



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



***ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΡΥΠΑΣΜΕΝΕΣ  
ΠΕΡΙΟΧΕΣ***



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***Σιάφα Ιωάννα – Ποντικάκη Κατερίνα***

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2010**



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



## ***ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΡΥΠΑΣΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ***

### **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***Σιάφα Ιωάννα – Ποντικάκη Κατερίνα***

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

**Επιτροπή Αξιολόγησης :** *Δρ. Ελένη Κόκκινου*  
: *Δρ. Σάλτας Βασίλειος*  
: *Δρ. Χατζηαυγουστή Δέσποινα*

**Ημερομηνία Παρουσίασης :**

**Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :**

## Ευχαριστίες

*Μέσα από αυτό το σημείωμα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την καθηγήτριά μας, κυρία Ελένη Κόκκινου, για όλη την βοήθεια που μας προσέφερε στο διάστημα της επιμέλειας της πτυχιακής μας εργασίας. Αρχικά θέλομε να την ευχαριστήσουμε για την επιλογή του θέματος, γιατί παρόλο που στην αρχή μας φάνηκε δύσκολο, τελικά μας δόθηκε η ευκαιρία να ασχοληθούμε με την μαγνητική επιδεκτικότητα 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 καταφέρωμε τίποτα. Για αυτούς τους λόγους λοιπόν , θέλομε να της εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας και να της πούμε ένα μεγάλο ευχαριστώ. Επίσης ευχαριστούμε θερμά την εξεταστική επιτροπή.*

*Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας για την αγάπη τους, για το ενδιαφέρον και για ότι μας έχουν χαρίσει όλα αυτά τα χρόνια.*

## **Περίληψη**

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη του μαγνητικού πεδίου υλικών που συλλέχθηκαν από την περιοχή του λιγνιτικού πεδίου της Μεγαλόπολης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του θερμομαγνητισμού. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν, είχαν συλλεχθεί τον Νοέμβριο 2005 από το επιφανειακό στρώμα του εδάφους της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας των Δρούλια-Δαμιάνοβιτς. Τότε είχε προσδιοριστεί η μαγνητική επιδεκτικότητα των δειγμάτων και είχαν γίνει αναλύσεις βαρέων μετάλλων. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να συσχετιστούν οι καμπύλες θέρμανσης-ψύξης των ρυπασμένων υλικών γύρω και μέσα από το λιγνιτικό πεδίο με αυτές από δείγματα σε μεγάλη απόσταση.

## **Abstract**

Main purpose of the present study is to determine the thermomagnetic behavior of surface samples, collected in the wide area of the power plant in Megalopoli (Peloponnesos, Greece). The magnetic properties of the samples inside and around the power plant are further compared to the properties of the soils collected away from the lignite field.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b><i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i></b>	<b>- 5 -</b>
	1.1 Εισαγωγικά στοιχεία	- 5 -
	1.2 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής	- 5 -
	1.3 Γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής	- 7 -
	1.4 Οι περιβαλλοντικές συνθήκες	- 11 -
	1.4 Κλιματολογικά στοιχεία	- 11 -
<b>2</b>	<b><i>ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</i></b>	<b>- 14 -</b>
	2.1 Η στρωματογραφία της Μεγαλόπολης	- 14 -
	2.2 Η τεκτονική της περιοχής	- 16 -
	2.3 Το λογνιτικό πεδίο της Μεγαλόπολης	- 2 -
<b>3.</b>	<b><i>ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ</i></b>	<b>- 6 -</b>
	3.1 Εισαγωγή	- 6 -
	3.2 Βασικές μαγνητικές ιδιότητες	- 7 -
	3.3 Μαγνητική υστέρηση	- 7 -
	3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα	- 25 -
	3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία	- 27 -
	3.6 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την συχνότητα	- 29 -
	3.7 Μαγνήτιση των ιζημάτων και διαγένεση	- 30 -
	3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας	- 34 -
	3.8 Μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με το MS2 της Bartington	- 35 -
	3.9 Σχέση μαγνητικών ορυκτών και βαρέων μετάλλων	- 43 -
<b>4.</b>	<b><i>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ</i></b>	<b>- 45 -</b>
	4.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας εκπόνησης της παρούσας εργασίας	- 45 -
	4.2 Τα μαγνητικά ορυκτά	- 47 -
	4.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	- 47 -
	4.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων	- 61 -
<b>5.</b>	<b><i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</i></b>	<b>- 63 -</b>
	5.1 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας	- 63 -

<b>5.2 Προτάσεις</b>	<b>- 64 -</b>
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>- 65 -</b>

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά γεωγραφικά, γεωμορφολογικά, κλιματολογικά, περιβαλλοντικά και ιστορικά στοιχεία για την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Μεγαλόπολης. Στόχος είναι να προκύψει μια συνοπτική αλλά και ολοκληρωμένη εικόνα για την εξεταζόμενη περιοχή.

## 1.2 Γεωγραφική θέση και περιγραφή της ευρύτερης περιοχής

Η λεκάνη της Μεγαλόπολης βρίσκεται στο κέντρο της Πελοποννήσου και συγκεκριμένα στο νοτιοδυτικό άκρο του Νομού Αρκαδίας. Περιορίζεται από τα βουνά Μαίναλο, Λύκαιο και Ταΰγετο και περικλείεται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες (37°29' - 37° 18') βόρειο πλάτος και (22°03' - 22°12') ανατολικό μήκος από Greenwich. Ο μεγαλύτερος άξονας της λεκάνης έχει προσανατολισμό ΒΒΑ-ΝΝΑ με μήκος 18km και ο μικρότερος, ΑΒΑ-ΔΝΔ και μήκος περίπου 10km. Η συνολική επιφάνεια της λεκάνης είναι μεγαλύτερη από 180Km<sup>2</sup>. Το μέσο υψόμετρο του εσωτερικού της βρίσκεται στα +410m α.σ.θ., και η διαφορά ως προς τα γύρω υψώματα είναι 200-400m. Τα λιγνιτικά πεδία καταλαμβάνουν σημαντική έκταση, της τάξης των 40.000 στρεμμάτων.

Η Μεγαλόπολη απέχει 200Km από την Αθήνα και 35 Km από την Τρίπολη, πάνω στο νέο αυτοκινητόδρομο προς Καλαμάτα. Η επαρχία περιλαμβάνει 2 Δήμους και 43 Κοινότητες. Πρωτεύουσα και κέντρο της Επαρχίας είναι η ομώνυμη πόλη της Μεγαλόπολης. Ο Δήμος Μεγαλόπολης έχει σήμερα 8657 εγγεγραμμένους κατοίκους και προήλθε από την συνένωση 30 κοινοτήτων και 9 οικισμών.

### Δημοτικά Διαμερίσματα & Πληθυσμός

(με την απογραφή 2001)

1. Δ.Δ. Ανθοχωρίου .....78
2. Δ.Δ. Άνω Καρυών .....106
3. Δ.Δ. Βάγγου ..... 106
4. Δ.Δ. Βάστα ..... 147
5. Δ.Δ. Γέφυρας ..... 49
6. Δ.Δ. Θωκνίας .....49
7. Δ.Δ. Ίσαρη ..... 263
8. Δ.Δ. Ισώματος Καρυών .....115

9. Δ.Δ. Κάρατουλα .....	82
10. Δ.Δ. Καστανοχωρίου .....	99
11. Δ.Δ. Κάτω Καρυών .....	51
12. Δ.Δ. Λυκαίου .....	100
13. Δ.Δ. Λυκόσουρας .....	94
14. Δ.Δ. Λυκοχίων .....	146
15. Δ.Δ. Μακρυσίου .....	172
16. Δ.Δ. Μαλλωτών .....	73
17. Δ.Δ. Μαραθούσα .....	56
18. Δ.Δ. Μεγαλόπολης .....	5135
19. Δ.Δ. Νέας Εκκλησούλας .....	73
20. Δ.Δ. Νεοχωρίου Λυκόσουρας ..	80
21. Δ.Δ. Παραδείσιων .....	339
22. Δ.Δ. Περιβολιών .....	128
23. Δ.Δ. Πλάκας .....	47
24. Δ.Δ. Ραψωμάτη .....	97
25. Δ.Δ. Σουλίου .....	115
26. Δ.Δ. Σούλου .....	32
27. Δ.Δ. Τριλόφου .....	71
28. Δ.Δ. Τριποτάμου .....	85
29. Δ.Δ. Χιράδων .....	186
30. Δ.Δ. Χράνων .....	331
31. Δ.Δ. Χωρέμη .....	152

#### ΟΙΚΙΣΜΟΙ

1. Απιδίτσα
2. Βρυσούλες
3. Δερβένι
4. Ορέστειο
5. Παλαιομοίρι
6. Πετροβούνι
7. Φαναίτη
8. Χρούσα

**ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ 8657**



### 1.3 Γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής

Η Μεγαλόπολη είναι κτισμένη σε υψόμετρο 428m στη θέση του παλιού χωριού Σινάνου και αποτελεί κέντρο ευρείας αγροτικής περιφέρειας πεδινής και ορεινής. Απέχει 1,5km νότια από τα ερείπια της ιστορικής Μεγαλόπολης (222 π.χ.) όπου και τα λείψανα του μεγαλύτερου θεάτρου της αρχαιότητας. Συγκοινωνιακά εξυπηρετείται από την Εθνικό οδό Αθήνας-Καλαμάτας και σιδηροδρομική γραμμή. Απέχει οδικά 231 km από Αθήνα και 74 km από Καλαμάτα, αποτελεί επίσης συγκοινωνιακό κόμβο των νομών Αρκαδίας, Ηλείας, Μεσσηνίας και Λακωνίας.

Μορφολογικά η περιοχή (σχ 1.1) παρουσιάζει εικόνα κλειστής λεκάνης που περιβάλλεται από ορεινούς όγκους. Η μοναδική έξοδος βρίσκεται κοντά στα στενά Καρύταινας, που αποτελούν και το χαμηλότερο τμήμα της λεκάνης.

Στο εσωτερικό της λεκάνης δεν συγκεντρώνονται στάσιμα νερά. Ο ποταμός Αλφειός με τους παραποτάμους του αποστραγγίζει φυσικά τη λεκάνη, δια μέσου του στενού ασβεστολιθικού φαραγγιού στη ΒΔ γωνία της λεκάνης, κοντά στην Καρύταινα.

Η θέση του Αλφειού στη λεκάνη είναι ασύμμετρη ως προς τις πλευρές της, επειδή καθώς ο ποταμός ρέει προς βορρά, απέχει περίπου 2km από τη δυτική παρυφή και 8km από την ανατολική παρυφή της λεκάνης. Το τμήμα του Αλφειού εντός της λεκάνης αποτελεί τον άνω ρουν του ποταμού, που ρέει όλο το χρόνο χειμαρρωδώς. Οι μεγαλύτεροι παραπόταμοι του Αλφειού μέσα στη λεκάνη είναι ο Ξερίλας, ο Γουδάνης και ο Ελυσσώνας. Η αρχή του Αλφειού στη ΝΑ γωνία της λεκάνης, ανατολικά του υψώματος Λεονταρίου (Ρέμα Κουτηφάραϊνας) βρίσκεται σε υψόμετρο 383 m, ενώ η έξοδος του κοντά στην Καρύταινα στα 322m.

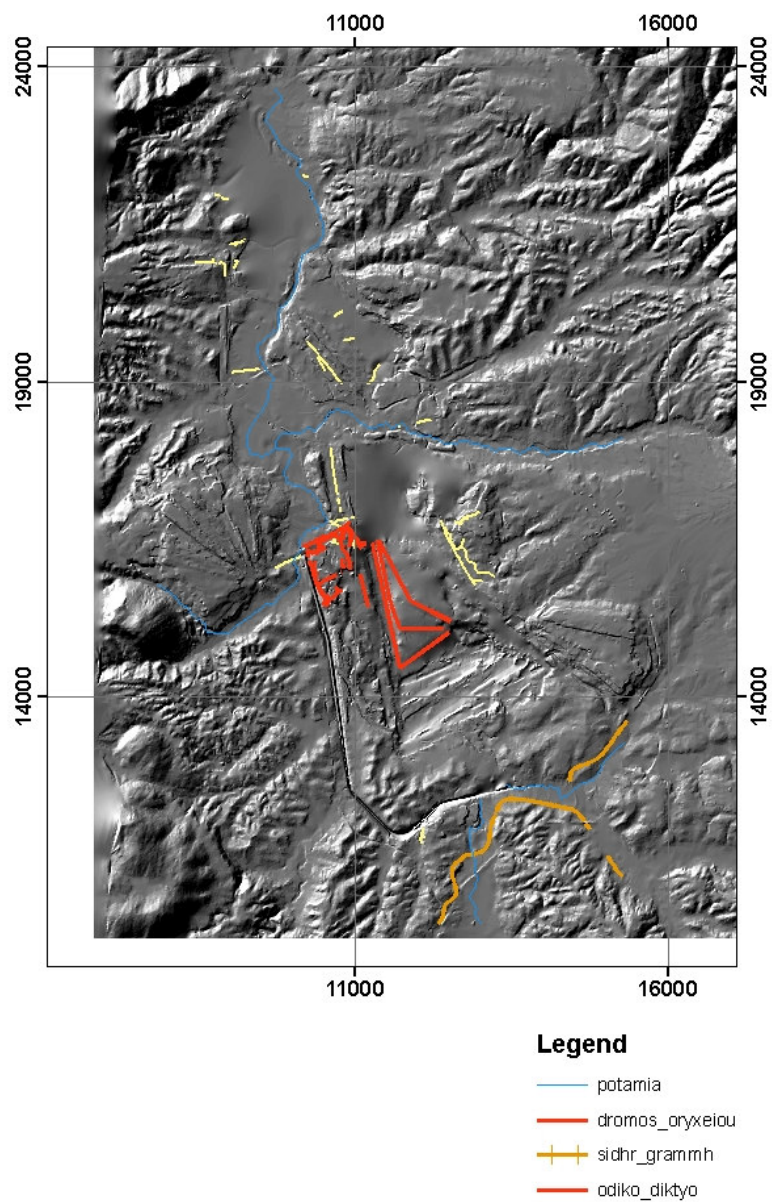
Το ύψωμα που κλείνει τη λεκάνη στην παραπάνω ΝΑ γωνία της αποτελεί και το υδροδιαχωριστικό όριο δύο αντιθέτων ροής ποταμών, του Αλφειού και του Ευρώτα, φθάνει δε αυτό στο χαμηλό υψόμετρο των 483m και έτσι είναι λίγο ψηλότερα από τα εσωτερικά υψώματα της λεκάνης.

