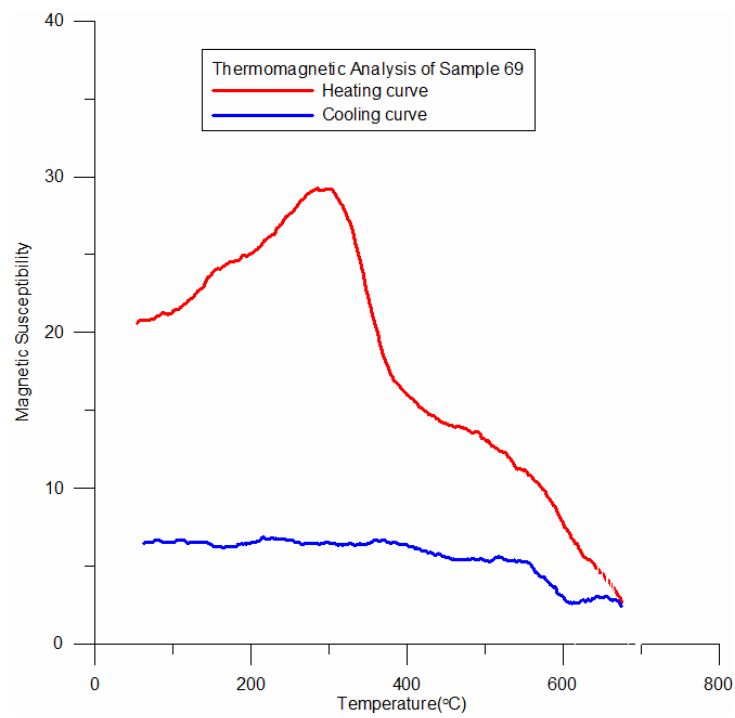
Σχήμα 4.10 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 40



