

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΡΑΦΙΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΙΑΣΠΑΡΤΟΥ ΘΕΡΜΩΝ, Ν. ΞΑΝΘΗΣ

Μάραντος Ι., Κάρμης Π. και Καραντάση Σ.  
ΙΓΜΕ, Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην περιοχή Διάσπαρτο Θερμών του Ν. Ξάνθης, απαντά ορίζοντας γνευσίου πλούσιου σε φυλλώδη γραφίτη. Η κύρια επιφανειακή του ανάπτυξη είναι της τάξης των 400m και το πάχος του κυμαίνεται από 1,5 μέχρι 7m περίπου. Ο γραφίτης εμφανίζεται με μορφή φυλλαρίων σχετικά μεγάλου μεγέθους. Ο ορίζοντας του γραφίτη γνευσίου χαρτογραφήθηκε σε κλίμακα 1:2.000 και διερευνήθηκε με γεωφυσικές μεθόδους [εφαρμόστηκε η Transient Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος (TEM)] και γεωτρήσεις, με στόχο τον προσδιορισμό της υπόγειας ανάπτυξης του μεταλλοφόρου σώματος, της γεωμετρίας του και την εκτίμηση του μεταλλευτικού δυναμικού. Ανορύχθηκαν συνολικά 10 γεωτρήσεις, οι οποίες διέτρησαν μεταλλοφορία σε πάχη κυμαινόμενα από 1,5-10m. Τα αποθέματα του γραφίτη μεταλλεύματος, βάσει των δεδομένων της χαρτογράφησης, της γεωφυσικής έρευνας και των γεωτρήσεων, εκτιμάται ότι υπερβαίνουν τους 600.000 τόνους, με περιεκτικότητα σε άνθρακα που κυμαίνεται από 3 μέχρι 11,85%. Μελετήθηκε επίσης η ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων της περιοχής και της μεταλλοφορίας και προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα σε γραφίτη άνθρακα.

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανάμεσα στα πιο σημαντικά βιομηχανικά ορυκτά ο γραφίτης, κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό σύστημα και απαντά συνήθως με μορφή φυλλαρίων. Ο σχηματισμός του γραφίτη μπορεί να οφείλεται είτε σε ανακρυστάλλωση οργανικού άνθρακα κατά τη μεταμόρφωση, είτε να είναι αποτέλεσμα μαγματικής δράσης.

Οι διάφοροι τύποι κοιτασμάτων γραφίτη συνοψίζονται από τους Harben & Kuzvart (1996) και είναι οι εξής: α) αρχικού μαγματικού σταδίου (early magmatic), β) κοιτάσματα μετασωμάτωσης επαφής, γ) κοιτάσματα υδροθερμικών φλεβών (hydrothermal vein), και δ) μεταμορφογενή (metamorphogenic alter by contact metamorphism or regional metamorphism).

Στην ορολογία των βιομηχανικών ορυκτών, ο **γραφίτης**, ανάλογα με το μέγεθος των κρυστάλλων του και την εμφάνισή του χαρακτηρίζεται γενικά ως **λεπιώδης** (flake), **συμπαγής** (lump) και **άμορφος**. Οι διάφοροι τύποι γραφίτη που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ποικίλουν σε σύσταση από 40 έως 100% σε γραφίτη άνθρακα. Σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του γραφίτη και τις τελικές χρήσεις παίζει το μέγεθος των κρυστάλλων, η περιεκτικότητα σε άνθρακα (C) και το είδος των διαφορών προσμίξεων.

Στην ευρύτερη περιοχή των Θερμών απαντά διάσπαρτος κρυσταλλικός γραφίτης σε ορίζοντες μαρμάρων και γνευσίων. Η κατανομή του γραφίτη στα μάρμαρα είναι ανομοιόμορφη και η περιεκτικότητά τους μικρή. Στην περιοχή Διάσπαρτο (Σχ. 1), απαντά ορίζοντας γνευσίου πλούσιου σε φυλλώδη γραφίτη που αποτέλεσε το αντικείμενο ερευνητικού προγράμματος, το οποίο περιελάμβανε χαρτογραφήσεις, γεωφυσικές διασκοπήσεις, γεωτρήσεις, δοκιμές εμπλουτισμού και οικονομική αξιολόγηση.

Στη μελέτη αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κοιτασματολογικής μελέτης, τα οποία περιλαμβάνουν ορυκτολογικά στοιχεία από τον γραφίτη ορίζοντα, γεωφυσικά δεδομένα και δεδομένα του γεωτρητικού προγράμματος.

## 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για τη μελέτη της ποιότητας και των αποθεμάτων του γραφιτικού γνευσίου, έγινε χαρτογράφηση του ορίζοντα σε κλίμακα 1:2.000 και της ευρύτερης περιοχής σε κλίμακα 1:5.000. Μελετήθηκε η ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων και της μεταλλοφορίας με τη βοήθεια πολωτικού μικροσκοπίου. Οι αναλύσεις των κύριων στοιχείων έγιναν με την μέθοδο της ατομικής απορρόφησης στο χημείο της Περιφερειακής Μονάδας Ανατολικής Μακεδονίας, Θράκης του ΙΓΜΕ. Για τον προσδιορισμό του γραφιτικού άνθρακα έγινε προσβολή του κονιοποιημένου δείγματος με HCl, και ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας μετρήθηκε σε συσκευή LECO 244 CS στη Διεύθυνση Χημείας του ΙΓΜΕ.