Το εσωτερικό της λεκάνης αποτελείται από χαλαρά γενικά πετρώματα του Πλειστόκαινου περισσότερο και μερικός και του Πλειόκαινου, με προέλευση λιμναία έως ηπειρωτική. Η μαλακότητα και οριζοντιότητα των στρωμάτων συντελούν βασικά στη διαμόρφωση χαμηλής μορφολογίας (σχ. 1.2) από στρογγυλούς λοφίσκους σε επιμήκεις τραπεζοειδείς λοφοσειρές, που χωρίζονται μεταξύ τους με στενά ρέματα, ξηρά το καλοκαίρι. Στις πλευρές της λεκάνης τα ρέματα συνήθως (που καταλήγουν τελικά στον Αλφειό)

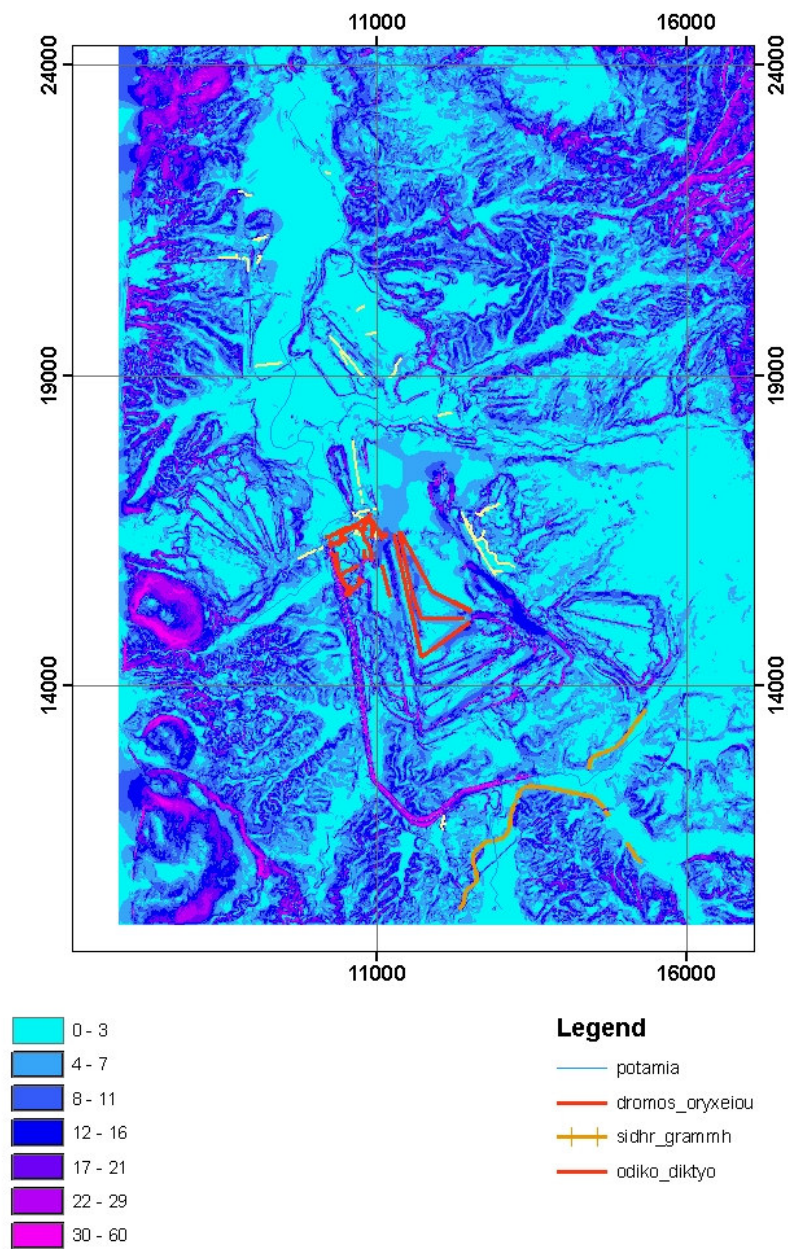
ανοίγουν βαθιές χαραδρώσεις με όρθια τοιχώματα - τύπου canyon- μέσα στα Καινοζωικά στρώματα, με βάθος μερικές φορές αρκετές δεκάδες μέτρα.

Η ομαλότερη έκταση είναι η κοιλάδα του Αλφειού στη δυτική πλευρά της λεκάνης, πλάτους περίπου 1km. Σε αυτή βρίσκονται οι περισσότερο γόνιμες ποτιστικές αγροτικές εκτάσεις. Το υπόλοιπο έδαφος της λεκάνης είναι μετριότατης, γονιμότητας, ξηρό το καλοκαίρι, σε πολλά δε σημεία παραμένει ακαλλιέργητο που καλύπτεται από χαμηλή βλάστηση δρυός. Στις πλευρές της λεκάνης τα ψηλότερα αργιλικά νεότερα στρώματα ή ο φλύσχης του υπόβαθρου βρίσκονται σε συνεχή κατολίσθηση. Γεωμορφολογικά, διακρίνονται στην περιφέρεια της λεκάνης αναβαθμίδες διαβρώσεως ξηράς, πολύ πρόσφατες.

Στη δημιουργία του σημερινού πολυσχιδούς ανάγλυφου συνέβαλλαν και συμβάλλουν, αφ' ενός η κατά καιρούς αποψίλωση από τους κατοίκους του πλουσιότατου δάσους της δρυός και αφ' ετέρου οι συχνές καταπτώσεις και κατολισθήσεις.



Σχήμα 1.1 Μορφολογία της λεκάνης της Μεγαλόπολης



Σχήμα 1.2 Χάρτης κλίσεων της λεκάνης της Μεγαλόπολης

## 1.4 Οι περιβαλλοντικές συνθήκες

Η επιφανειακή εκμετάλλευση για την εξόρυξη λιγνίτη προκάλεσε και προκαλεί σημαντικές αλλαγές στη γεωμορφολογία. Μέχρι σήμερα έχουν απαλλοτριωθεί 27.000στρ. ενώ υπολογίζεται να απαλλοτριωθούν, μέχρι τέλους του έργου, αλλά 13.000στρ.

Η έκταση που θυσιάζεται για την εξόρυξη του λιγνίτη καλύπτεται κυρίως από αγρούς, βοσκοτόπους και δάση και ενώ αυτή για την εξόρυξη έχει προσωρινή χρησιμότητα, χάνεται όμως οριστικά για τους ιδιοκτήτες και την αγροτική οικονομία.

Η επιφανειακή εκμετάλλευση καταστρέφει τη φυτική γη και τη βλάστηση, αφήνοντας πίσω της μια έρημη περιοχή γεμάτη εκσκαφές, ανώμαλους λόφους και υψώματα από αποθέσεις των αγόνων, βάλτους και λίμνες. Έχουν καταστραφεί ακόμα χωριά, δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές, ηλεκτρικά δίκτυα και αρδευτικά δίκτυα.

Από τα 40.000στρ. που θα απαλλοτριωθούν συνολικά, τα 20.000στρ. περίπου καταλαμβάνουν τα λιγνιτικά πεδία και 8.500στρ. περίπου οι εξωτερικές αποθέσεις των αγόνων. Τα υπόλοιπα 11.500στρ. καταλαμβάνονται από τις αποθήκες λιγνίτη, το εσωτερικό οδικό δίκτυο, τη ζώνη εκτροπής του Αλφειού, από τάφρους, φράγματα, κτιριακές εγκαταστάσεις κ.λ.π.

Στο φωτογραφικό αρχείο που παρατείνεται στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται χαρακτηριστικές εικόνες από την περιοχή του λιγνιτικού κέντρου της Μεγαλόπολης.

## 1.4 Κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα επηρεάζει άμεσα τις χρήσεις γης μιας περιοχής, αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τους τύπους εδαφών και βλάστησης. Προσδιορίζεται δε όχι μόνο από τις μέσες τιμές αλλά και από τις ακραίες, καθώς και από τις μακροχρόνιες τάσεις μεταβολής του συνόλου των ατμοσφαιρικών συνθηκών.

Η εξέταση του κλίματος της περιοχής στηρίχθηκε στις κλιματικές μεταβλητές της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, της σχετικής υγρασίας και των ανέμων. Τα δεδομένα αφορούσαν τους σταθμούς Μεγαλόπολης, Τρίπολης, Καρύταινας και Χράνων. Πιο συγκεκριμένα:

Σταθμοί Μεγαλόπολης : Δ.Ε.Η.

- Σταθμός Α.Η.Σ.

Χρόνος λειτουργίας 1967 έως σήμερα. Δεδομένα: θερμοκρασία, υγρασία, βροχόπτωση, άνεμοι.

- Σταθμός λιγνιτωρυχείου "Θωκνία".

Χρόνος λειτουργίας 1971 έως σήμερα . Δεδομένα: θερμοκρασία, βροχόπτωση, υγρασία .

- Υ.Δ.Ε.

Χρόνος λειτουργίας 1953 έως σήμερα. Δεδομένα: βροχόπτωση, άνεμοι.

- Σταθμός Καρύταινας Υ.Δ.Ε.

Χρόνος λειτουργίας 1953 έως σήμερα. Δεδομένα: βροχόπτωση , άνεμοι .

- Σταθμός Χράνοι Υ.Δ.Ε.

Χρόνος λειτουργίας 1953 έως σήμερα. Δεδομένα: βροχόπτωση, άνεμοι.

- Σταθμός Τρίπολης Ε.Μ.Υ.

Το κλίμα της Μεγαλόπολης είναι ένας μεταβατικός τύπος του μεσογειακού προς το ηπειρωτικό. Σύμφωνα με την κατάταξη σε κλιματικές ζώνες κατά Koppen η περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία "Csa" δηλ. εύκρατο με ξηρό θέρος και μέση θερμοκρασία αέρος θερμότερου μήνα μεγαλύτερη από 22°C.

Χαρακτηρίζεται από μεγάλες σχετικά εποχικές και ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και υψηλή υγρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ο κύριος όγκος των βροχοπτώσεων περιορίζεται στο εξάμηνο Οκτωβρίου-Μαρτίου με σχεδόν παντελή ανομβρία τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο- Αύγουστο.

Πιο αναλυτικά η περιγραφή του κλίματος έχει ως εξής: Ο χειμώνας εμφανίζεται σχετικά τραχύς ενώ στην θερμή περίοδο του έτους η θερμοκρασία ανεβαίνει σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Οι τιμές των ακραίων θερμοκρασιών αλλά και των μέσων τιμών δεν βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, αν και το εύρος των ακραίων τιμών είναι αρκετά μεγάλο.

Ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος με θερμοκρασίες από -8,5° C έως 21° C ενώ η απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία κυμάνθηκε για το διάστημα 1977 -1997 από -8,5°C (1993) έως -1°C (1984).

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται τον Ιούλιο που είναι και ο θερμότερος μήνας με θερμοκρασίες από 43°C έως 7°C. Η απόλυτα μέγιστη θερμοκρασία για την τελευταία εικοσαετία κυμάνθηκε από 43°C (1993) έως 32°C (1986). Η μέση απόλυτα μέγιστη είναι 27,3°C και η μέση απόλυτα ελάχιστη είναι 10,7°C. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι για το ίδιο διάστημα 14°C.

Για τα έτη 1977-1997 οι φθινοπωρινοί μήνες παρουσιάζονται θερμότεροι από τους εαρινούς, ενώ ο Μάρτιος παρουσιάζει θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά χειμερινών μηνών. Η

θερμή περίοδος αρχίζει τον Ιούνιο και τελειώνει τον Σεπτέμβριο. Απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας παρουσιάζονται κυρίως τους εαρινούς μήνες.

Εξετάζοντας τις τιμές της θερμοκρασίας στην περιοχή, σε συσχετισμό με τις αντίστοιχες τιμές για την Πελοπόννησο, είναι φανερό ότι είναι οι χαμηλότερες μετά την Τρίπολη, τόσο όσο αφορά την μέση ελαχίστη ετήσια και την μέση μεγίστη ετήσια, όσο και την μέση ετήσια. Σε συσχετισμό με τις αυτές τιμές της χώρας, η τιμή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας βρίσκεται μάλλον σε χαμηλά επίπεδα.

Οι βροχοπτώσεις στην περιοχή είναι πολλές, με αποτέλεσμα ετήσιο ύψος βροχής από 1.467mm (1980) έως 558mm (1987). Από το 1970 η Δ.Ε.Η. έχει εγκαταστήσει μετεωρολογικό σταθμό κοντά στο Π.Ε.Τ. του πεδίου “Θωκνία”. Σύμφωνα με τα στοιχεία του σταθμού για την βροχόπτωση, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για το διάστημα 1970-1987 ήταν 825,95mm, ενώ οι ακραίες τιμές του ήταν, η μεγίστη 1.052,4 mm κατά το υδρολογικό έτος 1983-1984 και η ελάχιστη 663.7 mm κατά το υδρολογικό έτος 1974-1975.

## 2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 2.1 Η στρωματογραφία της Μεγαλόπολης

Η λεκάνη της Μεγαλόπολης αποτελεί τεκτονική τάφρο, που δημιουργήθηκε κατά την τελευταία φάση της πτύχωσης μεταξύ Ολιγόκαινου και Ανώτερου Πλειόκαινου.

Η πλήρωση της τάφρου έγινε αρχικά από λίμναια ιζήματα κυρίως και ακολούθως από λίμναια, ποτάμια και χερσαία με εναλλαγές. Τα πρώτα από τα παραπάνω ιζήματα είναι Πλειοκαινικής ηλικίας, ενώ τα δεύτερα ανάγονται στην Πλειοπλειστόκαινο εποχή.

Τα πετρώματα που περιβάλλουν την λεκάνη αποτελούνται από συμπαγείς Ιουρασικούς σκουρόχρωμους ασβεστόλιθους σε παχιά στρώματα, κρυσταλλικούς σχιστόλιθους με κερατόλιθους, όπως και από πλακώδεις ανοιχτόχρωμους ασβεστόλιθους. Ιδιαίτερα στο φλύσχη συνυπάρχουν κανονικοί φακοί από ασβεστόλιθους και καμιά φορά ηφαιστείτες με κερατόλιθους.

Όσο αφορά την στρωματογραφία των νεωτέρων λιμναίων ιζημάτων, που πληρούν την λεκάνη στη φάση των γλυκών υδάτων, έχει ως εξής:

#### **Μειόκαινο - Κάτω Πλειόκαινο**

- Κροκαλοπαγή Βρυσών. Θεωρούνται ότι είναι οι παλαιότερες μεταλλικές αποθέσεις της λεκάνης, συνίστανται δε από συνεκτικά κροκαλοπαγή και συνεκτικούς ψαμμίτες.
- Κροκαλοπαγή Περιστεράς. Εμφανίζονται κατά μήκος του ποταμού Περιστερά και αποτελούνται από πολύμικτα, άστρωτα, συνεκτικά κροκαλοπαγή.
- Άργιλοι Ραγών. Αποτελούνται από αργίλους, ψαμμίτες και χαλαρά κροκαλοπαγή. Οι κατώτεροι ορίζοντες των αργίλων θεωρούνται ανωμειοκαινικής και οι ανώτεροι Ανωμειοκαινικής - Κατωπλειοκαινικής ηλικίας. Ο προσδιορισμός έγινε με απολιθώματα (τρηματοφόρα).

#### **Πλειόκαινο - Πλειστόκαινο**

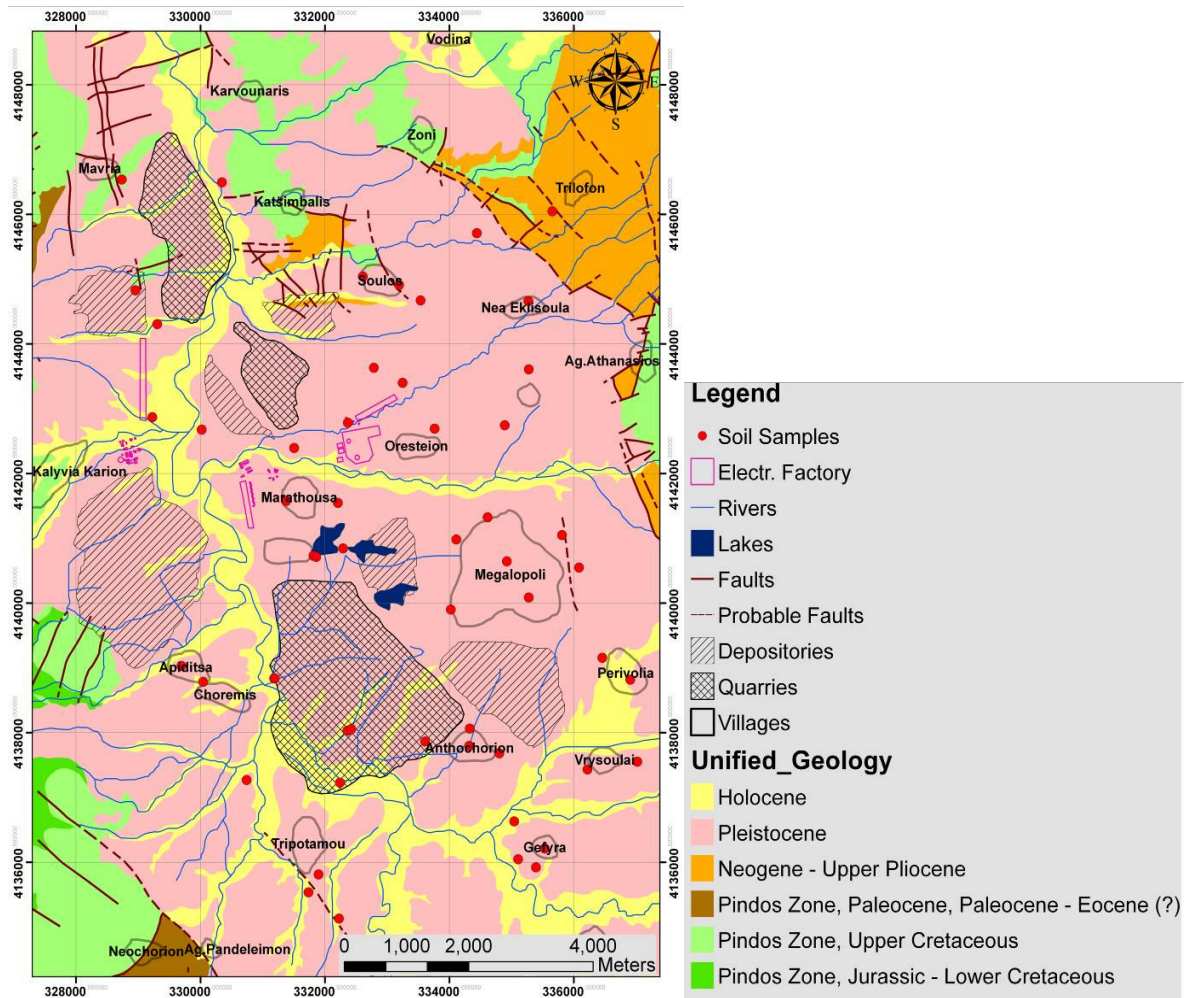
- Κροκαλοπαγή Μύρου. Αποτελούνται κυρίως από κροκαλοπαγή και ψαμμίτες που έχουν αποθεθεί ασύμφωνα πάνω στις "Αργίλους των Ραγών". Τα εν λόγω κροκαλοπαγή εντάσσονται στο σχηματισμό Βούναργου.

