



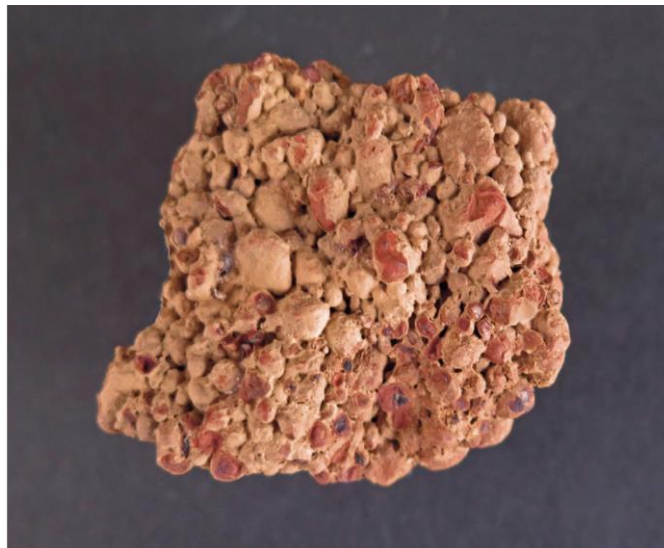
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΙΩΑΝΝΗΣ Β. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΩΞΙΤΗ-ΛΑΤΕΡΙΤΗ: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021





ΙΩΑΝΝΗΣ Β. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 4944

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΩΞΙΤΗ-ΛΑΤΕΡΙΤΗ: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Ορυκτολογίας -Πετρολογίας- Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

ΚΑΝΤΗΡΑΝΗΣ ΑΠ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ



© Ιωάννης Β. Παπαδημητρίου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΩΞΙΤΗ-ΛΑΤΕΡΙΤΗ: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ- *Διπλωματική εργασία*

© Ioannis V. Papadimitriou, School of Geology, Dept. of Mineralogy, Petrology-Economic Geology, 2021

All rights reserved.

GREEK BAUXITIC-LATERITIC DEPOSITS: FINANCIAL INFORMATION AND PERSPECTIVES- *Bachelor Thesis*

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.
Εικόνα Εξωφύλλου: βωξίτης από την περιοχή Darling Range της Αυστραλίας (<https://www.mindat.org>)



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 Γενικά για το Βωξίτη	3
1.2 Χημική και ορυκτολογική σύσταση βωξιτών	4
1.3 Γένεση του Βωξίτη	4
1.4 Ιδιότητες του βωξίτη	5
1.5 Η εκμετάλλευση των βωξιτών	6
1.6 Ιδιότητες και χρήσεις του αλουμινίου	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ	12
2.1 Αυστραλία	12
2.2 Κίνα.....	14
2.3 Γουινέα.....	16
2.4 Βραζιλία	17
2.5 Ινδία	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ	21
3.1 Τα κοιτάσματα βωξιτών της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας	21
3.2 Οι εμφανίσεις βωξιτών της Πελαγονικής και Υποπελαγονικής ζώνης.....	25
3.3 Οι εμφανίσεις βωξιτών της Αττικοκυκλαδικής ζώνης.....	25
3.4 Οι εμφανίσεις βωξιτών στη ζώνη Αξιού	26
3.5 Οι εμφανίσεις βωξιτών της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΩΞΙΤΗ	27
4.1 Παγκόσμια παραγωγή βωξίτη	27
4.2 Παγκόσμια παραγωγή αλουμίνας	28
4.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	29
4.4 Ελληνική παραγωγή Βωξίτη	30
4.5 Ελληνική παραγωγή αλουμίνας.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	35
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	37





Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα του υποχρεωτικού μαθήματος με κωδικό GGN 873Υ «Πτυχιακή εργασία» του Η' εξαμήνου.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η βιβλιογραφική μελέτη των σημαντικότερων παγκόσμιων και ελληνικών κοιτασμάτων βωξίτη, καθώς και η ανάδειξη σημαντικών οικονομικών στοιχείων που αφορούν τη βιομηχανία του μεταλλεύματος.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες και τον τρόπο γένεσης των βωξιτικών κοιτασμάτων. Παράλληλα, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η εκμετάλλευση του βωξιτικού μεταλλεύματος με τελικό αποτέλεσμα την παραγωγή πρωτογενούς αλουμινίου, καθώς επίσης και οι βασικές εφαρμογές και χρήσεις του αλουμινίου. Στη συνέχεια, το περιεχόμενο του δεύτερου και τρίτου κεφαλαίου περιλαμβάνει την περιγραφή των σημαντικότερων παγκόσμιων, αλλά και ελληνικών κοιτασμάτων βωξίτη. Το τελευταίο κεφάλαιο αναδεικνύει οικονομικά στοιχεία και δεδομένα που αφορούν την παγκόσμια και ελληνική βιομηχανία του αλουμινίου.

Η ανάθεση του θέματος έγινε από τον αναπληρωτή καθηγητή του τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας κ. Καντηράνη Νικόλαο, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την καθοδήγηση και τη στήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά για το Βωξίτη

Ο βωξίτης ανακαλύφθηκε από το Γάλλο γεωλόγο ερευνητή Duffrenoy το 1845, ο οποίος χαρακτήρισε ως βωξίτη το ορυκτό που είχε μελετήσει πρώτος ο Γάλλος χημικός Berthier το 1821 στη περιοχή Les Beaux της νότιας Γαλλίας. Στη σημερινή εποχή, ο όρος βωξίτης αποδίδεται για να χαρακτηρίσει πετρώματα που περιέχουν μεγάλες περιεκτικότητες ορυκτών του υδροξειδίου του αργιλίου. Πρόκειται για υπολειμματικούς σχηματισμούς που δημιουργούνται κατά τη χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων σε συνθήκες τροπικού κλίματος (μία διαδικασία που ονομάζεται λατεριτική αποσάθρωση ή λατεριτίωση) και οδηγεί στο σχηματισμό ενός υπολειμματικού προϊόντος, πλούσιου σε σίδηρο, αργίλιο, τιτάνιο, χρώμιο και νικέλιο, του λατερίτη. Οι βωξίτες αποτελούν τους πλούσιους σε αργίλιο λατερίτες που προκύπτουν από τη λατεριτίωση γεωλογικών σχηματισμών με μεγάλη ποσότητα αργιλοπυριτικών ορυκτών, χαμηλή περιεκτικότητα σιδήρου και συνήθως χωρίς ελεύθερο χαλαζία. Τέτοια πετρώματα είναι οι συηνίτες, οι άργιλοι, οι αργιλομιγείς ασβεστόλιθοι και σε μικρότερο βαθμό όλα τα όξινα έως βασικά πυριγενή πετρώματα (Μιχαηλίδης κ.ά., 1986).

Από βιομηχανικής πλευράς ο βωξίτης αποτελεί το κύριο μέταλλευμα για την παραγωγή αλουμίνας και κατ' επέκταση αλουμινίου. Το αλουμίνιο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μέταλλα της σύγχρονης εποχής με πολυάριθμες βιομηχανικές, αλλά και καταναλωτικές εφαρμογές. Οι σημαντικότεροι τομείς που απαντά το αλουμίνιο είναι, ο κλάδος των μεταφορών και ο κατασκευαστικός κλάδος. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται για την κατασκευή τμημάτων αυτοκινήτων, αεροσκαφών, πλοίων κ.ά. Στον κατασκευαστικό τομέα, το αλουμίνιο αποτελεί βασικό υλικό των κτιρίων καθώς συναντάται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως για παράδειγμα, τα κουφώματα, οι οροφές, τα παράθυρα κ.ά. . Παράλληλα αλουμίνιο χρησιμοποιείται για την συσκευασία τροφίμων, ποτών, φαρμάκων καθώς και άλλων προϊόντων. Πολύ διαδεδομένη είναι η χρήση του αλουμινίου για την κατασκευή καλωδίων και εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται σε πυλώνες υψηλής τάσεως για τη μετάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος, λόγω της καλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας που παρουσιάζει το μέταλλο σε συνδυασμό με το μικρό του βάρος. Αλουμίνιο χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή πολυάριθμων εξαρτημάτων, όπως μετασχηματιστές ηλεκτρικού ρεύματος,

πυκνωτές, κεραίες τηλεόρασης, δορυφορικές κεραίες κ.ά. . Η εκμετάλλευση των βωξιτών ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του 1860 στη Γαλλία, ενώ λίγα χρόνια αργότερα ανακαλύφθηκαν οι δύο μέθοδοι για την παραγωγή αλουμίνας από τους βωξίτες και αλουμινίου από την αλουμίνα. Η πρώτη μέθοδος είναι γνωστή ως μέθοδος Bayer, ενώ η δεύτερη ως Hall-Heroult.

1.2 Χημική και ορυκτολογική σύσταση βωξιτών

Η χημική σύσταση των βωξιτών εκφράζεται από τέσσερα κύρια χημικά στοιχεία τα οποία είναι, το αργίλιο (Al), ο σίδηρος (Fe), το πυρίτιο (Si) και το τιτάνιο (Ti). Η σύσταση των βωξιτών αποτελείται κυρίως από υδροξείδια του αργιλίου, υδροξείδια ή οξείδια του σιδήρου, αργιλοπυριτικές ενώσεις και οξείδια του τιτανίου (Gow and Lozej, 1993).

Τα ορυκτά του υδροξείδιου του αργιλίου, που αποτελούν και τα κύρια ορυκτά των βωξιτών, είναι ο γκιψίτης ή υδραργιλίτης ($\text{Al}(\text{OH})_3$), ο μπαίμιτης ($\gamma\text{-AlO}(\text{OH})$) και το διάσπορο ($\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$). Από τα ορυκτά του σιδήρου τα σημαντικότερα είναι ο γκαιτίτης ($\alpha\text{-FeOOH}$), ο λειμωνίτης ($\text{FeO}(\text{OH})\cdot\text{H}_2\text{O}$) και ο αιματίτης. Τα οξείδια του τιτανίου εμφανίζονται με τη μορφή ανατάση και ρουτιλίου.

Τέλος, τα σημαντικότερα αργιλοπυριτικά ορυκτά που εμφανίζονται στους βωξίτες είναι ο καολινίτης ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) και ο αλλουσίτης (Authier-Martin et al. 2001). Αξίζει να σημειωθεί πως στη σύσταση των βωξιτών συμμετέχουν και άλλα στοιχεία σε μικρές ή και αμελητέες ποσότητες όπως φώσφορος, νικέλιο, χρώμιο, σπάνιες γαίες κ.ά.

1.3 Γένεση του Βωξίτη

Οι βωξίτες κατατάσσονται στην κατηγορία των υπολειμματικών κοιτασμάτων από χημική αποσάθρωση. Η χημική αποσάθρωση εξαρτάται από ένα σύνολο μεταβλητών όπως το κλίμα, το μορφολογικό ανάγλυφο, τη βλάστηση, το είδος του πετρώματος. Η χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων σε συνθήκες τροπικού και υποτροπικού κλίματος, έντονης βλάστησης, ήπιου μορφολογικού ανάγλυφου, εύκολης εισχώρησης του νερού και χαμηλού υδροφόρου ορίζοντα είναι έντονη και ονομάζεται λατεριτική αποσάθρωση ή λατεριτίωση.

Η λατεριτίωση οδηγεί στο σχηματισμό υπολειμματικών προϊόντων που είναι πλούσια σε κάποια στοιχεία, όπως οι βωξίτες, που αποτελούν τους πλούσιους σε αργίλιο λατερίτες. Στη σημερινή εποχή επικρατούν δύο θεωρίες για τη γένεση των βωξιτών (Μιχαηλίδης κ.ά. 1986).

Η πρώτη θεωρία, ονομάζεται θεωρία της αυτόχθονης γέννησης και περιγράφει το σχηματισμό κοιτασμάτων από επιτόπου αποσάθρωση ανθρακικών κυρίως πετρωμάτων. Με την αποσάθρωση απομακρύνθηκαν τα διαλυτά συστατικά και παρέμειναν τα αδιάλυτα αργιλοπυριτικά ορυκτά που στη συνέχεια υπέστησαν λατεριτίωση. Οι βωξίτες αυτού του τύπου αναφέρονται στην παγκόσμια βιβλιογραφία ως κοιτάσματα «terra rossa».

Η δεύτερη θεωρία που ονομάζεται θεωρία της αλλόχθονης γένεσης, περιγράφει το σχηματισμό του βωξίτη από λατεριτική αποσάθρωση επιτόπου και στη συνέχεια ακολουθεί μεταφορά και απόθεση του κοιτάσματος σε μία νέα θέση. Τα κοιτάσματα αυτού του είδους ονομάζονται δευτερογενείς ή αλλόχθονοι λατερίτες και παρεμβάλλονται με τη μορφή φακών, στρωμάτων κοιτών, ανάμεσα σε ιζηματογενείς σχηματισμούς. Τέτοια κοιτάσματα συναντώνται και στην Ελλάδα όπου λαμβάνει χώρα απόθεση αλλόχθονων βωξιτών μέσα στις καρστικές κοιλότητες ανθρακικών πετρωμάτων (Tsirambides and Filippidis 2012).

1.4 Ιδιότητες του βωξίτη

Οι βωξίτες είναι ανθεκτικοί σε μεγάλες θερμοκρασίες, εμφανίζουν καλή διαλυτότητα σε καυστικά αλκάλια, γεγονός που οδήγησε στην ανάπτυξη της μεθόδου Bayer μέσω της οποίας γίνεται απόληψη αλουμίνης από το βωξίτη με τη χρήση καυστικού νατρίου. Πολλές φορές οι βωξίτες εμφανίζουν ιστό ωολιθικό, πισσολιθικό και στιφρό. Το χρώμα των βωξιτών ποικίλει και εξαρτάται από τα οξειδία του σιδήρου. Η παρουσία αιματίτη προσδίδει το χαρακτηριστικό ερυθροκαστάνινο χρώμα στους βωξίτες, το οποίο είναι και το συνηθέστερο. Το κίτρινο χρώμα των βωξιτών οφείλεται στη παρουσία γκαιτίτη, το γκρίζο υποδηλώνει χαμηλή περιεκτικότητα σε οξειδία του σιδήρου, ενώ το λευκό πλήρης απουσία των οξειδίων του σιδήρου. Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να προσδώσει σκούρο πράσινο χρώμα στους βωξίτες.



