

THE MANGANESE ORE DEPOSIT OF THE NE CHALKIDIKI

A. Theodoroudis¹ and V. Galanopoulos²

ABSTRACT

In the State Varvara ore-field of the NE Chalkidiki county, the Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME) has been carried out ore prospecting and mineral processing research. A "battery-grade" pyrolusite Mn-deposit, amounting to 1.5 million tonnes with 29.35% MnO₂, was located. Part of the deposit has a prospective economic potential. The content of gold in the manganese ore is about 1.5 gr/tn.

The discovered ore deposit develops along the Stratoni- Varvara thrust-fault marcing the contact between the Kerdyllia and Vertiskos formation. The ore body outcrops at the surface and dips 25-30° S-SE.

The ore geologic, geochemical, mineralogical and mineral chemical data suggest a close genetical link between the sulphide and manganese oxide deposits and mineralisations of NE Chalkidiki.

ΣΥΝΟΨΗ

Στο Δημόσιο Μεταλλείο Βαρβάρας της ΒΑ Χαλκιδικής το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) διεξήγαγε γεωλογική - κοιτασματολογική - μεταλλευτική - τεχνολογική έρευνα και εντόπισε κοίτασμα πυρολουσιτικού τύπου Μαγγανιομεταλλεύματος "Baterly grade" συνολικού αποθεματικού δυναμικού 1.5 εκ. τόννων με 29.35% MnO₂, μέρος του οποίου κρίνεται αξιοποιήσιμο με οικονομικά αποδεκτούς όρους. Η συμμετοχή του χρυσού στο Mn/ούχο μετάλλευμα είναι περίπου 1.5 gr/tn.

Το εντοπισθέν κοίτασμα αναπτύσσεται κατά μήκος της τεκτονικής ασυνέχειας Στρατωνίου-Βαρβάρας στην επαφή μεταξύ του σχηματισμού των Κερδυλλίων και Βερτίσκου, αρχίζει από την επιφάνεια και βυθίζεται προς ΝΝΑ με κλίση 25-30°.

Τα κοιτασματολογικά - γεωχημικά - ορυκτολογικά - ορυκτοχημικά δεδομένα δηλώνουν την στενή γενετική σύνδεση των θειούχων και Mn/ούχων κοιτασμάτων και μεταλλοφοριών της ΒΑ Χαλκιδικής.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-INTRODUCTION

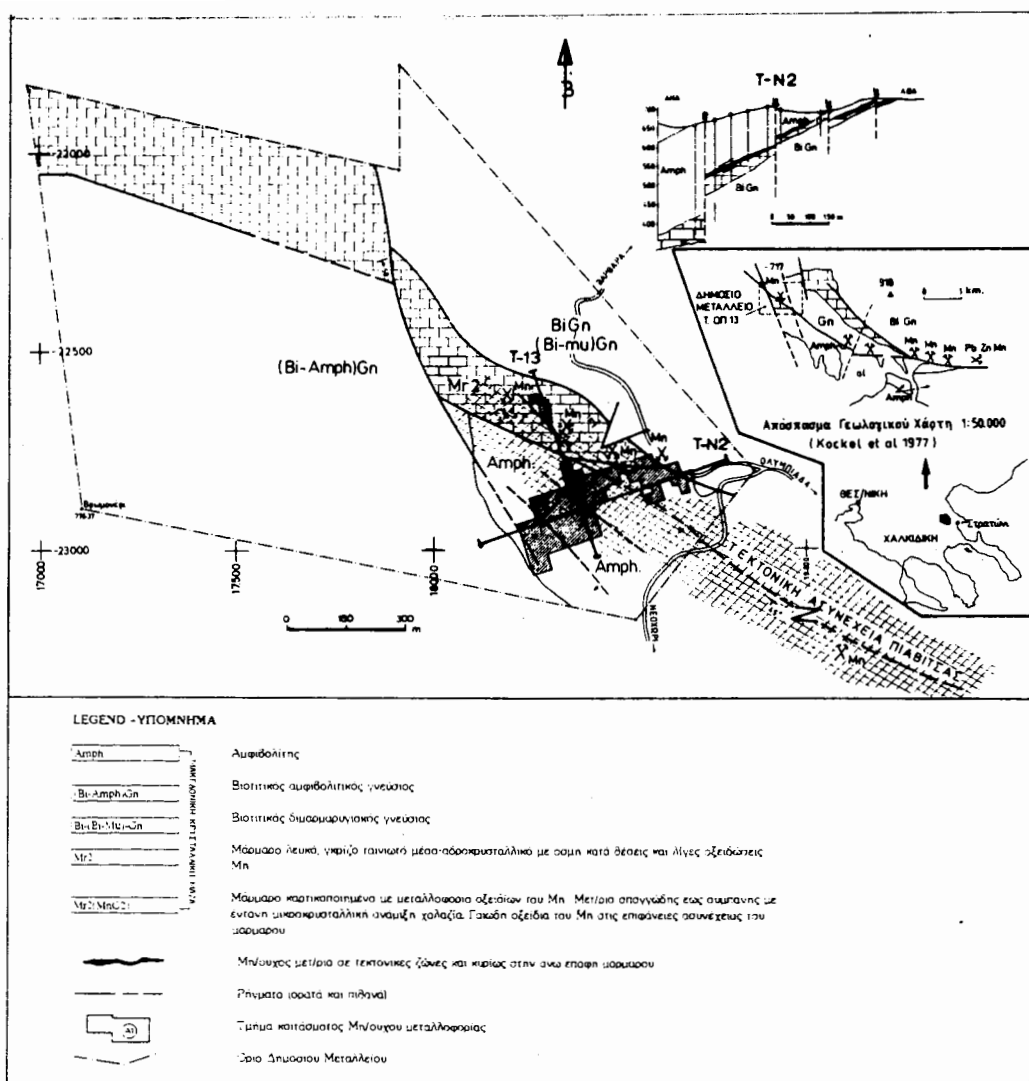
Στη ΒΑ Χαλκιδική αναπτύσσονται τα σημαντικότερα από οικονομικής πλευράς κοιτάσματα θειούχων βασικών μετάλλων και μαγγανίου της χώρας, στα οποία σημαντική είναι η συμμετοχή των πολύτιμων μετάλλων. Από την αρχαιότητα έως και σήμερα εκμεταλλεύονται τα κοιτάσματα Pb, Zn (Au, Ag) της Ολυμπιάδας και Μαντίμ Λάκκου .

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί της περιοχής στους οποίους φιλοξενούνται τα μεταλλεύματα μαγγανίου (Σχ. 1) ανήκουν στην ομαζόμενη "Ξερβομακεδονική Μάζα"³,

¹ IGME, Fragon str. 1, 546 26 THESSALONIKI, GREECE

² IGME, Messogion str. 70, 115 27 ATHENS, GREECE

³ Οι συγγραφείς υιοθέτησαν τον περισσότερο δόκιμο όρο "Μακεδονική Κρυσταλλική Μάζα) που περιλαμβάνει τα προ- ή και παλαιοζωικά κρυσταλλικά πετρώματα των περιοχών Βερτίσκου, Κερδυλλίων της Κεντρικής Μακεδονίας.



Σχ. 1: Γεωλογικός χάρτης του κοιτάσματος μαγγανίου της τ. ΟΠ-13 (Χαλκιδικής)
Fig. 1: Geology of the Mn oxide deposit of the Varvara area (Chalkidiki country).

αποτελούν την κρυσταλλική μάζα της ΒΑ Χαλκιδικής, της οποίας είναι τα παλιότερα τμήματα και χωρίζεται στους σχηματισμούς των Κερδυλλίων και Βερτίσκου. Kockel et al. (1977) Μουντράκης (1985).

