

ΕΟΡΤΑΣΜΟΣ ΤΩΝ 170 ΧΡΟΝΩΝ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ



ΤΟ Ε.Μ.Π. ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΟΠΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

3-4 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2007

Τα Fe-Ni-ούχα λατεριτικά μεταλλεύματα της
Ελλάδας. Συμβολή της Ορυκτολογίας-
Πετρολογίας στην αξιοποίησή τους.

Ευριπίδης Μπόσκος, Καθηγητής

Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Στον Τομέα Γεωλογικών Επιστημών η Ορυκτολογία-Πετρολογία που εκπροσωπώ ασχολείται ερευνητικά κυρίως με θέματα **Βασικής Έρευνας**.

Στόχος μας είναι να συμβάλλουμε στην κατανόηση της γεωδυναμικής εξέλιξης και της γεωλογικής ιστορίας του Ελλαδικού χώρου.

Μια από τις σημαντικότερες επιτυχίες μας είναι η ανακάλυψη μικροδιαμαντιών (μεγέθους 4-10 μ m) σε πετρώματα της Ροδόπης.

Η επιτυχία μας αυτή κίνησε το ενδιαφέρον σε διακεκριμένους γεωεπιστήμονες με προτάσεις για συνεργασίες και περαιτέρω έρευνα στη Ροδόπη.

Ασχολούμαστε, όμως, ερευνητικά και σε αντικείμενα της Σχολής μας που αφορούν την αξιοποίηση του ορυκτού πλούτου της χώρας, συμβάλλοντας στην κατανόηση των μηχανισμών που λαμβάνουν χώρα στην κατεργασία των πρώτων υλών και βέβαια στη βέλτιστη αξιοποίησή τους.

Ένα από τα πολλά αντικείμενα είναι και οι Fe-Ni-ούχοι λατερίτες.



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο (Ni) είναι μέταλλο στρατηγικής σημασίας. Περίπου το 65% του Ni καταναλώνεται στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα και το 20% στην παραγωγή άλλων χαλύβων και μη σιδηρούχων κραμμάτων.

Ni – ούχα μεταλλεύματα

A: Μαγματικά θειούχα με κύρια ορυκτά

Πεντλανδίτης $(Fe, Ni)_9S_8$

Ni-ούχος μαγνητοπυρίτης Fe_9S_8

με ~ 1% Ni σε αντικατάσταση Fe

B: Λατεριτικά Fe-Ni-ούχα

Είναι προϊόντα λατεριτικής αποσάθρωσης περιδοτιτών.

Περιέχουν συνήθως 1-3% Ni.

Τα 2/3 των παγκόσμιων αποθεμάτων Ni βρίσκονται σε λατερίτες.



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Σχηματισμός Λατεριτών

Στα πυριτικά ορυκτά το Ni βρίσκεται ως ιχνοστοιχείο αντικαθιστώντας το Mg.

Στους **περιδοτίτες**, στους οποίους το MgO κυμαίνεται μεταξύ 40-50%, το Ni παρουσιάζεται σε αυξημένες συγκεντρώσεις (1500 – 3000 ppm), ενώ στους **βασάλτες** (με MgO ~5-9%) και στους **γρανίτες** (με MgO 0.8-2%), οι τιμές του Ni ανέρχονται σε 130 και 10ppm αντίστοιχα.

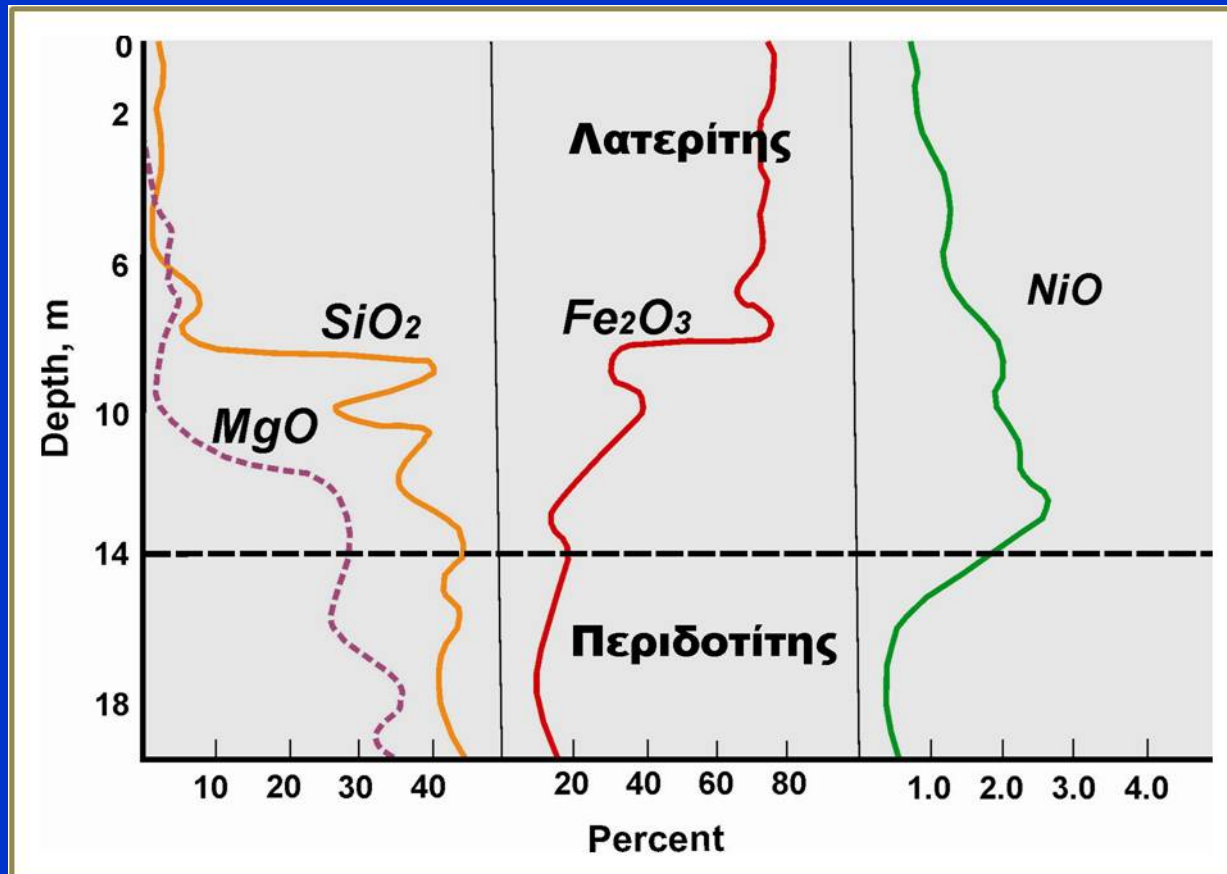
Πλούσιοι σε Ni λατερίτες σχηματίζονται από την αποσάθρωση περιδοτιτών.

