



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΓΙΑΣ

ΔΗΜΑΚΗ ΙΩΑΝΝΑ

ΑΕΜ 5575

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ , ΒΩΞΙΤΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2023

ΙΩΑΝΝΑ Δ. ΔΗΜΑΚΗ

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ , ΒΩΞΙΤΕΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Χρήστος Εμμανουηλίδης, ΕΔΙΠ



© Ιωάννα Δ. Δημάκη, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

©Ιωάννα Δ. Δημάκη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας,
Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Κοιτάσματα από αποσάθρωση , Βωξίτες

© Ioanna D.Dimaki, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology,
Economic Geology, 2022

All rights reserved.

Deposits from erosion, Bauxites



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.





Περιεχόμενα	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT.....	8
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΩΞΙΤΩΝ.....	12
1.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΩΞΙΤΗ.....	13
1.2.1 ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥΝ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΩΞΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ	13
2.ΛΑΤΕΡΙΤΕΣ	16
2.1 ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΛΑΤΕΡΙΤΗ.....	18
2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΓΕΝΕΣΗΣ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	19
2.2.1 Χημικές και ορυκτολογικές αλλαγές.....	20
3. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΩΞΙΤΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.	21
3.1.ΒΩΞΙΤΕΣ ΠΑΡΝΑΣΣΟΥ-ΓΚΙΩΝΑΣ	23
3.1.1. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ	25
3.1.2 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	28
4. ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ.....	31
4.1 Αυτόχθονα πρωτογενή λατεριτικά κοιτάσματα Fe-Ni στην Ελλάδα.....	38
4.2 Αλλόχθονα δευτερογενή ή ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα Fe-Ni στην Ελλάδα.....	42
4.2.1. Ψευδό-αυτόχθονα ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα της Ελλάδας....	44
5. Η ΕΞΟΡΥΞΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΒΩΞΙΤΗ	45
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	48



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κοιτάσματα από αποσάθρωση , Βωξίτες

Ιωάννα Δημάκη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά την μελέτη των κοιτασμάτων που δημιουργούνται από αποσάθρωση και συγκεκριμένα τους βωξίτες. Πρόκειται για το μοναδικό μέταλλευμα το οποίο είναι η πρώτη ύλη παραγωγής αλουμινίου και το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την χώρα μας. Οι χρήσεις του βωξίτη είναι πολλές, κάποιες από αυτές είναι ως συστατικό του πετροβάμβακα, στην τσιμεντοβιομηχανία, ως λίπασμα καθώς και στην παραγωγή χυτοσιδήρου. Τα αποθέματα του βωξίτη στην

χώρα μας ανέρχονται περίπου στους 130.000.000 τόνους. Συνεπώς η Ελλάδα κατέχει πολύ σημαντική θέση παγκοσμίως σε εξόρυξη βωξίτη.

Στην χώρα μας η εξόρυξη γίνεται με δύο τρόπους, με υπαίθριες καθώς και με υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Οι εξαγωγές του ελληνικού βωξίτη ξεπερνούν τα 30 εκατομμύρια τον χρόνο. Οι εταιρίες που βρίσκονται στην χώρα μας και ασχολούνται με την παραγωγή βωξίτη είναι τέσσερις: 1) S&B Βιομηχανικά ορυκτά 2) ΔΕΛΦΟΙ – ΔΙΣΤΟΜΟΝ Α.Μ.Ε. 3) ΕΛΜΙΝ Α.Ε. 4) Α.Ε.Μ..Β.Ν. ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΒΩΞΙΤΟΥ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ.

ABSTRACT

Deposits from weathering , Bauxites

Ioanna Dimaki

The present dissertation concerns the study of deposits resulting from disintegration and in particular bauxites. This is the only **medal** that is the raw material for the production of aluminium and which is particularly important for our country. The uses of bauxite are many, some of them are as a component of stone wool, in the cement industry, as a fertilizer as well as in the production of cast iron. Bauxite reserves in our country come to approximately 130,000,000 tons. Greece holds a very important position worldwide in bauxite mining.

In our country the extraction is done in two ways, with outdoor as well as with underground exploitations. Greek bauxite exports exceed 30 million per year. The companies that are located in our country and are engaged in the production of bauxite are four: 1) S&B Industrial minerals 2) DELFOI - DISTOMON S.A.E. 3) ELMIN SA 4) A.E.M.B.N. ELEFSINA BAXITI MINES.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε τον 05/2021 από τον Dr. Χρήστο Εμμανουηλίδη του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την υπόδειξη του θέματος, την καθοδήγηση και τις συμβουλές του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής.

Στο πλαίσιο της αναζήτησης και μελέτης κοιτασμάτων αποσάθρωσης και συγκεκριμένα βωξιτικών κοιτασμάτων, η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει και να εξετάσει την ύπαρξη και την μελέτη των κοιτασμάτων αυτών καθώς και τον τρόπο δημιουργίας τους.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Χ. Εμμανουηλίδη, που ήταν ο επιβλέπων της πτυχιακής αυτής εργασίας, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, όπως και για την συνεχή βοήθειά του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο βωξίτης ήταν ο όρος ο οποίος εισήχθη από τον Berthier (1821) για ιζήματα πλούσια σε αλουμίνα. Από την περιοχή του Les Baux στα alpillles , στην Γαλλία. Ο Liebrich ήταν ο πρώτος που επέκτεινε τον όρο για να καλύψει τα λατεριτικά προϊόντα αποσάθρωσης, τα οποία είναι πλούσια σε γυψίτη στους βασάλτες του Vogelsberg στην Γερμανία (LIEBRICH, 1892) . Συνεπώς ο όρος βωξίτης χρησιμοποιείται για τα προϊόντα αποσάθρωσης πλούσια σε αλουμίνα αλλά χαμηλά σε αλκάλια, αλκαλικές γαίες και πυρίτιο . Με τον όρο βωξίτη, αναφερόμαστε στους βωξίτες που είναι οικονομικά ισχυροί επί του παρόντος ή στο εγγύς μέλλον, που περιέχει τουλάχιστον 45-50 % Al₂O₃ και όχι περισσότερο από 20% FeO και συνδυασμένο πυρίτιο. Τα κοιτάσματα βωξίτη προέρχονται από αποσάθρωση ή από εδαφικούς σχηματισμούς με εμπλουτισμό αλουμινίου. Έκτος από το αλουμίνιο, πολλά στοιχεία όπως το σιδηρούχο μαγγάνιο και το νικέλιο μπορούν να συμμετάσχουν στον εμπλουτισμό ώστε να σχηματιστούν σημαντικά κοιτάσματα μεταλλευμάτων.

Οι βωξίτες, αποτελούν το κύριο μέταλλευμα για την παραγωγή αλουμινίου . Από το εξορυσσόμενο μέταλλευμα το 90% το χρησιμοποιούμε για την παραγωγή της αλουμίνας (Al₂O₃) . Οι υπόλοιπες χρήσεις του μεταλλεύματος είναι : τα πυρίμαχα υλικά , τα τσιμέντα , τα λιπαντικά υλικά κτλ.

Η ζώνη του βωξίτη εκτείνεται από την Ισπανία στα δυτικά, μέσω της τοποθεσίας τύπου Les Baux στη Γαλλία, και κατά διαστήματα μέσω των Βαλκανίων, της Ελλάδας και της Τουρκίας στο Ιράν. Οι πόροι βωξίτη στην Ευρώπη αποτελούν περίπου το 2% των σημερινών γνωστών αποθεμάτων στον κόσμο. Σημαντικοί λατερίτες Ni-Co βρίσκονται σε πιο περιορισμένη γεωγραφική περιοχή που εκτείνεται από τη Σερβία έως την Τουρκία.

Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής τόσο του Al όσο και του Ni-Co προέρχεται σήμερα από την Ελλάδα, αντιπροσωπεύοντας σήμερα περίπου το 1% της παγκόσμια παραγωγή Ni και βωξίτη.

Άλλα ορυχεία βρίσκονται στην Τουρκία, την Αλβανία και το Κόσοβο. Η περιοχή έχει σημαντικές δυνατότητες για την ανακάλυψη πρόσθετων πόρων βωξίτη, αν και πιθανότατα θα ήταν καρστικοί βωξίτες, λιγότερο κατάλληλοι για εξόρυξη μεγάλης κλίμακας.



Εικ. 1. Βωξίτες (Herrington et al. 2016)

Τα οξείδια του σιδήρου που περιέχονται στον βωξίτη καθορίζουν και το βάρος του. Το ειδικό του βάρος είναι $2,7-3,5\text{gr/cm}^3$.

Η σκληρότητά του είναι ένα μέγεθος αντιστρόφως ανάλογο της περιεκτικότητάς του σε νερό δηλαδή όσο μεγαλύτερη σκληρότητα έχει ο βωξίτης τόσο μικρότερη περιεκτικότητα θα έχει σε νερό. Αυτό όμως δεν είναι γενικός κανόνας γιατί συναντάμε βωξίτες ίδιας περιεκτικότητας αλλά με διαφορετική σκληρότητα. Συνήθως ο βωξίτης έχει σκληρότητα που βρίσκεται μεταξύ 1 και 3 της κλίμακας Mohr και σε σπάνιες περιπτώσεις συναντάμε και βωξίτες που φτάνουν στο νούμερο 7 της κλίμακας Mohr (αρκετά σκληροί).

Για να είναι ένα μέταλλευμα καθαρό πρέπει το σημείο τήξης του να είναι $1880-2050^\circ\text{C}$. Συνεπώς καταλαβαίνουμε ότι το σημείο τήξης ενός μεταλλεύματος εξαρτάται από τυχόν προσμείξεις του και από την περιεκτικότητά του σε οξείδια του σιδήρου.

Όσον αφορά στα χαρακτηριστικά του το χρώμα του ποικίλει ανάλογα με τις διαφορετικές περιεκτικότητες των ορυκτών και μπορεί να είναι κόκκινο, κίτρινο ή γκριζο, για παράδειγμα ο κοκκινωπός βωξίτης περιέχει περισσότερο αιματίτη, ο κιτρινωπός περισσότερο γκαιτίτη και ο γκριζός έχει μικρή περιεκτικότητα σε οξείδια του σιδήρου. Συνεπώς όσο μεγαλύτερη περιεκτικότητα έχει ένας βωξίτης σε σίδηρο τόσο πιο καστανός ή ερυθρωπός θα είναι, χωρίς αυτό να αποτελεί κανόνα διότι υπάρχουν και ερυθρωποί βωξίτες με χαμηλά ποσοστά σε σίδηρο. Σε αυτή την περίπτωση το χρώμα οφείλεται στο οξείδιο του σιδήρου το οποίο δεν διεισδύει στην μάζα του μεταλλεύματος. Από άποψη ποιότητας οι ανοιχτόχρωμοι βωξίτες είναι καλύτεροι ποιοτικά (κιτρινωποί, λευκοί, γκριζοί), αυτοί οι βωξίτες έχουν αυξημένα τα ποσοστά αργίλου ($>80\%$) και απουσία των οξειδίων του σιδήρου.

Άλλη μια ιδιότητα του βωξίτη είναι η αντοχή του στην θερμότητα και γι' αυτόν τον λόγο μας δίνει πυρίμαχα υλικά. Όταν όμως η υψηλή θερμοκρασία φτάσει το σημείο τήξης του τότε η μορφή του, λόγω της μετατροπής των οξειδίων του αργιλίου σε κορούνδιο, αλλάζει και γίνεται κρυσταλλική και μάλιστα παρουσιάζει υψηλή σκληρότητα. Αυτή η μορφή λόγω της ιδιαίτερα υψηλής σκληρότητας μας δίνει την ιδιότητα της λείανσης.



Σημαντική είναι επίσης η διαλυτότητά του σε καυστικό νάτριο NaOH γιατί παίζει σπουδαίο ρόλο στην παραγωγή αλουμίνας .

1.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΩΞΙΤΗ

Οι χρήσεις του βωξίτη είναι:

- Στην χαλυβουργία και συγκεκριμένα για την βελτίωση των υδραυλικών ιδιοτήτων της κοκκοποιημένης σκωρίας στην παραγωγή σιδήρου.

- Ως συστατικό στην παραγωγή τσιμέντων τύπου Portland γιατί είναι μια πλούσια πηγή οξειδίου του αργίλου (Al_2O_3) και ρυθμίζει έτσι την τροφοδοσία για την παραγωγή clinker.

- Στην παραγωγή ορυκτών ινών, διότι γνωρίζουμε ότι όταν οι ορυκτές ίνες έχουν μεγάλες ποσότητες αλουμίνας τότε θα έχουν καλύτερη βιοδιαλυτότητα και βελτιωμένες πυρίμαχες ιδιότητες.

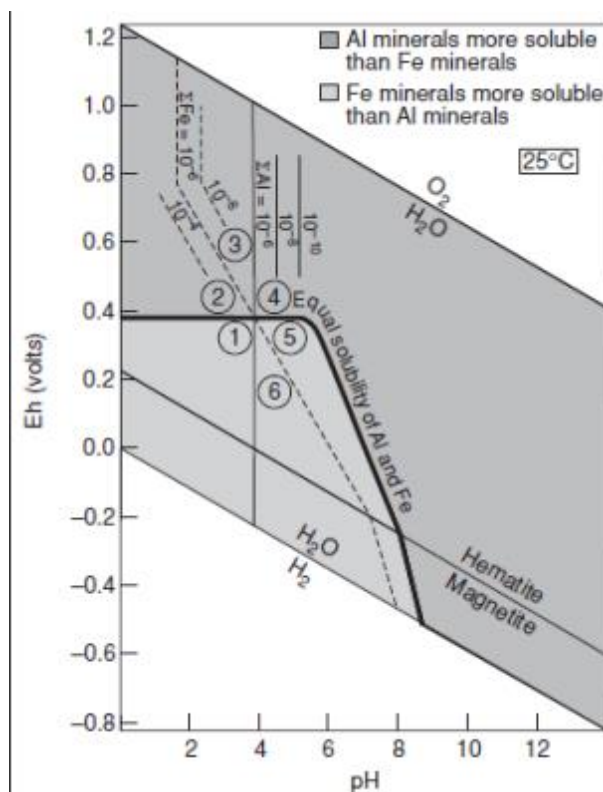
- Στην παραγωγή αλουμινούχων τσιμέντων
- Σε λιπάσματα
- Στην παραγωγή γαιών διηθήσεων
- Στους καταλύτες υδρόλυσης πετρελαίου

1.2.1 ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥΝ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΩΞΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

➤ Η λιθολογία του υποβάθρου. Η περιεκτικότητα που έχει το μητρικό μας πέτρωμα αρχικά σε Al δεν φαίνεται να επηρεάζει την δημιουργία βωξίτη. Ο

εμπλουτισμός σε Al εξαρτάται από τον βαθμό αποσάθρωσης και από την αρχική αναλογία Al/Si. Σημαντικό ρόλο στην δημιουργία βωξιτών παίζει η συγκέντρωση σε Fe καθώς οι συγκεντρώσεις του Fe πρέπει να είναι χαμηλές ώστε να δημιουργηθεί βωξιτικό προφίλ, αντίθετα υψηλές συγκεντρώσεις Fe ευνοούν την δημιουργία σιδηρούχων λατεριτικών οριζόντων. Γενικότερα οι λατεριτικοί βωξίτες προέρχονται από πετρώματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε χαλαζία και μόλις το 3% από πετρώματα με χαλαζία σε υψηλή περιεκτικότητα.

➤ Η αλληλεπίδραση του Eh και του pH. Η σχετικά υψηλή κινητικότητα του Si σε σχέση με το Al βοηθά τον εμπλουτισμό του Al στα ανώτερα τμήματα του λατερίτη. Ακόμη μια διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσουμε για την δημιουργία βωξιτών είναι ο διαχωρισμός του Al και του Fe καθώς ο Fe έχει τη τάση να μολύνει το μέταλλευμα (Robb, 2005 and references therein). Σύμφωνα με τον Norton (1973) η αλληλεπίδραση του Eh και του pH είναι πολύ σημαντική για τον σχηματισμό υψηλής ποιότητας βωξιτικών κοιτασμάτων. Τα βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου του Norton φαίνονται στην Εικόνα 2 (Robb, 2005 and references therein). Σύμφωνα με το σχήμα που θα δούμε παρακάτω όπου έχουμε την γραφική απεικόνιση των καμπυλών διαλυτότητας του Fe και του Al, επιτρέπει τον σχεδιασμό μιας καμπύλης ισοδιαλυτότητας, όπου το Al και ο Fe είναι εξίσου διαλυτά.