Ο γραφικός ορίζοντας και τμήμα της ευρύτερης περιοχής ερευνήθηκε με γεωφυσικές μεθόδους. Οι μεταλλοφόρες συγκεντρώσεις γραφίτη χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης, στην περιοχή  $10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \Omega \cdot m$  για υψηλής περιεκτικότητας μετάλλευμα, έως  $0.13 \Omega \cdot m$  για γραφικό σχιστόλιθο. Η Transient Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος (TEM) είναι η πλέον κατάλληλη για τον εντοπισμό ισχυρά αγώγιμων στόχων και εφαρμόστηκε στο συγκεκριμένο γεωφυσικό πρόγραμμα. Σκοπός της γεωφυσικής έρευνας ήταν να προσδιορισθεί η υπόγεια έκταση του μεταλλοφόρου σώματος, η γεωμετρία του και να συμβάλει στην εκτίμηση του μεταλλευτικού δυναμικού.

Παρά τον ποιοτικό χαρακτήρα της ερμηνείας των γεωφυσικών αποτελεσμάτων κατά τον χρόνο της έρευνας (1991), τα αποτελέσματα προσδιόρισαν την οριζόντια έκταση της μεταλλοφορίας, την τεκτονική δομή και συνέβαλαν στον σχεδιασμό του γεωτρητικού προγράμματος.

Πρόσφατα έγινε ποσοτική επανερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων, μετά την ανάπτυξη αυτόματου ερμηνευτικού λογισμικού (Κάρμης 2003), τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται, με σκοπό να τονισθεί η σημασία της ποσοτικής ερμηνείας της Transient Ηλεκτρομαγνητικής έρευνας και να γίνει εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του ερμηνευτικού σχήματος λαμβάνοντας υπόψη τα γεωτρητικά αποτελέσματα. Τέλος, η ανάπτυξη του ορίζοντα διερευνήθηκε με γεωτρήσεις.

## 3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή των Θερμών δομείται κύρια από μεταμορφωμένα πετρώματα που ανήκουν στους σχηματισμούς της γεωτεκτονικής ζώνης της Ροδόπης. Οι Arvanitides et al (1987), διαιρούν το μεταμορφωμένο της Ροδόπης στην περιοχή Θερμών, σε αυτόχθονο και παρααλόχθονο. Το αυτόχθονο τμήμα αποτελείται από τον σχηματισμό των αμφιβολιτών, αμφιβολιτικών – βιοιτιτικών και βιοιτιτικών γνευσίων και από τον σχηματισμό των γρανιτωμένων γνευσίων. Το αλλόχθονο τμήμα αποτελείται από γνεύσιους, αμφιβολίτες και μάρμαρα και αποτελεί τεκτονικό κάλυμμα του αυτόχθονου.

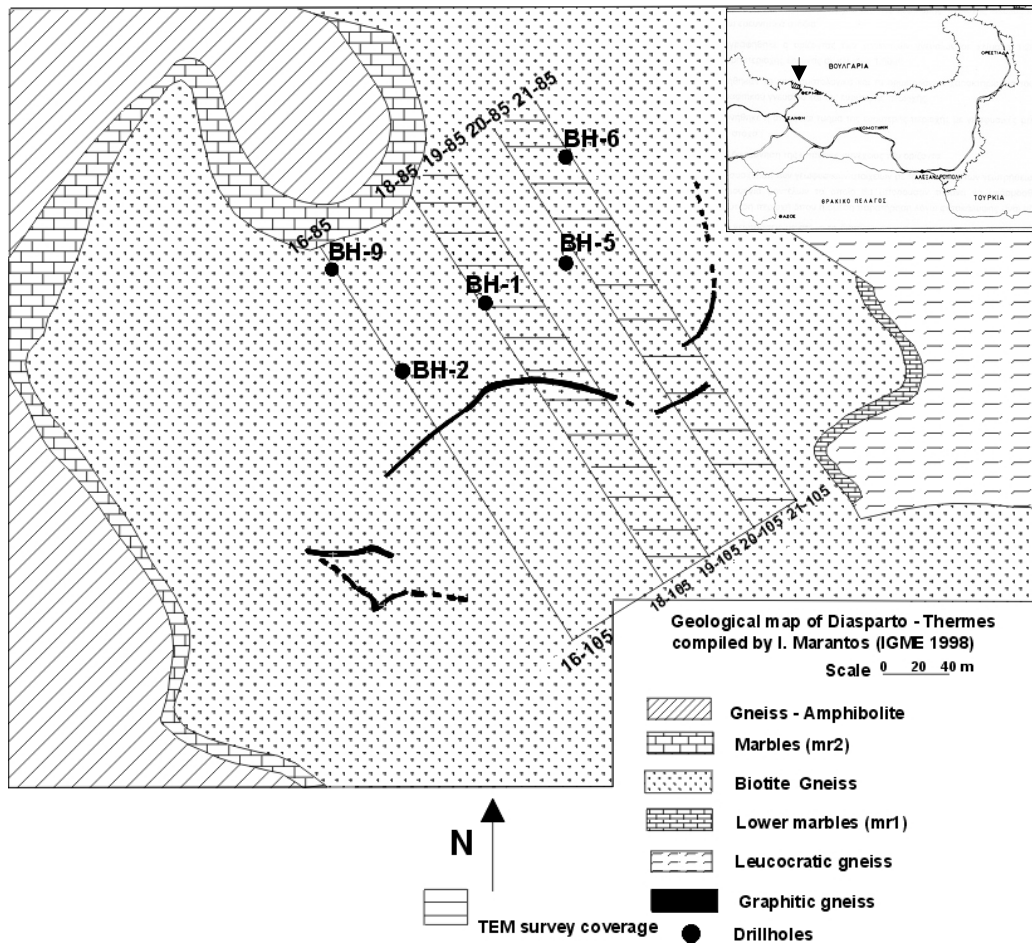
Στην περιοχή της μελέτης απαντούν γνεύσιοι, αμφιβολίτες και μάρμαρα. Τα μεταμορφωμένα πυριτικά πετρώματα χωρίστηκαν σε τέσσερις σχηματισμούς, με βάση τρεις οριζόντες μαρμάρων - κατώτερα ( $mr_1$ ), ενδιάμεσα ( $mr_2$ ), και ανώτερα ( $mr_3$ )- (Μάραντος & Ζάχος 1990, Μάραντος 1998) που διακρίναμε στη περιοχή (Σχ. 1).