#### **Πλειστόκαινο**



- Κροκαλοπαγή Χελιδονίου. Πρόκειται για χερσαία κροκαλοπαγή, λατυποπαγή και ερυθρωπού χρώματος.

Στο γεωλογικό χάρτη Μεγαλόπολης (σχήμα 2.1) διακρίνονται στην περιοχή γύρω από την Μεγαλόπολη εναλλαγές μάργων, αργίλων, άμμων και ελαφρά συνεκτικών κροκαλοπαγών ποτάμιας φάσης. Αποτελούν την περιθωριακή βάση και πλευρική μετάβαση των στρωμάτων Μαραθούσας. Βόρεια και νότια της Μεγαλόπολης συναντώνται προσχωσιγενείς αποθέσεις από ασύνδετα αργιλοαμμώδη υλικά, χαλίκια και κροκάλες στις κοίτες των ποταμών και των χειμάρρων καθώς και μικρές αναβαθμίδες ενώ έχουμε και τους σχηματισμούς Θωκνίας-Ποτάμιας όπου έχουμε σύστημα αναβαθμίδων αδιαίρετο, ιλύς, άργιλοι, άμμοι, χαλαρά κροκαλοπαγή και πλευρικά κορήματα. Νοτιοδυτικά συναντώνται ο σχηματισμός Απιδίτσας με εναλλαγές ερυθρών αργιλο-αμμούχων στρωμάτων με ελαφρά συνεκτικά κροκαλοπαγή και πλευρικά κορήματα με ερυθρές αργίλους. Στα ανατολικά εμφανίζεται ο σχηματισμός Μακρυσίου όπου υπάρχουν άργιλοι, μάργες λιμναίας φάσης, με εναλλαγές κυρίως λιγνιτικών ενστρώσεων πάχους λίγων mm και κροκαλοπαγή. Τοπικά παρεμβάλλονται λιγνιτικά στρώματα πάχους 0.20 έως 1m όπως στην περιοχή Μακρυσίου. Τέλος το λιγνιτοφόρο πεδίο δυτικά της Μεγαλόπολης στην περιοχή της Μαραθούσας και οι περιοχές Χωρέμι, Ψαθί αποτελούνται από εναλλαγές μάργων, αργίλων, χουμοδών αργίλων και λιγνιτικών στρωμάτων με παρεμβολές λεπτομερών άμμων και φακοειδών διαστρώσεων χαλαρών κροκαλοπαγών λιμναίας φάσης. Τα λιγνιτοφόρα στρώματα αποσφηνώνονται προς τα περιθώρια της λεκάνης όπου επικρατούν ποτάμιας αποθέσεις. Η οροθέτηση της λιμναίας-ποτάμιας φάσης τόσο στην οριζόντια όσο και στην κάθετη εξέλιξη των σχηματισμών δεν είναι σταθερή.



Σχήμα 2.1: Γεωλογικός χάρτης Μεγαλόπολης ( τροποποιημένος από τον αντίστοιχο χάρτη του ΙΓΜΕ)

## 2.2 Η τεκτονική της περιοχής

Το τεκτονικό βύθισμα της Μεγαλόπολης βρίσκεται περίπου στο κέντρο της Πελοποννήσου και στα ανατολικά της περιοχής μελέτης. Το περίγραμμα της λεκάνης έχει ελλειπτική μορφή, της οποίας ο μεγάλος άξονας έχει διεύθυνση NNW-SSE και μήκος 18 km, ο δε μικρός άξονας έχει διεύθυνση ENE-WSW και μήκος 10 km περίπου.

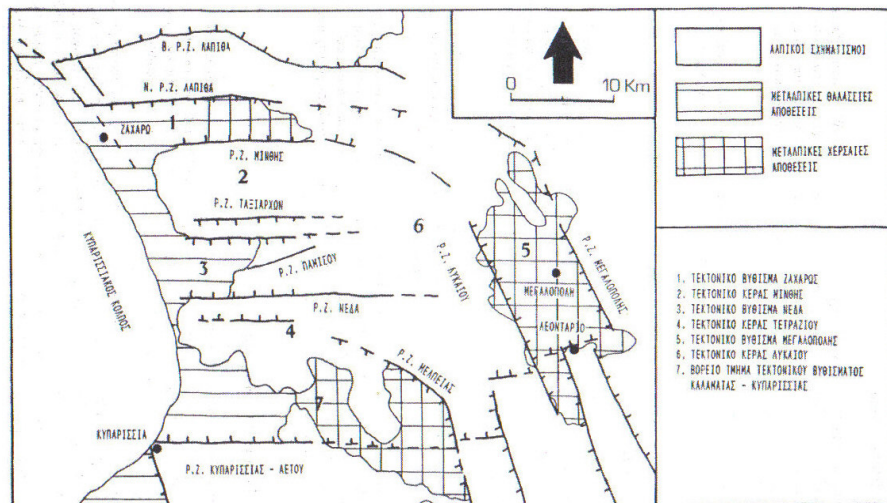
Οριοθετείται, δυτικά από το τεκτονικό κέρασ του Λύκαιου και ανατολικά από τα βουνά που παρεμβάλλονται μεταξύ της Μεγαλόπολης και της λεκάνης της Ασσέας από ρηξιγενείς ζώνες που έχουν διεύθυνση NNW-SSE, δηλαδή παράλληλη με τη διεύθυνση του μεγάλου άξονα ανάπτυξης της λεκάνης (Σχήμα 2.2). Νότια, το τεκτονικό κέρασ του Ταυγετου, σταδιακά "θάβεται" κάτω από τις μεταλλικές αποθέσεις της λεκάνης. Στη περιοχή βόρεια του Λεονταρίου διέρχεται μία ρηξιγενής ζώνη διεύθυνσης περίπου E-W, η οποία έχει

καλυφθεί από τις νεότερες μεταλλικές αποθέσεις της λεκάνης και που αποτελεί την προς τα ανατολικά προέκταση της ρηξιγενούς ζώνης Κυπαρισσίας - Αετού (Φουντούλης, 2000).

Η λεκάνη δημιουργήθηκε μετά το τέλος των εφαιπτομενικών κινήσεων, κάπου μεταξύ Άνω Μειόκαινου και Κάτω Πλειόκαινου, αφού τα αρχαιότερα ιζήματα είναι άνω πλειοκαινικής ηλικίας. Η λεκάνη πληρώθηκε κατά το Πλειστόκαινο με λιμναίας φάσης κυρίως αποθέσεις. Το συνολικό πάχος των μεταλλικών αποθέσεων σε ορισμένες θέσεις ξεπερνάει τα 450 m., αφού το αλπικό υπόβαθρο των μεταλλικών αποθέσεων της λεκάνης σε ορισμένες θέσεις βρίσκεται σήμερα σε βάθη μεγαλύτερα των 150m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας (Παπαδόπουλος, 1985).

Ο ρηματογόνος τεκτονισμός, που υπήρξε και ο κύριος παράγων δημιουργίας και εξέλιξης της λεκάνης, δεν σταμάτησε κατά το Κατώτερο Πλειόκαινο, αλλά είναι ενεργός ακόμη και σήμερα, καθώς πολλά από τα ρήγματα που έχουν τις ίδιες διευθύνσεις με τις περιθωριακές ρηξιγενείς ζώνες (NNW-SSE, E-W) έχουν κόψει τα μεταλλικά ιζήματα (Φουντούλης, 2000).

Η θέση του Αλφειού (άνω ρους) ποταμού μέσα στη λεκάνη, που την αποστραγγίζει, είναι ασύμμετρη ως προς τα περιθώρια της. Πράγματι, ο Αλφειός ρέοντας από τα SSE προς τα NNW, απέχει περίπου 2 km από το δυτικό περιθώριο και 8 km από το ανατολικό.



Σχήμα 2.2: Οι 2ης τάξης νεοτεκτονικές μακροδομές στο σύνθετο τεκτονικό βύθισμα ΜΕΛΥΜΙΤΕ (Φουντούλης, 2000)

## 2.3 Το λογιτικό πεδίο της Μεγαλόπολης

Έρευνες έχουν αποδείξει ότι η λεκάνη της Μεγαλόπολης ήταν παλιότερα μια τεράστια λίμνη με μήκος 22Km και πλάτος 10Km. Στη λίμνη αυτή υπήρχαν υδρόβια φυτά και γύρω της πανύψηλα δέντρα, από τα οποία τρέφονταν διάφορα σπονδυλωτά ζώα. Μετά από μεγάλες εδαφικές μεταβολές, τα νερά της λίμνης ωθήθηκαν προς το άνοιγμα της Καρύταινας και δημιούργησαν την κοίτη του ποταμού Αλφειού. Στη συνέχεια χύθηκαν στο Ιόνιο πέλαγος. Στη διάρκεια των χιλιάδων χρόνων, που μεσολάβησαν, στο πυθμένα της λίμνης θάφτηκαν μεγάλοι όγκοι οργανικής ύλης από φυτά δέντρα και ζώα, τα οποία με τον καιρό απολιθώθηκαν και σχημάτισαν το στρώμα του λιγνίτη, που αποτελεί την πρώτη ύλη για το λιγνιτικό εργοστάσιο της Μεγαλόπολης. Η ανεύρεση κατά καιρούς στην περιοχή απολιθωμένων οστών δημιούργησε το μύθο, ότι οι Αρκάδες ήταν απόγονοι γιγάντων και στην περιοχή γίνονταν γιγαντομαχίες.

Σήμερα, η πεδιάδα της Μεγαλόπολης καλύπτεται από εκτεταμένα και πυκνά δάση δρυών όπως και καλλιέργειες. Μεγάλες εκτάσεις όμως έχουν δεσμευθεί και έχουν ανασκαφεί για την εξόρυξη λιγνίτη. Το λεκανοπέδιο πάντως εξακολουθεί να προσφέρει ενδιαφέρουσες και σε μεγάλο βαθμό άγνωστες διαδρομές ανάμεσα στα πυκνά δάση και την πλούσια βλάστηση.

Σήμερα λειτουργούν τα πιο κάτω Ορυχεία (ενημερωτικό φυλλάδιο της ΔΕΗ):

### Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου

Ορυχεία	Αποθέματα	Ετήσια Παραγωγή
Ορυχείο Κυρίου Πεδίου	60 εκ. τόνοι	8 εκ. τόνοι
Ορυχείο Πεδίου Καρδιάς	200 εκ. τόνοι	8,5 εκ. τόνοι
Ορυχείο Νοτίου Πεδίου	1.000 εκ. τόνοι	18 εκ. τόνοι
Ορυχείο Αμυνταίου	200 εκ. τόνοι	8 εκ. τόνοι

### Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης

Ορυχεία	Αποθέματα	Ετήσια Παραγωγή
Ορυχείο Χωρεμίου	220 εκ. τόνοι	5 εκ. τόνοι

Ορυχείο Κυπαρισσιών	60 εκ. τόνοι	5 εκ. τόνοι
Ορυχείο Μαραθούσας	30 εκ. τόνοι	2 εκ. τόνοι

Στο στάδιο της μελέτης εκμετάλλευσης βρίσκονται τα κοιτάσματα λιγνίτη:

Φλώρινας (αποθέματα 130 εκ. τόνοι)

Κομνηνών (αποθέματα 100 εκ. τόνοι)

Δράμας (αποθέματα 970 εκ. τόνοι)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η εξόρυξη του λιγνίτη γίνεται μόνον επιφανειακά. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι ηλεκτροκίνητοι εκσκαφείς, ταινιόδρομοι και αποθέτες.

Σήμερα υπάρχουν σε λειτουργία:

52 Κλαδοφόροι Εκσκαφείς

22 Αποθέτες και

267 ΚΜ Ταινιόδρομοι

Για την υποστήριξη του ηλεκτροκίνητου εξοπλισμού και για τη λειτουργία των βοηθητικών εργοταξίων χρησιμοποιούνται περίπου 1300 ντιζελοκίνητα μηχανήματα και οχήματα (προωθητές, φορτωτές, υδραυλικοί εκσκαφείς, ισοπεδωτές, φορτηγά, οχήματα για διάφορες χρήσεις κλπ.)

Κατά την εκσκαφή, τα υπερκείμενα του λιγνιτικού κοιτάσματος (άγωνα υλικά) και το κοιτάσμα (λιγνίτης και ενδιάμεσα) χωρίζονται σε βαθμίδες ύψους 10-30m, ανάλογα με το μέγεθος του κλαδοφόρου εκσκαφέα. Το μέτωπο εκσκάπτεται κατά στρώσεις και τα μεν άγωνα υλικά (υπερκείμενα και ενδιάμεσα) μεταφέρονται στους αποθέτες, ενώ ο λιγνίτης οδεύει στους παρακείμενους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς (ΑΗΣ).

Η αποθήκευση των αγόνων υλικών γίνεται σε ειδικά επιλεγμένες περιοχές, όπου μεταφέρεται και η τέφρα, το υπόλειμμα της καύσης του λιγνίτη στους ΑΗΣ.

Οι αποθέσεις διακρίνονται σε εξωτερικές και εσωτερικές. Οι εξωτερικές γίνονται σε παρακείμενες περιοχές που δεν περικλείουν εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα και δημιουργούνται στην αρχική φάση εκμετάλλευσης των Ορυχείων. Οι εσωτερικές δημιουργούνται στις περιοχές που έχει προηγηθεί εξόρυξη, ώστε μετά το τέλος της εκμετάλλευσης η επίπτωση στο τοπίο να είναι η ελάχιστη δυνατή.

**Σταθμός Δ.Ε.Η. Μεγαλόπολης - Μονάδες I & II**

Οι Μονάδες I και II του ΑΗΣ Μεγαλόπολης (σχ. 2.4) που τέθηκαν σε λειτουργία το 1970 είναι όμοιες (125MW η καθεμιά). Οι λέβητες των μονάδων I και II είναι κατασκευής VKW, φυσικής κυκλοφορίας, διπλής διαδρομής καυσαερίων, με αναθέρμανση του ατμού που εξέρχεται από το στρόβιλο της Υ.Π.. Κάθε λέβητας των I-II Μονάδων περιλαμβάνει έξι μύλους λιγνίτη τύπου DGS BABCOCK, ικανότητας ο καθένας 69 ton/h. Η κονιοποίηση και ξήρανση του λιγνίτη γίνεται με θερμά καυσαέρια που απορροφά ο κάθε μύλος από το άνω μέρος της εστίας του λέβητα.