Εικ.2 Διάγραμμα Eh–pH, που παρουσιάζει τις συνθήκες που σχετίζονται με τον σχηματισμό λατεριτών και βωξιτικού μεταλλεύματος (κατά Norton 1973). Πηγή: Robb, 2005.

Στα πεδία 1 και 2 έχουμε την απομάκρυνση του Fe και του Al, άρα δεν οδηγεί σε δημιουργία λατερίτη.

Στα πεδία 3 και 4 έχουμε περιορισμένη διαλυτότητα σε Fe και σε Al, συνεπώς θα έχω βωξίτη ή λατερίτη μόνο αν το μητρικό πέτρωμα έχει υψηλή περιεκτικότητα σε Fe ή Al.

Στο πεδίο 3 δεν μπορούμε να έχουμε βωξίτες λόγω την επιλεκτικής απομάκρυνσης Al από το έδαφος.

Στο πεδίο 5 θα έχω λατερίτες λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων των υπογείων νερών σε Fe απ' ότι σε Al.

Τέλος στο πεδίο 6 έχουμε τις καλύτερες συνθήκες για τον σχηματισμό βωξίτη διότι τα υπόγεια νερά θα απομακρύνουν επιλεκτικά τον Fe ενώ τα προϊόντα υδρόλυσης Al είναι σταθερά (pH μεταξύ 5-7).

- Η γεωμορφολογία.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό των λατεριτικών βωξιτών συναντάται στα σημερινά ανώτερα τμήματα των οριζόντων οι οποίοι αποτελούν αρχαίες μεγάλης κλίμακας επιφάνειες ισοπέδωσης. Οι λατεριτικοί βωξίτες είναι δηλαδή φλοιοί αποσάθρωσης. Οι περιεκτικότητες του βωξίτη σχετίζονται άμεσα και ελέγχονται από την γεωμορφολογία π.χ. τα βωξιτικά κοιτάσματα να απαντούν σε θέσεις με καλύτερη αποστράγγιση (όπως είναι οι ανώτερες πλαγιές και κάποιες κορυφές) μέσα σε ένα λατεριτικό τοπίο με περισσότερο σιδηρούχες κρούστες (Freyssinet et al., 2005).
- το κλίμα και οι παλαιοκλιματικές συνθήκες. Σύμφωνα με τους Bárdossy and Aleva (1990), οι βέλτιστες συνθήκες βωξιτοποίησης σήμερα αντιστοιχούν σε υγρά τροπικά κλίματα που έχουν μέση ετήσια θερμοκρασία 22°C, με ετήσια βροχόπτωση >1200mm κατανεμημένη σε 9 έως 11 βροχερούς μήνες, εάν η ξηρή περίοδος είναι

μεγαλύτερη τότε δεν μπορούν να σχηματισθούν ορθοβωξίτες αλλά μόνο αργιλοσιδηρούχες κρούστες (Freyssinet et al., 2005 and references therein).

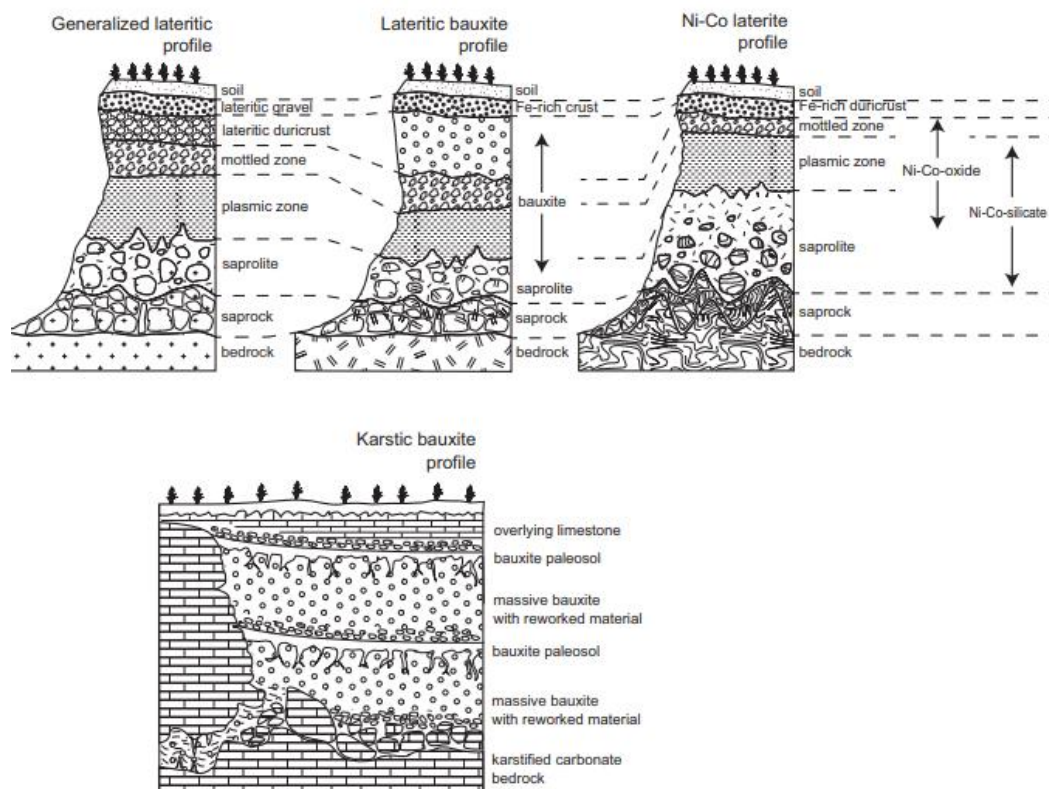
2.ΛΑΤΕΡΙΤΕΣ

Οι λατερίτες είναι ρηγόλιθοι που αναπτύχθηκαν σε τροπικές έως υποτροπικές συνθήκες και φιλοξενούν βασικούς τύπους κοιτασμάτων, κυρίως βωξίτες (κυριότερες πηγές Al, που προέρχονται από τη διάβρωση αργιλοπυριτικών πετρωμάτων) και λατερίτες Ni-Co (προέρχεται από υπερμαφικά πετρώματα). Έρευνα στη δυτική περιοχή της Τηθύος, όπου βωξίτες και λατερίτες Ni-Co αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού και του Καινοζωικού, πιθανώς κορυφώνοντας το θερμικό μέγιστο στο Παλαιόκαινου-Ηώκαινου όταν η γεωλογία, η παλαιογεωγραφία και το κλίμα ήταν ιδανικά για τις καιρικές συνθήκες ευνοϊκών λιθολογιών.

Οι λατερίτες είναι ένας τύπος ρηγόλιθου τελικού μέλους, που αναπτύχθηκε σε υγρές τροπικές έως υποτροπικές συνθήκες. Σύγχρονοι λατερίτες συνεχίζουν να σχηματίζονται σε κλιματικά ευνοϊκές ζώνες του κόσμου που βρίσκονται ευρέως μεταξύ των τροπικών, που περιλαμβάνουν σχεδόν το 25% της ηπειρωτικής επιφάνειας της Γης. Αυτό το σχήμα αυξάνεται όταν εξετάζονται περιοχές που έχουν βιώσει τέτοιες συνθήκες στο γεωλογικό παρελθόν (González-Álvarez et al.,

2016). Στην περίπτωση των λατεριτών γνωστών στο δυτικό βασίλειο της Τηθύος, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας βρίσκεται πλέον σε εύκρατο κλίμα εποχιακή κλιματική ζώνη, τα λατεριτικά προφίλ περιέχουν σημαντικά κοιτάσματα ορυκτών που σχηματίστηκαν ως αποτέλεσμα πολύ παλαιότερων περιόδων (π.χ. Bárdossy et al., 1977, Herrington et al., 2007; Thorne et al., 2012b). Τυπικοί λατεριτικοί ρηγόλιθοι συνήθως περιέχουν τους ακόλουθους διακριτούς ορίζοντες που παρατίθενται από κάτω προς τα πάνω, αντίστοιχα, που αναπτύχθηκαν στον πρωταρχικό πρωτόλιθο (Εικ.3). Αυτή η αλληλουχία αποσάθρωσης καλύπτεται συνήθως από χώμα ή χαλίκια (Eggleton, 2001). Τα ορυκτά κοιτάσματα που βρίσκονται στους λατερίτες σχηματίζονται ως

συνδυασμός των διεργασιών χημικής διάβρωσης της διάλυσης ομοίων και ασυμβίβαστων ορυκτών, που ακολουθείται από επανακαθίζηση. Η κύρια διαδικασία σχηματισμού μεταλλεύματος είναι η υπολειμματική συγκέντρωση λόγω τη διάλυση και απομάκρυνση των διαλυτών συστατικών, ως εκ τούτου συσσωρεύοντας λιγότερο διαλυτά στοιχεία που μπορεί να είναι συνδεδεμένα ανθεκτικά ορυκτά ή κλειδωμένα σε νεοσχηματισμένες αδιάλυτες φάσεις. Η μερική κινητοποίηση, η επανακαθίζηση και η αναβάθμιση είναι επίσης σημαντικές, ιδιαίτερα στην περίπτωση των Ni and Co. Η χημική διάβρωση των πετρωμάτων ακολουθεί γενικά την Bowen σειρά αντιδράσεων, όπου η σχετική αντίσταση του ορυκτού στη χημική διάβρωση είναι σε μεγάλο βαθμό αντιστρόφως ανάλογη με τη θερμοκρασία του αρχικού σχηματισμού. Οξείδια και υδροξείδια, οι συνθέσεις των οποίων προσδιορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τον πρωτόλιθο. Τα κύρια κοιτάσματα λατεριτικού μεταλλεύματος είναι οι βωξίτες, Λατερίτες Ni-Co, λατεριτικό σιδηρομετάλλευμα και λατεριτικό και σαπρολιθικό Au, Nb, φωσφορικά, REE και δευτερεύοντα PGE και U.



Εικ.3 Σχηματικές τομές λατεριτικών προφίλ αποσάθρωσης (επάνω).

Λατερίτης, βωξίτης και λατερίτης Ni-Co (κάτω). Καρστικός βωξίτης (based on Freyssinet et al., 2005; Retallack, 2010).

2.1 ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΛΑΤΕΡΙΤΗ

Τα υλικά του λατερίτη περιλαμβάνουν μια μεγάλη διαδοχή κοκκινωπών, τροπικά διαβρωμένων και αποσυντεθειμένων προϊόντων που ξεκινούν με φρέσκο βράχο και τελειώνουν με υλικά πεδογένεσης πλούσια σε οξείδια ενός στοιχείου όπου η αναλογία μεταξύ των ατόμων αυτού του στοιχείου και του αριθμού των ατόμων του οξυγόνου είναι 2:3.

Προσδιορισμός των διαφόρων ποιοτήτων τέτοιων υλικών για μηχανικούς σκοπούς είναι ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζει επανειλημμένα ο μηχανικός που ασχολείται με το σχεδιασμό και κατασκευή κατασκευών πάνω ή με υλικά λατερίτη. Ο όρος "λατεριτικά υλικά" χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλα τα κοκκινωπά υπολειμματικά και μη υπολειμματικά υλικά που προέρχονται από τροπικά καιρικά φαινόμενα, τα οποία σχηματίζουν γενετικά μια αλυσίδα υλικών που προέρχονται από αποσυντιθέμενα πετρώματα, μέσω αργίλων μέχρι τα πετρώματα σκυροδέτησης. Ένας τέτοιος ορισμός θα περιλαμβάνει τέσσερις από τις μεγάλες ομάδες εδάφους που ορίζονται από τον Thorp & Smith (1949):

- (1) τα καστανοκόκκινα λατεριτικά εδάφη,
- (2) κιτρινωπό-καφέ λατεριτικά εδάφη,
- (3) λατεριτικά εδάφη, και
- (4) λατεριτικά εδάφη υπόγειων υδάτων.

Τα πρώτα τρία είναι εδάφη ζωνών δασικών θερμών και τροπικών περιοχών με καλά ανεπτυγμένα προφίλ στα οποία εκφράζονται η κυρίαρχη επιρροή του κλίματος και της βλάστησης. Τα λατεριτικά εδάφη υπόγειων υδάτων είναι ενδοζωικά εδάφη και το προφίλ δείχνει τις επιρροές της ατελούς έως κακής αποστράγγισης και της μεγάλης ηλικίας διαδικασίας ανάπτυξης του εδάφους.

Επομένως, ο όρος "λατεριτικά υλικά" δεν περιέχει καμία χημική ουσία, υφές ή μορφολογικές επιπτώσεις ή σκληρυντικές ιδιότητες των λατεριτικών υλικών

βασίζονται όλες σε διακρίσεις που είναι χρήσιμες για μηχανικούς σκοπούς σχετικά με τις διαφορές σε σημαντικά γεωτεχνικά χαρακτηριστικά.

2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΓΕΝΕΣΗΣ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Η διαδικασία της διάβρωσης ξεκινά με την ανάπτυξη ρωγμών που προκύπτουν από μια μακρά διαδοχή θέρμανσης από τον ήλιο και ψύξης από βροχή ή κρύο θερμοκρασία νύχτας. Το πέτρωμα με ανοιχτή ένωση κοντά στην επιφάνεια λειτουργεί ως συλλέκτης, έτσι δημιουργούνται κανάλια για το νερό απορροής που διεισδύει κατά μήκος των σπασμένων επιπέδων-ρωγμών που

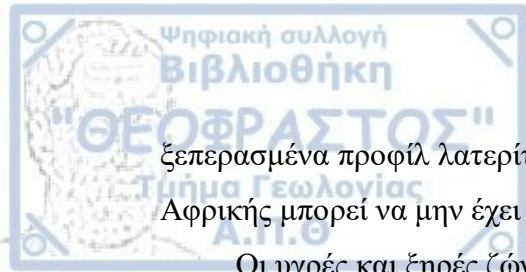
αρχικά χρωματίζονται με δευτερογενή ορυκτά που σχηματίζονται από τη διάσπαση των λιγότερο σταθερών μητρικών ορυκτών. Οι καιρικές συνθήκες επιτίθενται αργά στον βράχο που περιέχεται από τις αρθρώσεις και τις απομονώνει σε μπλοκ από φρέσκα υλικά μέσα σε ένα κάλυμμα αποσυντιθέμενου βράχου.

Περαιτέρω επίθεση δημιουργεί σφαιροειδείς ογκολίθους που περιβάλλονται από συντρίμια μέχρι την ολική αποσύνθεση οποία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κοκκινωπού υπολειμματικού εδάφους. Σε αυτό το στάδιο η υφή του μητρικού βράχου μπορεί να διατηρηθεί ακόμη. Σε μια μορφή διάβρωσης του λατερίτη που παρατηρήθηκε στη Δυτική Αφρική (Hamilton, 1964) μικρή συγκέντρωση

και η διεύρυνση των στρογγυλών εγκλεισμάτων σιδήρου εμφανίζονται ως το επόμενο στάδιο. Μετά έρχεται η συνάντηση των στρογγυλών μπαλωμάτων, η συγκόλληση τους μαζί με τον κολλοειδή σίδηρο, που γεμίζουν τις γωνιακές κοιλότητες. Όταν οι κοιλότητες γεμίσουν πλήρως, τα κολλοειδή αρχίζουν να υπεραναπτύσσονται, σχηματίζοντας σωματίδια.

Η αφυδάτωση και η αποξήρανση μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό σκληρής λεκάνης ή σκληρού θώρακα. Έτσι ο σκληρός θώρακας διαμορφώνεται ως τελικό προϊόν το οποίο εξαρτάται ιδιαίτερα από τη φύση των καιρικών συνθηκών και την φύση των διαθέσιμων οξειδίων (Maignien, 1966).