Εικόνα 1. Δείγμα βωξίτη με χαρακτηριστική πisolιθική υφή από το Arkansas των ΗΠΑ.
(<https://www.flickr.com/photos/jsigeology/>)

1.5 Η εκμετάλλευση των βωξιτών

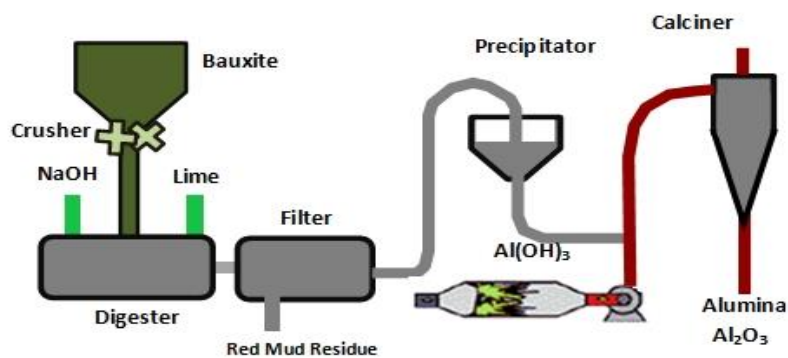
Ο βωξίτης αποτελεί το κύριο μέταλλευμα για την παραγωγή αλουμινίου. Ο όρος κοιτάσματα βωξίτη αναφέρεται σε οικονομικά εκμεταλλεύσιμους βωξίτες οι οποίοι περιέχουν, $>45\% \text{ Al}_2\text{O}_3$, $<20\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$ και $<5\% \text{ SiO}_2$ (Gow and Lozej, 1993). Η εκμετάλλευση των βωξιτικών κοιτασμάτων γίνεται με υπαίθριες εκσκαφές, που αποτελούν και τις πιο συνηθισμένες, αλλά και με υπόγειες εξορύξεις. Η παραγωγή αλουμινίου από το βωξίτη είναι μία διαδικασία που περιλαμβάνει δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο ονομάζεται μέθοδος Bayer, κατά την οποία εξάγεται αλουμίνη από το βωξίτη, ενώ το δεύτερο στάδιο ονομάζεται μέθοδος Hall-Heroult, κατά την οποία εξάγεται αλουμίνιο από την αλουμίνη.

- Η μέθοδος Bayer

Η μέθοδος αυτή ανακαλύφθηκε το 1888 στη Γερμανία από τον Karl Bayer (Εικ. 2), η οποία βασίζεται στην εξαγωγή αλουμίνης από το μέταλλευμα του βωξίτη. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση πυκνού διαλύματος καυστικού νατρίου (NaOH), το οποίο αποτελεί καλό διαλύτη των ορυκτών του υδροξειδίου του αργιλίου του βωξίτη (Hind et al., 1999).

Σε πρώτο στάδιο το μέταλλευμα θρυματίζεται και στη συνέχεια φέρεται σε επαφή με το διάλυμα του καυστικού νατρίου μέσα σε αντιδραστήρες σε υψηλές συνθήκες πίεσας και θερμοκρασίας ($>270^{\circ}\text{C}$). Το υδροξείδιο του αργιλίου διαλυτοποιείται στο καυστικό νάτριο δημιουργώντας σύμπλοκες ενώσεις $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$, ενώ το αδιάλυτο υπόλειμμα, γνωστό και ως κόκκινη λάσπη (Authier-Martin et al., 2001), που είναι πλούσιο σε σίδηρο, χαλαζία και άλλα στοιχεία διαχωρίζεται από το διάλυμα και καθιζάνει ως ίζημα, το οποίο στη συνέχεια απορρίπτεται.

Ακολουθεί η ψύξη και η προσθήκη ένυδρων συστατικών με αποτέλεσμα την κρυστάλλωση και καθίζηση του υδροξειδίου του αργιλίου. Τέλος, λαμβάνει χώρα πύρωση σε περιστρεφόμενο κλίβανο στους 1000°C με αποτέλεσμα το σχηματισμό άνυδρης αλουμίνας, η οποία διατηρείται σε ειδικά φίλτρα. Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί στην παραγωγή υψηλής ποιότητας αλουμίνας (Al_2O_3) η οποία ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται για την παραγωγή αλουμινίου.



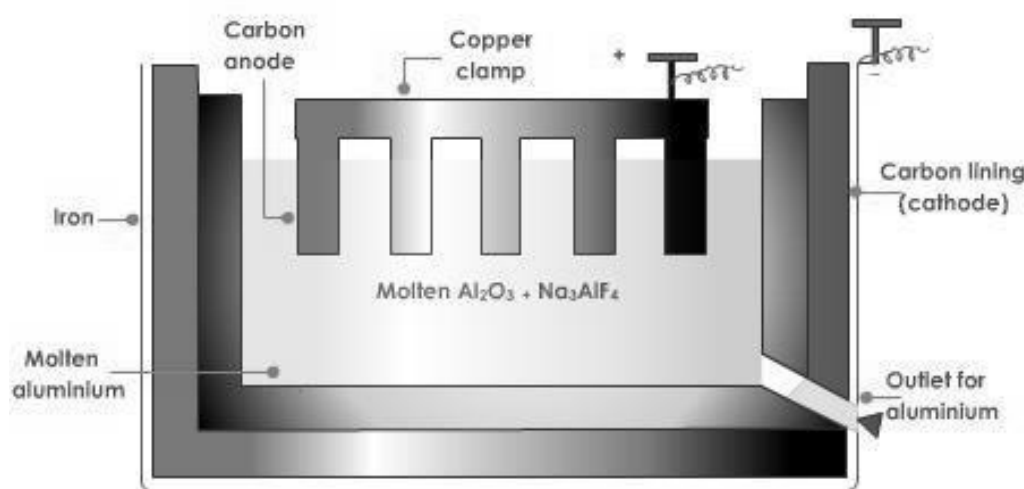
Εικόνα 2. Η μέθοδος Bayer (<http://guichon-valves.com/wp-content/uploads/alumina-process.jpg>)

- Η μέθοδος Hall-Heroult

Η παραγωγή του αλουμινίου πραγματοποιείται μέσω της μεθόδου Hall-Heroult που ανακαλύφθηκε ανεξάρτητα από τον Charles Hall στις ΗΠΑ και τον Paul Heroult στη Γαλλία. Η μέθοδος (Εικ. 3) εξάγει αλουμίνιο από τήγμα κρυόλιθου (Na_3AlF_6) αναμειγμένο με αλουμίνα διά μέσου της ηλεκτρόλυσης (Haurin, 1983). Χρησιμοποιούνται ειδικές ατσάλινες λεκάνες, που είναι θερμικά μονωμένες και ενισχυμένες με πυρίμαχη επένδυση που καλύπτεται από άνθρακα. Η λεκάνη λειτουργεί ως ηλεκτρολύτης, με τα τοιχώματά της να αποτελούν την κάθοδο του συστήματος, ενώ η άνοδος αποτελείται από ράβδους άνθρακα οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί πάνω από την λεκάνη ηλεκτρολύσεως.

Καθώς εισάγεται η αλουμίνα στις λεκάνες, προστίθεται ο κρυόλιθος ο οποίος ρίχνει τη θερμοκρασία τήξης της αλουμίνας στους 900 °C. Η αλουμίνα στη συνέχεια διαλυτοποιείται και διά μέσου των ηλεκτροδίων από άνθρακα διοχετεύεται στο τήγμα ρεύμα 50.000-100.000 Amp, με αποτέλεσμα να διασπάται η αλουμίνα σε αλουμίνιο και οξυγόνο (Gow and Lozej, 1993).

Το οξυγόνο εξατμίζεται στην άνοδο, διατηρώντας με αυτό το τρόπο τη θερμοκρασία του συστήματος υψηλή, ενώ παράλληλα διαχωρίζεται το αλουμίνιο ως πυκνότερο υλικό από τον κρυόλιθο και καθιζάνει στον πυθμένα της λεκάνης ηλεκτρολύσεως σε ρευστή μορφή. Στη συνέχεια, συλλέγεται το αλουμίνιο μέσω ειδικών δοχείων και αναλόγως της χρήσεως που προορίζεται, επεξεργάζεται και διοχετεύεται στο εμπόριο.



Εικόνα 3. Η μέθοδος Hall-Heroult (Sustainable Aluminium and Iron Production Reza Beheshti 2017. https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-drawing-of-the-Hall-Heroult-cell-used-for-the-primary-production-of-aluminium_fig26_311178751)

1.6 Ιδιότητες και χρήσεις του αλουμινίου

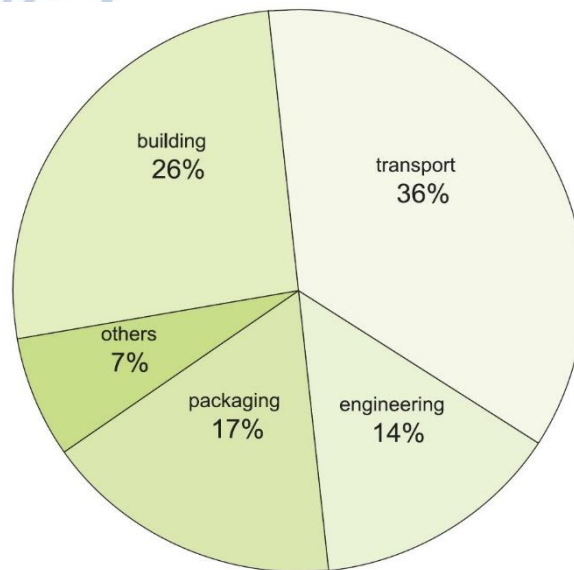
Το αλουμίνιο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά και ευρέως χρησιμοποιούμενα μέταλλα της σύγχρονης εποχής (Εικ. 4). Πρόκειται για ένα μέταλλο το οποίο δεν εμφανίζεται αυτοφυές στη φύση, με την πηγή προέλευσης του να είναι ο βωξίτης. Μέσω της μεθόδου Bayer σχηματίζεται άνυδρη αλουμίνα, η οποία σχεδόν στο σύνολο της χρησιμοποιείται για την παραγωγή πρωτογενούς αλουμινίου μέσω της μεθόδου Hall-Heroult, ενώ ένα μικρό ποσοστό χρησιμοποιείται για την παραγωγή μη μεταλλουργικών προϊόντων (π.χ. κεραμικά, λειαντικά, μονωτικά υλικά, πυρίμαχα σκεύη).

Το αλουμίνιο είναι ένα μέταλλο με εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες γεγονός που αντανακλά την ευρεία χρήση του τόσο σε βιομηχανικές εφαρμογές, όσο και οικιακές. Η αναλογία χαμηλού ειδικού βάρους σε συνδυασμό με την υψηλή αντοχή που παρουσιάζει είναι εξαιρετική σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ανταγωνιστικά υλικά. Το αλουμίνιο έχει την ιδιότητα να σχηματίζει μία προστατευτική μεμβράνη πάχους 1-10 nm στην επιφάνεια του λόγω της αντίδρασης του με το οξυγόνο, γεγονός που του προσδίδει μεγάλη αντοχή στη διάβρωση.

Αποτελεί ένα ελαστικό και όλκιμο μέταλλο, με αποτέλεσμα να επεξεργάζεται εύκολα και να προσφέρει πολλαπλές δυνατότητες χύτευσης αναλόγως της χρήσης που προορίζεται. Παράλληλα είναι καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού.

Το αλουμίνιο έχει τη δυνατότητα να αντιδρά με άλλα μέταλλα προς σχηματισμό κραμάτων, όπως για παράδειγμα με χαλκό, μαγνήσιο, ψευδάργυρο κ.ά. διατηρώντας τις επιθυμητές ιδιότητες του αλουμινίου. Με αυτό τον τρόπο σχηματίζονται κράματα βέλτιστης ποιότητας και λειτουργικότητας, αναλόγως της χρήσεως που προορίζονται (Gandara, 2012).

Το αλουμίνιο είναι ένα πολύ σημαντικό υλικό καθώς πέραν των φυσικών ιδιοτήτων και των πολλαπλών χρήσεων που εμφανίζει, έχει την ικανότητα να ανακυκλώνεται. Η ανακύκλωση του αλουμινίου δεν αλλοιώνει τις ιδιότητες του και συνεπώς το μέταλλο μπορεί να ανακυκλώνεται συνεχώς δίχως να επηρεάζονται τα χαρακτηριστικά του. Η ανάγκη για την ανακύκλωση του αλουμινίου είναι πολύ κρίσιμη, καθώς πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη που προσφέρει η διαδικασία, πραγματοποιείται και μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας σε σύγκριση με την ενέργεια που απαιτείται για την ηλεκτρόλυση της αλουμίνας με στόχο την απόληψη του αλουμινίου. Είναι χαρακτηριστικό πως για την ανακύκλωση απαιτείται γύρω στο 5% της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πρωτογενούς αλουμινίου (Rabinovich, 2013).



Εικόνα 4. Χρήσεις του αλουμινίου (<https://www.essentialchemicalindustry.org/metals/aluminium.html>)

Οι βασικότεροι και σημαντικότεροι κλάδοι χρήσεως του αλουμινίου (Εικ. 4) εντοπίζονται (Tamotia, 2002):

- Στον κλάδο των μεταφορών

Αποτελεί τον τομέα με τη μεγαλύτερη ζήτηση παγκοσμίως. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται με τη μορφή κραμάτων συνήθως, για την κατασκευή τμημάτων αεροσκαφών, τρένων, αυτοκινήτων και πλοίων, καθώς προσδίδει ιδιαίτερα υψηλή αντοχή σε καταπόνηση, που σε συνδυασμό με το μικρό ειδικό βάρος και την μεγάλη επιδεκτικότητά του στη διάβρωση το καθιστούν μία από τις σημαντικότερες επιλογές για το τομέα των μεταφορών.