Τα πετρώματα που απαντούν στα κατώτερα του αναγλύφου είναι μονότονοι ανοιχτόχρωμοι βιοιτιτικοί γνεύσιοι ( $gn_1$ ), οι οποίοι στις επαφές τους με τον κατώτερο ορίζοντα των μαρμάρων ( $mr_1$ ), μπορεί να είναι έντονα τεκτονισμένοι.

Μεταξύ του ορίζοντα των κατώτερων μαρμάρων και των ενδιάμεσων απαντά ο σχηματισμός των βιοιτιτικών-γρανατούχων-κουανιτικών γνευσίων **Gn<sub>2</sub>**, στον οποίο στο Διάσπαρτο, απαντά ορίζοντας οφθαλμώδους γραφιτικού γνευσίου ο οποίος είναι και το κύριο αντικείμενο έρευνας της μελέτης.

Πάνω από τα ενδιάμεσα μάρμαρα, απαντά ο σχηματισμός των γνευσιοαμφιβολιτών (**Ab-Gn-Mr**) ο οποίος αποτελείται από εναλλαγές ποικίλου πάχους αμφιβολιτών, βιοιτιτικών γνευσίων και ενστώσεων μαρμάρων ( $mr$ ).

Τα ανώτερα μάρμαρα (**mr<sub>3</sub>**), είναι λευκά, αδροκρυσταλλικά, εμπεριέχουν διάσπαρτους κρυστάλλους γραφίτη και χαρακτηρίζονται από σημαντική ανάπτυξη πηγματιτών κατά την στρώση σε ποσοστό που μπορεί να φθάνει το 50% του σχηματισμού. Τέλος, στα ανώτερα τμήματα της περιοχής, απαντούν μονότονοι ανοιχτόχρωμοι βιοιτιτικοί-λευκοκρατικοί γνεύσιοι (**gn<sub>3</sub>**), οι οποίοι συχνά περιέχουν πηγματίτες.



Σχήμα 1: Θέση περιοχής έρευνας. Γεωλογικός χάρτης περιοχής Διάσπαρτου Θερμών (Μάραντος 1998).

#### 4 ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Στη γεωλογική δομή της περιοχής μετέχουν μεταμορφωμένα πετρώματα γνευσιακής, αμφιβολιτικής και ανθρακικής σύστασης.

Τα πετρώματα έχουν υποστεί καθολική μεταμόρφωση τύπου Barrow σε συνθήκες ανώτερης αμφιβολιτικής φάσης, υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων (καμπύλη σιλλιμανίτη/δισθενούς)

Λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας αλλά και της πίεσης (παρουσία δισθενή), τα γνευσιακά κυρίως μέλη του μεταμορφωμένου συστήματος έχουν υποστεί μερική τήξη αποτέλεσμα της οποίας είναι η δημιουργία μιγματιτών. Το λευκοκρατικό υλικό αναπτύσσεται σε φωλιές ή φλεβίδια στη μάζα των γνευσίων. Σε όλους τους σχηματισμούς υπάρχουν δευτερογενή ορυκτά εξαλλοίωσης (χλωρίτης, σερίκίτης, οξειδία-υδροξειδία του σιδήρου, πρενίτης κλπ). Σε αρκετά από τα μελετηθέντα δείγματα έχουν δημιουργηθεί λόγω δυναμομεταμόρφωσης κατακλαστικοί ιστοί και λόγω κυκλοφορίας διαλυμάτων δευτερογενή ορυκτά εξαλλοίωσης

Οι διάφοροι πετρολογικοί σχηματισμοί, παρουσιάζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Οι ανοιχτόχρωμοι βιοτιτικοί γνεύσιοι (Gn<sub>1</sub>), είναι μιγματιπωμένοι, και έχουν σαν κύρια ορυκτολογικά συστατικά, αστρίους (καλιούχοι και πλαγιόκλαστα), χαλαζία και βιοτίτη.

Ο σχηματισμός των βιοτιτικών-γρανατούχων-κυανιτικών γνευσίων, (Gn<sub>2</sub>), αποτελείται από εναλλαγές διαφόρων τύπων μιγματιτικών γνευσίων όπως βιοτιτικών, γνευσίων με βιοτίτη-γρανάτη-κυανίτη, αμφιβολιτικών-βιοτιτικών γνευσίων, αμφιβολιτικών γνευσίων και σπανιότερα αμφιβολιτών. Σχεδόν σε όλα τα πετρώματα της σειράς απαντά διάσπαρτος γραφίτης. Χαρακτηριστικά ορυκτά εί-

και ο καστανέρυθρος βιοτίτης, ο κυανίτης που απαντά σε ευμεγέθεις κρυστάλλους, ο σιλλιμανίτης (σε μικρή αναλογία) και ο γρανάτης.

Ο σχηματισμός ενδιάμεσων μαρμάρων ( $m_2$ ), έχει συνήθως πάχος μερικών μέτρων και αποτελείται από εναλλαγή λεπτών στρώσεων ανθρακικών με γραφίτη, γνευσίων και αμφιβολιτών.