Πλούσιοι σε Al λατερίτες (**βωξίτες**) σχηματίζονται από την αποσάθρωση πλούσιων σε Al_2O_3 πετρωμάτων [π.χ. βασάλτες, γρανίτες (Al_2O_3 14-18%)].



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

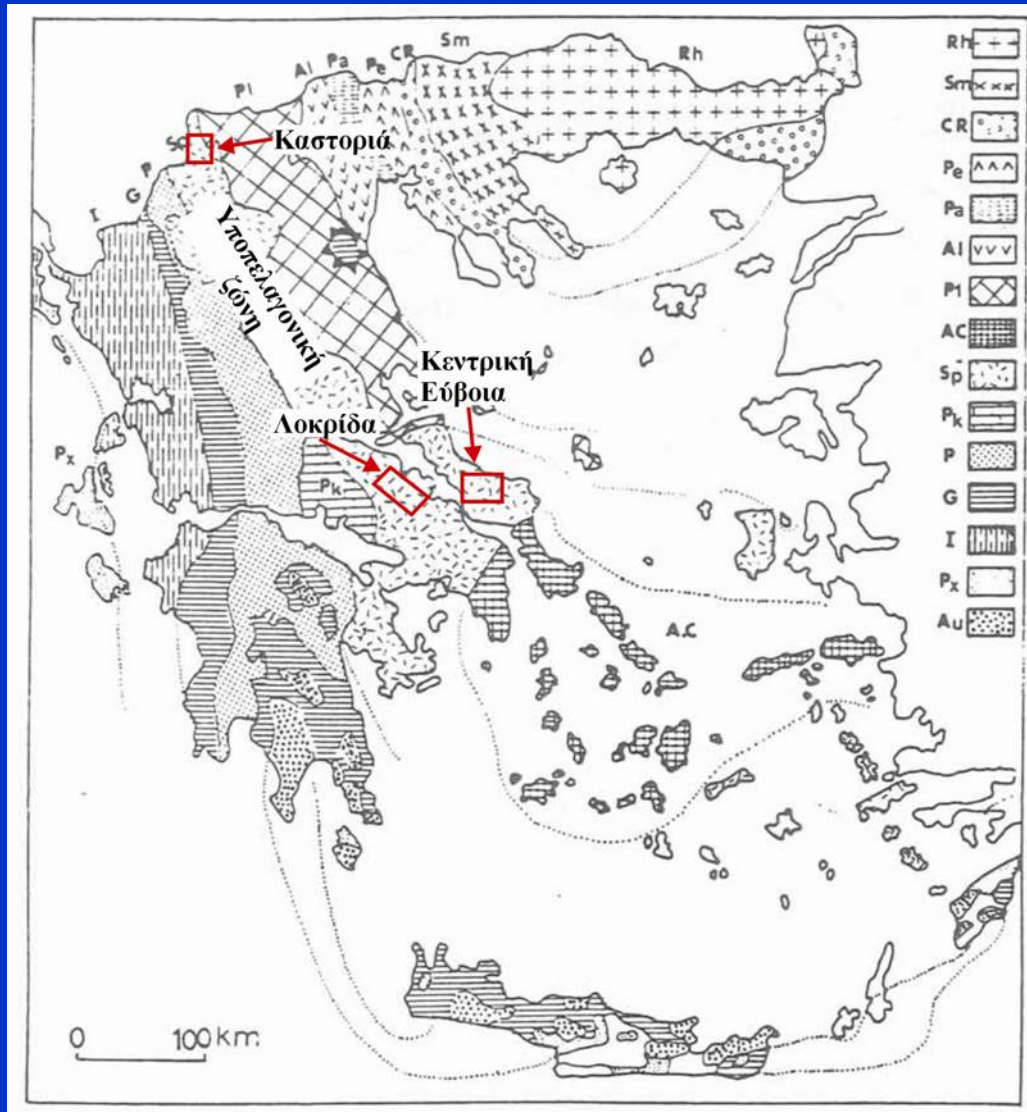


Κατανομή του MgO, SiO₂, Fe₂O₃ και NiO σε λατεριτικό προφίλ πάχους ~14m επάνω από περιδοτίτη.