Στην έξοδο κάθε μύλου το μείγμα καυσίμου-καυσαερίων-υδρατμών διαχωρίζεται φυγοκεντρικά και ένα μέρος αυτού (65% του καυσίμου και 45% των υδρατμών) πηγαίνει κατευθείαν στους αντίστοιχους καυστήρες λιγνίτη, ενώ το υπόλοιπο μέρος οδηγείται μέσω κυκλώνων στα ηλεκτροστατικά φίλτρα (Η/Φ) λιγνίτη στη οροφή του λεβητοστασίου. Στα Η/Φ διαχωρίζεται το καύσιμο από τους υδρατμούς και τα καυσαέρια και τα μεν τελευταία πηγαίνουν ελεύθερα προς την ατμόσφαιρα, ενώ ο λιγνίτης πηγαίνει στον αντίστοιχο καυστήρα υποβοηθώντας έτσι την καύση. Έτσι ενώ η τυπική σύσταση του ακατέργαστου λιγνίτη είναι:  $H_2O=59,9\%$  τέφρα= $16,7\%$  καύσιμο= $23\%$  με  $H_u=960\text{Kcal/kg}$  μετά την ξήρανση το καύσιμο μείγμα προ καυστήρα έχει:  $H_u=1550\text{Kcal/kg}$  και  $H_2O=20\%$  Για την επίτευξη πλήρους φορτίου της κάθε Μονάδας και συμβατική ποιότητα λιγνίτη, απαιτείται η λειτουργία πέντε μύλων από τους έξι εγκαταστημένων, ενώ ο έκτος είναι εφεδρικός.

Για εκκινήσεις, κρατήσεις ή υποστήριξη της καύσης έχουν εγκατασταθεί επί πλέον τέσσερις καυστήρες πετρελαίου σε κάθε λέβητα. Οι στρόβιλοι των Μονάδων I και II είναι κατασκευής AEG και αποτελούνται από τρία τμήματα (υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης). Το τμήμα της υψηλής πίεσης, απλής ροής αποτελείται από 11 βαθμίδες και από την έξοδο του τροφοδοτεί ένα προθερμαντή υψηλής πίεσης. Το τμήμα μέσης πίεσης, απλής ροής και αυτό, αποτελείται από 12 βαθμίδες και τροφοδοτεί μια απομάστευση υψηλής πίεσης, τον απαερωτή και μια απομάστευση υψηλής πίεσης. Το τμήμα χαμηλής πίεσης του στρόβιλου είναι διπλής ροής με 2X5 βαθμίδες και τροφοδοτεί δυο απαμαστεύσεις χαμηλής πίεσης.



Σχήμα 2.4 Σταθμός Δ.Ε.Η. Μεγαλόπολης - Μονάδα III

Η Μονάδα III του ΑΗΣ Μεγαλόπολης που τέθηκε σε λειτουργία το 1975 είναι εγκατεστημένης ισχύος 300MW. Ο λέβητας της Μονάδας είναι κατασκευής VKW, φυσικής κυκλοφορίας, διπλής διαδρομής καυσαερίων, με αναθέρμανση του ατμού που εξέρχεται από το στρόβιλο της υψηλής πίεσης. Ο Λέβητας αυτός είναι όμοιος με τους αντίστοιχους των δυο άλλων μονάδων, με μόνη τη διαφορά ότι δεν έχει κυκλώνες. Έχει έξι μύλους λιγνίτη τύπου DGS BABCOCK με ικανότητα ο καθένας 180ton/h. Για την επίτευξη πλήρους φορτίου με τις συμβατικές τιμές λιγνίτη, απαιτείται η λειτουργία πέντε μύλων ενώ ο έκτος είναι εφεδρικός. Ο τρόπος ξήρανσης του λιγνίτη είναι ο ίδιος ακριβώς με τον αντίστοιχο των μονάδων I και II. Για την εκκίνηση, κράτηση και στήριξη της καύσης, όταν ο λέβητας είναι χαμηλής θερμογόνου δύναμης, ο λέβητας είναι εφοδιασμένος με έξι καυστήρες πετρελαίου DIESEL. Ο στρόβιλος της Μονάδας III είναι κατασκευής KWU και αποτελείται από τρία τμήματα(υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης). Το τμήμα της υψηλής πίεσης, χωρίς οριζόντια φλάντζα στο κέλυφος, είναι απλής ροής και τροφοδοτεί ένα διπλό προθερμαντή υψηλής πίεσης. Το τμήμα της μέσης πίεσης είναι απλής ροής και τροφοδοτεί με δυο απομαστεύσεις ένα προθερμαντή (διπλό) υψηλής πίεσης και τον απαερωτή. Το τμήμα της χαμηλής πίεσης του στρόβιλου είναι και αυτό διπλής ροής με τρεις απομαστεύσεις που τροφοδοτούν ισάριθμους προθερμαντές χαμηλής πίεσης.

### **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.



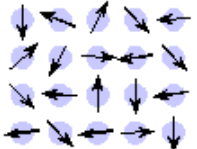
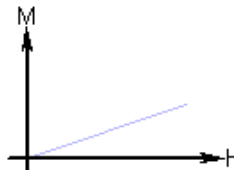

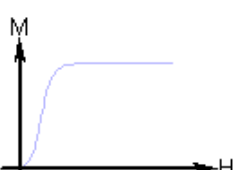
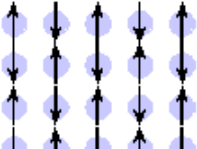
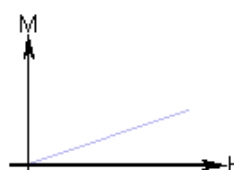
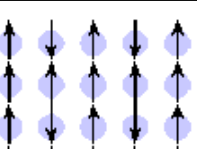
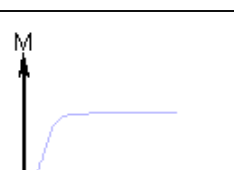
Παραμένουσα μαγνήτιση είναι η ιδιότητα των σιδηρομαγνητικών υλικών να διατηρούν τις μαγνητικές ιδιότητες τους ακόμη και κατά την απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.

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

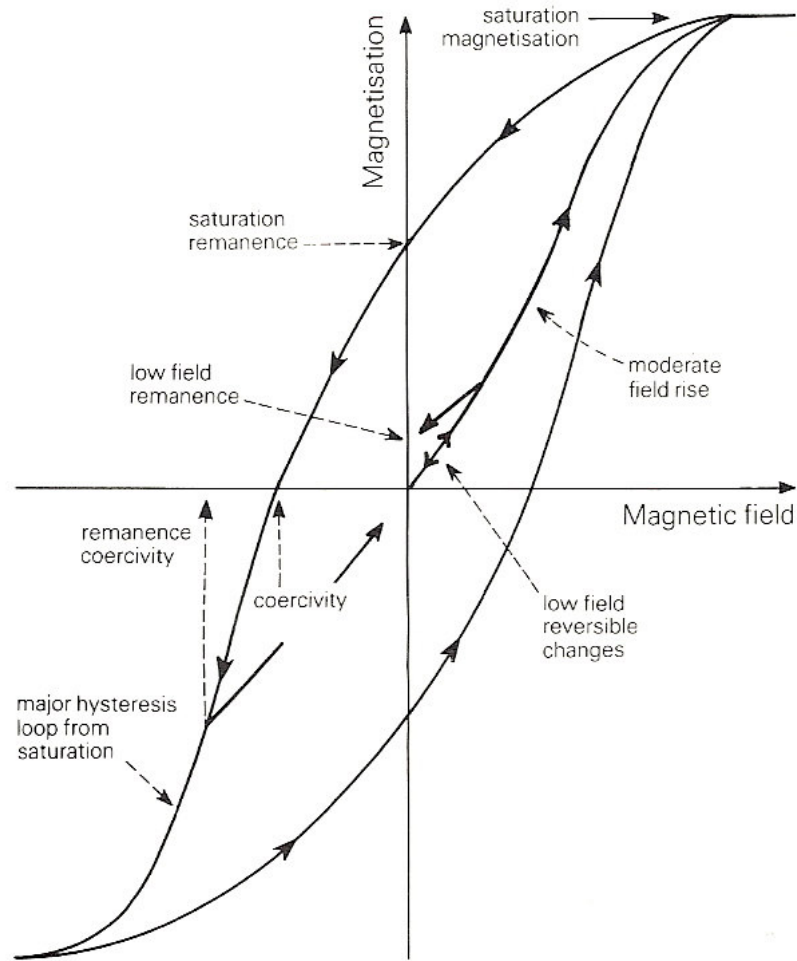
### 3.3 Μαγνητική υστέρηση

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  	$-2.74 \times 10^{-6}$ Au $-0.77 \times 10^{-6}$ Cu
Παραμαγνητισμός	Μικρή και θετική	Τυχαίος προσανατολισμός των μαγνητικών ροπών των ατόμων  	$0.19 \times 10^{-6}$ β-Sn $21.04 \times 10^{-6}$ Pt $66.10 \times 10^{-6}$ 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 $3.6 \times 10^{-6}$
Σιδηριμαγνητισμός	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*  $\kappa$  (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	—
magnesioferrite	$\text{MgFe}_2\text{O}_4$	440	21
jacobsite	$\text{MnFe}_2\text{O}_4$	310	77

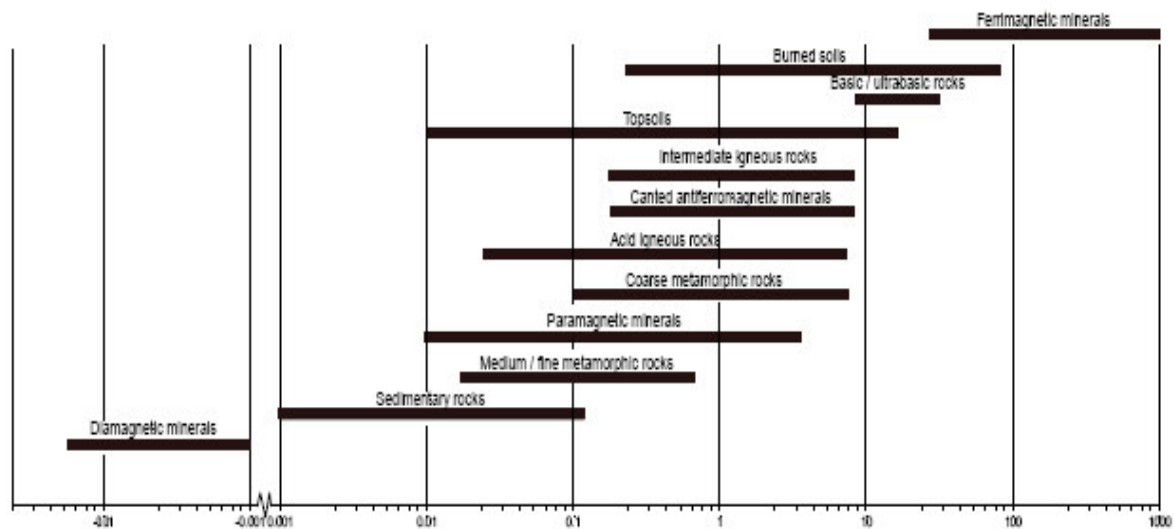
### 3.4 Μαγνητική επιδεκτικότητα

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  $\kappa_i$ , ενώ η εξωτερική με  $\kappa_e$ , την οποία και μετράμε. Η σχέση μεταξύ  $\kappa_i$  και  $\kappa_e$  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  $\kappa$  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.

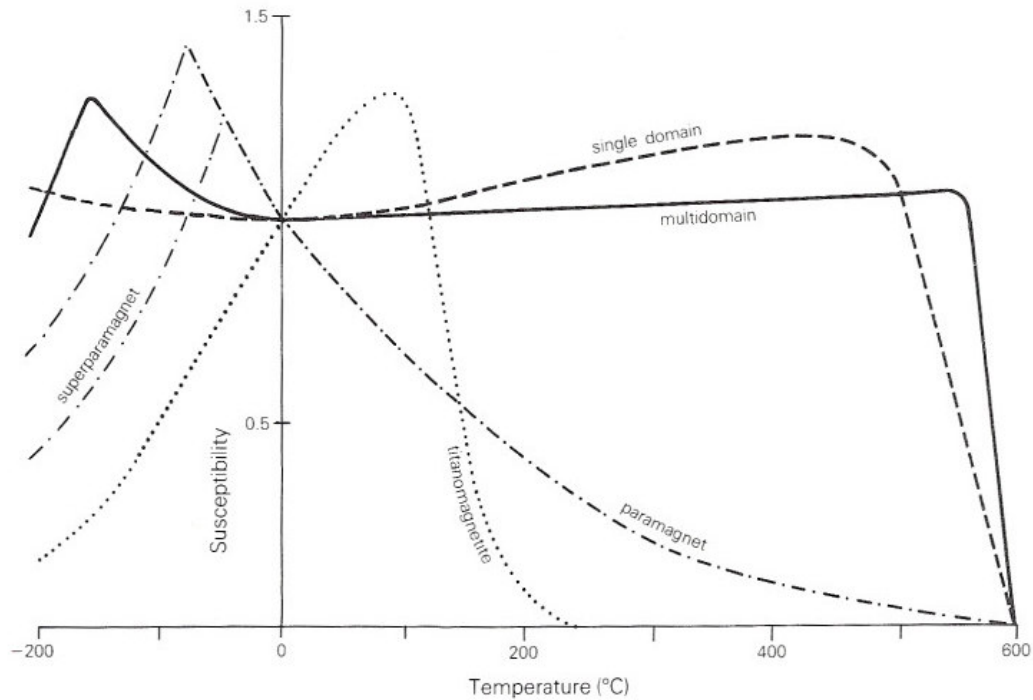
### 3.5 Σχέση της μαγνητικής επιδεκτικότητας με την θερμοκρασία

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 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 ( $\chi_{fd}$ ) 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 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 αργιλικόι 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

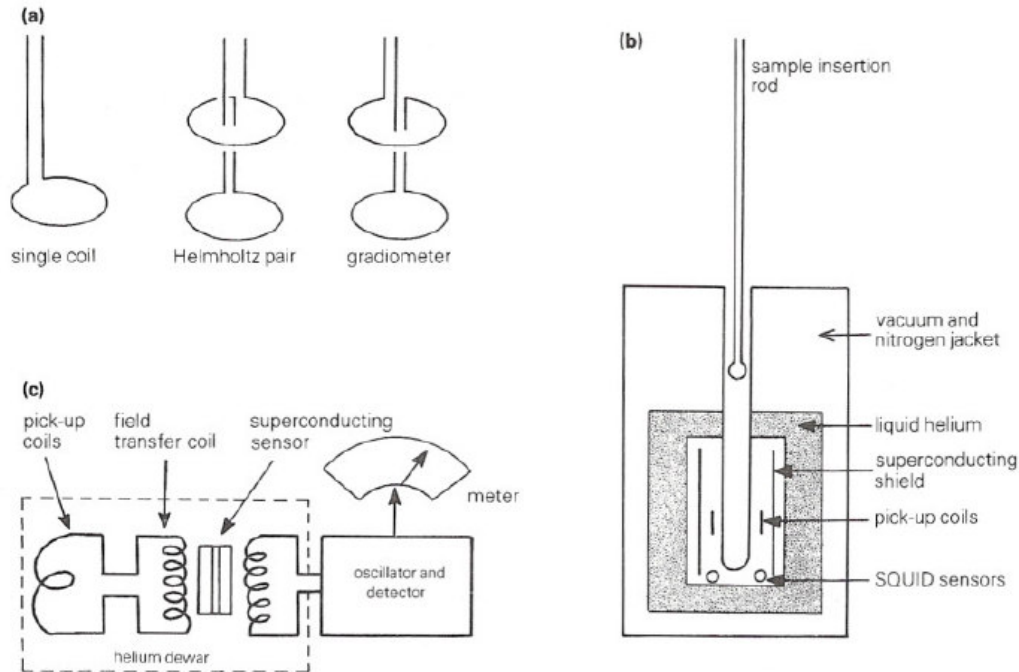
σχετικά με το μέγεθος της επίδρασης αυτών των βακτηρίων είναι φτωχή, αλλά είναι πιθανόν να υπάρχουν σημαντικοί παράγοντες σε διάφορες διαγενετικές διεργασίες σε αναγωγικά ή υπο-οξειδωτικά περιβάλλοντα ακόμα και σε βάθη κάτω από 6-7 km. Παρόλα αυτά, στα περισσότερα οξειδωτικά περιβάλλοντα τέτοιοι βιογενετικοί 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 προυπάρχοντα 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  $2 \times 10^{-6}$  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.

