



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΕΤΡΟΣ ΒΡΑΚΑΣ

ΑΕΜ:5635

Κοιτάσματα Νικελίου στην Ελλάδα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2021





ΠΕΤΡΟΣ Ν.ΒΡΑΚΑΣ

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων καθηγητής:

Βασίλειος Μέλφος, Αναπληρωτής Καθηγητής

© ΠΕΤΡΟΣ Ν.ΒΡΑΚΑΣ, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Πέτρος Ν. Βρακάς, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Κοιτάσματα Νικελίου στην Ελλάδα – *Διπλωματική Εργασία*

© Petros N. Vrakas, School of Geology AUTH, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2021.

All rights reserved.

Nickel deposits in Greece - *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

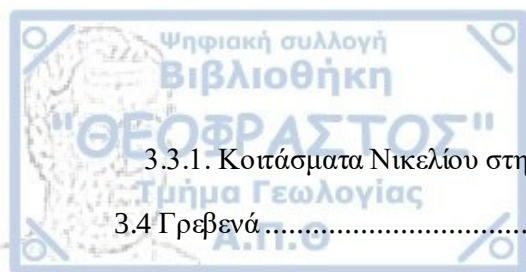
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Νικέλιο (emedi.gr)



Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1. Νικέλιο	5
1.1 Νικέλιο γενικές πληροφορίες.....	5
1.2 Χρήσεις – Εφαρμογές νικελίου.....	6
1.3 Παγκόσμια Βιομηχανία Νικελίου.....	6
1.4 Ελληνική Βιομηχανία Νικελίου	7
1.5 Τιμή Νικελίου	8
2. Κοιτάσματα Νικελίου	10
2.1. Τύποι κοιτασμάτων.....	10
2.2 Θειούχα Κοιτάσματα	10
2.3. Λατεριτικά κοιτάσματα.....	11
2.3.1. Ορυκτολογική σύσταση μητρικών πετρωμάτων λατεριτών.....	11
2.3.2 Ταξινόμηση των νικελιούχων λατερικών κοιτασμάτων	11
2.3.3. Ορυκτολογική σύσταση νικελιούχων λατεριτών.....	12
2.4 Ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα	14
2.4.1 Ορυκτολογική σύσταση ιζηματογενών κοιτασμάτων	14
3. Κοιτάσματα Νικελίου στην Ελλάδα.....	15
3.1. Λοκρίδα:.....	15
3.1.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής:	15
3.1.2. Νικελιούχα κοιτάσματα της Λοκρίδας	16
3.1.3. Γεωχημικά χαρακτηριστικά:.....	20
3.2 Εύβοια.....	21
3.2.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.....	21
3.2.2. Κοιτάσματα Νικελίου στην Εύβοια	21
3.3 Πάρνηθα.....	24



3.3.1. Κοιτάσματα Νικελίου στην Πάρνηθα	24
3.4 Γρεβανά	25
3.4.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.....	25
3.4.2. Κοιτάσματα Νικελίου στο Παλαιοχώρι Νομού Γρεβενών	25
3.5 Καστοριά	26
3.5.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.....	27
3.5.2. Κοιτάσματα Νικελίου στον Άγιο Αθανάσιο Καστοριάς και στην ευρύτερη περιοχή της Ιεροπηγής.....	30
3.5.3. Ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος	31
3.5.4. Γεωχημικά χαρακτηριστικά του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος	32
3.6 Βέρμιο	34
3.6.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.....	34
3.6.2. Σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα στο Βέρμιο	35
3.6.3. Γεωχημεία μεταλλεύματος.....	39
3.7 Έδεσσα.....	40
3.7.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.....	40
3.7.2. Κοιτάσματα νικελίου στη Φλαμουριά Έδεσσας.....	43
3.7.3. Ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος.....	43
4.Συμπέρασμα.....	45
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	46



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κοιτάσματα Νικελίου στην Ελλάδα

Πέτρος Βρακάς

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τα κοιτάσματα νικελίου που κατανέμονται στον Ελλαδικό χώρο. Αρχικά το νικέλιο ως στοιχείο αποτελεί το 5^ο πιο κοινό στοιχείο στη Γη. Έχει πολύ σημαντικές ιδιότητες που του προσδίδουν μεγάλη αξία. Εφαρμόζεται σε διάφορες χρήσεις, αλλά η μεγαλύτερη χρησιμότητά του είναι στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα. Οι τύποι κοιτασμάτων όπου αναπτύσσεται το μέταλλευμα είναι τα θειούχα (αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό παγκοσμίως τα οποία παράγεται το νικέλιο), τα λατεριτικά και τα ιζηματογενή νικελιούχα κοιτάσματα. Οι σημαντικότερες περιοχές με μεγάλα αποθέματα νικελίου, όπου πραγματοποιείται εκμετάλλευση είναι η περιοχή της Λοκρίδας, η Εύβοια και η Καστοριά. Η εκμετάλλευση πραγματοποιείται από την εταιρεία ΛΑΡΚΟ. Στα κέντρα αυτά έχουν γίνει διάφορες γεωλογικές, ορυκτολογικές και γεωχημικές μελέτες που βοηθούν στην εξόρυξη αυτών των μεταλλευμάτων. Επίσης άλλες περιοχές με σημαντικά αποθέματα νικελίου που έχουν μελετηθεί είναι η Έδεσσα, το Βέρμιο, τα Γρεβενά και η Πάρνηθα.



ABSTRACT

Nickel deposits in Greece

Petros Vrakas

The present thesis focuses on the nickel deposits of Greece. Nickel is the 5th most common element on Earth. Due to its unique physicochemical characteristics, it has a great value and numerous applications. It is an essential metal in stainless steel production. Moreover, nickel is found in many ore types, such as sulfide (currently the largest source of nickel in the world), laterite and sedimentary nickel deposits. Overall the most significant areas in Greece, with large nickel reserves, which are currently mined, are found in Lokris, in Evia and in Kastoria. The exploitation is carried out by LARCO. Various geological, mineralogical, and geochemical studies have been carried out in these mining centers and contribute in the extraction of these ores. Also, other areas with significant nickel reserves that have been studied are in Edessa, Vermio, Grevena and Parnitha.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά την χειμερινή περίοδο έτους 2020-2021, στα πλαίσια των προπτυχιακών μου σπουδών υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, του Τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Βασίλειο Μέλφο.

Η διπλωματική εργασία με θέμα «Τα κοιτάσματα Νικελίου στην Ελλάδα» έχει ως κύριο στόχο να αναδείξει περιοχές της Ελλάδας που έχουν μελετηθεί και έχουν βρεθεί σημαντικά αποθέματα νικελίου. Πρόκειται για περιοχές που προβάλλουν ένα τμήμα του ορυκτού πλούτου της χώρας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή καθηγητή κ. Βασίλειο Μέλφο για την ανάθεση ενός τόσο σημαντικού θέματος αλλά και για την πολύτιμη καθοδήγηση στη διπλωματική μου εργασία. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που με στήριξε κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο που αφορά την παρούσα διπλωματική εργασία είναι τα κοιτάσματα νικελίου στην Ελλάδα. Το νικέλιο είναι ένα από τα σημαντικότερα μέταλλα που υπάρχει και παράγεται στην Ελλάδα. Πρόκειται για ένα βασικό μέταλλο όπου κυριαρχεί στο παγκόσμιο εμπόριο και έχει μεγάλη χρησιμότητα. Τα κοιτάσματα νικελίου που υπάρχουν στη χώρα παράγονται και εξάγονται σε όλη την Ευρώπη και τον κόσμο. Η εκμετάλλευση αυτών των μεταλλευμάτων γίνεται μέσω της εταιρείας ΛΑΡΚΟ. Η ΛΑΡΚΟ διαθέτει μεταλλεία σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας αλλά και μεταλλευτικό εργοστάσιο στη Λάριμνα.

Τα κεφάλαια που ακολουθούν αναφέρουν τη χρησιμότητα, τις εφαρμογές του νικελίου και τα κοιτάσματα όπου αναπτύσσεται το μετάλλευμα. Επίσης αναφέρονται και αναλύονται για τη γεωλογία, την ορυκτολογία, τη γεωχημεία και τη κοιτασματολογία, όλες οι σημαντικές περιοχές της Ελλάδας που είναι φορείς των νικελιούχων κοιτασμάτων.

1.1 Νικέλιο γενικές πληροφορίες

Το νικέλιο αποτελεί το 5^ο πιο κοινό στοιχείο στη Γη με συγκέντρωση 0,008%. Στον περιοδικό πίνακα ανήκει στα στοιχεία μεταπτώσεως και παρουσιάζει τυπικές μεταλλικές ιδιότητες. Το χημικό στοιχείο νικέλιο (Ni) έχει θερμοκρασία τήξης στους 1453 C° και θερμοκρασία βρασμού 2732 C°. Θεωρείται πολύτιμο μέταλλο με ατομικό αριθμό 28 και ατομικό βάρος 58,69. Η πυκνότητά του είναι 8,9 g/cm³ (στους 20 C°) (Πίν. 1). Το στοιχείο αυτό συναντάται κατά κύριο λόγο στη δομή θειούχων οξειδίων και αλάτων ανόργανων ουσιών. Στο εμπόριο το νικέλιο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά προϊόντα παγκοσμίως. Τα στοιχεία που καθιστούν το νικέλιο ως πολύτιμο μέταλλο είναι η αντοχή, η ελαστικότητα, η καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, η αντίσταση στη διάβρωση, οι καταλυτικές ιδιότητες και τα μαγνητικά χαρακτηριστικά του (Larco).

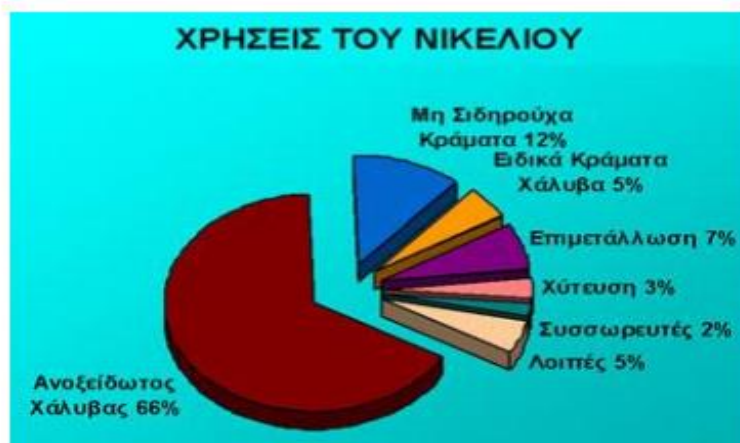
Πίνακας 1: Ιδιότητες νικελίου (Lenntech.com)

Ατομικός αριθμός	28
Ατομική μάζα	58.71 g.mol ⁻¹
Ηλεκτραρνητικότητα σύμφωνα με τον Pauling	1.8
Πυκνότητα	8.9 g.cm ⁻³ at 20°C
Σημείο τήξεως	1453 °C
Σημείο βρασμού	2913 °C
Ακτίνα Van der Waals	0.124 nm
Ιοντική ακτίνα	0.069 nm (+2) ; 0.06 nm (+3)
Ισότοπα	10
Νέφος ηλεκτρονίων	[Ar] 3d ⁸ 4s ²
Ενεργεία 1^{ου} ιονισμού	735 kJ.mol ⁻¹
Ενεργεία 2^{ου} ιονισμού	1753 kJ.mol ⁻¹
Ενεργεία 3^{ου} ιονισμού	3387 kJ.mol ⁻¹
Πρότυπο δυναμικό	- 0.25 V
Ανακαλύφθηκε από	Alex Constedt 1751

1.2 Χρήσεις – Εφαρμογές νικελίου

Χρησιμοποιείται γενικότερα στους χάλυβες και κυρίως στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα (κατανάλωση από το 70% της παγκόσμιας παραγωγής). Επίσης στον ειδικό χάλυβα, στον ανθρακούχο χάλυβα ΚΗΤ και στα ειδικά κράματα.

- Στις επιμεταλλώσεις.
- Στους συσσωρευτές.
- Στους καταλύτες.
- Κατασκευή μπαταριών
- Παραγωγή μαγνητών
- Ηλεκτρονικά προϊόντα που περιέχουν νικέλιο
- Κράματα σκληρής συγκόλλησης (nickel.vale.com)



Σχήμα 1: Χρήσεις του Νικελίου. (www.larco.gr)

1.3 Παγκόσμια Βιομηχανία Νικελίου

Οι χώρες που κυριαρχούν παγκοσμίως στην παραγωγή νικελίου είναι η Βραζιλία, Κούβα, Κίνα, Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, Κολομβία, Ρωσία, Νέα Καληδονία, Αυστραλία, Καναδάς, Ινδονησία, Φιλιππίνες, Δομινικανή Δημοκρατία, Νότιος Αφρική, Βενεζουέλα, Ζιμπάμπουε, Μποτσουάνα και Ελλάδα. Επίσης μονάδες εμπλουτισμού νικελίου υπάρχουν στη Γαλλία, Νορβηγία, Ηνωμένο Βασίλειο, Φινλανδία και Ιαπωνία (Nickel Institute). Από την περίοδο 2007 έως 2012 σύμφωνα με τον πίνακα 2 η Ευρώπη αναδείχθηκε πρώτη στην παραγωγή πρωτογενούς νικελίου σε σχέση με άλλες ηπείρους, με την Ασία να ακολουθεί στη δεύτερη θέση. Τρίτη η Αμερική και ακολουθούν Ωκεανία και Αφρική.

Επιπλέον και στην κατανάλωση νικελίου την περίοδο 2007-2012 η Ευρώπη βρίσκεται στην πρώτη θέση και η Ασία στη δεύτερη (Πίν. 3).

Πίνακας 2: Παραγωγή πρωτογενούς νικελίου για την περίοδο 2007-2012, κάθε ηπείρου ξεχωριστά και συνολική παγκόσμια παραγωγή (InternationalNickelStudyGroup).

Πρωτογενής Παραγωγή Νικελίου (×1000 tn)	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Αφρική	43.0	36.6	36.3	36.0	36.5	41.1
Αμερική	317.2	299.4	234.1	223.1	272.7	300.7
Ασία	379.4	378.6	432.3	538	628.5	730.3
Ευρώπη	513.7	510.2	444.4	501.6	521.7	514.3
Ωκεανία	156.2	141.9	167.6	141.4	150.7	174.5
Συνολικό	1409.5	1366.7	1314.7	1440.1	1610.1	1760.9

Πίνακας 3: Κατανάλωση προϊόντων νικελίου για την περίοδο 2007-2012, κάθε ηπείρου ξεχωριστά και συνολική παγκόσμια παραγωγή (InternationalNickelStudyGroup).

Πρωτογενής Κατανάλωση Νικελίου (×1000 tn)	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Αφρική	33.6	27.0	31.7	24	21.8	24.8
Αμερική	171.4	160.5	121.8	153.2	163.9	169.9
Ασία	690.9	688.3	760.4	929.4	1026.4	1099.2
Ευρώπη	423.9	407.5	317.7	355.9	365.5	361.6
Ωκεανία	2.9	2.9	2.7	2.7	2.8	2.8
Συνολικό	1322.7	1286.1	1234.3	1465.2	1580.4	1658.3

1.4 Ελληνική Βιομηχανία Νικελίου

Η παραγωγή νικελίου στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα σημαντική. Τα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα που παρουσιάζονται στον Ελλαδικό χώρο εξορύσσονται από την Εταιρεία ΛΑΡΚΟ, η οποία αποτελεί τη μοναδική επιχείρηση παραγωγής νικελίου στην Ελλάδα. Η συνολική παραγωγή της ΛΑΡΚΟ από το 1966 έως σήμερα εκτιμάται ότι ξεπερνά τους 450.000 τόνους νικελίου, δηλαδή η αξία της τιμής σήμερα κοστολογείται περίπου στο 1,6 δις ευρώ. Το 95% της παραγωγής νικελίου εξάγεται σε Ευρωπαϊκές χώρες και το υπόλοιπο 5% σε άλλες χώρες κυρίως ΗΠΑ και Καναδάς. Ωστόσο, η περιεκτικότητα των νικελιούχων

μεταλλευμάτων στη χώρα δε θεωρείται υψηλή, η μέση περιεκτικότητα είναι περίπου 1% (Larco) (Πίν. 4).

Πίνακας 4: Περιεκτικότητα σε νικέλιο ελληνικών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων για την περίοδο 2002-2005. (Γεωργίου 2014).