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007



Fe-Ni-ούχα λατεριτικά κοιτάσματα στην Ελλάδα

Υπό εκμετάλλευση βρίσκονται τα κοιτάσματα στην Εύβοια, τη Λοκρίδα και την Καστοριά.

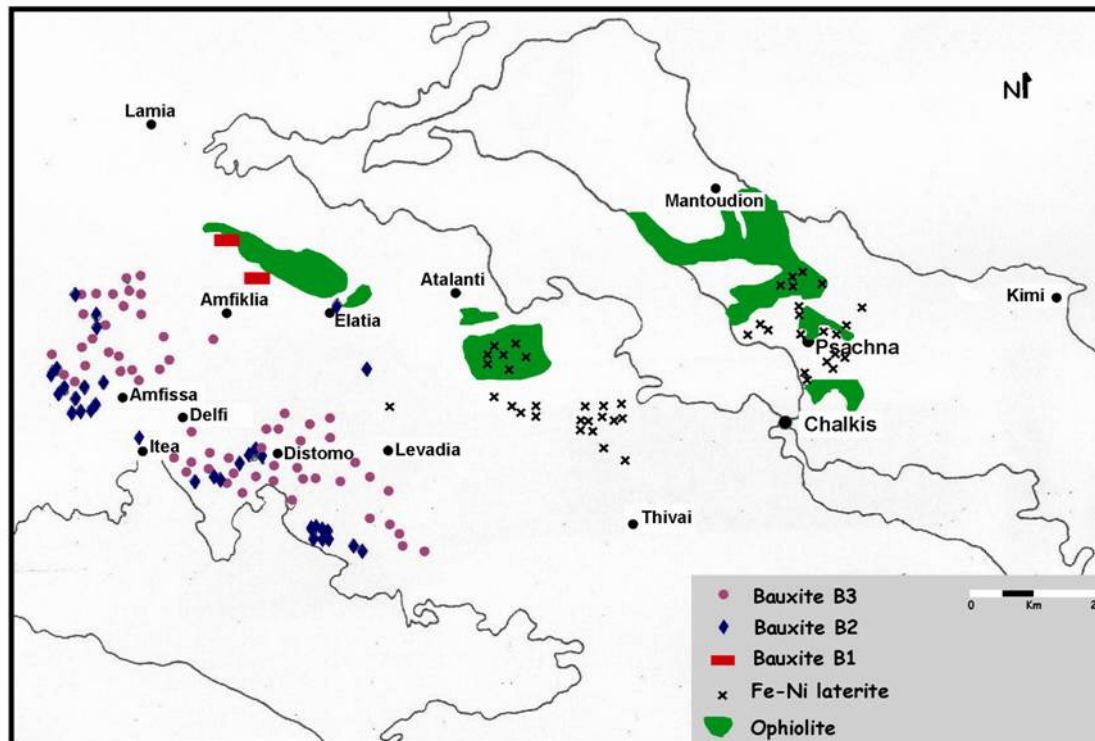
Αντιπροσωπεύουν το 90% των αποθεμάτων Ni της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Κατανομή Fe-Ni-ούχων λατεριτών και βωξιτών στην Κεντρική Ελλάδα.



Στην Κεντρική Εύβοια και στη Λοκρίδα επικρατούν τα Fe-Ni-ούχα κοιτάσματα και στον Παρνασσό και Ελικώνα οι βωξιτες.

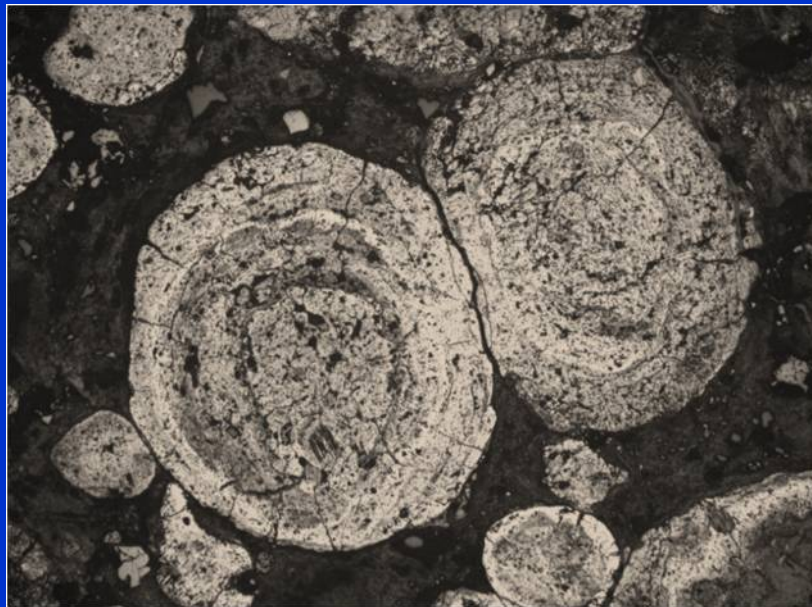


Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Τύποι Fe-Ni-ούχου μεταλλεύματος

A: Πισσολιθικός τύπος.



