



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ Β. ΠΕΚΡΙΔΗΣ

ΒΩΞΙΤΗΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΙΟ: ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗΣ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2023





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ Β. ΠΕΚΡΙΔΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ:5665

ΒΩΞΙΤΗΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΙΟ: ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ, ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας,
Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Καντηράνης Νικόλαος, Καθηγητής



© Αριστοτέλης Β. Πεκρίδης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Βωξίτης και Αργίλιο: Ελληνικά κοιτάσματα, παραγωγή και διεθνής κατάσταση–
Διπλωματική Εργασία

© Aristotelis V. Pekrides, School of Geology, Dept. of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, 2023

All rights reserved.

BAUXITE AND ALUMINA: GREEK ORE DEPOSITS, PRODUCTION, AND WORLDWIDE STATUS– *Bachelor Thesis*

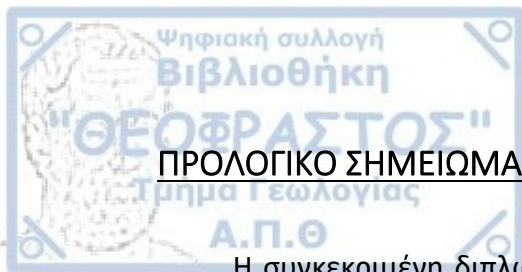
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται 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.



Περιεχόμενα

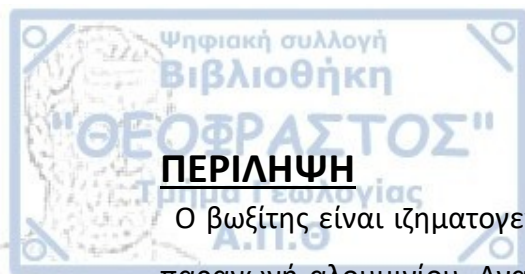
ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ.....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	8
1.1 Ορισμοί.....	8
1.2 Ιδιότητες.....	8
1.3 Χρήσεις.....	12
Κεφάλαιο 2: Γεωλογικά στοιχεία	16
2.1 Γεωλογία, κοιτασματολογία και συνθήκες γένεσης του βωξίτη στην Ελλάδα	16
Κεφάλαιο 3: Παραγωγή βωξίτη και αλουμίνας	24
3.1 Παγκόσμια παραγωγή βωξίτη	24
3.2 Παγκόσμια παραγωγή αλουμίνας.....	25
3.3 Ελληνική παραγωγή βωξίτη.....	26
3.4 Ελληνική παραγωγή αλουμίνας	27
Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα και προοπτικές του βωξίτη	28
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	31



ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να αναλύσει τον τρόπο σχηματισμού και τις ιδιότητες ενός πολύ σημαντικού βιομηχανικού πετρώματος της Ελλάδας, του βωξίτη. Επιπρόσθετα έχει σκοπό να αναλύσει τις διάφορες χρήσεις και προοπτικές ανάπτυξής του στην Ελλάδα. Πρόκειται λοιπόν για τη βιβλιογραφική μελέτη των σημαντικότερων ελληνικών και παγκόσμιων κοιτασμάτων βωξίτη, καθώς και τη περιγραφή σημαντικών οικονομικών στοιχείων που αφορούν τη βιομηχανία του συγκεκριμένου μεταλλεύματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Νικόλαο Καντηράνη που με την εμπειρία του και την καθοδήγησή του με βοήθησε στην επιλογή του θέματος της πτυχιακής και στην τελική της διαμόρφωση.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο βωξίτης είναι ιζηματογενές πέτρωμα και αποτελεί το βασικό μέταλλευμα στην παραγωγή αλουμινίου. Ανακαλύφθηκε το 1821 από τον Berthier στο Les Baux στη Νότια Γαλλία. Χημικά, η σύσταση του πετρώματος περιλαμβάνει υδροξείδια του αργιλίου και οξείδια ή υδροξείδια του σιδήρου, μαζί με άλλα ορυκτά σε μικρότερες αναλογίες. Η απόχρωση του βωξίτη εξαρτάται από την ποσότητα των οξειδίων του σιδήρου που περιέχει. Στην Ελλάδα, οι κύριες αποθέσεις βωξίτη εντοπίζονται στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας (περιοχή Ελικώνας-Παρνασσού-Γκιώνας) και ανέρχονται περίπου σε 100 εκατομμύρια τόνους. Ο βωξίτης συναντά ένα εύρος βιομηχανικών χρήσεων με σημαντικότερες τη βιομηχανία αλουμινίου, τη τσιμεντοβιομηχανία και τη παραγωγή λειαντικών και πυρίμαχων υλικών. Η επιφανειακή εκμετάλλευση του βωξίτη έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος. Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της βιομηχανίας αλουμινίου είναι η παραγωγή κόκκινης λάσπης από την επεξεργασία του βωξίτη.

ABSTRACT

BAUXITE AND ALUMINA: GREEK ORE DEPOSITS, PRODUCTION AND WORLDWIDE STATUS

by ARISTOTELIS V. PEKRIDES

Bauxite is a sedimentary rock and the primary commodity in aluminium production. It was discovered in 1821 by Berthier in the village of Les Baux in Southern France. Chemically the rock is a mixture of aluminium hydroxides and iron oxides or hydroxides as well as other minerals in smaller amounts. The color of bauxite depends on its content of iron oxides. In Greece, the most important bauxite ore deposits are in Central Greece (Helicon-Parnassos-Gionas zone) and amount to approximately 100 million tons. Bauxite meets a range of industrial uses, the most important being the aluminium industry, the cement industry, and the production of abrasive and refractory materials. The surface mining of bauxite is consequently causing the degradation of the environment. One of the major environmental impacts of aluminium production is the formation of red mud from bauxite processing.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμοί

Ο βωξίτης αποτελεί το κύριο υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή αλουμίνας. Από αυτήν παράγεται το αλουμίνιο ή αργίλιο, ένας από τους σημαντικότερους μεταλλευτικούς φυσικούς πόρους για τον άνθρωπο. Το πέτρωμα βωξίτης ανακαλύφθηκε από τον Pierre Berthier το 1821 στον οικισμό Les Baux της Νότιας Γαλλίας. Η ονομασία «βωξίτης» δόθηκε αργότερα από τον Dufrenoy το 1845 για την περιγραφή ενός πετρώματος με αργίλιο. Το ορυκτό διάσπορο είχε ανακαλυφθεί ήδη από το 1801 ενώ ο γκιψίτης το 1822.

1.2 Ιδιότητες

Το ειδικό βάρος του βωξίτη (Εικ.1) λαμβάνει τιμές από 2,7 ως 3,5 ανάλογα με το ποσοστό των οξειδίων του σιδήρου. Ο χρωματισμός κυμαίνεται από λευκός, γκρίζος, κίτρινος και κόκκινος ως καστανοκόκκινος. Είναι συχνή η παρουσία ωλιθικού και πισολιθικού ιστού. Η ορυκτολογική σύσταση σε σχέση με τα ένυδρα οξείδια επηρεάζει την δυνατότητά του να διαλύεται σε οξέα ή αλκάλια. Παρουσιάζει ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες και παίρνει κρυσταλλική μορφή όταν θερμανθεί ως την τήξη του (λειαντικές ιδιότητες).

Το αλουμίνιο είναι χαρακτηριστικό για το χαμηλό του ειδικό βάρος και την ανθεκτικότητά του σε μηχανικές πιέσεις και διάβρωση. Το καθαρό αλουμίνιο είναι μαλακό και εύκαμπτο. Οι μηχανικές ιδιότητες βελτιώνονται με την προσθήκη σιδήρου, χαλκού και άλλων κραματικών στοιχείων. Το αλουμίνιο επεξεργάζεται εύκολα μέσω χυτεύσεων και αφαίρεσης υλικού. Επιπλέον, διαθέτει εξαιρετική θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Η σύνθεση του βωξίτη αποτελείται από μίγμα υδροξειδίων του αργιλίου (Al) και υδροξειδίων ή οξειδίων του σιδήρου (Fe), του τιτανίου (Ti) καθώς και άλλων ορυκτών με μικρότερη ποσότητα. Σήμερα, ο βωξίτης περιγράφεται ως ένα πέτρωμα που προέκυψε από τη φυσική διάβρωση και αποσάθρωση ανθρακικών πετρωμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε αργίλιο, ενώ παράλληλα μεταφέρθηκε ανθρακικό

ασβέστιο(CaCO_3). Ενδεχομένως να προέρχεται επίσης από τη λατεριτική διάβρωση-αποσάθρωση μαγματικών και κρυσταλλοσχιστώδων πετρωμάτων που περιέχουν αργίλιο. Τα κύρια ορυκτά που σχηματίζουν τον βωξίτη και συμβάλλουν στην κύρια παραγένεση του είναι ο βαιμίτης, το διάσπορο, ο γκιψίτης και δευτερευόντως ο καολινίτης, ο αιματίτης, ο λειμονίτης, ο ανατάσης, το ρουτίλιο και άλλα.



Εικόνα 1. Ελληνικό δείγμα βωξίτη (<https://www.sme.gr/portfolio-items/%ce%b2%cf%89%ce%be%ce%af%cf%84%ce%b7%cf%82/?portfolioCats=32>)

Επικρατέστερες σήμερα για τον τρόπο γέννησης των βωξιτικών κοιτασμάτων είναι η θεωρία της αλλόχθονης και η θεωρία της αυτόχθονης προέλευσης. Με βάση την υπόθεση της αλλόχθονης γέννησης, η δημιουργία του βωξιτικού κοιτάσματος συνέβη σε άλλη τοποθεσία από την τρέχουσα του θέσης μέσω της λατεριτικής αποσάθρωσης και στη συνέχεια υπέστη διάβρωση, μεταφορά και απόθεση στην τρέχουσα του θέσης, ως αλλουβιακή μορφή. Από αυτήν την θεωρία προκύπτει ότι ο βωξίτης είναι λατεριτικός και αλλόχθονος σχηματισμός, ενώ τα αντίστοιχα κοιτάσματα χαρακτηρίζονται ως λατεριτικά (Ερχάτ, 1950). Βάσει της θεωρίας της αυτόχθονης γέννησης, ο βωξίτης προέκυψε από την επί τόπου (insitu) αποσάθρωση των ανθρακικών πετρωμάτων, ειδικότερα των ασβεστόλιθων. Από αυτήν την

αποσάθρωση, που επέφερε τη διάλυση και απομάκρυνση των ανθρακικών ορυκτών, παρέμειναν ως υπόλειμμα τα αδιάλυτα αργιλοπυριτικά ορυκτά, τα οποία έπαθαν λατεριτίωση στον τόπο τους και σχημάτισαν τα βωξιτικά κοιτάσματα. Συνεπώς, διαμορφώθηκε ως ένας αλλουβιακός σχηματισμός κάτω από συνθήκες τροπικού κλίματος. Υποστηρικτές της θεωρίας αυτής ήταν οι Λαπαρέντ και Ντόλφους.