Σχήμα 4.11 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 59

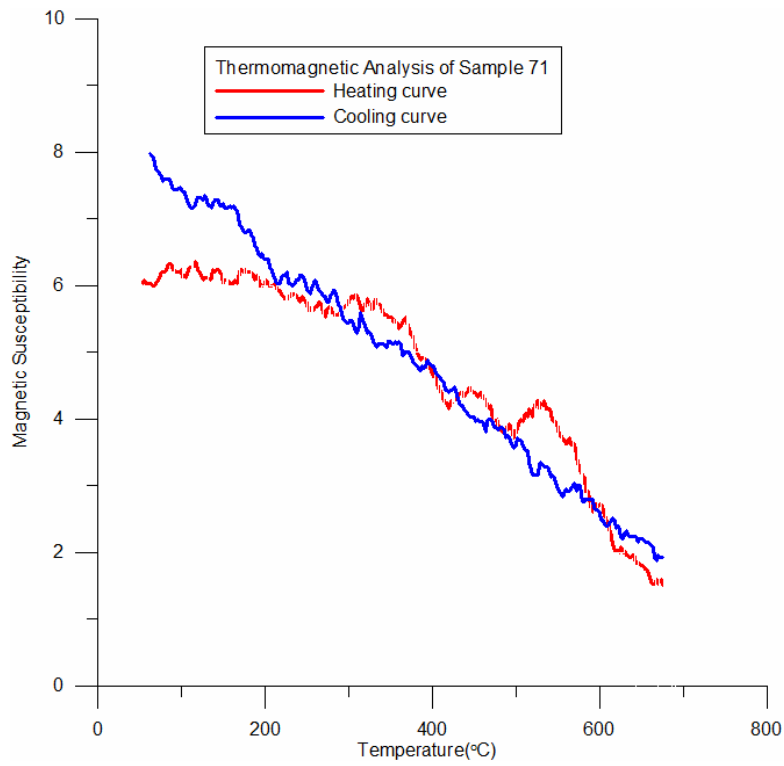


Σχήμα 4.12 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 60

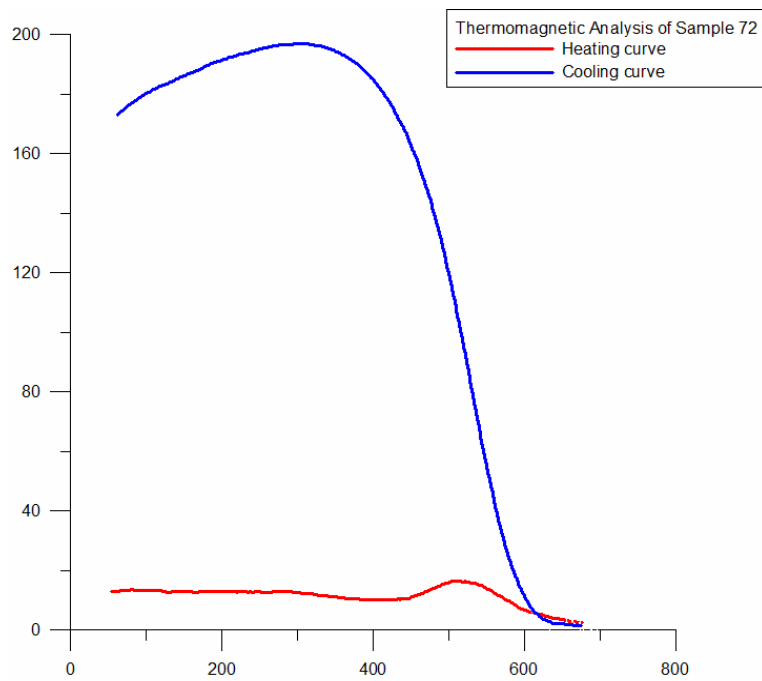


Σχήμα 4.13 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 69