Σε ορισμένες τοποθεσίες σκληρό κάλυμμα μπορεί να μην σχηματιστεί καθόλου, ενώ σε άλλες μπορεί να βρεθεί ακόμη και σε νεαρά προφίλ. Για παράδειγμα, τα βαθιά



ξεπερασμένα προφίλ λατερίτη στις συνεχώς υγρές, πυκνές δασικές ζώνες της Δυτικής Αφρικής μπορεί να μην έχει ποτέ το σκληρό πανί στο προφίλ.

Οι υγρές και ξηρές ζώνες της σαβάνας έχουν πάντα σκληρό κάλυμμα (cuirasses) που καλύπτουν παλιά απομεινάρια πεδιάδων και κορυφές λόφων (Maignein, 1966; Ahn, 1970).

2.2.1 Χημικές και ορυκτολογικές αλλαγές

Η χημεία και η ορυκτολογία των τροπικών καιρικών συνθηκών και η μετατόπιση όπως αναφέρθηκε από διάφορους ερευνητές (π.χ. Harrison, 1933· Sherman, 1952· Mohr and Van Baren, 1954; Hamilton, 1964). Το κύριο συμπέρασμα που εξήχθη για το θέμα είναι ότι γενικά τα πρωτογενή ορυκτά είναι χημικά και ορυκτολογικά

σύμμαχοι τα οποία μετατρέπονται ή/και τροποποιούνται σε δευτερεύοντα ορυκτά σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες που καθορίζονται από τους εδαφολογικούς παράγοντες και από πεδογονικές διεργασίες (Ο σχηματισμός εδάφους, γνωστός και ως παιδογένεση, είναι η διαδικασία γένεσης του εδάφους όπως ρυθμίζεται από τις επιπτώσεις του τόπου, του περιβάλλοντος και της ιστορίας. Οι βιογεωχημικές διεργασίες δρουν τόσο για τη δημιουργία όσο και για την καταστροφή της τάξης στο εσωτερικό του εδάφους). Αρχικά τα πρωτογενή ορυκτά μετατρέπονται σε αργιλούχα ορυκτά (ιδιαίτερα της ομάδας του καολινίτη) και στη συνέχεια, με τελική απώλεια όλα τα δυνητικά συστατικά (κυρίως συνδυασμένο πυρίτιο και βάσεις) τα υπολείμματα οξειδίων και υδροξειδίων των συστατικών του λατερίτη (Al, Fe, Ti και Mn) κρυσταλλώνεται έξω.

Η ένταση της χημικής διάβρωσης ελέγχεται κυρίως από τη ποσότητα, την ένταση και την κατανομή της ετήσιας βροχόπτωσης σε βάθος χρόνου όπου τα πρωτογενή ορυκτά έχουν εκτεθεί στις καιρικές συνθήκες (Sherman, 1949; 1950). Έτσι, η χημική αλλοίωση του πρωτογενούς ορυκτού υπό ευρέως ποικίλους βαθμούς έντασης των καιρικών συνθηκών θα παράγουν διαφορετικούς τύπους αργιλικών ορυκτών που διαφέρουν πολύ ως προς τη φυσικές και χημικές ιδιότητες τους.

Οι πολύ μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες που συναντώνται στις τροπικές περιοχές έχουν παραγάγει διαβρωμένα υλικά που αντανακλούν την επίδραση της έντασης και την ηλικία των καιρικών διαδικασιών.

Οι συνθήκες κυμαίνονται από εκείνες που αποτελούνται από πρωτογενή ορυκτά έως εκείνες που αποτελούνται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τα ελεύθερα οξείδια του σιδήρου, αλουμίνιο και τιτάνιο.

Μερικά από τα πιο κοινά μη ξεπερασμένα πρωτογενή ορυκτά που εντοπίστηκαν στη Δύση είναι στα εδάφη λατερίτη της Αφρικής περιλαμβάνουν χαλαζία, γρανάτη, σταυρόλιθο, άστριο (μικροκλινή), ρουτίλιο, ζirkόνιο (Hamilton, 1955). Αυτά τα πρωτογενή ορυκτά εμφανίζονται να είναι σταθερά κάτω από καιρικές συνθήκες λατερίτη.

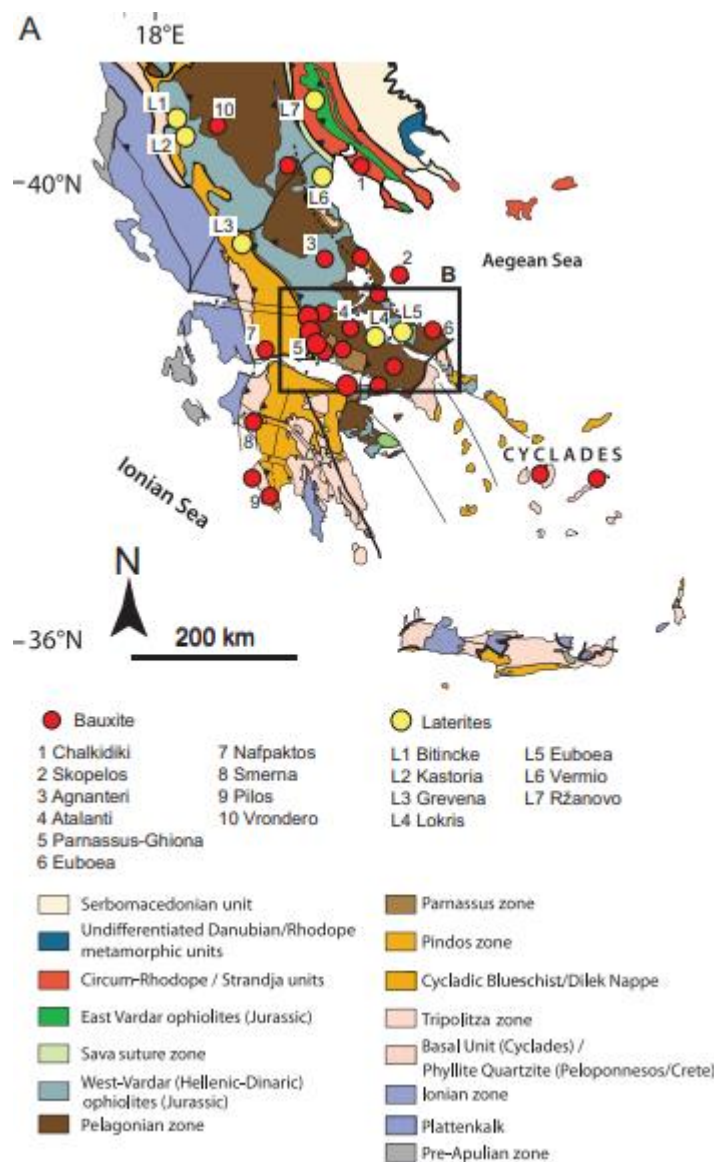
3. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΩΞΙΤΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.

Οι βωξίτες στον ελλαδικό χώρο (Al/Fe), OH_2 , είναι προϊόντα λατεριτικής αποσάθρωσης και ανήκουν στον συνηθισμένο μεσογειακό τύπο σιδηρούχων βωξιτών. Οι βωξίτες εμφανίζονται σε αρκετές περιοχές στην Ελλάδα και στην πλειοψηφία τους αποτελούνται από κοιτάσματα καρστικού τύπου που σχηματίστηκαν κυρίως κατά την διάρκεια τεσσάρων διαφορετικών γεωλογικών περιόδων και απαντούν εντός ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

Ορισμένα μεσογειακά κοιτάσματα βωξίτη στο καρστ, θεωρούνται αλλόχθονα που προέρχονται από γειτονικά πυριτικά πετρώματα, αποκαλύπτουν τα ακόλουθα κοινά χαρακτηριστικά του από ποτάμια μεταφορά και καθίζηση: (1) Η περιεκτικότητα σε SiO_2 αυξάνει προς την κατεύθυνση της μεταφοράς· (2) τα ιχνοστοιχεία υποδεικνύουν την περιοχή προέλευσης· (3) ο βωξίτης αποτέθηκε σε κοιλάματα μιας ελαφρώς καρστικοποιημένης παράκτιας πεδιάδας σε λιμνοθάλασσα· (4) το καρστικό ανάγλυφο αποκαλύφθηκε αφού ο βωξίτης καλύφθηκε από ιζήματα. και (5) το βάθος των καρστικών εγκοίλων ελέγχεται από την πρώην στάθμη των υπόγειων υδάτων. Επομένως, το πάχος των μεταλλευμάτων αυξάνεται με την απόσταση από την πρώην ακτογραμμή. Αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν τη στρατηγική της εξερεύνησης.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βωξιτών στον ελλαδικό χώρο συναντώνται στις περιοχές : Παρνασσού-Γκιώνας, στο όρος Οίτη, στην Ελευσίνα, στον Ελικώνα, στην Εύβοια , στην Αμοργό, στην Κρήνη Χαλκιδικής κ.α. Συμπέρασμα διαφόρων γεωλογικών κοιτασματολογικών και τεκτονικών στοιχείων είναι ότι οι βωξίτες των παραπάνω οριζόντων βρίσκονται σε μεγάλα αποθέματα και με πολύ καλή ποιότητα.

Κοιτάσματα και εμφανίσεις βωξιτών υπάρχουν επίσης και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας (π.χ. Βροντερό Πρεσπών, όρος Κατσίκια Χαλκιδικής, βόρειο τμήμα της Χίου (Παπασταύρου 1986, Παπανικολάου, 1986, Valetton, et al., 1987, Laskou and Economou, 1989, 1991, Laskou, 1991, 2003, Laskou and Economou-Eliopoulos, 2007, Κοντού, 2009, Laskou et al, 2010, Laskou and Economou- Eliopoulos, 2013).



Εικ.5 Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας με σημαντικές εμφανίσεις βωξίτη με κόκκινο χρώμα (modified after van Hinsbergen and Schmid, 2012).

District	Location	Deposit type (Bárdossy, 1982)	Form of the deposit	Age of the unconformity marked by the bauxite deposit
Parnassus-Ghiona	Several deposits around Amfissa, Delfi, Distomon and Itea (lat 38°26' N, long 22°24' E)	Karst bauxite	1- to 10-m-thick layers hosted in carbonate rocks	Three stratigraphic gaps: B1, Middle-Late Jurassic; B2, Kimmeridgian-Tithonian; B3, Cenomanian-Turonian (economically most important)
Atalanti	Iti and Kallidromon Mts. (lat 38°38' N, long 22°59' E)	Karst bauxite	Lenses and layers	B1 stratigraphic gap, Middle-Late Jurassic
Central Thessaly	Agnanteri area (lat 39°25' N, long 22°37' E)	Karst bauxite	Lenses and layers	Late Cretaceous
Chalkidiki peninsula	Katsika Mt. (lat 40°22' N, long 23°10' E)	Karst bauxite	Lenses and layers	Early-Late Cretaceous
Western Greece	Pilos (lat 36°54' N, long 21°42' E), Smerna (lat 37°32' N, long 21°40' E), Nafpaktos (lat 38°23' N, long 21°50' E)	Karst bauxite	Lenses and layers	Early (?)–late Eocene
Northern Greece	Vrondero (Florina; lat 40°47' N, long 21°24' E)	Karst bauxite	Layers	Tertiary-Quaternary

Εικ.6.Κοιτάσματα βωξίτη στην Ελλάδα (Herrington et al).

3.1.ΒΩΞΙΤΕΣ ΠΑΡΝΑΣΣΟΥ-ΓΚΙΩΝΑΣ

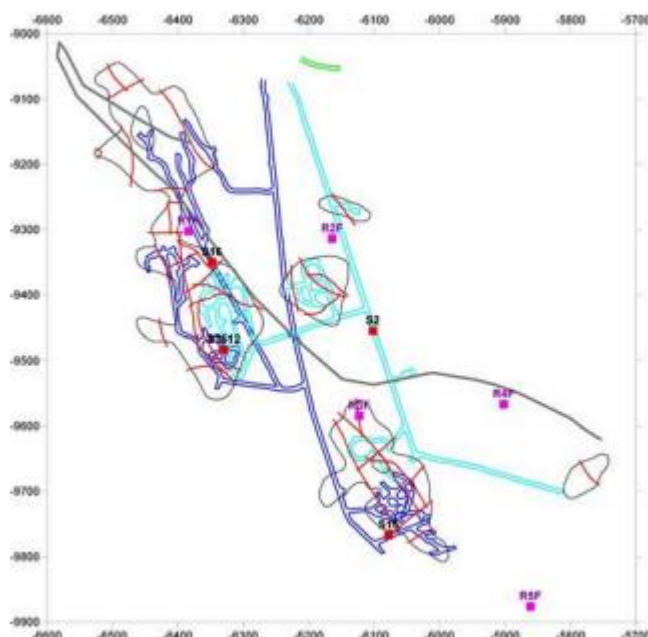
Το ορυχείο Παρνασσού είναι από τις πιο σημαντικές πηγές κοιτασμάτων βωξίτη στην Ελλάδα. Τα ορυχεία στην περιοχή ιδρύθηκαν το 1933 για την εκμετάλλευση του βωξίτη στην περιοχή του Παρνασσού της Γκιώνας και της Οίτης. Ο βωξίτης του Παρνασσού εξορύσσεται στην ορεινή περιοχή του Παρνασσού και της Γκιώνας σε υψόμετρο 800 μ.

Το μετάλλευμα εξάγεται με επιφανειακή και υπόγεια εξόρυξη με τη μέθοδο του δωματίου και των ορθών βαθμίδων. Το δωμάτιο και η εξόρυξη πυλώνων

περιλαμβάνει την δημιουργία ανοιγμάτων που μοιάζουν με σήραγγα για τη διαίρεση της ραφής του μεταλλεύματος σε ορθογώνια ή τετράγωνα μπλοκ. Αυτά τα μπλοκ μεταλλεύματος ή πυλώνες έχουν μέγεθος ώστε να παρέχουν στήριξη των επικαλυπτόμενων στρωμάτων, ενώ τα ανοίγματα αναφέρονται ως δωμάτια ή καταχωρήσεις. Πολύ συχνά η εξόρυξη συνοδεύεται από την εμφάνιση πολυάριθμων επαγόμενων σεισμικών γεγονότων. Η ύπαρξη τέτοιων σεισμικών γεγονότων είναι γνωστή σε όλο τον κόσμο και έχει ερευνηθεί από πολλούς ερευνητές [Kijko, 1985; Gibowicz, 1990]. Αυτός ο τύπος σεισμικής δραστηριότητας που παρατηρείται στην περιοχή ενός ορυχείου εναλλάσσεται μεταξύ των περιόδων έντονης εκμετάλλευσης και

σε πιο ήρεμες περιόδους όταν η εξόρυξη μεταλλεύματος είναι λιγότερη (Zhong et al, 1997). Αυτοί οι ρηχοί σεισμοί έχουν απλές κυματομορφές, καλά καθορισμένα επιφανειακά κύματα, υψηλές συχνότητες με μεγάλες περιόδους και αργή μείωση του πλάτους τους. Τα γεγονότα αυτά συμβαίνουν, όπως αναφέρθηκε, λόγω της εξόρυξης του κοιτάσματος και των τεχνητών εκρήξεων στις περιοχές όπου γίνεται η πιο έντονη εκμετάλλευση. Η εμφάνιση σεισμικών γεγονότων που προκαλούνται από ναρκοθέτηση μπορεί να είναι πολλών διαφορετικών τρόπων, όπως ολίσθηση σφάλματος, έκρηξη βράχου, έκρηξη πυλώνων και πρόσκρουση (Hasegawa et al, 1989). Σφάλμα μπορεί επίσης να εμφανιστεί κοντά στην όψη όπου εξορύσσεται [Cook, 1963; McGarr, 1971] και σε μέρη στο ορυχείο όπου το κλείσιμο όγκου συμβαίνει με υψηλό ρυθμό, και είτε πάνω είτε κάτω από το ορυχείο κατά μήκος εξασθενημένων ρηγμάτων [Hinzen, 1982; Smith et al., 1974].