Χαρακτηρίζεται από σφαιροειδή συσσωματώματα αιματίτη σε πηλιτόμορφη matrix.

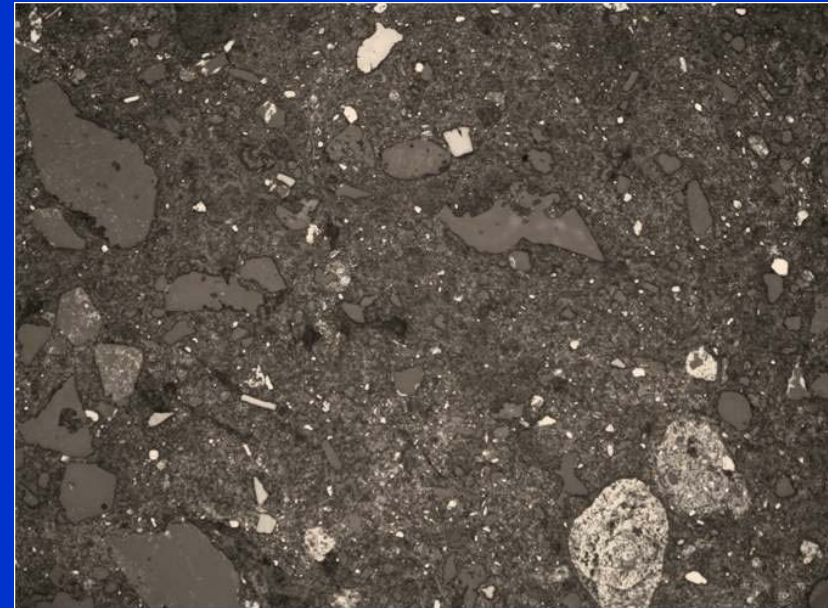
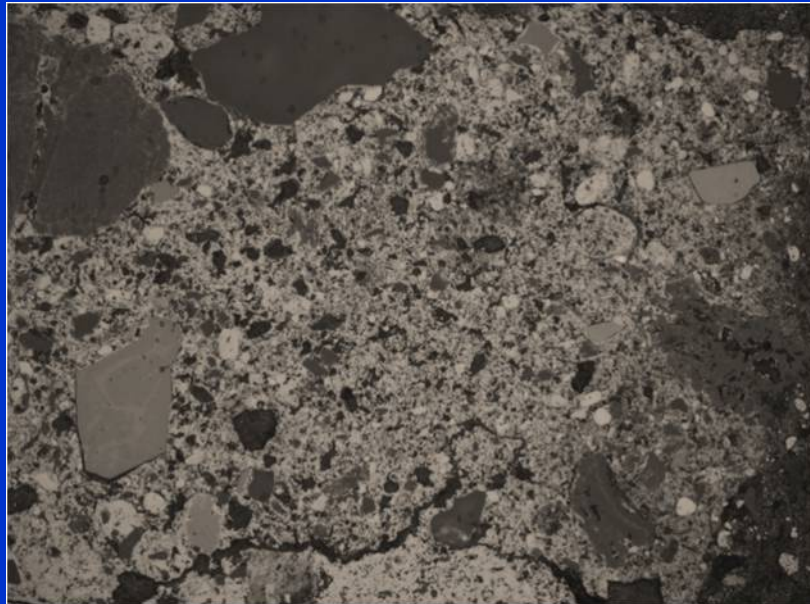


Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Τύποι Fe-Ni-ούχου μεταλλεύματος

B: Συμπαγής τύπος.



Παρουσιάζει στενή σύμφυση μικροκρυστάλλων χλωρίτη, αιματίτη, χαλαζία και χρωμίτη.



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Ορυκτολογική σύσταση λατερίτη από κοιτάσματα της Εύβοιας

Ορυκτό		(μέση τιμή)
Αιματίτης	30-60%	(45)
Χαλαζίας	5-30%	(21)
Χλωρίτης	10-30%	(18)
Ιλλίτης	5-10%	(10)
Χρωμίτης	<5%	(4)

Με μικρότερο ποσοστό συμμετέχουν:
σερπεντίνης, ασβεστίτης, τάλκης, γκαιτίτης.



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Μέση χημική σύσταση (wt%) του λατερίτη και των κύριων ορυκτολογικών φάσεων

	(8) Λατερίτης	(70) Χλωρίτης	(11) Ιλλίτης	(55) Αιματίτης	(12) Χρωμίτης
SiO ₂	32	28.90	46.26	2.88	-
Al ₂ O ₃	8.5	20.50	26.33	2.02	33.04
Fe ₂ O ₃	46	20.84	7.50	91.49	17.80
Cr ₂ O ₃	3.1	1.94	2.72	2.28	36.93
MgO	3.4	9.94	3.16	-	13.12
K ₂ O	0.8	0.70	8.89	-	-
<u>NiO</u>	<u>1.16</u>	<u>5.15</u>	<u>0.59</u>	<u>0.42</u>	<u>0.09</u>

(8): αριθμός αναλύσεων.

