ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ARISTOTLE
UNIVERSITY OF THESSALONIKI

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
541 24, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

FACULTY OF SCIENCES
SCHOOL OF GEOLOGY
DEPT. OF GEOPHYSICS
LABORATORY OF EXPLORATION GEOPHYSICS
GR 541 24, THESSALONIKI, GREECE

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΟΛΙΘΙΚΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΥΓΗΣ, ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ

Θεσσαλονίκη, Αύγουστος 2004

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΟΛΙΘΙΚΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΥΓΗΣ, ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ

Ερευνητική Ομάδα

Τσόκας Γρηγόριος, Καθηγητής ΑΠΘ (Επιστημονικά Υπεύθυνος)

Βαργεμέζης Γεώργιος, Δρ. Γεωφυσικός, Ε.Ε.ΔΙ.Π. ΑΠΘ

Σταμπολίδης Αλέξανδρος, Δρ. Γεωφυσικός, ΠΕ Γεωτεχνικός ΑΠΘ

Τάσσης Γεώργιος, Μεταπτυχιακός φοιτητής

Καραούλης Μάριος, Μεταπτυχιακός φοιτητής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 4

2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ 5

2.1 Η μαγνητική μέθοδος διασκόπησης. 5

2.2 Ημερήσια μεταβολή του γήινου μαγνητικού πεδίου. 6

2.3 Η μαγνητική χαρτογράφηση ως μέθοδος εντοπισμού και χαρτογράφησης θαμμένων αρχαιοτήτων. 7

2.4 Όργανα μέτρησης. 8

2.4.1Το μαγνητόμετρο ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής (fluxgate magnetometer). 9

3 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ 12

3.1 Πραγματοποίηση των μετρήσεων 12

3.2 Επεξεργασία μαγνητικών δεδομένων 15

3.3 Αποτελέσματα της έρευνας 17

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 26

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 28

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα τεχνική έκθεση περιγράφει τον τρόπο διεξαγωγής και τα αποτελέσματα της Γεωφυσικής Διασκόπησης που πραγματοποιήθηκε στη θέση που φιλοξενεί τα λείψανα νεολιθικού οικισμού στο χωριό Αυγή του Νομού Καστοριάς. Στόχος της έρευνας αυτής είναι η ανίχνευση θαμμένων δομών στη συγκεκριμένη γεωγραφική θέση, οι οποίες είναι υπολείμματα χρήσης του χώρου κατά το παρελθόν, και η κατά το δυνατόν χαρτογράφησή τους.

Η έρευνα αυτή συνιστά ερευνητικό έργο του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης (αρ. 21873, Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ). Η χρηματοδότηση του έργου έγινε από την ΙΖ' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων (ΙΖ' ΕΠΚΑ).

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να εξερευνηθεί το υπέδαφος στο χώρο που φιλοξενεί τα λείψανα προϊστορικού οικισμού. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται κάποια περιληπτική αναφορά στον τρόπο συλλογής, επεξεργασίας και ερμηνείας των δεδομένων. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας.

Η έρευνα που περιγράφεται στην παρούσα έκθεση πραγματοποιήθηκε με την χρήση της μαγνητικής μεθόδου διασκόπησης. Πιο συγκεκριμένα χαρτογραφήθηκε η κατακόρυφη συνιστώσα του διαφορικού ολικού μαγνητικού πεδίου, σε έκταση περίπου 23600 m^2, αναμένοντας να εμφανιστούν διαταραχές που αντανακλούν την ύπαρξη υπεδάφιων λειψάνων της παρελθούσας ανθρώπινης παρέμβασης στο χώρο. Ο χώρος έρευνας κατατμήθηκε σε τετράγωνα (κελιά) 20x20 m^2, σε κάθε ένα εκ των οποίων υλοποιήθηκε κάνναβος 0.5 m. Η πυκνότητα των μετρήσεων καθιστά την έρευνα υψηλής ευκρίνειας.

Για την πραγματοποίηση του έργου συνεργαστήκαμε με την Δρ. Γεωργία Στρατούλη της ΙΖ' ΕΠΚΑ. Για την ανάθεση της έρευνας, τη βοήθεια στην αντιμετώπιση πρακτικών προβλημάτων κατά τη διάρκεια της εργασίας πεδίου, τις πολύτιμες συμβουλές της και την άψογη συνεργασία μας την ευχαριστούμε θερμά.

2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ

Διάφορες γεωφυσικές μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογή στην αρχαιολογική έρευνα. Από αυτές επιλέγονται οι καταλληλότερες ανάλογα με τον χώρο έρευνας και τα χαρακτηριστικά των στόχων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η μαγνητική χαρτογράφηση. Στην απόφαση αυτή συνηγόρησε το γεγονός ότι πρόκειται για θέση κατοίκησης κατά την προϊστορική εποχή, αλλά και η επιτόπια κατόπτευση του χώρου που πραγματοποιήθηκε από τον καθηγητή Γρ. Τσόκα και τον Δρ. Γεώργιο Βαργεμέζη την άνοιξη του 2004 και η ταυτόχρονη εκτίμηση των γεωφυσικών παραμέτρων. Σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της μεθόδου και των παραμέτρων έπαιξε και η συζήτηση με την Δρ. Γεωργία Στρατούλη σχετικά με τις αναμενόμενες υπεδάφιες δομές.

2.1 Η μαγνητική μέθοδος διασκόπησης.

Η αρχή της μεθόδου της μαγνητικής διασκόπησης βασίζεται στον εντοπισμό μεταβολών της μαγνήτισης του υπεδάφους, ανιχνεύοντας ανωμαλίες του γήινου μαγνητικού πεδίου στην επιφάνεια της Γης. Δηλαδή, ανιχνεύονται τοπικές μεταβολές της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου τις οποίες αποδίδουμε στην ύπαρξη διαφοράς μαγνήτισης στα υλικά του φλοιού της Γης. Η καταγραφή των ανωμαλιών αυτών πραγματοποιείται με μεγάλης ακρίβειας μετρήσεις σε κατά το δυνατόν λεπτομερή κάνναβο.

Αν υποθέσουμε ότι έχουμε την ύπαρξη δομής στο υπέδαφος η οποία έχει μαγνητική επιδεκτικότητα της τάξης των 10^{-3} και βρίσκεται θαμμένη σε περιβάλλον με επιδεκτικότητα 10^{-5}. Τότε, το γήινο μαγνητικό πεδίο, που συμβολίζεται με το γράμμα **Η**, δημιουργεί εξ' επαγωγής μαγνήτιση

$$\mathbf{M = \Delta\kappa \times H}$$

στη δομή, όπου $\mathbf{\Delta\kappa}=10^{-2}$. Επομένως δημιουργείται ένα νέο πεδίο **Η**' το οποίο συντίθεται με το επάγον αίτιο, **Η**, και δίνει συνισταμένη, τη μαγνητική επαγωγή, **Β**. Το μέτρο του διανύσματος **Β** είναι αυτό που μετράται κατά την πραγματοποίηση μαγνητικής

διασκόπησης. Επειδή οι περισσότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζονται παραμαγνητικοί, η ένταση της μαγνήτισης είναι σχετικά ασθενής. Αυτό εύκολα συνάγεται από έναν απλό πολλαπλασιασμό των τιμών του **Δκ** με τη μέση ένταση του γήινου μαγνητικού πεδίου που είναι της τάξης των 0.5 Oe.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι μέτρησης των μαγνητικών πεδίων. Στην περίπτωσή μας χρησιμοποιήθηκε διαφορικό μαγνητόμετρο ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής, η αρχή λειτουργίας του οποίου θα περιγραφεί σε επόμενη παράγραφο.

2.2 Ημερήσια μεταβολή του γήινου μαγνητικού πεδίου.

Το μαγνητικό πεδίο της Γης υφίσταται και χρονικές μεταβολές. Αυτές διακρίνονται σε αργές χρονικές μεταβολές οι οποίες είναι γνωστές ως αιώνιες μεταβολές και σε γρήγορες χρονικές μεταβολές οι οποίες είναι γνωστές ως παροδικές μεταβολές. Οι αιώνιες μεταβολές δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μαγνητική διασκόπηση. Αντίθετα οι παροδικές μεταβολές ενδιαφέρουν τη μαγνητική διασκόπηση γιατί επηρεάζουν τις μαγνητικές μετρήσεις.