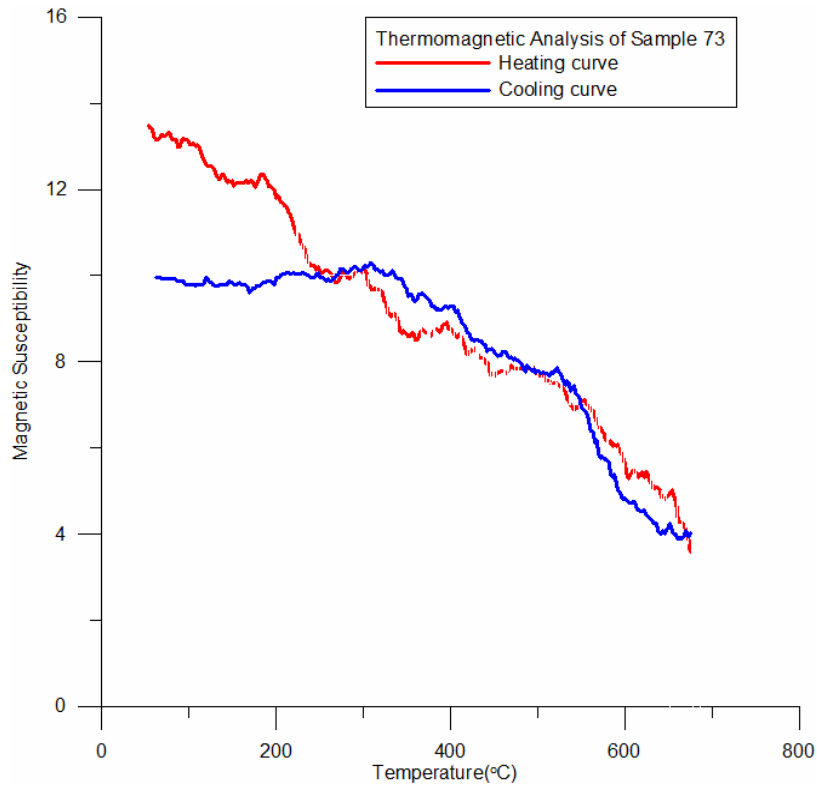


Σχήμα 4.14 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 71

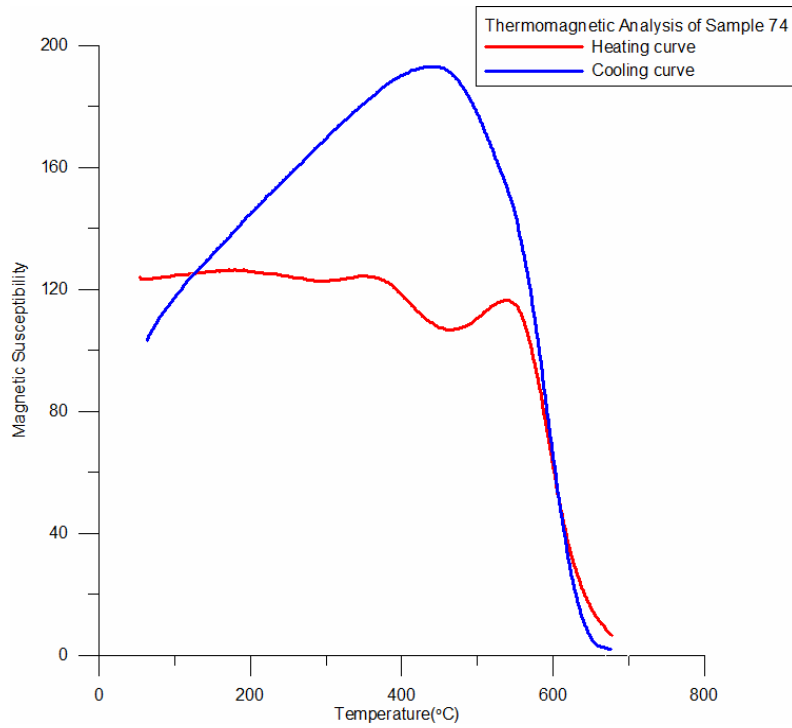


Σχήμα 4.15 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 72