Οι χημικές αναλύσεις των ορυκτών έγιναν με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή.

Από τα δεδομένα των δύο πινάκων προκύπτει ότι το Ni που εμπεριέχεται στο λατερίτη (**1.16% NiO**) είναι ενδομημένο στο χλωρίτη κατά **79%**, στον ιλλίτη κατά **5%** και στον αιματίτη κατά **16%**.



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

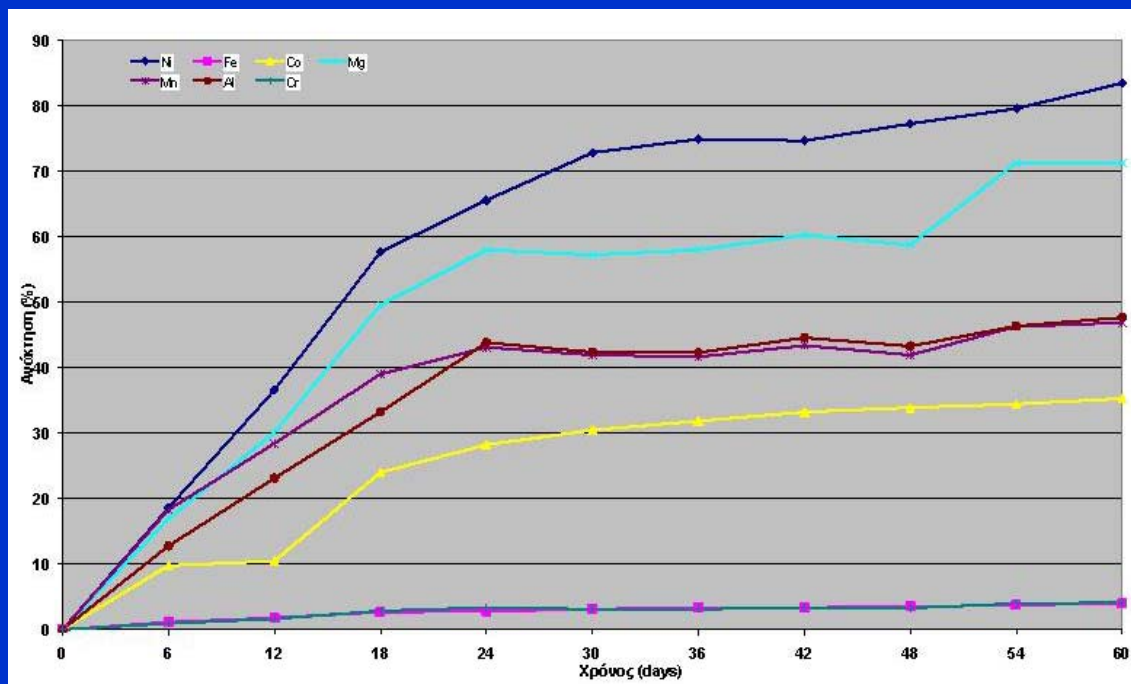
Δεκέμβριος 2007

Συμβολή της Ορυκτολογίας – Πετρολογίας στην αξιοποίηση του λατερίτη.

Η κατεργασία των μεταλλευμάτων του Ni γίνεται υδρομεταλλουργικά ή πυρομεταλλουργικά.

Υδρομεταλλουργία

Πειράματα εκχύλισης λατερίτη Εύβοιας που έγιναν στο Εργαστήριο Υδρομεταλλουργίας MMM με αραιό θειικό οξύ σε συνθήκες περιβάλλοντος έδωσαν ανακτήσεις Ni μέχρι και 80%.



Ανακτήσεις μετάλλων κατά την εκχύλιση σε σωρούς ελληνικού λατερίτη με αραιό θειικό οξύ (από Σ. Αγατζίνη-Λεονάρδου)

Εκχυλίστηκε το Ni από τη διάσπαση του **χλωρίτη**, δηλ. από το **18%** του μεταλλεύματος και όχι από τον αιματίτη. Για να ανακτηθεί όλο το Ni πρέπει να διαλυτοποιηθεί το **73%** του μεταλλεύματος, γεγονός που καθιστά τη μέθοδο εξαιρετικά δαπανηρή.



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Πυρομεταλλουργία

Τα λατεριτικά μεταλλεύματα Ni κατεργάζεται πυρομεταλλουργικά η ΛΑΡΚΟ στη Λάρυμνα, παράγοντας κράμα Fe-Ni με 20% Ni.

Η κατεργασία περιλαμβάνει:

A. Θραύση και μίξη του μεταλλεύματος με άνθρακα.

B. Προθέρμανση και προαναγωγή σε περιστροφική κάμινο (ΠΚ) μέχρι ~850-900°C.

Γ. Αναγωγική τήξη του προϊόντος της ΠΚ σε ηλεκτρική κάμινο όπου παράγεται κράμα Fe-Ni με ~13% Ni.

