



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



ΟΥΡΑΝΙΑ ΚΟΚΤΣΙΔΟΥ

ΒΩΞΙΤΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2023





ΟΥΡΑΝΙΑ ΚΟΚΤΣΙΔΟΥ

ΒΩΞΙΤΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Καντηράνης Νικόλαος



Πίνακας περιεχομένων

1.1	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ
1.2	ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....
	ABSTRACT
1.3	ΠΡΟΛΟΓΟΣ
2.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ
2.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
2.2	ΤΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ
2.3	Η ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΒΩΞΙΤΗ
2.4	ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΒΩΞΙΤΗ
3.	ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
3.1	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ
3.2	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ
3.3	ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ
3.4	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ
4.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ
4.1	ΧΡΗΣΕΙΣ
4.2	ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΒΩΞΙΤΗ ΩΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....
4.3	ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....
4.4	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΒΩΞΙΤΗ.....
4.5	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΩΞΙΤΗ
	
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κοιτάσματα βωξίτη παγκοσμίως

Εικόνα 2: Ερυθροκάστανος διασπορικός βωξίτης

Εικόνα 3: Εξαγωγές αλουμίνας

Εικόνα 4: Κοιτάσματα βωξίτη

Εικόνα 5: Βωξίτης-Αλουμίνα-Αλουμίνιο

Εικόνα 6: Λατομικές περιοχές Ελλάδας

Εικόνα 7: Αλπική ορογένεση, Ηώκαινο

Εικόνα 8: Τρεις βωξιτικοί ορίζοντες, κεντρική Ελλάδα

Εικόνα 9: Αύξηση των εισαγωγών βωξίτη στην Ελλάδα



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ελληνικοί βωξίτες ανήκουν στους βωξίτες μεσογειακού τύπου και συνδέονται με το καρστ. Ο συγκεκριμένος τύπος βωξίτη είναι ο πιο κοινός και οικονομικός παγκοσμίως, από τον οποίο η Ελλάδα κατέχει τα δεύτερα μεγαλύτερα αποθέματα (η Τζαμάικα έχει τα μεγαλύτερα). Είναι τύπου βωξίτη με βοεχιτική και διασωματωμένη μορφή και έχουν μέση περιεκτικότητα σε οξείδιο του αλουμινίου Al_2O_3 55%. Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα βωξίτη στην Ελλάδα βρίσκονται στη ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, όπου εμφανίζονται συνήθως μέσα σε τρεις ορίζοντες και παρεμβάλλονται μέσα σε ανθρακικά πετρώματα Μεσοζωικής ηλικίας. Από τα τρία στρώματα, το μεσαίο και το ανώτερο στρώμα, παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον για την εκμετάλλευσή τους.



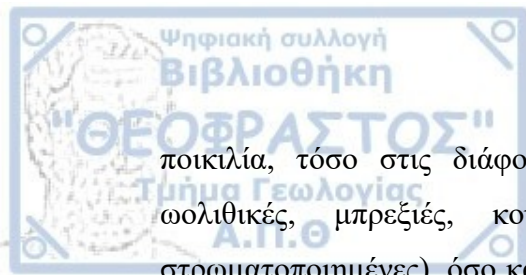
ABSTRACT

Greek bauxites belong to the Mediterranean-type bauxites associated with karst, the most common and economical type of bauxite associated with karst worldwide, of which Greece has the second largest reserves (Jamaica has the largest.) They are of the bauxite type with a boeichitic and disseminated form and have an average Al_2O_3 content of 55%. The biggest bauxite deposits in Greece, commonly occurs within three horizons interbedded with the Mesozoic carbonate rocks of the Parnassus-Giona zone. Of the three layers, the middle and upper layers are the ones that are currently economically exploitable

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο όρος βωξίτης (beauxite) προέκυψε από την ανακάλυψη του Pierre Berthier το 1821, ενός αλουμινούχου πετρώματος στο ομότιμο χωριό Les Baux κοντά στην πόλη Arles της Ν. Γαλλίας. Η εκμετάλλευση του είχε ήδη αρχίσει από τον 19^ο αιώνα και μέχρι σήμερα, ο βωξίτης αποτελεί το κυριότερο και πιο διαδεδομένο μετάλλευμα, παγκοσμίως για την παραγωγή αλουμινίου. Η Ελλάδα είναι ένας σημαντικός παραγωγός βωξίτη παγκοσμίως, αποτελώντας μία από τις λίγες πηγές βωξίτη για μη μεταλλουργικές αγορές. Η πρόσφατη ετήσια παραγωγή κυμαινόταν περίπου στα 2,2 - 2,3 εκατ. τόνους, καθιστώντας την κορυφαία παραγωγό βωξίτη στην ΕΕ και 12η μεγαλύτερη παραγωγό παγκοσμίως, το 2012. Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα βωξίτη στην Ελλάδα βρίσκονται στη γεωτεκτονική ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, μια σχετικά μικρή γεωγραφική περιοχή που βρίσκεται στην Κεντρική Ελλάδα, βόρεια του Κορινθιακού Κόλπου. Οι εκτιμήσεις της χωρητικότητας του ελληνικού βωξίτη ποικίλλουν, με αναφερόμενες τιμές που φτάνουν τους 300 εκατ. τόνους, 415 εκατ. τόνους και 600 εκατ. τόνους. Ωστόσο τα αποδεδειγμένα αποθέματα ανέρχονται σήμερα σε περίπου 100 εκατ. τόνους, τα οποία με τους σημερινούς ρυθμούς παραγωγής έχουν διάρκεια ζωής περίπου 50 ετών (Tsirambides, A., & Filippidis, A. 2012).