Έτος	2002	2003	2004	2005
Παραγωγή Ni (t)	19229	18000	18166	19235
Περιεκτικότητα σε Ni (%)	1.03%	1.00%	1.02%	1.04%

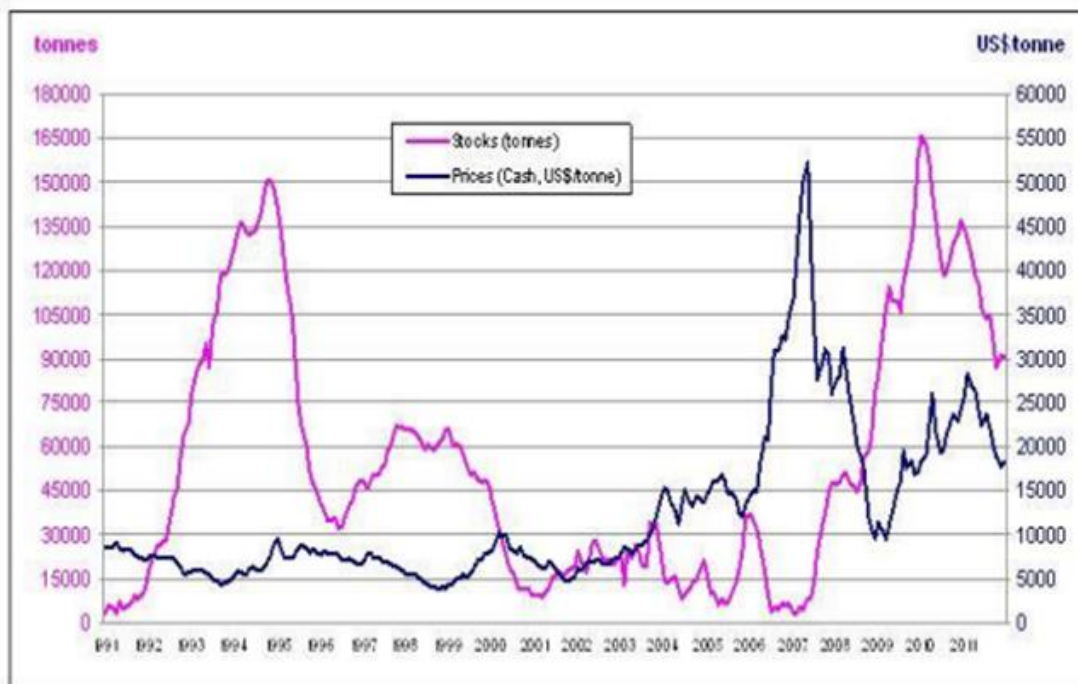
Οι σημαντικότερες περιοχές που εξορύσσεται το μέταλλευμα στην Ελλάδα είναι:

- Η Κεντρική Λοκρίδα (νομός Φθιώτιδας και Βοιωτίας)
- Η Εύβοια
- Η Καστοριά

Τα αποθέματα κοιτασμάτων σε αυτές τις περιοχές εκτιμώνται 300 εκατομμύρια έως 450 εκατομμύρια τόνους (Larco). Επίσης σημαντικές ποσότητες σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων έχουν εντοπιστεί στο Βέρμιο, στην Έδεσσα, στα Γρεβενά και την Πάρνηθα.

1.5 Τιμή Νικελίου

Η τιμή του νικελίου από την περίοδο 1991- 2011 είχε διάφορες μεταβολές (Σχ.2). Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η τιμή του νικελίου έως και το 2003 παρέμεινε κάτω από 10.000\$ ανά τόνο. Το 2005 ξεπέρασε τα 14.000\$ ανά τόνο και το 2006 μειώθηκε ξανά. Το 2007 αυξήθηκε ραγδαία η τιμή του στα 57.179 \$ ανά τόνο μέχρι και το 2008 όπου ελαττώθηκε ξανά η τιμή στα 9.678 \$ ανά τόνο. Το 2009 έως το τέλος του 2010 υπήρξε αύξηση με την μέση τιμή να βρίσκεται στα 24.103\$. Τέλος το 2011 η τιμή έφτασε τα 26.025 \$ ανά τόνο με τις σημερινές τιμές να βρίσκονται στα 18.144 \$ ανά τόνο (International Nickel Study Group).



Σχήμα 2: Τιμή του νικελίου σε ονομαστικές αξίες για την περίοδο 1991-2011
(International Nickel Study Group).

2. Κοιτάσματα Νικελίου

2.1. Τύποι κοιτασμάτων

Τα μεταλλεύματα νικελίου διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες με βάση τον τρόπο γένεσής τους:

- Θειούχα
- Λατεριτικά
- Ιζηματογενή

2.2 Θειούχα Κοιτάσματα

Τα θειούχα κοιτάσματα είναι συνήθως πολυμεταλλικά και βρίσκονται διασκορπισμένα σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Συνδέονται με μεταλλεύματα χαλκού και πλατινοειδών (PGE) και για αυτό έχουν μεγάλη μεταλλευτική αξία. Τα μαγματικά θειούχα κοιτάσματα είναι αποτέλεσμα θειούχων ορυκτών που προήλθαν από βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Τα πετρώματα αυτά σχηματίστηκαν από κρυστάλλωση βασικού μάγματος. Τα θειούχα κοιτάσματα σχηματίζονται από θειούχες ενώσεις που έχουν κρυσταλλωθεί χωρίς να διαλυθούν. Στο θειούχο tήγμα συγκεντρώνονται στοιχεία όπως νικέλιο, κοβάλτιο, χαλκό και πλατινοειδή. Τα περισσότερα θειούχα tήγματα επίσης εμφανίζουν υψηλές ποσότητες σιδήρου. Αυτά τα στοιχεία συγκεντρώνονται σε μεγαλύτερη αναλογία από ότι σε ένα πυριτικό tήγμα. Οι θειούχες ενώσεις από τη βαρύτητα καθιζάνουν μέσα στο tήγμα και με αυτό τον τρόπο αφού κρυσταλλωθεί το θειούχο tήγμα δημιουργείται η μεταλλοφορία στη βάση του μάγματος.

Άλλη σημαντική μορφή θειούχου μεταλλοφορίας που σχηματίζεται από υδροθερμικά διαλύματα σε θερμοκρασία μικρότερη από 375°C είναι οι Offsets. Πρόκειται για κρυστάλλωση υδροθερμικών ρευστών που προήλθαν από νερό και μέταλλα κατά τη μαγματική κρυστάλλωση. Η κρυστάλλωση των υδατικών διαλυμάτων πραγματοποιείται όταν γίνουν κάποιες μεταβολές, δηλαδή πτώση της θερμοκρασίας, συγκέντρωση στοιχείων και αλλαγή pH-Eh. Το κοιτάσμα που συμμετέχει η μεταλλοφορία εμφανίζεται σε φλέβες μέσα στο πέτρωμα. Κατά το επιθερμικό στάδιο της υδροθερμικής κρυστάλλωσης (100°C – 200°C) σχηματίζονται αρσενίδια νικελίου, χωρίς ωστόσο να έχουν κοιτασματολογικό ενδιαφέρον (Αποστολίκας, 2009).

Τα κοιτάσματα νικελίου που προέρχονται από θειούχες ενώσεις συνδέονται κυρίως με πυριγενή πετρώματα (βασικά – υπερβασικά) και σχηματίζονται σε διάφορα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα (ζώνες σύγκλισης ή απόκλισης λιθοσφαιρικών πλακών).

2.3. Λατεριτικά κοιτάσματα

Το 72% των παγκόσμιων αποθεμάτων νικελίου προέρχεται από λατεριτικά κοιτάσματα. Πρόκειται για κοιτάσματα με μεγάλη οικονομική σημασία λόγω υψηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο και κοβάλτιο. Η συντριπτική πλειοψηφία των λατεριτικών νικελιούχων κοιτασμάτων αναπτύσσεται πάνω σε οφιόλιθους (χαρτζβουργίτες, δουνίτες, σερπεντινίτες) και είναι ηλικίας Μειόκαινου – Πλειόκαινου (85%). Ενώ το 15% απαντάται σε Αρχαϊκούς Κρατόνες και Προτεροζωϊκές ζώνες πρασινόλιθων. Τις περισσότερες φορές τα λατεριτικά κοιτάσματα αναπτύσσονται χωρίς να έχουν κάλυψη από υπερκείμενα πετρώματα, δηλαδή η ανάπτυξη τους γίνεται επιφανειακά. Στις περιπτώσεις που τα κοιτάσματα καλύπτονται από υπερκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς, η εκμετάλλευσή τους είναι δυσκολότερη και οικονομικά ακριβότερη από τα επιφανειακά κοιτάσματα (Αποστολίκας, 2009).

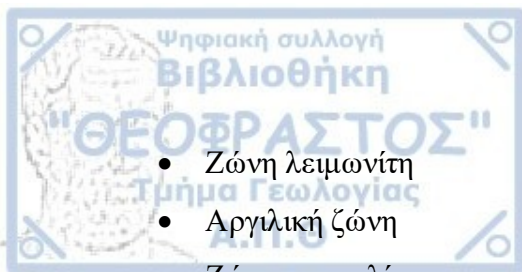
2.3.1. Ορυκτολογική σύσταση μητρικών πετρωμάτων λατεριτών

Οι περιδοτίτες συμμετέχουν σαν μητρικά πετρώματα που σχηματίζουν τους λατερίτες. Διακρίνονται σε δουνίτες-χαρτσβουργίτες και σερπεντινίτες. Το κύριο ορυκτό που αποτελεί πηγή νικελίου και εμφανίζεται στο δουνίτη με συμμετοχή έως και 90 % είναι ο ολιβίνης. Το υπόλοιπο τμήμα του δουνίτη αποτελείται από σπινέλλιους, πυρόξενους και αμφίβολους. Τα ίδια ορυκτά παρουσιάζονται και στους χαρτζβουργίτες αλλά με διαφορετικό ποσοστό συμμετοχής.

Οι σερπεντινίτες που αποτελούνται κυρίως από σερπεντίνη, δέχονται σερπεντινίωση (υδροθερμική αλλοίωση) και σχηματίζουν πετρώματα πλούσια σε μαγνήσιο. Με την παρουσία τους βοηθούν στον σχηματισμό νικελιούχων λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης. Τα σημαντικότερα ορυκτά που εμφανίζονται στη σερπεντινίωση είναι ο χρυσοτίλης, ο αντιγορίτης, ο βρουκίτης και ο λιζαρδίτης. Επίσης συμμετέχουν ορυκτά όπως τάλκης, ακτινόλιθος και ανθρακικά ορυκτά (Αποστολίκας, 2009).

2.3.2 Ταξινόμηση των νικελιούχων λατεριτικών κοιτασμάτων

Από την επιφάνεια προς του βαθύτερους ορίζοντες τα λατεριτικά εδάφη διακρίνονται σε τρεις ζώνες (Golightly, 1979): (Σχ.3)



- Ζώνη λειμωνίτη
- Αργιλική ζώνη
- Ζώνη σαπρολίτη

Επίσης τα νικελιούχα λατερικά κοιτάσματα διακρίνονται σε τρεις κύριους τύπους (Brand et al. (1998), Gleeson et al. (2003)).

- Ένυδρα - πυριτικά κοιτάσματα
- Αργιλο-πυριτικά κοιτάσματα
- Κοιτάσματα οξειδίων

2.3.3. Ορυκτολογική σύσταση νικελιούχων λατεριτών

Σε ένα λατεριτικό προφίλ (Σχ. 3) η ορυκτολογική σύσταση των νικελιούχων λατεριτών διαφοροποιείται στους ορίζοντες βάθους. Η σύσταση αυτή εξαρτάται από τον τύπο του κοιτάσματος. Τα ορυκτά στους λατερίτες που έχουν οικονομικό ενδιαφέρον είναι αυτά που συμμετέχει το νικέλιο. Επίσης ορυκτά που μπορούν να εμφανιστούν σε όλους τους ορίζοντες βάθους είναι ο χαλαζίας, ο ασβολάνης και ο χρωμίτης.

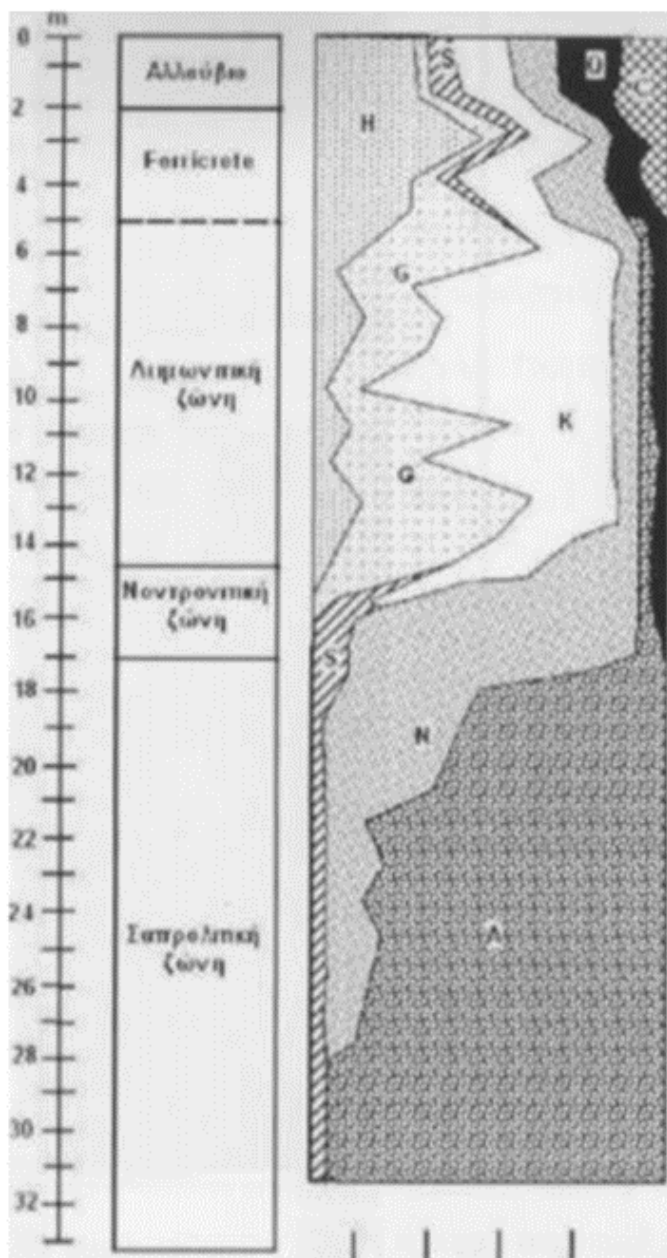
Η λειμωνιτική ζώνη αποτελείται από ορυκτά όπως ο γκαιτίτης, ο αιματίτης, ο χρωμίτης και ο χαλαζίας. Το νικέλιο και το κοβάλτιο συνήθως απαντάται στη βάση της ζώνης κυρίως στον ασβολάνη και λιθοφορίτη δηλαδή σε ορυκτά με συγκεντρώσεις μαγγανίου.

Η αργιλική ζώνη που το ανώτερό της τμήμα έχει ίδια ορυκτά με τη λειμωνιτική ζώνη χαρακτηρίζεται από νικελιούχο νοντρονίτη, νικελιούχο μοντμοριλλονίτη και νικελιούχο σαπονίτη. Τα ορυκτά αυτά εντάσσονται στην ομάδα του σμεκτίτη.

Η σαπρολιτική ζώνη η οποία είναι η βαθύτερη ζώνη στους λατεριτικούς ορίζοντες και αναπτύσσεται πάνω στο μητρικό πέτρωμα χαρακτηρίζεται από σερπεντινίτη, τάλκη, σεπιόλιθο και ασβολάνη, τα οποία συνήθως αποτελούν φορείς νικελίου. Επίσης απαντάται σμεκτίτης, γκαιτίτης, χρωμίτης και μαγνητίτης.

Στην ομάδα του σερπεντινίτη τα ορυκτά που εμφανίζονται στη σαπρολιτική ζώνη είναι ο νικελιούχος νεπούιτης (ανάλογο λίζαρδίτη), ο νικελιούχος αντιγορίτης (ανάλογο αντιγορίτη), ο νικελιούχος πεκοραϊτης (ανάλογο χρυσοτίλη) και ο μπριντλεϊτης (ανάλογο μπερθιρίνη). Στην ομάδα του τάλκη ανάλογο ορυκτό με νικέλιο είναι ο βιλλεμζεϊτης και ο πιμελίτης. Τέλος χαρακτηριστική παρουσία στην σαπρολιτική ζώνη έχει ο νιμίτης που ανήκει στην ομάδα του χλωρίτη (ανάλογο κλινοχλωρίτη) (Αποστολίκας, 2009).

Τα νικελιούχα κοιτάσματα που εμφανίζεται ο γκαϊτίτης, συνδέονται με ζώνες υψηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο. Τα ένυδρα και πυριτικά ορυκτά συνδέονται με υψηλές περιεκτικότητες σε SiO_2 και MgO . Επιπλέον στα νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα πολλές φορές εμφανίζονται και ορυκτά της ομάδας Platinum Group Minerals (PGM) που περιέχουν κλαστικούς κόκκους χρωμίτη.



Σχήμα 3: Ορυκτολογική σύσταση νικελιούχου λατεριτικού κοιτάσματος Kalgoorlie της Δυτικής Αυστραλίας. Α-αντιγορίτης, C- ασβεσίτης, G- γκαϊτίτης, Η-αιματίτης, Κ-καολινίτης, Ν-νοντρονίτης, χαλαζίας, Σ-σπινέλλιος (Elias et al. 1981).

2.4 Ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα

Τα ιζηματογενή νικελιούχα κοιτάσματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Αποστολίκας, 2009):

- Κοιτάσματα που υπέρκεινται σε υπερβασικά πετρώματα.
- Καρστικά κοιτάσματα που υπέρκεινται σε ανθρακικά πετρώματα.
- Μεικτά κοιτάσματα που αναπτύσσονται πάνω σε ανθρακικά πετρώματα. Δηλαδή μπορούν να συνυπάρχουν βωξίτες ή σιδηρονικελιούχοι αργιλικοί ορίζοντες με σιδηρονικελιούχους ορίζοντες.