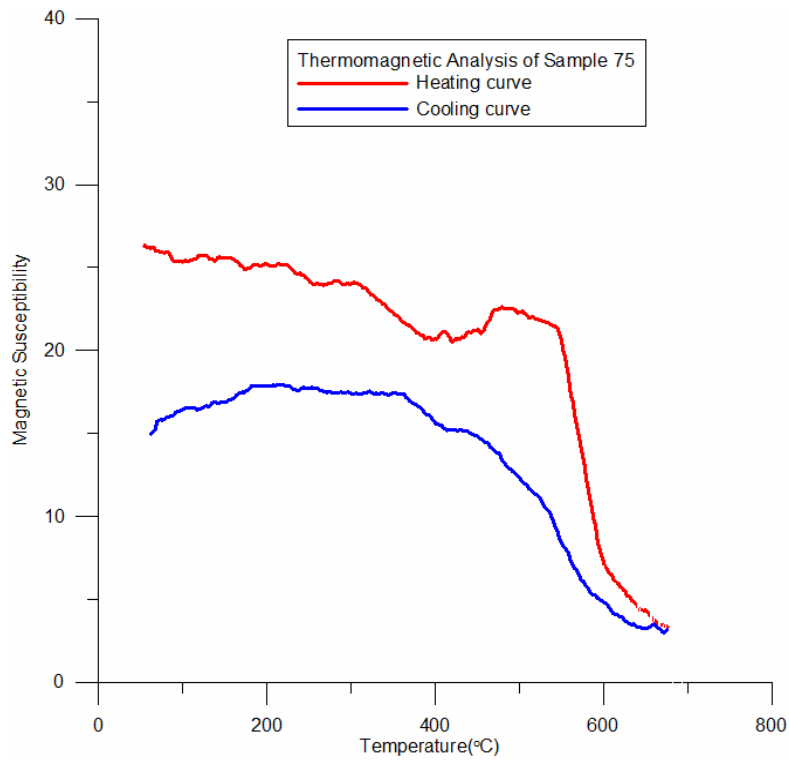




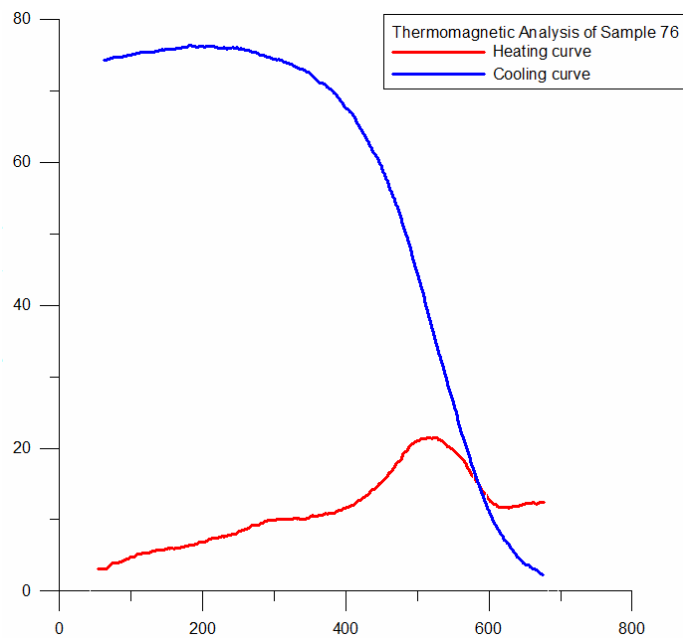
Σχήμα 4.16 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 73



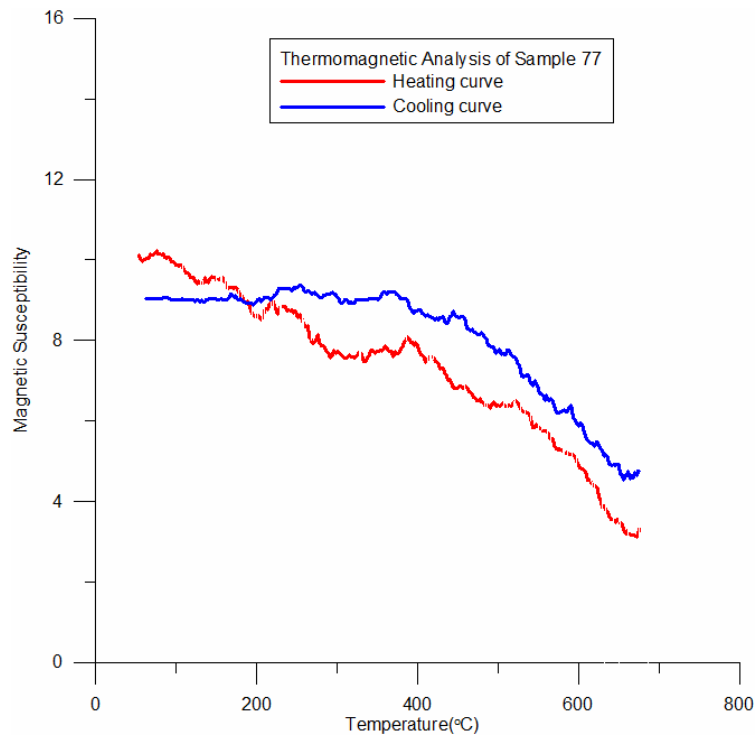
Σχήμα 4.17 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 74