Η μαγγανιούχος μεταλλοφορία αναπτύσσεται κυρίως κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου-Βαρβάρας (σχ. 1), το οποίο διατρέχει τα μεταμορφωμένα πετρώματα και τις γρανοδιωριτικές διεισδύσεις σε μήκος 15 χλμ. Τα πετρώματα που φιλοξενούν την μεταλλοφορία είναι μάρμαρα (Mr-1, Mr-2) εναλλασσόμενα με βιοτιτικούς-διωσαυριτικούς ρυγιακούς γνεύσιους των Κερδυλλίων.

Η παραγένεση που χαρακτηρίζει την μαγγανιούχο μεταλλοφορία είναι η ζωνώδης εξέλιξη της θειούχου φάσης των βασικών μετάλλων που επικρατεί στην περιοχή Μ.

Λάκκου-Μαύρες Πέτρες στα ανατολικά, προς την μαγγανιούχο (ανθρακική ή και πυριτική) "πρωτογενή" και οξειδωμένη μεταλλοφορία στα δυτικά.

Τα πιθανά αποθέματα της μαγγανιούχου μεταλλοφορίας στην περιοχή Πιάβιτσα εκτιμώνται σε 10,5x10⁶ τον. με 34% Mn Rena A. (1977). Στην περιοχή Γκαβάζι (Δ. Μ. Βαρβάρας) εντοπίστηκε το κοίτασμα οξειδωμένης μαγγανιούχου μεταλλοφορίας 1,5x10⁶ τον. με 29,35% MnO₂.

Σημαντικές ποσότητες μαγγανιούχου μεταλλοφορίας συναντώνται επίσης στην περιοχή Ολυμπιάδας, Μπασδέκ Λάκκος, καθώς και στη ζώνη Ζέπκου-Στρατονίκης.

Στις μαγγανιούχες μεταλλοφορίες της Β.Α. Χαλκιδικής συναντάται η παρουσία χρυσού σε υψηλές περιεκτικότητες. Παρουσία χρυσού εντοπίζεται επίσης και στα λιθολογικά αθροίσματα των υδροθερμικών μετασχηματισμένων μαρμάρων, στις δολομιτικές και ασβεστιτικές εξαλλοιώσεις στον υδροθερμικό χαλαζία κλπ. Θεοδωρούδης - Γαλανόπουλος (1973), καθώς και στην μεταλλοφόρο ζώνη Ζέπκου - Παπάδες - Στρατονίκη. Arvanitidis et al. (1992).

II. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ Δ.Μ. ΒΑΡΒΑΡΑΣ

1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η περιοχή του Δ.Μ. Βαρβάρας γεωλογικά ανήκει στην "Μακεδονική κρυσταλλική Μάζα", δομείται από λιθολογικούς σχηματισμούς της ενότητας των Κερδυλίων και του Βερτίσκου και διατρέχεται από το μεγάλο ρήγμα Στρατωνίου-Βαρβάρας ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, το οποίο έχει παίξει κυρίαρχο ρόλο στη μεταφορά και απόθεση, τόσο της μαγγανιούχου μεταλλοφορίας στο δυτικό τμήμα, όσο και της θειούχου μεταλλοφορίας στην ανατολική προέκταση (Σχήμα 1,3).

Τα πετρώματα του σχηματισμού των Κερδυλίων καλύπτουν το ΒΒΑ τμήμα της περιοχής, υπόκεινται του σχηματισμού του Βερτίσκου (Σχήμα 1,3,4) αποτελούνται δε από βιοτιτικό γνεύσιο και τον ανώτερο ορίζοντα μαρμάρου, το πάχος του οποίου κυμαίνεται από λίγα έως και 250m, και αποτελεί τον ξενιστή του μαγγανιούχου μεταλλεύματος.

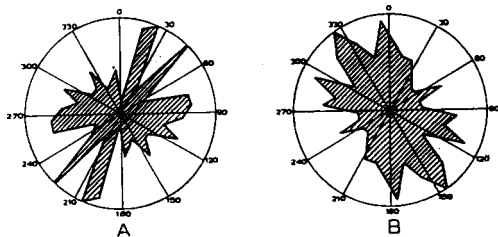
Τα πετρώματα του σχηματισμού του Βερτίσκου καταλαμβάνουν το ΝΝΔ τμήμα της περιοχής υπέρκεινται του σχηματισμού των Κερδυλίων και αποτελούνται από βιοτιτικό-αμφιβολιτικό γνεύσιο και αμφιβολίτη, ο οποίος είναι επωθημένος επί των μαρμάρων των Κερδυλλίων και αποτελεί την οροφή της μαγγανιούχου μεταλλοφορίας (Σχ. 4).

2. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Το κυρίαρχο τεκτονικό στοιχείο είναι το ρήγμα Στρατωνίου- Βαρβάρας (σχ. 1) το οποίο διατρέχει την περιοχή με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και χωρίζει τους λιθολογικούς σχηματισμούς των Κερδυλίων και Βερτίσκου. Μικρότερα παράλληλα προς αυτό ρήγματα παρατηρούνται, τα οποία επηρεάζουν το βάθος του μεταλλοφόρου ορίζοντα μαρμάρου συνεπώς και το μεταλλοφόρο σώμα. Δεύτερο μεγάλο ρήγμα παρατηρείται με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ με άλλα περίπου κατακόρυφο της τάξης των 100 μέτρων (σχ. 4). Το ρήγμα αυτό δεν επηρεάζει το εντοπισθέν κοίτασμα αφού διέρχεται έξω από αυτό στο ΝΔ άκρο.

Στη βόρεια πλευρά του κοιτάσματος παρατηρείται ρήγμα με διεύθυνση Α-Δ το οποίο διέρχεται από το βόρειο όριο των τμημάτων Α και Β του κοιτάσματος και δεν επηρεάζει ουσιαστικά το κοίτασμα.

Η ρηξιγενής τεκτονική έχει επηρεάσει τα μάρμαρα τα οποία παρουσιάζονται έντονα κερματισμένα, τόσο στο κυρίως ανθρακικό τμήμα, όσο και στα τμήματα που φιλοξενούν την μαγγανιούχο μεταλλοφορία. Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται ροδοδιαγράμματα από το μεταλλοφόρο τμήμα και από το υγιές τμήμα μαρμάρου. Παρατηρούμε ότι στο κυρίως ανθρακικό τμήμα επικρατούν δύο κύρια συστήματα διακλάσεων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης και ένα σύστημα με διεύθυνση Α-Δ. Απεναντίας το μετασχηματισμένο μάρμαρο που αποτελεί το μαγγανιούχο μεταλλοφόρο τμήμα, έχει επηρεασθεί από



Σχ. 2: Α: Ροδοδιάγραμμα 104 κατακλάσεων στο Μάρμαρο του Δ.Μ. Βαρβάρας.

Β: Ροδοδιάγραμμα 124 κατακλάσεων στη Μν/ούχο μετ/ρία του Δ.Μ. Βαρβάρας

Fig. 2: A: Rododiagram of 104 joint measurements in the marbles of the Varvara deposit area.