2.4.1 Ορυκτολογική σύσταση ιζηματογενών κοιτασμάτων

Με βάση τα ιστολογικά χαρακτηριστικά των νικελιούχων ιζηματογενών κοιτασμάτων τα κοιτάσματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Συμπαγές μετάλλευμα
- Πισσολιθικό μετάλλευμα

Στη σύσταση των πισσολίθων εμφανίζονται κυρίως ορυκτά όπως ο αιματίτης και ο γκαιτίτης. Ο χαλαζίας δεν εντοπίζεται στους πισσολίθους αλλά συνήθως χαρακτηρίζεται από κλαστικά τεμάχια στην κύρια μάζα. Επίσης και ο χρωμίτης βρίσκεται διάσπαρτος συνήθως στην κύρια μάζα και εμφανίζεται με μορφή κλαστικών κόκκων. Πολλές φορές ο χρωμίτης σε ένα μετάλλευμα μπορεί να αποτελεί πυρήνα πισσολιθικών δομών. Στα φυλλοπυριτικά ορυκτά σπανίως εμφανίζονται πισσολιθικές δομές και τις περισσότερες φορές είναι διάσπαρτα στην κύρια μάζα.

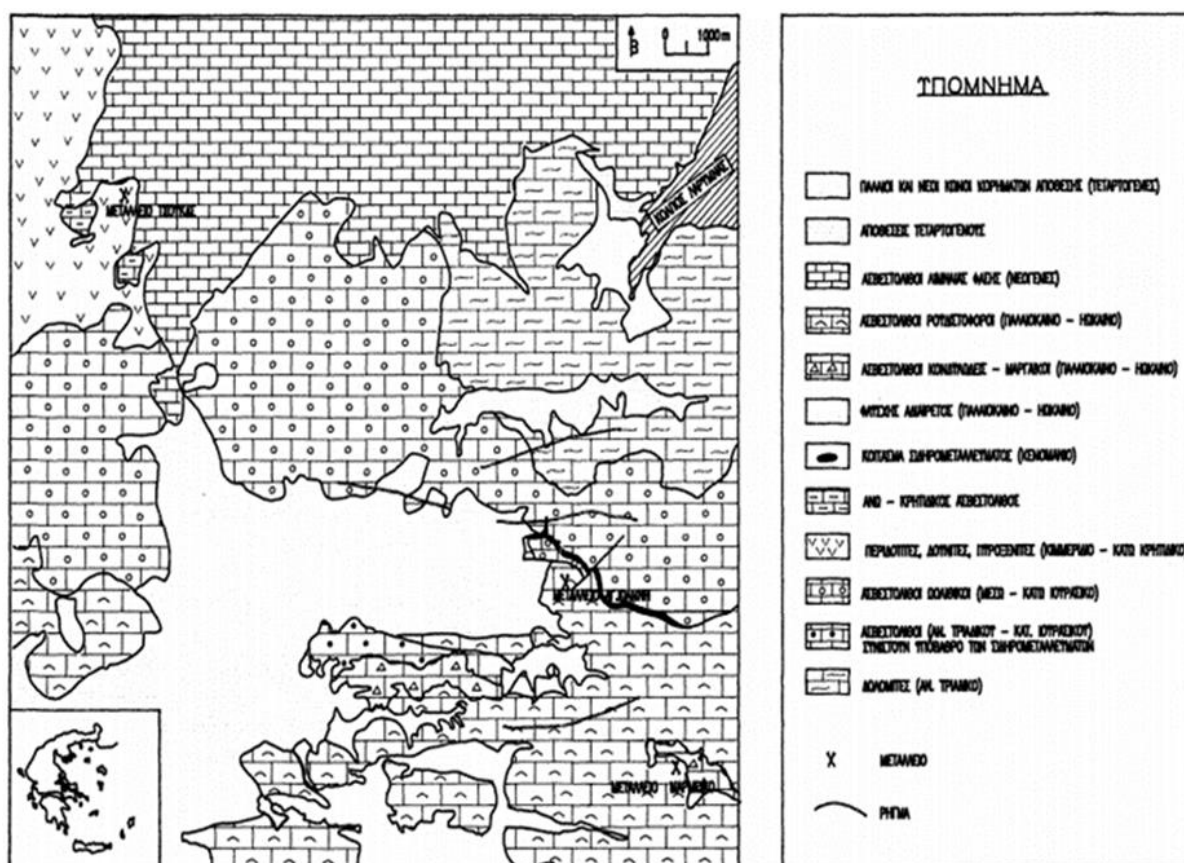
Επίσης στα ιζηματογενή κοιτάσματα εμφανίζονται και ορυκτά όπως μαγνητίτης που μπορεί να υποστεί μαρτιτίωση, καολινίτης, σιδηροπυρίτης, γκιψίτης, ιλλίτης, ιλμενίτης, χαλκοφανίτης, τακοβίτης, μπαστναϊζίτης, ανατάσης, νεπουϊτης, και μαγγανιούχα ορυκτά όπως ασβολάνης, λιθιοφορίτης, και κρυπτομέλανας. Στα μεταμορφωμένα κοιτάσματα εμφανίζεται ο στιλπνομέλας και οι αμφίβολοι ρικεβίτης – μαγνησιορικεβίτης.

Το νικέλιο μέσα στο μετάλλευμα εμφανίζεται κατά κύριο λόγο στον χλωρίτη και τον τάλκη (φυλλοπυριτικά ορυκτά). Επίσης ο τακοβίτης ο νεπουϊτης και ο ασβολάνης μπορούν χαρακτηριστούν ως σημαντικοί φορείς νικελίου. Ωστόσο, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νικελίου βρίσκονται συνήθως στο γκαιτίτη (Αποστολίκας, 2009)

3.1. Λοκρίδα:

3.1.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής:

Η ευρύτερη περιοχή της Λοκρίδας βρίσκεται στη ζώνη της Ανατολικής Ελλάδας (Υποπελαγονική ζώνη). Τα πετρώματα της περιοχής με στρωματογραφική σειρά είναι: ψαμμίτες και αργιλικοί σχιστόλιθοι στη βάση και με ασυμφωνία υπέρκεινται ασβεστόλιθοι και δολομίτες ηλίκιας Άνω Τριαδικού. Στη συνέχεια απαντώνται αβεστόλιθοι Ιουρασικού και υπέρκεινται ψαμμίτες, μάργες, σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιόλιθους ηλίκιας Άνω Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού. Ασβεστόλιθοι με νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα ηλίκιας Άνω Κρητιδικού αναπτύσσονται πάνω στους οφιόλιθους, με τον φλύσχη Παλαιοκαίνου – Παλαιοτριτογενούς να αποτίθεται στο τέλος.



Σχήμα 4: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες (φύλλα Αταλάντη, Βάγια, Θήβα, Λάρυμνα), κλίμακας 1: 50.000 (Ι.Γ.Ε.Τ. 1965, 1970, α, β, Ι.Γ.Μ.Ε. 1978).

Κύριο χαρακτηριστικό της Υποπελαγονικής ζώνης είναι η σχιστοκερατολιθική διάπλαση μαζί με τους οφιόλιθους του Άνω Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού. Επίσης η συγκεκριμένη ζώνη χαρακτηρίζεται και από την επίκλυση του Άνω Κρητιδικού.

Οι περισσότεροι οφιόλιθοι που βρίσκονται στο ανώτερο τμήμα της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης είναι σερπεντινωμένοι. Ανάμεσα στους υπερκείμενους ασβεστόλιθους του Άνω Κρητιδικού και της υποκείμενης σχιστοκερατολιθικής διάπλασης μαζί με τους οφιόλιθους και τους ασβεστόλιθους του Ιουρασικού και του Τριαδικού, αναπτύσσονται τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα. Τα μεταλλεύματα αυτά απαντώνται σε περιοχές όπως η Τσούκα, ο Άγιος Ιωάννης Λάρυμνας, το Μαρμέικο και άλλες περιοχές της Λοκρίδας (Αλμπαντάκης 1974).

3.1.2. Νικελιούχα κοιτάσματα της Λοκρίδας

Κοιτάσματα του Αγίου Ιωάννη και Μαρμέικου

Τα κοιτάσματα του Αγίου Ιωάννη είναι καρστικού τύπου και τοποθετούνται πάνω στους ασβεστόλιθους του Τριαδικού-Ιουρασικού, έχοντας μορφή φακού. Οι ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού υπέρκεινται στα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα με μια σύμφωνη στρωματογραφική επαφή, σε αντίθεση με την προηγούμενη επαφή (κοίτασμα-ασβεστόλιθοι Τριαδικού) που είναι ασύμφωνη. Τα κοιτάσματα έχουν μήκος περίπου 4 χιλιόμετρα και πάχος έως 8 μέτρα, ενώ στο Μαρμέικο έχουν μήκος περίπου 2,5 χιλιόμετρα και πάχος 6 μέτρα. Στις περιοχές αυτές το σιδηρονικελιούχο κοίτασμα συναντάται σε δύο τύπους: ως πισσολιθικός τύπος (αποτελείται από αιματίτη και υδροξείδια σιδήρου), που εμφανίζεται στα χαμηλότερα τμήματα του κοιτάσματος και ως συμπαγής τύπος (γκαιτίτης, λειμωνίτης) στα υψηλότερα τμήματα. Το μεγαλύτερο ποσοστό (περιεκτικότητα 1-3,5% νικέλιο), βρίσκεται στο κάτω μέρος του κοιτάσματος λόγω των πυριτικών ορυκτών με νικέλιο.

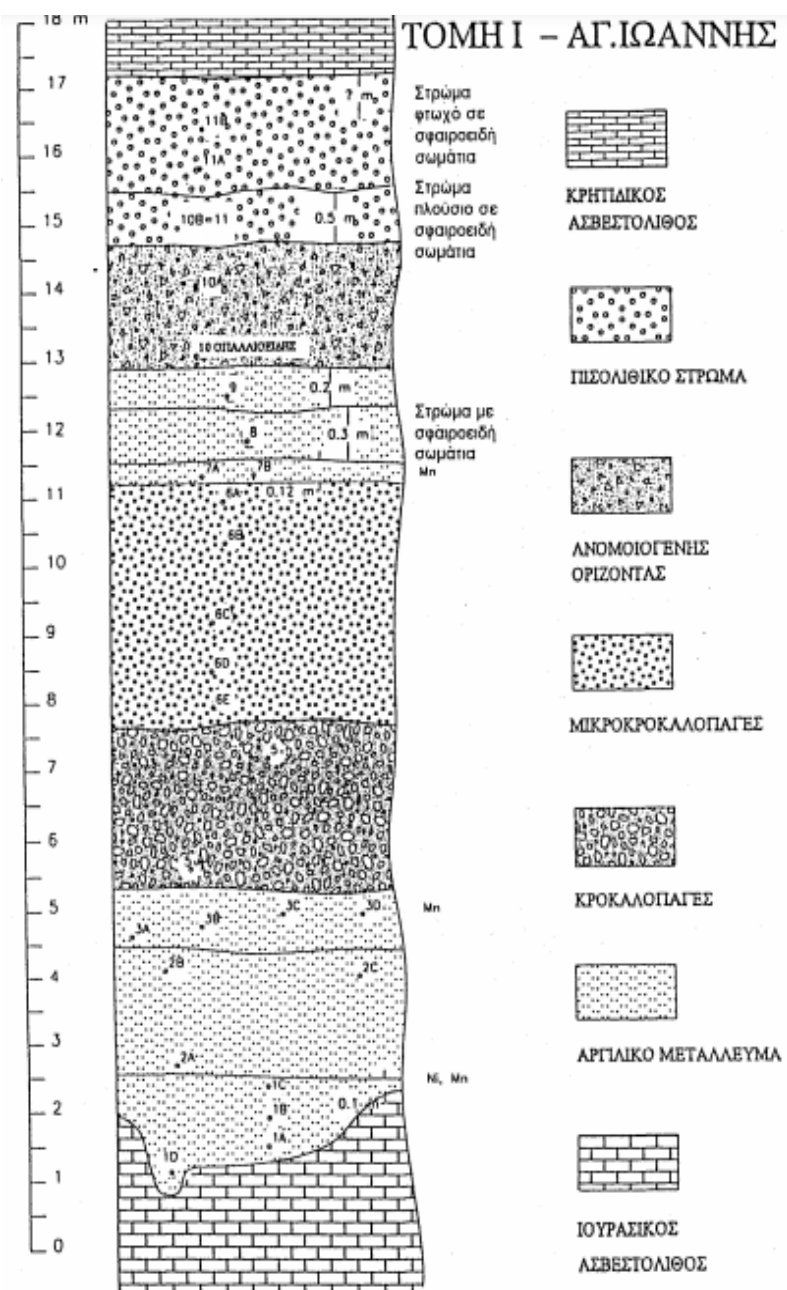
Τα ορυχεία του Αγίου Ιωάννη, απέχουν 7 χιλιόμετρα από την ΛΑΡΚΟ και η μεταφορά του μεταλλεύματος στο μεταλλουργικό εργοστάσιο γίνεται με φορτηγά. Υπάρχουν τέσσερα ορυχεία εκ των οποίων τα τρία είναι επιφανειακά και ένα υπόγειο. Η ετήσια παραγωγή ανέρχεται σε 750.000 τόνους του μεταλλεύματος με μέση συγκέντρωση νικελίου 1,10% (Larco).

Κοιτάσματα Τσούκας

Στην περιοχή της Τσούκας τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα τοποθετούνται κάτω από τους ασβεστόλιθους του Άνω Κρητιδικού και απαντώνται πάνω σε σερπεντινίτες, δηλαδή πάνω σε υπερβασικά πετρώματα. Το ανώτερο μέρος του κοιτάσματος έχει επίπεδη οροφή και

βρίσκεται σε στρωματογραφική συμφωνία με τον ασβεστόλιθο του Άνω Κρητιδικού. Επίσης έχουν μορφή φακού σαν τα κοιτάσματα του Αγίου Ιωάννη και του Μαρμέικου. Το μήκος του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος ανέρχεται περίπου στα 300 μέτρα μήκος και πάχος έως 10 μέτρα.

Στρωματογραφική στήλη Αγίου Ιωάννη

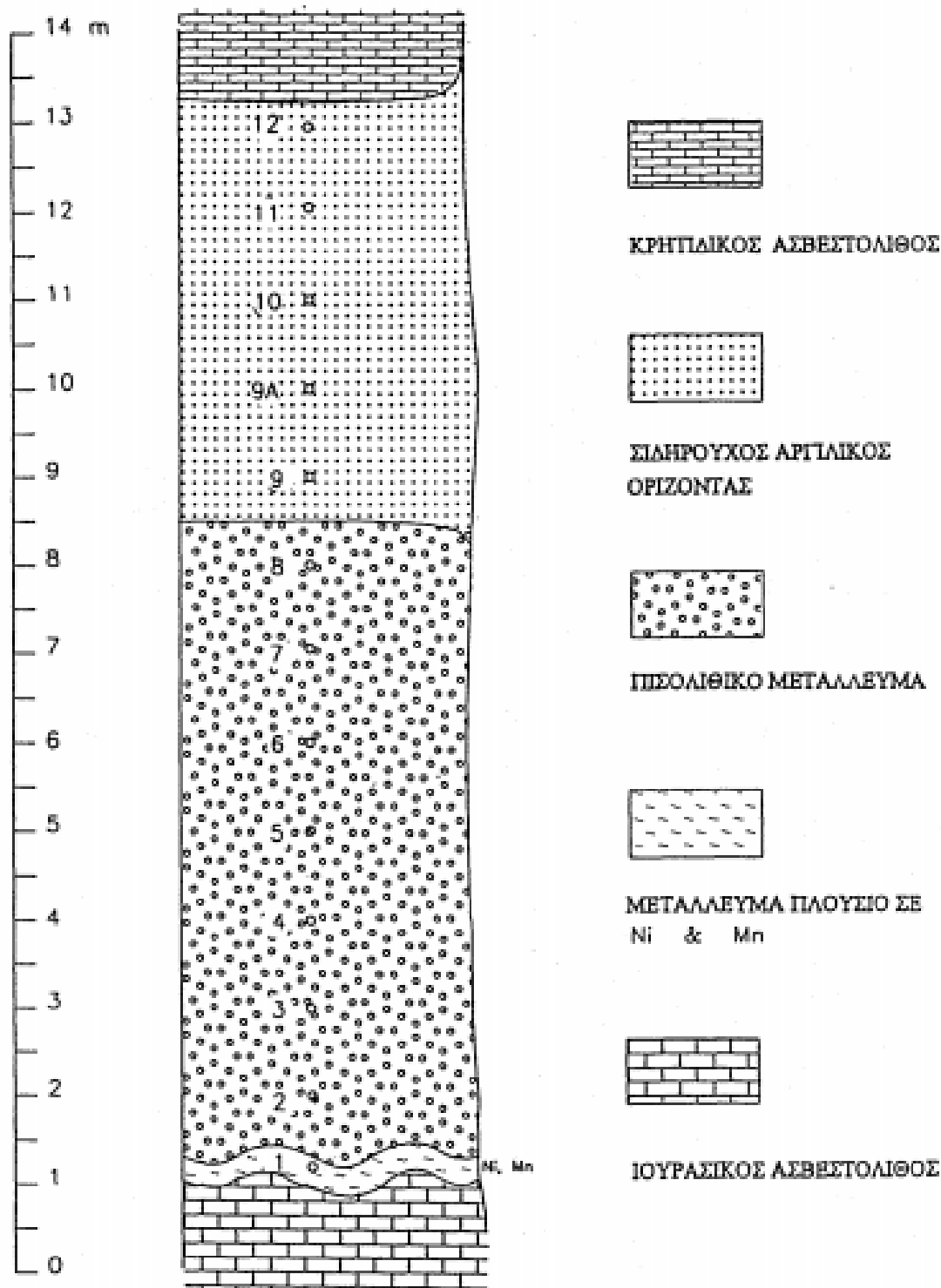


Σχήμα 5: Σημεία δειγματοληψίας στο βόρειο τομέα του κοιτάσματος του Αγ. Ιωάννη (τομή I επιφανειακή εκμετάλλευση). (Αλεβίζος 1997).