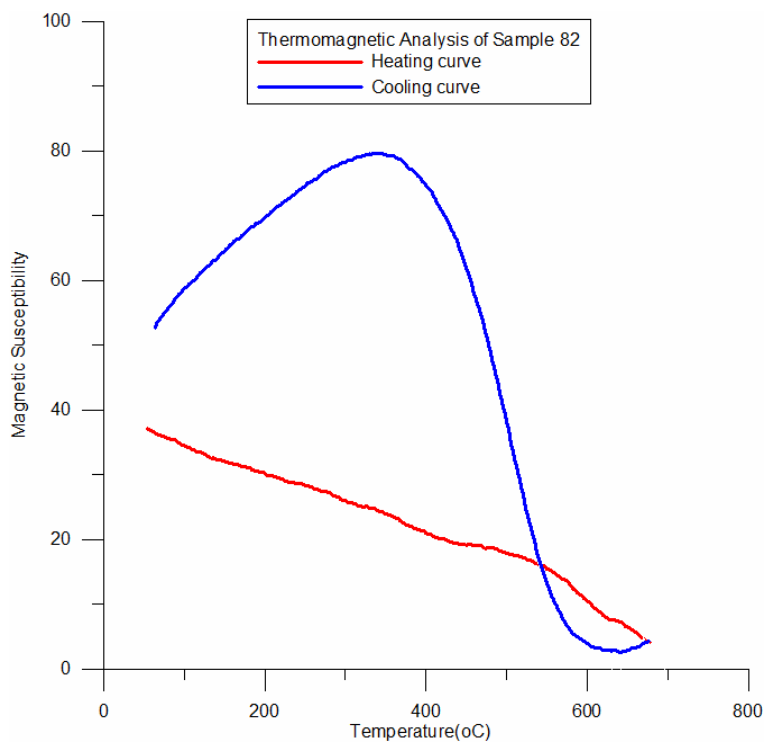
Σχήμα 4.18 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 75



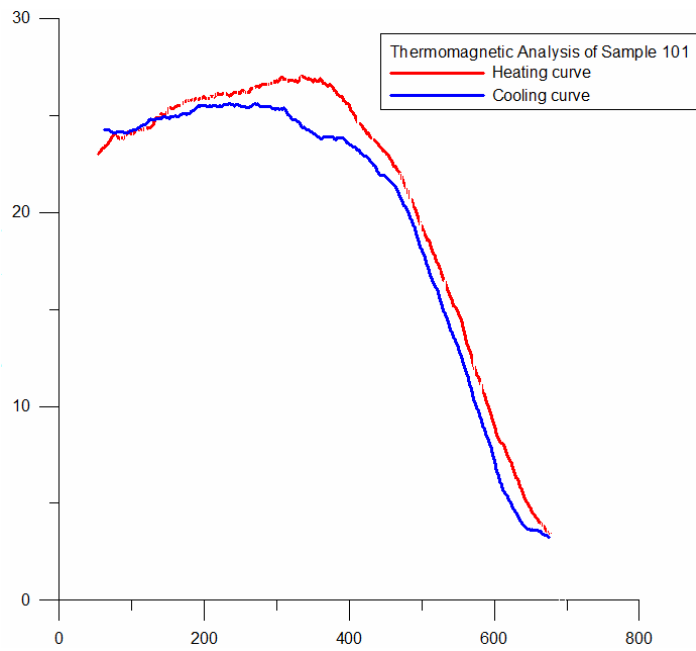
Σχήμα 4.19 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 76