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι ο προσδιορισμός των πηγών των μικροδονήσεων που παρατηρήθηκαν στην περιοχή της Κάνιανης, ορυχεία στον Παρνασσό, που εκμεταλλεύεται η S&B Mining Company. Ο παραπάνω προσδιορισμός περιλάμβανε την εδαφική θέση των πηγών αυτών των ασυνήθιστων δονήσεων και των εστιακών μηχανισμών τους (εάν είναι τεκτονικής προέλευσης), προκειμένου να καθοριστεί το τοπικό πεδίο πίεσης που τις προκαλεί. Η περιγραφή αυτής της δραστηριότητας περιλάμβανε τα ακόλουθα στάδια: α) Ανάλυση των σημαντικών εγγραφών του υπάρχοντος οργάνου παρακολούθησης κραδασμών (φασματική ανάλυση, ανάλυση πόλωσης, βαθμονόμηση του μέσου διάδοσης από τεχνητές εκρήξεις), β) Εγκατάσταση ενός δικτύου πέντε σειсмоγράφων (επιφάνειας) και τριών επιταχυνσιογράφων (μέσα στο ορυχείο) μαζί με ένα υπάρχον όργανο παρακολούθησης κραδασμών, γ) Ανάλυση των εγγραφών, προσδιορισμός των πηγών, ορισμός εστιακού μηχανισμού σε περίπτωση συμβάντων τεκτονικής προέλευσης, βαθμονόμηση των οργάνων καταγραφής με τη χρήση τεχνητών εκρήξεων και δ) Προσδιορισμός του τοπικού πεδίου πίεσης από τα τοπικά γεγονότα και την επίκεντρή τους διανομή.



Εικ.7 Κατανομή των σειсмоγράφων (μωβ τετράγωνα) και των επιταχυνσιογράφων (κόκκινα τετράγωνα) που είναι εγκατεστημένοι στην Περιοχή «Τσακνή-Μάντρη». Με τη γκριζα γραμμή παρουσιάζεται ο δρόμος πρόσβασης στα ορυχεία, ενώ η κόκκινη γραμμή απεικονίζει τις κύριες παρατηρούμενες υπόγειες τεκτονικές ασυνέχειες στις περιοχές εκμετάλλευσης. (Ventouzi et al.2006)

3.1.1. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

Για την μελέτη της σεισμικής δραστηριότητας που παρατηρείται στην περιοχή εξόρυξης βωξίτη τοποθετήθηκαν πέντε ψηφιακοί σειсмоγράφοι, εκτός από αυτό το δίκτυο με τους πέντε σταθμούς τοποθετήθηκαν ακόμη τρεις επιταχυνσιογράφοι στο εσωτερικό μέρος του ορυχείου για να υπάρχει πιο αποτελεσματική μελέτη της περιοχής. Πρέπει να αναφερθεί ότι οι επιταχυνσιογράφοι ήταν ρυθμισμένοι στο υψηλότερο επίπεδο ευαισθησίας 3 (STA/LTA:2) για να καταγράφονται ακόμη και αδύναμες κινήσεις εδάφους που μερικές φορές μόλις ξεπερνούν το επίπεδο θορύβου από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές. Η κατανομή των σειсмоγράφων και των επιταχυνσιογράφων φαίνεται στο Σχήμα 3 παραπάνω.

Αυτό το δίκτυο ήταν σε συνεχή λειτουργία για περίοδο 9 μηνών (Μάιος 2005 έως Ιανουάριος 2006). Μέσα σε αυτή την περίοδο μελετήθηκαν λεπτομερώς όλα τα

διαθέσιμα δεδομένα. Οι κυματομορφές από τις εγγραφές εξετάστηκαν προσεκτικά προκειμένου να εντοπιστούν τα γεγονότα και οι σεισμικές **αφίξεις**.

Ηχογραφήσεις μικρής διάρκειας (2-3 δευτερόλεπτα) επέτρεψαν τη μελέτη της επικεντρικής κατανομής τους. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, μετά τη βαθμονόμηση των οργάνων, έγινε υπολογισμός των μεγεθών σεισμικής ροπής για όλους τους σεισμούς που καταγράφηκαν από το μικροσεισμικό δίκτυο. Το τυπικό λάθος στον προσδιορισμό του μέγεθος της ροπής ήταν κάτω από 0,2, το οποίο είναι σχετικά μικρό σε σύγκριση με το συνηθισμένο σφάλμα προσδιορισμού ($\sim 0,3$).

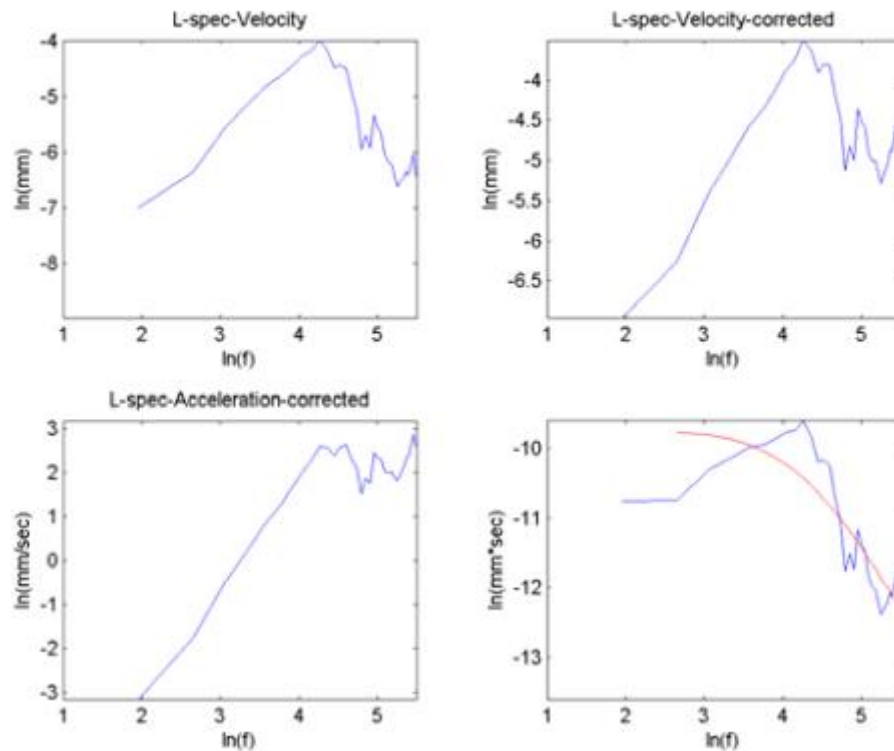
Τα καταγεγραμμένα μεγέθη ποικίλλουν μεταξύ $M=-2,0$ και $M=1,5$, που αντιστοιχεί στο ισχυρότερο συμβάν που έχει καταγραφεί (30 Οκτωβρίου 2005).

Μετά την έναρξη της λειτουργίας του ορυχείου (15 Ιουνίου) ήταν πολύ σημαντικό να ανακαλυφθεί εάν η λειτουργία του ορυχείου επηρέασε τη δημιουργία των τεκτονικών γεγονότων στην περιοχή και εάν αυτή η επιρροή εμφάνισε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (σταθερός ρυθμός ή σταδιακή μείωση της επαγόμενης δραστηριότητας) ή αποκαλύφθηκαν χαρακτηριστικά που θα μπορούσε πιθανώς να προκαλέσει αυξημένη (επιταχυνόμενη) δραστηριότητα, οδηγώντας στη δημιουργία ισχυρότερων γεγονότων. Είναι σαφές ότι μετά την έναρξη της λειτουργίας του ορυχείου εκεί, υπήρξε αύξηση 2,5-3 φορές του ρυθμού των τεκτονικών γεγονότων στην περιοχή του ορυχείου και ειδικότερα στην περιοχή όπου έγινε η κύρια εκμετάλλευση. Η δημιουργία αυτών των γεγονότων εμφανίζεται σε πυκνές ομάδες, που δεν συνδέονται άμεσα με τις εκρήξεις, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν αμέσως κραδασμοί μετά τις εκρήξεις. Η αύξηση του ρυθμού γέννησης των τεκτονικών γεγονότων και η χωρική κατανομή τους στην περιοχή εκμετάλλευσης, υποδηλώνει την άμεση σύνδεση της τεκτονικής δραστηριότητας που παρατηρείται στην περιοχή του ορυχείου και την εκμετάλλευση του ορυχείου. Στις 7 Ιουλίου στις 20:31 σημειώθηκε ισχυρό συμβάν μεγέθους σεισμικής ροπής $M_w=0,9$, έπειτα ακολούθησαν πολλοί μικροί «μετασεισμοί». Το ισχυρότερο εμφανίστηκε περίπου 11 δευτερόλεπτα αργότερα.

Το φάσμα παρουσιάζεται στο σχήμα 6 για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της κύριας πηγής (σεισμική ροπή, γωνία συχνότητα κ.λπ.).

Στο διάστημα 8 Ιουλίου-2 Σεπτεμβρίου η κατάσταση ήταν σταθερή και παρατηρήθηκε κάποια σταδιακή μείωση της δραστηριότητας, κάτι που δεν φαίνεται να σχετίζεται με αντίστοιχη μείωση της συχνότητας των εκρήξεων (ένταση

εκμετάλλευσης). Το γεγονός αυτό ήταν ένδειξη σταθεροποίησης ή και άμβλυνσης της κατάστασης «προσομοίωσης» με την έναρξη της λειτουργίας του ορυχείου. Η παραπάνω κατάσταση άλλαξε απότομα τον Σεπτέμβριο με την αύξηση του αριθμού των εκρήξεων κατά περίπου 170% (από ~0,7 εκρήξεις την ημέρα σε ~1,9 εκρήξεις ανά ημέρα). Αυτή η αύξηση είχε ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη έντονη αύξηση του αριθμού των τεκτονικών γεγονότων. Τα γεγονότα αποκαλύπτουν ότι αυτοί οι κραδασμοί σημειώθηκαν στον ίδιο χώρο (περιοχή S1.3) όπου έγινε η πιο έντονη εκμετάλλευση. Μετά από αυτή τη φάση, παρατηρείται μείωση του αριθμού των εκρήξεων, που αντιστοιχεί σε μείωση του ρυθμού εκμετάλλευσης σε περίπου 1,25 εκρήξεις την ημέρα, μέχρι το τέλος Νοεμβρίου 2005. Αυτό οδήγησε σε μια σταδιακή μείωση των επαγόμενων συμβάντων, (~1,75 συμβάντα ανά ημέρα ή λιγότερο), με κάποια αύξηση στο τέλος αυτών των 5 περιόδων, όταν ο αριθμός των εκρήξεων αυξήθηκε. Ως εκ τούτου, η αρχική εκτίμηση για ισχυρή συσχέτιση των επίπεδων εκμετάλλευσης και η επαγόμενη σεισμικότητα επαληθεύτηκαν, με τον ρυθμό δημιουργίας των τεκτονικών γεγονότων να είναι σχεδόν ανάλογος με την ένταση της εκμετάλλευσης, αν και δεν φαίνεται να προκύπτει αύξηση του ποσοστού της μικροσεισμικής δραστηριότητας.

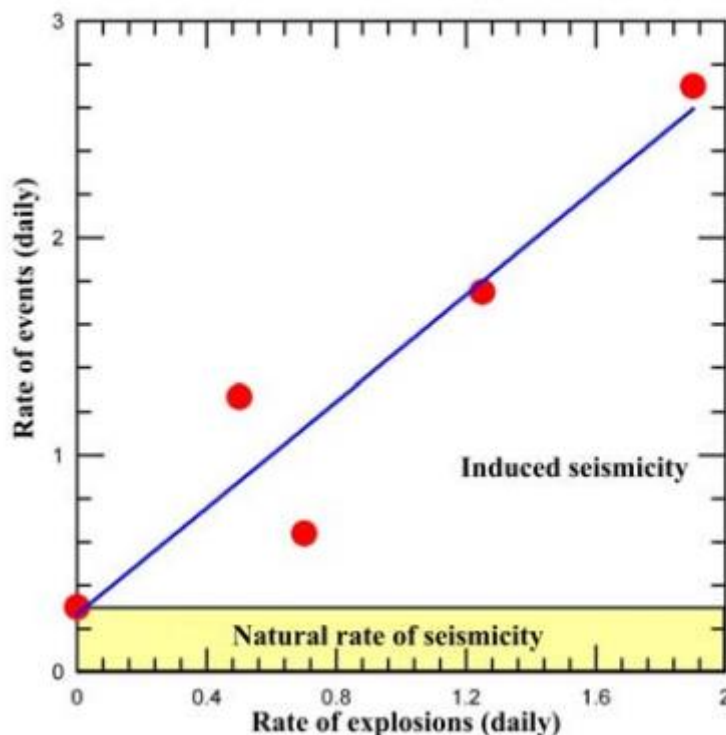


Εικ.8 (πάνω) Διαμήκη (L) φάσμα της εγγραφής στη θέση S2 από το σύστημα παρακολούθησης κραδασμών του .Τύπος Instantel Blastmate II του γεγονότος της 7ης Ιουλίου πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη διόρθωση για το ανελαστικό εξασθένηση (συντελεστής Q). (κάτω). Φάσμα επιτάχυνσης (αριστερά) και φάσμα μετατόπισης (δεξιά) μετά τη διόρθωση για την ανελαστική εξασθένηση. Για το φάσμα μετατόπισης η κόκκινη γραμμή σηματοδοτεί το θεωρητικό σημείο φάσμα πηγής, που αντιστοιχούν σε γεγονός μεγέθους σεισμικής ροπής $M_w=0.9$. (Ventouzi et al.2006)

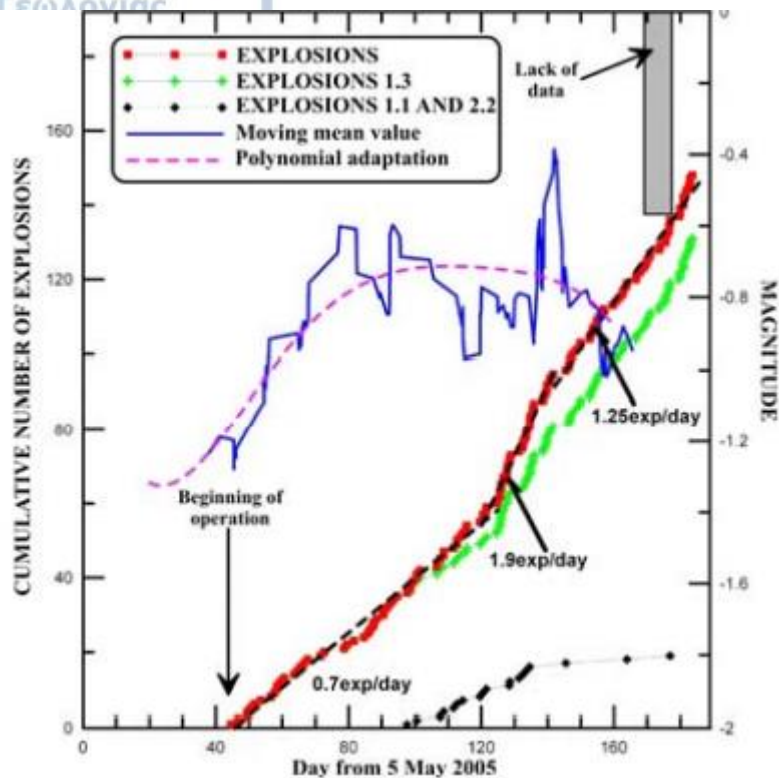
3.1.2 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, μπορεί να συναχθεί με ασφάλεια ότι η παρατηρούμενη σεισμικότητα είναι τοπικής κλίμακας και δεν σχετίζεται με τη γενική σεισμοτεκτονική δραστηριότητα της περιοχής του Παρνασσού. Αν και τα σφάλματα στον προσδιορισμό του βάθους είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα οριζόντια σφάλματα, τα οποία εντοπίζονται κοντά στο βάθος εκμετάλλευσης. Η παρατηρούμενη