Για να επιτευχθεί η λατεριτίωση και η βωξιτογέννηση οφείλουν να ισχύουν ορισμένες προϋποθέσεις όπως ύπαρξη κατάλληλων πετρωμάτων (πλούσια σε Al_2O_3), ύπαρξη τροπικού κλίματος (η υψηλή θερμοκρασία και η έντονη βροχόπτωση αυξάνουν τον ρυθμό της αποσάθρωσης), ύπαρξη τροπικής βλάστησης (αρκετή υγρασία για αποσάθρωση), ύπαρξη πανεπιπέδου (plateaux) και ύπαρξη καλής αποστράγγισης.

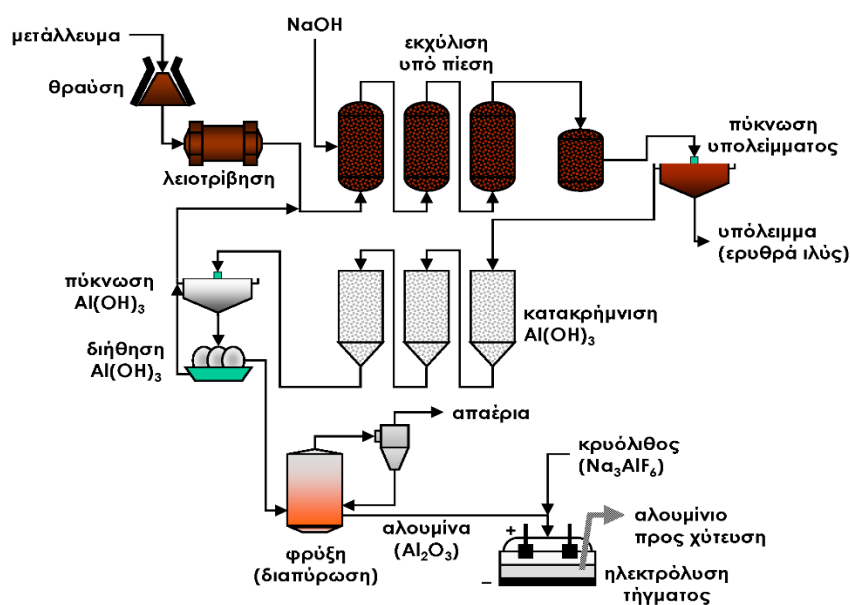
Στο βωξίτη ξεχωρίζουν τρία κύρια ορυκτολογικά συστατικά, τα υδροξείδια του Al, τα υδροξείδια ή οξείδια του Fe και τα αργιλοπυριτικά ορυκτά. Τα υδροξείδια του αργιλίου είναι ο υδραργιλίτης ή γκιψίτης ($Al(OH)_3/Al_2O_3 \cdot H_2O$), ο βαιμίτης ($\gamma-AlO(OH)/Al_2O_3 \cdot H_2O$) και το διάσπορο ($\alpha-AlO(OH)/Al_2O_3 \cdot H_2O$). Τα δύο τελευταία ορυκτά έχουν την ίδια χημική σύνθεση, αλλά διαφέρουν στην κρυσταλλική δομή. Εντός του βωξίτη μπορεί να παρουσιάζεται είτε αποκλειστικά ένα από τα προαναφερθέντα υδροξείδια, είτε συνδυασμοί αυτών, όπως γκιψίτης και βαιμίτης, βαιμίτης και διάσπορο, και σπανίως διάσπορο και γκιψίτης.

Τα υδροξείδια ή οξείδια του Fe είναι ο αιματίτης (Fe_2O_3), ο γκαιτίτης ($\alpha-FeO(OH)$), ο λεπιδοκροτίτης ($\gamma-FeO(OH)$) και ο λειμωνίτης ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$). Οι διάφορες αποχρώσεις του βωξίτη απορρέουν από τα προηγούμενα οξείδια του σιδήρου. Παρατηρούμε εμφανίσεις που είναι είτε κόκκινες (ερυθρές) είτε καστανόχρωμες, οι οποίες οφείλονται κυρίως στην παρουσία του αιματίτη. Επίσης υπάρχουν οι κίτρινοι βωξίτες που ο χρωματισμός τους οφείλεται στον γκαιτίτη. Οι γκρίζοι βωξίτες αποδίδουν τον χρωματισμό τους στην ελάχιστη αναλογία (2-5%) οξειδίου του Fe. Τέλος μπορεί να εμφανιστούν με ποικιλία χρωμάτων εξαιτίας της δευτερογενούς αλλοίωσης κάποιων ορυκτών συστατικών (π.χ. σταχτοπράσινη απόχρωση εξαιτίας του περιεχόμενου μαρκασίτη (FeS_2)).

Τα αργιλοπυριτικά ορυκτά στους βωξίτες είναι ο καολινίτης ($(Al_2(OH)_4Si_2O_5$ αλλά και $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) και ο αλοϋσίτης ($Al_2(OH)_4Si_2O_5$ είτε $Al_2O_3 \cdot 2SiO_4 \cdot 4H_2O$). Η διαφοροποίησή τους ορίζεται από την ποσότητα του

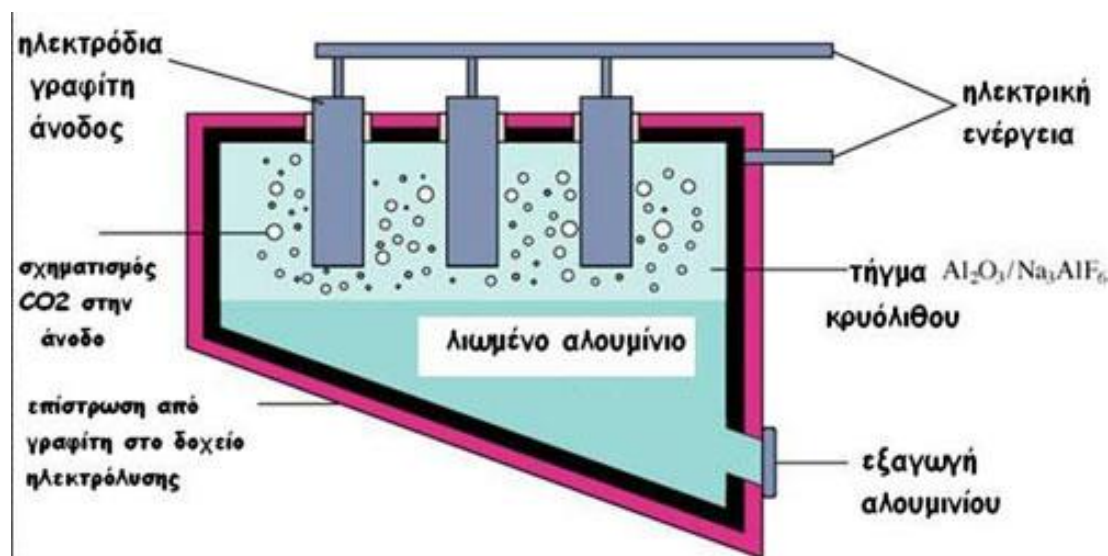
κρυσταλλικού νερού και το κρυσταλλικό σύστημα. Με αυτές τις δύο ορυκτολογικές συνθέσεις εμφανίζεται το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), σπανίως σε μορφή χαλαζία ή οπαλίου. Άλλα ορυκτά που έχουν παρατηρηθεί στους ελληνικούς βωξίτες είναι ο μαγνητίτης, ο χρωμίτης, το ρουτίλιο, το κορούνδιο, ο βιοτίτης, ο σταυρόλιθος (μεταμορφωμένοι βωξίτες της Νάξου), ο μοσχοβίτης, το ζirkόνιο και άλλα. Σε γεωχημικό επίπεδο, παρατηρείται επίσης η παρουσία πολλών στοιχείων και ιχνοστοιχείων όπως το χρώμιο, το νικέλιο, το γάλλιο, το γερμάνιο, το ουράνιο, το βανάδιο, ο φώσφορος και οι σπάνιες γαίες. Στους ελληνικούς βωξίτες, η περιεκτικότητα γαλλίου κυμαίνεται από 50 έως 150 ppm.

Στη σύγχρονη εποχή, για την παραγωγή άνυδρης αλουμίνας, κυριαρχεί η μέθοδος Bayer (Εικ.2), η οποία αξιοποιεί διάφορες ποικιλίες βωξίτη ως αρχικό υλικό. Η εν λόγω μέθοδος αναπτύχθηκε από τον αυστριακό χημικό Karl Josef Bayer το 1889. Ο βωξίτης υφίσταται μηχανική διαμόρφωση και εισέρχεται σε δοχείο μαζί με πυκνό διάλυμα NaOH κάτω από υψηλή πίεση και περίπου 150°C θερμοκρασία. Τα αργιλικά ορυκτά διαλύονται, ενώ τα υδροξείδια του σιδήρου σε μορφή ερυθράς ιλύος απομακρύνονται και απορρίπτονται. Στη συνέχεια, το διάλυμα ψύχεται και το καθαρό υδροξείδιο του αργιλίου καταβυθίζεται. Το στερεό υπόλειμμα υποβάλλεται σε υψηλή θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να μετατραπεί σε οξείδιο του αργιλίου.



Εικόνα 2. Η μέθοδος Bayer (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aluminum-production-greek.png?uselang=el>)

Για την παραλαβή του μετάλλου του αργιλίου από την αλουμίνα χρησιμοποιείται η ηλεκτρολυτική μέθοδος Hall-Heroult (Εικ.3). Ανακαλύφθηκε το 1886 από τον αμερικανό χημικό Charles Martin Hall και τον γάλλο εφευρέτη Paul Heroult. Στη συγκεκριμένη μέθοδο, η αλουμίνα εισέρχεται σε εκτεταμένες λεκάνες όπου υποβάλλεται σε επεξεργασία θέρμανσης μέχρι την τήξη. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία τήξης είναι υψηλή, προστίθεται περίπου 40% κρύολιθος για να μειωθεί η θερμοκρασία τήξης. Το λείωμα υφίσταται ηλεκτρολυτική διάσπαση, με τα τοιχώματα των λεκανών να λειτουργούν ως άνοδος και το ηλεκτρόδιο από άνθρακα ως κάθοδος. Στο ηλεκτρόδιο αποτίθενται φθόριο και οξυγόνο, τα οποία, μέσω της καύσης του άνθρακα, συνεισφέρουν στη διατήρηση της υψηλής θερμοκρασίας. Το φθόριο συλλέγεται μέσω ειδικών σωληνώσεων στο κάλυμμα των λεκανών και ανακυκλώνεται. Το αργίλιο που παράγεται είναι υγρό, συλλέγεται από τις λεκάνες και υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενη διαδικασία εμπλουτισμού μέσω ηλεκτρολυτικής διάσπασης, επιτυγχάνοντας ποσοστό καθαρότητας 99%. Τέλος, ρέει σε ειδικά καλούπια και αποκτά τη μορφή ενός κυλίνδρου.