Ο σχηματισμός των γνευσιοαμφιβολιτών ( $Ab-Gn-Mr$ ), αποτελείται από γνεύσιους, αμφιβολίτες με ενστρώσεις μαρμάρων και αποτελούνται κύρια από χαλαζία+πλαγιόκλαστο+ ορθόκλαστο+βιοτίτη.

Τέλος ο σχηματισμός των βιοιτικών γνευσίων ( $Gn_3$ ) αποτελείται από μοτόνους ανοιχτόχρωμους γνεύσιους. Στη μάζα των πετρωμάτων επικρατεί το λευκοκρατικό υλικό της ανάτηξης χαλαζίας, πλαγιόκλαστο, μικροκλινής συμμετέχει όμως σε μικρό ποσοστό απαντά και αρχικό γνευσιακό υλικό το οποίο είναι πιο λεπτόκοκκο και περιέχει καστανέρυθρο βιοτίτη.

## 5 ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΓΡΑΦΙΤΙΚΟΥ ΓΝΕΥΣΙΟΥ

Το μήκος του στην κύρια επιφανειακή του ανάπτυξη είναι της τάξης των 400m και το πάχος του στην επιφάνεια κυμαίνεται από 1,5 μέχρι 7m περίπου. Η συνέχεια του ορίζοντα διαταράσσεται από ρήγματα ΒΔ διεύθυνσης. Οι κλίσεις του είναι ΒΒΔ μέχρι ΒΑ, της τάξης των  $20^\circ$ . Οι γραφικοί γνεύσιοι εκτός από το οφθαλμώδη ιστό παρουσιάζονται συνήθως λατυποπαγοποιημένοι και έχουν προσανατολισμένη και ταινιωτή υφή (Φωτ. 1).



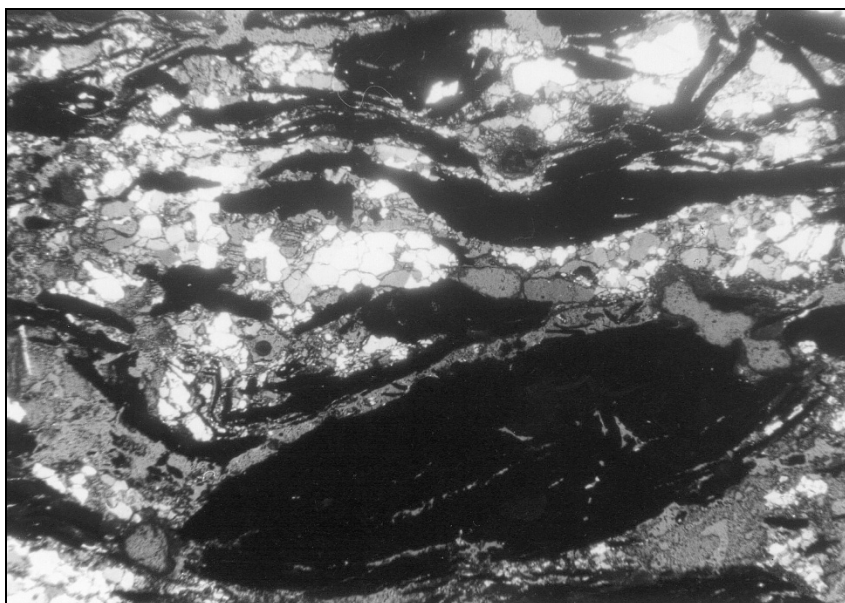
Φωτ 1. Γραφικός ορίζοντας Θερμών

Η σύσταση των γνευσίων είναι κατά βάση λευκοκρατική. Η συμμετοχή ορισμένων δευτερευουσών ορυκτολογικών φάσεων (βιοτίτης, γρανάτης κλπ) δημιουργεί διάφορες παραλλαγές. Τα λευκοκρατικά συστατικά των πετρωμάτων αποτελούνται από χαλαζία και αστρίους, οι οποίοι αντιπροσωπεύονται από όξινα πλαγιόκλαστα και καλιούχους αστρίους. Τα πλαγιόκλαστα είναι συνήθως εξαλλοιωμένα σε σερικίτη και αργιλικά ορυκτά ενώ οι καλιούχοι παραμένουν υγιείς.

Από τις αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν με την μέθοδο της αύλακας από τον γραφικό ορίζοντα φαίνεται ότι η περιεκτικότητα σε γραφίτη κυμαίνεται από 3 μέχρι 11.85% (Πίνακας 1)

Ο γραφίτης απαντά υπό μορφή φυλλαρίων μεγάλου σχετικά μεγέθους, είναι προσανατολισμένοι κατά το επίπεδο σχιστότητας και παραμορφωμένοι (Φωτ. 2). Οι συνήθεις διαστάσεις των γραφικών ελασμάτων κυμαίνονται περίξ των 0.5mm μήκος και 0.02mm πλάτος. Τα φυλλάκια του γραφίτη παρουσιάζουν κάμψεις, πτυχώσεις και ορισμένες φορές μια ακαταστασία (διατάραξη προσανατολισμού), γεγονός που συνδυάζεται με την λατυποποίηση του πετρώματος σε κάποια μεταγενέστερη φάση. Μερικές φορές ο γραφίτης βρίσκεται αναμεμιγμένος με οξει-

δια και υδροξείδια του σιδήρου που εμποτίζουν και το χαλαζοαστρίουχο υλικό που τα περιβάλλει, ενώ συχνά παρεμβάλλεται και μεταξύ των γραφικών φυλαρίων. Οι σιδηρούχες φάσεις αντιστοιχούν σε γκαϊπίτη, αιματίτη και σε ορισμένες περιπτώσεις ψευδομορφώνουν υπιδιόμορφους κόκκους σιδηροπυρίτη.