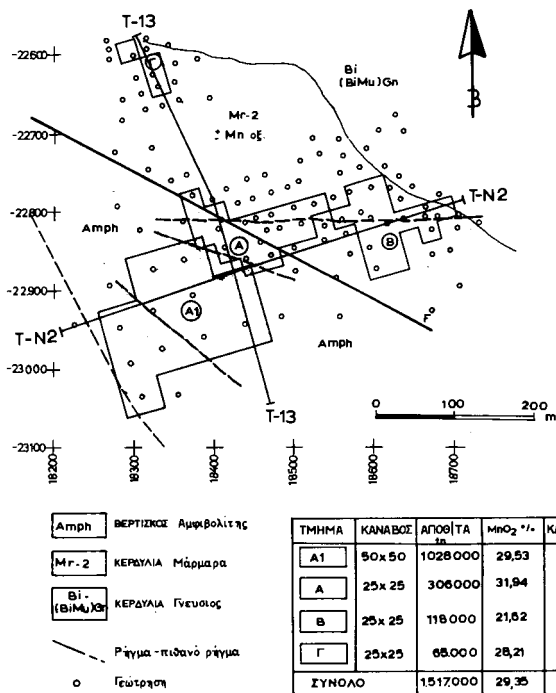
B: Rododiagram of 124 joint measurements in the manganese deposit of Varvara area.

συστήματα κατακλάσεων με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, ταυτόσημη με το μεγάλο τεκτονικό στοιχείο (ρήγμα Στρατωνίου-Βαρβάρας) γεγονός που επιτρέπει την άμεση σύνδεση της μεταλλογενετικής διαδικασίας με το ρήγμα αυτό.

3. ΜΑΓΓΑΝΙΟΥΧΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ

Η μαγγανιούχος μεταλλοφορία του Δ.Μ. Βαρβάρας αναπτύσσεται, σε μία επιμήκη ζώνη έκτασης 50.000 m² με γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (Σχ. 1,3). Η μεταλλοφορία φιλοξενείται στα ανώτερα τμήματα του μαρμάρου των Κερδυλίων, ακολουθεί την επαφή του μαρμάρου με τον αμφιβολίτη του Βερτίσκου είναι στρωματοειδής ή ψευδοστρωματομορφή στο κυρίως κοίτασμα, ενώ εμφανίζεται και με καρστική μορφή σε μικρές ή μεσαίου μεγέθους φωλιές μέσα στο μάρμαρο. Το κυρίως μεταλλοφόρο σώμα αναπτύσσεται από την επιφάνεια (σχ. 4), βυθίζεται με κλίση 25-35° προς ΝΑ και έχει ερευνηθεί μέχρι τα 210 μ. Galanopoulos et al. (1986), Θεοδωρούδης - Γαλανόπουλος (1991). Το πάχος του πλούσιου μεταλλοφόρου σώματος φθάνει τα 19μ. ενώ το πάχος του μαρμάρου με φτωχή μεταλλοφορία είναι μεγαλύτερο. Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται γεωλογικές-κοίτασματολογικές τομές, οι οποίες τέμνουν το κοίτασμα σε δύο κύριες κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις, γίνεται δε αναφορά σε ορισμένα ποιοτικά στοιχεία του μεταλλεύματος.

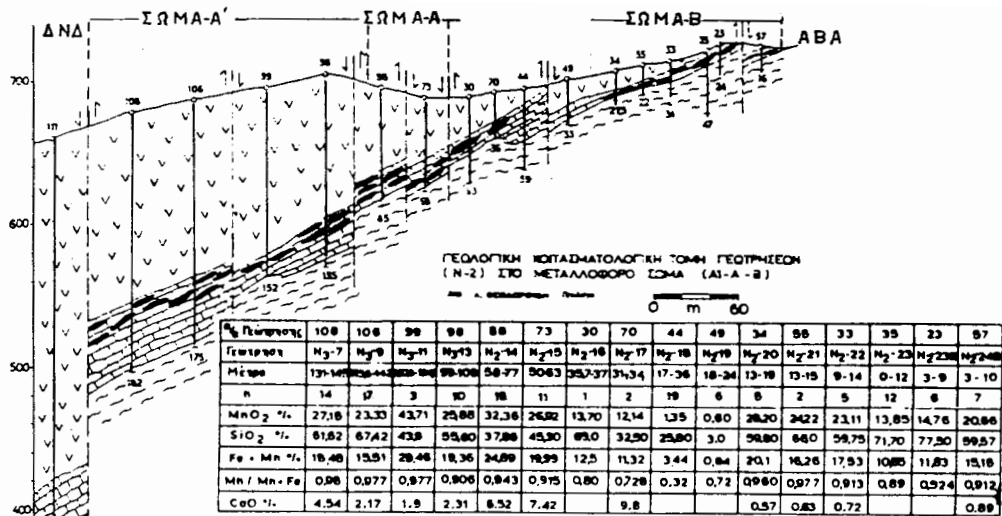
Το κοίτασμα του Δ.Μ. Βαρβάρας κατατάσσεται στα "πυρολουσιτικού τύπου" μαγγανιούχα μεταλλεύματα, Γαλανόπουλος - Μάστορης (1988) αποτελείται δε κυρίως από υπεροξειδία και οξειδία του μαγγανίου. Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά ο χημισμός του μεταλλεύματος σε δείγματα γεωτρήσεων ανα διάκριτο μέτρο προώθησης με περιεκτικότητα σε MnO₂>10%.



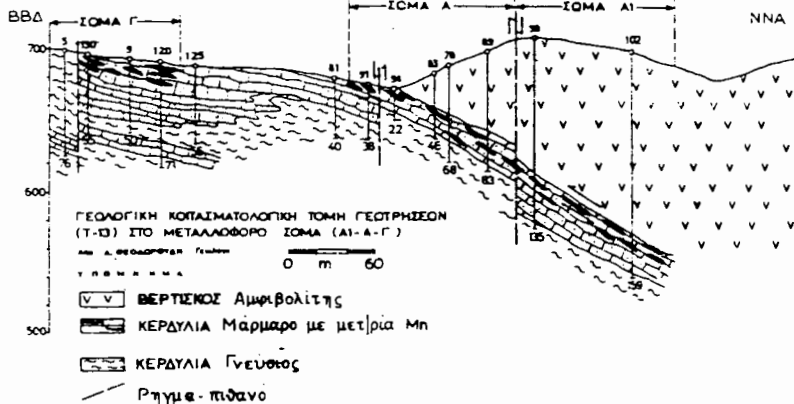
Σχ. 3: Απλοποιημένος κοιτασματολογικός χάρτης. Τμήματα του κοιτάσματος Μν/ούχου μετ/ρίας.

Fig. 3: Simplified ore deposit map. Parts of the manganese deposits

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.



ομο Γεωγενός	130	8	130	81	91	94	83	78	89	98	102
Πατρικός	C ₂ -11	C ₁ -12	C-12	A ₃ -12	A ₂ -12	A ₂ -13	A ₁ -13	A-13	N ₂ -13	N ₂ -13	N ₂ -13
Μέγεθος	0-10	8-18	0-17	8-12	8-13	0-4	23-28	48-48	55-73	99-108	130-138
n	10	10	17	4	5	4	8	4	18	10	11
MnO ₂ %	38,83	27,88	22,25	1,8	25,49	14,4	34,80	7,28	24,26	28,88	32,98
SiO ₂ %	47,04	62,40	58,71	14,2	48,8	84,75	42,38	45,88	33,44	55,8	48,72
Fe + Mn %	27,88	20,87	18,03	2,55	17,32	13,23	21,88	6,87	17,2	18,36	18,43
Mn/Mn-Fe	0,981	0,968	0,957	0,275	0,854	0,815	0,955	0,772	0,930	0,906	0,998
CeO %	1,86	7,38	40,6	3,09			787	18,9	14,84	2,31	5,46



Σχ. 4: Γεωλογικές κοιτασματολογικές τομές T-N2 και T-13 στο κοιτάσμα του Δ.Μ.Βαρβάρας
 Fig. 4: T-N₂ and T-13 geological sections in the Varvara deposit