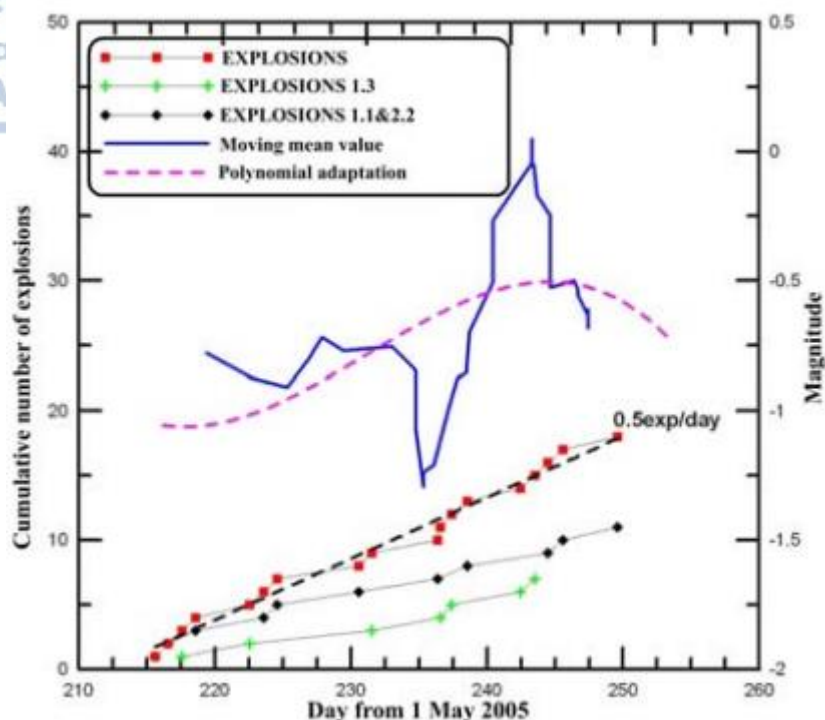
σεισμικότητα σχετίζεται άμεσα και επηρεάζεται από την εκμετάλλευση όπως αυτό αποκαλύφθηκε από: 1) έντονη αύξηση των επαγόμενων γεγονότων μετά την έναρξη της εκμετάλλευσης, 2) Η σχεδόν πλήρης συσχέτιση των μεταβολών της με το ποσοστό εκμετάλλευσης. Αυτό το γεγονός περιγράφεται ποσοτικά στο Σχήμα 11 όπου ο ημερήσιος ρυθμός των εκρήξεων συσχετίζεται με τον αντίστοιχο ρυθμό παραγωγής των τεκτονικών γεγονότων. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η έντονη εκμετάλλευση είχε ως αποτέλεσμα ιδιαίτερα σημαντική αύξηση των κραδασμών, με μικρή καθυστέρηση λίγων ημερών. Το μέγεθος των επαγόμενων γεγονότων δεν φαίνεται να έχει σαφή συσχέτιση με το ποσοστό εκμετάλλευσης, όπως φαίνεται στα σχήματα 12 και 13, όπου παρουσιάζεται επίσης το μέσο μέγεθος των σεισμών και το οποίο παραμένει σταθερό και ασύνδετο με το ποσοστό εκμετάλλευσης μετά την αρχική άνοδο (λόγω της έναρξης της εκμετάλλευσης).



Εικ.9 Ημερήσια διακύμανση του αριθμού των συμβάντων σε σχέση με τον ημερήσιο ρυθμό των εκρήξεων. Είναι ξεκάθαρη η σχεδόν γραμμική συσχέτιση με την αύξηση του ημερήσιου ρυθμού των σεισμών περίπου 1,2 για κάθε μονάδα αύξησης του ημερήσιου ρυθμού των εκρήξεων. (Ventouzi et al.2006)



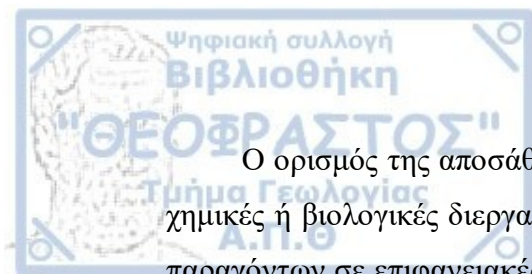
Εικ.10 Χρονική διακύμανση του μέσου μεγέθους των αεραγωγών (μπλε γραμμή και ροζ διακεκομμένη γραμμή) και του αθροιστικού αριθμού εκρήξεων (κόκκινα τετράγωνα) έως την 1η Νοεμβρίου ως συνάρτηση του χρόνου που παρουσιάζεται σε ημέρες μετά την 1η Μαΐου. Μια αρχική αύξηση του μεγέθους του επαγόμενου συμβάντος (από $\sim -1,3$ σε $\sim -0,8$) μετά την έναρξη του παρατηρείται εκμετάλλευση, ενώ ένα περισσότερο ή λιγότερο σταθερό μέσο μέγεθος παρατηρείται για την υπόλοιπη περίοδο υποδηλώνοντας ότι η ένταση της εκμετάλλευσης επηρεάζει τον αριθμό των γεγονότων αλλά όχι το μέσο μεγέθός τους. (Ventouzi et al.2006)



Εικ.11 Το ίδιο με το σχ. 12 για τη χρονική περίοδο 1 Νοεμβρίου-9 Ιανουαρίου. (Ventouzi et al.2006)

Αυτή η επαγόμενη σεισμικότητα φαίνεται να προκαλείται από ένα υπολειπόμενο πεδίο θλιπτικής τάσης, παρόμοιο με αυτό που προκάλεσε το συγκλινικό-αντικλινικό σύστημα όπου βρίσκονται οι βωξίτες (συμπίεση με κατεύθυνση ENE-WSW). Τα πιθανά χτυπήματα των προκαλούμενων ρήξεων είναι κατεύθυνσης BBD-NNA, σε άριστη συμφωνία με τις παρατηρούμενες κύριες τεκτονικές ασυνέχειες που έχουν χαρτογραφηθεί εντός του ορυχείου. Η τυπική δυναμική πτώση πίεσης των ισχυρότερων γεγονότων είναι της τάξης των 10 bar. Ως εκ τούτου, μπορεί να υποστηριχθεί ότι η εκφόρτωση της περιοχής S1.3 λόγω της εκμετάλλευσης οδηγεί στην ενεργοποίηση των υπάρχουσών αντίστροφων ρήξεων από το υπολειπόμενο πεδίο θλιπτικής τάσης του αντίκλινου, το οποίο για τοπικούς λόγους (τοπική ανισοτροπία πεδίου, ασυνέχεια διανομή κ.λπ.) εμφανίζονται μόνο στη συγκεκριμένη περιοχή.

4. ΑΠΟΣΨΘΡΩΣΗ



Ο ορισμός της αποσάθρωσης είναι η καταστροφή των πετρωμάτων με φυσικές, χημικές ή βιολογικές διεργασίες από την επίδραση των ατμοσφαιρικών και βιογενών παραγόντων σε επιφανειακές συνθήκες. Είναι ένα φαινόμενο το οποίο με την πάροδο του χρόνου συμβάλλει στην αλλαγή των χαρακτηριστικών ενός πετρώματος καθώς και στην αποσύνθεσή του. Τα προϊόντα της αποσάθρωσης κάποιες φορές μεταφέρονται με διαφόρους τρόπους (μηχανικούς ή χημικούς), ενώ κάποιες άλλες παραμένουν στο σημείο όπου πραγματοποιήθηκε η αποσάθρωση. Με βάση όλη αυτή την διαδικασία δημιουργούνται τα κοιτάσματα αποσάθρωσης. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αποσάθρωση είναι: οι έμβιοι οργανισμοί όπως τα φυτά, οι μικροοργανισμοί και οι ρίζες, οι ατμοσφαιρικές και κλιματολογικές συνθήκες όπως ο άνεμος, η υγρασία, η βροχή και ο παγετός και τέλος η παρουσία νερού διοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου που μπορούν να μουν μέσα στο πέτρωμα. Κατά την διάρκεια της χημικής αποσάθρωσης απελευθερώνονται κάποια μέταλλα τα οποία με βάση την χημική κινητικότητα τους μετακινούνται προς τα κάτω μέσα στο έδαφος. Μέσω αυτής της διεργασίας μπορεί να έχουμε εμπλουτισμό σε κάποια συστατικά τα οποία θεωρούνται χρήσιμα είτε στο σημείο όπου έγινε η αποσάθρωση είτε σε κάποιο βάθος και να δημιουργηθούν έτσι τα υπολειμματικά κοιτάσματα από χημική αποσάθρωση (residual deposits). Σε πρώτη φάση τα πετρώματα αποτελούνται από μικρές ποσότητες χρήσιμων χημικών στοιχείων και γι αυτό τον λόγο θεωρούνται στείρα. Με την βοήθεια της χημικής αποσάθρωσης τα πετρώματα αυτά μετακινούνται εκλεκτικά ή παραμένουν επί τόπου δημιουργώντας συγκεντρώσεις νέων ορυκτών φάσεων με οικονομική σημασία. Τα ορυκτά τα οποία δημιουργούνται στο καινούργιο περιβάλλον βρίσκονται σε χημική ισορροπία με την βιόσφαιρα, την ατμόσφαιρα και την υδρόσφαιρα και διατηρούνται σταθερά μέχρι να αλλάξουν και πάλι οι συνθήκες (Herrington et al. 2016, Myagkiy et al. 2019).

Η χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων όταν το κλίμα που βρίσκονται είναι τροπικό και υποτροπικό, όταν η βλάστηση είναι έντονη, όταν το ανάγλυφο μας είναι ήπιο και διευκολύνεται η είσοδος του νερού και ο υδροφόρος ορίζοντας είναι χαμηλός τότε η χημική αποσάθρωση είναι έντονη και ονομάζεται λατεριτική αποσάθρωση ή λατεριτίωση. Τα μητρικά πετρώματα αποτελούνται συνήθως από SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , FeO , Na_2O , K_2O , TiO_2 και NiO . Μέσω της διαδικασίας της λατεριτίωσης διατηρούνται επιλεκτικά κάποια στοιχεία και απομακρύνονται κάποια άλλα, έτσι δημιουργούνται κάποια υπολειμματικά προϊόντα πλούσια σε Fe, Ni, Al, Ti, Cr, ή/και Mn. Με την παραπάνω διαδικασία γίνεται ένας διαχωρισμός και συνεπώς



ένας εμπλουτισμός σε κάποια στοιχεία και με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται τα κοιτάσματα.

Μέσω των διαρρήξεων που δημιουργούνται στο μητρικό πέτρωμα με την ενυδάτωση που δημιουργεί αύξηση του όγκου γίνεται πιο εύκολη η κίνηση των διαλυμάτων και το λατεριτικό κάλυμμα δεν καταστρέφεται με την βοήθεια της πανίδας. Αυτού του τύπου τα κοιτάσματα όταν είναι πλούσια σε Fe και Ni ονομάζονται σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα.

Το 72% των παγκόσμιων αποθεμάτων νικελίου αποτελούν τα σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα και έχουν σημασία τόσο για το Ni όσο και για το Co.

Εντούτοις, συμμετέχουν μόνο στο 42% της παγκόσμιας παραγωγής νικελίου (Bartzas and Komnitsas 2015). Το νικέλιο έχει μεγάλη χρησιμότητα και αρκετές εφαρμογές, το μεγαλύτερο μέρος της ποσότητας που εξορύσσεται χρησιμοποιείται στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα. Η χρήση του στους συσσωρευτές ηλεκτρικής ενέργειας στο μέλλον θα αυξήσει κατά πολύ την ζήτησή του. Οι πιο γνωστοί συσσωρευτές είναι οι μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων στις οποίες χρησιμοποιούνται λίθιο, νικέλιο, κοβάλτιο και μαγγάνιο που αποτελούν τα κυριότερα μέταλλα της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας (battery metals) (Dehaine et al. 2020). Οι μπαταρίες αυτές έχουν μεγάλο προσδόκιμο ζωής και μικρό βάρος καθώς και δυνατότητα αρκετών επαναφορτίσεων. Ο ενεργειακός τομέας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ένας ακόμη παράγοντας που θα καθορίσει την ζήτηση του νικελίου τα επόμενα χρόνια.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα έχουν τον πρωτεύοντα ρολό στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ευρώπης καθώς και της Ελλάδας, συνδυαστικά με την αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλους συσσωρευτές. Σημαντική θα είναι ακόμη και η ζήτηση στο μέλλον σε νικέλιο για τα οχήματα που θα χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως καύσιμο, γιατί το νικέλιο χρησιμοποιείται στην ασφαλή μεταφορά του υδρογόνου.

Τα υπερβασικά πετρώματα έχουν υψηλή προδιάθεση στη λατεριτίωση, με αποτέλεσμα την αποσάθρωσή τους σε τροπικό κλίμα (Herrington et al. 2016, Myagkiy et al. 2019).

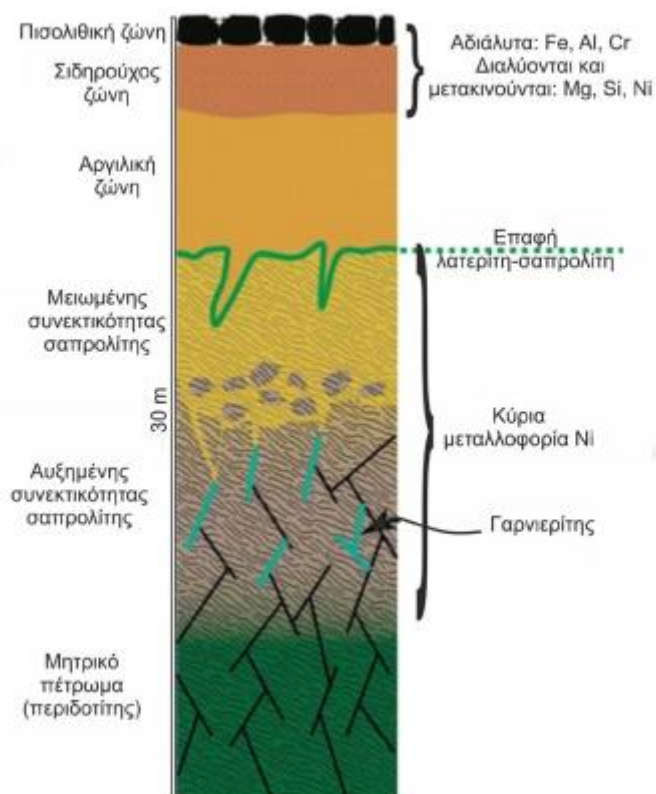
Τα υπερβασικά αυτά πετρώματα αποτελούνται από ορυκτά πλούσια σε Fe και Mg, όπως ο ολιβίνης, ο πυρόξενος και ο σερπεντίνης, που περιέχουν σχεδόν πάντα Ni, σε χαμηλές περιεκτικότητες, 0,3%. Κατά τη λατεριτίωση, το Ni^{2+} αποδεσμεύεται από τα ορυκτά αυτά και καθώς παρουσιάζει μεγάλη διαλυτότητα στο όξινο περιβάλλον, απομακρύνεται προς βαθύτερους ορίζοντες μέχρι να συναντήσει αλκαλικές συνθήκες

με $\text{pH} > 7$. Οι συνθήκες αυτές επικρατούν κοντά στο μητρικό πέτρωμα, στη ζώνη σαπρόλιτη (Σχ. 14).