Οι βωξίτες συχνά εμπεριέχουν κάποια οξείδια σιδήρου, χαλαζία, οξείδια τιτανίου, κορούνδιο, άμορφο υλικό, νερό και μικρές ποσότητες αργίλου, φωσφορικών ορυκτών, ζirkονίου, τουρμαλίνη, κυανίτη, γρανάτη και αμετάβλητα τμήματα του μητρικού πετρώματος. Ορυκτά του βωξίτη όπως ο γύψος ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), ο μποεμίτης, ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) και ο διάσπορος ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) έχουν σχηματιστεί κάτω από διάφορες γεωλογικές συνθήκες και τεκτονικές παραμορφώσεις. Γενικά, τα κοιτάσματα βωξιτών αποτελούν υπολειμματικές αποθέσεις προϊόντων αποσάθρωσης που σχηματίζονται στην επιφάνεια της γης ή κοντά σε αυτήν, υπό τροπικές ή υποτροπικές συνθήκες αποσάθρωσης. Γεωγραφικά είναι εξαπλωμένα και στις πέντε ηπείρους και αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο τμήμα της κλίμακας του γεωλογικού χρόνου, από το Προκάμβριο έως σήμερα. Για τον καθορισμό των κοιτασμάτων βωξίτη, έχουν προταθεί κατά περιόδους, διάφορες μέθοδοι ταξινόμησης που βασίζονται σε κριτήρια, όπως το μητρικό πέτρωμα από το οποίο προέρχονται και οι τύποι στρωμάτων που σχηματίζουν. Οι βωξίτες επίσης παρουσιάζουν μεγάλη



ποικιλία, τόσο στις διάφορες μορφές υφής (αδόμητες, κοκκώδεις, ποζιλιτικές, ωολιθικές, μπρεξιές, κονδύλους, κυτταρική δομή, επίπεδες, μαζικές ή στρωματοποιημένες), όσο και στους διάφορους χρωματικούς τόνους που εμφανίζουν (από κόκκινο έως καφέ ή κίτρινο, μαύροι ή σκούρο πράσινοι σε περίπτωση περίσσειας οργανικού υλικού) (Evans, K. 2016).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά στοιχεία

Ο βωξίτης είναι το κύριο μέταλλευμα της αλουμίνας (Al_2O_3), η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή αλουμινίου (Al). Αποτελείται από ενυδατωμένα οξείδια του αργιλίου, ενυδατωμένα αργιλοπυριτικά άλατα, οξείδια του σιδήρου, ενυδατωμένα οξείδια του σιδήρου, οξείδιο του τιτανίου και διοξείδιο του πυριτίου και περιέχει μείγματα διαφόρων ορυκτών όπως γιββσίτη, μποεμίτη, αιματίτη, γκαιτίτη, ανατάση, ρουτίλιο, ιλμενίτη, καολίνη και χαλαζία (Evans, K. 2016).

Οι διάφορες περιεκτικότητες των οξειδίων είναι:

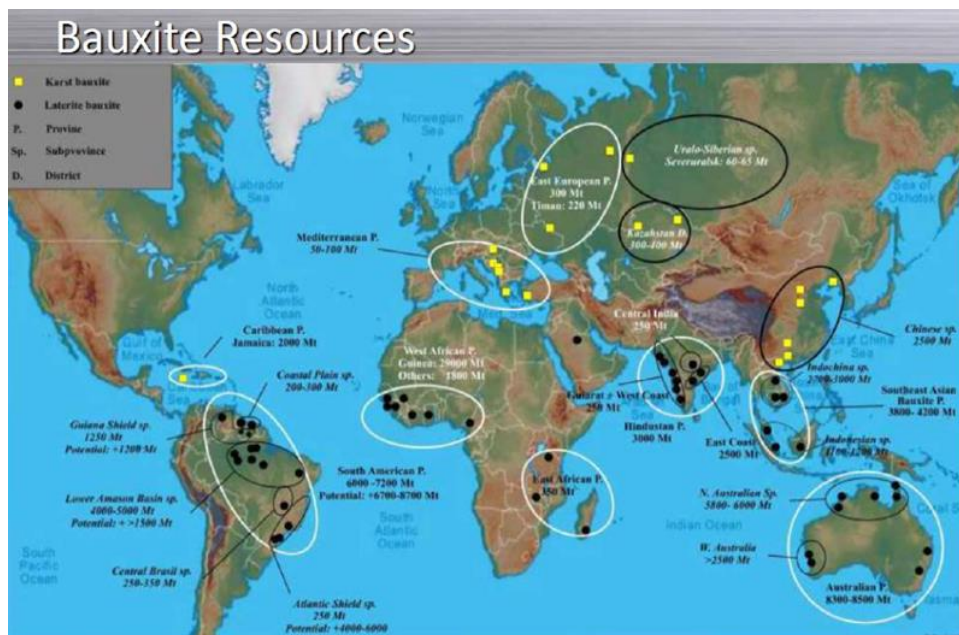
- Al_2O_3 κυμαίνεται μεταξύ 49%-65%
- Fe_2O_3 μεταξύ 18%-24%
- CaO μεταξύ 0-5%
- SiO_2 μεταξύ 2%-10%
- TiO_2 μεταξύ 0,5-3%
- Cr και Ni μπορεί να ανέλθει σε 2.000 ppm (Mouchos, E. et al 2016).