Το τυπικό πλούσιο μαγγανιούχο μετάλλευμα είναι κυρίως σπογγώδες, με περισσότερο ή λιγότερο πυριτιωμένα τμήματα, με ελαφρά πυριτίωση στα πιά πλούσια τμήματα, με μορφές δευτερογενούς μετακίνησης και απόθεσης. Αποτελείται από μικροκρυσταλικό τεκτονισμένο και παραμορφωμένο (έντονο foliation) αβεσσιτικό μάρμαρο, εμποτισμένο - μετασρωματωμένο με Mn/οξειδία (+ σιδηροοξειδία), χαλαζία και αβεσσίτη υπό μορφή ψευδοστρώσεων ή στυλολίθων, ή πλήρωσης φλεβιδίων ή

πλήρωσης ανοιχτών διακένων. Στα πιο πλούσια τμήματα παρατηρείται έντονη παρουσία βελονοειδών κυρίως μικροκρυστάλλων οξειδίων-υπεροξειδίων του Mn. Παρατηρείται έντονη παρουσία εγκλεισμάτων μεζ-καφέ χαλαζία μεγέθους από μερικά mm έως μερικά (2-3) cm. Κατά θέσεις μόνον ο χαλαζίας διατηρεί τη διεύθυνση του foliation, ενώ στα ποιοτικώς ενδιάμεσα ή και στα φτωχότερα τμήματα ο χαλαζίας διατηρεί τον υπολειμματικό ιστό του πρωτογενούς μαρμάρου ή (και) πιθανώς του πυριτικού επιτόπου πετρώματος? (γνευσίου).

Τα ποιοτικώς ενδιάμεσα ή και τα φτωχότερα τμήματα της μεταλ λοφορίας αποτελούνται από συμπαγές, ως επί το πλείστον έντονα πυριτωμένο μάρμαρο, με συσσωματώματα δευτερογενούς χαλαζία και ολική κατά θέσεις αντικατάσταση της μητρικής ανθρακικής μάζας από μικροκρυσταλλικά οξείδια Mn, και διατηρεί εμφανή τα χαρακτηριστικά (bandet-foliation κλπ) του πρωτογενούς πετρώματος.

III. ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ

Οι ερευνητικές εργασίες στο Δ.Μ. Βαρβάρας έχουν δώσει ένα αποθεματικό δυναμικό περίπου 1,5 χ 106 τον. μαγγανιομεταλλεύματος (πίνακας 1) με μέση περιεκτικότητα 29,35% MnO₂, 20,27% Mn και 53,45% SiO₂. Τα αποθέματα αυτά αποτελούν ένα ενιαίο κοιτάσμα (Σχήμα 3,4) το οποίο για λόγους ποιοτικούς, μεθοδολογίας έρευνας και πάχους υπερκειμένων, έχει χωριστεί σε τρία τμήματα Β, Α και Α1. Μικρές ποσότητες μεταλλεύματος 65.000 τον. έχουν εντοπισθεί στο τμήμα Γ καθώς επίσης κοντά και βόρεια του επιφανειακού κυρίως κοιτάσματος περίπου, 10.000 τον.

Για τα επιφανειακά και οικονομικώς απολήψιμα τμήματα Β και Α έχει γίνει γεωστατιστική μελέτη η οποία θα ολοκληρωθεί και για τα υπόλοιπα τμήματα. για την συνολική εκτίμηση του κοιτάσματος έγινε υπολογισμός των αποθεμάτων με την στατιστική μέθοδο που χρησιμοποιείται από το ΓΓΜΕ Δρούβας Ν. κ.α. (1984).

Στα προαναφερθέντα τμήματα Β, Α, Α1, Γ υπάρχουν διαφοροποιήσεις ως προς την ποιότητα του μεταλλεύματος (πίνακας 1). Το τμήμα Β είναι πίο φτωχό 21.62% MnO₂, ενώ τα τμήματα Α και Α1 είναι πίο πλούσια με 31.94 και 29.53% MnO₂ αντίστοιχα και το τμήμα Γ 28,21% MnO₂.

Πιν. 1: Αποθέματα μαγγανιομεταλλεύματος Δ.Μ. Βαρβάρας

ΤΜΗΜΑ ΜΕΤ/ΤΟΣ	ΤΟΝΝΟΙ	MnO ₂ %	Mn%	SiO ₂ %	ΛΑΘΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ			
					Τόννων	Περ/χόμε- νου MnO ₂	Περ/τα σε MnO ₂	Κατηγορία
A-1	1.027.950	29.53	20.38	55.85	24.12%	24.37%	9.18%	C-1
A	306.300	31.94	22.08	44.41	25.76%	27.29%	7.65%	C-1
B	117.600	21.62	14.92	54.98	22.47%	24.91%	15.49%	C-1
Γ	65.250	28.21	19.72	55.21				
ΣΥΝΟΛΟ	1.517.100	29.35	20.27	53.45				

IV. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

Στο κοιτάσμα του Δ.Μ. Βαρβάρας και σε σύνολο 65 γεωτρήσεων ελέγχθηκε η "in situ" περιεκτικότητα σε μαγγάνιο, σύνδρομα στοιχεία καθώς και τα βασικά μέταλλα που διαφοροποιούνται κατά εντυπωσιακό τρόπο (βλ. συνοπ. Πιν. 2).

Στα σχήματα 5,6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα MnO₂/SiO₂ και ο συσχετισμός MnO₂-SiO₂-CaO στα μεταλλοφόρα τμήματα των γεωτρήσεων των τομών T-N2 και T-13 του κοιτάσματος.

Από την επεξεργασία των πρωτογενών στοιχείων προκύπτει ότι η περιεκτικότητα σε MnO₂ έχει μέση τιμή 23,71% που αντιστοιχεί σε μέση περιεκτικότητα σε Fe₂O₃ ίση προς 1,84% . Επίσης ότι για περιεκτικότητες σε FeO₂ που είναι μεγαλύτερες

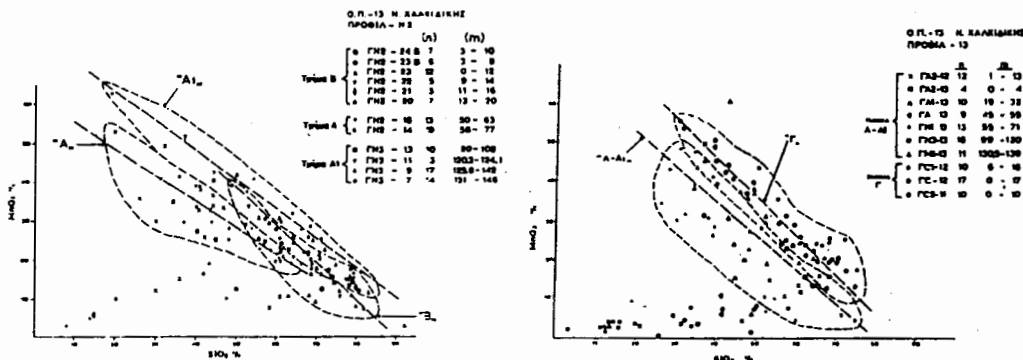
Πίν. 2 : Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων γεωτρήσεων με MnO₂>10%

	d(m)	MnO ₂	Mn	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Au	
		%						p.p.m							
n1		65	65	65	65	36	34	64	64	64	52	37	38	13	
n		451	451	451	451	323	333	445	445	445	396	292	287	100	
min	1.00	10.32	5.70	6.00	0.31	0.36	0.22	4	0	23	0	6	0	0.11	
max	19.00	43.71	29.73	78.08	5.70	4.84	21.80	3840	19000	8000	20	800	160	12.30	
AVG	7.18	23.71	16.40	52.00	1.84	1.51	4.52	85	1160	960	5	126	21	1.41	
S.D.	5.27	8.59	5.89	14.08	1.16	1.04	4.57	474	3240	1389	4	196	30	1.87	

d - Πάχος μεταλλοφόρου τμήματος σε μέτρα
n₁- Αριθμός γεωτρήσεων n-αριθμός δειγμάτων