*Στρώμα με σφαιροειδή σωμάτια (ωοειδή, πισσοειδή, πελοειδή και αμπραζιόλιθους).

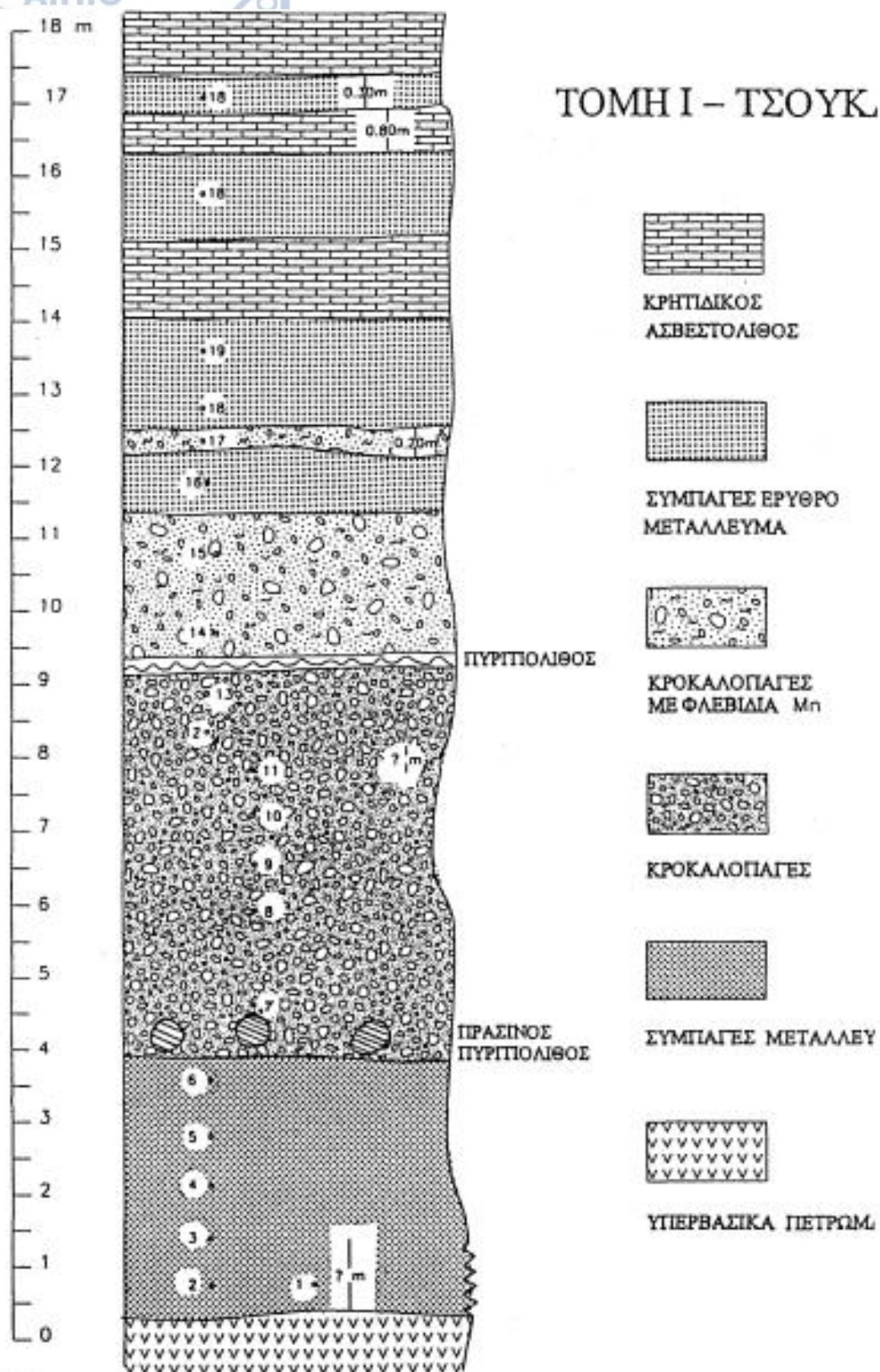
Στρωματογραφική στήλη Μαρμέικου

ΤΟΜΗ Ι – ΜΑΡΜΕΙΚΟ



Σχήμα 6: Σημεία δειγματοληψίας στο κοίτασμα του Μαρμέικου (τομή Ι). * Μετάλλευμα με σφαιροειδή σωμάτια (ωοειδή, πισσοειδή, πελοειδή και αμπραζιόλιθους). (Αλεβίζος 1997).

Στρωματογραφική στήλη Τσούκας



Σχήμα 7: Σημεία δειγματοληψίας στο κοίτασμα της Τσούκας (τομή Ι). (Αλεβίζος 1997).

3.1.3. Γεωχημικά χαρακτηριστικά:

i) Άγιος Ιωάννης

Τα χημικά στοιχεία που βρέθηκαν σε ορυκτά στον Άγιο Ιωάννη τομή I (Σχ.5) είναι τα εξής:

- Al, Ti, Zn, La που εμφανίζονται στα μεσαία και κατώτερα στρώματα
- Mn, Co, Ce, **Ni**, Y, As εμφανίζονται κατά μήκος της τομής με παρόμοια κατανομή
- Mg, Cr, Zn, Cu, Ca, Si, εμφανίζονται κατά μήκος της τομής με ανόμοια κατανομή

Από γεωτρήσεις και γεωχημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην τομή I του Άγιο Ιωάννη (Σχ. 6) τα ορυκτά που απαντάται το νικέλιο είναι κυρίως πυριτικά. Πιο συγκεκριμένα εμφανίζεται στον νιμίτη, στον κλινόχλωρο, στον σαμοσίτη. Επίσης συχνά εμφανίζεται στον τακοβίτη (ένυδρη ανθρακική ένωση) και στον μπραβοΐτη (θειούχα ένωση). Σπάνια βρίσκεται με μικρότερα ποσοστά σε ορυκτά του μαγγανίου.

ii) Μαρμέικο

Τα χημικά στοιχεία που εντοπίστηκαν από αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην τομή I του Μαρμέικου (Σχ.6) είναι τα εξής:

- Si, Al, Ti, Zr εμφανίζονται κυρίως στα κατώτερα στρώματα της τομής
- Mn, Mg, Ca, Ni, Cu, Nd, Sm, Co, Zn εμφανίζονται με παρόμοια κατανομή κατά μήκος της τομής
- Cr, Ce, As, La, V, Y, Fe εμφανίζονται με ανόμοια κατανομή κατά μήκος της τομής.

Το νικέλιο στο Μαρμέικο βρίσκεται κυρίως σε ορυκτά όπως οι νιμίτες, ο σαμοσίτης, το μαγγάνιο και σε σιδηρούχα ορυκτά με μικρότερα ποσοστά.

iii) Τσούκα

Τα χημικά στοιχεία που βρέθηκαν σε ορυκτά στην Τσούκα τομή I (Σχ. 7) είναι τα εξής:

- Al, Fe, Cr που εμφανίζονται κυρίως στα κατώτερα στρώματα και παρουσιάζουν συσχέτιση κατά μήκος της τομής.
- Mn, **Ni**, Ti, Co εμφανίζονται κατά μήκος της τομής με παρόμοια κατανομή
- Mg, Ce, Zn, Cu, Ca, Si, εμφανίζονται με ανόμοια κατανομή

Το νικέλιο στην περιοχή της Τσούκας στην τομή Ι (Σχ. 7) βρέθηκε κυρίως σε πυριτικά ορυκτά, δηλαδή σε νικελιούχο σερπεντίνη, νικελιούχο τάλκη και νικελιούχο χλωρίτη (νιμίτη). Σε μικρές ποσότητες απαντάται σε σπινέλλιους και ορυκτά μαγανίου.

3.2 Εύβοια

Τα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα της Εύβοιας είναι από τα πιο σημαντικά κοιτάσματα νικελίου στην χώρα. Η αξία τους ορίζεται από την εύκολη εκμετάλλευση και την μεγάλη ποσότητα αποθεμάτων που διαθέτει η περιοχή.

3.2.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Η περιοχή της Εύβοιας ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες. Πιο συγκεκριμένα ανήκει στην Υποπελαγονική ζώνη (Μουντράκης, 1985) αλλά με νεότερες έρευνες θεωρείται ότι ανήκει και στην Πελαγονική μη μεταμορφωμένων σχηματισμών (Κατσικάτος, 1992).

Το υπόβαθρο της περιοχής είναι κρυσταλλοσχιστώδες και αποτελείται κυρίως από μοσχοβιτικούς και βιοτιτικούς γνεύσιους, από σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, μάρμαρα αλλά και ιζηματογενή στρώματα με ασβεστόλιθους του Παλαιοζωικού. Στη συνέχεια απαντώνται γεωλογικοί σχηματισμοί του Κάτω - Μέσω Τριαδικού που αποτελούνται από κροκαλοπαγή και ψαμμίτες με πυριτικούς ή νηριτικούς ασβεστόλιθους. Επιπλέον στους ασβεστόλιθους του Κάτω - Μέσω Τριαδικού υπέρκεινται ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Άνω Τριαδικού έως Άνω Ιουρασικού με πάχος έως 1000 μέτρα (Νηριτικοί - Πελαγικοί ασβεστόλιθοι). Στους ασβεστόλιθους του Ιουρασικού είναι επωθημένοι οφιόλιθοι, με τη σχιστοκερατολιθική διάπλαση της Πελαγονικής ζώνης και εμφανίζονται ως τεκτονικό κάλυμμα (Ηωελληνικό). Σε αυτούς τους γεωλογικούς σχηματισμούς υπέρκεινται οι ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού. Τέλος πάνω τους αποτίθεται φλύσχης.

3.2.2. Κοιτάσματα Νικελίου στην Εύβοια

Τα τελευταία χρόνια στο νησί υπάρχει έντονη εξορυκτική δραστηριότητα, κυρίως λόγω των σημαντικών κοιτασμάτων σε σιδηρονικέλιο (Fe-Ni κοιτάσματα). Σε περιοχές όπως η Κύμη και η Άτταλη, έχουν βρεθεί μεγάλα αποθέματα τέτοιων νικελιούχων κοιτασμάτων (Katsikatos et al. 1969, Skounakis 1972, Albanakis 1974). Αυτά τα αποθέματα συναντώνται στη βάση των ασβεστολίθων ηλικίας Άνω Κρητιδικού με σύμφωνη στρωματογραφική επαφή. Εμφανίζονται ως πισσολιθικός τύπος αλλά και ως συμπαγής και δημιουργούνται από την λατεριτική αποσάθρωση των οφιολιθικών πετρωμάτων.

Στην κεντρική Εύβοια τα μεταλλεύματα είναι κυρίως αυτόχθονα δηλαδή από τη στιγμή που καλύφθηκαν από τους ασβεστόλιθους του Άνω Κρητιδικού, παρέμειναν στο μητρικό πέτρωμα χωρίς να μετακινηθούν σε αντίθεση με τα αλλόχθονα που μετακινήθηκαν και αποτέθηκαν αλλού. Στις περισσότερες περιοχές της Εύβοιας το NiO κυμαίνεται από 0,4 -1,2 %,ωστόσο στην κεντρική Εύβοια η περιεκτικότητα ου NiO φτάνει έως 5,15% κυρίως στον χλωρίτη (Πίν. 5, 6). Άλλα ορυκτά που απαντάται νικέλιο στην Εύβοια είναι ο αιματίτης, ο χαλαζίας, ο ιλλίτης και ο χρωμίτης.

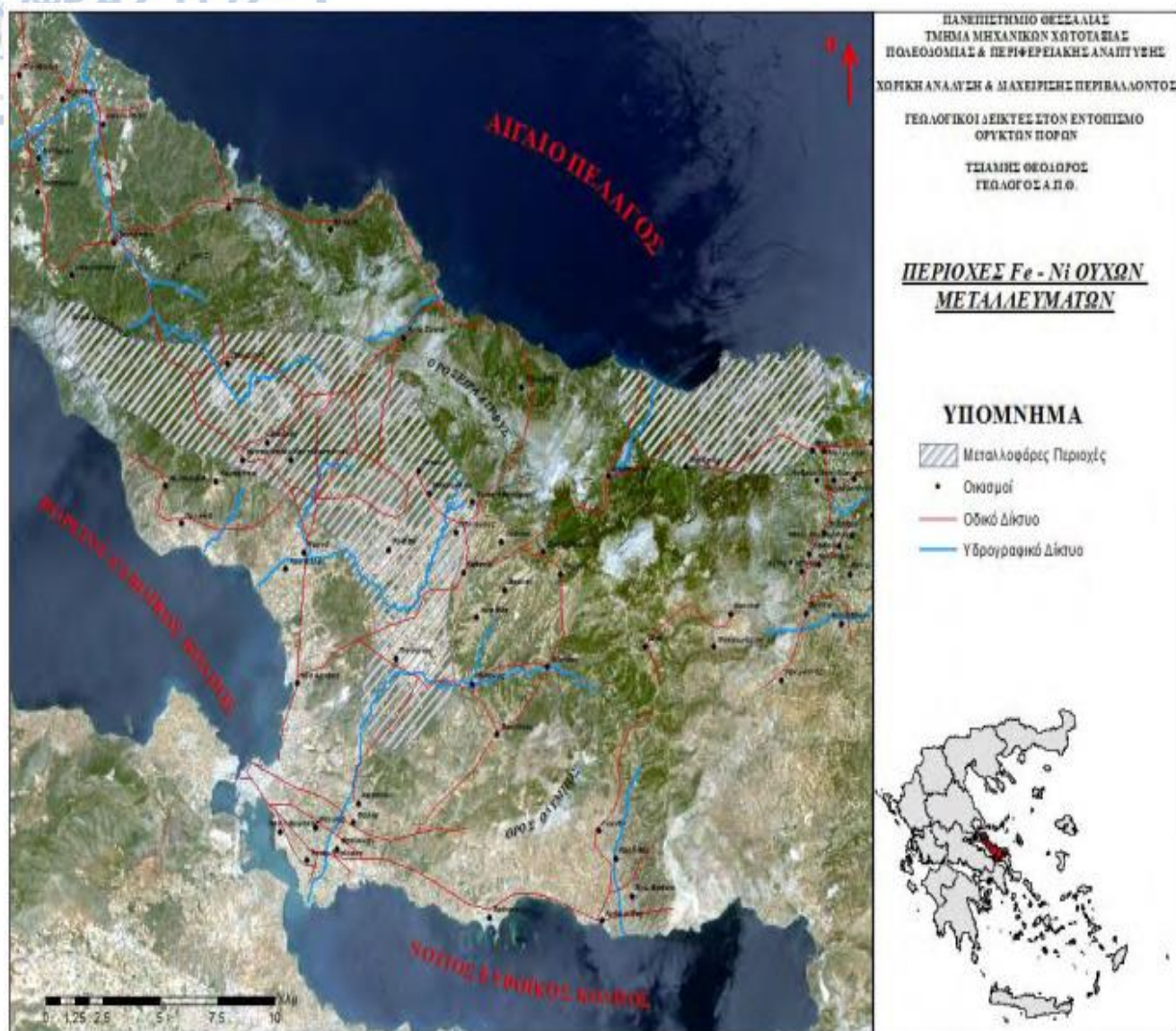
Τα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα της κεντρικής Εύβοιας εξορύσσονται από την ΛΑΡΚΟ. Η εκμετάλλευση των νικελιούχων ορυκτών γίνεται σε ανοιχτό ορυχείο, όπου τα μεταλλεύματα μεταφέρονται με πλοία στο μεταλλουργικό εργοστάσιο. Τα πέντε επιφανειακά ορυχεία της Εύβοιας διαθέτουν σύγχρονο εξοπλισμό εξόρυξης, όπου ανήκει στην ΛΑΡΚΟ. Η ετήσια παραγωγή του νησιού είναι 1.500.000 έως 1.600.000 τόνοι μεταλλεύματος και η μέση συγκέντρωση νικελίου είναι 1%-1,03%

Πίνακας 5. Ορυκτολογική σύσταση λατεριτικών Fe-Nιουχων μεταλλευμάτων στην Κεντρική Εύβοια (Μπόσκος 2007).

ΟΡΥΚΤΟ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ %	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	30-60	45
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	5-30	21
ΧΛΩΡΙΤΗΣ	10-30	18
ΙΛΛΙΤΗΣ	5-10	10
ΧΡΩΜΙΤΗΣ	<5	4

Πίνακας 6. Μέση χημική σύσταση (wt %) του Fe-Nιουχο λατερίτη και των κύριων ορυκτολογικών φάσεων (Μπόσκος 2007).

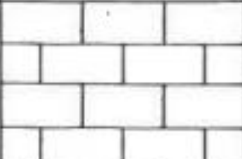
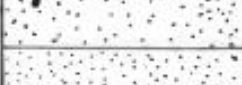
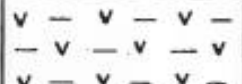
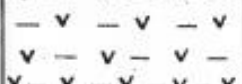
	ΛΑΤΕΡΙΤΗΣ	ΧΛΩΡΙΤΗΣ	ΙΛΛΙΤΗΣ	ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	ΧΡΩΜΙΤΗΣ
SiO ₂	32	28,90	46,26	2,88	-
Al ₂ O ₃	8,5	20,50	26,33	2,02	33,04
Fe ₂ O ₃	46	20,84	7,5	91,49	17,80
Cr ₂ O ₃	3,1	1,94	2,72	2,28	36,93
MgO	3,4	9,94	3,16	-	13,12
K ₂ O	0,8	0,70	8,89	-	-
NiO	1,16	5,15	0,59	0,42	0,09



Σχήμα 8: Μεταλλοφόρες περιοχές στην Κεντρική Εύβοια (Αλμπαντάκης, 1979).

Σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα του Καλόγηρου Εύβοιας

Τα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα του Καλόγηρου βρίσκονται 3 χιλιόμετρα ανατολικά από την Νέα Αρτάκη – Εύβοιας. Το μήκος του κοιτάσματος φτάνει τα 1300 μέτρα. και το πάχος του κυμαίνεται από 8 έως 30 μέτρα. Επιπλέον τα αποθέματα στον Καλόγηρο εκτιμάται ότι φτάνουν τους 40 εκατομμύρια τόνους (Katsikatos et al. 1975). Από δειγματοληψία που έγινε στην περιοχή βρέθηκε πως η μεγαλύτερη ποσότητα του κοιτάσματος είναι πισσολιθικού τύπου. Ωστόσο βαθύτερα εμφανίζεται ως συμπαγής ή λεπτόκοκκος τύπος. Στα στρώματα του πισσολιθικού, συμπαγούς ή λεπτόκοκκου μεταλλεύματος, εμφανίζονται και φακοί πυριτιολίθων με μέγεθος 2 έως 10 εκατοστά.

Thickness m	SECTION OF THE DEPOSIT	Specimens	DESCRIPTION OF THE FORMATIONS
2		K ₁	Uppercretaceous limestones (Cenomanian)
		K ₂ K ₃	Friable ore with cherty fragments and ophiolitic material
4		K ₄	Compact ore alternated with friable ore with pisolites in places and a few cherty fragments.
		K ₅	Compact ore with disseminated pisolites alternated with friable ore
6		K ₆ K _{6a}	Cohesive ore with various sized pisolites and scattered cherty fragments up to 3 cm in diameter. They exhibit a degree of sorting.
		K ₇	Cohesive pisolites ore passing horizontally and vertically to non pisolites. The pisolites of various size up to 1 cm in diameter, Rich in polygenic breccias
8		K ₈	Similar to K ₇ . At the base friable ore
		K ₉ K ₁₀	Cohesive fine grained ore
10		K ₁₁	Cohesive cherty hematitic ore
		K ₁₂	Altered peridotite, consisting the base of the deposit. It passes downwards into non altered.
12		K ₁₃	

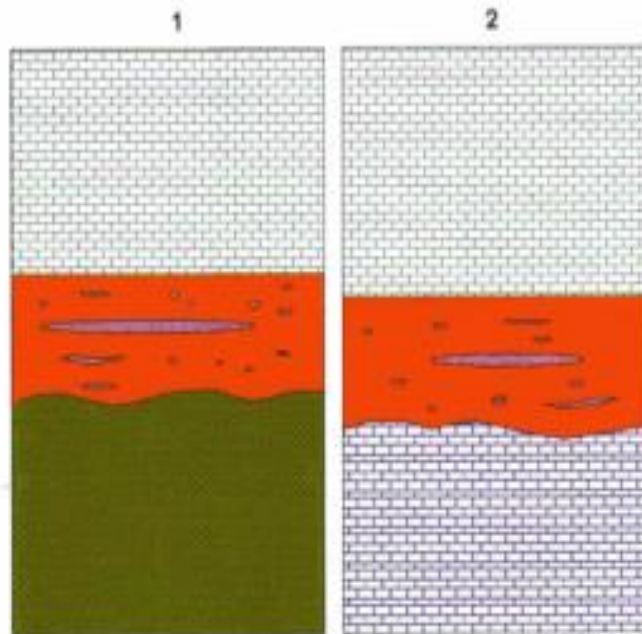
Σχήμα 9: Τομή των σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων. Αποθέματα Καλόγηρου – Εύβοιας (International Union of Geological Sciences, 1981).

3.3 Πάρνηθα

3.3.1. Κοιτάσματα Νικελίου στην Πάρνηθα

Η περιοχή της Πάρνηθας ανήκει στην Υποπελαγονική ζώνη, όπως και η περιοχή της Λοκρίδας. Οι δύο περιοχές έχουν παρόμοια γεωλογικά χαρακτηριστικά. Η ιζηματογενής μεταλλοφορία της Πάρνηθας αναπτύσσεται πάνω σε ασβεστόλιθους του Τριαδο-Ιουρασικού ή υπερβασικών πετρωμάτων και καλύπτεται από ασβεστόλιθους του Άνω Κρητιδικού. Τα

νικε-λιούχα αυτά μεταλλεύματα είναι πισσολιθικού ή συμπαγούς τύπου με εμφανίσεις πυριτιολίθων και με μορφές φακού.



Σχήμα 10: Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη της περιοχής των κοιτασμάτων της Πάρνηθας 1. Μαυρορέμματος 2. Αγίου Δημητρίου (Αποστολίκας 2009).

3.4 Γρεβενά

Παλαιοχώρι-Ποντινής Νομού Γρεβενών

3.4.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχή

Η περιοχή ανήκει κυρίως στην Υποπελαγονική ζώνη που φιλοξενεί τα υπερβασικά πετρώματα, όπου αναπτύσσονται τα νικελιούχα μεταλλεύματα (Μουντράκης, 1985). Τα κοιτάσματα που απαντώνται στο Παλαιοχώρι Γρεβενών υπέρκεινται των υπερβασικών πετρωμάτων και υπόκεινται σε Μειοκαινικά ιζήματα της Μεσοελληνικής αύλακας.

3.4.2. Κοιτάσματα Νικελίου στο Παλαιοχώρι Νομού Γρεβενών

Τα νικελιούχα κοιτάσματα του Παλαιοχωρίου εμφανίζονται με μορφή φακών πάνω στα υπερβασικά πετρώματα. Από τη λατεριτίωση του υποκείμενου σερπεντινίτη, προέκυψε το μαγνητικό σιδηρούχο μέταλλευμα. Το μέταλλευμα αυτό είναι αυτόχθονο, με το μήκος του να φτάνει τα 300 μέτρα και το πάχος τα 5 μέτρα. Η μέση περιεκτικότητα νικελίου είναι 1,44 %

(Πίν. 7). Το μέταλλευμα αναπτύσσεται υπό τους μολассικούς σχηματισμούς της Μεσοελληνικής αύλακας.

Πίνακας 7. Ενδεικτική χημική σύσταση επί (%) νικελιούχων εμφανίσεων περιοχής Παλαιοχωρίου Γρεβενών. (Αποστολίκας κ.ά. 2000).

LOI %	Fe ₂ O ₃	Ni	Co	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO
6,03	55,72	1,44	0,10	20,91	0,33	5,55	6,09	3,14	0,53

3.5 Καστοριά

Μεγάλο κέντρο εκμετάλλευσης όπως η Λοκρίδα και η Εύβοια αποτελεί και η Καστοριά. Η Καστοριά είναι από τις πιο σημαντικές περιοχές όπου δραστηριοποιείται και εκμεταλλεύεται σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα η εταιρεία της ΛΑΡΚΟ. Η περιοχή αυτή μαζί με την Εύβοια και την Λοκρίδα, κρατούν την Ελλάδα σε υψηλή θέση στην παραγωγή σιδηρονικελίου στην Ευρώπη αλλά και παγκοσμίως.



Σχήμα 11: Χάρτης με τις περιοχές μεταλλευτικής δραστηριότητας για εξόρυξη σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων στην Ελλάδα. (Γκουτζιούπα 2015).

3.5.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή της Καστοριάς ανήκει κυρίως στην Υποπελαγονική ζώνη και ένα τμήμα του Νομού ανήκει στην Πελαγονική. Τα νικελιούχα κοιτάσματα που βρίσκονται στις γεωτεκτονικές ζώνες της Καστοριάς υποδηλώνουν λιθοστρωματογραφικά αντίστοιχα με τα σιδηρομεταλλεύματα της Εύβοιας και της Ηπειρωτικής Ελλάδας (Μουντράκης 1983).

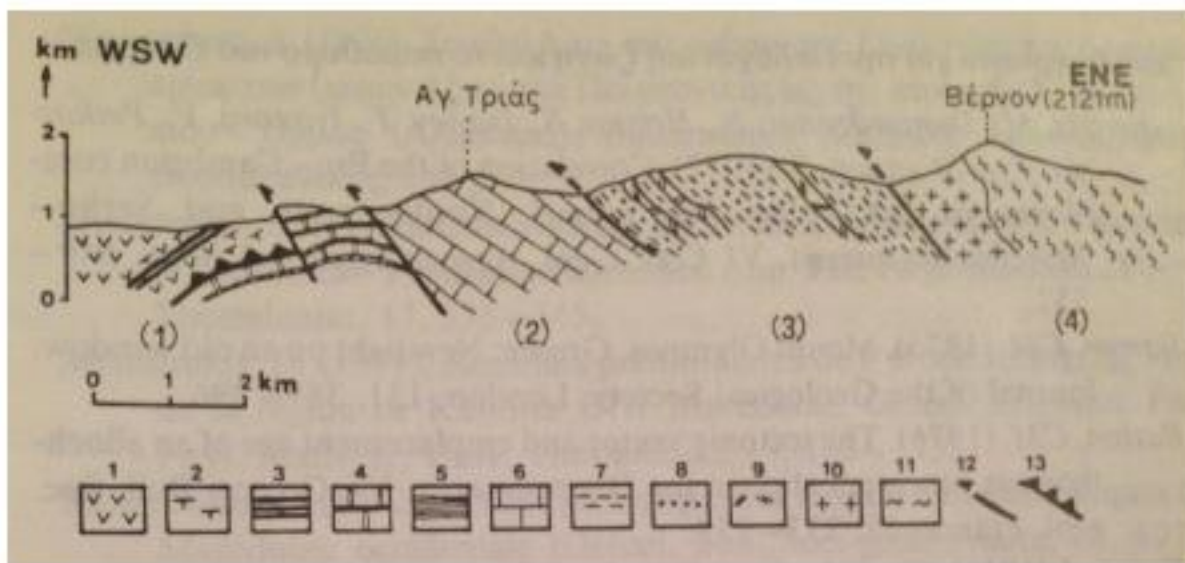
Οι οφιολιθικές εμφανίσεις που έχουν ΒΔ-ΝΑ κατεύθυνση από Αλβανία προς τη νότια Καστοριά αποτελούνται από σερπεντινωμένα υπερβασικά πετρώματα. Σε αυτά τα πετρώματα αναπτύσσονται τα νικελιούχα κοιτάσματα, τα οποία είναι καλυμμένα από κροκαλοπαγή μολάσσα (Skarpelis et al. 1993). Ο υπερκείμενος σχηματισμός των κοιτασμάτων που είναι τα κροκαλοπαγή της μολάσσας με ηλικία Ανώτερο Μειόκαινο αποτελεί και τη βασική διαφορά με τα υπόλοιπα κοιτάσματα της Ηπειρωτικής Ελλάδας και Εύβοιας. Διότι σε αυτές τις περιοχές τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα έχουν υπερκείμενο σχηματισμό κατά κύριο λόγο ανθρακικά πετρώματα και κροκαλοπαγή μολάσσα. Επίσης στην κύρια λιθολογία της Καστοριάς περιλαμβάνονται σερπεντινωμένοι δουνίτες και περιδοίτες, πυριτικά ιζήματα και σπιλίτες (Μουντράκης 1982).

Η γεωλογική ενότητα της Καστοριάς κατά κύριο λόγο αποτελείται από μία υπερκείμενη ομάδα χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης, δηλαδή μετακλαστικά ιζήματα (πρασινοςχιστόλιθοι), φυλλίτες, χαλαζίτες, χλωριτικούς σχιστόλιθους και μετα-τόφους. Τα πετρώματα αυτά είναι ηλικίας του κατώτερου Παλαιοζωικού και χρονολογούνται από απολιθώματα που απαντώνται σε ασβεστόλιθους της Γιουγκοσλαβίας. Η υπερκείμενη ομάδα με μικρού βαθμού μεταμόρφωση συνεχίζεται μέσα στους ασβεστόλιθους και γι' αυτό θεωρείται πως έχουν ίδια ηλικία.

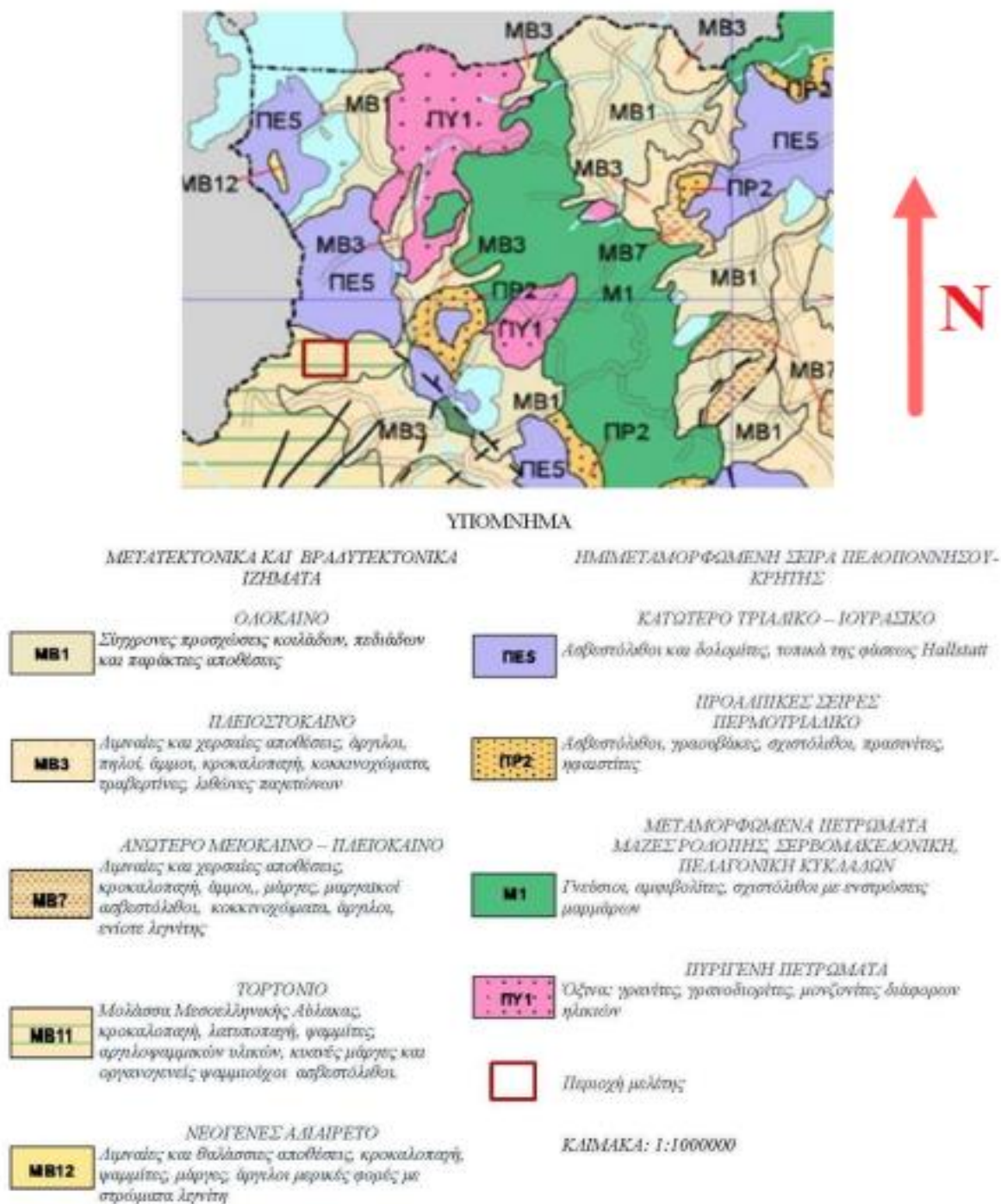
Η υποκείμενη ομάδα αποτελείται κυρίως από γρανίτες γνεύσιους και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους. Οι γρανίτες της περιοχής δεν είναι μίας φάσης (Κίλιας 1980, Κατερινόπουλος, 1983). Παρατηρούνται γρανίτες που ανήκουν εν μέρει στον Παλαιοζωικό αλλά πρόκειται για παλαιότερους, νεότερους, παραμορφωμένους γρανίτες και γρανίτες χωρίς παραμόρφωση. Η ηλικία τους έχει προσδιοριστεί από ραδιοχρονολογήσεις (Μαράκης, 1968, Kiliyas 1980, Mountrakis, 1984).

Η ενότητα του Βέρνου σύμφωνα με μελέτες ανήκει στην Πελαγονική ζώνη που έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Στην ενότητα αυτή έχουν βρεθεί και έχουν μελετηθεί κοιτάσματα που υπάγονται στην περιοχή της Καστοριάς (Μουντράκης 1983, 1984). Η μάζα του Βέρνου αποτελείται από μία υποκείμενη γνευσιακή-αμφιβολιτική σειρά (σειρά Βίτσι-Νυμφαίου) και μία υπερκείμενη σχιστολιθική σειρά που αποτελείται από νεότερα μεταβασικά πετρώματα

(σειρά Κλεισούρας) (Κίλιας και Μουντράκης 1989). Χαρακτηριστικό της κρυσταλλοσχιστώδης μάζας του Βέρνου είναι ο πλουτωνίτης του Βαρουντά –Καστοριάς που διακρίνεται σε τρεις ομάδες πετρογραφικού τύπου: τη νεότερη που αποτελείται από λευκογρανίτες, τη δεύτερη ομάδα που αποτελείται από τους γρानοδιορίτες γρανίτες, χαλαζιακούς μονζοδιορίτες και τέλος τους Ανωπαλαιοζωικούς οφθαλμοειδείς γρανίτες (Κατσικάτος 1992).