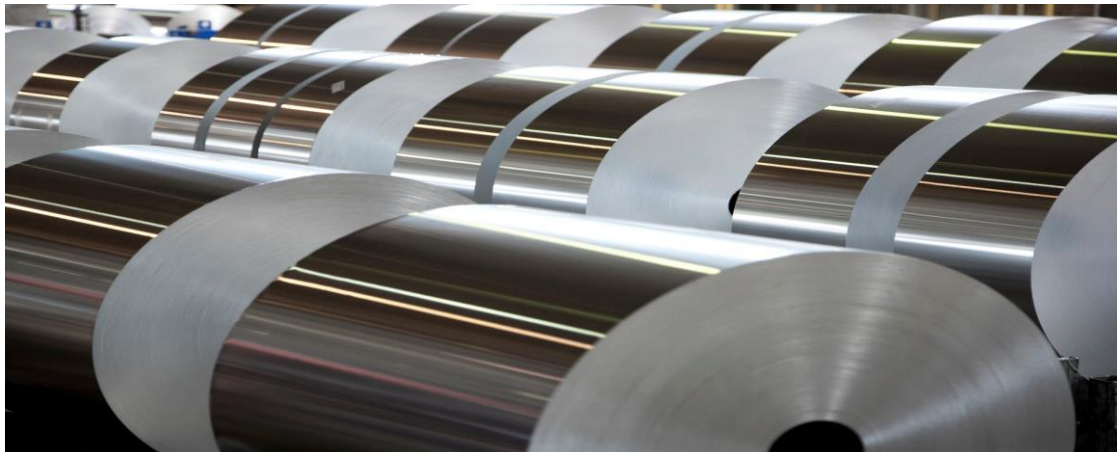
- Στον κατασκευαστικό κλάδο

Ένας επίσης πολύ σημαντικός κλάδος με υψηλή ζήτηση αλουμινίου και πολυάριθμες εφαρμογές. Αποτελεί βασικό κατασκευαστικό υλικό των κτιρίων. Παράθυρα, κουφώματα, στέγες, οροφές, κάγκελα και προσόψεις είναι μερικές από τις βασικές χρήσεις στον κατασκευαστικό τομέα λόγω της υψηλής αντοχής σε διάβρωση που χαρακτηρίζει το αλουμίνιο.

Παράλληλα χρησιμοποιείται στην αρχιτεκτονική και συγκεκριμένα για τη διακόσμηση σύγχρονων και εντυπωσιακών κτιρίων, καθώς είναι ένα υλικό που μορφοποιείται και επεξεργάζεται εύκολα.

- Στο τομέα των συσκευασιών

Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία προϊόντων συσκευασίας, λόγω της μεγάλης ελάσεως του, που του επιτρέπει να παράγεται με τη μορφή λεπτών φύλλων. Πολυάριθμα προϊόντα τροφίμων, ποτών και φαρμάκων, καθώς και άλλα αναλώσιμα χρησιμοποιούν ως υλικό συσκευασίας το αλουμίνιο λόγω του μικρού βάρους, της προστασίας που προσφέρει από την υγρασία, καθώς και της αντοχής του σε υψηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 5. Λεπτά φύλλα αλουμινίου (<https://www.world-aluminium.org/images/aluminium/?page=3>)

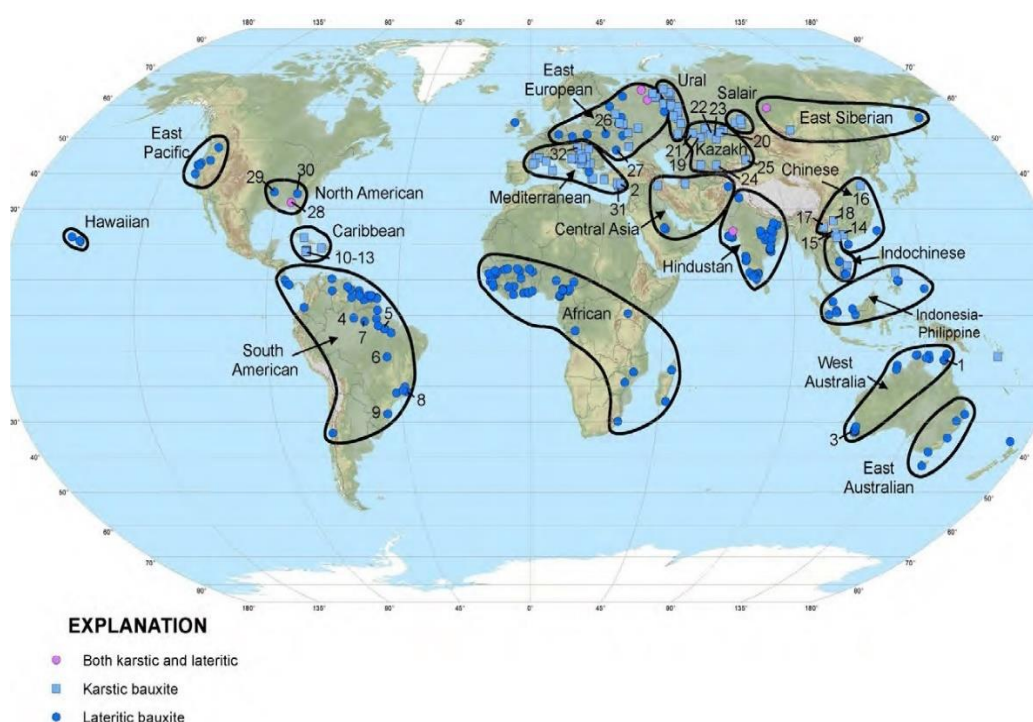
- Στο κλάδο των μηχανικών και ηλεκτρικών εφαρμογών

Πολύ διαδεδομένη είναι η χρήση του αλουμινίου για την κατασκευή καλωδίων και εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται σε πυλώνες υψηλής τάσεως για τη μετάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος, λόγω της καλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας που παρουσιάζει το μέταλλο σε συνδυασμό με το μικρό του βάρος. Αλουμίνιο χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή πολυάριθμων εξαρτημάτων, όπως μετασχηματιστές ηλεκτρικού ρεύματος, πυκνωτές, κεραίες τηλεόρασης, δορυφορικές κεραίες κ.ά.

Η καταναλωτική ζήτηση του αλουμινίου την τελευταία δεκαετία παρουσιάζει σημαντική αύξηση. Είναι χαρακτηριστικό πως ένα μεγάλο εύρος προϊόντων υψηλής τεχνολογίας όπως smartphones, tablets, εξαρτήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών χρησιμοποιούν για την κατασκευή τους αλουμίνιο. Παράλληλα, αυξητικές τάσεις στο καταναλωτικό κοινό παρουσιάζει η χρήση του αλουμινίου για την παραγωγή οικιακών συσκευών και προϊόντων διακόσμησης (καρέκλες, τραπέζια αλουμινίου κ.ά.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

Τα κοιτάσματα βωξίτη μπορούν να ομαδοποιηθούν ως μεγάλες γεωλογικές μονάδες ανά τον πλανήτη (Εικ. 6). Παρόλα αυτά υπάρχουν πολλοί τρόποι ταξινόμησης των βωξιτικών κοιτασμάτων. Οι πιο διαδεδομένες μορφές ταξινόμησης των βωξιτικών εμφανίσεων, περιλαμβάνουν την ταξινόμηση των κοιτασμάτων με βάση τον τρόπο γεννήσεώς τους, καθώς και την κατηγοριοποίηση αυτών με βάση τα επικρατέστερα ορυκτά του υδροξειδίου του αργιλίου των βωξιτών (Bardossy, 1982). Οι κυριότερες και μεγαλύτερες εμφανίσεις βωξιτών εντοπίζονται στη Αυστραλία, την Κίνα, τη Γουινέα, τη Βραζιλία και την Ινδία. Ακολουθεί η περιγραφή των σημαντικότερων κοιτασμάτων βωξίτη σε παγκόσμια κλίμακα.



Εικόνα 6. Κατανομή κοιτασμάτων βωξίτη σε παγκόσμιο επίπεδο (<https://www.usgs.gov/media/imaes/boxite-deposit-world-map>).

2.1 Αυστραλία

Η Αυστραλία αποτελεί την κορυφαία βωξιτοπαραγωγική χώρα στον πλανήτη, ενώ ήταν η δεύτερη χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή αλουμίνας μετά την Κίνα και η έκτη κατά σειρά μεγαλύτερη παραγωγός αλουμινίου για το 2016 και το 2017 (USGS and Geoscience Australia, 2017).

Η βιομηχανία του αλουμινίου αποτελεί βασικό πυλώνα της οικονομίας και αυτό αποδεικνύεται από την μεταλλευτική δραστηριότητα που περιλαμβάνει την εκμετάλλευση πέντε βασικών κοιτασμάτων βωξίτη, καθώς και τη λειτουργία επτά μονάδων αλουμίνας και πέντε χυτηρίων αλουμινίου.

Η εκμετάλλευση του μεταλλεύματος γίνεται με υπαίθριες εξορύξεις και τα κοιτάσματα είναι λατεριτικού τύπου.

Μερικά από τα πιο σημαντικά κοιτάσματα βωξίτη της Αυστραλίας είναι τα εξής:

- Το κοιτάσμα Weipa

Αποτελεί το μεγαλύτερο κοιτάσμα της Αυστραλίας που γεωγραφικά τοποθετείται στην ευρύτερη περιοχή της πόλης Weipa, στο βόρειο τμήμα της πολιτείας Queensland. Τα κοιτάσματα της περιοχής είναι Τριτογενούς ηλικίας και βρίσκονται σε επαφή με θαλάσσια ιζήματα Κρητιδικής ηλικίας. Ένα τυπικό δείγμα αυτών των βωξιτών (Εικ. 7) αποτελείται από 45-55% αλουμίνα, 0-20% χαλαζία και 5-20% σίδηρο, κυρίως με τη μορφή αιματίτη και γκαιτίτη (Abzalov & Bower, 2014).



Εικόνα 6: Δείγμα βωξίτη από τα κοιτάσματα Weipa (www.bluegems.com.au)

- Το κοιτάσμα της περιοχής Darling Range

Πρόκειται για μία ομάδα κοιτασμάτων που βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της πολιτείας της Western Australia, με αποθέματα που ανέρχονται σε περισσότερους από

εννιακόσιους εκατομμύρια τόνους. Τα κοιτάσματα εμφανίζονται με ακανόνιστο τρόπο σε μία περιοχή ακτίνας πεντακοσίων χιλιομέτρων και είναι κυρίως γκιψιτικού τύπου. Το κύριο ορυκτό του υδροξειδίου του αργιλίου είναι ο γκιψίτης, ενώ το σημαντικότερο οξείδιο του σιδήρου είναι ο γκαιτίτης. Χαρακτηριστικό αυτών των βωξιτικών κοιτασμάτων είναι η χαμηλή περιεκτικότητα που παρουσιάζουν σε αλουμίνα (27-30%) σε αντίθεση με την υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδιο του πυριτίου (έως 21%) και τα οξείδια του σιδήρου (έως 21%) (Anand et al. 1991).

Η βιβλιογραφική μελέτη των κοιτασμάτων της περιοχής ανέδειξε ένα πολύ σημαντικό στοιχείο για την γένεση τους. Συγκεκριμένα, τα μητρικά πετρώματα των βωξιτών είναι κατά κύριο λόγο γρανιτικά, γνευσιακά και μεταφαιστειακά πετρώματα Αρχαϊκής ηλικίας, μέσα στα οποία έχουν διεισδύσει δολεριτικές φλέβες (Sadleir and Gilkes, as cited in Anand et al. 1991).

- Το κοιτάσμα Gove

Εντοπίζεται στην ηπειρωτική περιοχή North territory στα βόρεια κεντρικά της Αυστραλίας. Πρόκειται για ένα σημαντικό κοιτάσμα, η εκμετάλλευση του οποίου ξεκίνησε το 1971. Η περιοχή που εντοπίζονται τα κοιτάσματα χαρακτηρίζεται από ιζηματογενείς σχηματισμούς, κυρίως ψαμμίτες Κρητιδικής ηλικίας, οι οποίοι βρίσκονται σε επαφή με γρανιτικά πετρώματα του Προτεροζωικού, που αποτελούν και το υπόβαθρο της περιοχής (Abzalov and Bower, 2014). Η παραγωγή σε βωξίτη για το 2017 ήταν περίπου δέκα εκατομμύρια τόνοι.

2.2 Κίνα

Πρόκειται για μία χώρα με πρωταγωνιστικό ρόλο στη παγκόσμια βιομηχανία του αλουμινίου, καθώς αποτελεί την πρώτη χώρα σε παραγωγή αλουμίνας και αλουμινίου και τη δεύτερη κατά σειρά χώρα σε παραγωγή βωξίτη μετά την Αυστραλία. Είναι ενδεικτικό πως για το 2017 η χώρα παρήγαγε 70.000.000 τόνους βωξίτη και 69.000.000 τόνους αλουμίνας (USGS, 2017).

Η ηλικία των βωξιτικών κοιτασμάτων ποικίλλει, από το Ανώτερο Παλαιοζωικό μέχρι το Καινοζωικό με τη εμφάνιση καρστικού, αλλά και λατεριτικού τύπου βωξιτικών κοιτασμάτων. Στην Κίνα υπάρχουν πολυάριθμες εμφανίσεις βωξιτών με τις σημαντικότερες να εντοπίζονται στις επαρχίες Shanxi, Guizhou, Henan και Guanx. Τα υψηλής ποιότητας βωξιτικά μεταλλεύματα στην Κίνα είναι κυρίως διασπορικού τύπου.

- Τα κοιτάσματα των επαρχιών Henan και Shanxi

Οι εμφανίσεις βωξιτικών κοιτασμάτων στις δύο αυτές επαρχίες της βόρειας κεντρικής Κίνας είναι καρστικού τύπου. Οι βωξίτες εντοπίζονται μέσα σε ανθρακικά πετρώματα με τη μορφή ακανόνιστων μαζών, φακών και θυλακών ως αποτέλεσμα της καρστικής τοπογραφίας (Weng, et al, 2019). Η στρωματογραφία των δύο περιοχών περιλαμβάνει μεταμορφωμένα πετρώματα Προκάμβριας ηλικίας που αποτελούν το υπόβαθρο και ακολουθούν ανθρακικά και αργιλικά ιζηματογενή πετρώματα ηλικίας Μέσου Ορδοβισίου μέσα στα οποία εντοπίζονται και οι βωξίτες.