Ο σαπρόλιτης είναι μία ζώνη πάχους έως λίγα μέτρα, που σχηματίζεται λόγω της αποσάθρωσης του μητρικού υπερβασικού πετρώματος και βρίσκεται πάνω από αυτό. Τα πρωτογενή ορυκτά ολιβίνης και πυρόξενος, καθώς και ο σερπεντίνης,) αλλοιώνονται και μετατρέπονται σε δευτερογενή φυλλοπυριτικά ορυκτά, καθώς και οξείδια/υδροξείδια δυσδιάλυτων στοιχείων, όπως του Al και του Fe. Καθώς το Ni^{2+} κατέρχεται προς τα κατώτερα στρώματα του λατεριτικού ορίζοντα, εισέρχεται στο κρυσταλλικό πλέγμα των νέων δευτερογενών ορυκτών, και αντικαθιστά το Mg, με αποτέλεσμα να εμπλουτίζεται και να εμφανίζεται σε σχετικά υψηλές περιεκτικότητες. Τα δευτερογενή φυλλοπυριτικά ορυκτά που είναι φορείς του Ni στη ζώνη σαπρόλιτη αποτελούνται από Ni-σερπεντίνη (αντιγορίτη, χρυσοτίλη, λιζαρδίτη), Ni-τάλκη, Ni-χλωρίτη, Ni-σμεκτίτη και Ni-σεπιόλιθο, και αναγνωρίζονται γιατί συχνά έχουν πράσινο χρώμα, λόγω της παρουσίας του νικελίου στη χημική τους σύσταση. Τα συσσωματώματα αυτών των ορυκτών χαρακτηρίζονται ως γαρνιερίτες (τεχνικός όρος) και η περιεκτικότητά τους σε Ni φθάνει έως 35% περίπου (Herrington et al. 2016, Myagkiy et al. 2019).

Τα πιο γνωστά και σημαντικά λατεριτικά κοιτάσματα Fe-Ni δημιουργούνται σε περιοχές τροπικού-υποτροπικού κλίματος. Στην Ελλάδα όπου το κλίμα δεν είναι πλέον τροπικό οι λατερίτες διατηρήθηκαν και προστατεύτηκαν για δυο λόγους, είτε γιατί καλύφθηκαν από άλλα ιζηματογενή πετρώματα είτε γιατί μέσω της διάβρωσης μεταφέρθηκαν σε νέο ιζηματογενές περιβάλλον.

Όσον αφορά την μεταφορά, τα κοιτάσματα βρίσκονται μέσα σε ιζηματογενή πετρώματα, κυρίως σε ασβεστόλιθους, και ονομάζονται δευτερογενείς ή αλλόχθονοι ή ιζηματογενείς σιδηρονικελιούχοι λατερίτες, σε αντίθεση με τους πρωτογενείς ή αυτόχθονους που διατηρούνται εκεί όπου σχηματίστηκαν, δηλαδή επί τόπου (Σχ. 10.2). Τα αλλόχθονα κοιτάσματα βρίσκονται με τη μορφή στρωμάτων, κοιτών ή φακών μεταξύ ιζηματογενών πετρωμάτων, κυρίως ανθρακικών.



Εικ.12 Σχηματική τομή ενός τυπικού αυτόχθονου λατεριτικού κοιτάσματος Fe-Ni που αναπτύχθηκε σε υπερβασικό πέτρωμα, σε συνθήκες τροπικού κλίματος (τροποποιημένο από Myagkiy et al. 2019).

Υπάρχουν και άλλα κοιτάσματα εκτός από αυτά που είπαμε παραπάνω όπως τα ψευδο-αυτόχθονα ιζηματογενή κοιτάσματα, τα οποία τοποθετούνται πάνω από οφιολιθικά πετρώματα και μοιάζουν αρκετά με τα πρωτογενή κοιτάσματα, αλλά έχουν μεταφερθεί από σχετικά κοντινές αποστάσεις. Το 85% των λατεριτικών κοιτασμάτων Fe-Ni σχηματίστηκε από το Κρητιδικό και μετά, και εντοπίζεται σε περιοχές με εκτεταμένα οφιολιθικά συμπλέγματα αποτελούμενα από δουνίτες, χαρτσβουργίτες και σερπεντινίτες.

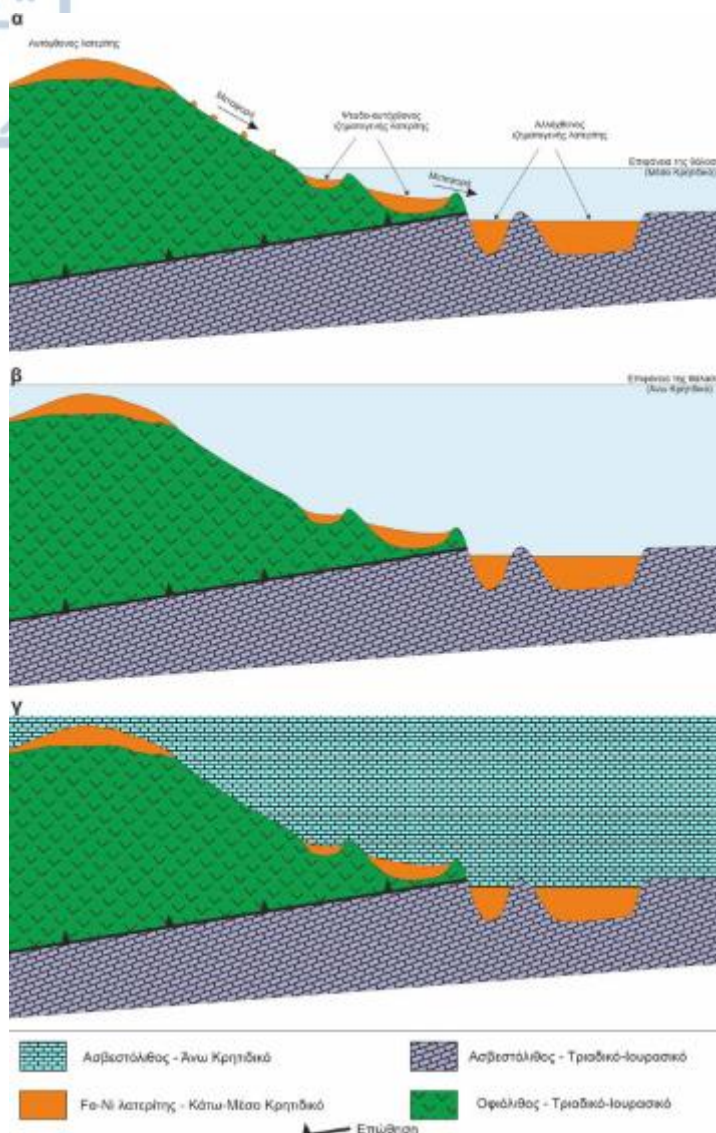
4.1 Σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα Ελλάδος

Οι σιδηρονικελιούχες λατεριτικές εμφανίσεις της Ελλάδος είναι περίπου 110 και εμφανίζονται φτωχές σε Ni, ενώ οι περιεκτικότητες τους κυμαίνονται από 0,9% έως 1,3%.

Πέραν των συγκεντρώσεων Ni τα μεταλλεύματα έχουν και περιέχουν Co, Cr, Mn και Fe (Valeton et al. 1987, Eliopoulos and Economou-Eliopoulos 2000, Skarpelis 2006, Laskou and Economou-Eliopoulos 2007, Αποστολίκας 2010, Alevizos and Repouskou 2011, Eliopoulos et al. 2012, Tsirambides and Filippidis 2012a,b).

Οι σιδηρονικελιούχες λατεριτικές εμφανίσεις συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τη λατεριτική αποσάθρωση οφιολιθικών πετρωμάτων, έτσι δικαιολογείται ο εμπλουτισμός τους στα παραπάνω στοιχεία (Co, Cr, Mn, Fe, Ni).

Η περιεκτικότητα του Fe βρίσκεται μεταξύ 20-80% ενώ αρκετές φορές εντοπίζονται στην συγκέντρωση As και S τα οποία είναι αρκετά επιβλαβή για την μεταλλουργία του κράματος σιδηρονικελίου.



Εικ.13.Σχηματικό μοντέλο δημιουργίας και εξέλιξης των αυτόχθονων πρωτογενών, των αλλόχθονων ιζηματογενών και των ψευδο-αυτόχθονων ιζηματογενών λατεριτικών κοιτασμάτων Fe-Ni στην Ελλάδα (τροποποιημένο από Yang et al. 2019).

Τα αυτόχθονα πρωτογενή και αλλόχθονα δευτερογενή λατεριτικά κοιτάσματα Fe-Ni βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες στον ελλαδικό χώρο σε αντίθεση με τα ψευδο-αυτόχθονα δευτερογενή βρίσκονται σε λιγότερες ποσότητες και μικρότερες εκτάσεις (Valeton et al. 1987, Αλεβίζος 1997, Eliopoulos and Economou-Eliopoulos 2000, Skarpeilis 2006, Αποστολίκας 2010, Eliopoulos et al. 2012, Alevizos and Repouskou 2011, Tsirambides and Filippidis 2012a,b). Η ζώνες Αξιού , Πελαγονική και Πίνδου σχετίζονται άμεσα με τα κοιτάσματα αυτά καθώς θεωρούνται τμήμα μιας ενότητας η οποία ξεκινάει από την Σερβία και μέσω της Αλβανίας και της Ελλάδας καταλήγει στην Τουρκία. Τελικά έχοντας εξετάσει όλες τις τοποθεσίες όπου εμφανίζονται τα

κοιτάσματα λατερίτη καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι σημαντικότερες εμφανίσεις βρίσκονται στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα στην Λοκρίδα, στην Εύβοια και στην Καστοριά μέσω της πυρομεταλλουργικής επεξεργασίας γίνεται η εξόρυξη του νικελίου. Όπως αναφέραμε και παραπάνω η Ελλάδα έχει κατέχει σημαντικές ποσότητες νικελίου και θεωρείται ένας από τους μεγαλύτερους προμηθευτές της Ευρώπης, αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι συμμετέχει στο 1% της παραγωγής παγκοσμίως.

Η ποιότητα του προϊόντος που παράγεται είναι αρκετά καλή μιας και είναι μεγάλης καθαρότητας κοκκοποιημένο κράμα σιδηρονικελίου με άνθρακα σε χαμηλά ποσοστά και βρίσκει χρήση στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα. Τα αποθέματα των σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων που υπάρχουν στην Ελλάδα είναι μεγαλύτερα από 300 Mt, γι' αυτά όμως πού είμαστε σίγουροι είναι 160 Mt (0,9% Ni).

4.1 Αυτόχθονα πρωτογενή λατεριτικά κοιτάσματα Fe-Ni στην Ελλάδα

Η ποσότητα των αυτόχθονων πρωτογενών λατεριτικών κοιτασμάτων Fe-Ni είναι μικρή ενώ τα συγκεκριμένα κοιτάσματα βρίσκονται στην κεντρική Εύβοια, στο Βέρμιο, στα Γρεβενά και στην Καστοριά στην περιοχή της Ιεροπηγής (Εικ.15) (Αποστολίκας 2010). Οι εξορύξεις όμως γίνονται στην περιοχή της Καστοριάς και της Εύβοιας. Η σύσταση του μητρικού πετρώματος των αυτόχθονων πρωτογενών λατεριτικών κοιτασμάτων είναι κυρίως χαρτσβουργίτης, δουνίτης ή σερπεντινίτης. Έμφανίζουν μια τυπική ανάπτυξη όπως όλα τα Fe-Ni κοιτάσματα αποσάθρωσης και διακρίνονται και οι 5 ζώνες (από την επιφάνεια προς τα κάτω):

- 1.πισολιθική ζώνη
- 2.Σιδηρούχος ζώνη
3. αργλική ζώνη
4. Ζώνη σαπρόλιτη
5. Μητρικό πέτρωμα (Εικ..14).

Πιο αναλυτικά :

1.Πισολιθική ζώνη: στα ανώτερα τμήματα παρατηρείται αιματίτης με την μορφή σιδηρούχων σφαιροειδών σχηματισμών (πισόλιθοι).

2. Ζώνη γκαιτίτη: Σε αυτή την ζώνη έχουμε την δημιουργία ενός κίτρινου καλύμματος ή ερυθρού γκαιτίτη. Η ζώνη αυτή μαζί με την πισολιθική ονομάζονται σιδηρούχο κάλυμμα που συγκρατεί μικρές ποσότητες νικελίου.

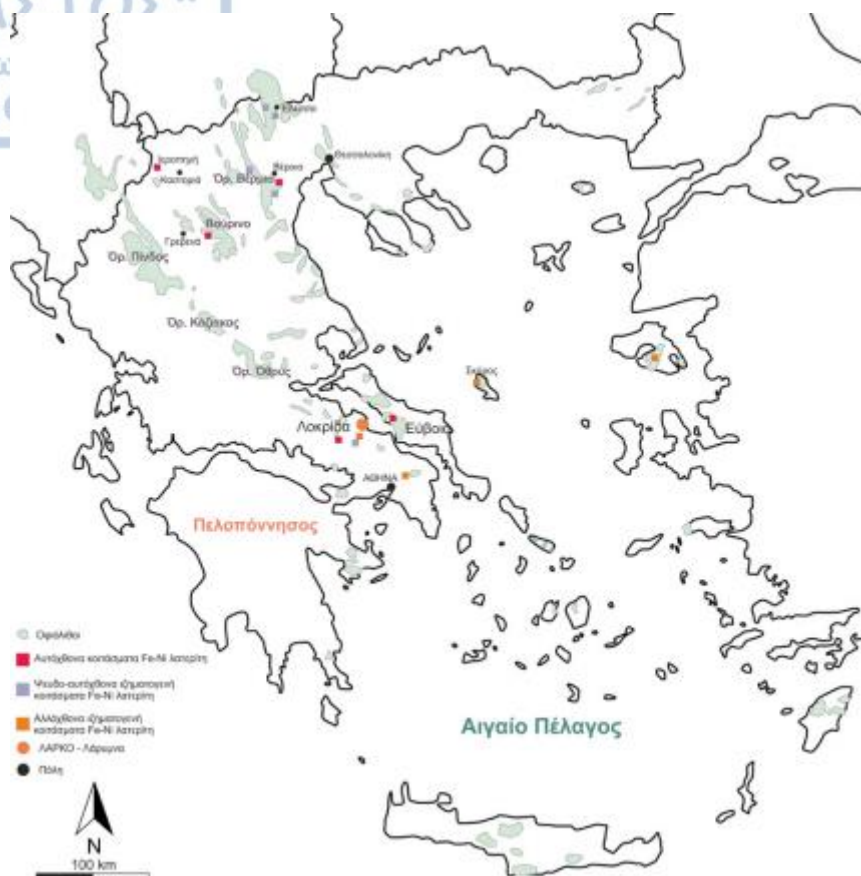
3. Αργλική ζώνη: Ενδιάμεσο στρώμα το οποίο αποτελείται από έναν σμεκτίτη πλούσιο σε σίδηρο.

4. Ζώνη σαπρόλιτη: Η συγκεκριμένη ζώνη αποτελείται εν μέρει από εξαλλοιωμένο μητρικό πέτρωμα. Στην ζώνη αυτή συντελείται μια διαδικασία αντικατάστασης κατά την οποία τα πρωτογενή ορυκτά αντικαθίστανται από

δευτερογενή φυλλοπυριτικά ορυκτά του Mg (χλωρίτη, τάλκη, σερπεντίνη) τα οποία ονομάζονται γκαρνιερίτες.

Κατά την άνοδο από τα χαμηλότερα στρώματα στα ανώτερα παρατηρείται μια διαβάθμιση ως προς την αποσάθρωση του μητρικού πετρώματος καθώς και αύξηση των νικελιούχων ορυκτών αποσάθρωσης.