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 10cm<sup>3</sup> 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 10cm<sup>3</sup> 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  $-0.4 \times 10^{-5}$  SI για δοχείο 10cm<sup>3</sup>. 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 cm<sup>3</sup>. 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 <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 0.1 range	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

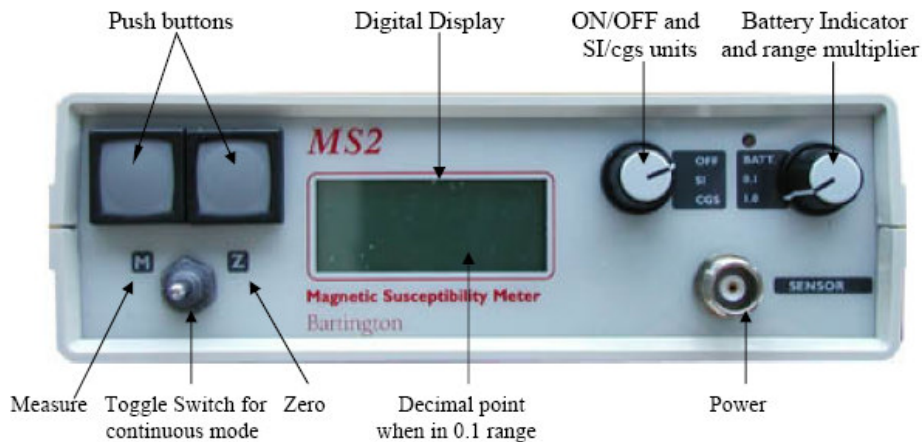
**Specification - MS2 Probe Handle**

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- $\chi$ , IRM\_200mT/SIRM-IRM\_20mT/SIRM και ARM\_40mT/SARM- $\chi$  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 κάρναβο 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.

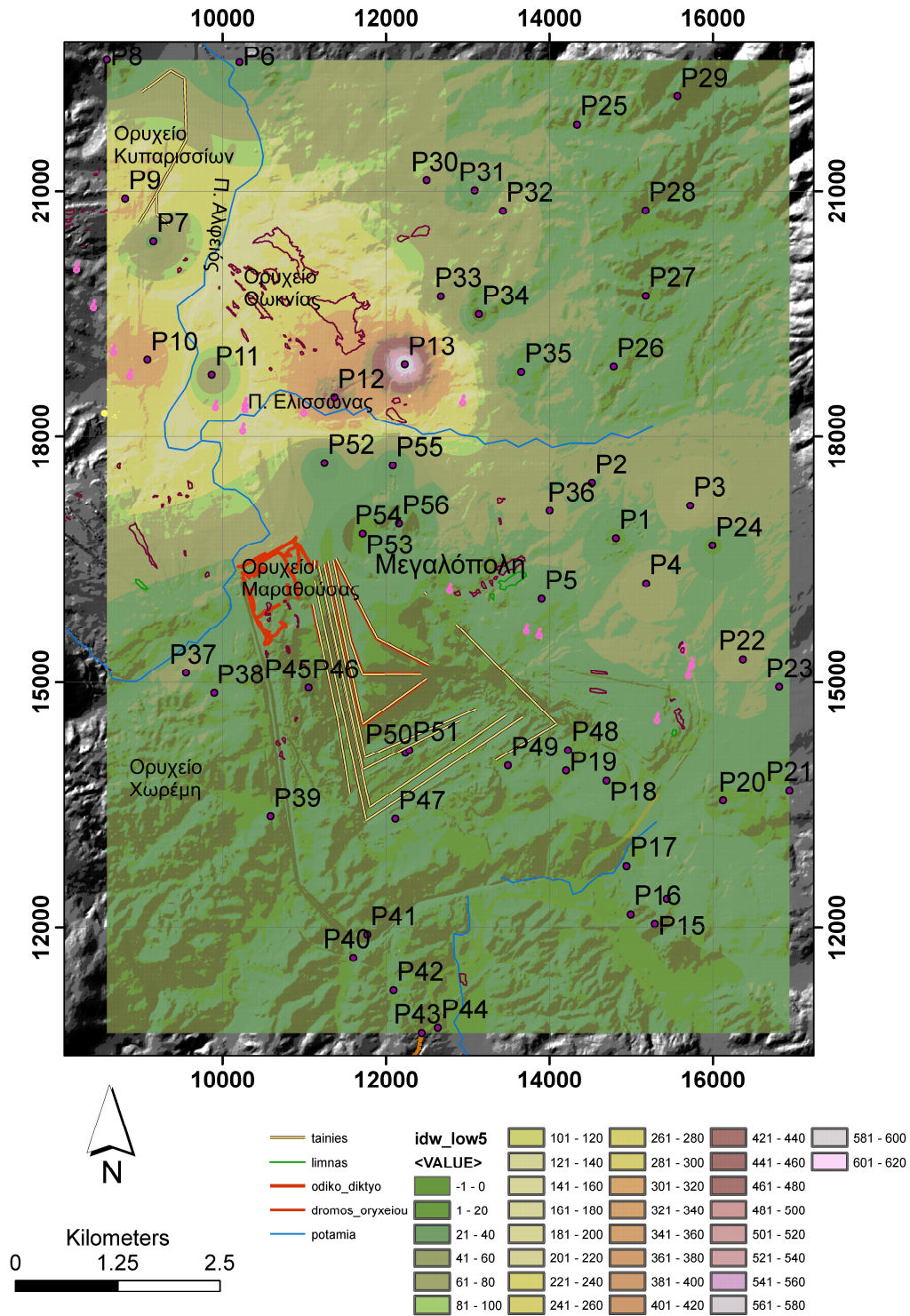


## **4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ**

### **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 (στην παρούσα περίπτωση είναι η περιοχή του λιγνιτικού πεδίου της Μεγαλόπολης)
3. Δειγματοληψίες σε επιλεγμένες θέσεις (σχ. 4.1) 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. Προσδιορισμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή και υψηλή συχνότητα.
6. Αναλύσεις θερμομαγνητισμού.
7. Στατιστική επεξεργασία, απεικόνιση και ερμηνεία των δεδομένων.



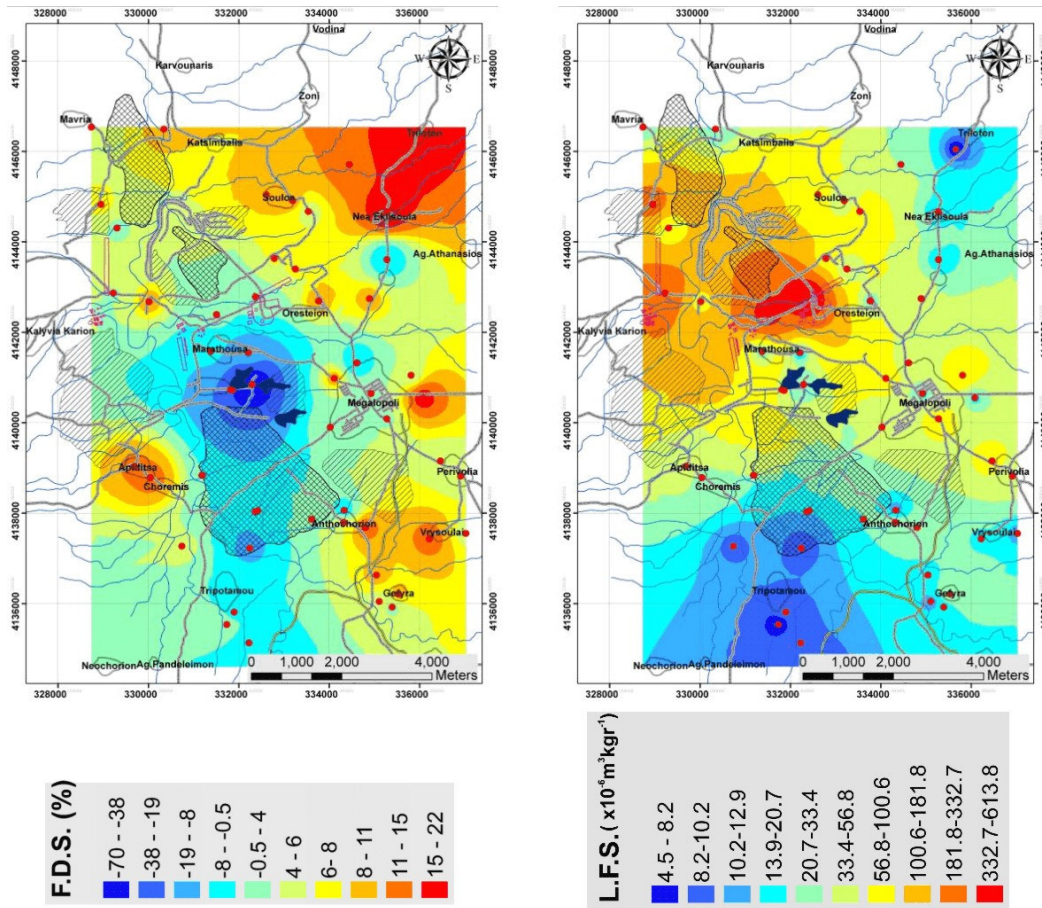
Σχήμα 4.1 Χάρτης που απεικονίζει την κατανομή της μαγνητικής επιδεικτικότητας και τις θέσεις των δειγμάτων

## 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- $\text{FeCO}_3$ ) 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 ανίχνευσής τους αποτελεί και ο θερμομαγνητισμός.

## 4.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Στο σχήμα 4.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας 1. που εξαρτάται από την συχνότητα (FDS) και 2. σε χαμηλή συχνότητα (LF). **Οι υψηλότερες τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα παρουσιάζονται στο ΒΔ τμήμα του χάρτη, ενώ παράλληλα εντοπίζεται μια μετατόπιση των τιμών αυτών σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.**



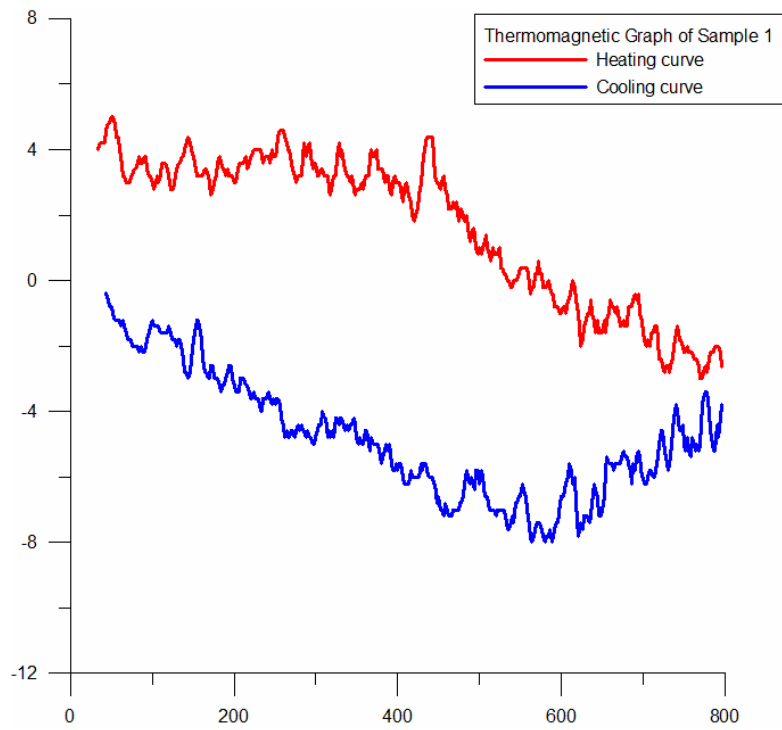
Σχήμα 4.2 Κατανομή της α) εξαρτώμενης από την συχνότητα επιδεκτικότητας και β) της μαγνητικής επιδεκτικότητας σε χαμηλή συχνότητα

Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης των δειγμάτων από τους 40°C έως τους 800°C στον αέρα και αντίστροφα.

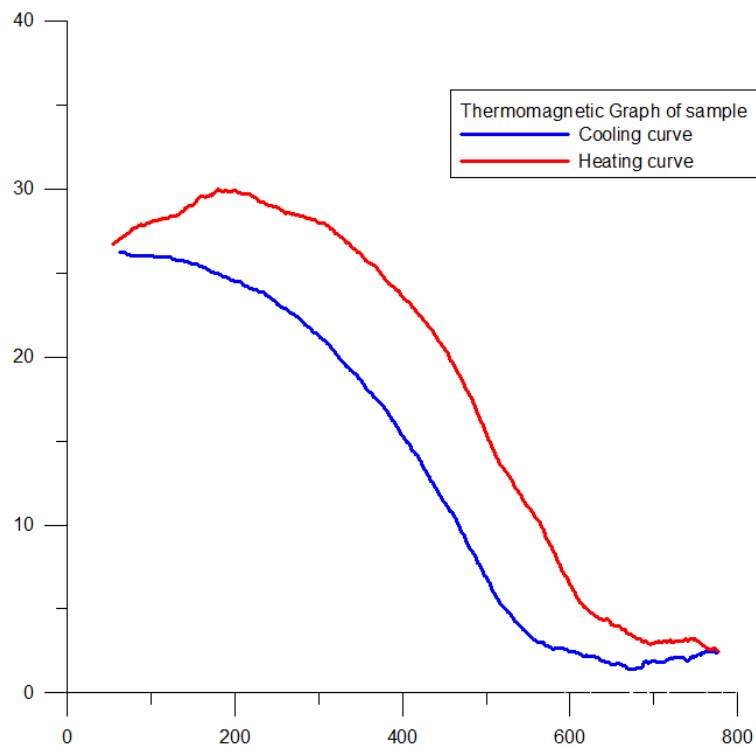
Πέντε χαρακτηριστικοί τύποι συμπεριφοράς εντοπίστηκαν κατά τα πειράματα του θερμομαγνητισμού.

1. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα δείγματα (1, 28, 39) τα οποία παρουσιάζουν μείωση της μαγνήτιση τους μέχρι τους 800°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.