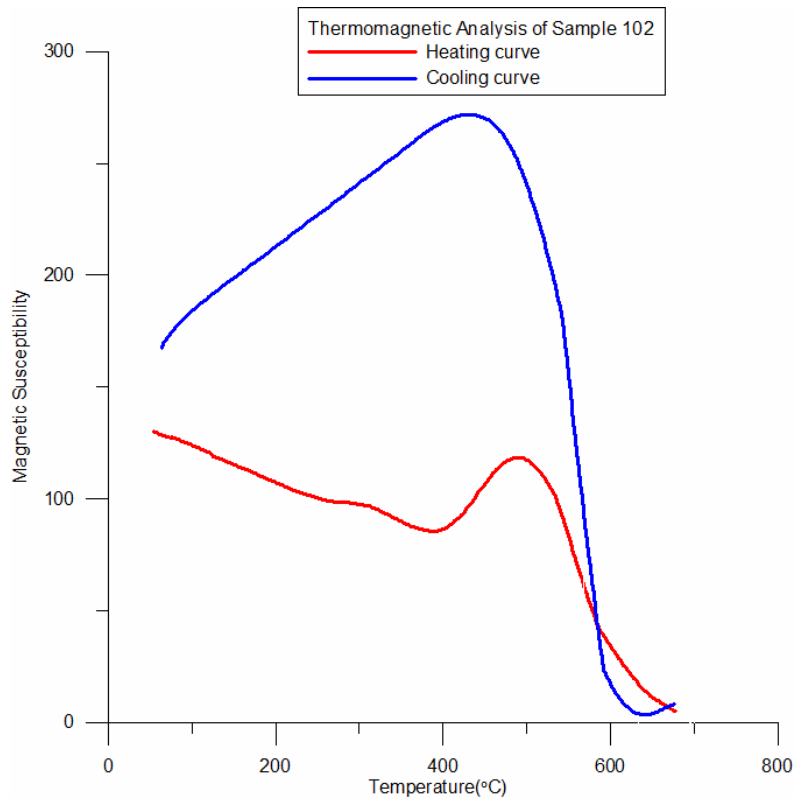
Σχήμα 4.20 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 77



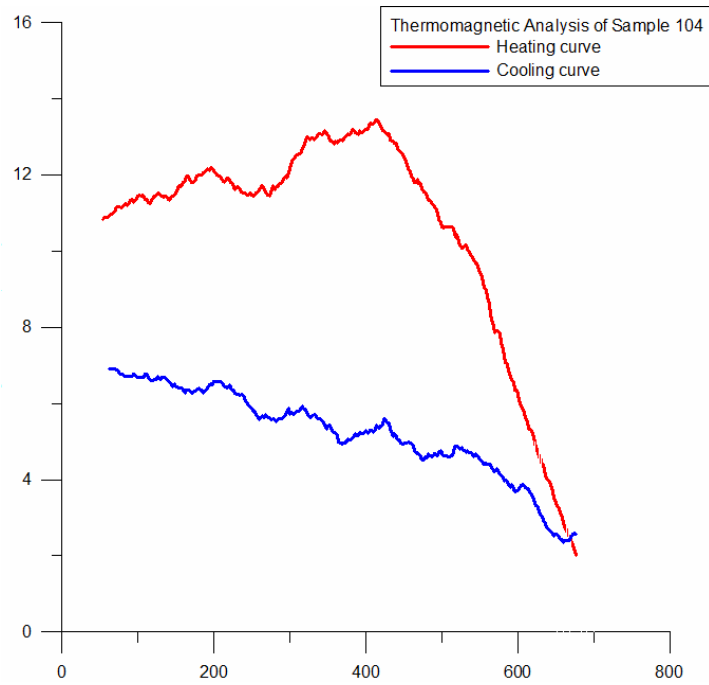
Σχήμα 4.21 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 82