Για την σωστή ανάπτυξη των αυτόχθονων σιδηρονικελιούχων λατεριτικών κοιτασμάτων στην Ελλάδα έπρεπε να υπάρχουν και οι σωστές συνθήκες ώστε να ευνοήσουν την ανάπτυξη τους. Οι κλιματικές αυτές συνθήκες αναπτύχθηκαν στις περιόδους του Ηωκαίνου και του Κρητιδικού. Άμεση σύνδεση με την Πελαγονική ζώνη έχουν τα κοιτάσματα του Κρητιδικού και οι οφιολίθοι του Βούρινου και της Πίνδου και την Μεσοελληνική αύλακα. Πιο συγκεκριμένα στην Κεντρική Ελλάδα (Λοκρίδα, Εύβοια) η ηλικία γένεσης αυτών των κοιτασμάτων προσδιορίζεται στο Κάτω-Μέσο Κρητιδικό μετά την χέρσευση των οφιολίθων και την ανάδυση της Πελαγονικής. Λόγω του τροπικού κλίματος, τα οφιολιθικά πετρώματα αποσαθρώθηκαν και σχημάτισαν ορίζοντες με λατερίτη πλούσιους σε Fe και Ni (Αλεβίζος 1997, Eliopoulos and Economou-Eliopoulos 2000, Skarpelis 2006, Αποστολίκας 2010, Eliopoulos et al. 2012). Στο Άνω Κρητιδικό συντελέστηκε η επίκληση της θάλασσας, αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την άνοδο των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων και την κάλυψη των λατεριτικών κοιτασμάτων και των οφιολίθων από αυτούς. Στην περιοχή του νομού Φθιώτιδας εντοπίζονται μικρές εμφανίσεις αυτόχθονων λατεριτών Fe-Ni. Πιο συγκεκριμένα εντοπίζονται στις περιοχές Λούτσι, Ακραιφνιο, Καστράκι και Παύλος. Έχουν Άνω Κρητιδική ηλικία, χαρακτηρίζονται ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ 197 και από τις πέντε ζώνες λατεριτώσεως αναπτύσσονται πάνω από σερπεντιωμένους χαρτσβουργίτες, ενώ καλύπτονται από Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους. Το Ni συνδέεται κυρίως με τη ζώνη σαπρόλιτη και σε μικρότερο βαθμό με την αργιλική ζώνη καθώς και τη ζώνη γκαιτίτη (Αλεβίζος 1997, Αποστολίκας 2010).



Εικ.14

Τα κυριότερα κοιτάσματα λατερίτη που συνδέονται με τα οφιολιθικά συμπλέγματα της Ελλάδας (τροποποιημένο από Spray et al et al. 1984 και Melfos and Voudouris 2012).

Οι αυτόχθονοι σιδηρονικελιούχοι λατερίτες στην Κεντρική Εύβοια ανήκουν και αυτοί στην Πελαγονική ζώνη και εμφανίζονται με τη μορφή στρωμάτων και φακών επάνω σε οφιολιθικά πετρώματα, ενώ καλύπτονται από Άνω Κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Τα κύρια ορυκτά της μεταλλοφορίας αποτελούνται από αιματίτη, χαλαζία, χλωρίτη, ιλλίτη και χρωμίτη. Το Ni βρίσκεται κυρίως μέσα στον χλωρίτη με μέση περιεκτικότητα 4%. Επίσης νικέλιο υπάρχει στον αιματίτη και στον ιλλίτη (Αποστολίκας 2010).

Στον Προφήτη Ηλία Βερμίου η μεταλλοφορία Fe-Ni ανήκει στην Πελαγονική ζώνη και αναπτύσσεται πάνω από σερπεντινωμένους χαρτσβουργίτες και δουνίτες, οι οποίοι εκτείνονται σε μήκος μερικών χιλιομέτρων.

Στην Πελαγονική ζώνη ανήκει επίσης η μεταλλοφορία Fe-Ni της περιοχής Προφήτη Ηλία Βερμίου. Η μεταλλοφορία αυτή αναπτύσσεται πάνω σε σερπεντινωμένους χαρτσβουργίτες και δουνίτες. Η μεταλλοφορία έχει φακοειδή μορφή με κυμαινόμενο πάχος 5 έως 7 m, και καλύπτεται από ασβεστόλιθους του Άνω Κρητιδικού. Αποτελείται από αιματίτη, γκαιτίτη, νικελιούχο χλωρίτη, ασβεσίτη,

χαλαζία και χρωμίτη (ζώνη σαπρόλιτη), ενώ στα ανώτερα τμήματα κυριαρχεί ο ιλλίτης (αργιλική ζώνη) (Αποστολίκας 2010).

Στο Παλαιοχώρι Γρεβενών η μεταλλοφορία Fe-Ni εντοπίζεται στο ανατολικό τμήμα της Μεσοελληνικής αύλακας και αναπτύσσεται πάνω από τους σερπεντινίτες του οφιολιθικού συμπλέγματος του Βούρινου. Η μεταλλοφορία έχει Ηωκαινική ηλικία και καλύπτεται από τα μολασσικά ιζήματα της σειράς Τσοτυλίου Μειοκαινικής ηλικίας. Περιλαμβάνει τις ζώνες του σαπρόλιτη και το σιδηρούχο κάλυμμα. Το κύριο ορυκτό στο σιδηρούχο κάλυμμα είναι ο μαγνητίτης που σχηματίζει ένα συμπαγές στρώμα το οποίο σχηματίστηκε από τη λατεριτίωση του υποκείμενου σερπεντινίτη. Το Ni είναι συνδεδεμένο και με τις δύο ζώνες, με ιδιαίτερα υψηλές περιεκτικότητες στο σιδηρούχο κάλυμμα. Το μήκος της μεγαλύτερης επαφής ανέρχεται σε 300 m, με μέσο πάχος 5 m και μέση περιεκτικότητα σε Ni 1,4%. Γενικά η περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερο μεταλλευτικό ενδιαφέρον, και οι έρευνες στοχεύουν στην ανακάλυψη νέων μεταλλοφόρων σωμάτων, λόγω της ευρείας κάλυψης της περιοχής από μολασσικά ιζήματα (Αποστολίκας 2010).

Στην Καστοριά εντοπίζονται πολυάριθμες εμφανίσεις αυτόχθονων λατεριτικών κοιτασμάτων Fe-Ni όπως στον Γράμμο και στην Ιεροπηγή. Το αυτόχθονο κοίτασμα στην Ιεροπηγή, ΒΔ της Καστοριάς, κοντά στα σύνορα με την Αλβανία, παρουσιάζει την τυπική ανάπτυξη όλων των ζωνών που χαρακτηρίζουν τους λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης, και είναι το μεγαλύτερο αυτού του τύπου στην Ελλάδα. Αναπτύσσεται πάνω από σερπεντινωμένα υπερβασικά πετρώματα, είναι Ηωκαινικής ηλικίας και καλύπτεται από τα Μειοκαινικά μολασσικά ιζήματα της Μεσοελληνικής αύλακας, τα οποία περιλαμβάνουν ασβεστολιθικά-οφιολιθικά κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και μάργες. Τα κυριότερα νικελιούχα ορυκτά είναι ο σερπεντίνης, ο χλωρίτης, ο σμεκτίτης και ο τάλκης, ενώ υπάρχουν επίσης γκαιτίτης, αιματίτης, χρωμίτης, χαλαζίας και Mn-οξείδια. Τα αποθέματα στην Ιεροπηγή είναι >6 εκατομμύρια τόνοι μεταλλεύματος με μέση περιεκτικότητα 1,3% Ni (Αποστολίκας 2010).

4.2 Αλλόχθονα δευτερογενή ή ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα Fe-Ni στην Ελλάδα

Κατά την Κενομάνια επίκλυση (Άνω Κρητιδική) στην Πελαγονική ζώνη δημιουργήθηκαν τα αλλόχθονα ιζηματογενή σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα στην Ελλάδα και η απόθεσή τους έγινε ως μηχανικά και χημικά ιζήματα. Η Κενομάνια επίκλυση φέρει ως χαρακτηριστικό τους ρουδιστοφόρους ασβεστολίθους προς τα πάνω και τα κροκαλοπαγή στην βάση. Στα κοιτάσματα αυτά διακρίνονται δύο τύποι μεταλλεύματος: το πισολιθικό μετάλλευμα που αποτελείται από σιδηρούχα σφαιρικά σωματίδια, κυρίως αιματίτη, και το συμπαγές σιδηρούχο μετάλλευμα. Σε ορισμένα κοιτάσματα υπάρχει σε περιορισμένη έκταση και το πηλιτικό μετάλλευμα από αργιλικά ορυκτά (Αλεβίζος 1997, Eliopoulos and Economou-Eliopoulos 2000, Skarpelis 2006, Laskou and Economou-Eliopoulos 2007, Αποστολίκας 2010, Eliopoulos et al. 2012, Tsirambides and Filippidis 2012a,b, Samouhos et al. 2019).

Τα πιο σημαντικά αλλόχθονα κοιτάσματα νικελίου της Ελλάδας βρίσκονται στην Λοκρίδα του Νομού Φθιώτιδος και πιο συγκεκριμένα στον Άγιο Ιωάννη, στο Νησί, στο Μαρμέικο και στην περιοχή της Κωπαΐδας. Έχουν Κρητιδική ηλικία και η μεταλλοφορία τους είναι ασύμφωνη και με μορφή φακών ή στρωμάτων μέσα σε ασβεστολίθους του Τριαδικού-Ιουρασικού και καλύπτεται από ρουδιστοφόρους ασβεστόλιθους του Άνω Κρητιδικού.

Τα μεταλλοφόρα σώματα έχουν ακανόνιστο δάπεδο που δείχνει ότι αποτέθηκαν σε καρστικά έγκοιλα, ενώ η οροφή είναι επίπεδη σε συμφωνία με τους ανώτερους Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους. Το κοιτάσμα στον Αγ. Ιωάννη εκτείνεται σε μήκος περίπου 4 km και έχει μέσο πάχος 8 m, ενώ στο Μαρμέικο το κοιτάσμα έχει μήκος 2,5 km και μέσο πάχος 6 m. Επικρατούν και οι τρεις τύποι μεταλλεύματος, ο πισολιθικός, ο συμπαγής και ο πηλιτικός. Η ορυκτολογική σύσταση των κοιτασμάτων αποτελείται από αιματίτη και γκαϊτίτη με πισολιθική μορφή, καθώς και από σιδηροπυρίτη, μαρκασίτη, μπραβοΐτη, χαλαζία, ασβεστίτη, χρωμίτη και μαγνησιούχα φυλλοπυριτικά ορυκτά (σερπεντίνης, χλωρίτης, τάλκης) σε κλαστική μορφή που δείχνει ότι οι αλλόχθονοι λατερίτες είναι κυρίως μηχανικά ιζήματα. Το νικέλιο συνδέεται κυρίως με

τον σερπεντίνη, τον χλωρίτη και τον τάλκη. Τα ορυκτά αυτά έχουν πράσινο χρώμα και είναι γνωστά με την κοινή ονομασία γαρνιερίτες .

Στο κοίτασμα στο Νησί παρατηρείται κάτι ιδιαίτερο, το μέταλλευμα αποτελείται από σιδηρονικελιούχους και μεικτούς φακούς με βωξιτικό μέταλλευμα στο ανώτερο και σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα στο κατώτερο τμήμα. Η τροφοδοσία από δυο τύπους μητρικών πετρωμάτων, για τους λατερίτες (υπερβασικά) και για τους βωξίτες (αργιλοπυριτικά) είναι ο λόγος που παρουσιάζονται ταυτόχρονα αυτοί οι δύο ορίζοντες.

Γενικά, τα κοιτάσματα της Λοκρίδας χαρακτηρίζονται ως ιζηματογενή και αποτέθηκαν σε παράκτια αβαθή θαλάσσια περιβάλλοντα υπό μορφή χημικών και μηχανικών ιζημάτων κατά τη διάρκεια του Κάτω-Μέσου Κρητιδικού, πριν από το Κενομάνιο. Αυτό συνέβη όταν κατά το Κάτω-Μέσο Κρητιδικό έλαβε χώρα μία εκτεταμένη απόσυρση της θάλασσας με αποτέλεσμα την έντονη αποσάθρωση των οφιολιθικών πετρωμάτων σε τροπικό κλίμα, ιδιαίτερα αυτών που σήμερα εντοπίζονται στην Κεντρική Ελλάδα (Βοιωτία, Φθιώτιδα, Εύβοια, Σκύρος). Στη συνέχεια τα προϊόντα της αποσάθρωσης μεταφέρθηκαν με τα νερά των βροχών και των ποταμών, και αποτέθηκαν σε στρώματα ή εντός καρστικών εγκοίλων, σε αβαθείς θάλασσες, σχηματίζοντας με αυτόν τον τρόπο τα αλλόχθονα Fe-Ni λατεριτικά κοιτάσματα. Με την Κενομάνια επίκλυση όλοι αυτοί οι σχηματισμοί καλύφθηκαν με ιζήματα που σήμερα αποτελούν τους Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους. Στην Ελλάδα υπάρχουν και άλλα μικρότερα κοιτάσματα ή εμφανίσεις αλλόχθονων ιζηματογενών λατεριτών Fe-Ni που δεν ανήκουν στις προαναφερθείσες περιοχές. Τα κοιτάσματα αυτά δεν έχουν ερευνηθεί σε βάθος ή δεν παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον υπό τις παρούσες οικονομικές συνθήκες και εντοπίζονται στη Μυτιλήνη, στη Σκύρο και στην Αττική, όπως στην Πάρνηθα.

4.2.1. Ψευδό-αυτόχθονα ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα της Ελλάδας

Τα ψευδό-αυτόχθονα λατεριτικά κοιτάσματα της Ελλάδος εντοπίζονται στην Τσούκα Λοκρίδας του Νομού Φθιώτιδας, στα Κομνηνά, στην Έδεσσα και στη Σφηκιά Βερμίου (Εικ.17) (Michailidis 1990, Αλεβίζος 1997, Τσιτσιπάτη 2007, Kalatha et al. 2017,). Το αντιπροσωπευτικότερο κοιτάσμα αυτού του τύπου είναι εκείνο της Τσούκας, στο οποίο τα μεταλλοφόρα σώματα έχουν φακοειδές σχήμα και η ανάπτυξη τους είναι πάνω σε σερπεντινίτες οριζόντια μήκους έως 300 μ. και πάχους 10μ. Αποτελούνται από αιματίτη, χρωμίτη, μαγνητίτη, ιλμενίτη, ρουτίλιο, χαλαζία και νικελιούχα ορυκτά. Ο αιματίτης είναι το συνδετικό υλικό των κλαστικών κόκκων ή μπορεί να σχηματίζει και πιδόλιθους. Οι κλαστικοί κόκκοι που προαναφέραμε αποτελούνται από χαλαζία και χρωμίτη.

Τα νικελιούχα ορυκτά περιλαμβάνουν τον νικελιούχο χλωρίτη με 5% Ni, τον νεπουίτη (νικελιούχος σερπεντίνης), τον νικελιούχο τάλη και τον νικελιούχο μοντμοριλλονίτη. Η μεταλλοφορία καλύπτεται από ένα στρώμα κροκαλοπαγούς με κροκάλες πυριτιολίθων και νικελιούχου μεταλλεύματος που εναλλάσσεται με ορίζοντες μικρού πάχους συμπαγούς μεταλλεύματος.

Ασβεστόλιθοι του Άνω Κρητιδικού καλύπτουν αυτό το στρώμα (Αποστολίκας 2010). Στην περιοχή Κομνηνών Βερμίου η μεταλλοφορία της περιοχής ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, συναντάται με στρώματα σερπεντινιτών και η κάλυψη γίνεται με ανθρακικά κροκαλοπαγή του Άνω Κρητιδικού.

Υπό μορφή στενής λωρίδας εμφανίζονται τα μεταλλοφόρα σώματα σε μήκος αρκετών χιλιομέτρων. Επίσης η μεταλλοφορία φέρει την χαρακτηριστική σαπρολιθική ζώνη ενός λατερίτη. Τέλος η ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος είναι κυρίως αιματίτης, χαλαζίας, χρωμίτης και χλωρίτης, ακόμη σε μικρότερα ποσοστά εμφανίζεται Ni-χλωρίτης, Ni-τάλης, Ni-γκαιίτης, Ni-ασβεστίτης και Ni-ιλλίτης.