Οι βωξίτες διακρίνονται σε τρία στρώματα τα οποία περιλαμβάνουν από κάτω προς τα πάνω: αργιλικό υλικό που περιέχει σιδηρούχο μετάλλευμα βωξίτη, το κυρίως μετάλλευμα βωξίτη που είναι διασπορικού τύπου και στρώμα αργίλου το οποίο επικαλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Τριαδικού. Ένα τυπικό δείγμα βωξίτη από το κοιτάσμα Guangou της επαρχίας Henan περιλαμβάνει κατά προσέγγιση υψηλά ποσοστά αλουμίνης 60-80%, οξείδια του πυριτίου σε ποσοστό 0,4-16% και χαμηλή περιεκτικότητα σε οξείδια του σιδήρου 0,2-5%, καθώς και σε οξείδια του τιτανίου 2,8-4,6% (Liou et al., as cited in Weng et al., 2019).

- Τα κοιτάσματα της επαρχίας Guizhou

Η επαρχία Guizhou βρίσκεται στη νότια Κίνα και περιλαμβάνει εμφανίσεις βωξιτικών κοιτασμάτων στην ευρύτερη περιοχή κεντρικά τις επαρχίας, αλλά και στα νότια αυτής, στην περιοχή Zunyi. Τα κοιτάσματα αυτά είναι καρστικού τύπου με το κύριο ορυκτό του υδροξειδίου του αργιλίου να είναι το διάσπορο. Οι εμφανίσεις στα κεντρικά της επαρχίας και στα νότια στην περιοχή Zunyi σχηματίστηκαν κατά το Κατώτερο Λιθανθρακοφόρο και εμφανίζονται έχοντας ως υποκείμενο σχηματισμό δολομιτικά πετρώματα του Καμβρίου και ως υπερκείμενο σχηματισμό ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία είναι κυρίως ασβεστόλιθοι και πηλόλιθοι.

Τα κοιτάσματα εμφανίζονται με τη μορφή δολινών και καταβοθρών ως αποτέλεσμα της καρστικής τοπογραφίας. Ένα διακριτό χαρακτηριστικό των κοιτασμάτων στην περιοχή Zunyi είναι το εντυπωσιακό πάχος που παρουσιάζουν οι βωξίτες, το οποίο κυμαίνεται από τρία έως εκατό μέτρα, καθώς και οι κυκλικές εναλλαγές του βωξιτικού μεταλλεύματος με αργιλικά ή ανθρακικά στρώματα (Weng et al., 2019). Ένα τυπικό δείγμα βωξίτη που προέρχεται από την επαρχία Guizhou

περιέχει κατά προσέγγιση 70% αλουμίνα, 10% οξείδιο του πυριτίου, χαμηλή περιεκτικότητα σε οξείδια του σιδήρου (έως 1,9%) και σε οξείδια του τιτανίου (3%).

2.3 Γουινέα

Πρόκειται για την κορυφαία χώρα παραγωγής βωξίτη της Αφρικής. Στα δυτικά της ηπείρου η Γουινέα αποτελεί τη χώρα με τα μεγαλύτερα αποθέματα υψηλής ποιότητας βωξίτη στο κόσμο που ανέρχονται σε σαράντα δισεκατομμύρια τόνους και αντιστοιχούν στο ένα τρίτο των παγκόσμιων γνωστών αποθεμάτων βωξίτη. Τα κοιτάσματα που εντοπίζονται στη Γουινέα είναι λατεριτικού τύπου μερικά από τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια.

Σημαντικό και μεγάλο κοιτάσμα της Γουινέας αποτελεί το κοιτάσμα Fria το οποίο βρίσκεται στη πόλη Fria στα δυτικά της χώρας. Οι βωξίτες αυτοί έχουν ως κύριο ορυκτό το γκιψίτη και εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε αλουμίνα (60%), χαμηλή περιεκτικότητα σε οξείδια του σιδήρου και χαλαζία που κυμαίνεται από 1-10%. Η γένεσή τους αποδίδεται ως αποτέλεσμα της χημικής αποσάθρωσης Παλαιοζωικών σχιστόλιθων της Αφρικανικής κρατονικής ασπίδας τα οποία αναδύθηκαν στην ευρύτερη περιοχή κατά το Τριαδικό (Traore et al., 2014). Η εκμετάλλευση των βωξιτών ξεκίνησε το 1960.

Ένα άλλο εξίσου αξιόλογο κοιτάσμα αποτελεί το κοιτάσμα Boke. Το κοιτάσμα αυτό είναι λατεριτικού τύπου και σχηματίστηκε λόγω έντονων συνθηκών χημικής αποσάθρωσης με παράλληλη έκπλυση ηφαιστειακών μαφικών σχηματισμών (Xu and Zhang, 2009). Το κύριο ορυκτό των βωξιτών είναι ο γκιψίτης με τα κύρια ορυκτά των οξειδίων του σιδήρου να εμφανίζονται με τη μορφή γκαιτίτη και αιματίτη, ενώ εντοπίζονται χαλαζίας και καολινίτης σε μικρότερες, αλλά αξιόλογες ποσότητες. Η εκμετάλλευση του συγκεκριμένου κοιτάσματος ξεκίνησε το 1973.

Η Γουινέα παρόλο που αποτελεί μία χώρα με τεράστια αποθέματα βωξίτη, αντιμετωπίζει ένα σημαντικό πρόβλημα που σχετίζεται με τη μη σωστή περιβαλλοντική διαχείριση του υλικού που προέρχεται από την επεξεργασία του βωξίτη για τη παραγωγή αλουμίνας με τη μέθοδο Bayer και μοιάζει με κόκκινη λάσπη. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια για την ορθή επεξεργασία των βωξιτών και των προϊόντων τους, τόσο για την αποκατάσταση της περιβαλλοντικής ισορροπίας λόγω της μη σωστής επεξεργασίας των παραπροϊόντων των βωξιτών, όσο και για οικονομικούς λόγους, καθώς στόχος της Γουινέας είναι τα επόμενα χρόνια η

παραγωγή βωξίτη να φτάσει τους εκατό εκατομμύρια τόνους ετησίως από τους σαράντα επτά που ήταν το 2017 (USGS 2017).

2.4 Βραζιλία

Η Βραζιλία αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες παραγωγούς βωξίτη στον κόσμο. Τα κοιτάσματα βωξίτη στη Βραζιλία εντοπίζονται κυρίως στην περιοχή του Αμαζονίου και αποτελούν το 97% του συνόλου των βωξιτών της χώρας, ενώ τα αποθέματά τους ανέρχονται σε πάνω από τρία δισεκατομμύρια τόνους. Η ευρεία κατανομή των βωξιτών στην περιοχή του Αμαζονίου υποδεικνύει πως η περιοχή ήταν κατάλληλη για εκτεταμένη λατεριτίωση κατά το παρελθόν. Παρόλο που εντοπίζονται με διαφορετική δομή και χαρακτηριστικά σχεδόν το σύνολο των βωξιτών προέρχονται από λατεριτίωση και έχουν κατά προσέγγιση την εξής στρωματογραφική ακολουθία (Carvalho et al., 1997) από τον υποκείμενο προς τον υπερκείμενο σχηματισμό:

- Ιζηματογενές αργιλικό υπόβαθρο
- Βωξιτικός ορίζοντας με μέσο πάχος σχεδόν δέκα μέτρων και διακρίνεται σε τρεις υπό-ορίζοντες:
 - ο Κατώτερος βωξιτικός ορίζοντας: ο βωξίτης εμφανίζεται κοκκώδης μέσα σε αργιλικό υλικό
 - ο Ενδιάμεσος βωξιτικός ορίζοντας: αποτελεί το κύριο προϊόν της μεταλλευτικής δραστηριότητας, όπου εμφανίζεται εύθρυπτος, ενώ σπάνια παρουσιάζει ακανόνιστα τεμάχια.
 - ο Ανώτερος βωξιτικός ορίζοντας: Αποτελείται από σιδηρούχο βωξίτη με συμπαγή δομή. Στον ορίζοντα αυτόν, ο σίδηρος αντικαθίσταται από πυρίτιο και αργίλιο.
- Σιδηρούχος λατερίτης: Στα ανώτερα τμήματα εξελίσσεται σε σιδηρούχο βωξίτη ο οποίος είναι πisolιθικός με τους πisolίθους να είναι πλούσιοι σε οξείδια του σιδήρου. Το πάχος του κυμαίνεται από ένα έως τρία μέτρα.
- Κονδυλώδης ή πisolιθικός βωξίτης μέσα σε αργιλικό υλικό: Το σχήμα των κονδυλών ή/και των πisolίθων είναι ακανόνιστο.
- Κίτρινη άργιλος: αποτελεί τον ανώτερο στρωματογραφικά σχηματισμό ο οποίος αποτελεί και ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των βωξιτικών κοιτασμάτων της Βραζιλίας. Αποτελείται κυρίως από καολίνη και χαλαζία και αναφέρεται ως Belterra Clay (Sombrek, as cited in Carvalho et al., 1997).

Τα κοιτάσματα είναι κυρίως γκιψιτικού τύπου, ενώ σπάνια εμφανίζεται και μπαιμίτης. Ένα τυπικό δείγμα βωξίτη της περιοχής του Αμαζονίου έχει κατά προσέγγιση 43-45% αλουμίνα που μετά από επεξεργασία φτάνει έως και 60%, ο χαλαζίας κινείται στο 6-15%, ενώ ο σίδηρος συμμετέχει με ποσοστά 6-20% (Carvalho et al., 1997). Μερικά από τα σπουδαιότερα κοιτάσματα στην περιοχή του Αμαζονίου της Βραζιλίας είναι τα εξής:

- Κοίτασμα Porto Trombetas:

Πρόκειται για ένα από τα πιο παραγωγικά κοιτάσματα βωξίτη της Βραζιλίας, βρίσκεται στην πολιτεία Para στο βόρειο τμήμα της χώρας. Το κοιτάσμα ανακαλύφθηκε το 1950, ενώ η εκμετάλλευσή του με υπαίθριες εξορύξεις άρχισε το 1979 (Εικ. 8). Τα λατεριτικού τύπου κοιτάσματα βωξίτη καλύπτουν μία έκταση δύο χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων και το πάχος των βωξιτών κυμαίνεται από τρία έως εννέα μέτρα.



Εικόνα 7. Εγκαταστάσεις υπαίθριας εκμετάλλευσης βωξιτών, του κοιτάσματος Trobetas στη Βραζιλία (bauxite.world-aluminium.org)

- Κοίτασμα Juruti

Βρίσκεται στη περιοχή Juruti της πολιτείας Para και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κοιτάσματα, λόγω της παραγωγής υψηλής ποιότητας βωξιτών. Το πάχος του βωξίτη, είναι κατά μέσο όρο ένα μέτρο, ενώ σε ορισμένα σημεία το πάχος του κυμαίνεται μεταξύ τριών και εννέα μέτρων.

- Κοίτασμα Paragominas

Βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της πολιτείας Para κοντά στη πόλη Belem (Εικ. 9). Η εκμετάλλευση του μεταλλεύματος λαμβάνει χώρα με υπαίθριες εξορύξεις και η παραγωγή του αγγίζει τους 10.000.000 τόνους ετησίως.



Εικόνα 8. Δείγμα βωξίτη από το κοίτασμα Paragominas (mining-technology.com/projects/Paragominas)

- Κοίτασμα Rondon do Para

Πρόκειται ίσως για το σημαντικότερο κοίτασμα της ευρύτερης περιοχής του Αμαζονίου. Η εκμετάλλευση του κοιτάσματος ξεκίνησε το 1974 και τα συνολικά αποθέματα ανέρχονται σε 1.600.000.000 τόνους. Γεωγραφικά το κοίτασμα τοποθετείται στο βόρειο τμήμα της χώρας στην ανατολική περιοχή της πολιτείας Para.

2.5 Ινδία

Η Ινδία αποτελεί μία χώρα πλούσια σε κοιτάσματα βωξίτη με την παραγωγή για το 2017 να αγγίζει τους 23.000.000 τόνους, συνεισφέροντας περίπου στο 2% της παγκόσμιας παραγωγής (USGS, 2017). Τα σημαντικότερα κοιτάσματα βωξίτη εντοπίζονται στην οροσειρά Easter Ghat κατά μήκος της ανατολικής ακτής της χώρας και συγκεκριμένα στις πολιτείες Odisha και Andhra Pradesh, αντιπροσωπεύοντας άνω του 70% των αποθεμάτων της χώρας.



Πρόκειται για λατεριτικού τύπου βωξιτικά κοιτάσματα, τα οποία δημιουργήθηκαν από επιτόπου αποσάθρωση και λατεριτίωση κυρίως γνευσιακών και μιγματιτικών πετρωμάτων Αρχαϊκής ηλικίας (Bhukte, P., & Chaddha, M. 2014). Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων πραγματοποιείται με υπαίθριες εξορύξεις και χαρακτηρίζονται από μέση περιεκτικότητα σε αλουμίνα που κυμαίνεται γύρω στο 44%, υψηλή συγκέντρωση σε οξείδια του σιδήρου 8-28% κυρίως με τη μορφή γκαιτίτη, ενώ η παρουσία αργιλοπυριτικών ορυκτών είναι χαμηλή <5% όπως και αυτή των οξειδίων του τιτανίου <2%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

Η Ελλάδα αποτελεί την πρώτη χώρα σε παραγωγή βωξίτη στην Ευρώπη και την τέταρτη σε παραγωγή αλουμίνας (USGS 2017). Οι βωξίτες που εντοπίζονται στον ελληνικό χώρο είναι καρστικού τύπου και οφείλουν την γένεση τους στη λατεριτική αποσάθρωση των βασικών μελών των οφιολιθικών πετρωμάτων. Πρόκειται για δευτερογενή αλλόχθονα κοιτάσματα τα οποία αποτέθηκαν σε αβαθές θαλάσσιο περιβάλλον μέσα σε καρστικοποιημένα ανθρακικά πετρώματα (Μιχαηλίδης κ.ά., 1986).

Εμφανίζονται με τη μορφή φακών, κοιτών και ακανόνιστων μαζών ανάμεσα σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς (Τσιραμπίδης Α. & Φιλιππίδης Α. 2013). Σύμφωνα με τον Bardossy (1982) οι ελληνικοί βωξίτες καρστικού τύπου, ανήκουν στους Μεσογειακού τύπου βωξίτες ηλικίας Μεσοζωικού, που εμφανίζονται στη νότια Ευρώπη. Τα σημαντικότερα και οικονομικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα βωξιτών της Ελλάδος εντοπίζονται στη γεωτεκτονική ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας.