Εικόνα 3. Η μέθοδος Hall-Heroult

(<http://users.sch.gr/xbalasi/electrochem/sect04/page4413.html>)

1.3 Χρήσεις

Υπάρχουν πολλές βιομηχανικές διαδικασίες που βασίζονται στον βωξίτη για την απόκτηση πολύτιμων προϊόντων. Ο βωξίτης αποτελεί τον κύριο παράγοντα (περίπου 85% του συνόλου του βωξίτη που παράγεται) για την παραγωγή αλουμίνας, με το

τελικό προϊόν να είναι το αλουμίνιο (Εικ.4). Τα βωξιτικά κοιτάσματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αλουμίνας μπορεί να είναι τύπου γκιψίτη ή τύπου διασπόρου/βαιμίτη, και για τον λόγο αυτό απαιτούνται ειδικές συνθήκες για την θραύση και τη διάλυσή τους. Παρ' όλα αυτά, η επεξεργασία τους είναι οικονομικά αποδοτική χάρη στη μέθοδο Bayer.



Εικόνα 4. Κολώνες αλουμινίου

(<https://www.chemistryworld.com/podcasts/aluminium/3005685.article>)

Ο βωξίτης αποτελεί ένα από τα κύρια συστατικά για την κατασκευή αλουμινούχων τσιμέντων, εξαιτίας της χονδρόκοκκης μορφής του, της ανθεκτικότητάς του στο βάρος και της υψηλής θερμικής αντοχής. Τα αλουμινούχα τσιμέντα, από το αρχικό τους στάδιο, αναπτύσσουν υψηλή αντοχή, καθώς μόλις μετά από 24 ώρες από την χύτευσή τους επιτρέπουν την αφαίρεση των δομικών στηριγμάτων και τη συνέχεια της κατασκευής. Διαθέτουν πυρίμαχες ιδιότητες, αντέχουν σε οξέα και προσφέρουν εξαιρετική ανθεκτικότητα σε θειικά, έντονα χημικά και λειαντικά περιβάλλοντα. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται σε σκυρόδεμα με

πυρίμαχες ιδιότητες, όπου συνδυάζουν το πλεονέκτημα της χύτευσης σε πολύπλοκες μορφές σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος με απόδοση σε θερμοκρασίες $>1600^{\circ}\text{C}$.

Επιπλέον, ο βωξίτης περιέχει μεγάλες ποσότητες οξειδίου του αργιλίου, το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ορυκτών ινών. Οι ορυκτές ίνες με υψηλά ποσοστά αλουμίνας παρουσιάζουν βελτιωμένη δυνατότητα βιοδιάλυσης και καλύτερες πυρίμαχες ιδιότητες. Για να παραχθούν ορυκτές ίνες, χρησιμοποιείται ο χονδροκόκκος βωξίτης που διακρίνεται για την υψηλή αντοχή του στο βάρος και την καταπόνηση.

Για την παραγωγή ειδικών τσιμέντων τύπου Portland, χρησιμοποιείται ένας ιδιαίτερος, σκληρός βωξίτης, συνήθως διασπορικού τύπου. Μέσω τήξης σε εξειδικευμένους καμίνους, μαζί με κωκ και ασβεστόλιθο, μετασχηματίζεται σε αργλική τηκτή κονία που λειτουργεί ως τσιμέντο για γρήγορη πήξη. Ο βωξίτης παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα που κάνουν ευνοϊκή τη χρήση του στα τσιμέντα τύπου Portland, όπως η υψηλή περιεκτικότητα του σε οξείδιο του αργιλίου, η μικρή ποσότητα πυριτίου και ιχνοστοιχείων, η αυξημένη περιεκτικότητα σε Fe_2O_3 , καθώς και η μικρή περιεκτικότητα σε αλκάλια και MgO .

Επιπροσθέτως, ο βωξίτης λειτουργεί ως ρυθμιστής της σκωρίας στην παραγωγή σιδήρου. Χρησιμοποιείται ως υγρό υλικό στην υψικάμινο, παρέχοντας αξιοσημείωτα λειτουργικά πλεονεκτήματα. Συνεισφέρει στη μείωση του λειτουργικού κόστους της υψικάμινου και βελτιώνει τις υδραυλικές ιδιότητες της κοκκοποιημένης σκωρίας, η οποία χρησιμοποιείται για την δημιουργία τσιμέντου σκωρίας.

Μια εναλλακτική χρήση του βωξίτη εμφανίζεται στην παραγωγή λειαντικών και στη χημική βιομηχανία. Για την παραγωγή συνθετικού κορουνδίου χρησιμοποιείται βωξίτης διασπορικός ή βαιμιτικός με ελάχιστη συγκέντρωση σε ασβέστιο ($<0,5\%$) και με μέτρια περιεκτικότητα σε πυρίτιο, ενώ στη χημική βιομηχανία χρησιμεύει ο λευκός βωξίτης με σίδηρο γύρω στο 3%. Τέλος, άλλες εφαρμογές του βωξίτη περιλαμβάνουν την παραγωγή ανθεκτικών στη φωτιά υλικών (υψηλή περιεκτικότητα σε αργίλιο και χαμηλή σε σίδηρο, ασβέστιο), την επικάλυψη οδοστρωμάτων, διαδρόμων αεροδρομίων, τη μεταλλουργία του σιδήρου, την παραγωγή γαιών διηθήσεως σε καταλύτες καύσης πετρελαίου και τα λιπάσματα (flux).

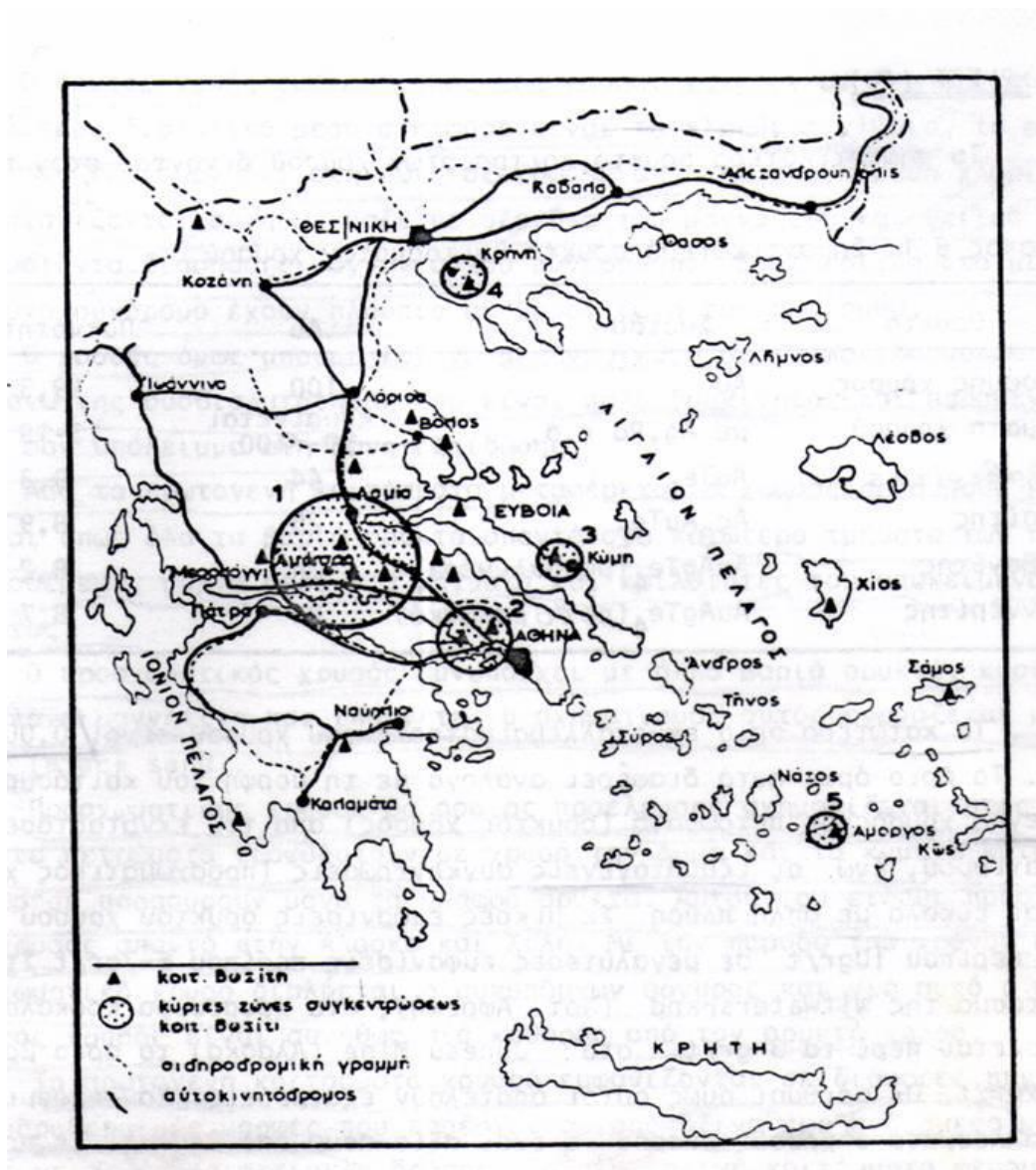
Λόγω των πολλών χρήσεων του ο βωξίτης συναντά μια πληθώρα από υποκατάστατα προϊόντα. Τα ανταγωνιστικά προϊόντα στα αποξεστικά (λειαντικά)