Φωτ. 2. Ανάπτυξη φυλλαρίων γραφίτη (X2,5, ⊥ Nicolls)

Πίνακας 1. Αναλύσεις δειγμάτων που πάρθηκαν με την μέθοδο της αύλακας από τον γραφίτικό ορίζοντα.

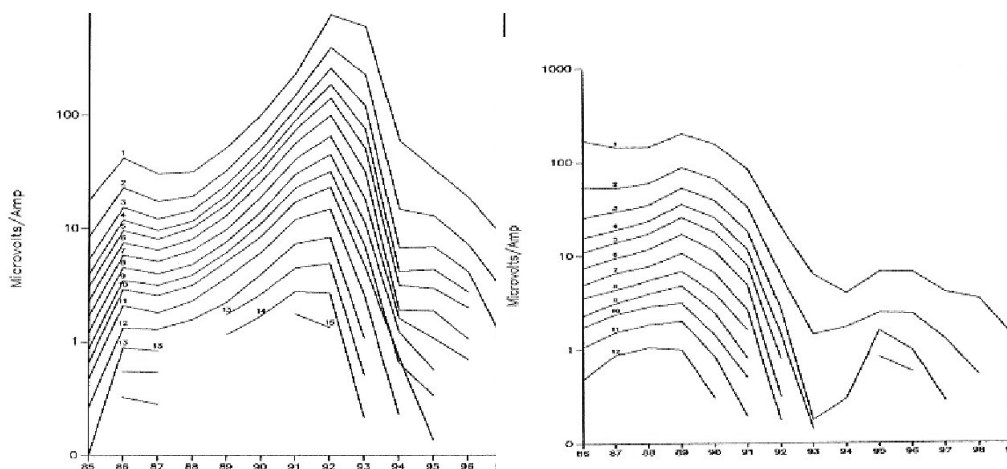
	ΓΡΘ-1	ΓΡΘ-2	ΓΡΘ 3	ΓΡΘ 4	ΓΡΘ 5	ΓΡΘ 6	ΓΡΘ 7
SiO <sub>2</sub>			70,60	68,82	75,00	67,00	69,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			10,65	10,85	10,26	10,45	11,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			5,00	3,20	2,40	4,60	3,45
FeO			0,50	0,75	0,45	1,80	1,65
MgO			0,40	0,28	0,28	0,23	0,90
MnO			0,04	0,01	0,01	0,04	0,06
CaO			0,25	0,25	0,25	0,45	0,65
Na <sub>2</sub> O			0,30	0,45	0,70	1,35	1,35
K <sub>2</sub> O			3,40	3,85	3,85	3,50	3,70
LOI			7,95	10,50	6,30	9,30	6,15
Σύνολο			99,09	98,96	99,50	98,72	99,11
<b>Γραφίτικός C%</b>	<b>11,85</b>	<b>8,25</b>	<b>4,60</b>	<b>7,40</b>	<b>3,75</b>	<b>6,50</b>	<b>3,00</b>

## 6 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Το δύσβατο γεωγραφικό ανάγλυφο της περιοχής επέβαλε την εφαρμογή της διάταξης σταθερού βρόχου της TEM μεθόδου, η οποία περιλάμβανε μετρήσεις των τριών συνιστωσών του δευτερεύοντος ΗΜ πεδίου, κατά μήκος γραμμών σε σχετική απόσταση 40 μέτρων. Η ενεργοποίηση του πρωτεύοντος πεδίου γινόταν με μεγάλο βρόχο διαστάσεων 500 x 300 μέτρων.

Η διάταξη ταυτοτικού βρόχου εφαρμόστηκε σε περιορισμένη κλίμακα και υλοποιήθηκε με την μετακίνηση βρόχου 40 x 40, που λειτουργεί ως πομπός και δέκτης, με βήμα 20 μέτρων κατά μήκος των γραμμών έρευνας. Γίνεται καταγραφή της κατακόρυφης συνιστώσας του επαγόμενου πεδίου και οι μετρήσεις αναφέρονται στο μέσο του βρόχου που αναπτύσσεται κατά μήκος δυο παράλληλων γραμμών. Τα αποτελέσματα της έρευνας ταυτοτικού βρόχου για τις γραμμές 18-19 και 20-21 παρουσιάζονται στο σχήμα 2.

Η παρουσία ενός ισχυρά αγώγιμου σώματος υπο-οριζόντιου σώματος γίνεται φανερή και στα δύο γραφήματα. Η ανώμαλη απόκριση συντηρείται έως το τέλος των γραμμών, υποδηλώνοντας τη μεγάλη έκταση του σώματος. Η προς ΒΔ συνέχεια του γραφίτικού ορίζοντα προσδιορίστηκε σε μήκος άνω των 180 μέτρων.



Σχήμα 2: Ανωμαλία ταυτοτικού βρόχου γραμμής 18-19 (αριστερά) και 20-21 (δεξιά)

### 6.1 Ποσοτική ερμηνεία

Στα αποτελέσματα του σχήματος έγινε πρόσφατα επανερμηνεία με ποσοτικούς όρους, μετά την ανάπτυξη αυτόματου ερμηνευτικού λογισμικού (Κάρμης 2003). Η επίλυση του ευθέως προβλήματος βασίζεται σε μονοδιάστατο αλγόριθμο επίλυσης του αντίστροφου μετασχηματισμού Laplace των Knight and Raiche (1982), Raiche (1984) και η επίλυση του μετασχηματισμού Hankel γίνεται με τεχνικές ψηφιακές φίλτρων. Στον αλγόριθμο αντιστροφής χρησιμοποιείται τροποποιημένο υβριδικό σχήμα της εξομαλυσμένης αντιστροφής (Constable et al.1990) και οι παράμετροι του μοντέλου προσδιορίζονται με αυτόματο τρόπο.