Σχήμα 12: Σχηματική γεωλογική τομή, που δείχνει την ανεστραμμένη διάταξη των σχηματισμών στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής στην περιοχή Βέρνου-Καστοριάς. (1): σχηματισμοί Υποπελαγονικής ζώνης, (2): δυτικό ανθρακικό κάλυμμα Πελαγονικής, (3): μετακλαστική σειρά Περμοτριάδικου, (4): υποβάθρο. 1: οφιόλιθοι, 2: αργιλικά ιζήματα, 3: κερατόλιθοι, 4: ασβεστόλιθοι Τριαδικού – Ιουρασικού της Πελαγονικής, 5: ασβεστόλιθοι νηριτικοί Τριαδικού – Ιουρασικού της Πελαγονικής, 6 φυλλίτες – σχιστόλιθοι, 7: μεταψαμμίτες, μετα-αρκόζες, μετα-κροκαλοπαγή, 8: ηφαιστειακά, 9: γρανίτες, 10: κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου, 11: επιπτεύσεις – επωθήσεις, 12: τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων στο Ανώτερο Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό (Μουντράκης, 1985).

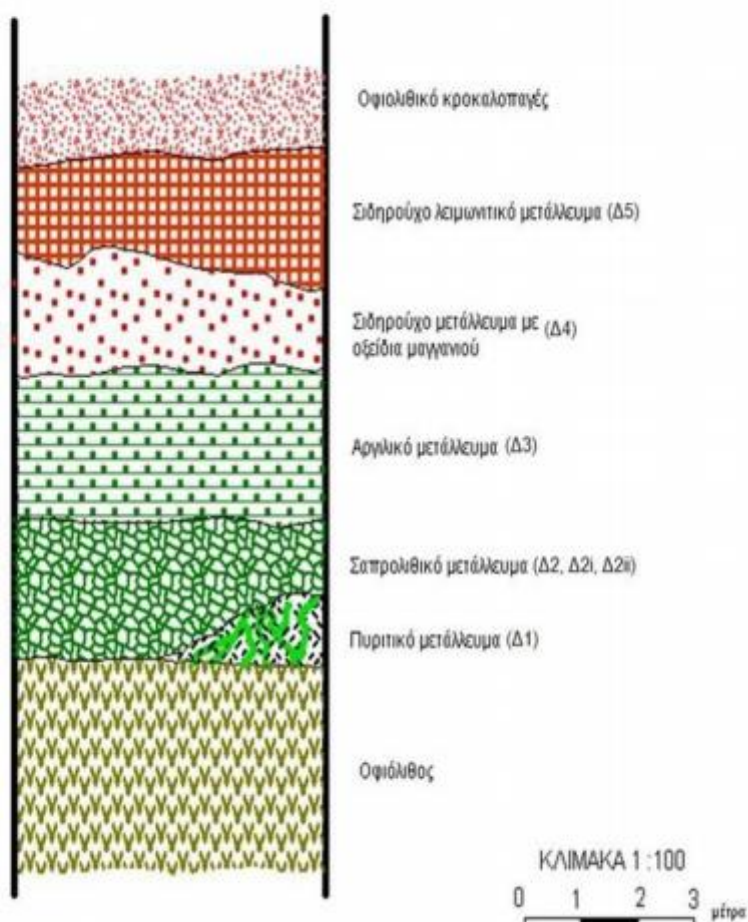


Σχήμα 13: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Καστοριάς (Γκουτζιούπα 2015).

3.5.2. Κοιτάσματα Νικελίου στον Άγιο Αθανάσιο Καστοριάς και στην ευρύτερη περιοχή της Ιεροπηγής

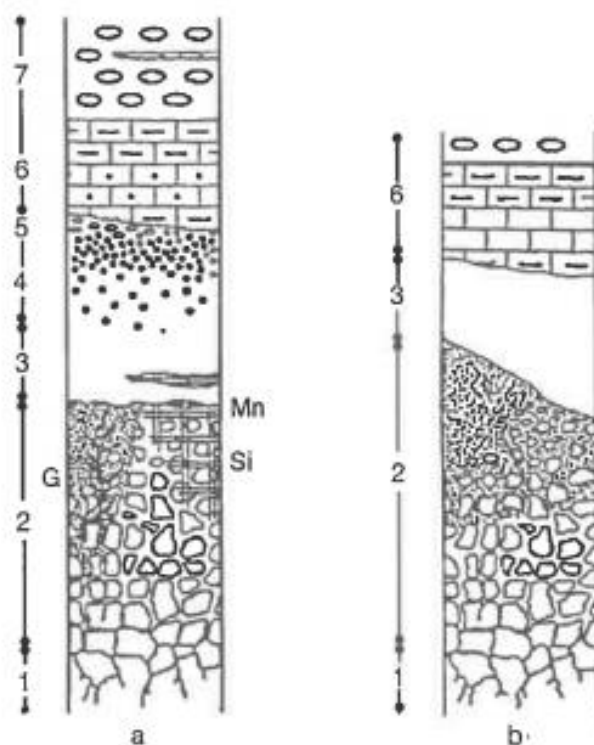
Εκτός από τα νικελιούχα μεταλλεύματα που εμφανίζονται στη μάζα του Βέρνου, από τα πιο βασικά κοιτάσματα νικελίου εντοπίζονται στον Άγιο Αθανάσιο της Καστοριάς. Ο Άγιος Αθανάσιος βρίσκεται 25 χιλιόμετρα νοτιότερα από την πόλη της Καστοριάς και ανήκει στην ευρύτερη περιοχή της Ιεροπηγής. Τα λατεριτικά σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα απαντώνται πάνω σε υπερβασικά πετρώματα και κάτω από κροκαλοπαγή μολάσσα. Το σιδηρούχο μέταλλευμα του Αγίου Αθανασίου εντοπίζεται ως ασυνεχές στρώμα ιζήματος και εμφανίζονται δύο τύποι μεταλλευμάτων: Το συμπαγές και το πισσολιθικό.

ΤΟΜΗ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΑΓΙΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ



Σχήμα 14: Λιθοστρωματογραφική στήλη του σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος της μελετώμενης περιοχής (Γκουτζιούπα 2015).

Στους λατερίτες που εμφανίζονται στην περιοχή της Ιεροπηγής εντοπίζονται και οι τρεις ζώνες από ένα λατεριτικό προφύλ. Δηλαδή η σιδηρούχος ζώνη, η νοντρονιτική και η σαπρολιθική (SKARPELIS 1997). Με έρευνες που έχουν γίνει στην περιοχή η περιεκτικότητα του νικελίου ανέρχεται 1,35% κατά μέσο όρο, με αποθέματα που ξεπερνούν τους 6.000.000 τόνους.



Σχήμα 15: Σχηματική τομή νικελιούχων κοιτασμάτων Ιεροπηγής Καστοριάς (α) – Bitincka Αλβανίας (b): 1. Υπερβασικά 2. Σαπρολιθική-Νοντρονιτική ζώνη 3. Γκαιτιτική ζώνη 4. Πισσολιθικό σιδηρούχο κάλυμμα 5. Ιζηματογενές σιδηρομετάλλευμα 6-7. Ηωκαινικά ιζήματα Si: Πυριτιωμένα υπερβασικά και σαπρόλιθος G: Φλέβες γαρνιερίτη Mn: Οξείδια μαγγανίου (Αποστολίκας, Μαγκλάρας και Φρογουδάκης 2000).

3.5.3. Ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος

Στην μελετώμενη περιοχή του Αγίου Αθανασίου (Σχ.14) που αντιπροσωπεύει τον αυτόχθονο λατερίτη της Καστοριάς ελήφθησαν πέντε δείγματα (κάθετα στην οροφή του), τα οποία στάλθηκαν στην εταιρεία της ΛΑΡΚΟ. Η ορυκτολογική εξέταση που

πραγματοποιήθηκε στα δείγματα που συλλέχθηκαν, έγινε από τη βάση προς την οροφή του κοιτάσματος (κατά μήκος της τομής).

Το δείγμα Δ1 που βρίσκεται πάνω σε οφιόλιθους και ανήκει σε στρώμα πυριτικού μεταλλεύματος έδειξε σε μικρότερο ποσοστό αιματίτη και σε μεγαλύτερο ποσοστό χαλαζία, λιζαρδίτη, γαρνιερίτη, σεπιόλιθο και νεπουϊτή. Με μορφή γαρνιερίτη ανάμεσα σε διάκενα μαζών χαλαζία εμφανίζεται νικελιούχος μεταλλοφορία. Ο λιζαρδίτης εμφανίζεται σαν επιμέρους συνδετικό υλικό.

Τα δείγματα Δ2 χωρίστηκαν σε 3 δείγματα: Δ2, Δ2i και Δ2ii, διότι το στρώμα του σαπρολιθικού μεταλλεύματος παρουσιάζει ανομοιογένεια. Οι ακτινογραφικές εξετάσεις που πραγματοποιήθηκαν στο δείγμα Δ2 έδειξαν πως εμφανίζεται σεπιόλιθος και λιζαρδίτης και σε μικρότερο ποσοστό αιματίτης και γκαιτίτης. Στα δείγματα Δ2i και Δ2ii που ανήκουν και αυτά στο σαπρολιθικό μέταλλευμα βρέθηκαν σαπωνίτης, γαρνιερίτης, βιλεμζεϊτης, γκαιτίτης, αιματίτης και χρωμίτης.

Η ακτινογραφική εξέταση στο δείγμα Δ3 που υπάγεται στο αργιλικό μέταλλευμα, έδειξε παρουσία λιζαρδίτη και ασβεστίτη. Σε μικρότερο ποσοστό εμφανίζονται ο σαπωνίτης και ο βιλεμζεϊτης. Επίσης ως μεταλλικά ορυκτά απαντάται ο γκαιτίτης και ο αιματίτης.

Ακολουθεί το δείγμα Δ4 που ανήκει στο σιδηρούχο μέταλλευμα με οξείδια μαγγανίου. Στο δείγμα απαντάται χαλαζίας και από μεταλλικά ορυκτά αιματίτης, γκαιτίτης και χρωμίτης. Σε μικρότερο ποσοστό εμφανίζεται σαπωνίτης και γαρνιερίτης.

Τέλος οι ακτινογραφικές εξετάσεις στο δείγμα Δ5 που ανήλθε από το στρώμα του σιδηρούχου λειμωνιτικού μεταλλεύματος, ανέδειξαν παρουσία χαλαζία. Το στρώμα αυτό που έρχεται σε επαφή με το οφιολιθικό κροκαλοπαγές της οροφής εμφανίζει μεταλλικά ορυκτά όπως ο γκαιτίτης, ο αιματίτης και ο χρωμίτης.

3.5.4. Γεωχημικά χαρακτηριστικά του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος

Τα χημικά στοιχεία που παρουσιάζονται στη μελετώμενη περιοχή (Σχ.16) είναι τα εξής:

- $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{MnO}, \text{CoO}$

Κατά μήκος της τομής έχουν σχεδόν ίδια κατανομή

- SiO_2, NiO
- Κατά μήκος της τομής εμφανίζουν όμοια κατανομή
- CaO

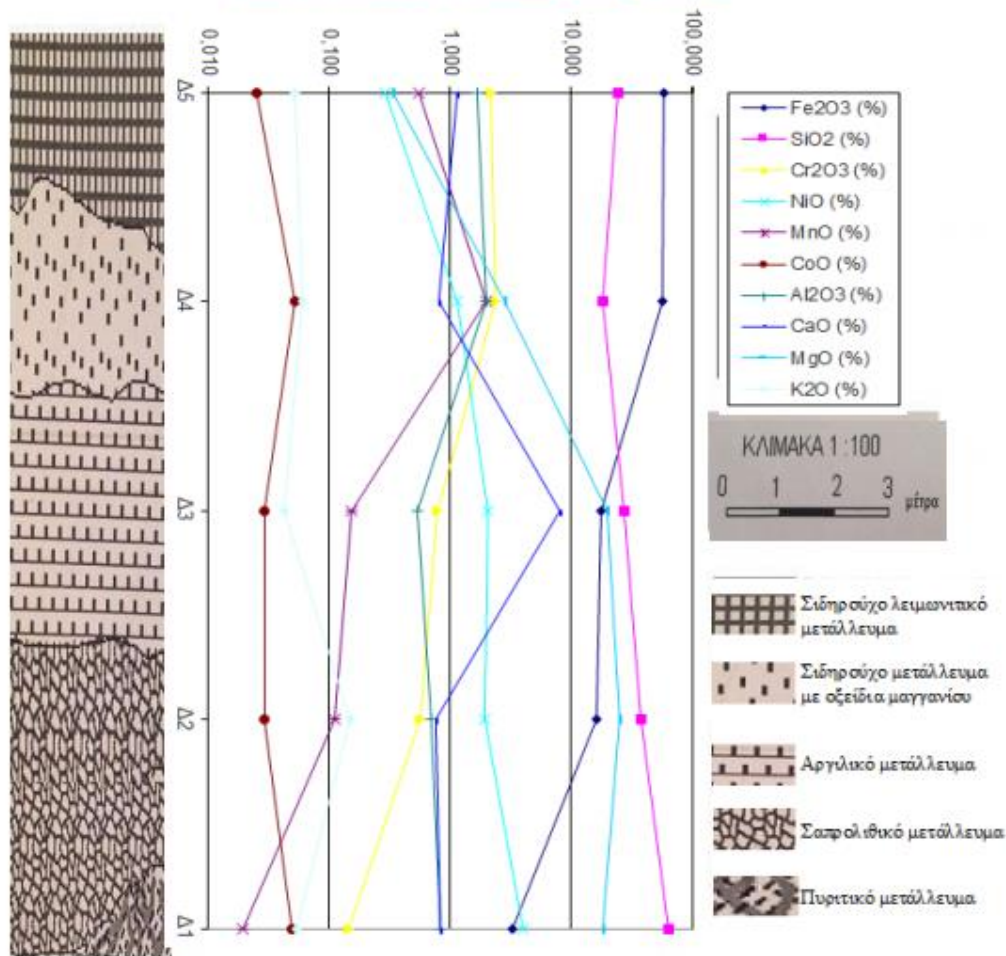
Κατά μήκος της τομής η κατανομή του διαφέρει με το SiO_2 σε όλα τα στρώματα εκτός από το στρώμα με το σιδηρούχο μέταλλευμα



- MgO

Κατά μήκος της τομής η κατανομή του διαφέρει σε όλα τα στρώματα με το SiO_2

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΤΟΜΗΣ



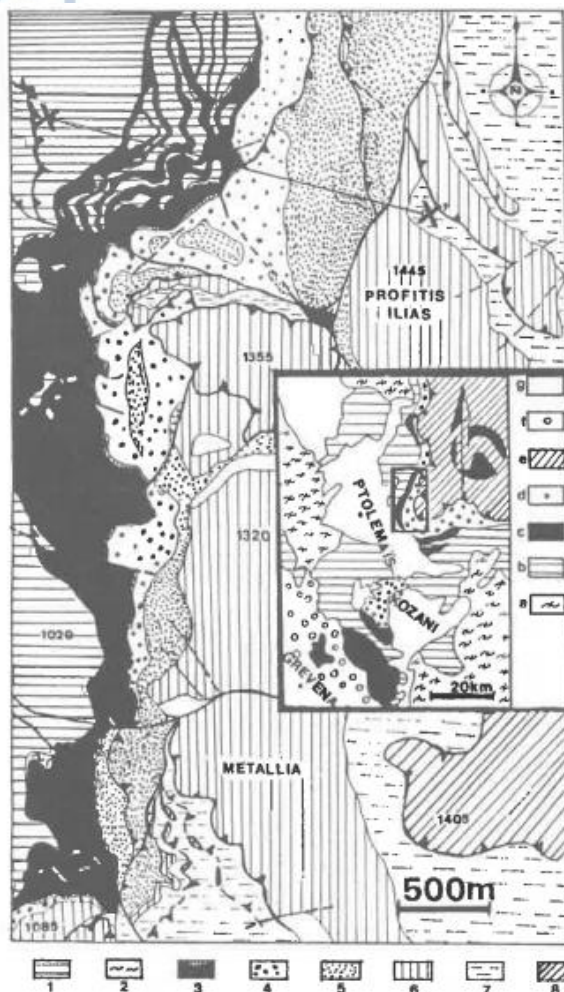
Σχήμα 16: Κατανομή των προς μελέτη στοιχείων κατά μήκος του κοιτάσματος (Γκουτζιούπα 2015).

3.6 Βέρμιο

3.6.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Η περιοχή του Βερμίου και πιο συγκεκριμένα η νοτιοδυτική του πλευρά, γεωτεκτονικά ανήκει στο όριο της Πελαγονικής ζώνης και στις παρυφές της Δυτικής Αλμωπίας (Braud 1967, Braud et al, 1984). Σύμφωνα με τους PHOTIADES et al. (1998) η περιοχή αποτελείται από: (κατώτερο προς ανώτερο)

- Μάρμαρα της Τριαδοιουρασιακής ηλικίας, όπου από κάτω τους βρίσκονται μεταϊζήματα
- Οφιολιθικό κάλυμμα όπου αναπτύσσεται λατεριτικός μεταλλοφόρος ορίζοντας
- Κροκαλοπαγή και κλαστικά κατά κύριο λόγο ανθρακικών
- Ασβεστόλιθοι με ρουδιστές
- Διάπλαση φλύσχη



Σχήμα 17: Γεωλογικός χάρτης περιοχών Προφήτη Ηλεία και Μεταλλείων (Δ. Βέρμιο), 1:5000, α: γνεύσιοι, b:μάρμαρα, c: οφιόλιθοι, d:ανθρακικό επικάλυμμα οφιολίθων, e:τεκτονικό κάλυμμα Άνω Βερμίου, f:μολάσση, g: Πλειο-Τεταρτογενείς σχηματισμοί. 1:μάρμαρα Πελαγονικής, 2 μετα - ιζηματογενείς σχηματισμοί, 3: οφιόλιθοι και λατερτικός ορίζοντας, 4:ανθρακικά κροκαλοπαγή, 5:κλαστικά ροής, 6:ρουδιτοφόροι ασβεστόλιθοι, 7:μεταβατικά στρώματα και φλύσχης, 8:κάλυμμα Άνω Βερμίου (Photiades et al.1998).