Δ. Εμπλουτισμό και καθαρισμό του Fe-Ni με εμφύσηση οξυγόνου σε μεταλλάκτη και παραγωγή του τελικού προϊόντος Fe-Ni με 20% Ni.



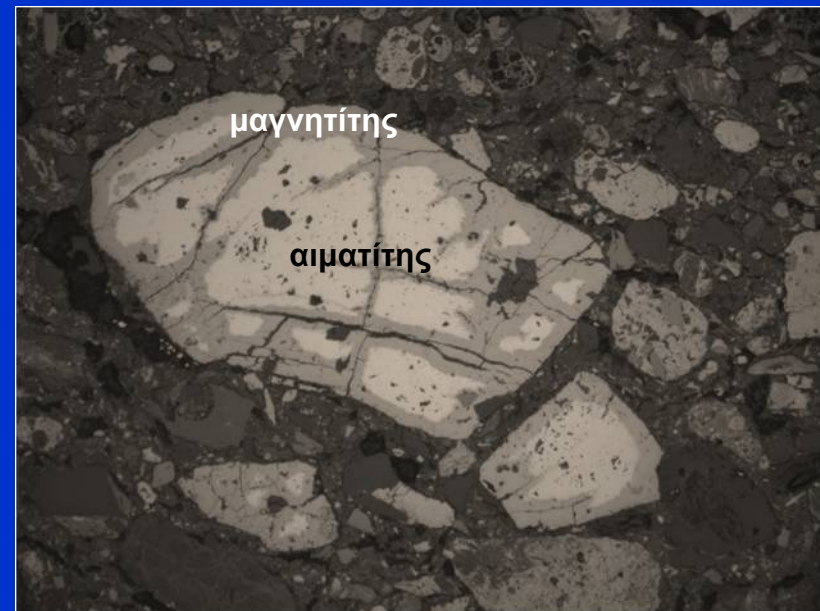
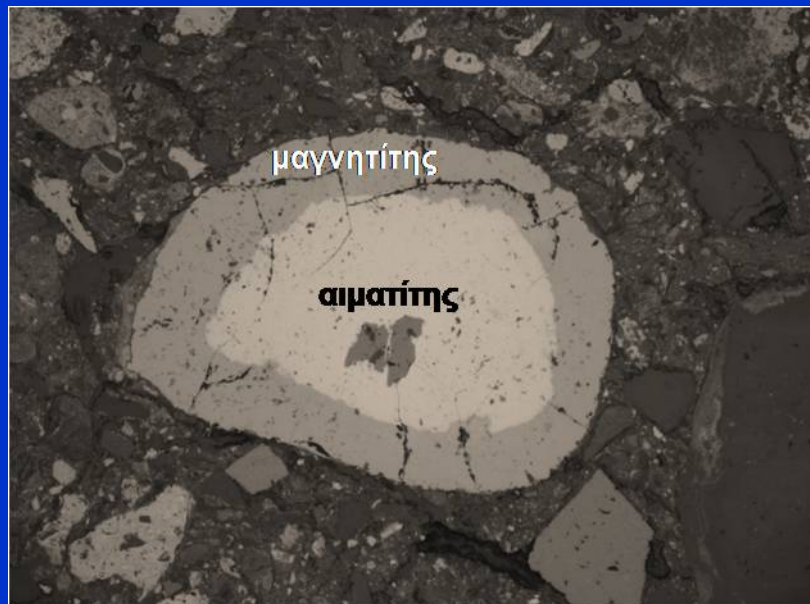
Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Προϊόν περιστροφικής καμίνου (ΠΕΚ)

Η ορυκτολογική μελέτη του ΠΕΚ έδειξε ότι ο αιματίτης (Fe_2O_3) έχει αναχθεί σε μαγνητίτη (FeOFe_2O_3) και όχι σε βουσίτη (FeO).

Στους πισσόλιθους, ο αιματίτης περιβάλλεται από μαγνητίτη. Προφανώς, ο δεύτερος εμποδίζει τη διάχυση του CO στο εσωτερικό του πισσόλιθου και την αναγωγή του υπόλοιπου αιματίτη σε μαγνητίτη.



Πισσόλιθοι αιματίτη που περιβάλλονται από μαγνητίτη.



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Σκουριά Ηλεκτρικής Καμίνου

Η σκουριά που παράγεται στην ηλεκτρική κάμινο αποτελεί το 85-88% του ΠΕΚ.

Τυπική χημική σύσταση της σκουριάς (wt%)

SiO ₂	33.7	MgO	3.4
Al ₂ O ₃	9.3	CaO	3.3
Fe ₂ O ₃	2.6	Cr ₂ O ₃	4.3
FeO	41.1	<u>Ni</u>	<u>0.14</u>