αυτής της μέσης αντιστοιχούν περιεκτικότητες του MnO₂ που είναι συστηματικά μικρότερες αυτής. Άρα το κοίτασμα της μεταλλοφορίας MnO₂ είναι στην πραγματικότητα ελεύθερο σιδήρου. Αυτό είναι σε συμφωνία με τον χαρακτήρα της προέλευσης της μεταλλοφορίας των πλούσιων οξειδίων του Mn από είτε "in Situ" οξείδωση πρωτογενούς μεταλλεύματος (MnCO₃), είτε από συνδυασμό με έντονη υπεργενετική δράση σε ικανό βάθος. Supriya (1981) Varenstov - Grassely (1980).

Η απουσία του σιδήρου από το κοίτασμα και κυρίως από τα τμήματα που αντιπροσωπεύουν τα οικονομικά απολήψιμα αποθέματα επιβεβαιώνεται από την υψηλή τιμή ~1 του λόγου Mn/Mn+Fe ενώ παίρνει χαμηλές τιμές έως (0.275) σε μη μαγγανιούχα τμήματα των profils. Πίνακες σχήματος 4.



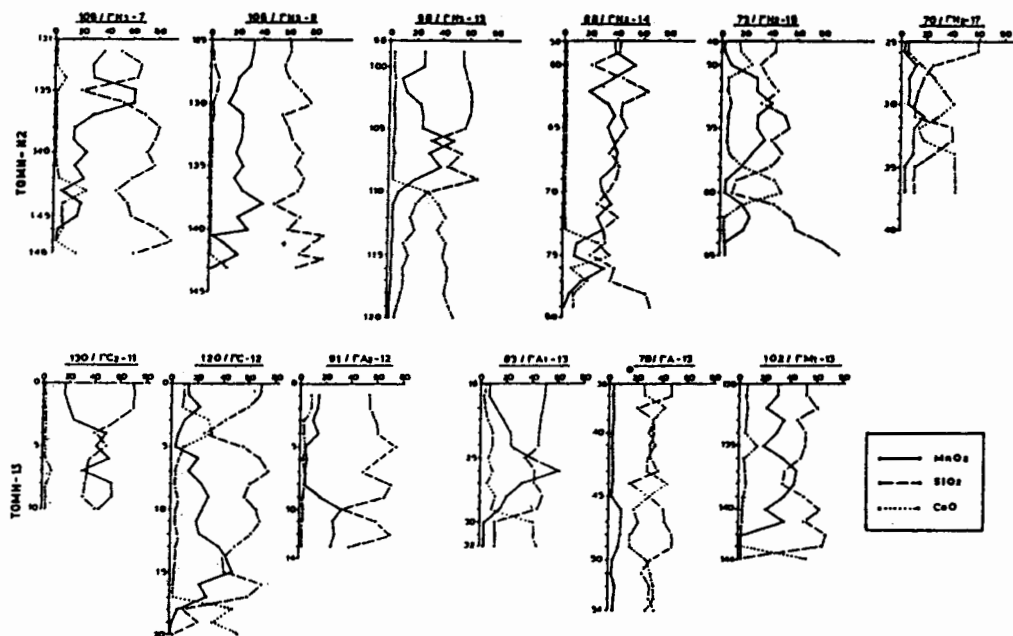
Σχ. 5: Συσχετισμός MnO₂-SiO₂ σε δείγματα των τομών T-N₂ και T-13
Fig. 5: MnO₂-SiO₂ correlation in samples from T-N₂ & T-13 cross-sections

Το SiO₂ ακολουθεί την αναμενόμενη συμπεριφορά εν σχέση με το MnO₂. Supriya (1981), Varenstov - Grassely (1980). Στα τμήματα της πλούσιας μαγγανιοφορίας η σχέση μεταξύ των δύο είναι αρνητική (βλ. σχ. 5). Μολονότι ο κανόνας αυτός ισχύει γενικά ανεξάρτητα του βάθους του κοιτάσματος εν τούτοις είναι εντονότερος στα βαθύτερα τμήματα των σώματων Α και Α1. Η σχέση MnO₂-SiO₂ στα διαγράμματα του σχημ. 5 εμφανίζει στην ίδια γεώτρηση και για το ίδιο "μεταλλοφόρο" τμήμα δύο διαφορετικές τάσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή για την λιθογεωχημική επεξεργασία ως "μεταλλοφόρο" τμήμα ελήφθη όλο το μήκος του πυρήνα που έχει επηρεαστεί με μαγγανιούχο μεταλλοφορία. Αντίθετα ως οικονομικά απολήψιμο απόθεμα ελήφθη το πλουσιότερο σε MnO₂ τμήμα.

Η συμμετοχή του CaO είναι πολύ χαμηλή σε ορισμένα τμήματα του κοιτάσματος >1% (τμήμα Β) σχ. 4, ενώ στα υπόλοιπα τμήματα κυμαίνεται από 1.5 έως 7.5 %. Το CaO όταν παρουσιάζει αρνητική σχέση με το MnO₂ έχει θετική σχέση με το SiO₂ Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Γεώφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

αντίστροφα δε στα τμήματα του κοιτάσματος που παρουσιάζει αντιπαθητική σχέση με το SiO₂ η σχέση του με το MnO₂ γίνεται συμπαθητική σχ.6. Στα μη μαγγανιούχα τμήματα οι τιμές του CaO φθάνουν και υπερβαίνουν το 40% γεγονός που επιβεβαιώνει τον μετασωματικό χαρακτήρα του κοιτάσματος.

Οι τιμές Pb και Zn είναι υψηλές στο μέταλλευμα οξειδίων Mn της τ. ΟΠ 13, πάντως είναι χαμηλότερες ιδίως αυτές του Zn από τις αντίστοιχες των Mn/μεταλλευμάτων στην ανατολική προέκταση του μεταλλοφόρου ρήγματος Στρατώνι-Βαρβάρας. Οι μέγιστες τιμές π.χ. για το Pb (~2%) και Zn (~0,8%) (Πιν. 2) υποδηλώνουν και γεωχημικά την στενή γενετική σχέση μεταξύ της θειούχου μεταλλοφορίας (Pb, Zn, Fe +/- Au +/- Ag) στα ανατολικά και της μεταλλοφορίας MnCO₃-MnSiO₃-MnO₂ στα δυτικά του ρήγματος.