3.6.2. Σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα στο Βέρμιο

Τα κοιτάσματα της περιοχής του Δυτικού Βερμίου διακρίνονται σε:

- i) Αυτόχθονα λατεριτικά μεταλλεύματα, που βρίσκονται στον Προφήτη Ηλία. Στο λατεριτικό μετάλλευμα ο εξαλλοιωμένος φλοιός που αναπτύσσεται πάνω στον περιδοτική καλύπτεται από μια ζώνη. Η ζώνη αποτελείται από πυριτωμένη βάση με φλεβίδια ασβεστίτη και στο ανώτερο τμήμα της εμφανίζεται αιματίωση. Πάνω σε αυτή τη ζώνη απαντάται σιδηρονικελιούχος μεταλλοφορία που έχει πάχος 5 έως 7 μέτρα. Τα ορυκτά που αποτελούν το σιδηρονικελιούχο

μετάλλευμα είναι γκαιτίτης, αιματίτης, χαλαζίας, χλωρίτης, ασβεστίτης και χρωμίτης. Σπάνια εμφανίζεται τάλκης και ιλλίτης.

- ii) Ετερόχθονα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα που βρίσκονται στην περιοχή Μεταλλεία. Η μεταλλοφορία αυτή αναπτύσσεται πάνω σε σερπεντινίτες και έχει πάχος 10 -15 m. Χαρακτηρίζεται από μικρή περιεκτικότητα σε νικέλιο και σίδηρο.
- iii) Βωξιτικοί νικελιούχοι λατερίτες που βρίσκονται στο Παρχάρι (1 χιλιόμετρο απόσταση από τον προφήτη Ηλία). Η μεταλλοφορία αυτή αναπτύσσεται σε εξαλλοιωμένους περιδοτίτες και αποτελείται από γκαιτίτη, χλωρίτη, αιματίτη, βοημίτη, ιλλίτη, χρωμίτη χαλαζία και ασβεστίτη. Σπανίως εμφανίζονται θειούχα ορυκτά.

Άλλες σημαντικές περιοχές της ευρύτερης περιοχής του Βερμίου όπου έχουν εντοπιστεί λατεριτικά σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα είναι:

Η θέση «Βρύση Γραμμένη» (3,5 χιλιόμετρα από το χωριό του Κάτω Βερμίου), Η θέση «Μοναχιά Καστανιά» (2,5 km BBA από το χωριό Πολυδένδρι) και σημαντικά κοιτάσματα εντοπίζονται και στο χωριό Σφηκιά (Θέση: «Κοκόλενας, Καρές», «Πετρομαχά», «Σέλωμα», «Γερακόπετρα 1 και Γερακόπετρα 2» και «Διχάλωμα») (Κουκούζας και Κούβελος 1973).

Γερακόπετρα 1 και 2:

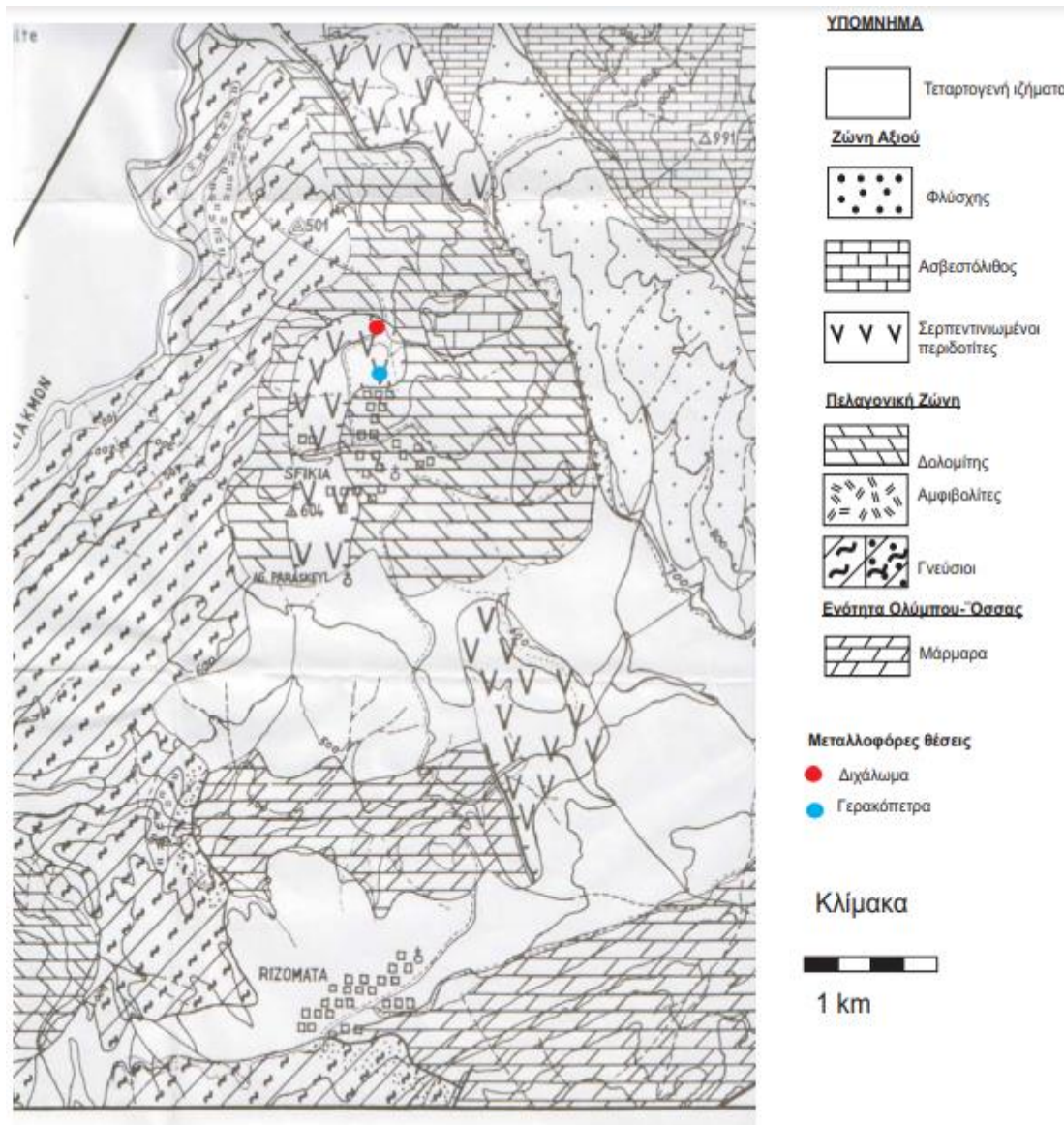
Στη θέση Γερακόπετρα 1 και 2 αναπτύσσονται εξαλλοιωμένοι σερπεντινίτες και υπέρκεινται δολομιτικοί ασβεστόλιθοι ανακρυσταλλωμένοι, ένα στάδιο πριν μεταμορφωθούν σε μάρμαρα. Επίσης οι σερπεντινίτες είναι σχιστοποιημένοι.

Στην θέση Γερακόπετρα1 το σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα εμφανίζεται με φακοειδή μορφή κάτω από το ασβεστολιθικό κάλυμμα και πάνω από τους σερπεντινίτες. Στη θέση αυτή εμφανίζονται δύο μεταλλοφόρα σώματα. Το πρώτο μεταλλοφόρο σώμα έχει μήκος 18 μέτρα. και πάχος 1 μέτρο, ενώ το δεύτερο 16 μέτρα και πάχος 3 μέτρα.

Στη θέση Γερακόπετρα 2 το μετάλλευμα αναπτύσσεται ανάμεσα στους σερπεντινίτες (υποκείμενο πέτρωμα) και στους δολομιτικούς ασβεστόλιθους (υπερκείμενο πέτρωμα). Χαρακτηριστικό του μεταλλεύματος αποτελεί η πισσολιθική του υφή. Επιπλέον, είναι συμπαγές, σκληρό και η ποσότητα και σύστασή του είναι παρόμοια με το μετάλλευμα της θέσης Γερακόπετρα 1.

Θέση Διχάλωμα:

Το μεταλλοφόρο σώμα της θέσης Διχάλωμα έχει μήκος 9 μέτρα και πάχος 3 μέτρα. Είναι σκληρό με τεφρό χρώμα και η καλύτερη ποιότητα βρίσκεται στη βάση του μεταλλεύματος. Επίσης η μεταλλοφορία αναπτύσσεται ανάμεσα από υπερκείμενους, σχιστοποιημένους σερπεντινίτες και κάτω από αργιλικούς σχιστόλιθους που είναι ημιμεταμορφωμένοι αλλά και φυλλίτες.



Σχήμα 18: Χάρτης περιοχής μελέτης (Aslanidis 1989) όπου σημειώνονται οι θέσεις των λατεριτικών εμφανίσεων.



Σχήμα 19: Μακροσκοπικές εικόνες των μεταλλοφόρων σωμάτων της περιοχής Γερακόπετρας διακρίνονται κατά περίπτωση το οφιολιθικό υπόβαθρο (α) και το ασβεστολιθικό κάλυμμα (β & γ) (Τσιτσιπάτη 2007).

3.6.3. Γεωχημεία μεταλλεύματος

Από δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν από την επιφάνεια προς τη βάση στο μέταλλευμα στη θέση Γερακόπετρα, βρέθηκαν χημικά στοιχεία όπως Si, Al, Fe, Ni, Cr, Mg, Ca (Πίν. 8).

Πίνακας 8 Χημικές αναλύσεις του μεταλλεύματος της περιοχής Γερακόπετρας, από αντιπροσωπευτικά δείγματα που λήφθηκαν ανά 20 cm. από την επιφάνεια (1G1) μέχρι και τη βάση του λατερίτη (1G9) (Τσιτσιπάτη 2007).

		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO
Συμπανές μέταλλευμα	1G1 (20 cm)	11,19	70,75	6,23	3,65	1,06	3,12	1,08	0,12
	1G2 (40 cm)	9,45	73,70	5,51	3,11	0,61	3,29	1,40	0,11
	1G3 (60 cm)	6,28	82,99	3,20	1,95	0,57	2,64	2,40	0,29
	1G4 (80 cm)	10,70	76,40	3,80	3,25	1,26	3,15	2,90	0,38
	1G5 (100 cm)	21,08	59,89	2,52	8,06	2,27	3,24	4,30	0,33
	1G6 (120 cm)	32,10	44,13	1,89	10,10	6,35	1,75	3,17	0,22
Βάση λατερίτη	1G7 (140 cm)	51,62	14,74	0,40	19,36	7,67	0,67	1,63	0,03
	1G8 (160 cm)	45,72	16,39	0,54	12,71	15,82	0,92	2,01	0,03
	1G9 (180 cm)	52,40	13,93	0,38	19,09	8,12	0,67	1,62	0,03

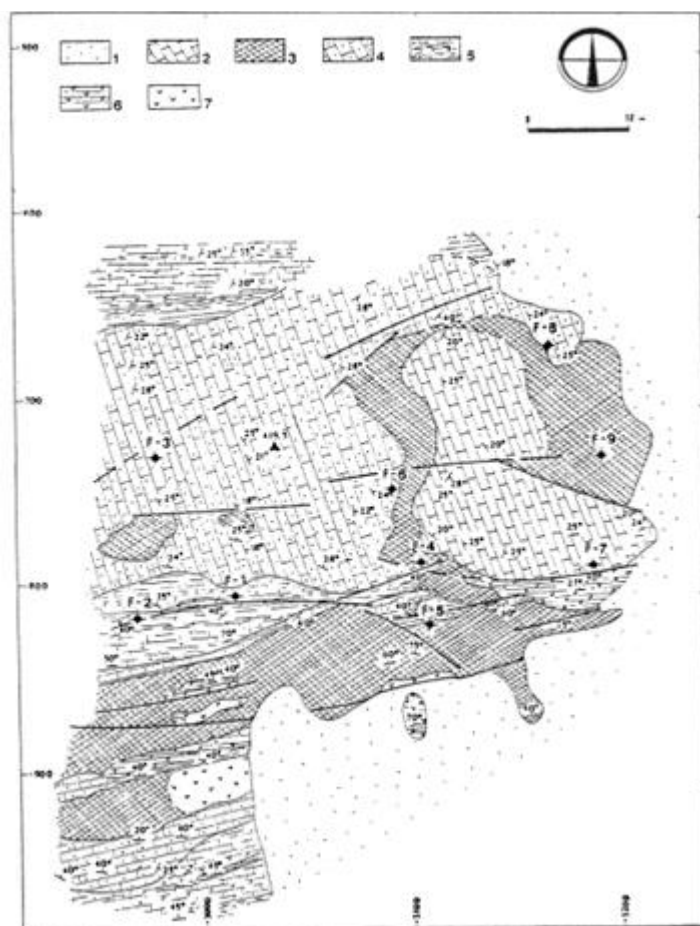
Χαρακτηριστική είναι η αύξηση του νικελίου από την επιφάνεια προς τη μέση του μεταλλεύματος όπου συναντά και τη μέγιστή του τιμή. Στη συνέχεια από τη μέση προς τα κατώτερα τμήματα αρχίζει να ελαττώνεται. Η μέγιστη τιμή νικελίου στη μέση του μεταλλεύματος πιθανόν να οφείλεται σε μία ζώνη πυριτικών ορυκτών με αυξημένο νικέλιο. Επίσης η μέση περιεκτικότητα του νικελίου στη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στη θέση Γερακόπετρα, ανέρχεται σε 2,26% και θεωρείται υψηλή. Τα ορυκτά που απαντάται το νικέλιο στην ερευνητική περιοχή είναι ο χλωρίτης, ο τάλκης και οι αμφίβολοι.

3.7 Έδεσσα

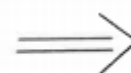
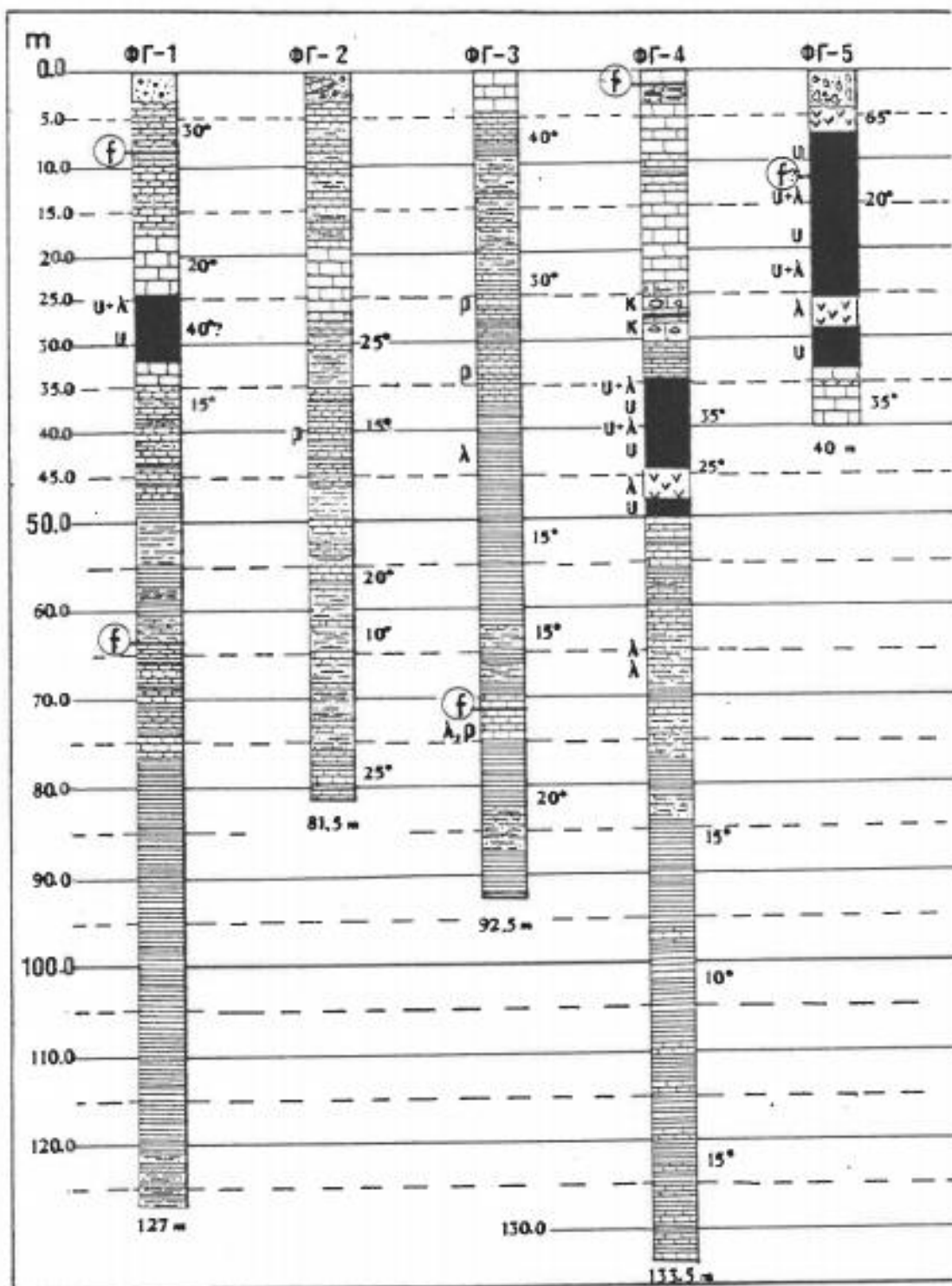
Φλαμουριά