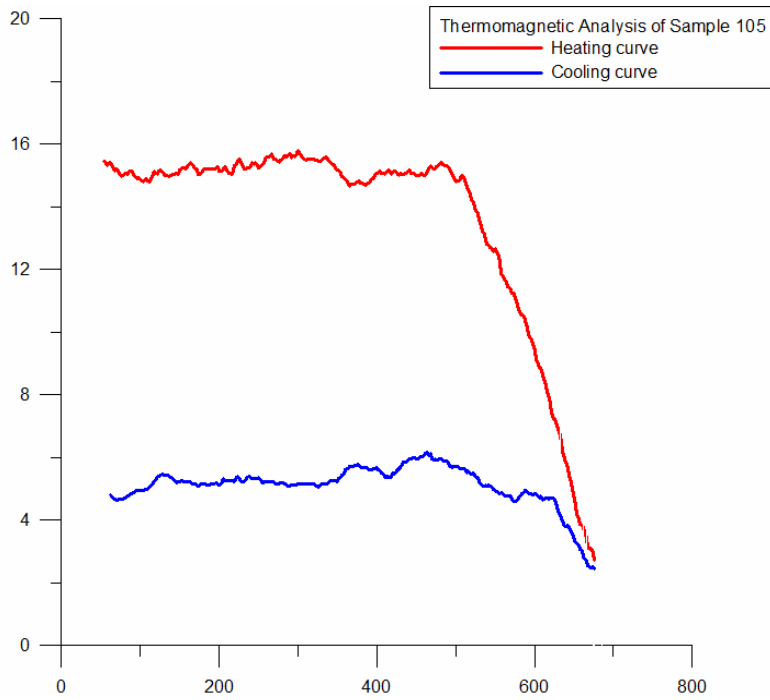
Σχήμα 4.22 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 101



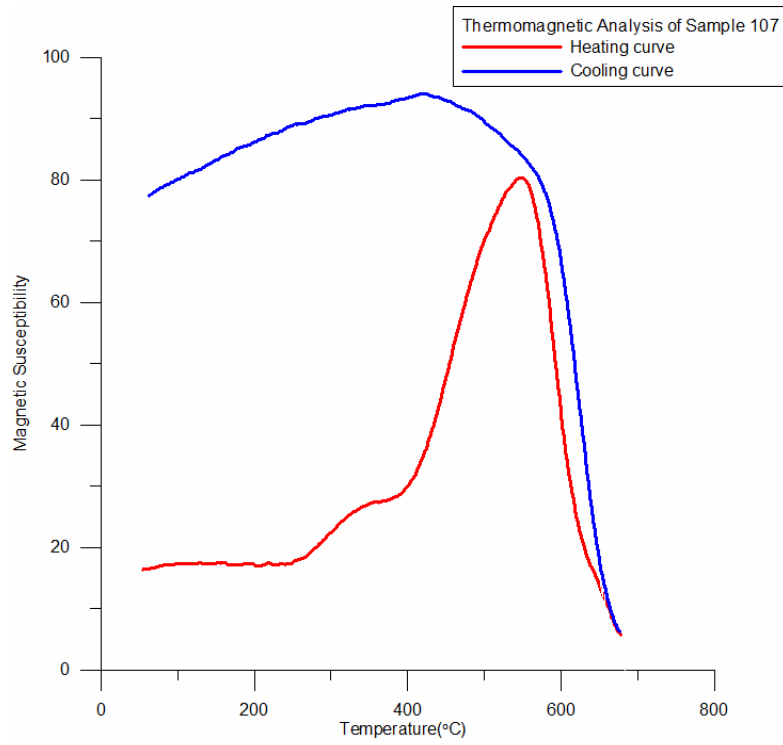
Σχήμα 4.23 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 102



Σχήμα 4.24 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 104



Σχήμα 4.25 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 105



Σχήμα 4.26 Θερμομαγνητική ανάλυση για το δείγμα 107

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Εισαγωγή

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να εξετάσει την εφαρμογή του θερμομαγνητισμού ως μεθοδολογία για την έρευνα σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόστηκε στην περιοχή που βρίσκεται ο υποσταθμός της ΔΕΗ Ηρακλείου, το έτος 2011. Έγιναν αρχικά δειγματοληψίες εδαφικού υλικού μέχρι βάθος 0.25 μέτρο κοντά στον υποσταθμό. Στην συνέχεια προσδιορίστηκαν οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης.

**Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες προκύπτει το συμπέρασμα ότι υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων πιθανόν να εντοπίζονται στα 25 πρώτα εκατοστά από την επιφάνεια.**

### 5.2 Συμπεράσματα και προτάσεις

Κάνοντας μια ανασκόπηση των όσων έχουν παρουσιαστεί στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάζουμε τα κυριότερα συμπεράσματα.