Σχ. 6: Συσχετισμός MnO₂-SiO₂-CaO σε μεταλλοφόρα δείγματα πυρήνων από τις τομές T-N₂ και T-13

Fig. 6: MnO₂-SiO₂-CaO correlation in mineralized core samples from T-N₂ & T-13

Τα πολύτιμα μέταλλα (Au, Ag) παρουσιάζουν σημαντική συμμετοχή σε δείγματα μαγγανιούχου ανθρακικής μεταλλοφορίας ή/και οξειδωμένης μεταλλοφορίας Mn και Fe, της ΒΑ Χαλκιδικής. Γαλανόπουλος - Θεοδωρούδης (1989). Η συμμετοχή του χρυσού ελέγχθηκε συστηματικά σε ικανό αριθμό αντιπροσωπευτικών δειγμάτων του μαγγανιούχου μεταλλεύματος του ΔΜ Βαρβάρας. Από το σύνολο των δεδομένων μπορούμε να θεωρήσουμε ως συμπέρασμα ότι η μέση τιμή του Au στο οξειδωμένο μέταλλευμα, η ακριβέστερα στο υπολογισθέν ως αποθεματικό δυναμικό Mn/ούχου μεταλλεύματος του κοιτάσματος, είναι περίπου 1.5 gr/tn. Θεοδωρούδης - Γαλανόπουλος (1993). Η μελέτη αυτή δεν έχει ολοκληρωθεί, τα αναμενόμενα αποτελέσματα (διασταύρωση χημικών αναλύσεων κ.α.) κατά τη γνώμη μας δεν θα μεταβάλουν, αλλά θα επιβεβαιώσουν τα πρόδρομα συμπεράσματα. Θα αποτελέσουν δε τα τελικά δεδομένα για την οικονομική αξιολόγηση του περιεχόμενου χρυσού στο μέταλλευμα.

V. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ - ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ

Οι ορυκτολογικοί τύποι μαγγανιούχου μεταλλοφίας στην ΒΑ Χαλκιδική είναι οι εξής:

1. Μαγγανιούχος ανθρακική (\pm πυριτική, \pm θειούχος)
2. Ροδοχρωσίτης - μαγγανιούχος ασβεστίτης - οξειδία μαγγανίου ή και σιδήρου.

3. Μαγγανιούχα οξειδία.

Η πρώτη φάση αναπτύσσεται κύρια στην περιοχή της Πιάβιτσας και στην περιοχή Ζέπκου, αποτελεί δε τα σύνδρομα ορυκτά που συνοδεύουν τις πολυμεταλλικές μεταλλοφορίες θειούχων βασικών μετάλλων (Μ. Λάκκου - Ολυμπιάδας). Ο δεύτερος τύπος αποτελείται κύρια από εύεδρα ροδοχρωσίτη ή μαγγανιούχου ασβεστίτη. Κατά θέσεις εμφανίζει ζώνωση η οποία εκφράζει τη διαφορετική οξειδωτική κατάσταση των πλούσιων ζωνών σε μαγγάνιο και μπορεί να θεωρηθεί ως η ενδιάμεση κατάσταση της ζωνώδους αυτής ανάπτυξης των Μπ/ούχων μεταλλευμάτων στην τεκτονική ασυνέχεια Στρατωνίου- Βαρβάρας η οποία αναπτύσσεται κύρια στο μέσον και στην δυτική απόληξη του ρήγματος προς την περιοχή της Βαρβάρας.

Ο τρίτος τύπος κυριαρχεί στα δυτικά περιθώρια του ρήγματος και αποτελεί τη μόνη παραγένεση του κοιτάσματος της Βαρβάρας.

Ο τύπος αυτός αποτελείται από μικροκρυσταλλικό, τεκτονισμένο και παραμορφωμένο (έντονο foliation) ασβεστίτικο μάρμαρο, το οποίο έχει αποκλειστικά εμποτιστεί με μαγγανοοξειδία (+/- σιδηροοξειδία), χαλαζία και ασβεστίτη υπό μορφή ψευδοστρώσεων ή στυλολίθων ή πλέγματος φλεβιδίων ή πλήρωσης ανοικτών διάκενων. Το τελικό προϊόν, ένα πλήρως μετασωματωμένο μάρμαρο είναι σύμφωνο με τον μετα-παραμορφωτικό χαρακτήρα της μεταλλοφορίας των οξειδίων του μαγγανίου στην περιοχή.

Ο προσδιορισμός με XRD των ορυκτών οξειδίων της μεταλλοφορίας εντόπισε πυρολουσίτη, τοντοροκίτη, νσουτίτη, κρυπτομέλανα, με σύνδρομα ορυκτά κυρίως χαλαζία σε μικρές ποσότητες ασβεστίτη και δολομίτη και σε ίχνη ραμστελλίτη, κοροναντίτη (πλούσιο σε Pb), ροδοχρωσίτη.

Η ημιποσοτική (XRD) ανάλυση για τα κυριότερα στοιχεία του μαγγανίου και τα αδιαφανή δίνεται στον Πιν. 3. Αξιοσημείωτη η μεγάλη συμμετοχή του τοντοροκίτη στα δείγματα των γεωτρήσεων και της επιφάνειας, η αυξημένη συμμετοχή του νσουτίτη στα δείγματα των γεωτρήσεων αλλά και η μικρή συμμετοχή του SiO₂ στα δείγματα των γεωτρήσεων σε αντίθεση με αυτά της επιφάνειας 39.52 και 63.66% αντίστοιχα.

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μικροαναλύσεων μαγγανιούχων υπεροξειδίων της

Πιν. 3: Ημιποσοτική (X.R.D) ανάλυση μαγγανιούχου μεταλλοφορίας ΒΑ Χαλκιδικής

Περιοχή	n	Τοντοροκίτης	Πυρολουσίτης	Νσουτίτης	Κρυπτομέλανας	Ροδοχρωσίτης	Χαλαζίας	Ασβεστίτης	Δολομίτης
Βαρβάρα γεωτρ.	30	33.49	3.64	12.64	4.95	0.02	39.52	2.76	0.52
Βαρβάρα επιφαν.	13	22.38	6.8	6.19	2.11	0.01	63.66	0	0

περιοχής Βαρβάρας δίνονται στον Πιν. 4. Είναι εμφανής η αυξημένη συμμετοχή του MnO₂ στον πυρολουσίτη σε σχέση με τον τοντοροκίτη, ενώ αντίστροφα στον τοντοροκίτη παρατηρείται αυξημένη συμμετοχή σε K₂O, CaO, FeO, Na₂O.

VI. ΜΕΤΑΛΛΟΓΕΝΕΣΗ

Η πρωτογενής μαγγανιούχος μεταλλοφορία αναθρακική ή και πυριτική έχει εναποτεθεί εξ' αντικαταστάσεως στους ανθρακικούς ορίζοντες της ενότητας των Κερδυλλίων, κύρια κατά μήκος της τεκτονικής ασυνέχειας Στρατωνίου-Βαρβάρας, αλλά και στην περιοχή Μαντέμ Λάκκου, Ολυμπιάδας και Ζέπκου ως σύνδρομα ορυκτά της θειούχου μεταλλοφορίας. Το maximum της μαγγανιούχου μεταλλογένεσης εμφα-
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Πιν. 4: Μικροαναλύσεις στα πλέον κοινά υπεροξειδία του μαγγανίου από το μετάλλευμα του κοιτάσματος της Βαρβάρας Χαλ/κής.

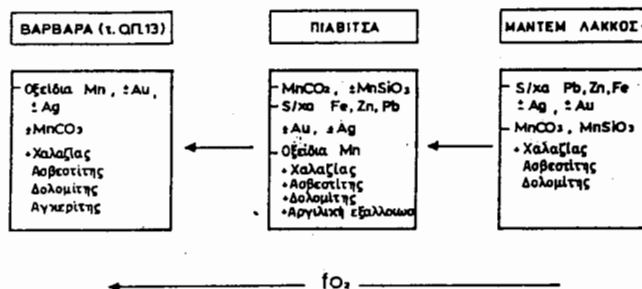
ΟΡΥΚΤΟ	n	MnO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	Na ₂ O
%						
Τοντοροκίτης	31	83.08	1.52	1.42	0.72	0.24
Πυρολουσίτης	11	98.08	0.13	0.31	0.24	0.03



νίζεται στη δυτική προέκταση του ρήγματος Στρατωνίου-Βαρβάρας στην περιοχή Πιάβιτσα και Βαρβάρας. Οι μαγγανιούχες μεταλλοφορίες έχουν μετα-παρामορφωτικό χαρακτήρα και η μορφολογία των σωμάτων δηλώνει το σχηματισμό τους από ανερχόμενα υδροθερμικά διαλύματα, τα οποία χρονικά και χωρικά έπονται της θειούχου φάσης των βασικών μετάλλων σχ. 7. (Θεοδωρούδης, Γαλανόπουλος 1991).