Οι παροδικές μεταβολές διακρίνονται σε κανονικές ή ημερήσιες μεταβολές και σε μη κανονικές. Κατά την πραγματοποίηση των μαγνητικών παρατηρήσεων για τους σκοπούς της μαγνητικής διασκόπησης μπορούμε να υπολογίσουμε την επίδραση της κανονικής μεταβολής πάνω στις μετρήσεις και να πραγματοποιήσουμε τις σχετικές διορθώσεις, γιατί αυτές παρουσιάζουν ομαλή ημερήσια πορεία. Όμως δε, μπορούμε εύκολα να λάβουμε υπόψη τις μη κανονικές μεταβολές κατά την πραγματοποποίηση των μαγνητικών μετρήσεων για τους σκοπούς της μαγνητικής διασκόπησης, γιατί αυτές παρουσιάζουν ανώμαλη εξέλιξη και πολλές φορές είναι εξαιρετικά έντονες (μαγνητικές καταιγίδες). Για το λόγο αυτό, πρέπει να αποφεύγεται η πραγματοποίηση μαγνητικών μετρήσεων για τους σκοπούς της μαγνητικής διασκόπησης κατά την εμφάνιση έντονων μη κανονικών μεταβολών του μαγνητικού πεδίου.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η διαφορική μαγνητομετρία, δηλαδή όταν έχουμε δύο φωρατές που απέχουν συγκεκριμένη κατακόρυφη απόσταση μεταξύ τους, οι φωρατές μετρούν ταυτόχρονα το γήινο πεδίο και στη συνέχεια γίνεται αφαίρεση των

μετρήσεων. Επομένως η όποια επίδραση λόγω χρονικής μεταβολής του γήινου μαγνητικού πεδίου είναι ίση στους δύο φωρατές, εφ' όσον η μέτρηση είναι ταυτόχρονη, και με την αφαίρεση εξαλείφεται.

2.3 Η μαγνητική χαρτογράφηση ως μέθοδος εντοπισμού και χαρτογράφησης θαμμένων αρχαιοτήτων.

Στην περίπτωση εξερεύνησης αρχαιολογικών χώρων, οι δομές στόχοι που ευρίσκονται στο υπέδαφος και πρέπει να ανιχνευθούν, είναι γενικά μικρών διαστάσεων. Το γεγονός αυτό καθιστά τις μαγνητικές ανωμαλίες που αυτές παράγουν, μικρού πλάτους και μικρού μήκους κύματος σε σύγκριση με τα σήματα που καταγράφονται σε άλλες εφαρμογές της μαγνητικής μεθόδου (π.χ. μεταλλευτική έρευνα).

Επομένως, οι ανωμαλίες που καταγράφονται κατά την μαγνητική διασκόπηση αρχαιολογικών χώρων είναι γενικά ασθενείς. Τα όργανα όμως που τις μετρούν έχουν υψηλή ακρίβεια η οποία είναι συνήθως της τάξης του 0.1-1nT. Επίσης απαιτείται μεγάλη ευαισθησία και αξιοπιστία. Επιπλέον, οι ανωμαλίες αυτές έχουν εξαιρετικά περιορισμένη έκταση στο χώρο. Δηλαδή, θεωρούμενες ως σήματα που προέρχονται από το υπέδαφος παρουσιάζουν μικρό μήκος κύματος. Συνεπώς για να καταγραφούν πλήρως και χωρίς φαινόμενα δίπλωσης (aliasing) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί λεπτομερής κάνναβος μετρήσεων (Τσόκας 1990). Είναι φανερό, ότι η λεπτομέρεια του καννάβου μετρήσεων αντισταθμίζεται από τα διαθέσιμα μέσα και τον απαιτούμενο χρόνο. Έτσι, η τελική απόφαση για τη λεπτομέρεια του καννάβου λαμβάνεται συνεκτιμώντας τα μέσα με το επιθυμητό επιστημονικό αποτέλεσμα.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι υπεδάφια λείψανα της ανθρώπινης δραστηριότητας, με μαγνητικές ιδιότητες διαφορετικές από αυτές του περιβάλλοντος που φιλοξενούνται, αλλάζουν σε μικρό γενικά βαθμό το τοπικό μαγνητικό πεδίο. Αυτή η μικρή παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου παρατηρείται σαν μία "ανωμαλία" στις μετρήσεις.

Περιοχές με αυξημένη μαγνήτιση (εξ' επαγωγής ή παραμένουσα) σε σύγκριση με αυτή του περιβάλλοντος εδάφους παρουσιάζονται ως θετικές ανωμαλίες, ενώ περιοχές με μειωμένη μαγνήτιση παρουσιάζονται ως αρνητικές ανωμαλίες. Και τα δύο είδη

μαγνητικών ανωμαλιών είναι ενδιαφέροντα στην διαδικασία ερμηνείας των μαγνητικών δεδομένων. Τάφροι, εστίες καύσης, αρχιτεκτονικές δομές ή συγκεντρώσεις οργανικού υλικού μπορούν να δημιουργήσουν ισχυρές (θετικές ή αρνητικές) μαγνητικές ανωμαλίες.

Η εφαρμοσιμότητα της μεθόδου ελέγχθηκε πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1950 (Aitken 1974) και έκτοτε αποτελεί βασική και κλασική μέθοδο εξερεύνησης αρχαιολογικών χώρων.

2.4 Όργανα μέτρησης.

Όπως αναφέρθηκε, τα όργανα τα οποία απαιτούνται για τον εντοπισμό των αρχαιολογικών ερειπίων απαιτούν υψηλή ακρίβεια, μεγάλη ευαισθησία και αξιοπιστία των μετρήσεων. Για την μέτρηση του μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιούνται συνήθως μαγνητόμετρα μέτρησης της ολικής έντασης του μαγνητικού πεδίου, ή διαφορικά μαγνητόμετρα για την μέτρηση της κατακόρυφης βαθμίδας του μαγνητικού πεδίου. Τα όργανα αυτά έχουν ακρίβεια της τάξεως 1-0.1 nT. Οι μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου πραγματοποιούνται με την τοποθέτηση του αισθητήρα σε μία σταθερή απόσταση από την επιφάνεια της γης. Οι μετρήσεις λαμβάνονται σε σταθερά διαστήματα (δηλ. με σταθερό βήμα δειγματοληψίας) κάνναβο που υλοποιείται σε ορθογώνια κελιά, σχετικά μικρών διαστάσεων (10x10m ή 20x20m).

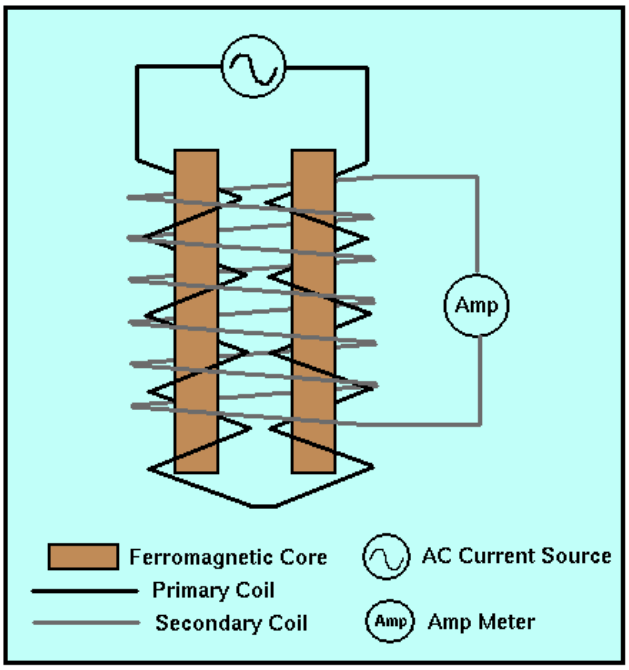
Στην παρούσα έρευνα έγινε χρήση του μαγνητομέτρου ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής ροής (Geoscan FM256 - Fluxgate Gradiometer) το οποίο μετρούσε την διαφορά της έντασης της κατακόρυφης συνιστώσας του γήινου μαγνητικού πεδίου ταυτόχρονα σε δύο διαφορετικά επίπεδα (ύψη) από την επιφάνεια του εδάφους. Με την μέθοδο αυτή έγινε εφικτή η εξομάλυνση των γεωλογικών τάσεων, η άμβλυνση των εξωτερικών παρεμβολών λόγω της εγγύτητας της περιοχής σε συρματοπλέγματα και άλλους εξωγενείς παράγοντες θορύβου και η αποφυγή διορθώσεων λόγω της ημερήσιας μεταβολής της έντασης του ολικού μαγνητικού πεδίου.

2.4.1 Το μαγνητόμετρο ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής (fluxgate magnetometer).

Το μαγνητόμετρο του τύπου αυτού ανήκει στην κατηγορία των ηλεκτρονικών μαγνητομέτρων σε αντίθεση με τα πυρηνικού τύπου μαγνητόμετρα που βασίζονται στο φαινόμενο της «μαγνητικής μετάπτωσης» πυρήνων.

Αρχικά σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκόσμιου πολέμου με στόχο την ανίχνευση υποβρυχίων από αεροπλάνα που πραγματοποιούσαν χαμηλές πτήσεις. Σήμερα χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση αερομαγνητικών μετρήσεων επίσης, αλλά και σε μετρήσεις μέσα σε γεωτρήσεις και τα τελευταία χρόνια και στην αρχαιομετρία.