Τα αποτελέσματα της ποσοτικής ερμηνείας των δεδομένων του σχήματος 2 παρουσιάζονται σε μορφή δισδιάστατων τομών ειδικής αντίστασης (σχήματα 3, 4). Ο γραφικός σχηματισμός παρουσιάζεται με τιμές ειδικής αντίστασης μικρότερες των  $4 \Omega^*m$ , σε μορφή υπο-οριζόντιου στρώματος, (γραμμές 18-19, σχήμα 3) σε περιβάλλον με τιμές αντίστασης μεγαλύτερες των  $30 \Omega^*m$ . Το γραφικό σώμα παρουσιάζει ΒΔ κλίση στις γραμμές 20-21 του σχήματος 4. Οι πραγματικές τιμές ειδικής αντίστασης του γραφίτη, όπως προσδιορίζονται από την TEM αντιστροφή είναι μικρότερες από  $1 \Omega^*m$ . Η συνέχεια του γραφικού σώματος διακόπτεται μεταξύ των σταθμών 92 και 93, λόγω της παρουσίας τεκτονικής ασυνέχειας.

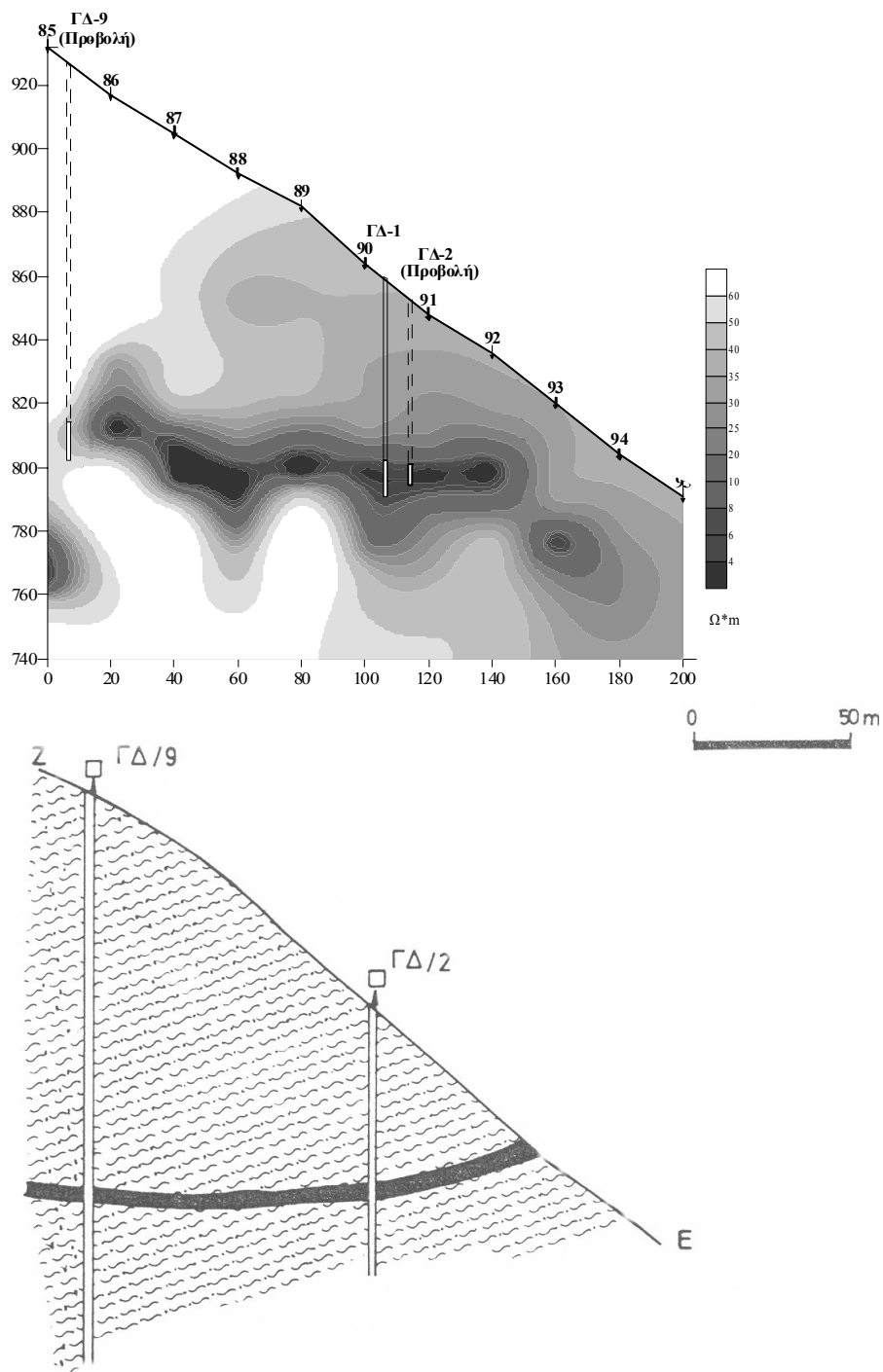
Παρόμοια, στο ΒΔ άκρο της γραμμής γίνεται φανερή η παρουσία ρήγματος μεταξύ των σταθμών 85 και 86, με άλμα 60 περίπου μέτρων.