- Υψηλές τιμές της πραγματικής και φανταστικής επιδεκτικότητας εντοπίζονται περιμετρικά του υποσταθμού της ΔΕΗ Ηρακλείου, στην επαφή του με το οδικό δίκτυο, και σε τμήμα της παραλίας.
- Η εξαρτώμενη από την συχνότητα επιδεκτικότητα φαίνεται να σχετίζεται με την παρουσία του οδικού δικτύου.
- Η θερμομαγνητική ανάλυση έδειξε για τα δείγματα 32, 40, 72, 74, 76, 82, 102, 107 μαγνητική συμπεριφορά που δεν αντιπροσωπεύει αυτή των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν την περιοχή που μελετήθηκε. Επισημαίνεται ότι τα παραπάνω δείγματα συλλέχθηκαν είτε στην γειτονία με τον υποσταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είτε στην εγγύτητα του υδρογραφικού δικτύου και πιθανότατα να φέρουν φορτίο βαρέων μετάλλων.

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

- Οι γεωχημικές αναλύσεις των δειγμάτων για τον εντοπισμό υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και ιδιαίτερα Pb κρίνονται απαραίτητες,

προκειμένου να διαπιστωθεί ο συσχετισμός τους με την μαγνήτιση των ιζημάτων.

- Διενέργεια επί τόπου μετρήσεων μαγνητικής επιδεκτικότητας με τη χρήση των αισθητήρων MS2D και MS2F του μετρητικού συστήματος MS2 της Bartington, προκειμένου να συσχετιστούν με τις εργαστηριακές μετρήσεις και να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που απαιτείται για την χαρτογράφηση της υπό μελέτη περιοχής.
- Αναλύσεις των δειγμάτων για την παραμένουσα μαγνήτιση προκειμένου να διερευνηθεί υπό ποια μορφή τα βαρέα μέταλλα προσροφώνται στο έδαφος.



## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kiliyas, A., Fassoulas, C., Mountrakis, D., 1993, Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis metamorphic core complex at the central part of the Hellenic arc, *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXVIII, 297-314.
2. Fytrolakis, N., 1980, The geological structure of Crete: Problems, observations and conclusions, *Habil. Thesis, Nat. Tech. Univ., Athens*.
3. Alloway, B.J. (ed), 1990. Heavy metals in soils, Glasgow, *Blackie*, 1-339.
4. Bhathal, R.S. and Stacey F.D., 1969, Frequency independence of low field susceptibility of rocks, *J. Geophys. Res.* 74, 2025-7.
5. Boyko, T., Scholger, R., Stanjek, H., MAGPROX Team, 2004, Topsoil magnetic susceptibility mapping as a tool for pollution monitoring repeatability of in situ measurements, *Journal of Applied Geophysics* 55, 249-259.
6. Brady, N.C., Weil, R.R., 1999. The Nature and Properties of Soils. 12<sup>th</sup> Edition, Prentice Hall, ISBN 0-13-852444-0.
7. 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.
8. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., 1999. Soil Fertility and Fertilizers – An Introduction to Nutrient Management. 6<sup>th</sup> edition. Prentice Hall, New Jersey. ISBN 0-13-626806-4.
9. Gee, C., Ramsey, M.H., and Thornton I., 2001. Buffering from secondary minerals as a migration limiting factor in lead polluted soils at historical smelting sites, *Appl. Geochem.*, 16, 1193-1199.
10. 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.
11. Lars, J., 2003. Hazards of heavy metal contamination . *British Medical Bulletin*, vol. 68, no. 1, pp. 167-182(16), *Oxford University Press*.
12. 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.

13. 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.
14. Thompson, R. and Oldfield, F., 1986, Environmental Magnetism, Allen &Unwin Ltd.