3.1 Τα κοιτάσματα βωξιτών της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας

Τα βωξιτικά κοιτάσματα της γεωτεκτονικής ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας βρίσκονται στις ορεινές περιοχές του Παρνασσού, της Γκιώνας, του Ελικώνα και της Οίτης.

Από γεωλογικής πλευράς η γεωτεκτονική ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας ανήκει στις Εξωτερικές Ελληνίδες ζώνες. Κατά τη διάρκεια της αλπικής ορογένεσης αποτελούσε έναν ύφαλο μεταξύ των γεωτεκτονικών ζωνών της Υποπελογονικής και της Πίνδου, που οριοθετούσαν τον ωκεάνιο χώρο της Νεοτηθύος.

Το κύριο χαρακτηριστικό της ζώνης είναι οι βωξιτικές εμφανίσεις σε τρεις διαδοχικούς ορίζοντες ανάμεσα σε ασβεστόλιθους.

Συγκεκριμένα η λιθοστρωματογραφική εξέλιξη της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας από τον υποκείμενο προς τον υπερκείμενο γεωλογικό σχηματισμό αποτελείται από (Μουντράκης 2010):

- Λευκός δολομίτης ηλικίας Κ.-Μ. Τριαδικού. Η σειρά εξελίσσεται σε παχύ ασβεστόλιθο ηλικίας Άνω Τριαδικού
- Παχυστρωματώδης σκρουρόχρωμος ασβεστόλιθος ηλικίας Κατώτερου Ιουρασικού
- Ωολιθικός ασβεστόλιθος Μέσου-Κατώτερου Ιουρασικού

- Ακολουθεί ο 1^{ος} βωξιτικός ορίζοντας (κατώτερος) ηλικίας Άνω Ιουρασικού
- Σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι Άνω Ιουρασικού
- 2^{ος} βωξιτικός ορίζοντας(ενδιάμεσος) ηλικίας Μέσου Ιουρασικού
- Ασβεστόλιθοι Άνω Ιουρασικού-Μέσου Κρητιδικού. Είναι λευκοί ή τεφροί και ονομάζονται ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι, καθώς μεσολαβούν μεταξύ του 2^{ου} και 3^{ου} βωξιτικού ορίζοντα.
- 3^{ος} βωξιτικός ορίζοντας (ανώτερος) ηλικίας Μέσου Κρητιδικού
- Μαύροι ρουδιστοφόροι ασβεστόλιθοι Μέσου-Άνω Κρητιδικού
- Φλύσχης ηλικίας Παλαιοκαίνου-Μέσου Ηωκαίνου

Παράλληλα η περιοχή εμφανίζεται αρκετά ρηγματωμένη και πτυχωμένη με χαρακτηριστικά μέγα-αντίκλινα και μέγα-σύγκλινα.



Εικόνα 9. Χαρακτηριστική ανάπτυξη κοιτάσματος καρστικού βωξίτη στη περιοχή του Παρνασσού. Διακρίνεται ο βωξίτης μέσα στο καρστικό έγκοιλο του υποκείμενου ασβεστόλιθου και ο υπερκείμενος ασβεστόλιθος (www.orykta.gr)

Η εκμετάλλευση των βωξιτών λαμβάνει χώρα στον ενδιάμεσο και ανώτερο βωξιτικό ορίζοντα, ανάμεσα στους οποίους εντοπίζονται διαφορές στην ορυκτολογική σύσταση τους. Η απόληψη του μεταλλεύματος πραγματοποιείται σχεδόν στο σύνολο

της εξορυκτικής διαδικασίας με υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Τα κοιτάσματα είναι διασπορικού-μπαιμιτικού τύπου και χαρακτηρίζονται από την πολυάριθμη παρουσία τους, το ποικίλο μέγεθός τους, καθώς και την ποιότητα τους.

Ο ενδιάμεσος βωξιτικός ορίζοντας περιέχει ως κύριο ορυκτό του υδροξειδίου του αργιλίου, το μπιμίτη, ενώ ο ανώτερος ορίζοντας, το διάσπορο. Συγκεκριμένα η ορυκτολογική σύσταση του ενδιάμεσου ορίζοντα αποτελείται (Οικονομόπουλος και Βγενόπουλος 1998) κυρίως από μπιμίτη, καθώς επίσης συμμετέχει αιματίτης, ανατάσης, καολινίτης και μερικώς γκαιτίτης, διάσπορο και ρουτίλιο.

Ο ανώτερος στρωματογραφικός ορίζοντας αποτελείται από διάσπορο, ενώ παράλληλα συμμετέχουν στη σύσταση των βωξιτών αιματίτης, ανατάσης, καολινίτης και ίσως γκαιτίτης, ρουτίλιο, ιλλίτης, χλωρίτης και μαρκασίτης. Τα κοιτάσματα του ανώτερου βωξιτικού ορίζοντα χαρακτηρίζονται από μεγάλο πάχος και μέγεθος, ενώ εμφανίζουν ωολιθική και πισολιθική υφή.

Το χρώμα των βωξιτικών εμφανίσεων είναι συνήθως ερυθροκαστάνινο λόγω της υψηλής συγκέντρωσης οξειδίων του σιδήρου (Εικ. 11), παρόλο αυτά υπάρχουν περιπτώσεις όπου εμφανίζονται λευκοί βωξίτες, οι οποίοι υποδηλώνουν χαμηλή περιεκτικότητα σε ορυκτά των οξειδίων του σιδήρου (Tsirambides & Filippidis 2012).

Η ορυκτολογική σύσταση ενός τυπικού δείγματος βωξίτη της γεωτεκτονικής ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας αποτελείται από 10-30% μπιμίτη, 20-50% διάσπορο, 20-25% αιματίτη, 1-5% ασβεστίτη, 1-2% χαλαζία, 1-5% καολινίτη και 0,5-2 % ανατάση (Τσιραμπίδης & Φιλίπιδης 2013).

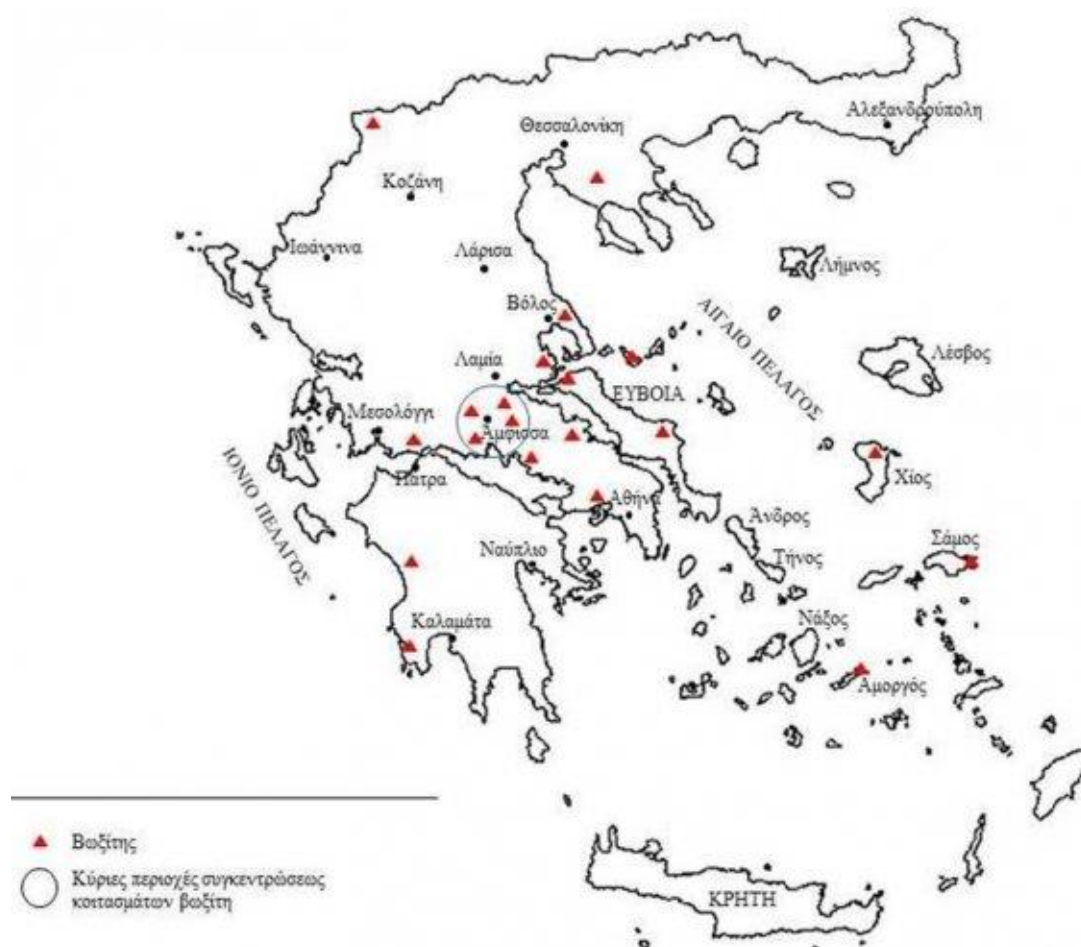


Εικόνα 10. Δείγμα βωξίτη της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας (www.orykta.gr)

Πίνακας 1. Χημική σύσταση (% κ.β.) των τριών βωξιτικών οριζόντων (Βαβελίδης 2014)

Βωξιτικός Ορίζοντας	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Μέγεθος κοιτασμάτων
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

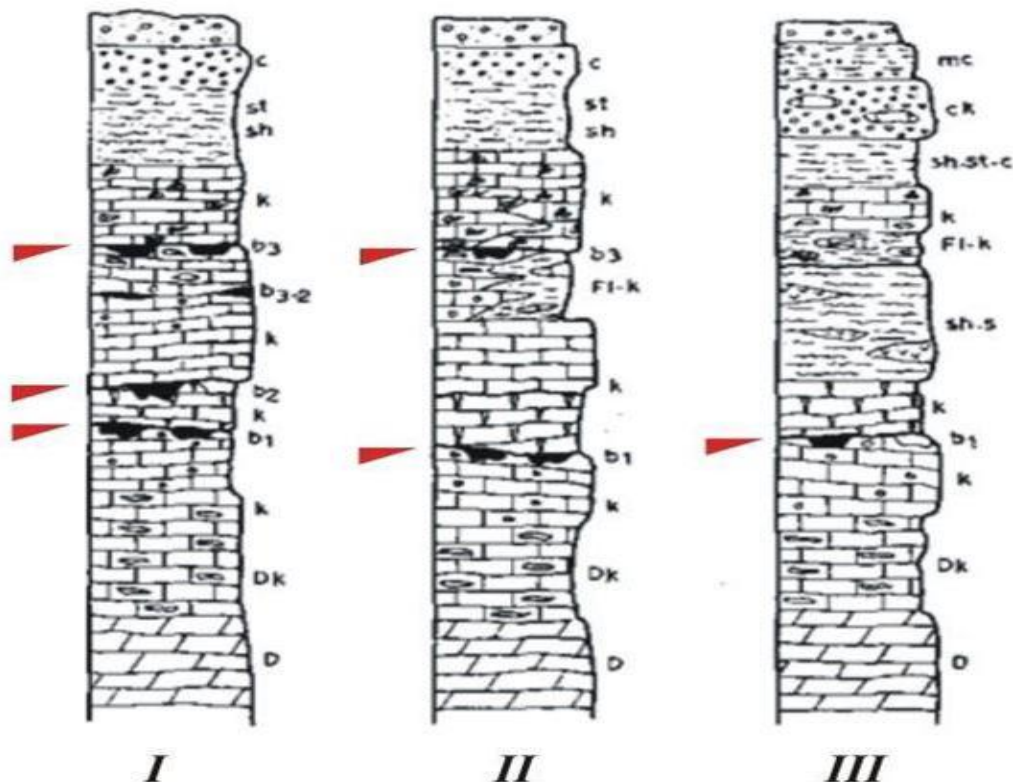
Πέραν των σημαντικών βωξιτικών κοιτασμάτων της γεωτεκτονικής ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, εμφανίσεις βωξιτών εντοπίζονται σε διάφορα σημεία στον Ελλαδικό χώρο (Εικ. 12), όπως στην Ανατολική Ελλάδα (Πελαγονική-Υποπελαγονική ζώνη), στην Αττικοκυκλαδική ζώνη, στη ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης και στη ζώνη Αξιού, οι οποίες όμως δεν αποτελούν οικονομικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα.



Εικόνα 11. Βωξιτικές εμφανίσεις του Ελληνικού χώρου. (www.orykta.gr)

3.2 Οι εμφανίσεις βωξιτών της Πελαγονικής και Υποπελαγονικής ζώνης

Στην Ανατολική Ελλάδα παρατηρούνται εμφανίσεις βωξιτών στη περιοχή της Φλώρινας, της Εύβοιας, της Λοκρίδος, της Χίου και της Αμοργού (Economopoulos and Vgenopoulos, 1998). Στη Φλώρινα οι εμφανίσεις βωξίτη είναι γκιψιτικού τύπου, ενώ στην ανατολική πλευρά της Εύβοιας οι βωξίτες έχουν ως κύριο ορυκτό συστατικό το διάσπορο. Στην επαρχία της Λοκρίδας παρατηρείται εναλλαγή εμφανίσεων βωξίτη και σιδηρονικελιούχου λατερίτη. Στην Αμοργό εμφανίζονται σχηματισμοί μεταβωξιτών που έχουν δεχτεί την επίδραση ελαφριάς μεταμόρφωσης και θεωρούνται ότι ανήκουν (Εικ. 13) στον κατώτερο βωξιτικό ορίζοντα της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας (Panagos, as cited in Economopoulos and Vgenopoulos, 1998).



Εικόνα 12. Στρωματογραφικές στήλες των ζωνών Παρνασσού-Γκιώνας και Υποπελαγονικής και στρωματογραφική συσχέτιση των βωξιτικών οριζώντων μεταξύ των ζωνών. (www.orykta.gr)

3.3 Οι εμφανίσεις βωξιτών της Αττικοκυκλαδικής ζώνης

Πρόκειται για εμφανίσεις σμύριδας και διασποριτών που εντοπίζονται στα νησιά της Νάξου και της Σάμου. Τα κοιτάσματα αυτά, σχηματίστηκαν λόγω μεταμόρφωσης

καρστικών βωξιτών (Economopoulos and Vgenopoulos, 1998). Οι διασπορίτες και η σμύριδα χαρακτηρίζονται από μεταμορφικό διάσπορο και την παρουσία κορουνδίου αντίστοιχα.