Μία σχηματική παράσταση της λειτουργίας του μαγνητομέτρου ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής παρουσιάζεται παρακάτω στο σχήμα (2.1).



Σχ. 2.1. Σχηματική παράσταση του μαγνητομέτρου ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής.

Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο κατά το οποίο κάθε μαγνητικό υλικό μεγάλης μαγνητικής επιδεκτικότητας αποκτάει μέγιστη τιμή μαγνήτισης κάτω από την επίδραση ισχυρού μαγνητικού πεδίου. Η τιμή αυτή λέγεται «μαγνήτιση κόρου».

Αποτελείται από δύο όμοιες παράλληλες ράβδους που είναι κατασκευασμένες από υλικό μεγάλης μαγνητικής επιδεκτικότητας που βρίσκονται μέσα σε δύο πηνία.

Η μαγνητική επιδεκτικότητα των δύο ράβδων είναι αρκετά μεγάλη έτσι ώστε το σχετικά αδύναμο μαγνητικό πεδίο της γης να μπορεί να παράγει τον μαγνητικό κορεσμό στις ράβδους.

Κάθε ράβδος είναι περιτυλιγμένη από ένα πηνίο (πρωτεύον) αλλά η φορά περιτύλιξης είναι αντίστροφη. Το πρωτεύον πηνίο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα το οποίο παράγει ισχυρό μαγνητικό πεδίο που επάγει με τη σειρά του ισχυρό μαγνητικό πεδίο στις δύο ράβδους ίδιας έντασης αλλά αντίστροφης φοράς.

Ένα εξωτερικό δευτερεύον πηνίο περιτυλίγει επίσης τόσο τις δύο ράβδους όσο και το πρωτεύον πηνίο. Τα μαγνητικά πεδία που παράγονται στις ράβδους από το πρωτεύον πεδίο παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα στο δευτερεύον πηνίο. Εν απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου (π.χ. αν η γη δεν είχε καθόλου μαγνητικό πεδίο) το δυναμικό που παράγεται στο δευτερεύον πηνίο θα ήταν μηδενικό λόγω του ότι τα μαγνητικά πεδία που διαρρέουν τις δύο ράβδους έχουν την ίδια ένταση αλλά αντίστροφη φορά και αλληλοεξουδετερώνονται.

Όταν οι ράβδοι είναι προσανατολισμένοι παράλληλα στην συνιστώσα ενός εξωτερικού ασθενούς πεδίου, μία ράβδος παράγει μαγνητικό πεδίο στην ίδια φορά με το εξωτερικό πεδίο και το εξουδετερώνει. Στην άλλη ράβδο παράγεται επαγόμενο πεδίο που είναι μικρότερο σε ένταση. Η διαφορά αυτή είναι αρκετή για να παραχθεί μετρήσιμο δυναμικό στο δευτερογενές πηνίο που είναι ανάλογο του μαγνητικού πεδίου στην διεύθυνση των ράβδων. Το δυναμικό αυτό χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τιμής του μαγνητικού πεδίου.

Έτσι, το μαγνητόμετρο ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής είναι ικανό να μετρήσει την ένταση κάθε συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου της γης με τον προσανατολισμό του οργάνου έτσι ώστε οι ράβδοι να είναι παράλληλοι με την επιθυμητή συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου.

Βασικό πλεονέκτημα των μαγνητομέτρου αυτού του τύπου είναι ότι δεν παρουσιάζονται σημαντικές χρονικές μεταβολές κατά την διάρκεια των μετρήσεων όπως αντίθετα συμβαίνει στα πυρηνικά μαγνητόμετρα μέτρησης ολικού πεδίου.

Το FM256 διαφορικό μαγνητόμετρο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα (σχ2.2), έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι ταχύτατο, εύχρηστο, αδιάβροχο, σχετικά εύρωστο και εξαιρετικά αξιόπιστο έτσι ώστε να χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα στόχων (αρχαιολογικών, περιβαλλοντικών, γεωλογικών και στρατιωτικών). Οι αρχαιολογικοί στόχοι περιέχουν πυρίμαχες δομές όπως φούρνους και εστίες φωτιάς καθώς επίσης και υλικά μεγάλης μαγνητικής επιδεκτικότητας όπως ορύγματα, κεραμικά κλπ. Οι δομές αυτές παράγουν μετρήσιμες ανωμαλίες και η πυκνή λήψη μετρήσεων επιτρέπει την χαρτογράφηση και πολλές φορές την αναγνώρισή τους.

Σχ. 2.2. Άποψη του διαφορικού μαγνητομέτρου ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής ροής (Geoscan FM256 - Fluxgate Gradiometer).

3 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Πραγματοποίηση των μετρήσεων

Με στόχο την καταγραφή και αναγνώριση κατά το δυνατόν μικρότερων λεπτομερειών, ο χώρος χωρίστηκε σε μικρά τετράγωνα (κελιά) διατάσεων 20m x 20m. Οι μετρήσεις με τη μέθοδο της μαγνητικής χαρτογράφησης στην περιοχή, πραγματοποιήθηκαν σε κάνναβο 0.5 m, ο οποίος υλοποιήθηκε στο έδαφος για κάθε κελί χωριστά. Η διαδικασία αυτή διευκόλυνε τα μέγιστα στην αντιμετώπιση των τοπογραφικών ανωμαλιών γιατί παρείχε σχετική ευελιξία.

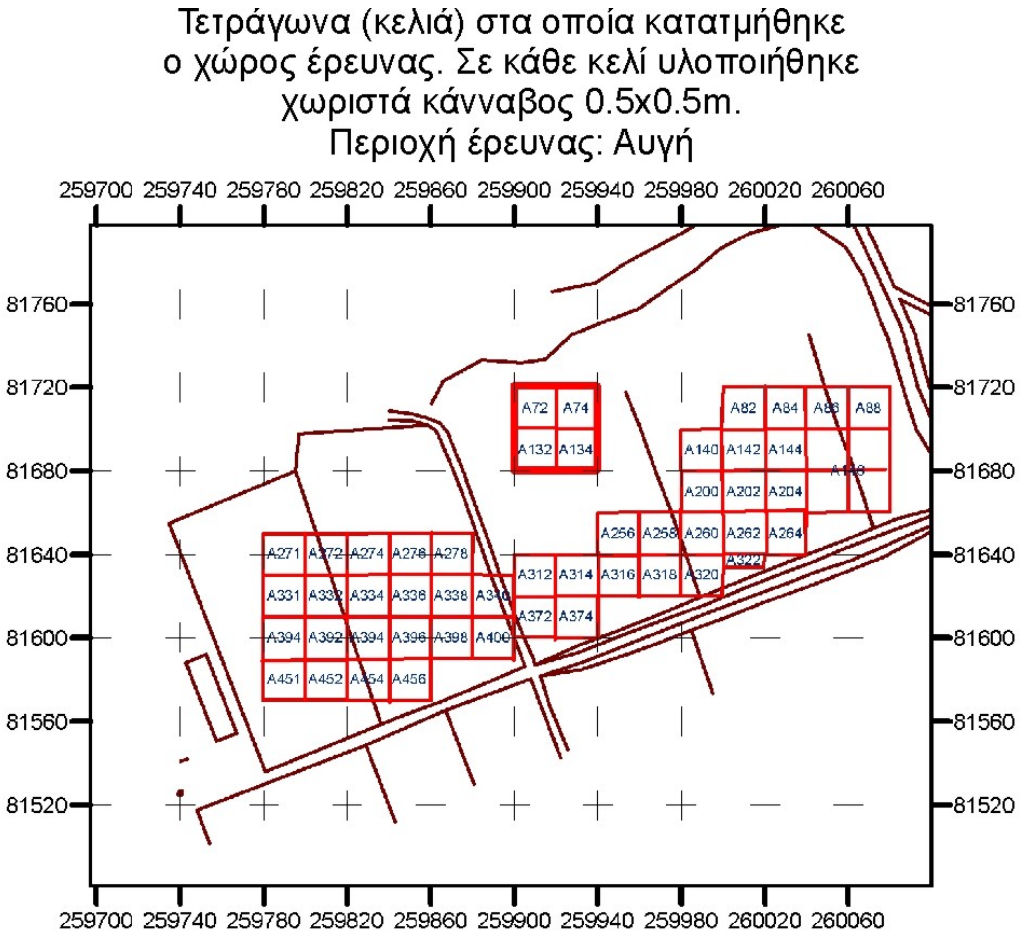
Στη φωτογραφία του σχήματος (3.1) φαίνεται το συνεργείο κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου. Τα συγκεκριμένα κελιά (τετράγωνα) διαστάσεων 20X20 m^2 που υλοποιήθηκαν στο έδαφος, και τα συμβατικά ονόματα που δώσαμε, φαίνονται στο χάρτη του σχήματος (3.2).