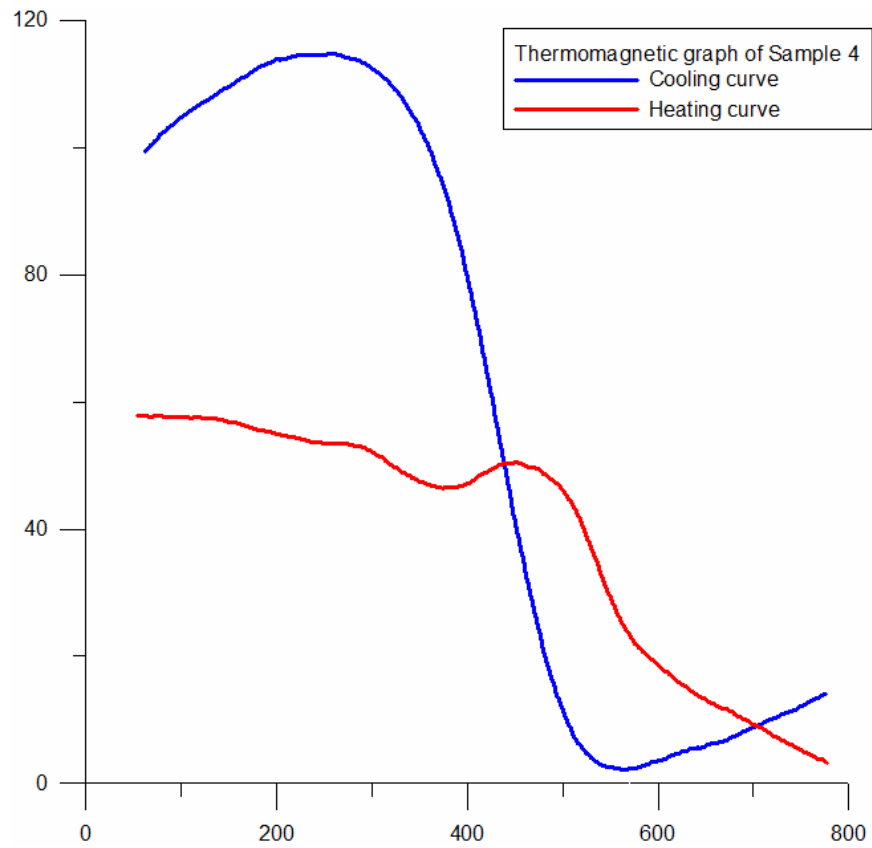
2. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα δείγματα 4, 7, 9, 11, 15, 18, 22, 37, 45, 53, 54, 56 τα οποία παρουσιάζουν την τυπική θερμομαγνητική συμπεριφορά του μαγνητίτη ή του μαγκεμίτη. Δηλαδή παρουσιάζουν σταδιακή μείωση της μαγνήτισης τους μέχρι τους 800°C, αλλά κατά την διάρκεια της ψύξης παρατηρείται μια αύξηση της μαγνήτισης κάτω από τους 580°C, που είναι η θερμοκρασία Curie του μαγνητίτη.
3. Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν τα δείγματα (3, 6, 10, 12, 13, 28, 51), των οποίων οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης παρουσιάζουν πολύ καλή σύγκλιση. Τέτοια συμπεριφορά είναι χαρακτηριστική για τον αιματίτη ή τον γκαιτίτη.
4. Στην τέταρτη κατηγορία ανήκει το δείγμα 55, το οποίο παρουσιάζει πολύ ιδιαίτερη συμπεριφορά. Δηλαδή κατά την θέρμανση και μέχρι τους 300°C παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά παραμαγνητικού υλικού. Μετά τους 300°C εμφανίζεται αύξηση της μαγνήτισης μέχρι και τους 400°C, όπου συμβαίνει μια πρώτη μείωση της μαγνήτισης και στην συνέχεια μια δεύτερη μείωση στους 580°C. Κατά την ψύξη το υλικό παρουσιάζει αύξηση της μαγνήτισης κάτω από τους 580°C. Εάν επαναληφθεί το πείραμα στο ίδιο υλικό παρατηρείται η τυπική συμπεριφορά του μαγνητίτη. Επομένως στους 300°C το υλικό από παραμαγνητικό γίνεται σιδηρομαγνητικό και αμέσως μετά μετασχηματίζεται σε μαγνητίτη. Τέτοια συμπεριφορά παρουσιάζουν τα μονοσουλφίδια του σιδήρου όπως ο γκρεγκίτης- greigite (Tric et al., 1991; Snowball, 1991; Hoffman, 1992; Roberts and Turner; 1993; Reynolds et al., 1994; Jelinowska et al. 1995) και ο σμυθίτης - smythite ( $\text{Fe}_9\text{S}_{11}$ ) (Krs et al., 1992; Hoffman, 1993), τα οποία είναι ασταθή και μετασχηματίζονται σε μαγνητίτη.
5. Στην πέμπτη κατηγορία ανήκει το δείγμα 19, το οποίο επίσης παρουσιάζει ιδιαίτερη συμπεριφορά. Μέχρι τους 450°C κατά την θέρμανση παρουσιάζει τυπική συμπεριφορά παραμαγνητικού υλικού (σταδιακή μείωση της μαγνήτισης). Μετά την θερμοκρασία αυτή η μαγνήτιση αυξάνει με ένα μέγιστο περίπου στους 500°C και στην συνέχεια μειώνεται. Τέτοια μαγνητική συμπεριφορά υποδηλώνει την παρουσία σιδερίτη στο δείγμα μέχρι τους 500°C, ενώ στην συνέχεια μετασχηματίζεται σε μαγνητίτη, γεγονός που το υποδηλώνει η καμπύλη ψύξης στο δείγμα.



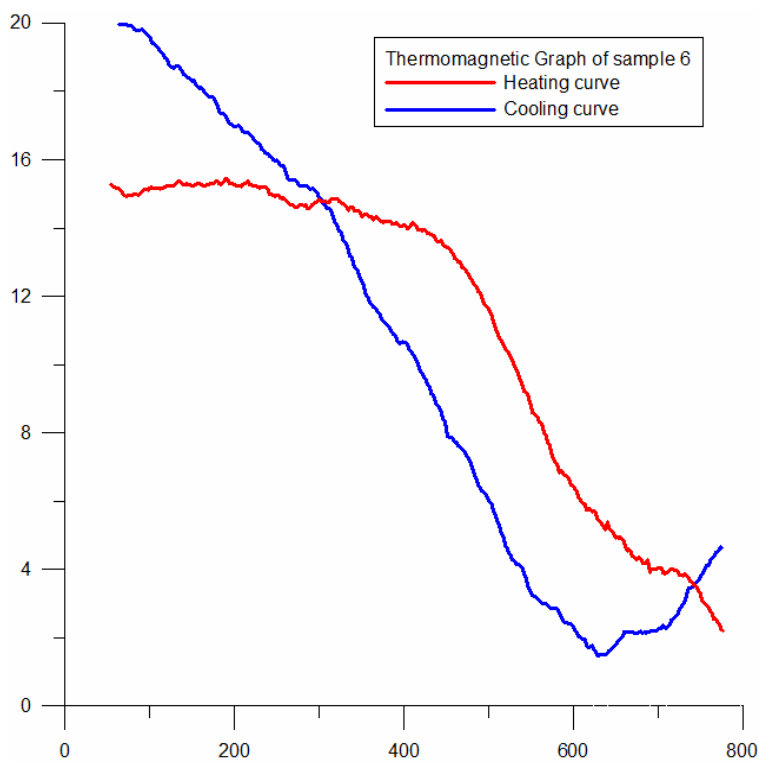
Σχήμα 4.3 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 1



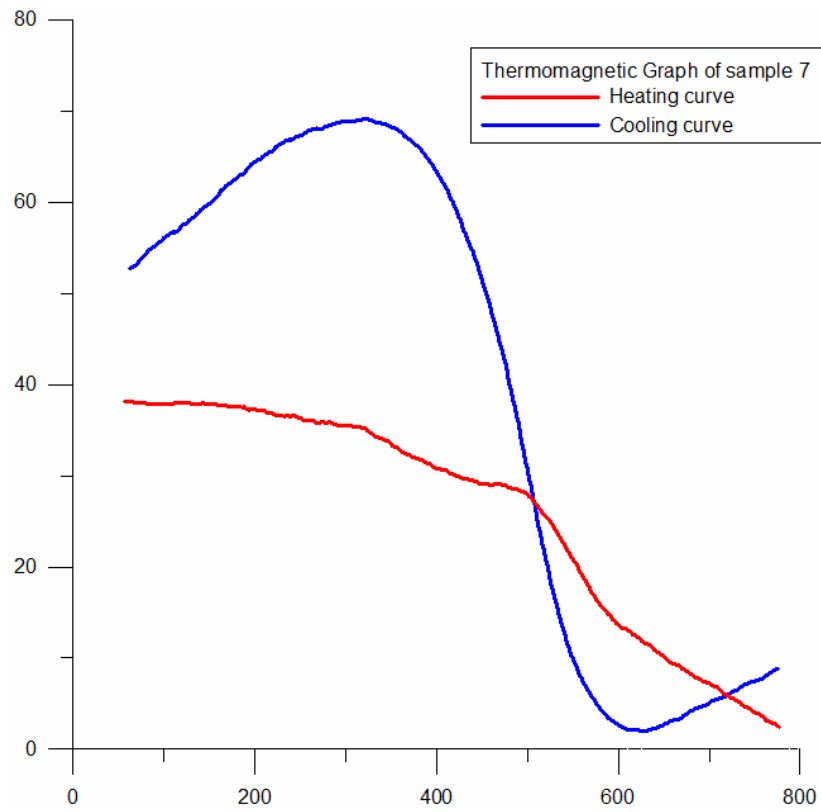
Σχήμα 4.4 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 3



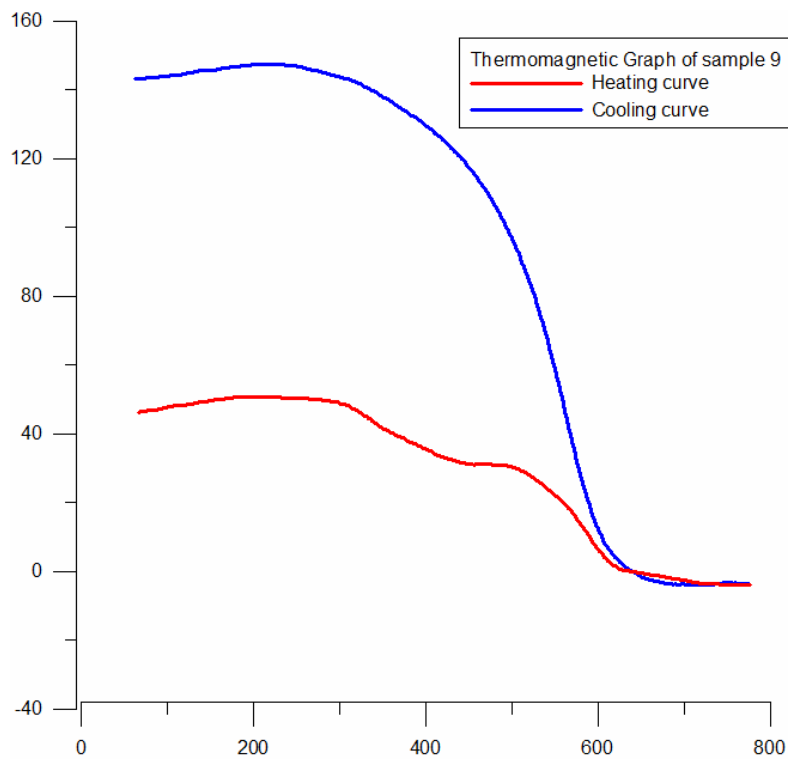
Σχήμα 4.5 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 4



Σχήμα 4.6 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 6

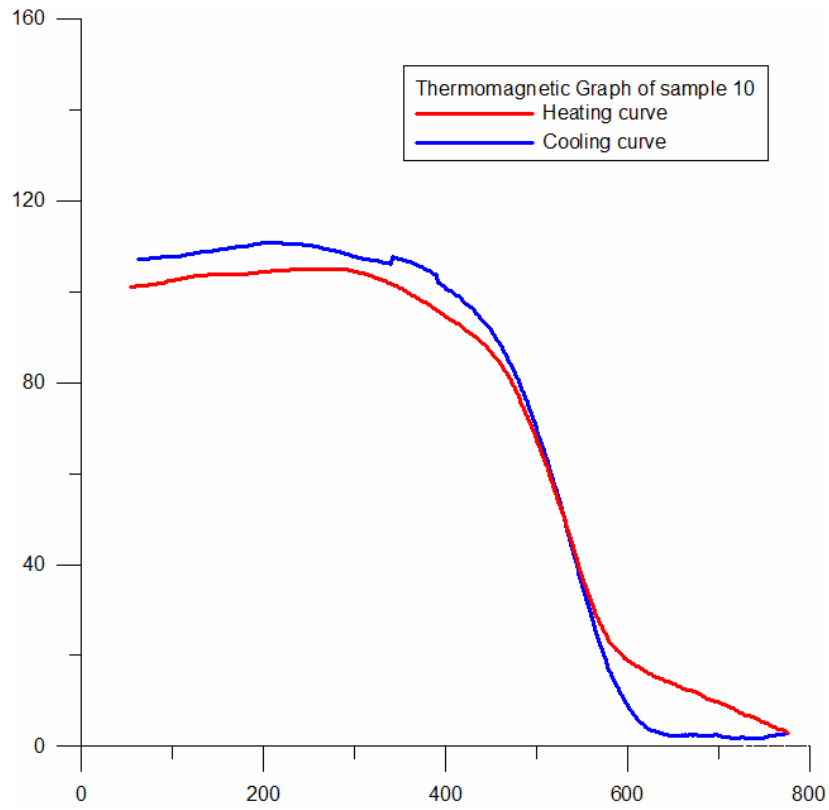


Σχήμα 4.7 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 7

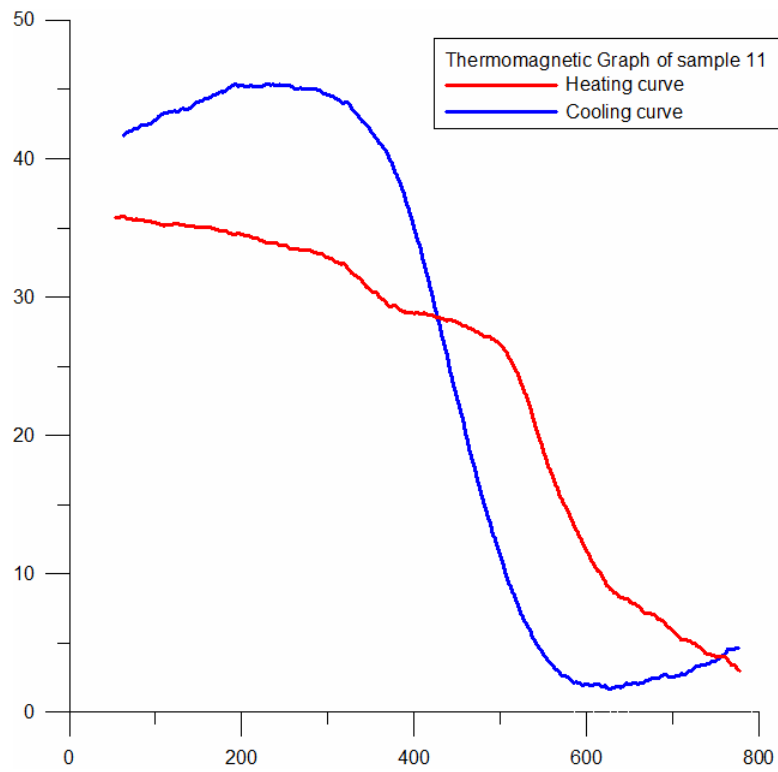


Σχήμα 4.8 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 9

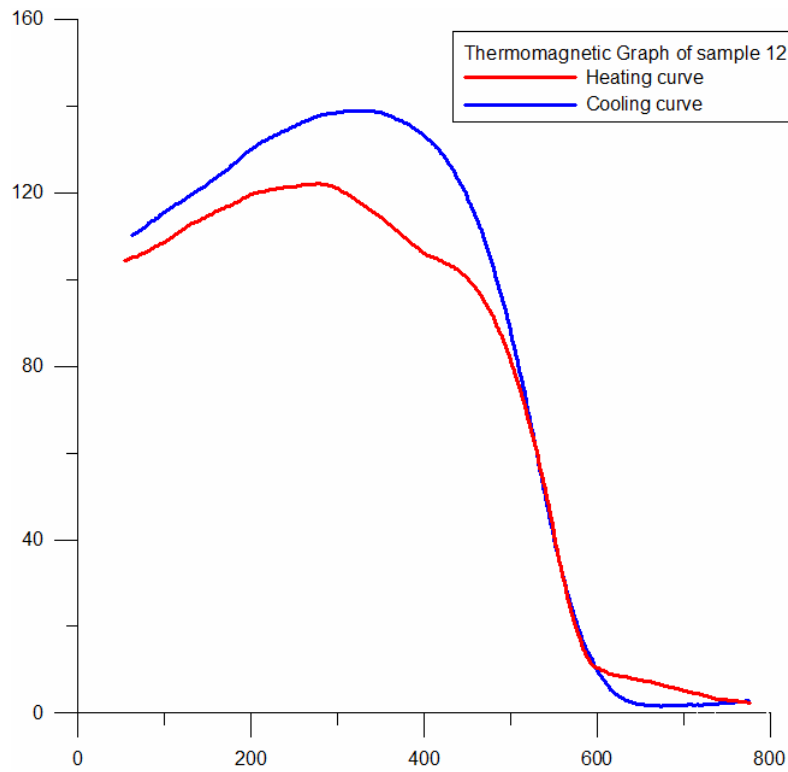




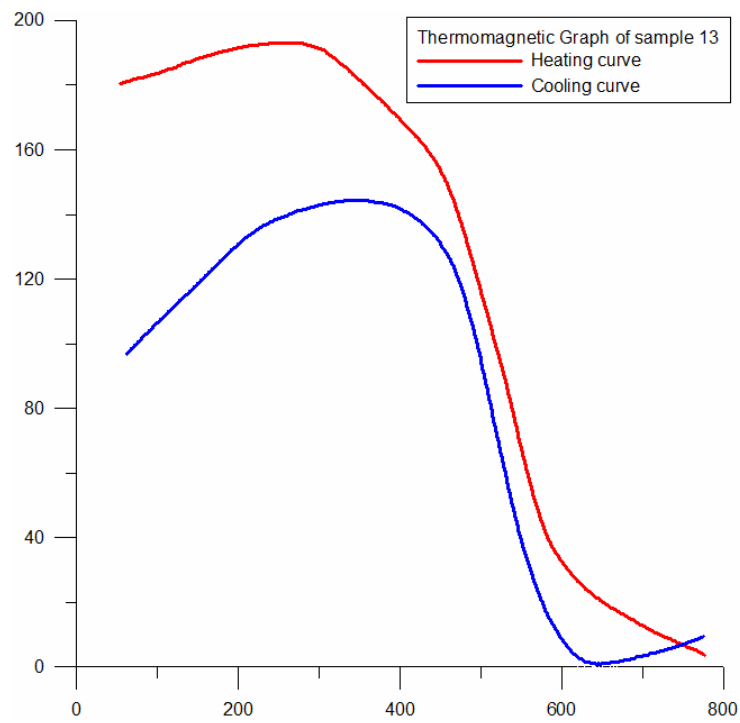
Σχήμα 4.9 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 10