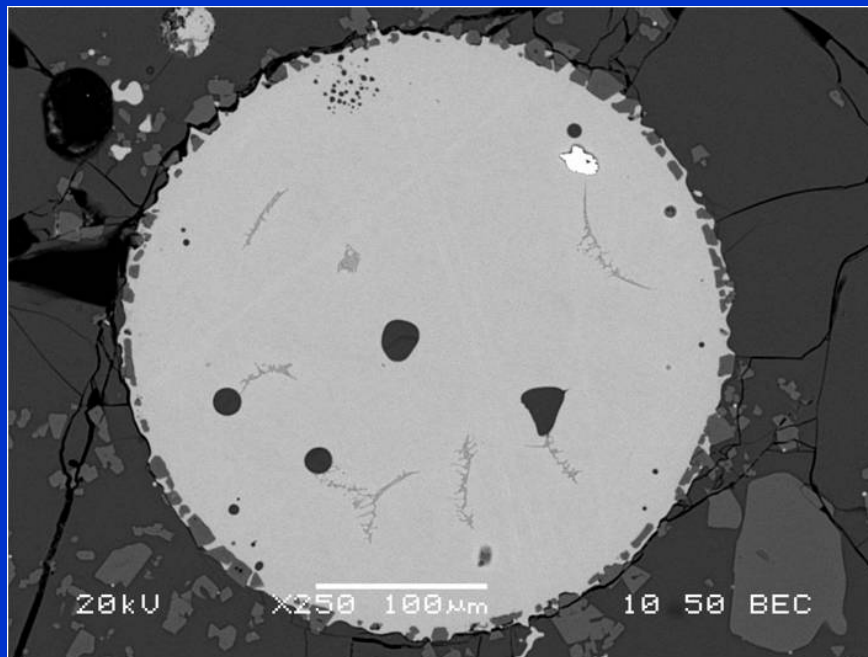


Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

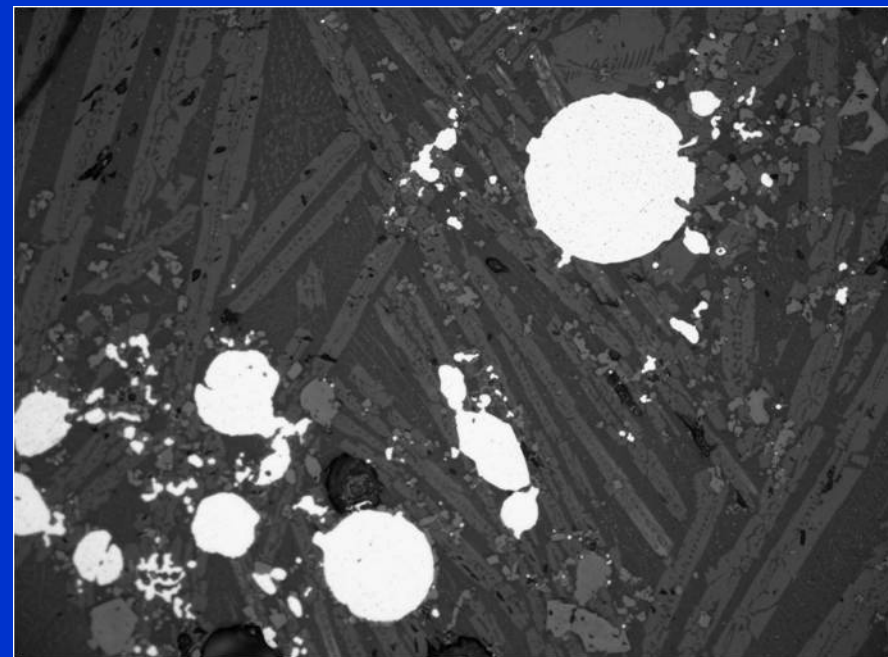
Δεκέμβριος 2007

Αποτελείται κατεξοχήν από υαλώδη φάση στην οποία εμπεριέχονται σφαιρίδια κράματος Fe-Ni μεγέθους **6-500 μ m**.

Το σφαιροειδές σχήμα των κόκκων Fe-Ni και το εύρος της χημικής τους σύστασης (Ni=0.5-27%) δείχνει ότι πρόκειται για μηχανικές κατακρατήσεις σταγόνων Fe-Ni οι οποίες δεν πρόφθασαν να διαχωριστούν από την τηγμένη σκουριά.



Φωτογραφία από το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης JEOL JSM 6380-LV της Σχολής ΜΜΜ