Οι μετρήσεις πεδίου έλαβαν χώρα από την 22^{α}/6 έως την 25^{η} /6/2004 σε πρώτη φάση και από την 5^{η}/8 έως την 7^{η} /8/2004 σε δεύτερη. Η τοποθεσία που πραγματοποιήθηκε η έρευνα φαίνεται στην πανοραμική φωτογραφία του σχήματος (3.3).

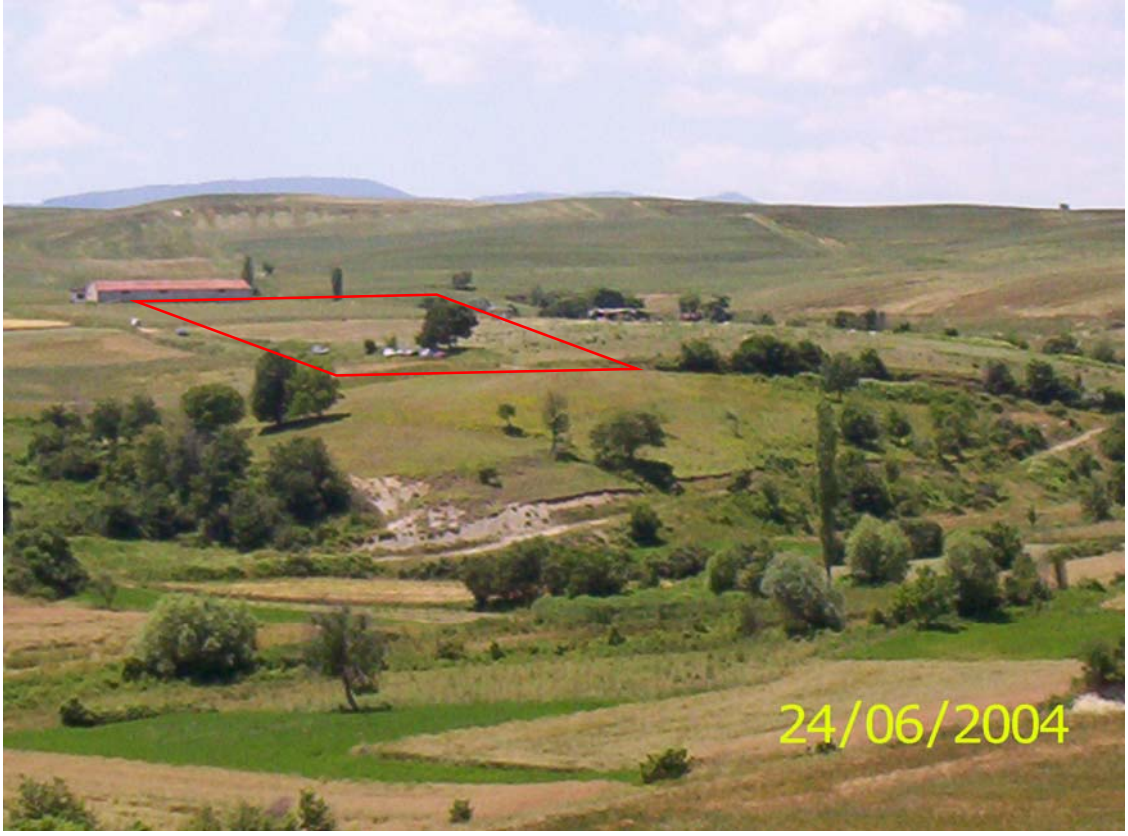
Ο φωρατής του οργάνου καταγραφής (κατώτερος) τοποθετήθηκε σε ύψος 0.4m από το έδαφος με σκοπό την κατά το δυνατόν απομάκρυνση των ανωμαλιών (σημάτων) που θα δημιουργούσαν οι αρόσεις και διάφορες άλλες μικρές ανομοιογένειες του αναγλύφου. Όπως αναφέρθηκε, η χρήση διαφορικού μαγνητομέτρου ρυθμιζόμενης μαγνητικής ροής, αναιρεί την ανάγκη αφαίρεσης της ημερήσιας μεταβολής του γήινου μαγνητικού πεδίου.

Κάθε διαφορετική ημέρα μετρήσεων, πραγματοποιείτο μηδενισμός της ένδειξης του οργάνου και έλεγχος επαναληψιμότητας της μέτρησης σε όλες τις διευθύνσεις. Η διαδικασία αυτή ελάμβανε χώρα σε σημείο απομακρυσμένο ως προς την αρχαιολογική θέση για να διασφαλισθεί κατά το δυνατόν το ουδέτερο του εδάφους. Δηλαδή, καταστήσαμε το σημείο αυτό σημείο αναφορά, θεωρώντας ότι δεν κρύπτονται αρχαιότητες στο υπέδαφος, και θέσαμε την τιμή μηδέν για την απόκριση του περιβάλλοντος εδάφους.

Σχ. 3.1. Μετρήσεις της βαθμίδας του ολικού μαγνητικού πεδίου στη θέση που φιλοξενεί τα λείψανα του νεολιθικού οικισμού στο χωριό Αυγή του Νομού Καστοριάς.



Σχ. 3.2. Τα κελιά (τετράγωνα) διαστάσεων 20mX20m που υλοποιήθηκαν στο χώρο έρευνας, στον προϊστορικό οικισμό στο χωριό Αυγή στο Νομό Καστοριάς. Η κωδική ονομασία των τετραγώνων αποτελείται από το πρόθεμα Α και έναν αριθμό. Ο αριθμός αντιστοιχεί στη σήμανση της βορειοδυτικής γωνίας κάθε κελιού, όπως αυτή αναφέρεται στο τοπογραφικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του καννάβου των ανασκαφικών εργασιών.



Σχ. 3.3. Ο χώρος έρευνας (κόκκινο παραλληλόγραμμο) σε πανοραμική φωτογραφία (λήψη από Νοτιοανατολικά).

3.2 Επεξεργασία μαγνητικών δεδομένων

Η επεξεργασία των μαγνητικών μετρήσεων άρχισε από τις πρώτες ημέρες του προγράμματος. Μετά από τις εργασίες υπαίθρου, γινόταν καταχώρηση των μετρήσεων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, επαλήθευση αυτών και μία αρχική επεξεργασία έτσι ώστε να γίνεται παρακολούθηση της πορείας της έρευνας και αποτελεσμάτων. Η τελική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.

Η επεξεργασία των μετρήσεων περιελάμβανε τα ακόλουθα βήματα:

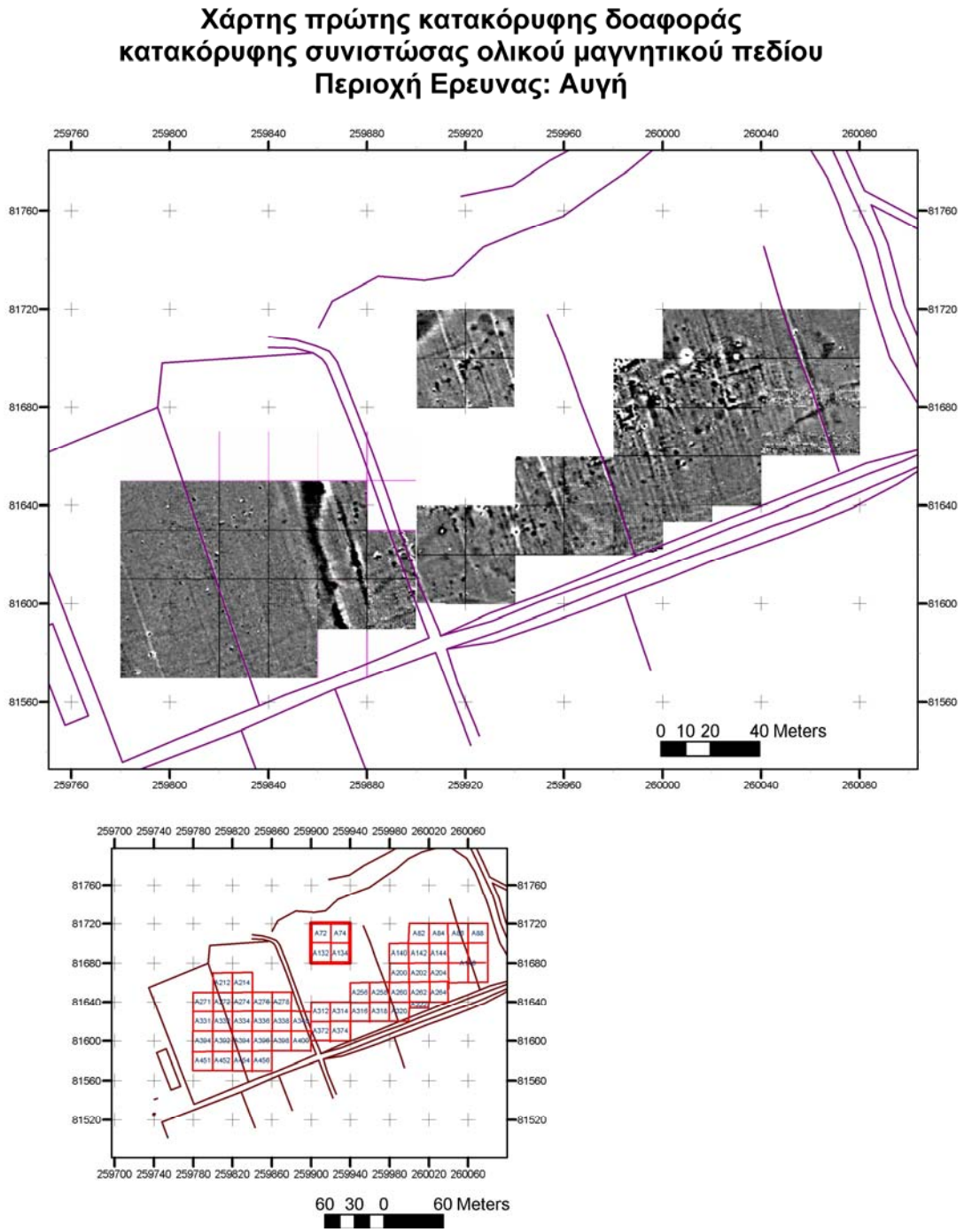
- Μετατροπή των πρωταρχικών δεδομένων με την μορφή συντεταγμένων (x,y,z).
- Αλλαγή συντεταγμένων σε τοπικό σύστημα αναφοράς για την δημιουργία του μωσαϊκού των μαγνητικών κελιών.
- Στατιστική ανάλυση των μετρήσεων σε κάθε όδευση και αναγωγή όλων των μετρήσεων σε κοινό επίπεδο αναφοράς (0-level)
- Εξομάλυνση μετρήσεων κατά μήκος των γραμμών των καννάβων σε περιοχές με έντονο θόρυβο
- Μετατροπή στη χαμηλότερη και υψηλότερη στάθμη αντίστοιχα όλων των τιμών των μικρότερων των -10 nT και μεγαλυτέρων των 10 nT.
- Μεγέθυνση του πίνακα των τιμών με παρεμβολή και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις (συνάρτηση παρεμβολής sinX/X).
- Απομάκρυνση των γραμμώσεων λόγω μικρομεταβολών στην τοποθέτηση των οδεύσεων (Destagger).
- Εφαρμογή φίλτρου γεωμετρικού μέσου όρου σε παράθυρο 3X3 με σκοπό την εξομάλυνση ακραίων τιμών.
- Δημιουργία ασπρόμαυρων χαρτών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως σχήματα τόνων του γκρι χρώματος (Schollar et al., 1986) έτσι ώστε να δίδεται μια εικόνα η οποία προσομοιάζει την κάτοψη των δομών που προκαλούν την ανώμαλη κατανομή των πρώτων κατακόρυφων διαφορών του μαγνητικού πεδίου.

Τέλος έγινε γεωμετρική αναγωγή των γεωφυσικών καννάβων στο τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής. Δηλαδή, τα αποτελέσματα υπερτέθηκαν στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής έρευνας. Ως υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε η αποτύπωση της περιοχής σε προβολή ΕΓΣΑ 1987. Η επιλογή αυτή έγινε γιατί όλη η αρχαιολογική δουλειά έχει χωροθετηθεί στο υπάρχον αυτό υπόβαθρο.

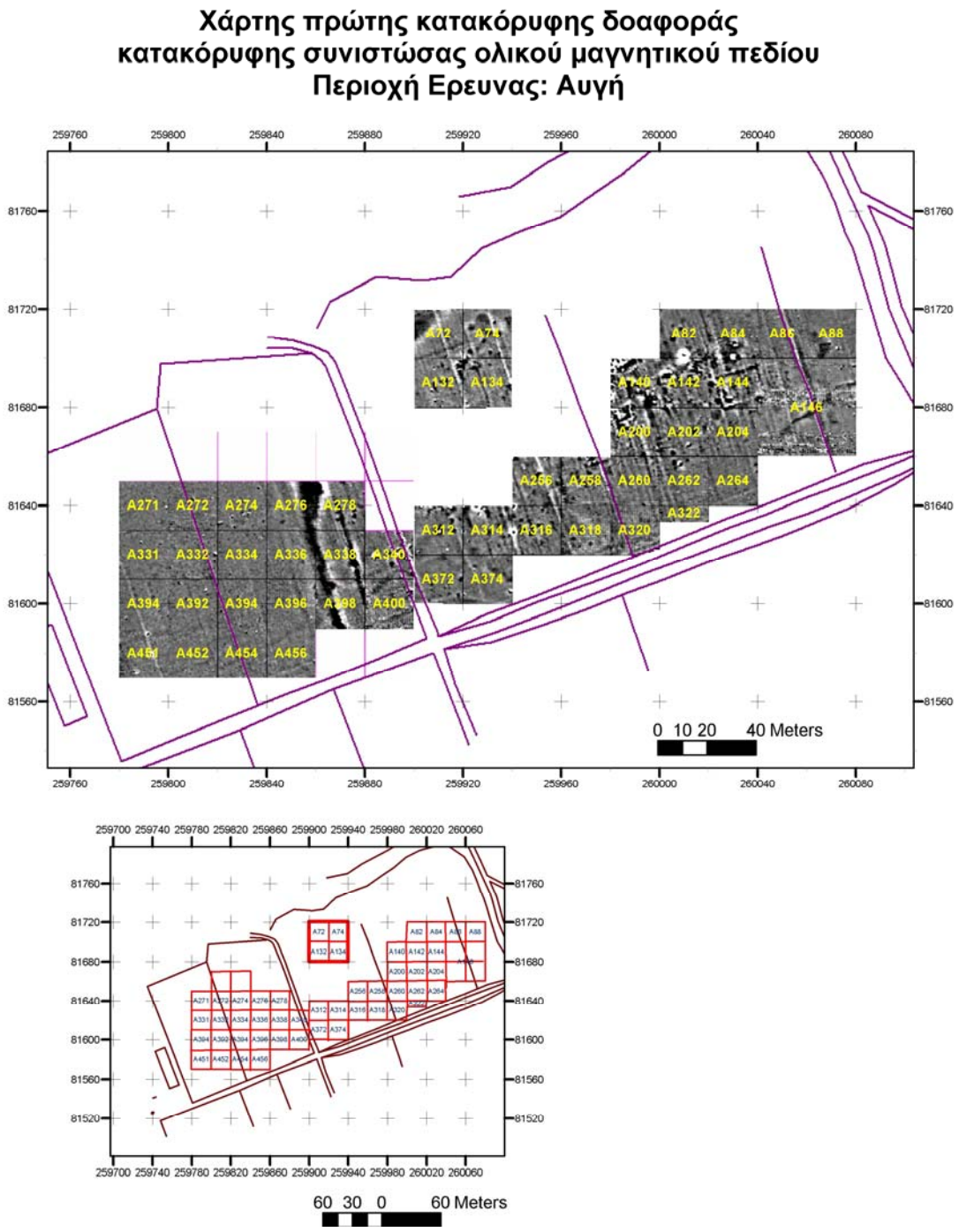
3.3 Αποτελέσματα της έρευνας

Στα σχήματα (3.4) και (3.5) δίδονται απεικονίσεις της κατανομής των πρώτων κατακόρυφων διαφορών του ολικού μαγνητικού πεδίου στο χώρο που ερευνήθηκε. Η διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι οι ονομασίες των κελιών έχουν απαλειφθεί από το πρώτο σχήμα.

Γενικά υπάρχουν αρνητικές γραμμικές ανωμαλίες (λευκοί τόνοι) μεγάλου μήκους. Αυτές εμφανίζονται με διεύθυνση περίπου ΒΒΔ-ΝΝΑ και εμφανίζονται να διατρέχουν όλο σχεδόν το χώρο έρευνας. Τα φαινόμενα αυτά οφείλονται σε αυλάκια τα οποία είναι ορατά στην επιφάνεια και των οποίων η θέση σημειώθηκε κατά τη διαδικασία των μετρήσεων πεδίου. Σε ανωμαλίες του μικροαναγλύφου του εδάφους οφείλονται όμοιες ανωμαλίες αλλά μικρότερου μήκους, οι οποίες εμφανίζονται σποραδικά σε διάφορα σημεία. Τα αυλάκια ή οιασδήποτε μορφής μικρά βυθίσματα του ανάγλυφου του εδάφους παρουσιάζουν μετρήσιμες αρνητικές μαγνητικές ανωμαλίες οι οποίες φυσικά καταγράφονται. Οι ανωμαλίες αυτές αντανακλούν την έλλειψη μαγνητικού υλικού στις συγκεκριμένες θέσεις. Παρ' ότι η παρουσία των φαινομένων αυτών είναι έντονη σ' όλη την έκταση που ερευνήθηκε, το γεγονός ότι είναι εύκολα αναγνωρίσιμα δεν δημιουργεί προβλήματα στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Δηλαδή, δεν δημιούργησε προβλήματα στην αναγνώριση των ανωμαλιών που οφείλονται σε θαμμένες δομές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.