Επακόλουθη είναι η φάση της υπεργενετικής μετακίνησης και συγκεντρώσεως της μαγγανιούχου μεταλλοφορίας, στην οποία συνετέλεσαν ορισμένοι ευνοϊκοί παράγοντες όπως :

- η έντονη τεκτονική διάρρηξη,
- η υψηλή διαπερατότητα (πρωτογενής και δευτερογενής)



Σχ. 7: Η εξέλιξη των παραγενετικών φάσεων κατά μήκος της τεκτονικής ασυνέχειας ΣΤΡΑΤΩΝΙΟΥ - ΒΑΡΒΑΡΑΣ

Fig. 7: Evolution of the paragenetic phases along the STRATONI - VARVARA tectonic discontinuity

νής) των ξενιστών,

- η φύση της πρωτογενούς ανθρακικής (ή και πυριτικής) μαγγανιούχου μεταλλοφορίας.

Αποτέλεσμα της φάσης αυτής είναι, η υπεργενετική μετακίνηση και απόθεση του μαγγανίου σε ευνοϊκές περιοχές (π.χ. Βαρβάρα, Μπασδέκ Λάκκου) όπου η οξειδωμένη μεταλλοφορία φθάνει σε βάθη μέχρι και 220μ., αλλά και η in situ οξειδωση της πρωτογενούς μαγγανιούχου μεταλλοφορίας που οδηγεί στην αντικατάσταση, απόπληξη και μετακίνηση άλλων στοιχείων (Ca, Mg, Fe) και τον εμπλουτισμό σε Mn (π.χ. Πιάβιτσα - Ολυμπιάδα) όπου η οξειδωμένη μεταλλοφορία φθάνει σε μικρά βάθη και σταδιακά μεταβαίνει σε πρωτογενή μαγγανιούχο μεταλλοφορία.

VII. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ - ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΑΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ

Ο χημισμός, τα ορυκτολογικά-ορυκτοχημικά χαρακτηριστικά των μαγγανιούχων μεταλλευμάτων της ΒΑ Χαλκιδικής είναι οι κύριοι παράγοντες που τα καθιστούν κατεργάσιμα με ειδικές τεχνολογικές μεθόδους για την παραγωγή συμπυκνωμάτων με περιεκτικότητες απο δεκτές στη διεθνή αγορά του φυσικού πυρολουσίτη (MnO₂ >70-72%).

Οι δοκιμές που έχουν γίνει στο μετάλλευμα του Δ.Μ. Βαρβάρας σε κλίμακα

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

εργαστηρίου ημιβιομηχανική και βιομηχανική, καταλήγουν στη διαδικασία εμπλουτισμού, που περιλαμβάνει τον εμπλουτισμό του μεταλλεύματος με μαγνήτες και τον προεμπλουτισμό του προσυμπυκνώματος με υδρομηχανικές μεθόδους. Στον πιν. 5 δίνονται τα τελικά αποτελέσματα των δοκιμών εμπλουτισμού Charalabidis Patronis (1992).

Πιν. 5: Ισοζύγιο μαζών στην κατεργασία του μεταλλεύματος.

PRODUCT	Weight %	MnO ₂ Content %	MnO ₂ Distribution %
CONCENTRATE	19.51	70.00	50.02
MIDDINGS	19.89	34.45	25.83
TAILINGS	60.60	10.88	24.15
HEAD SAMPLE	100.00	27.30	100.00

Η τελική ανάκτηση σε MnO₂ είναι 50.02% και η σχέση μεταλλεύματος προς εμπλούτισμα ~5/1 σχέση η οποία θεωρείται πολύ ικανοποιητική δεδομένης της φύσης των μεταλλευμάτων της Χαλκιδικής.

Εργαστηριακές δοκιμές βιοεκχύλισης εφαρμόστηκαν στο μέταλλευμα της Βαρβάρας τα πρόδρομα αποτελέσματα των οποίων αναφέρουν μέγιστη επιτευχθείσα ανάκτηση μαγγανίου της τάξης του 80%. Οι δοκιμές αναμένεται να συνεχιστούν. Αγγελίου Ευγενικού (1993).

Σε εμπλουτίσματα του μεταλλεύματος που παρήχθησαν στις διάφορες φάσεις εμπλουτισμού έχουν μετρηθεί οι φυσικοχημικές και ηλεκτροχημικές παράμετροι οι οποίες προσδίδουν την καταληλότητα, αλλά και την εμπορευσιμότητα ως battery grade του φυσικού πυρολουσίτη (ενεργότητα, δυναμικό οξειδοαναγωγής αδιάλυτα σε HCl, συμμετοχή βαρέων μετάλλων κ.λ.π.). Roskill Information services (1986).

Οι τιμές του MnO₂ σε 7 από τα παραχθέντα εμπλουτίσματα κυμαίνονται από 68.80 έως 76.30 με μέση τιμή 72.30%. Η μέση ενεργότητα είναι 108.13 και 19.86m Ah/gr σε μαλακή και σκληρή εκφόρτιση αντίστοιχα. Επίσης οι μετρήσεις των χημικών και ηλεκτροχημικών χαρακτηριστικών με εξαίρεση τα αδιάλυτα σε HCl το δυναμικό οξειδοαναγωγής βρίσκονται εντός των προδιαγραφών που βάζουν οι κατασκευαστικές εταιρίες. Τα παραπάνω στοιχεία επιτρέπουν την εκτίμηση ότι τα προϊόντα του μαγγανιούχου μεταλλεύματος έχουν τη δυνατότητα να μπου και να σταθούν στη διεθνή αγορά του φυσικού πυρολουσίτη.

Για την πλήρη μελέτη των χαρακτηριστικών του μεταλλεύματος κατασκευάστηκαν δοκιμαστικά, σε συνεργασία με την εταιρία "SUN- LIGTH" μπαταρίες τύπου mignon (R6). Από τις μετρήσεις εκφόρτισης προκύπτει ότι οι δυνατότητες του μεταλλεύματος του Δ.Μ. Βαρβάρας είναι οι ίδιες με τα παγκοσμίως γνωστά μεταλλεύματα φυσικού πυρολουσίτη του μεταλλείου της Δράμας Κούτρουλος Κ. (1987).

Προκειμένου να εξετασθεί η δυνατότητα αξιοποίησης του μεταλλεύματος συντάχθηκε προμελέτη εκμετάλλευσης του κοιτάσματος, Δρούγκας (1988) στην οποία προβλέπονται τα εξής :

Η εξώρυξη του μεταλλεύματος θα είναι υπαίθρια. Προβλέπεται η απόληψη 407.000 τμ μεταλλεύματος μέσης περιεκτικότητας MnO₂ 25.3%. Η μέση σχέση στείρου-μεταλλεύματος θα είναι 4.8/1.

Η επεξεργασία του μετ/τος θα γίνεται επί τόπου, περιλαμβάνει τη θραύση και προεμπλουτισμό του μεταλλεύματος, την λειοτρίβηση και τον εμπλουτισμό του προσυμπυκνώματος. Συνολικά θα παραχθούν 72.000 τον. συμπυκνώματος με περ/τα 75% MnO₂ και μέσο βαθμό ανάκτησης σε MnO₂ 53%.