είναι το ανθρακοπυρίτιο, ο άστριος, ο γρανάτης, τα διαμάντια, ο διατομίτης, ο ιλμενίτης, η κίσηρη, το κορούνδιο/σφυρίδα, ο μαγνητίτης, ο νεφελινικός συηνίτης, ο ολιβίνης, ο περλίτης, η πυριτική άμμος και ο σταυρόλιθος. Στα επιβραδυντικά φωτιάς χρησιμοποιείται ο βερμικουλίτης, τα βορικά, το βρώμιο, ο διατομίτης, η κίσηρη, ο μαγνησίτης, ο περλίτης, τα φωσφορικά, ο χρωμίτης και το Sb_2O_3 . Στα ξηραντικά αντικαθίσταται από την άργιλο, τη γύψο, τον ενεργοποιημένο άνθρακα, τον ενεργό ασβέστη, τον ζεόλιθο, την πυριτική πηκτή και τα $CaSO_4$, $CaCl_2$, $LiCl$, $LiBr$. Για πηγή Al_2O_3 υπάρχει η άργιλος, ο αλουνίτης και ο ανορθωσίτης. Στα πληρωτικά ο βωξίτης αντικαθίσταται από άστριο, βαρύτη, βολαστονίτη, διατομίτη, καολίνη, μαρμαρυγία, μικροκρυσταλλική πυριτία, νεφελινικό συηνίτη, περλίτη, τάλκη και $CaCO_3$. Στον κλάδο των πυρίμαχων υποκατάστατα είναι ο ανδαλουσίτης, ο γραφίτης, ο δολομίτης, το ζirkόνιο, ο κυανίτης, ο μαγνησίτης, ο ολιβίνης, οι πυρίμαχοι άργιλοι, η πυριτία, ο πυροφυλλίτης, ο σιλιμανίτης και ο χρωμίτης. Τέλος στα σφαιρίδια ριπής υποκατάστατα είναι οι πυροεπεξεργασμένοι άργιλοι, ο βαρύτης, ο βερμικουλίτης, ο βολαστονίτης, ο γρανάτης, ο γραφίτης, η γύψος, το ζirkόνιο, η κίσηρη και η πυριτική άμμος (Τσιραμπίδης 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 Γεωλογία, κοιτασματολογία και συνθήκες γένεσης του βωξίτη στην Ελλάδα

Ο βωξίτης στην Ελλάδα βρίσκεται σε τρεις γεωλογικές ζώνες οι οποίες είναι η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, η ζώνη Ανατολικής Ελλάδας (Πελαγονική και Υποπελαγονική) και ο λοιπός ελλαδικός χώρος (Εικ.5).



Εικόνα 5. Εμφάνιση των βωξιτικών κοιτασμάτων στην Ελλάδα (Πηγή: Βαβελίδης Μ. «Κοιτασματολογία Μεταλλευμάτων»).

Στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας παρατηρούνται τρεις βωξιτικοί ορίζοντες, με τον πρώτο να ανήκει στο Μεσοζωικό έως Άνω Ιουρασικό, με παρουσία του Cladocoropsis, τον δεύτερο να ανήκει στο Άνω Ιουρασικό με Nerinea έως Κάτω Κρητιδικό, και τον τρίτο να ανήκει στο Κενομάνιο έως Τουρώνιο. Ο τρίτος ορίζοντας είναι και ο μεγαλύτερος σε ποσότητα κοιτάσματος. Σε ορισμένες θέσεις μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου ορίζοντα (σε απόσταση 100μ από τον τρίτο) ανιχνεύεται η παρουσία του ενδιάμεσου ορίζοντα. Από τους τρεις ορίζοντες, ο δεύτερος και ο τρίτος είναι υπό εκμετάλλευση.

Στη ζώνη Ανατολικής Ελλάδας (Πελαγονική και Υποπελαγονική) υπάρχουν δύο ορίζοντες που είναι ο πρώτος βωξιτικός ορίζοντας ηλικίας Α.Ιουρασικού ως Κ.Κρητιδικού (όπως ο παλαιότερος στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας) και ο δεύτερος βωξιτικός ορίζοντας με ηλικία Τριαδικού-Κενομανίου. Στην εν λόγω ζώνη εμπίπτουν τα κοιτάσματα του Καλλιδρόμου, της Λοκρίδας, του Δομοκού, της νοτιοανατολικής Θεσσαλίας, της περιοχής Μάνδρας-Ελευσίνας, της βορείας και κεντρικής Εύβοιας, καθώς και της Σκοπέλου.

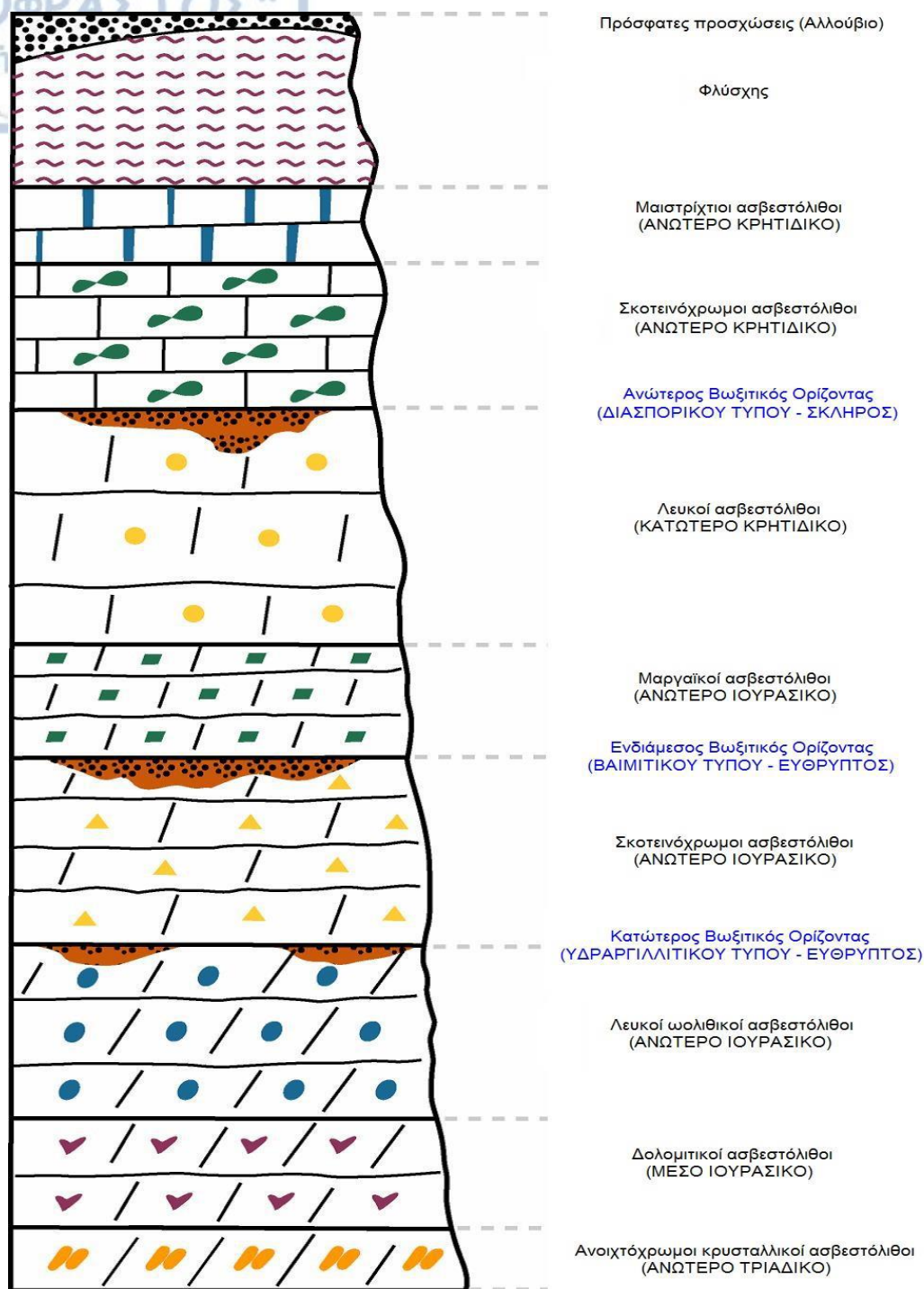
Σε άλλες περιοχές της Ελλάδας εντοπίζονται κοιτάσματα που οφείλονται κυρίως σε τεκτονικά φαινόμενα. Αυτά περιλαμβάνουν το όρος Κατσίκια στη Χαλκιδική, το νότιο τμήμα της Χίου, τη Ναύπακτο-Πύλο και την ανατολική Πελοπόννησο (όρη Αρτεμίσιο και Παρθένιο), καθώς και το Βροντερό στην περιοχή των Πρεσπών. Τα περισσότερα από αυτά τα κοιτάσματα εντοπίζονται μέσα σε ασβεστόλιθους στην κάθε περιοχή.

Η ονομασία της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας προέρχεται από τα αντίστοιχα βουνά του Παρνασσού και της Γκιώνας στη Στερεά Ελλάδα, τα οποία σχηματίζουν αυτή την περιοχή. Η περιοχή αυτή αναγνωρίζεται στο δυαδικό σύστημα των εναλλασσόμενων αυλάκων και ράχων ως ένα τοπικά παρεμβαλλόμενο ύβωμα ανάμεσα στην κατωφέρεια της Υποπελαγονικής και την αυλάκα της Πίνδου. Αυτή η συγκεκριμένη περιοχή περιορίζεται στην κεντρική Ελλάδα.

Στη Στερεά Ελλάδα, η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας δεν παρουσιάζει το χαρακτηριστικό προαλπικό υπόβαθρο. Δεν υπάρχουν πυριγενή πετρώματα στην περιοχή αυτή. Η αλπική ιζηματογένεση που επικρατεί είναι ασβεστολιθική, με καθαρά νηριτικά χαρακτηριστικά, από την οποία συνάγεται η παλαιογραφική θέση της περιοχής ως ύβωμα. Η ασβεστολιθική σειρά εκτιμάται ότι έχει συνολικό πάχος

1800 μέτρα. Ο λευκός δολομίτης αποτελεί το πρώτο αλπικό ίζημα που ανοδικά εξελίσσεται σε τεφρό, εναλλασσόμενος με λεπτές ενστρώσεις ασβεστόλιθων. Η σειρά συνεχίζεται με παχυστρωματώδη τεφρό ασβεστόλιθο της άνω τριαδικής περιόδου. Στη συνέχεια ακολουθεί ασβεστόλιθος με σκούρο χρώμα από την κάτω ιουρασική περίοδο, και έπειτα ασβεστόλιθοι ωολιθικοί της άνω ιουρασικής εποχής. Ο πρώτος και χαμηλότερος βωξιτικός ορίζοντας βρίσκεται επάνω στους ωολιθικούς ασβεστόλιθους και καλύπτεται από σκούρου χρώματος ασβεστόλιθους του κιμμεριδίου (άνω ιουρασική περίοδος). Ο δεύτερος και μεσαίος βωξιτικός ορίζοντας τοποθετείται πάνω από τον ασβεστόλιθο του κιμμεριδίου και καλύπτεται από ασβεστόλιθους της τιθωνικής περιόδου (άνω ιουρασική περίοδος) - κενομανικής περιόδου (μεσοκρητιδική εποχή). Οι τελευταίοι ασβεστόλιθοι αποκαλούνται "ενδιάμεσοι" επειδή βρίσκονται ανάμεσα σε δύο βωξιτικούς ορίζοντες (τον δεύτερο και τον τρίτο) και είναι κυρίως λευκοί ή τεφροί. Ο τρίτος βωξιτικός ορίζοντας είναι ο ανώτερος και καλύπτεται από μαύρους και ρουδιστοφόρους ασβεστόλιθους της τουρωνικής περιόδου (μεσοκρητιδική εποχή). Στο τέλος της αποτίθεται ο φλύσχης της παλαιοκαινικής-μεσοηκαινικής εποχής, ο οποίος στις κατώτερες στρώσεις είναι ασβεστομαργαϊκός και εξελίσσεται σε ψαμμιτοπηλικό και κροκαλοπαγή. Υπάρχουν επίσης οι λεγόμενοι δευτερεύοντες βωξιτικοί ορίζοντες που δεν έχουν κάποιο σημαντικό ρόλο (Εικ.6).