Σχ. 3.4. Κατανομή της πρώτης κατακόρυφης διαφοράς του ολικού μαγνητικού πεδίου στο χώρο έρευνας. Η παρουσίαση είναι σε τόνους του γκρι χρώματος οι οποίοι ισοκατανέμονται μεταξύ των τιμών -10 nT και 10 nT.



Σχ. 3.5. Το αποτέλεσμα της έρευνας στο οποίο συμπεριλαμβάνονται και τα ονόματα των κελιών στα οποία κατατμήθηκε ο χώρος.

Οι μηχανισμοί που προκαλούν τις μαγνητικές ανωμαλίες που κατεγράφησαν μπορούν να κατανοηθούν από τις μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας που πραγματοποιήθηκαν. Αυτές καταχωρούνται στον παρακάτω πίνακα (3.Ι).

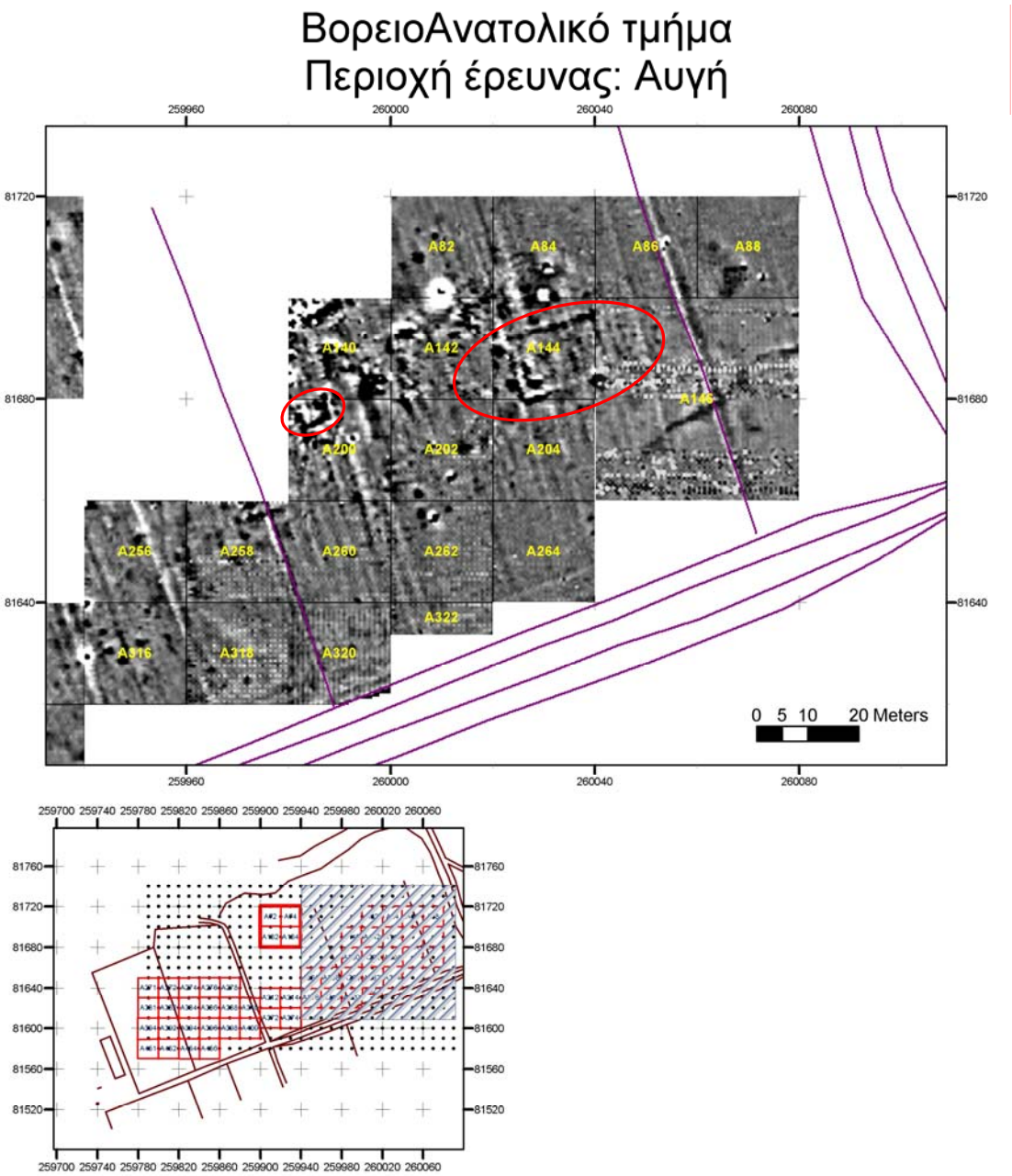
Πίνακας 3.Ι. Μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας στο έδαφος και τα αρχαία δομικά υλικά στον προϊστορικό οικισμό της Αυγής στην Καστοριά.

ΕΙΔΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ (ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (S.I.)
Έδαφος (επιφανειακότερο στρώμα)	10	$32X10^{-4}$
Έδαφος (βαθύτερο στρώμα). Άργιλος	7	$25X10^{-5}$
Ανώτερο στρώμα (Πολιτισμικό)	20	$20X10^{-4}$

Εύκολα συνάγεται από τις μετρήσεις του πίνακα (3.Ι) ότι **δεν** υπάρχει διαφορά στην τιμή της μαγνητικής επιδεκτικότητας μεταξύ του ανώτερου στρώματος του εδάφους και του στρώματος που περιέχει τα λείψανα της παρελθούσας ανθρώπινης δραστηριότητας. Επειδή η έρευνα έγινε τον Ιούνιο του 2004, οι παραπάνω μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στα υλικά που αποκαλύφθηκαν από την ανασκαφή μέχρι το χρονικό αυτό σημείο. Επομένως και τα συμπεράσματα αναφέρονται μέχρι το χρονικό αυτό όριο, δηλαδή δεν αποκλείεται κάποια ανατροπή εφ' όσον προστεθούν νέα ανασκαφικά δεδομένα.

Τα παραπάνω δείχνουν ότι δεν αναμένεται να εμφανιστούν ισχυρές ανωμαλίες, που θα προέρχονται από θαμμένα λείψανα κατασκευών εκτός και αν πρόκειται για εκσκαφές στο βαθύτερο (αργιλικό) στρώμα ή δομές που έχουν υποστεί έντονη επίδραση πυράς.

Στο μεγαλύτερο μέρος του ανατολικού τμήματος (σχ.3.6) εμφανίζονται ανωμαλίες που αντικατοπτρίζουν την πιθανή ύπαρξη δομών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος στο υπέδαφος.



Σχ. 3.6. Το αποτέλεσμα της έρευνας στην ανατολική περιοχή του χώρου που ερευνήθηκε όπου παρουσιάζονται θετικές μαγνητικές ανωμαλίες που προκαλούνται από πιθανή ύπαρξη αρχαιοτήτων στο υπέδαφος. Μερικές μάλιστα εξ΄ αυτών παρουσιάζουν σχήμα παραλληλογράμμου.