3.4 Οι εμφανίσεις βωξιτών στη ζώνη Αξιού

Στο Όρος Κατσίκια της Χαλκιδικής παρατηρούνται διάσπαρτες εμφανίσεις βωξιτών. Πρόκειται για διασπορικού τύπου βωξίτες οι οποίοι είναι Ιουρασικής ηλικίας και φαίνεται πως ανήκουν στον ενδιάμεσο βωξιτικό ορίζοντα της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας (Bardossy & Papastavrou, as cited in Economopoulos and Vgenopoulos, 1998).

3.5 Οι εμφανίσεις βωξιτών της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης

Στη γεωτεκτονική ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης παρατηρούνται εμφανίσεις βωξιτικών σχηματισμών στο όρος Κλόκοβα της νότιο-ανατολικής Αιτωλοακαρνανίας και στην περιοχή της Πύλου. Οι βωξίτες των περιοχών αυτών είναι διασπορικού και μαιμιτικού τύπου αντίστοιχα (Economopoulos and Vgenopoulos, 1998).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΩΞΙΤΗ

4.1 Παγκόσμια παραγωγή βωξίτη

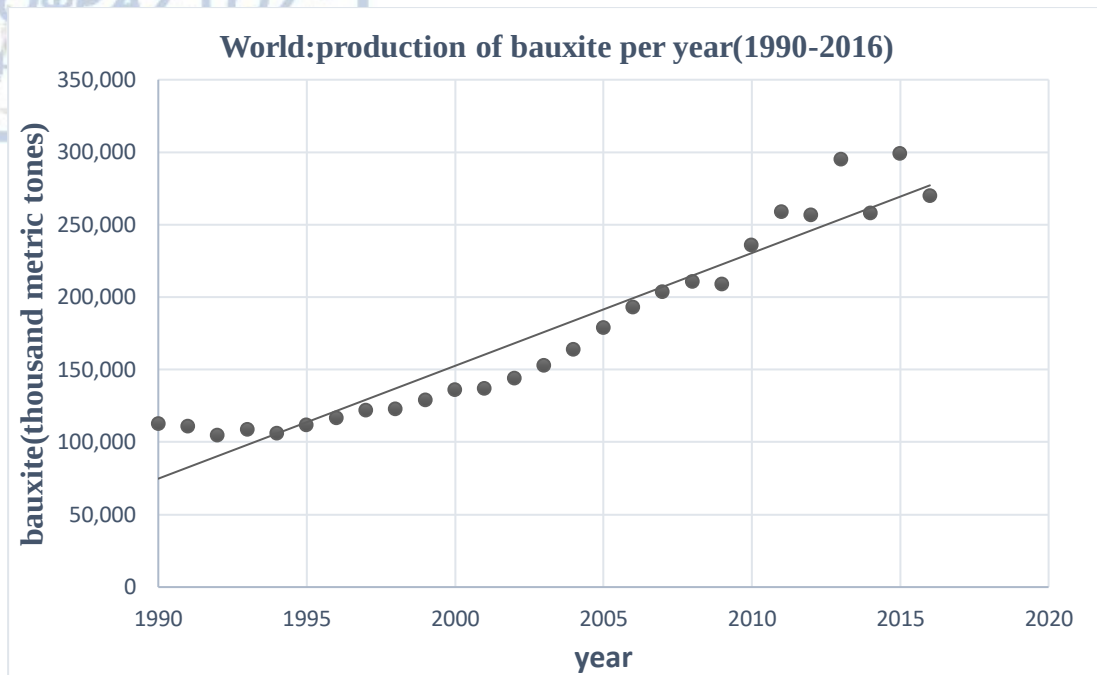
Η παγκόσμια παραγωγή βωξίτη εμφανίζει αυξητικές τάσεις τις τελευταίες δεκαετίες, γεγονός που οφείλεται στην αυξανόμενη ζήτηση που παρουσιάζει το αλουμίνιο λόγω της χρήσης του σε ολοένα πιο καινοτόμες και σύγχρονες βιομηχανικές και καθημερινές εφαρμογές.

Υπολογίζεται ότι το 1990 η παγκόσμια παραγωγή βωξίτη ήταν 113.000.000 τόνοι, ενώ το 2015 η παραγωγή άγγιξε τους 299.000.000 τόνους. Σύμφωνα με τα στοιχεία του United States Geological Survey, η παγκόσμια παραγωγή βωξίτη άγγιξε τους 282.000.000 τόνους το 2016. Η Αυστραλία αποτελεί την πρώτη χώρα σε παραγωγή βωξιτών, ενώ ακολουθούν η Κίνα, η Γουινέα, η Βραζιλία και η Ινδία. Το σύνολο της παραγωγής βωξίτη των πέντε κορυφαίων χωρών παγκοσμίως αντιπροσωπεύεται από το 86% της παγκόσμιας παραγωγής, ενώ η παραγωγή της Αυστραλίας και της Κίνας αντιστοιχούν στο 51% της παγκόσμιας αγοράς.

Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή βωξίτη για τη χρονική περίοδο 1990-2016 σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία που δημοσιεύθηκαν από το USGS (2017).

Παρατηρείται από τη γραμμή τάσης του διαγράμματος 1 μια σταδιακή βαθμιαία αύξηση, που χαρακτηρίζει την ετήσια παγκόσμια παραγωγή βωξίτη, με εξαίρεση το χρονικό διάστημα 2014 και 2016. Η μείωση που παρατηρείται το 2014 οφείλεται στο γεγονός πως ενώ η Ινδονησία αποτελούσε τη δεύτερη χώρα σε παραγωγή βωξίτη, η κυβέρνησή της επέβαλε απαγόρευση των εξαγωγών βωξίτη, με αποτέλεσμα να μειωθεί κατακόρυφα η παραγωγή της χώρας και κατ' επέκταση η παγκόσμια παραγωγή.

Από την άλλη πλευρά η μείωση που παρατηρείται το 2016, όπου η παραγωγή έφτασε 270.000.000 τόνους σε σχέση με το 2015 που έκλεισε στους 299.000.000 τόνους, οφείλεται στη Μαλαισία. Η Μαλαισία το 2015 παρήγαγε 35.000.000 τόνους μεταλλεύματος βωξίτη, ωστόσο το 2016 απαγορεύτηκε η εξορυκτική δραστηριότητα των βωξιτών λόγω σοβαρών οικολογικών προβλημάτων που αντιμετώπισε η χώρα. Παρόλα αυτά, το έλλειμα που παρουσίασε η παγκόσμια αγορά καλύφθηκε εν μέρη από τη Γουινέα που αύξησε τη παραγωγή της σε αυτό το διάστημα κατά 15.000.000 σε σχέση με το προηγούμενο έτος.



Διάγραμμα 1. Παγκόσμια παραγωγή βωξίτη για το χρονικό διάστημα 1990-2016 (USGS, 2016)

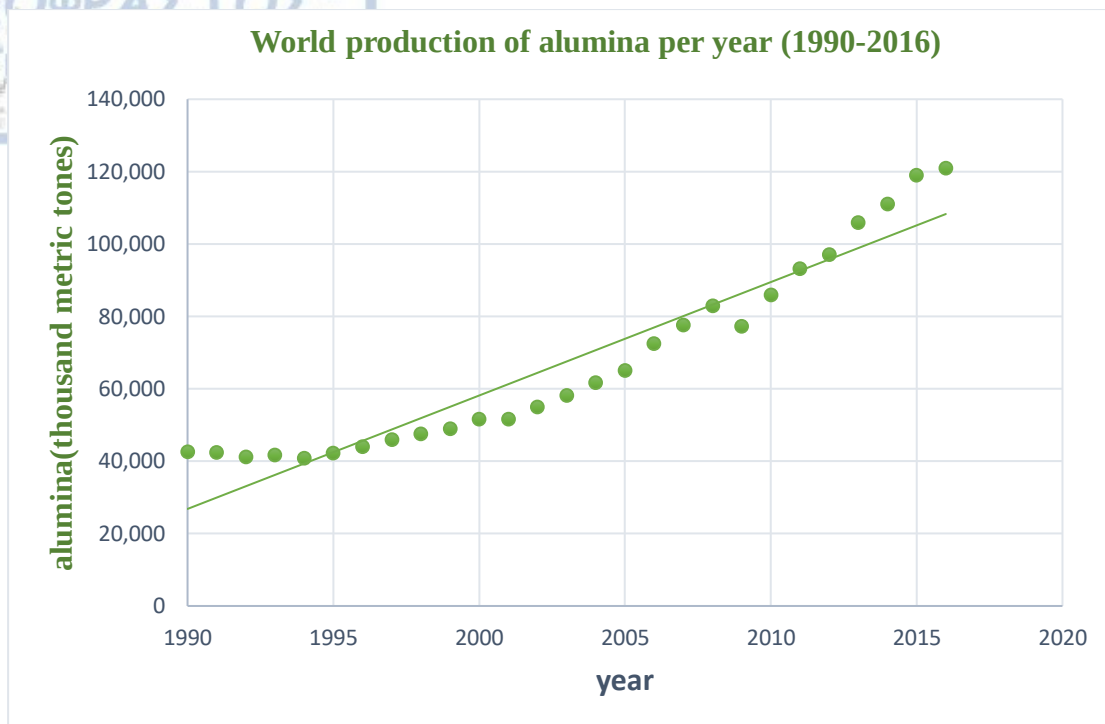
4.2 Παγκόσμια παραγωγή αλουμίνας

Η παγκόσμια παραγωγή αλουμίνας για το 2016 ανέρχεται σε 109.000.000 τόνους. Στο τομέα της αλουμίνας, η κορυφαία παραγωγική χώρα είναι η Κίνα με την παραγωγή να ανέρχεται για το 2016 στους 61.000.000 τόνους, ενώ ακολουθεί η Αυστραλία με 20.000.000 τόνους και η Βραζιλία με 10.000.000 τόνους.

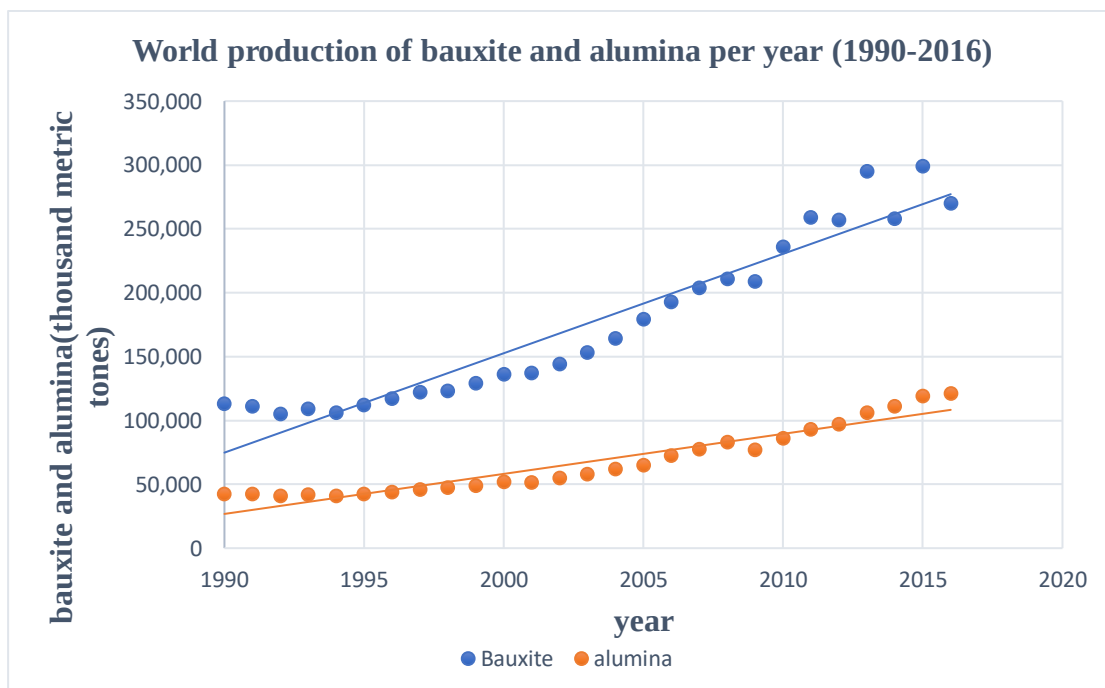
Το 83% της παγκόσμιας παραγωγής αλουμίνας προέρχεται από τις παραπάνω τρεις χώρες, ενώ το 74% από την Κίνα και την Αυστραλία. Το διάγραμμα 2 παρουσιάζει την ετήσια παγκόσμια παραγωγή αλουμίνας για το χρονικό διάστημα 1990-2016 σύμφωνα με στοιχεία που εκδόθηκαν από το USGS (2017).

Από το 2000 όπου η παραγωγή αλουμίνας για την Κίνα ήταν λίγο πάνω από 4.000.000 τόνους μέχρι και το 2010 όπου η παραγωγή άγγιξε τους 30.000.000, παρατηρείται εκθετική αύξηση. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται από τη εντατική στήριξη του τομέα της παραγωγής αλουμίνας από τη κυβέρνηση της Κίνας, μέσω πολιτικών μεταρρυθμίσεων, επενδυτικών προγραμμάτων-επιδοτήσεων, καθώς και από τις ιδιαίτερα χαμηλές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Αυστραλία εδώ και δεκαετίες έχει επενδύσει στο τομέα βωξίτης-αλουμίνα-αλουμίνιο με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μια ετήσια σταθερή άνοδο στην παραγωγή αλουμίνας.



Διάγραμμα 2. Παγκόσμια παραγωγή αλουμίνας για το χρονικό διάστημα 1990-2016 (USGS, 2016)



Διάγραμμα 3. Συγκεντρωτική απεικόνιση των διαγραμμάτων 1 και 2.