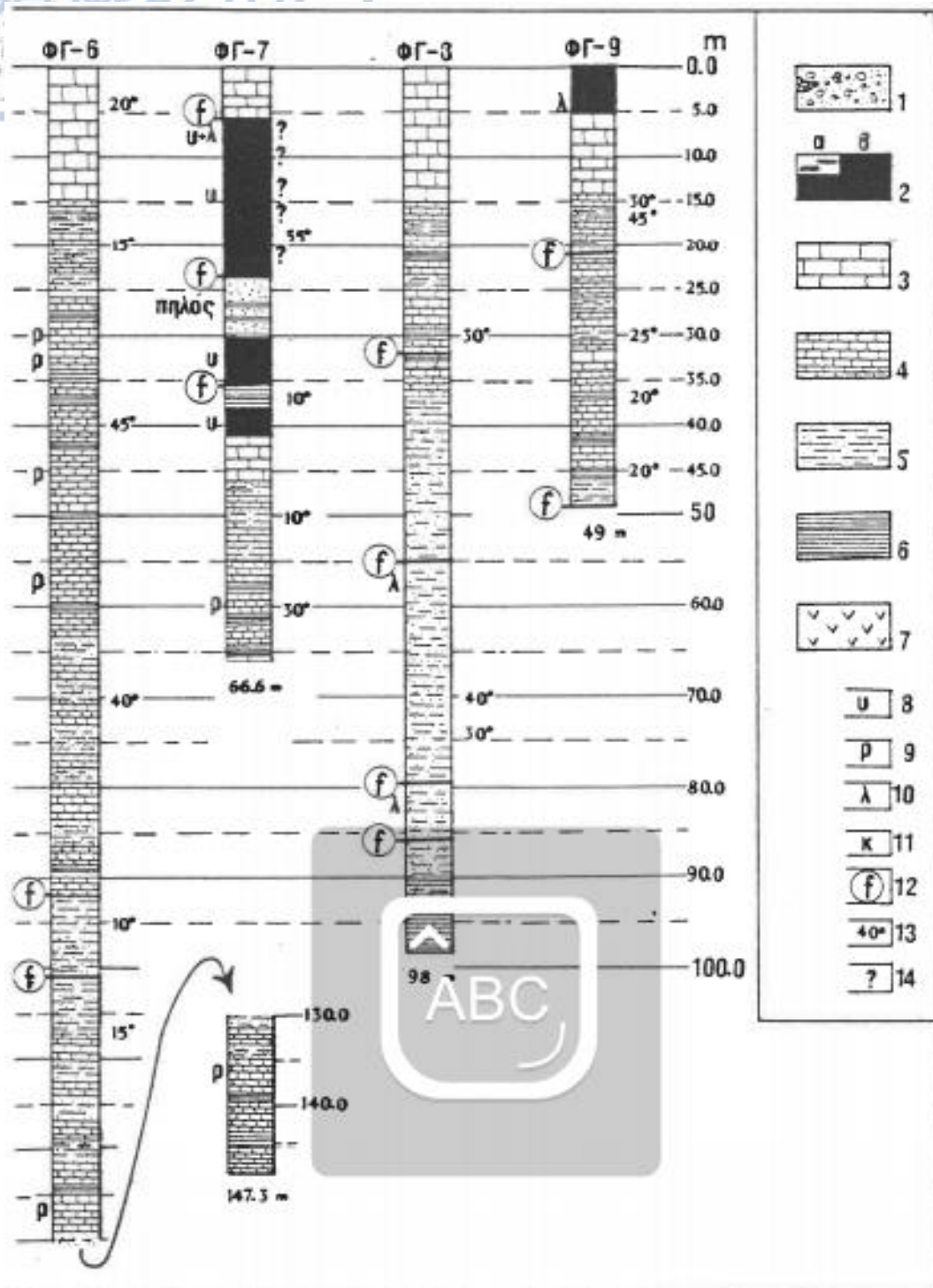
3.7.1. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή της Έδεσσας και κυρίως περιοχές που παρουσιάζουν κοιτασματολογικό ενδιαφέρον όπως Βρυτά, Μεσημέρι και Φλαμουριά ανήκουν στη γεωτεκτονική ζώνη της Αλμωπίας. Η περιοχή της Φλαμουριάς που βρίσκεται 10 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Έδεσσας αποτελείται κατά κύριο λόγο από υπερβασικά πετρώματα και συγκεκριμένα σερπεντινίτες. Πολλοί σερπεντινίτες μετατρέπονται τοπικά σε ταλκικούς σχιστόλιθους λόγω δυναμομεταμορφικής διεργασίας με ταυτόχρονης απομάκρυνση του μαγνησίου. Η μεταλλοφορία αναπτύσσεται πάνω στους σερπεντινίτες και ταλκικούς σχιστόλιθους και καλύπτεται κυρίως από ασβεστολιθικά του Μέσω – Άνω Κρητιδικού αλλά και κροκάλες.



Σχήμα 20: Γεωλογικός κοιτασματολογικός χάρτης περιοχής Φλαμουριάς 1: Εδαφικό κάλυμμα 2: Υπερκείμενο μάρμαρο 3: Σιδηρονικελιούχος μεταλλοφορία 4: Υπερκείμενο Μάρμαρο 5: Ανθρακικοί και ταλκικοί σχιστόλιθοι 6: Ταλκικοί σχιστόλιθοι 7: Σερπεντινίτες (Ανδρουλάκης 1991).

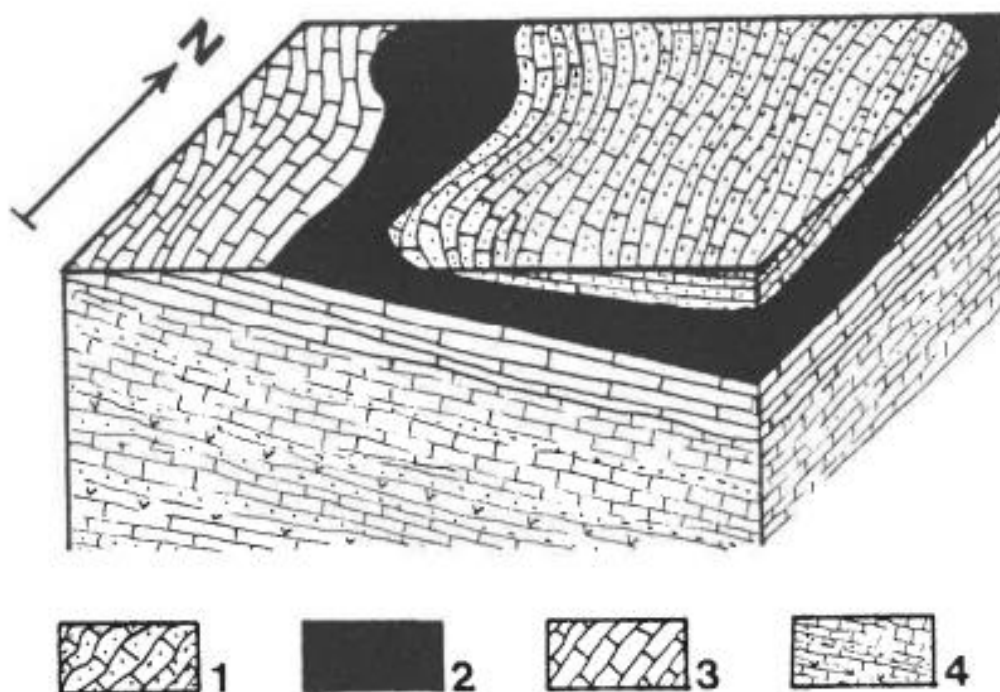




Σχήμα 21: 1: Εδαφικό κάλυμμα 2:Σιδηρο-νικελιούχος μεταλλοφορία α) συμπαγής β) μη συμπαγής 3: Συμπαγή μάρμαρα 4:Λεπτοστρωματώδεις ανθρακικοί ορίζοντες σ' εναλλαγές με ταλκικούς και πηλιτικούς σχιστόλιθους 5:Πηλιτικοί σχιστόλιθοι 6:Ταλκικοί σχιστόλιθοι 7:Σερπεντινίτης 8:Υπερβασικά υλικά 9:Ροζέ ανθρακικοί ορίζοντες 10:Λατύπες 11:Κλαστικό υλικό 12:Ρήγμα 13:Κλίση στρωμάτων 14: Απολήψεις μη ικανοποιητικές (Ανδρουλάκης 1991).

3.7.2. Κοιτάσματα νικελίου στη Φλαμουριά Έδεσσας

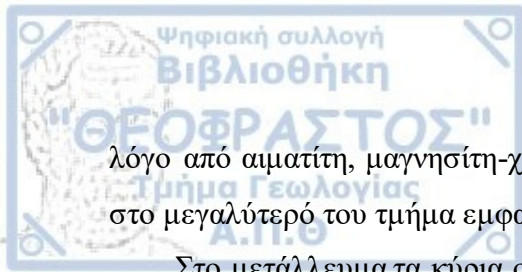
Από χαρτογραφήσεις και γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν (Σχ. 20 και Σχ.21) στην περιοχή βρέθηκε σημαντική μεταλλοφορία. Η μεταλλοφορία αναπτύσσεται ανάμεσα σε υπερβασικά και ασβεστολιθικά πετρώματα και χωρίζεται σε δύο μεταλλοφόρα σώματα. Το πρώτο έχει μήκος περίπου 48 μέτρα και πάχος περίπου 12 μέτρα. Με ανάλογους υπολογισμούς προκύπτει ότι η μέση περιεκτικότητα νικελίου που βρίσκεται μέσα στο μεταλλοφόρο σώμα ανέρχεται στο 0,85%. Ενώ, στο δεύτερο η μέση περιεκτικότητα νικελίου ανέρχεται σε ποσοστό 1,14 %.



Σχήμα 22: Σχηματικό μπλοκ diagram στη Β μεταλλοφόρο δομή περιοχή Φλαμουριάς 1: Υπερκείμενο μάρμαρο 2: Σιδηρονικελιούχος μεταλλοφορία 2: Σιδηρονικελιούχος μεταλλοφορία 3: Υποκείμενο μάρμαρο 4: Ανθρακικοί – πηλιτικοί και ταλκικοί σχιστόλιθοι (Ανδρουλάκης 1991).

3.7.3. Ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος

Σύμφωνα με τον Μιχαηλίδης (1982) το μέταλλευμα που βρίσκεται στην περιοχή της Φλαμουριάς είναι κυρίως αιματιτικού τύπου με σύνδρομα ορυκτά. Αποτελείται κατά κύριο



λόγο από αιματίτη, μαγνησίτη-χρωμίτη, χρωμίτη, τάλκη ασβεστίτη και χαλαζία. Το κοίτασμα στο μεγαλύτερό του τμήμα εμφανίζει συγκρίματα και πισσολιθική υφή.

Στο μέταλλευμα τα κύρια ορυκτά εμφανίζονται ως εξής:

- αιματίτης: βρίσκεται διάσπαρτος στο μέταλλευμα. Επίσης αποτελεί το κύριο συστατικό των ωολίθων και πισολίθων και καλύπτει μεγάλο ποσοστό στα συγκρίματα.
- χρωμίτης-μαγνησίτης: είναι διάσπαρτος στα υπόλοιπα συστατικά. Ο μαγνησίτης σε πολλές περιπτώσεις μετατρέπεται σε αιματίτη (μαρτιτίωση).

Τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική είναι τα εξής:

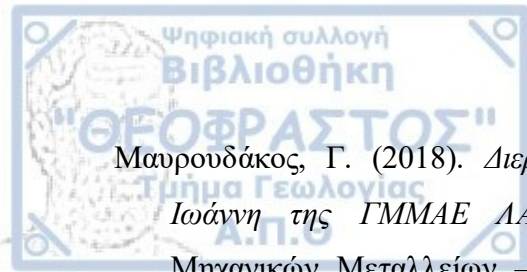
Τα αποθέματα νικελίου στην Ελλάδα είναι κυρίως ιζηματογενών και λατεριτικών κοιτασμάτων και η μέση περιεκτικότητά τους δε θεωρείται αρκετά υψηλή, διότι είναι περίπου 1%.

Από στρωματογραφικές μελέτες, γεωτρήσεις και χαρτογραφήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί, τα μεταλλεύματα στην Ελλάδα συνήθως αναπτύσσονται πάνω σε υπερβασικά πετρώματα και μεταξύ ανθρακικών σχηματισμών.

Επιπλέον στη χώρα τα κοιτάσματα νικελίου εξαπλώνονται σε διάφορες περιοχές που βρίσκονται σε ίδιες ή διαφορετικές γεωτεκτονικές ζώνες με τα αποθέματα που υπάρχουν να είναι τεράστια. Από διάφορες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε αυτές τις περιοχές συμπεραίνεται ότι τα σημαντικότερα κοιτάσματα εντοπίζονται στην Εύβοια, στην Λοκρίδα και την Καστοριά. Είναι περιοχές με το μεγαλύτερο οικονομικό ενδιαφέρον και η εκμετάλλευσή τους είναι ευκολότερη σε σχέση με άλλες. Ωστόσο, μελέτες έχουν ολοκληρωθεί και στο Βέρμιο, στα Γρεβενά, στην Έδεσσα και την Πάρνηθα, όπου έχουν βρεθεί σημαντικές ποσότητες κοιτασμάτων νικελίου. Η ΛΑΡΚΟ έχει δραστηριοποιηθεί και σε μερικές από αυτές.

Τέλος οι παραπάνω περιοχές όπου παρουσιάζονται μεταλλεύματα που αναπτύσσεται το νικέλιο έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς την ορυκτολογία και τη γεωχημεία τους.

- Apostolikas, A. Kirillidi, Y. Maglaras, K. Frogoudakis, E. (2007), *the nickel industry in greece*, Article, pp.1-2.
- International Union of Geological Sciences. (1981). *Unesco: an International Symposium on Metallogeny of Mafic and Ultramafic Complexes: The Eastern Mediterranean-western Asia Area, and Its Comparison with Similar Metallogenic Environments in the World* (Vol. 1). National Technical University of Athens, Department of Mineralogy-Petrology-Geology, pp. 281-286.
- Αλεβίζος, Γ. (1997). *Ορυκτολογία, γεωχημεία και γένεση ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων Λοκρίδας (Κεντρική Ελλάδα)*, Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σελ. 13-160.
- Ανδρουλάκης Ι. (1991). *Κοιτασματολογική μελέτη Σιδηρονικελιούχου Μεταλλοφορίας Φλαμουριάς Ν. Πέλλης*, Ι.Γ.Μ.Ε. Θεσσαλονίκη, σελ. 5-22.
- Αποστολίκας Α., Μαγκλάρας Κ. Φρογουδάκης Ε.(2000). *Νικελιούχα κοιτάσματα στη Δυτική Μακεδονία. Παρόν και προοπτικές*, 1^ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας Ορυκτολογίας και Γεωχημείας, Κοζάνη, σελ 28-32.
- Αποστολίκας, Α. (2009). *Κοιτασματολογία νικελίου*, σελ. 118-122.
- Γεωργίου, Μ. (2014). *Αναγωγική φρύξη αδρομερών μεταλλευμάτων λατερίτη με αέρια αναγωγικά μέσα*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ.1-9.
- Γκουτζιούπα, Κ. (2015). *Αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών και διερεύνηση εμπλουτισιμότητας του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος του κοιτάσματος Αγίου Αθανασίου (Καστοριά)*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σελ.33-40
- Γρηγόρης, Π., Ηλιόπουλος, Δ., Κυρίτσης Ε., Φωτιάδης Α., (2000). *Γεωλογικά, Ορυκτολογικά και Γεωχημικά χαρακτηριστικά των σιδηρονικελιούχων λατεριτών του Δυτικού Βερμίου*, 1^ο Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας Ορυκτολογίας και Γεωχημείας, Κοζάνη, σελ. 112-113.
- Κατσαγιαννάκης, Ν. (2013). *Ορυκτολογική-Πετρογραφική μελέτη και δυνατότητες εμπλουτισμού του νικελιούχου λατεριτικού σιδηρομεταλλεύματος του κοιτάσματος Nome (Αλβανία)*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σελ.1-19.



Μαυρουδάκος, Γ. (2018). *Διερεύνηση της εξόρυξης πετρωμάτων από το Μεταλλείο Αγ. Ιωάννη της ΓΜΜΑΕ ΛΑΡΚΟ με surface miner*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 23-25

Τσιάμης, Θ. Ν. (2015). *Γεωλογικοί δείκτες στον εντοπισμό ορυκτών πόρων* (Master's thesis), σελ. 27-31.

Τσιτσιπάτη, Μ. (2007). *Ορυκτολογία και γεωχημεία των σιδηρονικελιούχων λατεριτικών εμφανίσεων του Βερμίου*, Διατριβή ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, σελ. 5-48.