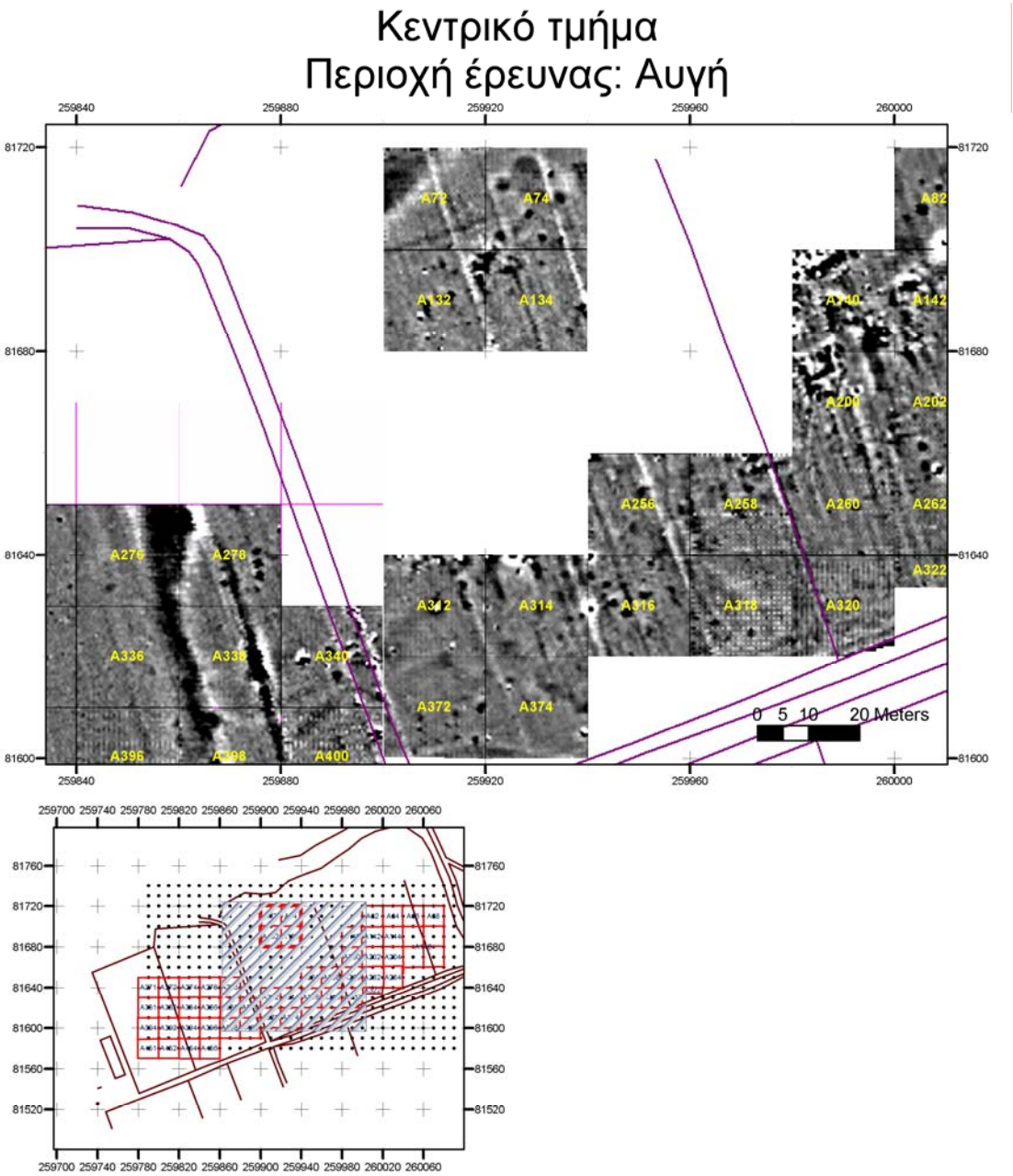
Στα κελιά Α200 και Α144, στους χώρους που σημειώνονται με κόκκινες ελλείψεις, εμφανίζονται ανωμαλίες με σαφές σχήμα παραλληλογράμμου. Το σχήμα υποδεικνύει ότι οι ανωμαλίες αυτές οφείλεται πολύ πιθανά στην ύπαρξη θαμμένων δομών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.

Επίσης γραμμικές ανωμαλίες εμφανίζονται στα κελιά Α146, Α202, Α262, Α140, Α84, Α258 και Α378. Οι ανωμαλίες αυτές μπορούν επίσης να αποδοθούν σε πιθανές υπεδάφιες δομές που σχετίζονται με την παρελθούσα ανθρώπινη δραστηριότητα στο χώρο. Στην ίδια αιτία μπορούν να αποδοθούν και ανωμαλίες κυκλικού σχήματος αλλά μικρών σχετικά διαστάσεων που είναι διάσπαρτες στο ίδιο χώρο.

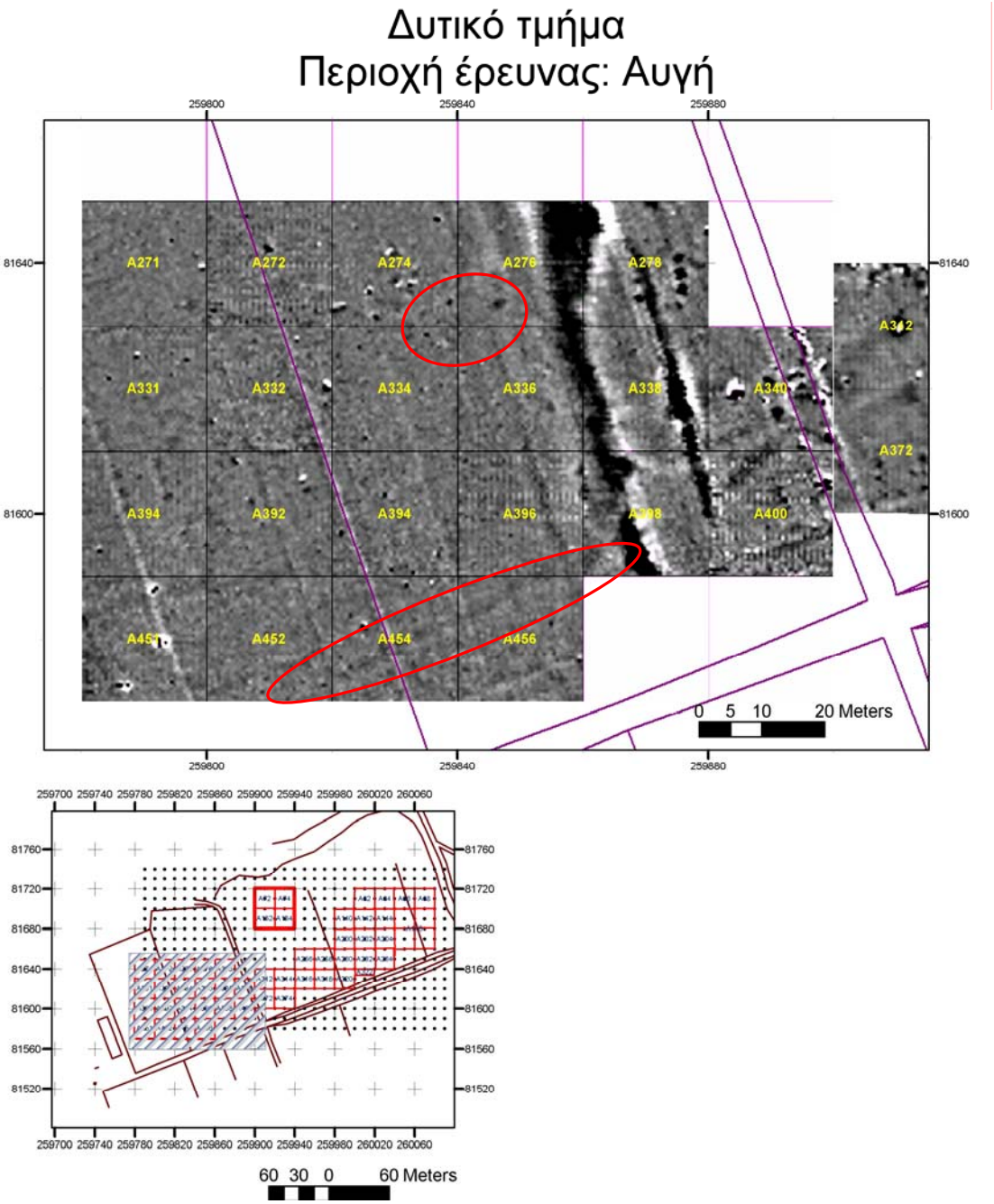
Ιδιαίτερα σημαντικός ερμηνευτικός παράγοντας είναι το γεγονός ότι οι γραμμικές ανωμαλίες που θεωρούνται ότι αντανακλούν την πιθανή ύπαρξη θαμμένων δομών, εμφανίζονται σε συγκεκριμένη διεύθυνση. Δηλαδή, προεξάρχει η διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και η κάθετη σ' αυτή.

Στο κεντρικό και βόρειο τμήμα του χώρου έρευνας (σχ. 3.7), δηλαδή στα κελιά Α72, Α74, Α132 και Α134, παρουσιάζεται σαφής γραμμική ανωμαλία με διεύθυνση πάλι ΔΒΔ-ΑΝΑ. Επίσης σε σκούρους τόνους παρουσιάζονται άλλες κυκλικές ή ακανόνιστου σχήματος ανωμαλίες οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ότι προκαλούνται από δομές που σχετίζονται με την δραστηριότητα στον νεολιθικό οικισμό.