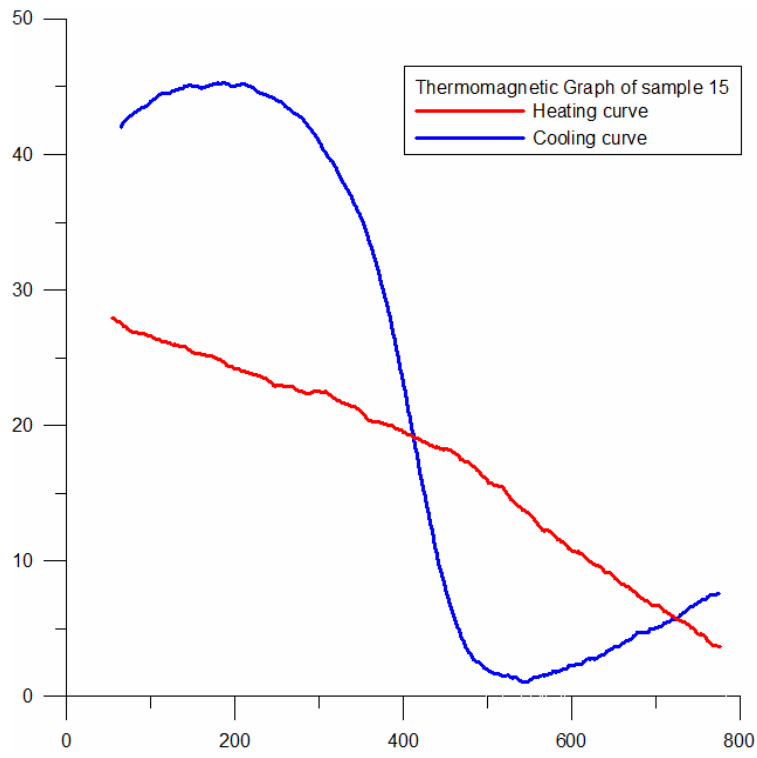
Σχήμα 4.10 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 11



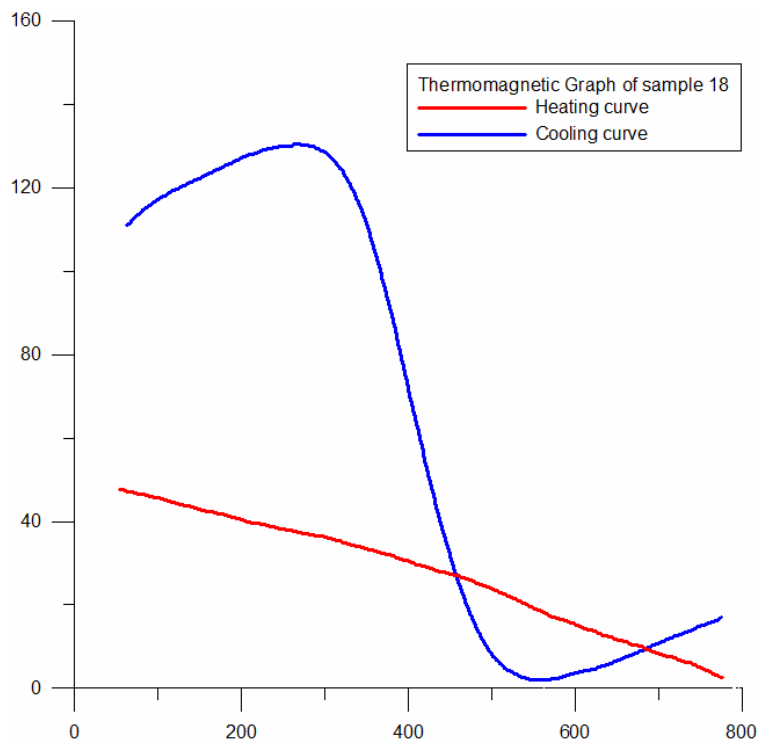
Σχήμα 4.11 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 12



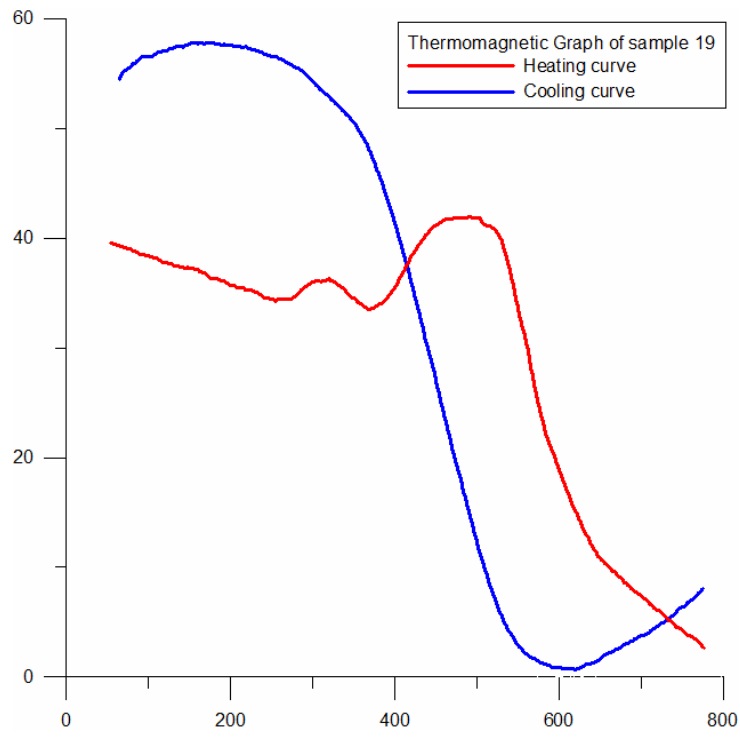
Σχήμα 4.12 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 13



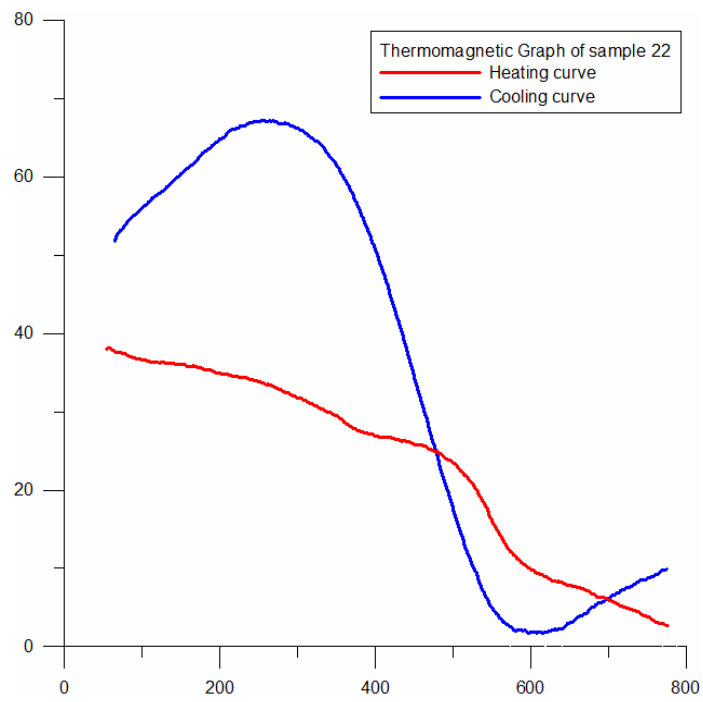
Σχήμα 4.13 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 15



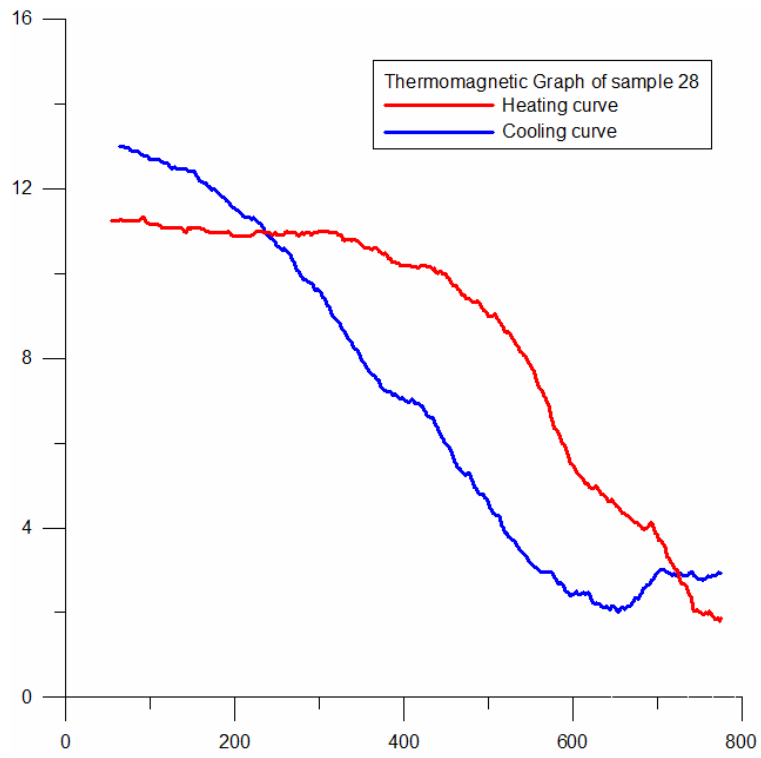
Σχήμα 4.14 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 18



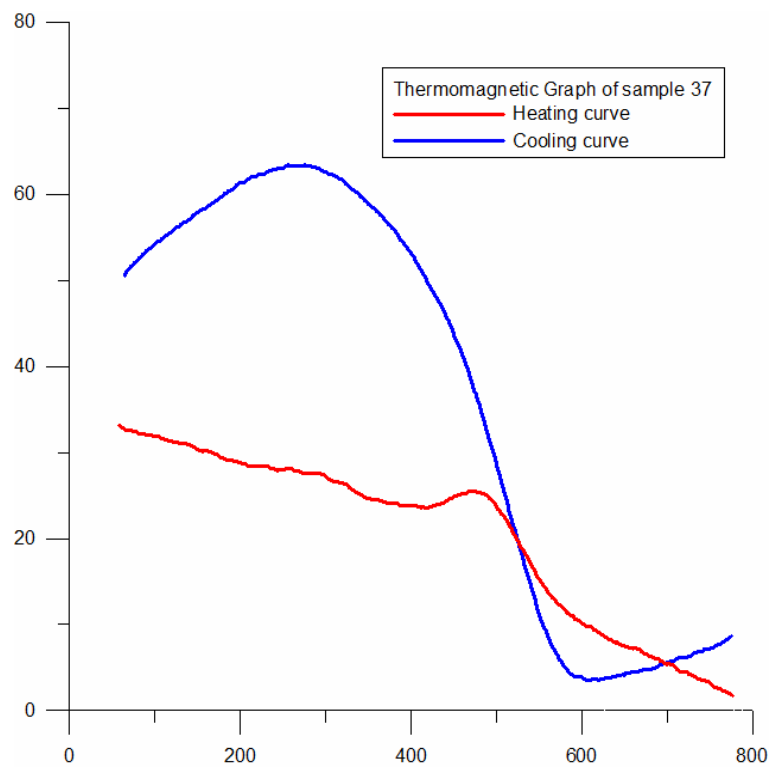
Σχήμα 4.15 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 19



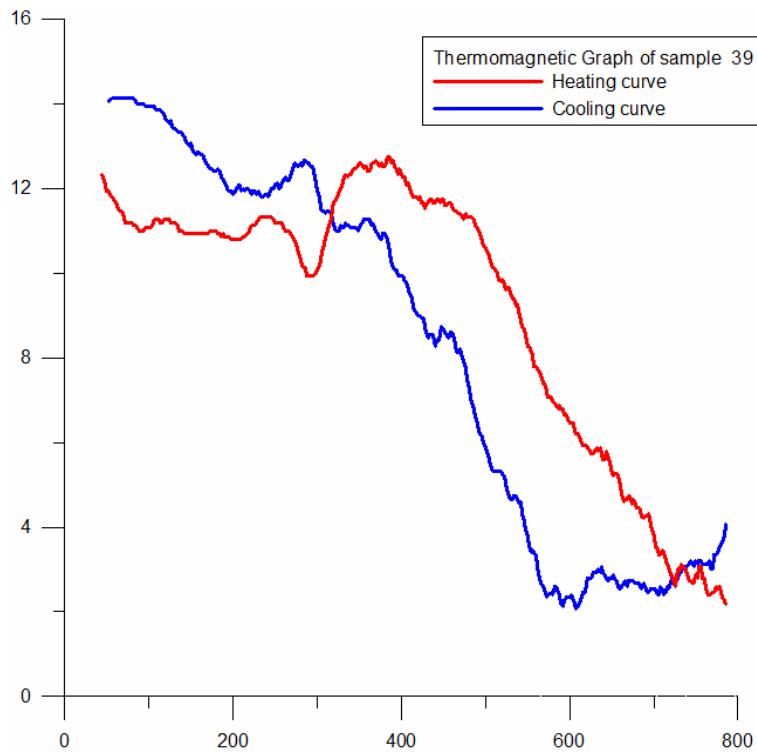
Σχήμα 4.16 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 22



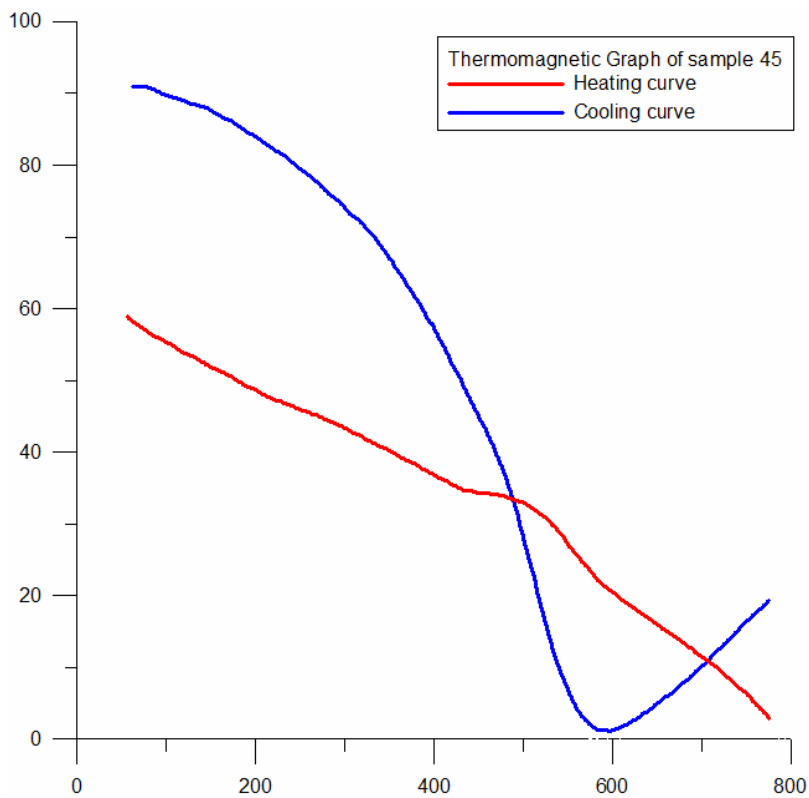
Σχήμα 4.17 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 28