4.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Με τη μέθοδο Bayer παράγεται αλουμίνη από το μετάλλευμα του βωξίτη. Κατά το στάδιο της διαλυτοποίησης των ορυκτών του υδροξειδίου του αργιλίου με το

καυστικό νάτριο παράγεται ένα υπολειμματικό προϊόν το οποίο καθιζάνει ως ίζημα. Το προϊόν αυτό ονομάζεται στη βιβλιογραφία ως «κόκκινη λάσπη» (Εικ. 14). Η σύστασή της αποτελείται συνήθως από οξείδια του σιδήρου και του αργιλίου και σε αρκετά μικρότερη αναλογία του πυριτίου, του ασβεστίου, του νατρίου κλπ., καθώς και από σπάνιες γαίες.

Λόγω των επικίνδυνων ιδιοτήτων που παρουσιάζει, όπως ισχυρή αλκαλικότητα, υψηλή τιμή pH και αυξημένο περιεχόμενο ραδιενεργών ουσιών (Schwarz & Lalik 2012) αποτελεί το μεγαλύτερο οικολογικό πρόβλημα που σύσσωμη η παγκόσμια βιομηχανία αλουμινίου και οι αρμόδιοι φορείς προσπαθούν να αντιμετωπίσουν. Είναι χαρακτηριστικό πως για την παραγωγή ενός τόνου βωξίτη παράγονται 2 τόνοι κόκκινης λάσπης (Mahadevan & Ramachandran 1996).



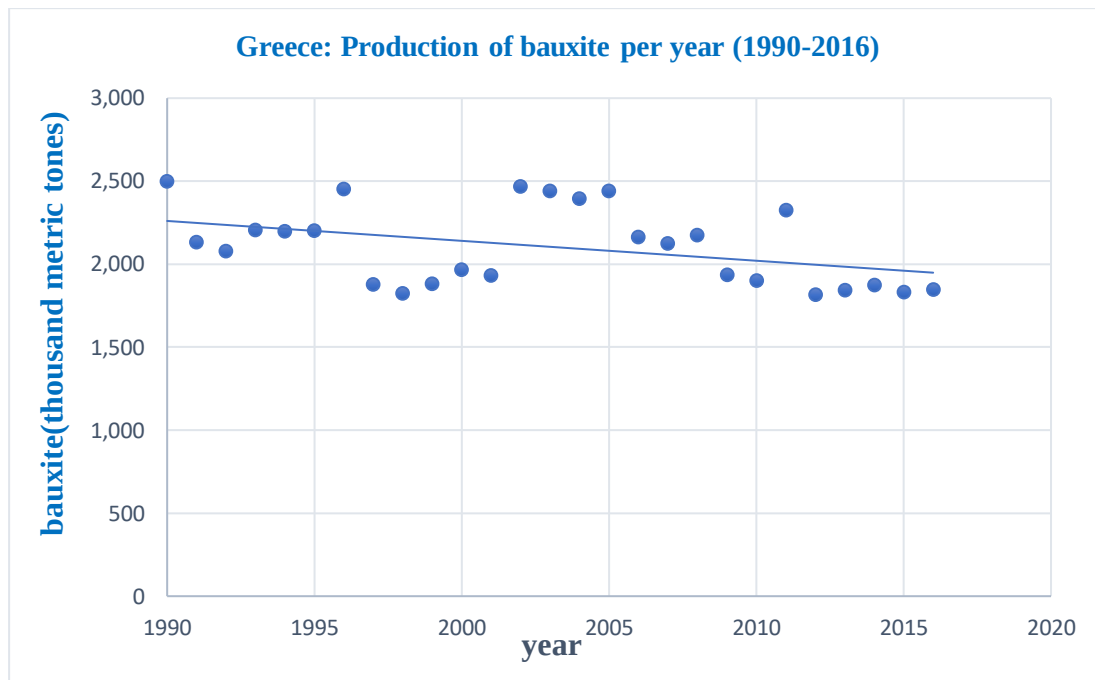
Εικόνα 13. Σημείο απόρριψης της κόκκινης λάσπης (Shamshad Alam, 2015)

4.4 Ελληνική παραγωγή Βωξίτη

Τα πλούσια κοιτάσματα της γεωτεκτονικής ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας καθιστούν την Ελλάδα την σημαντικότερη παραγωγό βωξίτη στην Ευρώπη, καθώς και μία πολύ υπολογίσιμη παγκόσμια δύναμη. Σύμφωνα με στατιστικά δεδομένα η παραγωγή βωξίτη της Ελλάδας για το 2016 ήταν 1.847.000 τόνοι (USGS 2017), συνεισφέροντας περίπου στο 0,68% της παγκόσμιας παραγωγής.

Στο διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή βωξίτη της Ελλάδας για το χρονικό διάστημα 1990-2016 σύμφωνα με τα στοιχεία του USGS (2017). Η γενική

εικόνα της παραγωγής υποδηλώνει μία σταδιακή ελαφριά μείωση. Κατά τη χρονική περίοδο 2000-2005 παρατηρείται μία μικρή αύξηση στη παραγωγή του βωξίτη η οποία όμως δεν συνεχίστηκε λόγω της οικονομικής κρίσης που επηρέασε την χώρα στα επόμενα χρόνια. Τα έτη 2013-2016 παρατηρείται μια σταθεροποίηση της παραγωγής κοντά στους 1.800.000 τόνους ετησίως.



Διάγραμμα 4. Ελληνική παραγωγή βωξίτη για το χρονικό διάστημα 1990-2016 (USGS 2016).

Στο τομέα της παραγωγής βωξίτη στην Ελλάδα δραστηριοποιούνται οι εξής εταιρίες (Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων www.sme.gr):

- ΕΛΜΙΝ Α.Ε.

Η ΕΛΜΙΝ Α.Ε. παράγει από τα μεταλλεία βωξιτών πάνω από 1.000.000 τόνους ετησίως. Από το 2016 στην ΕΛΜΙΝ Α.Ε. ανήκει η εταιρία «ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΙ ΒΩΞΙΤΕΣ Α.Ε. η οποία ιδρύθηκε το 2013 με την απόσχιση από τον κλάδο της εταιρίας S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε. Η εταιρία εξάγει προϊόντα βωξίτη σε 20 χώρες καλύπτοντας τις αγορές προϊόντων όπως αλουμινούχα τσιμέντα, τσιμέντα τύπου Portland, ορυκτών ινών κτλ., ενώ παράλληλα αποτελεί το βασικό προμηθευτή της εταιρίας «Αλουμίνιον της Ελλάδος».

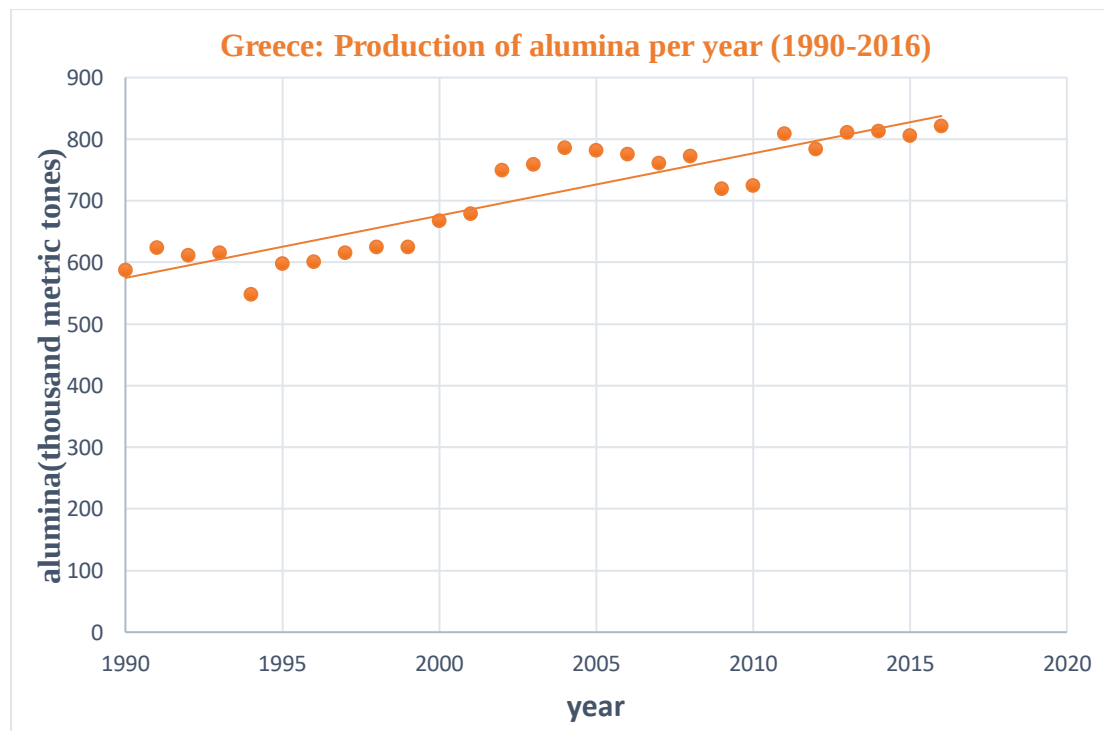
- ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟΝ Α.Ε

Αποτελεί θυγατρική εταιρία της «Αλουμίνιον της Ελλάδος». Η εταιρία δραστηριοποιείται από τη δεκαετία του 1970 στο χώρο και απασχολεί γύρω στους 100 εργαζόμενους. Η παραγωγή της εταιρίας ανέρχεται σε 650.000 τόνους ετησίως, καλύπτοντας κατά 45% τις ανάγκες της εταιρίας «Αλουμίνιον της Ελλάδος».

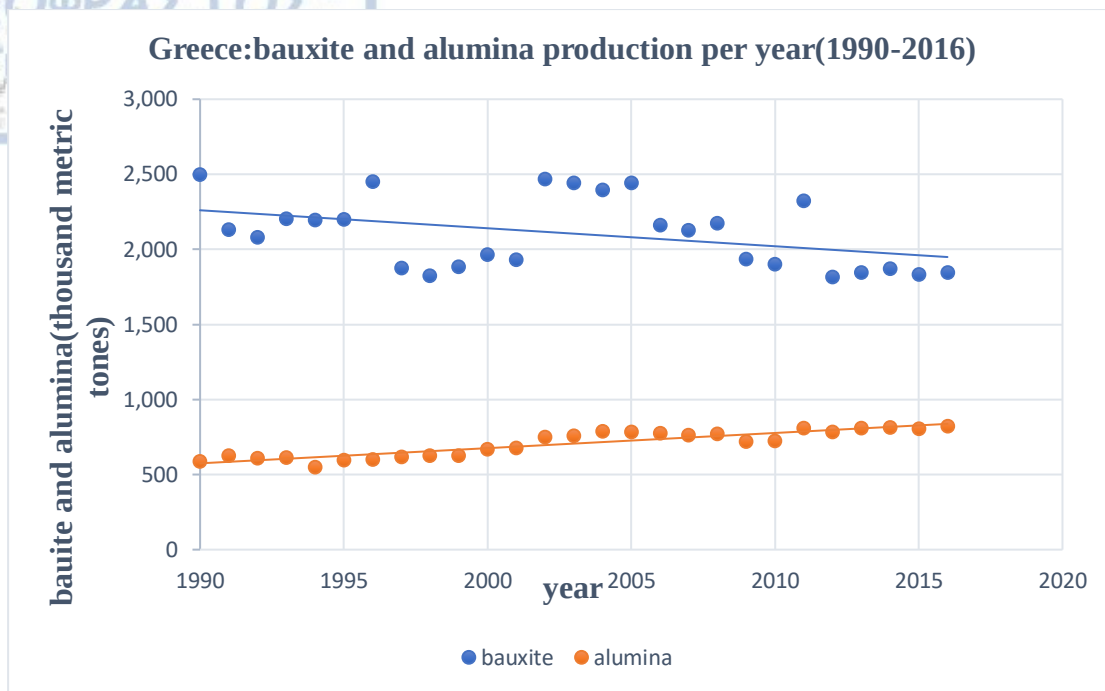
4.5 Ελληνική παραγωγή αλουμίνας

Η παραγωγή αλουμίνας και κατ' επέκταση αλουμινίου αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ελληνικής βιομηχανίας. Με βάση τα στατιστικά στοιχεία που δημοσίευσε η USGS (2017) η παραγωγή αλουμίνας για το 2016 ανήλθε σε 821.000 τόνους. Η Ελλάδα κατέχει την τέταρτη θέση στην Ευρώπη, όσον αφορά τον τομέα της παραγωγής αλουμίνας.

Στο διάγραμμα 5 αποτυπώνεται η ετήσια παραγωγή αλουμίνας για το χρονικό διάστημα 1990-2016, με βάση τα στατιστικά δεδομένα που δημοσίευσε η USGS (2017). Σύμφωνα με τη γραμμή τάσης του διαγράμματος 5, παρατηρείται μία σταθερή σταδιακή αύξηση στο ισοζύγιο της ετήσιας παραγωγής αλουμίνας.



Διάγραμμα 5. Ελληνική παραγωγή αλουμίνας για το χρονικό διάστημα 1990-2016 (USGS, 2016)

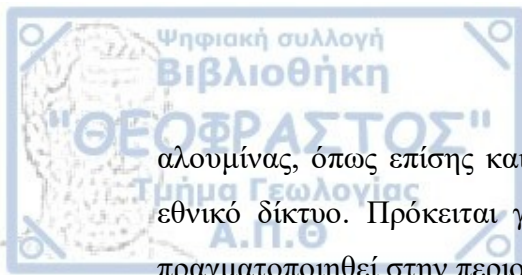


Διάγραμμα 6. Συγκεντρωτική απεικόνιση των διαγραμμάτων 4 και 5.

Σύμφωνα με τον σύνδεσμο Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων (www.sme.gr) για το 2019, παράχθηκαν 820.000 τόνοι ένυδρης αλουμίνας, από την οποία 145.000 τόνοι διοχετεύθηκαν στην παγκόσμια αγορά, ενώ παράχθηκαν 665.000 τόνοι άνυδρης αλουμίνας. Η ποσότητα της άνυδρης παραγόμενης αλουμίνας χρησιμοποιήθηκε κατά το ήμισυ περίπου, για την κάλυψη των εγχώριων αναγκών, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα διοχετεύτηκε σε εξωτερικές αγορές. Η αξία των εξαγωγών αλουμίνας για το 2018 ανήλθε σε περισσότερο από 175.000.000 ευρώ (sme.gr).