Η ορυκτολογική σύνθεση των βωξιτών στη ζώνη των ορέων Παρνασσού-Γκιώνας είναι ως εξής: 10-30% βαιμίτης, 20-50% διάσπορο, 20-25% αιματίτης, 1-5% ασβεσίτης, 1-2% χαλαζίας, 1-5% καολινίτης και 0,5-2% ανατάσης (Τσιραμπίδης, Φιλιππίδης 2013). Ο ελληνικός βωξίτης είναι καλής ποιότητας μέταλλευμα. Συγκεκριμένα, περιέχει 56-60% Al_2O_3 , 2-4% SiO_2 και 0,5-1.5% CaO . Επιπλέον, το έντονο ανάγλυφο των περιοχών όπου βρίσκεται επιτρέπει την πρόσβαση σε πολλαπλά επίπεδα, κάνοντας την εξόρυξή του πιο εφικτή. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια αρνητικά στοιχεία, όπως ο έντονος τεκτονισμός της περιοχής, οι διακυμάνσεις στο μέγεθος των φακών και οι απότομες κλίσεις, που δυσκολεύουν τη διαδικασία εξόρυξης και απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό. Ακόμα, η υψηλή σκληρότητά του δυσκολεύει την επεξεργασία του.



Εικόνα 6. Στρωματογραφία ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας

(http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf_theory/boxites.pdf)

Ο βωξίτης μπορεί να προέρχεται είτε από λατεριτικό αλλόχθονο σχηματισμό (όπως στην Ελλάδα), είτε από αυτόχθονο σχηματισμό (όπως σε ορισμένες χώρες της τροπικής ζώνης). Για τους ελληνικούς βωξίτες, οι θέσεις απόθεσης των μεταφερόμενων λατεριτικών υλικών βρίσκονται σε διαβρωσιγενή καρστικά έγκοιλα

μέσα σε ανθρακικά πετρώματα. Η γεωμετρική κατανομή αυτών των έγκοιλων είναι συνάρτηση του τεκτονισμού της περιοχής, μια θεωρία που μπορεί να εξηγήσει τη γραμμική διάταξη ορισμένων εμφανίσεων βωξίτη, όπως και το γεγονός ότι ορισμένα καρστικά έγκοιλα με βωξίτη έχουν μια επιμήκη μορφή.

Τα βωξιτικά κοιτάσματα μπορούν να εμφανιστούν με διάφορες μορφές. Τα καλύμματα αποτελούν οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια κοιτάσματα, που καλύπτονται από λεπτά υπερκείμενα υλικά. Έχουν μεγάλη έκταση που μπορεί να φτάνει αρκετά χιλιόμετρα, ενώ το πάχος τους κυμαίνεται από ένα έως είκοσι μέτρα. Μια διαφορετική μορφή κοιτασμάτων παρουσιάζεται κυρίως σε καρστικά έγκοιλα και είναι οι θύλακες και ακανόνιστα σχήματα. Το πάχος τους παίρνει τιμές από περίπου ένα μέτρο έως τριάντα μέτρα. Επιπλέον, υπάρχουν τα στρώματα ή φακοί που σχηματίζονται σε ιζηματογενείς ή ηφαιστειογενείς ακολουθίες. Η ιδιότητά τους είναι ότι πιο νέα ιζήματα όπως ασβεστόλιθοι ή ηφαιστειακά καλύπτουν τα στρώματα βωξίτη. Εξαιτίας της διαδικασίας ενταφιασμού, εμφανίζουν μεγαλύτερο επίπεδο σκληρότητας. Γίνεται αναφορά τέλος στα κοιτάσματα που προκύπτουν από τη διάβρωση άλλων κοιτασμάτων βωξίτη, όπου συσσωρεύεται διαβρωμένο βωξιτικό υλικό από άλλες περιοχές (Χρηστίδης 2009).

Η επιλογή τοποθεσίας για την εξόρυξη του βωξίτη εξαρτάται σχεδόν πλήρως από την ποσότητα του αποθέματος. Για να διαλεχθεί ένα τέτοιο σημείο, πρέπει να υπάρχει επαρκής χώρος για την κατασκευή δρόμων και την τοποθέτηση εγκαταστάσεων επεξεργασίας πλησίον του κοιτάσματος. Το κοιτάσμα πρέπει να είναι καλής ποιότητας και εύκολα προσβάσιμο. Οι τρόποι εξόρυξης είναι δύο, η επιφανειακή και η υπόγεια εξόρυξη. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της μεθόδου είναι οικονομικοί, τεχνολογικοί, κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί. Πριν το σχεδιασμό εξετάζεται το πάχος των υπερκείμενων ασβεστόλιθων, η μηχανική αντοχή των πετρωμάτων, η ποιότητα του βωξίτη, η αποληψιμότητα του αποθέματος, η επίδραση στο περιβάλλον και η αξιοποίηση υπαρχόντων εγκαταστάσεων και δρόμων. Τον τελευταίο καιρό η ευαισθητοποίηση σε θέματα προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος και η προώθηση της αρχής της βιώσιμης ανάπτυξης έχει δημιουργήσει ένα κλίμα αποφυγής των επιφανειακών εξορύξεων.

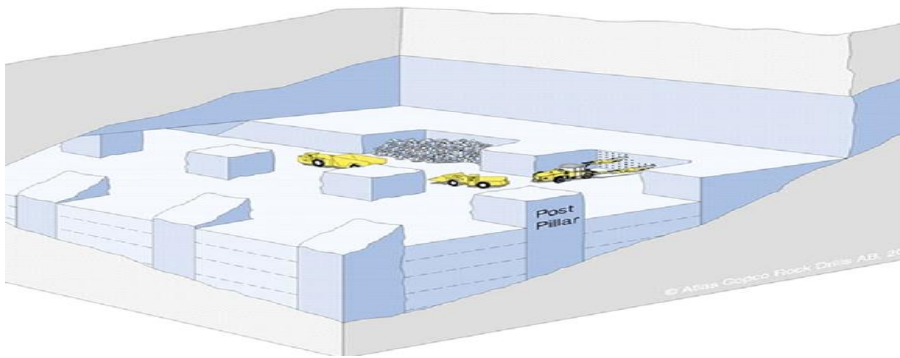
Εντοπίζονται 3 βασικοί τύποι επιφανειακών εκμεταλλεύσεων οι οποίοι είναι: α) η επιφανειακή εξόρυξη των κοιτασμάτων ανά λωρίδες (για γαιάνθρακες), β) η

επιφανειακή εξόρυξη σε βαθμίδες (κοιτάσματα μεγάλου οριζόντιου μήκους) και γ) επιφανειακή εξόρυξη σε κλειστές ή ανοιχτές βαθμίδες. Η τελευταία είναι η μέθοδος που βρίσκει εφαρμογή στην εξόρυξη βωξίτη. Η διαμόρφωση του λατομείου είναι ανάλογη των γεωμορφολογικών συνθηκών και των ειδικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος. Η εκμετάλλευση μπορεί να γίνεται είτε με τη βοήθεια εκρηκτικών είτε με μηχανικά μέσα (σε περίπτωση μη ανθεκτικού κοιτάσματος). Το ύψος των τοίχων του λατομείου κυμαίνεται μεταξύ 3-8 μέτρων, ενώ το πλάτος τους είναι περίπου 6 μέτρα. Τα πλεονεκτήματα της επιφανειακής εκμετάλλευσης είναι ο υψηλός συντελεστής απόληψης με ελάχιστη πρόσμιξη, το χαμηλό κόστος εξόρυξης, η μεγαλύτερη εργασιακή ασφάλεια, η ευκολότερη διαχείριση των μηχανημάτων και του προσωπικού, ο καλύτερος γεωλογικός έλεγχος του κοιτάσματος και η χρήση μεγαλύτερων μηχανημάτων. Τα μειονεκτήματα της υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι η επιρροή από τα καιρικά φαινόμενα, ο φωτισμός, η οξείδωση μεταλλεύματος λόγω της ατμόσφαιρας και τέλος το μεγάλο αρνητικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα που δημιουργείται.

Η υπόγεια τεχνική εξόρυξης εφαρμόζεται σε κοιτάσματα που βρίσκονται βαθιά στη γη. Η προσέγγιση πραγματοποιείται μέσω της δημιουργίας υπόγειων περιοχών προσπέλασης, χωρίς να απαιτείται η μετακίνηση των υπερκείμενων πετρωμάτων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μείωση των λειτουργικών εξόδων και η ελάχιστη επίδραση στο φυσικό τοπίο. Στην ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, η εξόρυξη βωξίτη γίνεται μόνο με τη χρήση υπόγειων μεθόδων λόγω των πιέσεων που δέχεται από την τοπική κοινότητα για προστασία του φυσικού περιβάλλοντος αλλά και λόγω εξάντλησης των επιφανειακών αποθεμάτων. Στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις διακρίνονται 3 στάδια: α)η προσπέλαση, δηλαδή η διάνοιξη δρόμων για εύκολη πρόσβαση στο κοιτάσμα, β)η περιχάραξη, δηλαδή η χαρτογράφηση των ορίων ανάπτυξης του κοιτάσματος με σκοπό τη τοποθέτηση υποστηρικτών έργων και άλλων μέσων για ασφαλή εργασία και βέλτιστη απόληψη και γ) η εξόφληση, δηλαδή η εκμετάλλευση του κοιτάσματος που αν κριθεί αναγκαίο πραγματοποιείται λιθογόμωση των στοών μετά την απόληψη.