### 6.2 Σύγκριση με γεωτρητικά αποτελέσματα

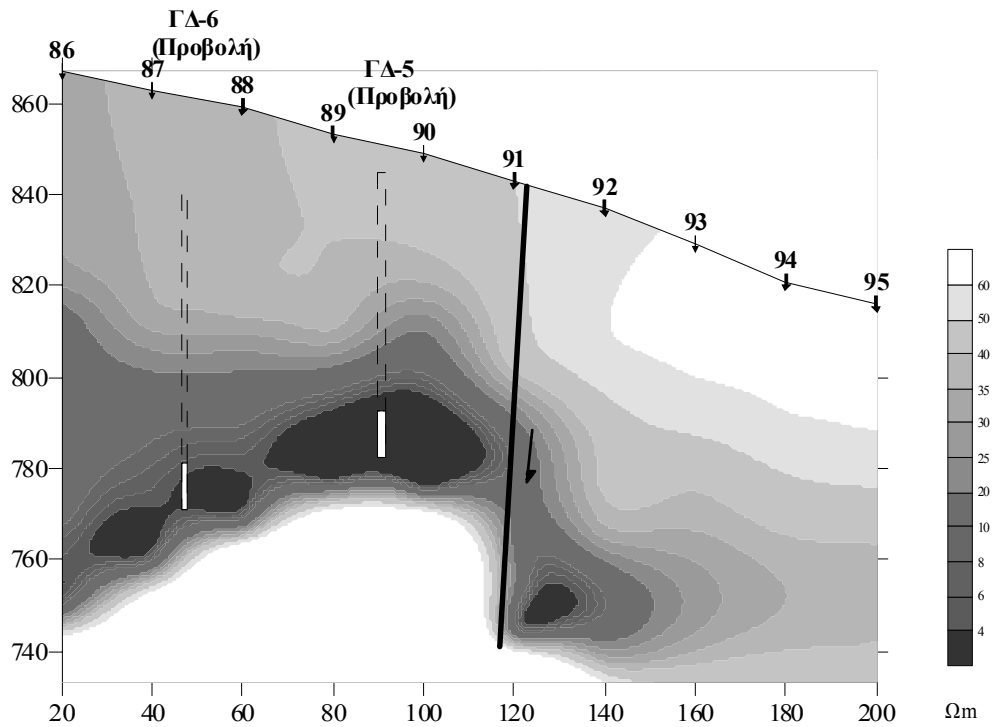
Στην περιοχή έγιναν συνολικά 10 γεωτρήσεις οι οποίες διέτρησαν μεταλλοφορία, σε πάχος που κυμαίνεται από 1.5 μέχρι 10m, σε βάθη μεταξύ 60 και 120 μέτρων. Οι θέσεις των γεωτρήσεων πλησίον των ερμηνευμένων τομών φαίνονται στα σχήματα, όπως και το μεταλλοφόρο πάχος. Οι προβολές των γεωτρήσεων εκτός των γραμμών παρουσιάζονται με διακεκομμένη γραμμή.

Η γεώτρηση ΓΔ-1 ανορύχθηκε στη θέση των γραμμών 18-19 και διέτρησε γραφικό γνεύσιο πάχους 10 μέτρων, με μικρές εναλλαγές λευκοκρατικού γνευσίου. Τα αποτελέσματα είναι σε απόλυτη συμφωνία με το ερμηνευμένο πάχος του αγώγιμου σχηματισμού του σχήματος 3. Μικρές αποκλίσεις στα μεταλλοφόρα πάχη των άλλων γεωτρήσεων δικαιολογούνται από το γεγονός ότι βρίσκονται σε απόσταση από τις γεωφυσικές γραμμές.

Τα αποτελέσματα της γεώτρησης ΓΔ-9 επιβεβαιώνουν τα χαρακτηριστικά του ρήγματος της τομής του σχήματος 4. Στο σχήμα επίσης παρουσιάζεται η τομή μεταξύ των γεωτρήσεων ΓΔ-2 και ΓΔ-9, βασισμένη στα αποτελέσματα των γεωτρήσεων, προς σύγκριση με την απεικόνιση της ερμηνευτικής TEM τομής. Η ποσότητα και η ποιότητα της γεωφυσικής πληροφόρησης υπερβαίνει αυτής των γεωτρήσεων και συμβάλλει τον προσδιορισμό της γεωμετρίας του γραφικού σώματος και των τεκτονικών ασυνεχειών που ελέγχουν την έκτασή του.



Σχήμα 3: Αυτόματη ερμηνεία TEM δεδομένων γραμμής 18-19 και τομή μεταξύ γεωτρήσεων  $\Gamma\Delta-2$  ,  $\Gamma\Delta-9$ .



Σχήμα 4: Αυτόματη ερμηνεία TEM δεδομένων γραμμής 20-21

## 7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Από τη γεωφυσική έρευνα φαίνεται ότι η ανάπτυξη του ορίζοντα είναι σταθερή για τα 180m τουλάχιστο που διερευνήθηκαν κατά την κλίση της εμφάνισης. Η άποψη αυτή αποδεικνύεται για τα 160m τουλάχιστον από το γεωτρητικό πρόγραμμα. Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα της χαρτογράφησης, αυτών της γεωφυσικής έρευνας και των γεωτρήσεων, τα αποθέματα στο τμήμα του ορίζοντα που ερευνηθήκη εκτιμάται ότι υπερβαίνουν τους 600.000 τόνους

## 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή μελέτης απαντούν μεταμορφωμένα πετρώματα γενεσιακής, αμφιβολιτικής και ανθρακικής σύστασης, τα οποία έχουν υποστεί καθολική μεταμόρφωση τύπου Barrow σε συνθήκες ανώτερης αμφιβολιτικής φάσης, (καμπύλη σιλλιμανίτη / δισθενούς).