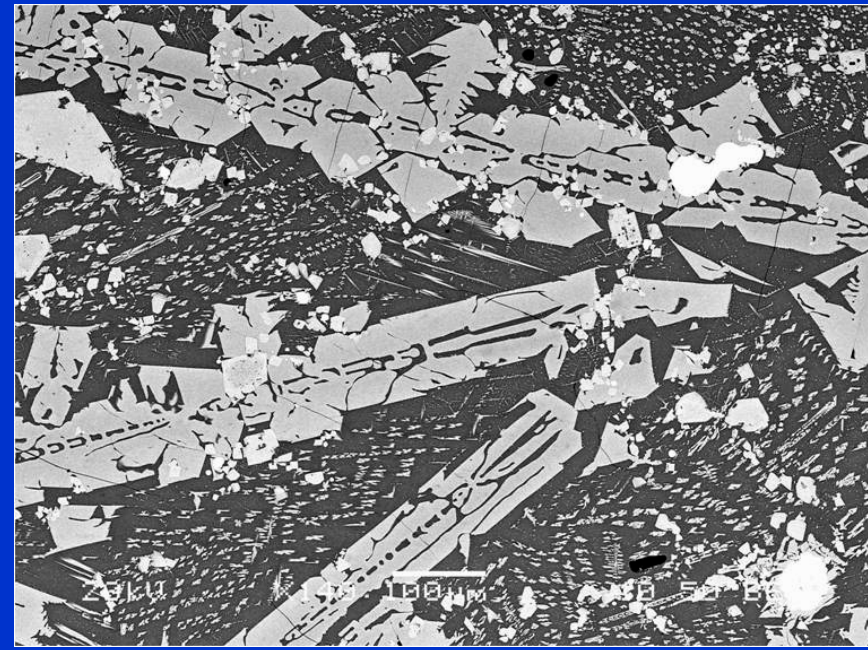
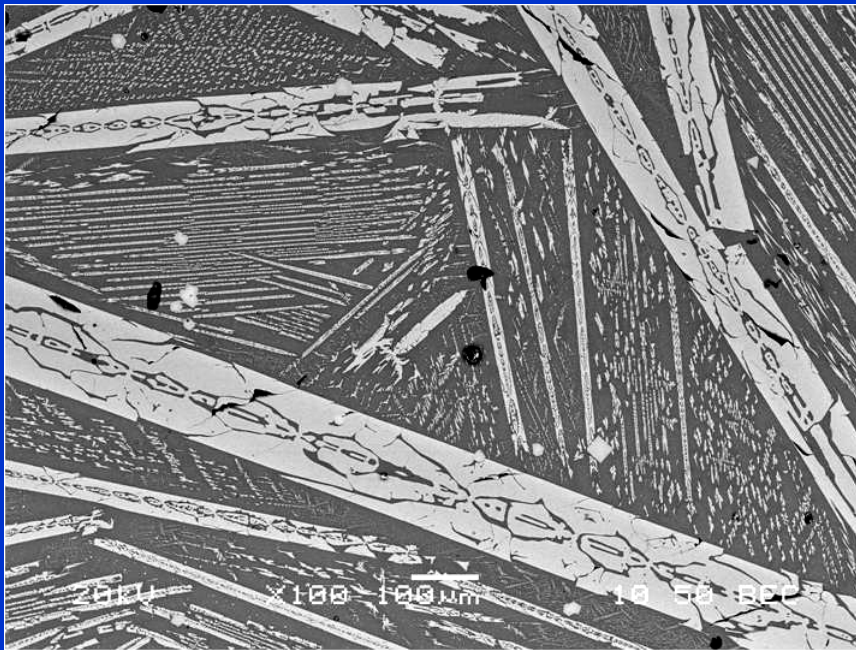
Φωτογραφία από Οπτικό Μικροσκόπιο Ανακλωμένου Φωτός



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Σκουριά η οποία ψύχθηκε ελεύθερα στον αέρα, κρυσταλλώθηκε κατά 40-60% σε ολιβίνη $[(Fe,Mg)_2SiO_4]$ και χρωμίτη $[(Fe,Mg)(Cr,Al)_2O_4]$ και έγινε σκληρότερη ($H=6-6.5$) από την υαλώδη σκουριά ($H\sim 5$) (Φωτ. 6).



Φωτογραφίες από το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης JEOL JSM 6380-LV της Σχολής MMM



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Συμπεράσματα

- Α.** Το Ni που εμπεριέχεται στα κοιτάσματα των λατεριτών της Εύβοιας (~1%) είναι κατά **80%** περίπου ενδομημένο στο κρυσταλλικό πλέγμα του χλωρίτη, ο οποίος συμμετέχει με **~18%** στην ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος.
- Β.** Στην εκλεκτική εκχύλιση του Ni με αραιό θειϊκό οξύ, το ποσοστό ανάκτησης Ni φθάνει μέχρι **~80%**. Πρακτικά, διαλυτοποιείται το Ni που είναι ενδομημένο στο χλωρίτη.
- Γ.** Στην ΠΚ ο βαθμός αναγωγής του λατερίτη είναι περιορισμένος. Φθάνει μέχρι τη μετατροπή του αιματίτη (Fe_2O_3) σε μαγνητίτη (Fe_3O_4) και όχι σε βουσίτη (FeO).
- Δ.** Στη σκουριά των ΗΚ το Ni βρίσκεται κυρίως σε μορφή μηχανικών κατακρατήσεων (σφαιρίδια Fe-Ni). Οι μηχανικές κατακρατήσεις μπορούν να ανακτηθούν εν μέρει με θραύση της σκουριάς και μαγνητικό διαχωρισμό.
- Ε.** Σκουριά που στερεοποιείται ελεύθερα στον αέρα κρυσταλλώνεται σε ολιβίνη και χρωμίτη. Αυξάνεται η σκληρότητά της και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αντιολισθητικό υλικό σε ασφαλτοτάπητες.
- ΣΤ.** Το χρώμιο στη σκουριά είναι σε τρισθενή μορφή και δεν δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα.



Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας

Δεκέμβριος 2007

Η σύντομη παρουσίαση αποτελεί ένα από τα πολλά αντικείμενα στα οποία η Ορυκτολογία – Πετρολογία συμβάλλει στην Έρευνα αξιοποίησης του ορυκτού πλούτου της χώρας.

Ευχαριστώ για την προσοχή σας