Η υπόγεια μέθοδος εκμετάλλευσης μπορεί να υλοποιηθεί με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη προσέγγιση περιλαμβάνει ανοίγματα χωρίς την ανάγκη για επιπλέον υποστήριξη, ενώ η δεύτερη προσέγγιση απαιτεί πρόσθετη υποστήριξη στα

πλάγια ή ακόμα και στην οροφή. Στην περιοχή της Γκιώνας, χρησιμοποιείται η μέθοδος των θαλάμων και στύλων (Εικ.7). Σε αυτήν τη μέθοδο, ο χώρος που δημιουργείται από τις ανασκαφές παραμένει ανοικτός χάρη στη φυσική υποστήριξη που παρέχεται από το ίδιο το πέτρωμα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η μείωση του κινδύνου καθίζησης ή ρηγματώσεων του εδάφους, καθώς υπάρχει υποστήριξη από το ίδιο το κοίτασμα. Ωστόσο, οι στύλοι που απαιτούνται για την υποστήριξη της οροφής προέρχονται από το κοίτασμα, προκαλώντας την αδυναμία εξόρυξης ολόκληρου του κοιτάσματος. Τα βασικά κριτήρια που πρέπει να πληρούνται για την επιτυχημένη εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι: α) κοιτάσματα με μικρή κλίση, β) πάχος του βωξίτη περίπου 10 μέτρα, γ) μέτριος τεκτονισμός και δ) ικανοποιητική αντοχή του βωξίτη και των υπερκείμενων ασβεστόλιθων.



Εικόνα 7. Υπόγεια μέθοδος θαλάμων και στύλων (<https://www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/ypogeies-ekmetalleyseis/ypogeies-ekmetalleyseis-ellinikon-boxitikon-koitasmaton>).

Η υπόγεια μέθοδος εκμετάλλευσης διαδοχικών οροφών με κατακρήμνιση οροφής είναι μια ακόμη μέθοδος που εφαρμόζεται στη Γκιώνα. Συνήθως επιλέγεται για την εξόρυξη στον δεύτερο βωξιτικό ορίζοντα. Κύριοι παράγοντες για την επιλογή αυτής της μεθόδου περιλαμβάνουν: α) η απότομη κλίση του κοιτάσματος (πάνω από 60°), β) ο μέτριος τεκτονισμός στην περιοχή του κοιτάσματος, γ) η μειωμένη αντοχή του μεταλλεύματος και των υπερκείμενων ασβεστόλιθων, και δ) οι ομαλές παρυφές του κοιτάσματος και η ικανοποιητική διάσπαση του μεταλλεύματος από αυτές. Η εξόρυξη επιτυγχάνεται μέσα σε ορόφους και η απώληση φθάνει το 70%. Αυτή η μέθοδος έχει μικρό κόστος και δεν απαιτεί σημαντικές προπαρασκευαστικές εργασίες. Το μειονέκτημά είναι η μόλυνση του βωξίτη με στείρα υλικά λόγω κατακρήμνισης.

Οι μεταλλευτικές παραχωρήσεις στο νομό Φωκίδας αποτελούν σήμερα ιδιοκτησία τριών εταιρειών: α) IMERYS ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ ΑΕ, β) ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ και γ) ΕΛΜΙΝ ΑΕ. Η IMERYS Βιομηχανικά Ορυκτά εξαγόρασε το 2014 την S&B Βιομηχανικά Ορυκτά. Η IMERYS στην Ελλάδα έχει εξαγωγικό προσανατολισμό και κατεργάζεται τέσσερα είδη βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων (μπεντονίτη, περλίτη, βωξίτη και ανθρακικό ασβέστιο). Μέσω της εξαγοράς της Kerneos, η IMERYS διαθέτει την ΕΛΜΙΝ ΑΕ, μια εταιρεία που ειδικεύεται στην εξόρυξη και εμπορία βωξίτη στην κεντρική Ελλάδα. Η Kerneos είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός βωξίτη στην Ευρώπη και εξάγει περίπου το 45% της παραγωγής της σε Ευρώπη, Αφρική και Αμερική. Η ΕΛΜΙΝ ΑΕ διαθέτει 108 ιδιόκτητες και ενοικιαζόμενες άδειες σε ολόκληρη την κεντρική Ελλάδα και την Αττική, συμπεριλαμβανομένων της Βοιωτίας, της Φθιώτιδας, της Φωκίδας και της Εύβοιας.

Η ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟΝ ΑΜΕ, μια εταιρεία θυγατρική της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ, αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους παραγωγούς βωξίτη στην Ελλάδα και στην Ευρώπη γενικότερα, με περίπου 100 εργαζομένους. Η εταιρεία έχει την έδρα της στην Αθήνα, ενώ η Τεχνική Διεύθυνση επίβλεψης της παραγωγικής και ερευνητικής δραστηριότητας εδρεύει στο νομό Φωκίδας. Η Τεχνική Διεύθυνση περιλαμβάνει τις υπηρεσίες υγείας, ασφάλειας και αποκατάστασης των εκτάσεων που έχουν υποστεί υποβάθμιση από τη εξορυκτική δραστηριότητα. Οι δείκτες συχνότητας και σοβαρότητας της εταιρείας ανήκουν στους χαμηλότερους στον τομέα των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων. Επιπλέον, η εταιρεία εφαρμόζει Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης πιστοποιημένο με το πρότυπο ISO 14001:2004, καθώς και Σύστημα Διαχείρισης Υγείας και Ασφάλειας στην εργασία πιστοποιημένο με το OHSAS 18001:2007.

Το 1960 ιδρύθηκε η εταιρεία "Αλουμίνιον της Ελλάδος" και είχε στόχο να εκμεταλλευτεί τα πλούσια κοιτάσματα βωξίτη στη Στερεά Ελλάδα και να παράγει αλουμίνα και αλουμίνιο. Το 2003 αποκτήθηκε από τον όμιλο ALCAN (σήμερα RIO TINTO ALCAN) και το 2005 η "Αλουμίνιον της Ελλάδος" έγινε κομμάτι του ομίλου ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ. Σήμερα συγκροτεί την πιο ουσιώδη καθετοποιημένη μονάδα παραγωγής και εμπορίας αλουμίνας και αλουμινίου στην Ευρώπη. Η εταιρεία που εφοδιάζει την "Αλουμίνιον της Ελλάδος" με βωξίτη είναι σήμερα η "ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟΝ ΑΜΕ", με ετήσια παραγωγή της τάξης των 650,000 τόνων βωξίτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΩΞΙΤΗ ΚΑΙ ΑΛΟΥΜΙΝΑΣ

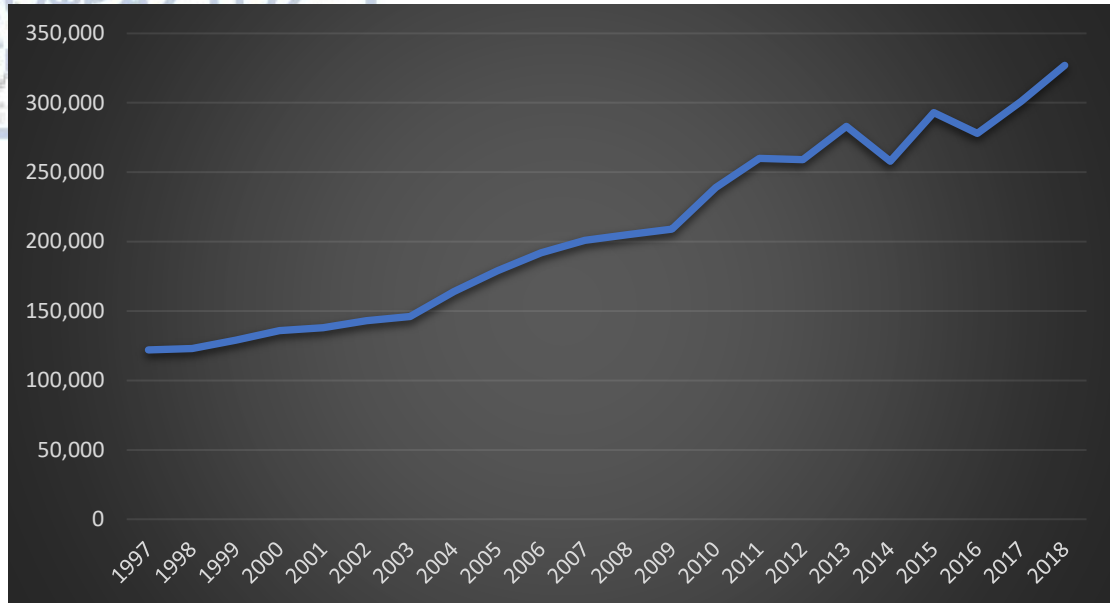
(Τα δεδομένα είναι από το USGS science for a changing world:

https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/bauxite-and-alumina-statistics-and-information?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)

3.1 Παγκόσμια παραγωγή βωξίτη

Οι παγκόσμιοι πόροι βωξίτη εκτιμάται ότι ανέρχονται σε 55-75 δισεκατομμύρια τόνους. Κοιτάσματα βωξίτη έχουν ανακαλυφθεί σε όλες τις 5 ηπείρους. Η Αφρική, η Αυστραλία και η Νότια Αμερική συνιστούν το 76% των παγκόσμιων αποθεμάτων βωξίτη. Το 18% ανήκει στην Ασία, ενώ το υπόλοιπο 6% αναλογεί στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Η Αυστραλία είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός βωξίτη, ακολουθούμενη από την Κίνα, τη Γουινέα, τη Βραζιλία, την Ινδία και την Τζαμάικα. Στη Καραϊβική τα κοιτάσματα βωξίτη βρίσκονται στη Τζαμάικα, στη νήσο Ισπανιόλα και στο Πουέρτο Ρίκο. Στη Μεσόγειο βρίσκονται στη Τουρκία, στην Ελλάδα, στη πρώην Γιουγκοσλαβία, στην Ουγγαρία και στη Γαλλία. Στα κεντρικά Ουράλια-Καζακστάν εντοπίζονται στη λεκάνη Μόσχας και στην Ουκρανία. Στη Κίνα υπάρχουν στη Τσάγκπου και Φούκιεν. Στην Αφρική είναι στην ασπίδα της Γουινέας. Στη Νότια Ασία υπάρχουν στην Ινδία και Μαλαισία και στην Αυστραλία στις περιοχές Γκόουβ και Ουέιπα.