Το ύψος της απαιτούμενης αρχικής επένδυσης σε σταθερές (τιμές 1988) φθάνει στην τάξη των 522 εκ. δρχ. Τα συνολικά ακαθάριστα έσοδα (κύκλος εργασιών) της εταιρίας φθάνουν στην τάξη των 2.4 δις δρχ. από τα οποία το 90% εκτιμάται ότι Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

θα εισπραχθεί σε συνάλλαγμα.

Θα απασχοληθούν σε μόνιμη βάση 28 άτομα, στα οποία πρέπει να προστεθούν και τα άτομα περιοδικής απασχόλησης (εξώρυξη και μεταφορά του μεταλλεύματος).

Η οικονομική αξιολόγηση της εκμετάλλευσης έδειξε ότι η επένδυση θα έχει τις παρακάτω οικονομικές αποδόσεις για το σύνολο του επενδυόμενου κεφαλαίου.

I. R. R.		
	Πριν από φόρους	Μετά από φόρους
Σταθερές τιμές	14.62%	13.40%
Τρέχουσες τιμές	24.23%	19.72%
Αποπλ/νες τιμές	12.49%	8.44%

VIII. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα μεταλλεύματα και κοιτάσματα μαγγανίου της ΒΑ Χαλκιδικής συνιστούν τις μεγαλύτερες και πυκνότερες συγκεντρώσεις του μετάλλου στην Ελλάδα, η οποία είναι η μόνη χώρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση που διαθέτει μαγγανιούχα κοιτάσματα.

Η συστηματική κοιτασματολογική-μεταλλευτική έρευνα που οδήγησε στον εντοπισμό του κοιτάσματος της Βαρβάρας και οι τεχνολογικές έρευνες που ακολούθησαν αποτελούν ολοκληρωμένη μελέτη και οδηγούν σε ασφαλή συμπεράσματα, όσον αφορά τη στενή περιοχή του Δημοσίου Μεταλλείου Βαρβάρας.

Τα ιδιαίτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά καθιστούν τα οξειδωμένα μαγγανιούχα μεταλλεύματα της περιοχής αξιοποιήσιμα με διάθεση των τελικών προϊόντων στη διεθνή βιομηχανία ξηρών ηλεκτρικών στοιχείων και με οικονομικά αποδεκτούς όρους, οι οποίοι αναμένεται να βελτιωθούν μετά την ολοκλήρωση της μελέτης αξιοποίησης του περιεχόμενου χρυσού.

Η απαιτούμενη επένδυση για την in situ πλήρη επεξεργασία του μεταλλεύματος εκτιμάται ότι θα είναι της τάξης του ενός (1) εκ δραχμών, καθίσταται δε προφανές το όφελος τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι το κοίτασμα της Βαρβάρας αποτελεί μικρό μέρος του συνολικού αποθεματικού δυναμικού της Χαλκιδικής. Η εφαρμογή συστηματικής κοιτασματολογικής έρευνας στον ευρύτερο χώρο περιοχή Πιάβιτσας, Μπασδέκ Λάκκου, Ολυμπιάδας, Ζέπκου κ.α. θεωρούμε ότι θα οδηγήσει στον εντοπισμό νέων κοιτασμάτων τόσο οξειδωμένης όσο και "πρωτογενούς" μεταλλοφορίας πολλαπλάσιου δυναμικού, ικανού να στηρίξει μεταλλευτική μονάδα με σημαντική παραγωγή προϊόντων στον τομέα της βιομηχανίας ξηρών στοιχείων στην μεταλλουργία αλλά στον τομέα της βιομηχανίας ξηρών στοιχείων, στην μεταλλουργία αλλά και σε άλλους και καινοτόμους τομείς της βιομηχανίας μαγγανίου.

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES

- AGELATOU, B., EVGENIKOU, A. (1993). Bioliching experiments on Neochori manganese ore EEC project contact No - CT91 - 0047(TS TS).
- ARVANITIDIS, N., THEODOROU, A., HELLINGWERF, R., KOUKOULIS, C. and DIMOU, E. (1992). Preliminary ore mineralogy and gold Geochemistry of the Zepcos-Papades-Stratoniki mineralized fault zone. Forth progress report in IGME-EC project : MA2M-0015.
- CHARALABIDIS, P. and PATRONIS, M. (1992). Conclusions drawn from the treatment of the Neochori Manganese ore using conventional methods (internal report of IGME).
- GALANOPOULOS, V.P., KALOGEROPOULOS, S.I., THEODOROU, A.C. (1986). The Manganese Ores of the Eastern Chalkidiki Country Macedonia, Northern Greece, 7th IAGOD symposium and Nordkalott Project Meeting LYLEA SWEDEN.
- ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β., ΜΑΣΤΟΡΗΣ, Κ., (1988). Μαγγάνιο : Η θέση και το μέλλον του μετάλλου στη διεθνή αγορά. Οι δυνατότητες έρευνας και ανάπτυξης των Ελλη-

νικών Mn/μεταλλευμάτων. Εκδόσεις ΙΓΜΕ.

- ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β., ΘΕΟΔΩΡΟΥΔΗΣ, Α., (1989): Οι δυνατότητες εντοπισμού πρωτογενούς χρυσού στα μαγγανιομεταλλεύματα της ΒΑ Χαλκιδικής (αδημ. εκθ. ΙΓΜΕ).
- ΔΡΟΥΒΑΣ, Ν., ΔΡΥΜΩΝΙΤΗΣ, Δ., ΜΑΚΡΗΣ, Α., ΜΑΣΤΟΡΗΣ, Κ., ΦΑΛΤΣΕΤΑΣ, (1984). Σύστημα κατάταξης αποθεμάτων ορυκτών πόρων (Αδημ. εκθ. ΙΓΜΕ).
- ΔΡΟΥΓΚΑΣ, Ι. (1988). Προμελέτη εκμετάλλευσης του κοιτάσματος MnO₂ Battery Grade της ΟΠ 13 Ν. Χαλκιδικής (Αδημ. εκθ. ΙΓΜΕ).
- ΘΕΟΔΩΡΟΥΔΗΣ, Α., ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β. (1991). Η μαγγανιούχος μεταλλοφορία του Δημόσιου Μεταλλείου Βαρβάρας (τ. ΟΠ-13) του Ν. Χαλκιδικής (Αδημ. εκθ. ΙΓΜΕ).
- ΘΕΟΔΩΡΟΥΔΗΣ, Α., ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β. (1993). Κοιτασματολογική μελέτη της μεταλλοφορίας Au, Ag στα Μαγγανιούχα κοιτάσματα της ΒΑ Χαλκιδικής.
- KOCKEL, F., MOLLATH, and WALTER, H.W. (1977). Eräuterungen zur Geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100.000 (Nord-Griecheland) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover 119 p.
- ΚΟΥΤΡΟΥΛΟΣ, Κ. (1987). Παραγωγή μπαταριών με MnO₂ από περιοχή ΟΠ-13 (Γραπτή ενημέρωση από SUN LIGHT).
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδος. University Studio press 207 σελ. Θεσσαλονίκη.
- RENA, A. (1977). Manganese Deposits Greece (αδημ. εκθ. Bethlehem Steel).
- ROSKILL INFORMATION SERVICES Ltd (1986). The economics of manganese. Fourth edition. LONDON
- SUPRIYA, ROY (1981). Manganese Deposits Academic Press. LONDON
- VARENSTOV, I.M. and GRASSELLY, G. (1980). Geology and Geochemistry of Manganese, Schweizerbart - Stuthgart.