Η έντονη θετική ανωμαλία (σκούροι τόνοι) που διασχίζει τα κελιά Α276, Α278, Α336, Α338 και Α398 είναι πιθανό να οφείλεται στη γεωλογική επαφή που τοποθετείται στον εν λόγω χώρο. Στο σημείο αυτό οι λιμναίες αποθέσεις (μαργαϊκές) που εμφανίζονται στο δυτικό τμήμα που ερευνήθηκε μεταπίπτουν σε τεταρτογενείς χερσαίες αποθέσεις (άργιλοι). Οι μάργες αυτές εμφανίζονται και σε δοκιμαστική τομή σε βάθος 1 m περίπου, η οποία ευρίσκεται στα όρια του κελιού Α322. Τα παραπάνω είναι περισσότερο εμφανή στο σχήμα (3.8), το οποίο παρουσιάζει τα αποτελέσματα του δυτικού τμήματος της περιοχής έρευνας. Επειδή όμως δεν υπάρχει επιφανειακή ορατή απόδειξη της επαφής, καλό θα είναι να διανοιχθεί ένα δοκιμαστικό σκάμμα στο κελί Α278, ακριβώς στο σημείο εμφάνισης της ανωμαλίας. Αν η ανωμαλία οφείλεται σε δομή αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, τότε αυτή θα πρέπει να είναι μεγάλου μήκους.



Σχ. 3.7. Το αποτέλεσμα της έρευνας στην κεντρική περιοχή του χώρου που ερευνήθηκε.



Σχ. 3.8. Το αποτέλεσμα της έρευνας στη δυτική περιοχή του χώρου που ερευνήθηκε.

Ανατολικά της τοποθεσίας που σχολιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, παρουσιάζεται επίσης μια επιμήκης ανωμαλία (κελιά α278, α338 και Α398) η οποία οφείλεται εν μέρει σε ορατό αυλάκι. Αυτό όμως πρέπει να έχει καλυφθεί σε κάποιο τμήμα του από υλικό από το επιφανειακότερο στρώμα και γι' αυτό εμφανίζει θετική ανωμαλία (σκούροι τόνοι).

Γενικά η δυτική περιοχή δεν παρουσιάζει έντονες και σαφής ανωμαλίες όπως η ανατολική. Σε μερικά μόνο σημεία, που σημειώνονται με ελλείψεις, θα μπορούσε κανείς με πολύ επιφύλαξη να διακρίνει κάποιες ανωμαλίες που ίσως θα μπορούσαν να αποδοθούν σε αρχαιότητες.

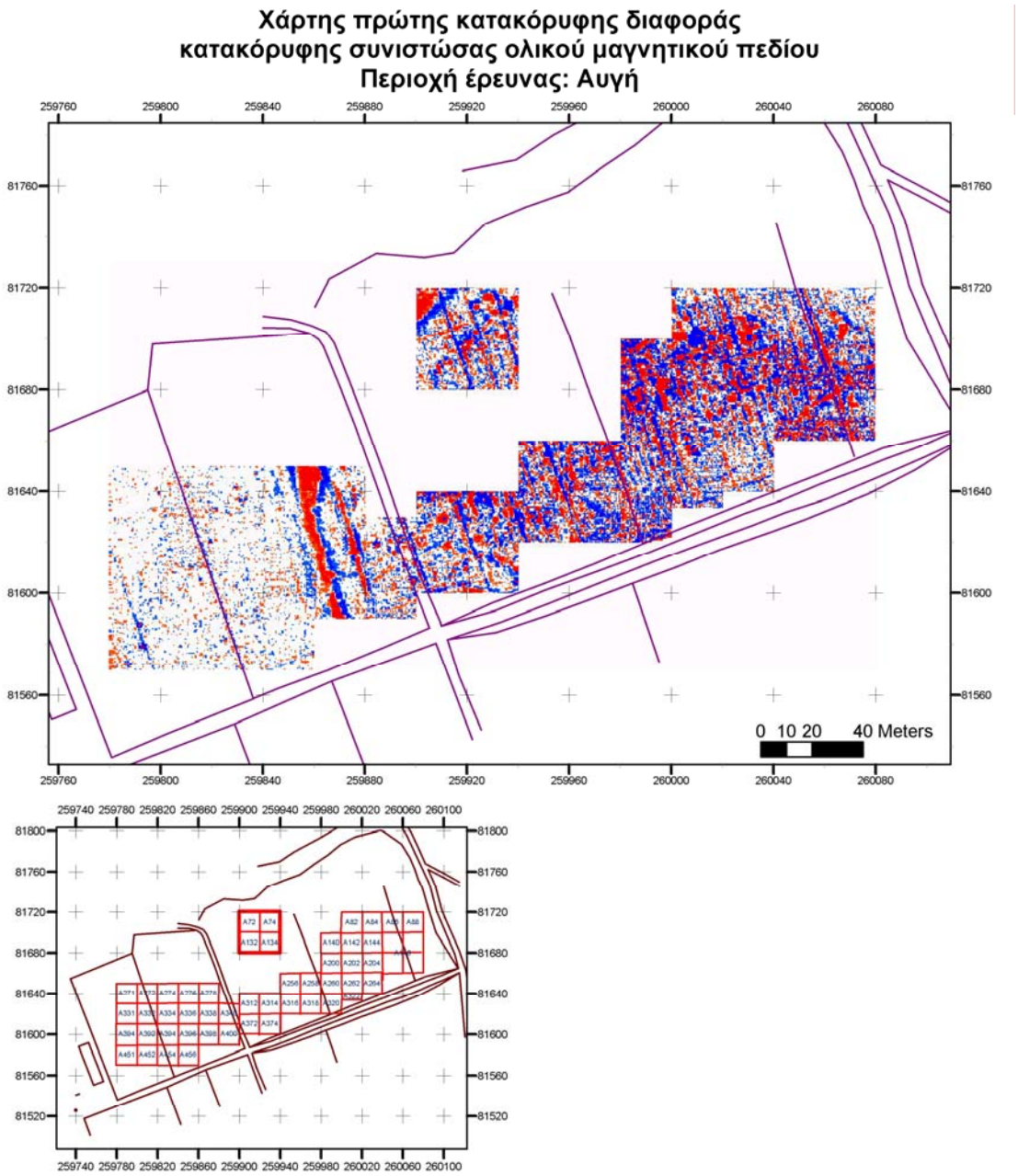
4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνολικά εξερευνήθηκαν **23600 m^2** στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Από την ανάλυση των προηγουμένων σελίδων προκύπτει, ότι η γεωφυσική διασκόπηση στο συγκεκριμένο χώρο, έδειξε την ύπαρξη ανωμαλιών. Κάποιες από τις ανωμαλίες αυτές αντανακλούν την ύπαρξη σχετικά περισσότερο ή λιγότερο μαγνητισμένων δομών στο υπέδαφος. Οι δομές αυτές, είναι πιθανά λείψανα, της χρήσης του χώρου κατά τη νεολιθική εποχή όπως τεκμαίρεται κυρίως από το σχήμα των ανωμαλιών που προκαλούν. Το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να θεωρηθεί ότι απεικονίζεται πλήρως στα σχήματα (3.4) και (3.5). Το ίδιο αποτέλεσμα δίνεται σε μορφή έγχρωμου χάρτη της κατανομής της πρώτης κατακόρυφης διαφοράς του μαγνητικού πεδίου στο σχήμα (4.1).

Πρέπει να σημειωθεί ότι στα τελικά σχήματα εμφανίζονται και ανωμαλίες (κυρίως αρνητικού χαρακτήρα) που οφείλονται σε αυλάκια και βαθιές αρόσεις στην επιφάνεια του εδάφους. Η θέση των δομών αυτών σημειώθηκε κατά τη διαδικασία λήψης των μετρήσεων και επομένως δεν απετέλεσαν πρόβλημα κατά την ερμηνεία των δεδομένων.

Οποιαδήποτε μελλοντικά ανασκαφικά δεδομένα, ιδιαίτερα αυτά που θα προκύψουν από δοκιμαστικά σκάμματα στη θέση των ανωμαλιών που εντοπίστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, θα οδηγήσουν σε πλήρη ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων. Το προφανές αυτό γεγονός, υπενθυμίζει ότι οι χάρτες που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη πρέπει να θεωρούνται ως δυναμικό δεδομένο μέχρι την ολοκλήρωση της ανασκαφής.

Η παρέμβαση έγινε χωρίς να επηρεαστεί το παραμικρό στον χώρο, δηλαδή με πλήρως μη καταστροφικό τρόπο.



Σχ. 4.1. Κατανομή της πρώτης κατακόρυφης διαφοράς του ολικού μαγνητικού πεδίου στο χώρο έρευνας. Η παρουσίαση είναι με τόνους του μπλε και του κόκκινου χρώματος οι οποίοι ισοκατανέμονται μεταξύ των τιμών -10 nT και 10 nT.

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aitken, M.J. Physics and Archaeology. Clarendon Press, Oxford, 1974.

Scollar, I. Weidner, B. and Segeth, K. Display of archaeological magnetic data. Geophysics, 51, 3, 623-633, 1986.

Τσόκας, Γ.Ν. Εισαγωγή στις μεθόδους ανάλυσης και ερμηνείας γεωλογικών παρατηρήσεων, Παν. Θεσ/νίκης, 1990.