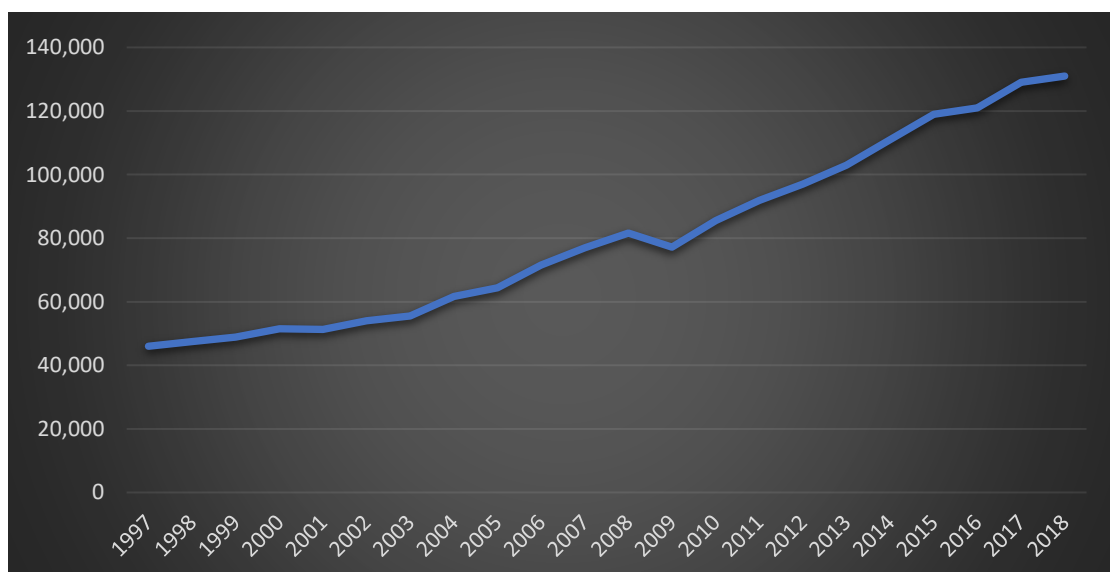
Η παγκόσμια παραγωγή βωξίτη (Διάγ.1) εμφανίζει αυξητικές τάσεις λόγω της αυξανόμενης ζήτησης του αλουμινίου για χρήση σε καινοτόμες και σύγχρονες βιομηχανικές εφαρμογές. Από το 1997 έως το 2013 η παραγωγή αυξάνεται σταδιακά από 122 σε 283 εκατομμύρια τόνους. Το 2014 μειώθηκε στους 258 εκ. τόνους. Την επόμενη χρονιά έφτασε τους 293 εκ. τόνους ετήσιας παραγωγής ενώ μειώθηκε το 2016 στους 278 εκ. τόνους. Από το 2017 και μετά η ετήσια παραγωγή αυξάνει και προσεγγίζει τους 320 εκ. τόνους.



Διάγραμμα 1. Παγκόσμια παραγωγή (χιλ. τόνοι) βωξίτη (<https://www.usgs.gov/>).

3.2 Παγκόσμια παραγωγή αλουμίνας

Η κορυφαία παραγωγική χώρα στο κλάδο της αλουμίνας είναι η Κίνα και ακολουθούν κατά σειρά η Αυστραλία και η Βραζιλία. Στη Κίνα οι πολιτικές μεταρρυθμίσεις και η χαμηλή τιμή ηλεκτρικής ενέργειας ευνοούν την εντατική στήριξη του τομέα παραγωγής αλουμίνας. Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η ετήσια παγκόσμια παραγωγή αλουμίνας για τα έτη 1997-2018.



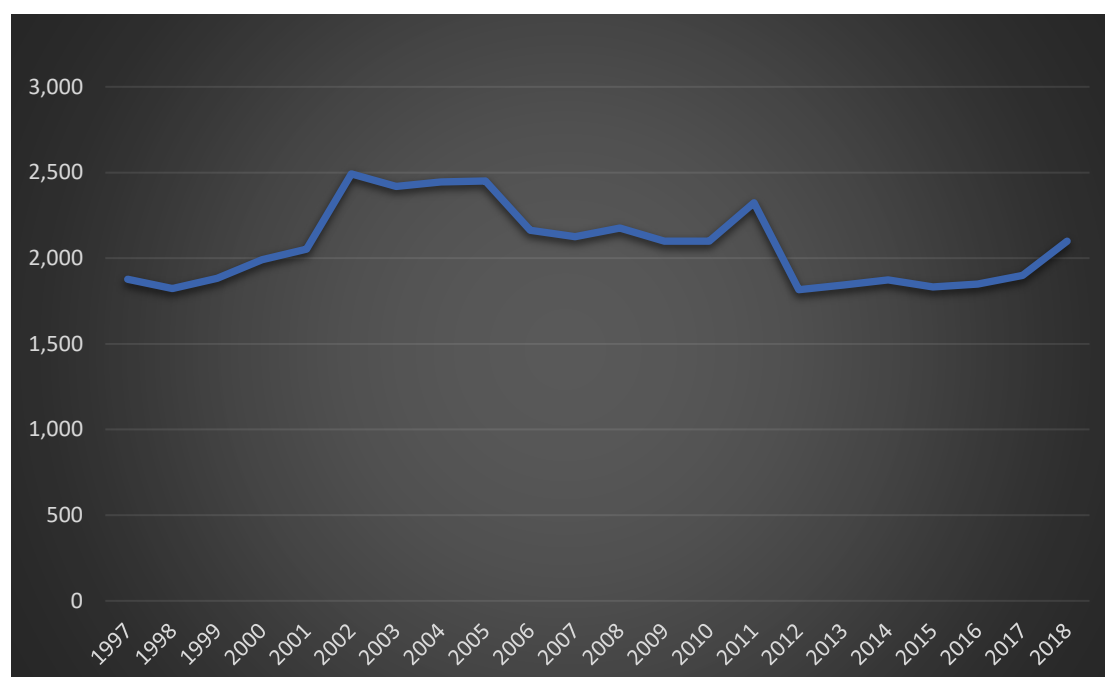
Διάγραμμα 2. Παγκόσμια παραγωγή (χιλ. τόνοι) αλουμίνας (<https://www.usgs.gov/>).

Παρατηρείται εκθετική αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής αλουμίνας. Το 1997 η παραγωγή ήταν μόλις 46 εκ. τόνοι ενώ μετά από 21 χρόνια έφτασε τους 131 εκ. τόνους ετησίως. Η μοναδική μείωση εμφανίστηκε το 2009 που από 81 έπεσε στους 77 εκ. τόνους.

3.3 Ελληνική παραγωγή βωξίτη

Η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση στην παραγωγή βωξίτη σε ευρωπαϊκό επίπεδο, με συνολικά αποθέματα που εκτιμώνται στους 250 εκατομμύρια τόνους (USGS 2018). Στην περιοχή του Παρνασσού, της Γκιώνας και της Ελικώνας εκτιμάται ότι υπάρχουν περίπου 100 εκατομμύρια τόνοι. Ως προς τα ενδεικτικά αποθέματα αλουμινίου, η Ελλάδα διαθέτει περίπου 2,5 εκατομμύρια τόνους (Τσιραμπίδης, Φιλιππίδης 2013).

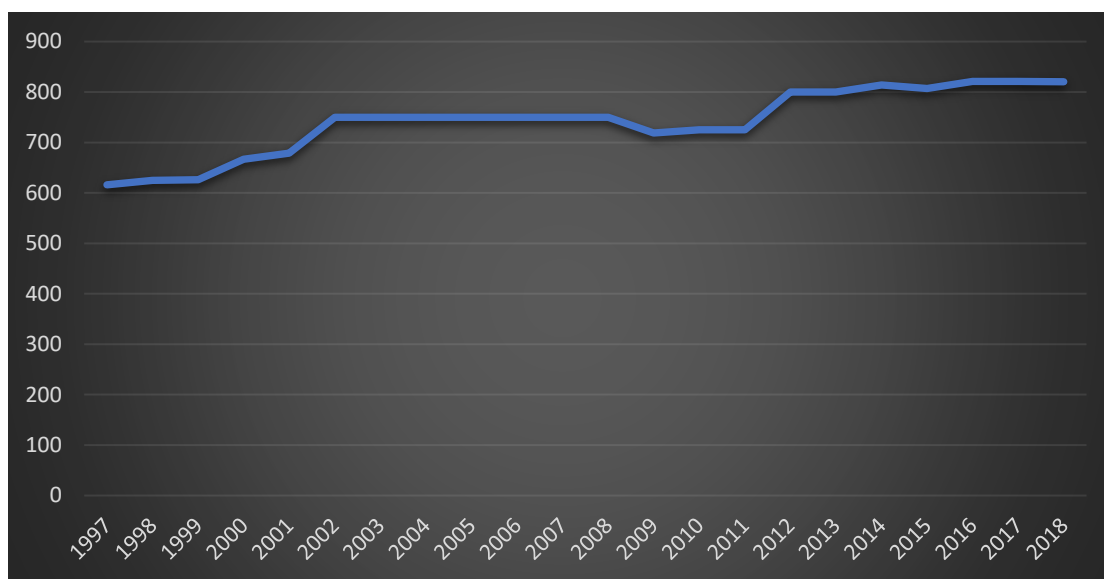
Στο διάγραμμα 3 φαίνεται η ετήσια ελληνική παραγωγή βωξίτη για τα έτη 1997-2018. Παρατηρείται μια σταδιακή ελαφριά μείωση στο τομέα αυτό. Το 2002 η παραγωγή έφτασε τους 2,5 εκ. τόνους περίπου και ήταν η υψηλότερη τιμή ετήσιας παραγωγής. Έπειτα μειωνόταν σταδιακά λόγω της επερχόμενης οικονομικής κρίσης και το 2012 έφτασε τη χαμηλότερη τιμή των 1,81 εκ. τόνων. Η παραγωγή αυξήθηκε ξανά από το 2016.



Διάγραμμα 3. Ελληνική παραγωγή (χιλ. τόνοι) βωξίτη (<https://www.usgs.gov/>).

3.4 Ελληνική παραγωγή αλουμίνας

Στο διάγραμμα 4 αναλύεται η ετήσια ελληνική παραγωγή αλουμίνας για τα έτη 1997-2018. Παρατηρείται μία σταθερή σταδιακή αύξηση. Η παραγωγή το 2002 έφτασε τους 750 χιλιάδες τόνους και παρέμεινε σταθερή ως το 2009 που μειώθηκε στους 719 χιλιάδες τόνους. Η αύξηση παρατηρήθηκε το 2012 και έπειτα με τη μεγαλύτερη τιμή να σημειώνεται το 2016 και να αντιστοιχεί σε 821 χιλιάδες τόνους.