Στην περιοχή που χαρτογραφήθηκε, τα μεταμορφωμένα πυριτικά πετρώματα χωρίστηκαν σε τέσσερεις σχηματισμούς, με βάση τρεις οριζόντες μαρμάρων - κατώτερα ( $m\Gamma_1$ ), ενδιάμεσα ( $m\Gamma_2$ ), και ανώτερα ( $m\Gamma_3$ )- που διακρίναμε στη περιοχή της χαρτογράφησης, οι οποίοι είναι: ο σχηματισμός των βιοιτικών γενεσίων ( $Gn_1$ ), ο σχηματισμός των βιοιτικών-γρανατούχων-κυανιτικών γενεσίων, ( $Gn_2$ ), ο σχηματισμός των γενεσιο-αμφιβολιτών και μαρμάρων ( $Ab-Gn-Mr$ ), και ο σχηματισμός των βιοιτικών γενεσίων ( $Gn_3$ ).

Σε όλες τις λιθολογικές ενότητες του σχηματισμού των βιοιτικών-γρανατούχων-κυανιτικών γενεσίων ( $Gn_2$ ), απαντά διάσπαρτος αδροκρυσταλλικός φυλλώδης γραφίτης σε κυμαινόμενα ποσοστά. Στο σχηματισμό αυτό στην περιοχή Διάσπαρτο φιλοξενείται οριζοντας οφθαλμώδους γραφιτικού γενεσίου, ο οποίος έχει επιφανειακή ανάπτυξη της τάξης των 400m και το πάχος του κυμαίνεται από 1.5 μέχρι 7m.

Η περιεκτικότητα σε γραφικό άνθρακα δειγμάτων μεταλλεύματος που αναλύθηκαν κυμαίνεται από 3 μέχρι 11.85%.



Από τα προτεινόμενο γεωφυσικό μοντέλο, προκύπτει ότι μπορεί να προσδιοριστεί το βάθος του γραφίτικού οριζοντα και να ιχνηλατηθεί η ανάπτυξή του. Ειδικότερα χαρτογραφείται με ακρίβεια η οροφή της γραφίτικής μεταλλοφορίας, πιστοποιείται η μικρή υπο-οριζόντια κλίση του και επιβεβαιώνεται η υπόγεια εξάπλωση της μεταλλοφορίας τουλάχιστον 180 μέτρα προς τα ΒΔ της εμφάνισης, κατά την κλίση της. Η περαιτέρω συνέχεια της παραμένει στοιχείο προς έρευνα.

Μεθοδολογικά διαπιστώθηκε η σημασία της ποσοτικής ερμηνείας της Ηλεκτρομαγνητικής Γεωφυσικής έρευνας καθώς και η αποτελεσματικότητα του ερμηνευτικού λογισμικού σε μεταλλοφόρα σώματα 2 και 3 διαστάσεων.

Από τις γεωτρήσεις η συνέχεια του οριζοντα διαπιστώθηκε σε πλάτος μεγαλύτερο των 160m με διακυμάνσεις του πάχους του αντίστοιχες με τις παρατηρούμενες στην επιφάνεια.

Τα αποθέματα του γραφίτικού μεταλλεύματος εκτιμάται ότι υπερβαίνουν τους 600000 τόνους.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Μάραντος Ι. 1998. Τελική έκθεση έργου "Έρευνα γραφίτη περιοχής Διασπάρτου Θερμών, Ν. Ξάνθης. Έκθεση ΙΓΜΕ
- Μάραντος Ι. & Ζάχος Σ. 1990. Κοιτασματολογικά στοιχεία οριζοντα γραφίτικού γνευσίου περιοχής Θερμών, προτάσεις ερευνητικού σχεδιασμού. Έκθεση ΙΓΜΕ.
- Arvanitidis N.D., Konstantinidis C., Dimadis E., Favas N., Nikolaou S., Romaidis Y., Iliev I., Katzkov N., Manev D., Milev V. & Yanev V. 1987. Greek- Bulgarian Joint Project On The Geology, Metallogeny And Prospecting Of The Thermes Ore Field, Northern Greece. IGME internal report.
- Harben P.W. & Kuzvart M. 1996. Graphite. In Global Geology, Industrial Minerals. p.193-203
- Karmis P. 2003. Automatic interpretation of Transient EM surveys, PhD Thesis, Athens University, Greece
- Constable S., Parker R. & Constable C. 1990. Occam's inversion to generate smooth two-dimensional models from magnetotelluric data: Geophysics, 55: 1613-1624.
- Knight J.H. & Raiche A.P. 1982. Transient electromagnetic calculations using the Gaver – Stehfest inverse Laplace transform method: Geophysics, 47, 47-50.
- Raiche A.P. 1984. The effect of Ramp Function Turn-off on the TEM response of Layered Earth, Exploration Geophysics, 15, 37-41

## ABSTRACT

### **RESEARCH DATA ON GRAPHITE EXPLORATION PROGRAM IN DIASPARTO, THERMES, XANTHI PREFECTURE**

Marantos I., Karmis P. and Karantassi S.

*I.G.M.E., Mesogion Str. 70, 115 27, Athens, marantos@igme.gr, karmis@igme.gr*

In the area of Diasparto, Thermes village, Xanthi Prefecture, a flake graphite outcrop extends over a distance of 400m, with thickness between 1.5 and 7m. An exploration program was active in the area between 1990-1993 by IGME, including geological mapping, mineralogical study of the graphite ore and host rocks, geophysical surveys and drilling. The interpretation of geophysical data (TEM surveys), in qualitative and quantitative terms, delineate the geometry and extent of the graphite body. The graphitic orebody thickness, as verified by drilling program varies between 1.5 and 10 m, with a subsurface extent of 180 m minimum to the NW of its outcrop position. The estimated reserves exceed 600,000 tons of ore with grade ranging between 3 and 11.85%.