Ο νικελιούχος χλωρίτης αποτελεί το σημαντικότερο νικελιούχο ορυκτό του μεταλλεύματος και η περιεκτικότητα σε Ni κυμαίνεται μεταξύ 2.5 και 3.5%. Μικρές συγκεντρώσεις σε Ni έως 0,5% παρατηρήθηκαν επίσης στον αιματίτη και στον χρωμίτη, ενώ στον σερπεντίνη και στον τάλη η περιεκτικότητα σε Ni ανέρχεται μέχρι 0,5% και 0,3% αντίστοιχα (Αποστολίκας 2010, Alevizos et al. 2011). Μία ακόμη ψευδο-αυτόχθονη δευτερογενής Fe-Ni-ούχα λατεριτική εμφάνιση βρίσκεται στη Σφηκιά Βερμίου που ανήκει στο όριο μεταξύ της ζώνης Αξίου και της Πελαγονικής ζώνης. Τα μεταλλοφόρα σώματα αναπτύσσονται επάνω σε σερπεντινιωμένους

λερζόλιθους και καλύπτονται από επικλυσιογενείς ιζηματογενείς σχηματισμούς (ασβεστόλιθους, αργιλικούς σχιστόλιθους). Εντοπίζονται με τη μορφή φακών ή στρωμάτων και αποτελούνται από αιματίτη, μαγνητίτη και χρωμίτη με ίχνη μίλλερίτη και γκαιτίτη. Το νικέλιο βρίσκεται μέσα στον χλωρίτη, στις αμφίβολου, στον τάλκη και λιγότερο στον στιλπνομέλανα. Η μεταλλοφορία έχει μία σαφή δευτερογενή προέλευση που προήλθε από τη διάβρωση του αρχικού λατεριτικού μανδύα, και τη μεταφορά και απόθεση των υλικών στη σημερινή τους θέση, ως μηχανικά και χημικά ιζήματα. Η μεταλλοφορία έχει υποστεί μία χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση (Τσιτσιπάτη 2007, Αποστολίκας 2010). Στην Έδεσσα και συγκεκριμένα στις περιοχές Βρυτά, Φλαμουριά, Μεσημέρι και Πλατάνη υπάρχουν εμφανίσεις λατεριτικής μεταλλοφορίας επάνω σε σερπεντινίτες ή ταλκικούς σχιστόλιθους. Οι μεταλλοφορίες καλύπτονται από κροκαλοπαγή ή ασβεστόλιθους του Μέσου-Άνω Κρητιδικού. Η έντονη παραμόρφωση των πετρωμάτων με πτυχώσεις και λεπιώσεις δημιουργούν επαναλήψεις των μεταλλοφόρων στρωμάτων.

Το μετάλλευμα χωρίζεται σε συμπαγές το οποίο αποτελείται από μαγνητίτη, και σε πισολιθικό με κύριο ορυκτό τον αιματίτη, και έχει υποστεί χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση.

5. Η ΕΞΟΡΥΞΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΒΩΞΙΤΗ

Η κύρια σύσταση των βωξιτών σε αργιλικά ορυκτά στον ελλαδικό χώρο είναι : το διάσπορο και ο μπαίιμίτης τα οποία έχουν πισολιθική μορφή και συναντώνται με μικρή συγκέντρωση πισολίθων αιματίτη, σε μικρότερες ποσότητες συναντάμε το ρουτίλιο, τον ανατάση, τον γκαιτίτη και τον καολίνη. . Η ορυκτολογική σύσταση των βωξιτικών κοιτασμάτων στον Παρνασσό και στη Γκιώνα αποτελούνται από 20-50% διάσπορο, 10-30% μπαίιμίτη, 20-25% αιματίτη, 1-5% ασβεστίτη, 1-5% καολινίτη, 1-2% χαλαζία και 0,5-2% ανατάση (Tsirambides and Filippidis 2012a).

Σε περίπτωση όπου έχουμε μεγάλη συγκέντρωση Fe στο μητρικό πέτρωμα τότε παράγονται μεικτού τύπου κοιτάσματα σιδηρούχου βωξίτη. Ο πιο πλούσιος σε Al ορίζοντας είναι ο ανώτερος όπου πραγματοποιούνται και εξορύξεις , εκμεταλλεύσιμος όμως είναι και ο ενδιάμεσος. Στην περιοχή του Παρνασσού και της Γκιώνας η εξόρυξη άρχισε την περίοδο του 1920 και διαρκεί έως και σήμερα. Μέσω της εξόρυξης

παραλαμβάνουμε ένα πολύ καλής ποιότητας μετάλλευμα με 50-65% Al_2O_3 , 2-7 SiO_2 , 15-30% Fe_2O_3 , 0,5-3% TiO_2 και 0,1-1% CaO . Αρκετοί όμως παράγοντες δυσκολεύουν της εξόρυξη, κάποιοι από αυτούς είναι :

- Οι μεγάλες κλίσεις των σωμάτων που φέρουν το μετάλλευμα και το μέγεθος τους που κυμαίνεται
- Η έντονη τεκτονική
- Δυσκολία εξόρυξης κοιτασμάτων που βρίσκονται στον αρχαιολογικό χώρο των Δελφών, λόγω γραφειοκρατίας.

Σήμερα οι περισσότερες εξορύξεις πραγματοποιούνται υπόγεια (το 90%) και στα παλιά λατομεία γίνεται αποκατάσταση. Στην περιοχή ενεργούν δυο μεγάλες εταιρείες όσον αφορά την εξόρυξη βωξίτη, η «ΕΛΜΙΝ ΒΩΞΙΤΕΣ ΑΕ» και η «ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟΝ ΑΕ», η οποία είναι θυγατρική της «ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ» και το 90% του ελληνικού βωξίτη πηγαίνει στην συγκεκριμένη εταιρεία.

Στα κοιτάσματα βωξίτη του Παρνασσού-Γκιώνας συναντάμε υψηλες συγκεντρώσεις σπανίων γαιών 0,6% REE, και αποτελούν μία σημαντική ευρωπαϊκή πηγή για πιθανή μελλοντική εκμετάλλευση (Deady et al. 2016, Mouchos et al. 2017, Gamaletsos et al. 2019). Μελέτες ακόμη που πραγματοποιήθηκαν στα μεταλλευτικά απόβλητα μας έδειξαν ότι τα απόβλητα αυτά έχουν κόκκινο χρώμα και τους έχει δοθεί η ονομασία «κόκκινη λάσπη». Αποτελέσματα για την απόληψη σκανδίου (Sc) αλλά και άλλων REE, είναι θετικά, και άρα αποτελούν και αυτά εν δυνάμει πρώτες ύλες για σπάνιες γαίες (REE) για το μέλλον (Roosen et al. 2016, Vind et al. 2018, Lymperopoulou).

Βωστικός Ορίζοντας	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	Μέγεθος κοκκασμάτων
Ανώτερος	55 - 60	2 - 3	15 - 30	0.5 - 1	μικρά έως πολύ μεγάλα
Ενδιάμεσος	50 - 55	5 - 15	15 - 30	0.2 - 0.5	μικρά έως πολύ μεγάλα
Κατώτερος	45 - 50	15 - 25	5 - 15	0.1 - 0.5	πολύ μικρά

47

(2017). Nano-mineralogy and-geochemistry of high-grade diasporic karst-type bauxite from ParnassosGhiona mines, Greece. *Ore Geology Reviews*, 84, 228-244.

(Παπασταύρου 1986, Παπανικολάου, 1986, Valetton et al., 1987, Laskou and Economou, 1989, 1991, Laskou, 1991, 2003, Laskou and Economou – Eliopoulos, 2007, Κοντού, 2009, Laskou et al, 2010, Laskou and Economou – Eliopoulos, 2013)

1317

20-47.

Alevizos, G., Repouskou, E. (2011). *Ore Microscopy and Microanalysis of the Nickeliferous Iron Ores from*

Apostolikas, A., Maglaras, K., Frogoudakis, E., Kirillidi, Y. (2007). *The Nickel industry in Greece. 2nd Balkan*

Athens, Greece, 361.

Bartzas, G., Komnitsas, K. (2015). Life cycle assessment of ferronickel production in Greece. *Resources,*

bauxite active mines in the light of a sustainable REE demand. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 5(1),

Boulangé, B., Ambrosi, J. P., & Nahon, D. (1997). Laterites and bauxites. *Soils and Sediments*, 49-65.

Conservation and Recycling, 105, 113-122.

Deady, É. A., Mouchos, E., Goodenough, K., Williamson, B. J., and Wall, F. (2016). A review of the potential for

Dehaine, Q., Michaux, S. P., Pokki, J., Kivinen, M., Butcher, A. R. (2020). *Battery minerals from Finland:*

deposits of Greece. *Ore Geology Reviews*, 16, 41-58.

Deposits of the Tethyan Belt. *Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt; Special Publication;*

Deposits of the Tethyan Belt. *Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt; Special Publication;*

Eliopoulos, D. G., & Economou-Eliopoulos, M. (2000). Geochemical and mineralogical characteristics of FeNi-and bauxitic-laterite deposits of Greece. *Ore Geology Reviews*, 16(1-2), 41-58.

Eliopoulos, D. G., Economou-Eliopoulos, M. (2000). Geochemical and mineralogical characteristics of Fe-Ni and bauxitic-laterite deposits of Greece. *Ore Geology Reviews*, 16(1-2), 41-58.

Eliopoulos, D. G., Economou-Eliopoulos, M., Apostolikas, A., Golightly, J. P. (2012). Geochemical features of Exploration, 93(2), 67-77.

Gamaletsos P. (2014). Mineralogy and geochemistry of bauxites from Parnassos-Ghiona mines and the impact

Gamaletsos, P. N., Godelitsas, A., Filippidis, A., Pontikes, Y. (2019). The rare earth elements potential of Greek

Gamaletsos, P. N., Godelitsas, A., Kasama, T., Church, N. S., Douvalis, A. P., Göttlicher, J.,... Filippidis, A.

geochemical characteristics of the Parnassos-Ghiona bauxite deposits, Greece. *Journal of Geochemical*

Geologist European Geologist, 5.

Geophys. Pol., 33, 231-242

Geophys., 150, 461-472

Geophys., 51, 105-112

Gibowicz, S. J. (1990), The mechanism of seismic events induced by mining—a review in *Rockbursts and*

Gidigas, M. D. (1974). Degree of weathering in the identification of laterite materials for engineering purposes—a review. *Engineering Geology*, 8(3), 213-266.

Hanks, T. C., and Kanamori, H. (1979), A moment magnitude scale, *J. Geophys. Res.*, 84, 2348-2350

Hasegawa, H. S., Wetmiller, P. J., and Genzwill, D. J. (1989), Induced seismicity in mines in Canada—An

Herrington et al. (2016). Bauxite and Lateritic deposits Tethyan belt

Herrington, R., Mondillo, N., Boni, M., Thorne, R., and Tavlan, M. (2016). Bauxite and Nickel-Cobalt Lateritic

Herrington, R., Mondillo, N., Boni, M., Thorne, R., Tavlan, M. (2016). Bauxite and Nickel-Cobalt Lateritic

Hinzen, K. G. (1982), Source parameters of mine tremors in the eastern part of Ruhr-District (West Germany), J.

Improving the supply chain for the EU battery industry using a geometallurgical approach. European

in the Nissi (Patitira) bauxite laterite deposit, Lokris, Greece. Minerals, 7(3), 45.

Kalatha, S., Perraki, M., Economou-Eliopoulos, M., Mitsis, I. (2017). On the origin of bastnaesite-(La, Nd, Y)

Katrakis (1965). Bauxites Greece.

Kijko, A. (1985), Theoretical model for a relationship between mining seismicity and excavation area, Acta

Komnina Vermion Area (NW Greece). Geomaterials, 1(2), 46.

Laskou, M., and Economou-Eliopoulos, M. (2007). The role of microorganisms on the mineralogical and

Laskou, M., Economou-Eliopoulos, M. (2007). The role of microorganisms on the mineralogical and geochemical characteristics of the Parnassos-Ghiona bauxite deposits, Greece. Journal of Geochemical Exploration, 93(2), 67-77.

Lymperopoulou, T., Georgiou, P., Tsakanika, L. A., Hatzilyberis, K., Ochsenkuehn-Petropoulou, M. (2019).

McGarr, A. (1971), Violent deformation of rock near deep-level, tabular excavations-seismic events, Bull. Seism.

Michailidis, K. M. (1990). Zoned chromites with high Mn-contents in the Fe-Ni-Cr-laterite ore deposits from the Edessa area in Northern Greece. Mineralium Deposita, 25(3), 190-197.

microearthquakes associated with underground mines in eastern Utah, Bull. Seism. Soc. Am., 64, 1295-

Mining Congress, Belgrade, Serbia. Book of Proceedings p. 87-91, Eliopoulos, D.G. and Economou-Eliopoulos, M. (2000). Geochemical and mineralogical characteristics of Fe-Ni-and bauxitic-laterite

Myagkiy, A., Golfier, F., Truche, L., and Cathelineau, M. (2019). Reactive Transport Modeling Applied to Ni Laterite Ore Deposits in New Caledonia: Role of Hydrodynamic Factors and Geological Structures in Ni Mineralization. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 20, 1425-1440.

nickel-laterite deposits from the Balkan Peninsula and Gordes, Turkey: The genetic and environmental

on the origin of the deposits. Doctorate thesis, Faculty of Geology and Geoenvironment, University of

Optimizing conditions for scandium extraction from bauxite residue using taguchi methodology. Minerals, 9(4), 236.

overview, Pure and Appl. Geophys., 129, 423-453

rare-earth element resources from European red muds: examples from Seydişehir, Turkey and ParnassusGiona, Greece. Mineralogical Magazine, 80, 43-61.

Richards, J., Ed, 349-387.

Richards, J., Ed, 349-387.

Samouhos, M., Godelitsas, A., Nomikou, C., Taxiarchou, M., Tsakiridis, P., Zavašnik, J. & Apostolikas, A. (2019). New insights into nanomineralogy and geochemistry of Ni-laterite ores from central Greece (Larymna and Evia deposits). Geochemistry, 79(2), 268-279.

Seismicity in Mines, C. Fairhurst (editor), Balkema, Rotterdam, 3-28

significance of arsenic. Ore Geology Reviews, 48, 413-427.

Skarpelis, N. (2006). Lateritization processes of ultramafic rocks in Cretaceous times: the fossil weathering crusts of mainland Greece. Journal of Geochemical Exploration, 88, 325-328.

Smith, R. B., Winklers, P. L., Anderson, J. G., and Scholz, C. H. (1974), Source mechanisms of

Soc. Am., 61, 1453-1466

Spray, J. G., Bébien, J., Rex, D. C., Roddick, J. C. (1984). Age constraints on the igneous and metamorphic evolution of the Hellenic-Dinaric ophiolites. Geological Society, London, Special Publications, 17(1), 619-627.

Tsangaris, C., Kaparou, D., Bordbar, L., Simboursa, N., Karris, G. (2016). An integrated investigation of biomarkers' response in crabs (*Liocarcinus depurator*) and benthic indices at a metalliferous waste discharge area in North Evoikos gulf, Greece. Toxicological Environmental Chemistry, 98(10), 1211-1226.

Tsirambides, A., Filippidis, A. (2012a). Metallic mineral resources of Greece. Open Geosciences, 4(4), 641-650.

Tsirambides, A., Filippidis, A. (2012b). Exploration key to growing Greek industry. Industrial Minerals, 533, 44-47.

Valeton, I. (2010). *Bauxites*. Elsevier.

Valeton, I., Biemann, M., Reche, R., Rosenberg, F. (1987). Genesis of nickel laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous, and their relation to ultrabasic parent rocks. *Ore Geology Reviews*, 2(4), 359-404.

Ventouzi et al.2006

Yang, S., Wang, Q., Deng, J., Wang, Y., Kang, W., Liu, X., Li, Z. (2019). Genesis of karst bauxite-bearing sequences in Baofeng, Henan (China), and the distribution of critical metals. *Ore Geology Reviews*, 115, 103161. KOITASMATA THΣ EΛΛAΔΑΣ 203

Zhong, Y. Z., Gao, G., and Yun, B. (1997), Induced seismicity in Lianonig Province, Cina, *Pure and Appl.*

Γρίβα (2012). Μεταλλεία βωξίτη- Παρνασός

Ζευγώλης, Ε. (2013). Η ελληνική βιομηχανία νικελίου και η διεθνής της θέση.