Διάγραμμα 4. Ελληνική παραγωγή (χιλ. τόνοι) αλουμίνας (<https://www.usgs.gov/>).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΒΩΞΙΤΗ

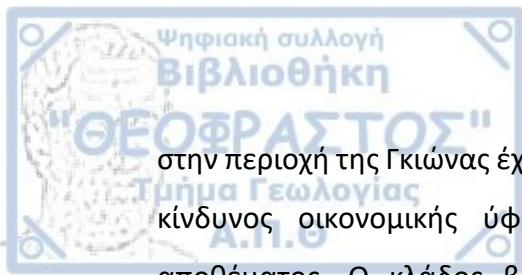
Ο βωξίτης αποτελεί τη μοναδική φυσική πρώτη ύλη για την παραγωγή αλουμίνας και αλουμινίου, έχοντας ιδιαίτερη σημασία για την χώρα μας. Η παρουσία πλούσιων κοιτασμάτων βωξίτη στην Ελλάδα την κατατάσσει σε πρωτοπόρα περιοχή παγκοσμίως όσον αφορά τα αποθέματα βωξίτη και αναδεικνύει έναν πολύ σημαντικό βιομηχανικό της τομέα. Η εκμετάλλευση βωξίτη στην Ελλάδα επιτυγχάνεται 90% με υπόγειες και 10% με υπαίθριες εξορύξεις. Ο ελληνικός βωξίτης παρουσιάζει σπουδαία πλεονεκτήματα, όπως υψηλή συγκέντρωση Al_2O_3 , χαμηλή περιεκτικότητα σε CaO , μικρή απώλεια πύρωσης και χαμηλά ποσοστά υγρασίας σχετικά με βωξίτες άλλων χωρών στη βιομηχανία. Ωστόσο οι ελληνικοί βωξίτες έχουν υψηλά ποσοστά SiO_2 που τους δίνουν μεγάλη σκληρότητα και δυσκολία επεξεργασίας. Το κόστος εξόρυξης στην Ελλάδα είναι υψηλότερο λόγω της συχνότερης επιλογής των υπόγειων εκμεταλλεύσεων έναντι των υπαίθριων. Παράγοντες κόστους που επηρεάζουν τη βιομηχανία κατεργασίας του βωξίτη είναι η αποληψιμότητα του κοιτάσματος, το εργασιακό κόστος, το κόστος μεταφοράς του στην αγορά και άλλοι.

Η εξορυκτική δραστηριότητα έχει άμεση ορατή επίδραση στο περιβάλλον. Στην περιοχή της Φωκίδας, τα πλούσια κοιτάσματα που βρίσκονται στη βορειοανατολική Γκιώνα, μαζί με την ανεπαρκή αποκατάσταση των περιοχών, έχουν οδηγήσει στη δημιουργία ενός τοπίου με αλληλεπικαλυπτόμενες εκσκαφές, αποθέσεις στείρων υλικών και πυκνό οδικό δίκτυο για την πρόσβαση στις περιοχές εξόρυξης. Η εξόρυξη βωξίτη επηρεάζει την ευρύτερη περιοχή του ορυχείου, ειδικά την χλωρίδα και τη βλάστηση. Τα επιφανειακά μέτωπα εξόρυξης αποκτούν λευκό-γκρι χρώμα, παρουσιάζοντας αντίθεση με το φυσικό πράσινο χρώμα της γύρω δασικής περιοχής. Ακόμα, σκόνη απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά τις διάφορες φάσεις της εξόρυξης, από την εξαγωγή του μεταλλεύματος μέχρι την διαλογή και την μεταφορά προς τον τελικό προορισμό του. Αυτό δημιουργεί αέρια ρύπανση και επιβαρύνεται η χλωρίδα, η πανίδα και η ζωή των ανθρώπων. Μεταβολές επίσης παρατηρούνται στα

επιφανειακά και υπόγεια ύδατα και στο σύστημα απορροής. Η επιφανειακή εξόρυξη απομακρύνει τη φυτική κάλυψη από το έδαφος, αλλάζοντας τη ροή των επιφανειακών υδάτων και ενισχύοντας τη διαδικασία της διάβρωσης. Η αναρρόφηση των υπόγειων υδάτων για τη διευκόλυνση της εξόρυξης δημιουργεί κενά εκεί που παλιά υπήρχαν θύλακες νερού και αυτό αποτελεί σημαντικό παράγοντα που προκαλεί καθίζηση εδαφών.

Ίσως το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι μεταλλουργικές βιομηχανίες παραγωγής αλουμινίου είναι αυτό της ερυθράς ιλύος. Κατά τη διάρκεια κατεργασίας του βωξίτη προς απόληψη αλουμίνης μέσω της Bayer μεθόδου, προκύπτει απόβλητο η ερυθρά ιλύς ή κόκκινη λάσπη. Πρόκειται για ένα υδαρό στερεό απόβλητο με μεγάλη αλκαλικότητα, λόγω της εφαρμογής καυστικού νατρίου για την εξαγωγή του αργιλίου από τον βωξίτη. Η ερυθρά ιλύς χαρακτηρίζεται από υψηλές περιεκτικότητες τριοξειδίου του σιδήρου (Fe_2O_3), διοξειδίου του τιτανίου (TiO_2), τριοξειδίου του χρωμίου (Cr_2O_3), νικελίου (Ni), κοβαλτίου (Co) και μολύβδου (Pb). Επιπλέον, η λάσπη περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις ραδιενεργών στοιχείων, όπως ουράνιο (^{238}U), ράδιο (^{226}Ra) και θόριο (^{232}Th). Η διαχείριση και οι τρόποι απόθεσης της ερυθράς ιλύος αναπτύχθηκαν σε μεγάλο βαθμό τις τελευταίες δεκαετίες. Παλαιότερα η απόθεση γινόταν είτε απευθείας σε θάλασσες και λίμνες είτε σε ειδικές λεκάνες. Αυτός ο τρόπος απόθεσης απαγορεύθηκε λόγω του αρνητικού αντίκτυπου στην οικολογική ισορροπία και της μόλυνσης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Σήμερα χρησιμοποιείται η μέθοδος της ξηράς απόθεσης καταλοίπων βωξίτη κατά την οποία απομακρύνεται όσο το δυνατό περισσότερο νερό με τη μέθοδο του φιλτραρίσματος υπό πίεση. Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκαν έρευνες προς εύρεση πρακτικών εφαρμογών που θα χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη τα κατάλοιπα του βωξίτη. Στόχος είναι η ελάττωση του σημαντικά μεγάλου όγκου των αποθέσεων ερυθράς ιλύος που παράγεται ετησίως από τη βιομηχανία αλουμινίου. Η ερυθρά ιλύς βρίσκει μικρή χρήση στη βιομηχανία τσιμέντου.

Η παρουσία ενός ορυκτού πλούτου και μιας βιομηχανίας σε μια περιοχή αντιπροσωπεύει τοπικό πλεονέκτημα υπό συνθήκες όπου γίνεται αξιοποίηση του πλούτου αυτού με ισορροπημένο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον, τον πολιτισμό, την κοινωνία και την οικονομία. Η βιομηχανία εκμετάλλευσης του βωξίτη



στην περιοχή της Γκιώνας έχει συμβάλει θετικά στην οικονομία της. Ωστόσο, υπάρχει κίνδυνος οικονομικής ύφεσης της περιοχής σε ενδεχόμενη εξάντληση του αποθέματος. Ο κλάδος βωξίτη-αλουμίνας-αλουμινίου αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα επιτυχημένης καθετοποίησης στην ελληνική μεταποιητική βιομηχανία, με τον ελληνικό βωξίτη να συγκροτεί την στερεή βάση του κλάδου για περισσότερο από σαράντα χρόνια. Συνολικά, η βιομηχανία αλουμινίου αποτελεί τον σπουδαιότερο εργοστασιακό κλάδο μη σιδηρούχων μετάλλων στην Ελλάδα, με περισσότερες από 2.500 μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις, 40.000 θέσεις εργασίας και ετήσιο όγκο εργασιών άνω των 2,5 δισεκατομμυρίων ευρώ, ο οποίος αντιστοιχεί σε περίπου 1% του ΑΕΠ και πάνω από 8% των εξαγωγών της χώρας.

- Abzalov, M., & Bower, J., (2014) Geology of bauxite deposits and their resource estimation practices, *Applied Earth Science*, 123(2), 118-134.
- Haupin, W. (1983). Electrochemistry of the Hall-Heroult process for aluminum smelting. *Journal of Chemical Education*, 60(4), 279.
- Hind, A., Bhargava, S., & Grocott, S. (1999) The surface chemistry of Bayer process solids: a review. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 146(1-3), pages 359-374.
- Schwarz, M., & Lalik, V. (2012). Possibilities of Exploitation of Bauxite Residue from Alumina Production.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Κοντόπουλος, Α. , Κουλουμπή, Ν. , & Κομνίτσας Κ. (1987). Η βιομηχανία βωξίτη αλουμίνας-αλουμινίου: ελληνικές και διεθνείς προοπτικές εξέλιξης. *Ορυκτός Πλούτος*. 1987 (50). 9-18.
- Μαραβέλιας, Α. (2014). Σχεδιασμός υπόγειας εκμετάλλευσης βωξιτικού κοιτάσματος «Σιδηρόπορτο». Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Μεταλλευτικής.
- Μιχαϊλίδης, Κ. , Βαβελίδης, Μ. , & Φιλιππίδης, Α. (1986). Σημειώσεις γενικής Κοιτασματολογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας. Θεσσαλονίκη: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων.123-124.
- Μιχαϊλίδης, Κ. , Βαβελίδης, Μ. , & Φιλιππίδης, Α. (1986). Σημειώσεις γενικής Κοιτασματολογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας. Θεσσαλονίκη: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων.71-79.
- Μουντράκης, Δ. 2010. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.145-149.
- Μπενάρδος Α. 2014, «ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ», Σημειώσεις Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών Ε.Μ.Π.
- Μπούμης, Ευάγγελος Δ. - Παραδείσης, Κίμων Γ. - Παπαδημητρίου, Κωνσταντίνος Κ. 1979. Ο ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ (ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ), Αθήνα, Ελλάδα.277-298.



Τσιραμπίδης Α. 2005. Ο ορυκτός πλούτος της Ελλάδος, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα.118-123.

Τσιραμπίδης Α. και Φιλιππίδης Α., 2013. Ορυκτοί Πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και Αξία. Τομέας Ορυκτολογίας Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα,9-10.

Διαδικτυακές πηγές

Mytilineos Energy and Metals : <https://www.mytilineos.com/what-we-do/metallurgy-sector>

Orykta.gr: <https://www.orykta.gr/>

USGS science for a changing world: https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/bauxite-and-alumina-statistics-and-information?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con

Η Καθημερινή : <https://www.kathimerini.gr/economy/business/790831/h-s-amp-b-sygchoneyetai-me-ton-kolosso-viomichanikon-orykton-imerys/>

Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ :

http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf_theory/boxites.pdf

Η χημική ένωση του μήνα 2014 : http://195.134.76.37/chemicals/chem_Al2O3.htm

Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων : <https://www.sme.gr/portfolio-items/%ce%b2%cf%89%ce%be%ce%af%cf%84%ce%b7%cf%82/?portfolioCats=32>