Πρωταγωνιστικό ρόλο στην εγχώρια παραγωγή αλουμίνας και αλουμινίου κατέχει η εταιρεία «Αλουμίνιον της Ελλάδος» η οποία ανήκει στον όμιλο «Μυτιληναίος». Η ίδρυση της εταιρίας έλαβε χώρα το 1970. Σήμερα αποτελεί την σημαντικότερη και πιο καθετοποιημένη μονάδα παραγωγής και εμπορίας αλουμίνας και αλουμινίου στην Ευρώπη. Το εργοστάσιο της «Αλουμίνιον της Ελλάδος» βρίσκεται στην παραθαλάσσια περιοχή του Αγίου Νικολάου στο νομό Φωκίδας.

Διαθέτει σύγχρονες υποδομές καταμεμημένες σε μία ακτίνα 700 στρεμμάτων. Παράλληλα, αξίζει να αναφερθεί η πρόσβαση και η εκμετάλλευση που προσφέρει το τοπικό λιμάνι με αποτέλεσμα την ευελιξία στις μεταφορές και το εξαγωγικό εμπόριο (www.alhellas.com). Το 2008 η εταιρία έθεσε σε λειτουργία το σταθμό συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας μεγάλης απόδοσης (www.alhellas.com). Ο σταθμός λειτουργεί με φυσικό αέριο και παράγει θερμότητα για την διαδικασία παραγωγής



αλουμίνας, όπως επίσης και ηλεκτρική ενέργεια η οποία μπορεί να διατεθεί και σε εθνικό δίκτυο. Πρόκειται για μία από της σημαντικότερες επενδύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή της νοτίου Ευρώπης.

Σύμφωνα με το Ίδρυμα Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών (IOBE) η απασχόληση στο συνολικό τομέα του αλουμινίου για την Ελλάδα περιλαμβάνει 3000 μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις που απασχολούν συνολικά 16.000 εργαζόμενους. Για το 2018 η αξία των εξαγωγών των ελληνικών προϊόντων αλουμινίου έφτασε σχεδόν τα 240.000.000 ευρώ (www.sme.gr).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το τρίπτυχο βωξίτης-αλουμίνα-αλουμίνιο αποτελεί ένα πολύ σημαντικό γρανάζι των σύγχρονων κοινωνιών. Η αυξανόμενη τάση για ζήτηση του αλουμινίου σε συνδυασμό με τη χρήση του σε ολοένα και περισσότερες εφαρμογές οδηγεί στην ανάγκη για μεγαλύτερη παραγωγή τα επόμενα χρόνια. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με την εντατική μελέτη και έρευνα, με σκοπό τη βελτίωση των παραγωγικών μεθόδων της αλυσίδας βωξίτη-αλουμίνας-αλουμινίου, τόσο σε ενεργειακό επίπεδο, όσο και σε περιβαλλοντικό, με καλύτερη και αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των αποβλήτων της βιομηχανίας.

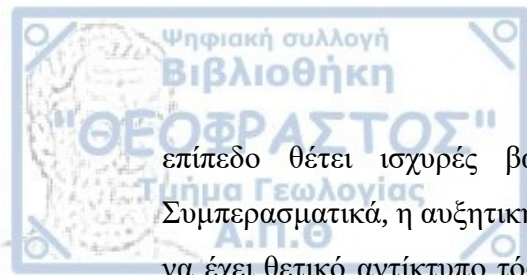
Παράλληλα, η εκμετάλλευση των ήδη γνωστών κοιτασμάτων στο μέγιστο δυνατό βαθμό, καθώς και οι μελέτες για νέα και ήδη γνωστά κοιτάσματα που θα μπορούσαν να αποτελέσουν πηγές παραγωγής μεταλλεύματος στο άμεσο μέλλον, αποτελούν επιτακτική ανάγκη για να καλυφθεί η παγκόσμια ζήτηση.

Σε παγκόσμιο επίπεδο εδώ και δεκαετίες η Αυστραλία αποτελεί κινητήρια δύναμη στο τομέα της παραγωγής βωξίτη και αλουμινίου. Μαζί με την Κίνα, που από το 2000 και μετά παρουσιάζει ραγδαία αύξηση στην παραγωγή αλουμινίου, αποτελούν τις δύο κυριότερες αγορές της βιομηχανίας του μετάλλου.

Τα κοιτάσματα βωξίτη ταξινομούνται με διάφορους τρόπους. Η πλέον συνηθισμένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη ταξινόμηση, περιλαμβάνει το διαχωρισμό των βωξιτικών κοιτασμάτων με βάση τον τρόπο γεννήσεως τους ή/και με τη περιεκτικότητα που αυτά εμφανίζουν στα κύρια ορυκτά των βωξιτών, τα οποία είναι ο γκιψίτης, ο μπαιμίτης και το διάσπορο.

Σημαντικά κοιτάσματα βωξιτών εμφανίζονται σε πολλές περιοχές του πλανήτη, όπως για παράδειγμα το κοιτάσμα Weipa στην Αυστραλία ή στη Βραζιλία όπου τα κοιτάσματα της περιοχής του Αμαζονίου καταλαμβάνουν μία τεράστια έκταση χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων.

Στον Ελληνικό χώρο τα βωξιτικά κοιτάσματα της γεωτεκτονικής ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας αποτελούν τα σημαντικότερα κοιτάσματα, όχι μόνο του Ελληνικού χώρου αλλά και του Ευρωπαϊκού, καθώς η Ελλάδα είναι η πρώτη χώρα σε παραγωγή βωξίτη στην Ευρώπη και η τέταρτη κατά σειρά σε παραγωγή αλουμίνας. Η παραγωγή της Ελληνικής βιομηχανίας αλουμινίου έφτασε τους 1.847.000 τόνους βωξιτικού μεταλλεύματος και τους 820.000 τόνους αλουμίνας για το 2016, που σε συνδυασμό με την σημαντική παραγωγική αύξηση που παρατηρείται σε παγκόσμιο



επίπεδο θέτει ισχυρές βάσεις για την εξέλιξη του κλάδου στην Ελλάδα. Συμπερασματικά, η αυξητική τάση της παγκόσμιας αγοράς του αλουμινίου αναμένεται να έχει θετικό αντίκτυπο τόσο στην περαιτέρω ανάπτυξη της ελληνικής βιομηχανίας του αλουμινίου, αλλά παράλληλα αναμένεται να τονώσει και την οικονομία της χώρας.



Ελληνική

- Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών Foundation for economic & industrial research (2019). Η βιομηχανία αλουμινίου στην Ελλάδα: Συνεισφορά στην οικονομία, προκλήσεις και προοπτικές ανάπτυξης.
- Ιωαννίδης, Β. (2005). Προοπτικές της ελληνικής μεταλλουργικής βιομηχανίας αλουμινίου, χρυσού και νικελίου την επόμενη δεκαετία. Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα μηχανικών ορυκτών πόρων.
- Κοντόπουλος, Α. , Κουλουμπή, Ν. , & Κομνίτσας Κ. (1987). Η βιομηχανία βωξίτη-αλουμίνας-αλουμινίου: ελληνικές και διεθνείς προοπτικές εξέλιξης =the bauxite-alumina – aluminium industry: Greek and international prospects. *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. , & Φιλίππιδης, Α. (1986). *Σημειώσεις γενικής Κοιτασματολογίας 1*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας. Θεσσαλονίκη: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων.
- Μιχαϊλίδης, Κ. , Βαβελίδης, Μ. , & Φιλίππιδης, Α. (1986). *Σημειώσεις γενικής Κοιτασματολογίας 2*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας. Θεσσαλονίκη: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων.
- Μουντράκης, Δ. 2010. *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Τσιραμπίδης, Α., & Φιλίππιδης, Α. (2013). Ορυκτοί Πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και Αξία. Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ξενόγλωσση

- Abzalov, M., & Bower, J., (2014) Geology of bauxite deposits and their resource estimation practices, *Applied Earth Science*, 123(2), 118-134.
- Anagnostou, C. (2010). Bauxite resource exploitation in Greece vs sustainability. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 43(5), 2426-2436.
- Anand, R., Gilkes, R., & Roach, G. (1991). Geochemical and mineralogical characteristics of bauxites, Darling Range, Western Australia. *Applied Geochemistry*, 6(3), pp. 233-248.
- Authier-Martin, M., Forte, G., Ostap, S., & See, J. (2001). The mineralogy of bauxite for producing smelter-grade alumina. *JOM*, 53(12), 36-40.

Bardossy, G. (1982). *Karst bauxites*, 14. Amsterdam: Elsevier Scientific publishing company. Retrieved from: <https://www.elsevier.com/books/karst-bauxites/bardossy/978-0-444-99727-2>.

Bhukte, P., & Chaddha, M. (2014). Geotechnical Evaluation of Eastern Ghats Bauxite Deposits of India. *Journal geological society of India* 84, pp. 227-238.

Carvalho, A., Boulange, B., Melfi, A., & Lucas Y. (1997). *Brasilian Bauxite*, USP, FAPESP, ORSTOM, São Paulo, Paris.

Costa, M., Cruz, G., Almeida, H., & Poellmann, H. (2014). On the geology, mineralogy and geochemistry of the bauxite-bearing regolith in the lower Amazon basin: Evidence of genetic relationships. *Journal of Geochemical Exploration*, 146, pp.58-74.

Deady, E., Mouchos, E., Goodenough, K., Williamson, B., & Wall, F. (2014) Rare earth elements in karst-bauxites: a novel untapped European resource? In: ERES 2014: 1st conference on European Rare Earth Resources, Milos, Greece. 364-375. (Unpublished).

Economopoulos, I., & Vgenopoulos, G., (1998). An approach concerning bauxites, bauxitization processes and mining in Greece. *Mineral Wealth*, 1998 (109). 21-34.

Gandara, M. (2013). Aluminium: The metal of choice. *Materials and technology*, 47, 261–265.

Gow, N., & Lozej, G. (1993). Bauxite. *Geoscience Canada*, 20(1), pp.9-16. Retrieved from: <https://journals.lib.unb.ca/index.php/GC/article/view/3785>

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.

Knierzinger, J. (2017). Mining Towns as Portals of Globalization: The Arrival of the Global Aluminium Industry in West Africa. *Comparativ*, 27(3-4), 94–110.

Li, H., Pedrosa, S., & Canfell, A. (2011). Case study – bauxite residue management at Rio Tinto Alcan Gove, Northern Territory, Australia. in R Jewell & AB Fourie (eds). *Proceedings of the 14th International Seminar on Paste and Thickened Tailings*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 203-211.

Mahadevan, H., & Ramachandran, T.R. (1996). Recent trends in alumina and aluminium production technology. *Bulletin Material Science*, 19(6), 905–920 (1996).

Mouchos, E., Wall, F., Williamson, B.J., & Palumbo-Roe, B. (2016). Easily leachable rare earth element phases in the Parnassus-Giona bauxite deposits, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50(4), 1952-1958.

Prazeres, F., De Oliveira, S., Molinari, M., & Belther, J. (2015). The rediscovery of Rondon do Para, the last giant world-class bauxite deposit in an attractive geography. In: *ICSOBA Proceedings, 33, Dubai, United Arab Emirates*.

Rabinovich, D. (2013). The allure of aluminium. *Nature Chem*, 5(76).

Sarat, D., Rout, S., & Shamshad, A. (2015). Characterization of Red Mud as a Subgrade Construction Material.

Schwarz, M., & Lalik, V. (2012). Possibilities of Exploitation of Bauxite Residue from Alumina Production.

Spain, A., Hinz, R., Ludwig, J., Tibbett, M., & Tongway, D. (2006). Mine closure and ecosystem development: Alcan Gove bauxite mine, Northern Territory, Australia. in AB Fourie & M Tibbett (eds), *Proceedings of the First International Seminar on Mine Closure*, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 299-308.

Tomotia, S. (2002) Aluminium and Its Usage. In: *Proceedings of Seminar on Resurgence of Metallic Materials the Current Scenario (ROMM-2002)*, 24-25, National Metallurgical Laboratory (CSIR), Jamshedpur.

Traore, S., Diakite, S., & Traore, D., (2014). Investigation of a Red Mud and Metakaolin-based Inorganic Polymer Material for Civil Construction Applications. *International Journal of Materials Engineering*, 4(1), 25-30.

Tsirambides, A. & Filippidis, A. (2012). Metallic mineral resources of Greece. *Central European Journal of Geosciences*, 4, 641-650.

Weng, S., Yu, W., Algeo, T., Du, Y., Li, P., Lei, Z., & Zhao, S. (2019). Giant bauxite deposits of South China: Multistage formation linked to Late Paleozoic Ice Age (LPIA) eustatic fluctuations. *Ore Geology Reviews* 104, pages 1-13.

Xu, H., & Zhang, X. (2009). Geological character and ore mechanism of lateritic bauxite deposits in Boke, Guinea. *Journal of Changchun Institute of Technology (Natural Sciences Edition)*, 10, pp. 87-91.

Διαδικτυακές Πηγές

Bauxite and Alumina Statistics and information. Ανακτήθηκε από <https://www.usgs.gov/centers/nmic/bauxite-and-alumina-statistics-and-information>

Geoscience Australia. Ανακτήθηκε από <https://www.ga.gov.au/>

Mines, Minerals and More. Ανακτήθηκε από <https://www.mindat.org/>

United States Geological Survey. Ανακτήθηκε από <https://www.usgs.gov/>

Αλουμίνιο της Ελλάδος (ATE). Ανακτήθηκε από <https://www.alhellas.com/>

Ελληνική Ένωση Αλουμινίου (ΕΕΑ). Ανακτήθηκε από <http://www.aluminium.org.gr/>

Ελληνικός ορυκτός πλούτος. Ανακτήθηκε από <https://www.oryktosploutos.net>



Ιδρυμα Οικονομικών και Βιομηχανικών ερευνών. Ανακτήθηκε από http://iobe.gr/docs/research/RES_05_F_27032019_PRE.pdf

Σημειώσεις Καθηγητή Βαβελίδη Μιχαήλ (2014). Ανακτήθηκε από http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf_theory/boxites.pdf)

Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων. Ανακτήθηκε από <https://www.sme.gr/>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Ανακτήθηκε από <http://www.latomet.gr/>