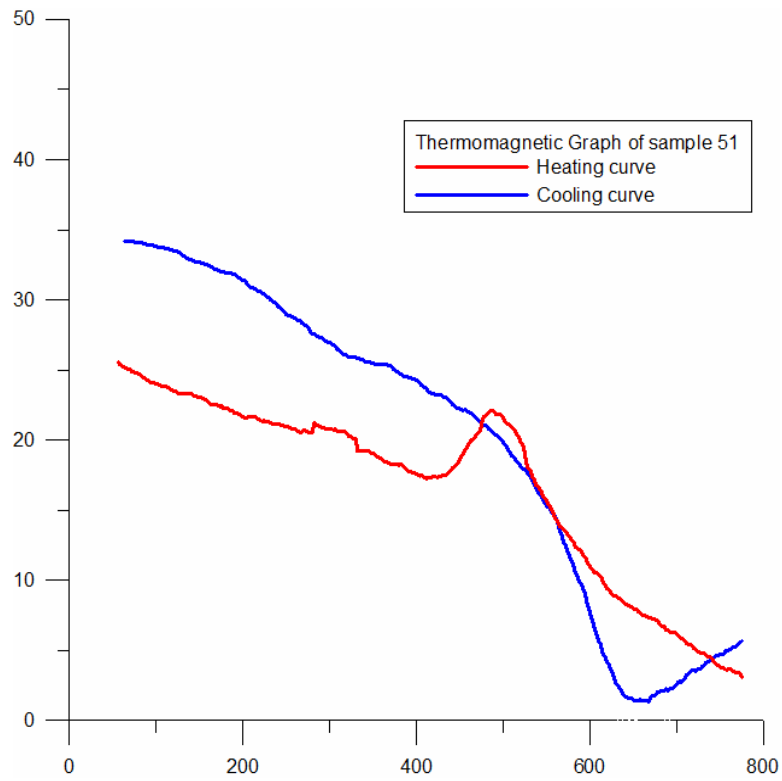
Σχήμα 4.18 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 37



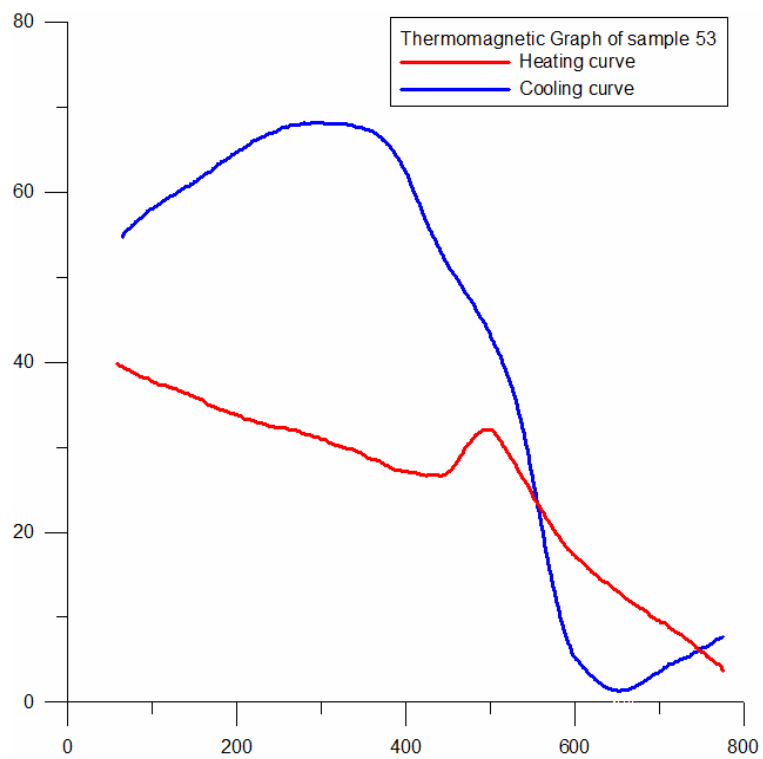
Σχήμα 4.19 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 39



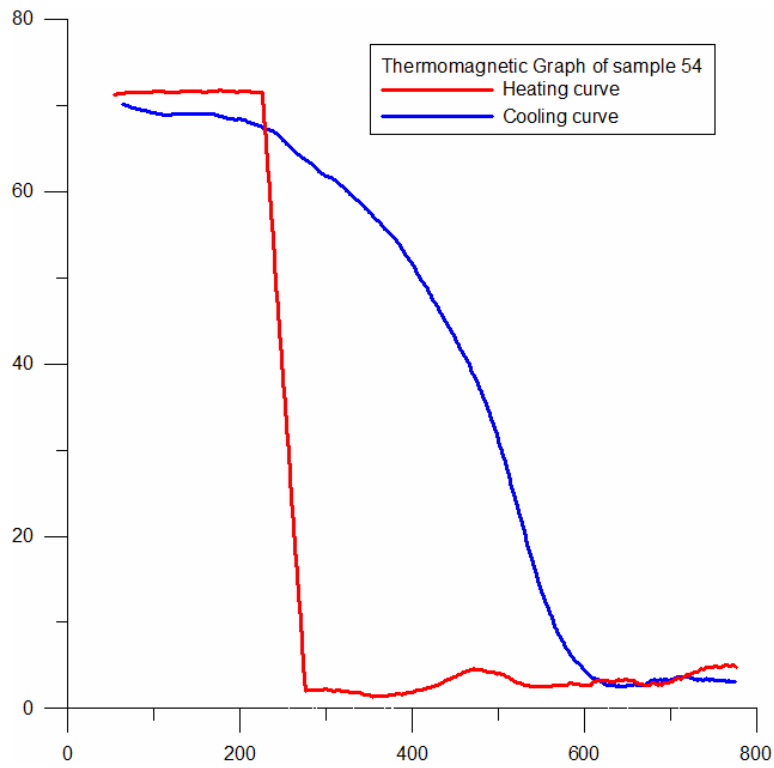
Σχήμα 4.20 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 45



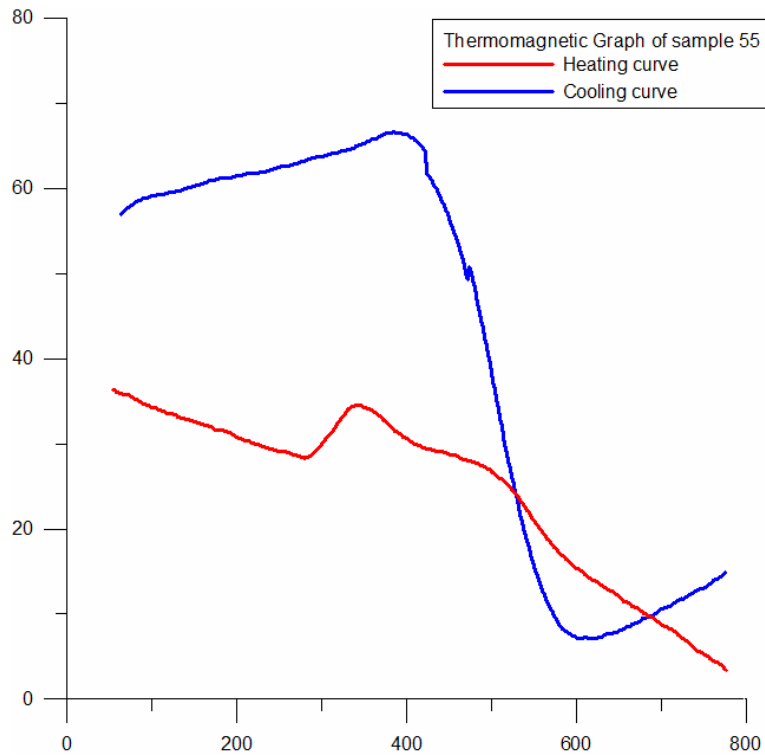
Σχήμα 4.21 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 51



Σχήμα 4.22 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 53

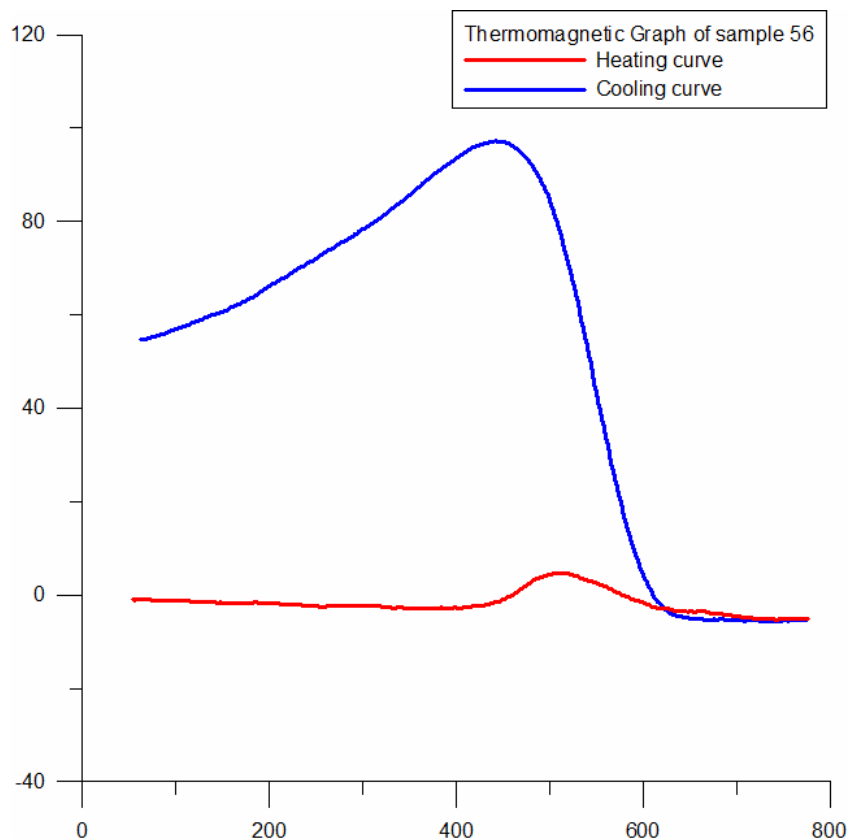


Σχήμα 4.23 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 54



Σχήμα 4.24 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 55





Σχήμα 4.25 θερμομαγνητική απόκριση για το δείγμα 56

#### 4.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των πειραμάτων της μαγνητικής επιδεκτικότητας και του θερμομαγνητισμού. Όσον αφορά την μαγνητική επιδεκτικότητα συνάγεται ότι η πλειονότητα των υλικών είναι μαγνητικά, μια και παρουσιάζουν ισχυρές μαγνητίσεις. Τα αποτελέσματα του θερμομαγνητισμού κατηγοριοποιούν τα υλικά ως εξής:

- I) Το παραμαγνητικό υλικό παραμένει σταθερό κατά την ψύξη και θέρμανση,
- II) Το υλικό παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά του μαγνητίτη ή μαγκεμίτη,
- III) Το υλικό παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά του αιματίτη ή γκαϊτίτη σε υψηλές θερμοκρασίες,
- IV) Το υλικό μετασχηματίζεται σε μονοσουλφίδιο του σιδήρου κατά την θέρμανση (στους 300°C) γεγονός που παραπέμπει σε μετα-αποθετικές διεργασίες, και σημαίνει ότι δεν υπάρχουν αρκετά ιόντα θείου για να σχηματίσουν πυρίτη ( $\text{FeS}_2$ ), επομένως η λεκάνη είναι φτωχή σε άλατα ή

πλούσια σε ιόντα σιδήρου. . Η παρουσία του μονοσουλφιδίου υποδηλώνει την τροφοδοσία της λεκάνης νερό χαμηλής αλατότητας.

- V) Το υλικό υφίσταται μετασχηματισμό σε μαγνητίτη κατά την θέρμανση (στους 500°C), πράγμα που σημαίνει ότι πιο πριν υπήρχε σιδερίτης στο δείγμα. Η παρουσία του σιδερίτη υποδηλώνει παρουσία μιας ζώνης μεθανογένεσης και τροφοδοσία της λεκάνης με φρέσκο νερό.

Στο σημείο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη τους χάρτες των σχημάτων 4.1 και 4.2 θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πλειονότητα των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από περιοχές κοντά στα ορυχεία και τους αποθέτες παρουσιάζουν την θερμομαγνητική συμπεριφορά του μαγνητίτη, ενώ τα δείγματα που συλλέχθηκαν από περιοχές μακριά από τα ορυχεία και τους αποθέτες παρουσιάζουν την θερμομαγνητική συμπεριφορά του αιματίτη.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 5.1 Συμπεράσματα και αξιολόγηση της μεθοδολογίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή της μεθόδου της μαγνητικής επιδεκτικότητας και του θερμομαγνητισμού σε στην περιοχή γύρω από το λιγνιτικό πεδίο της Μεγαλόπολης με στόχο να μελετηθούν οι μαγνητικές ιδιότητες των γεωυλικών. 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.

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

- Η Νεογενής λεκάνη της Μεγαλόπολης χαρακτηρίζεται γενικά από ομαλή τοπογραφία και στο εσωτερικό της δεν συγκεντρώνονται στάσιμα νερά. Περιβάλλεται γενικά από ορεινούς όγκους.
- Ο κυριότερος κλάδος του υδρογραφικού δικτύου είναι ο Αλφειός ποταμός, με αμέσως μεγαλύτερο παραπόταμο τον Ελισσώνα. Ο Αλφειός παρουσιάζει διεύθυνση ροής από NNA-BBD. Το γεγονός αυτό μπορεί πιθανότατα να σχετιστεί με την κατανομή των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας, οι οποίες παρουσιάζουν υψηλές τιμές στο ΒΔ τμήμα της λεκάνης, εκεί δηλαδή που συναντά ο Ελισσώνας τον Αλφειό αλλά και εξέρχεται επίσης ο Αλφειός από την λεκάνη.

Τα αποτελέσματα του θερμομαγνητισμού κατηγοριοποιούν τα υλικά ως εξής:

- Το παραμαγνητικό υλικό παραμένει σταθερό κατά την ψύξη και θέρμανση,
- Το υλικό παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά του μαγνητιτή ή μαγκεμίτη,
- Το υλικό παρουσιάζει την τυπική συμπεριφορά του αιματίτη ή γκαιτίτη σε υψηλές θερμοκρασίες,
- Το υλικό μετασχηματίζεται σε μονοσουλφίδιο του σιδήρου κατά την θέρμανση (στους 300°C) γεγονός που παραπέμπει σε μετα-αποθετικές διεργασίες, και σημαίνει ότι δεν υπάρχουν αρκετά ιόντα θείου για να σχηματίσουν πυρίτη ( $\text{FeS}_2$ ), επομένως η λεκάνη είναι φτωχή σε άλατα ή πλούσια σε ιόντα σιδήρου. Η παρουσία του μονοσουλφιδίου υποδηλώνει την τροφοδοσία της λεκάνης νερό χαμηλής αλατότητας.

- Το υλικό υφίσταται μετασχηματισμό σε μαγνητίτη κατά την θέρμανση (στους 500°C), πράγμα που σημαίνει ότι πιο πριν υπήρχε σιδερίτης στο δείγμα. Η παρουσία του σιδερίτη υποδηλώνει παρουσία μιας ζώνης μεθανογένεσης και τροφοδοσία της λεκάνης με φρέσκο νερό.
- Η πλειονότητα των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από περιοχές κοντά στα ορυχεία και τους αποθέτες παρουσιάζουν την θερμομαγνητική συμπεριφορά του μαγνητίτη, ενώ τα δείγματα που συλλέχθηκαν από περιοχές μακριά από τα ορυχεία και τους αποθέτες παρουσιάζουν την θερμομαγνητική συμπεριφορά του αιματίτη.

## 5.2 Προτάσεις

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

- Το ενδιαφέρον να επικεντρωθεί στο ΒΔ και ΝΑ τμήμα της λεκάνης της Μεγαλόπολης, με έμφαση στην αστική περιοχή.
- Πυκνότερο δίκτυο δειγματοληψίας και από διαφορετικά βάθη του επιφανειακού εδαφικού ορίζοντα.
- Περαιτέρω μαγνητικές αναλύσεις.
- Πιθανότατα να πρέπει να ληφθούν και υγρά δείγματα.

## 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., Chalie 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.