Με βάση τον Ούγγρο κοιτασματολόγο G. Bardossy (1982), οι βωξίτες κατηγοριοποιούνται σε δύο τύπους κοιτασμάτων, λατεριτικός βωξίτης και καρστικός βωξίτης. Ο πρώτος τύπος αποτελεί προϊόν αποσάθρωσης *in situ*, πετρώματων πλούσιων σε αργιλοπυριτικά ορυκτά, ενώ ο δεύτερος προκύπτει από την διάβρωση, τη μεταφορά και εν τέλει την απόθεση κλαστικού ιζήματος σε ασβεστολιθικές, καρστικές κοιλότητες. Στην ουσία ο βωξίτης είναι ένα υπολειμματικό πέτρωμα που σχηματίζεται από την αποσάθρωση διαφόρων πυριγενών, ιζηματογενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων, ύστερα από έκθεση τους σε μεγάλες περιόδους (εκατομύρια χρόνια) διάβρωσης κάτω από τροπικές, υποτροπικές ή πολύ υγρές εύκρατες συνθήκες. Το ενενήντα τοις εκατό των γνωστών παγκόσμιων πόρων βωξίτη βρίσκονται σε τροπικές περιοχές. (Lyu, F. et al 2021).

1.2 Τα κοιτάσματα και η παραγωγή

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βωξίτη βρίσκονται στην Κεντρική και Νότια Αμερική, στη Δυτική Αφρική, ιδίως στη Γουινέα, και στη συνέχεια στην Ινδία, το Βιετνάμ και την Αυστραλία. Ορισμένα κοιτάσματα υπάρχουν επίσης στη βόρεια Ρωσία και στο κέντρο της Σαουδικής Αραβίας. Ο σημερινός εκτιμώμενος παγκόσμιος πόρος βωξίτη, ξεπερνά τα 70 δισεκατομμύρια τόνους. Από αυτούς η μεγαλύτερη συγκέντρωση βρίσκεται στη Γουινέα, όπου υπάρχουν αποδεδειγμένα αποθέματα που φτάνουν τα 25 δισεκατομμύρια τόνους (Gamaletsos, P. N. et al 2017).

Συνήθως, ο βωξίτης εμφανίζεται κοντά στην επιφάνεια. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις θαμμένων κοιτασμάτων βωξίτη στα οποία ο βωξίτης έχει καλυφθεί από άλλα υλικά μετά το σχηματισμό του. Το μεγαλύτερο ποσοστό των παγκόσμιων αποθεμάτων σε βωξίτη εμφανίζονται, με μόνο 1 ή 2 μέτρα υπερκάλυψης. Τα τυπικά κοιτάσματα κυμαίνονται σε πάχος από 3 έως 15 m. Η πλειονότητα του βωξίτη μπορεί να εξορυχθεί και να υποστεί επεξεργασία χωρίς εμπλουτισμό (περαιτέρω επεξεργασία του μεταλλεύματος για τη συγκέντρωση των ορυκτών). Εξαιρετική αποτελεί το μεταλλεύμα της Βόρειας Βραζιλίας και στο Βιετνάμ, το οποίο λόγω υψηλής περιεκτικότητας σε άργιλο πρέπει να προβεί σε παραπάνω διεργασίες για την εκχύλιση του, πριν από την επεξεργασία του (Kalatha, S. et al 2017).



Εικόνα 1: Κοιτάσματα βωξίτη παγκοσμίως (Gamaletsos, P. N. et al 2017)

Σε μικρότερα αλλά σημαντικά ποσοστά, σε παγκόσμια κλίμακα είναι και τα υπόγεια κοιτάσματα βωξίτη. Αυτά κατά βάση συνδέονται με μια επιφανειακή εμφάνιση, καθώς το έδαφος που συνέβαλε στη διαμόρφωση του βωξίτη βρίσκεται υπό κλίση, με το μετάλλευμα που βρέθηκε στην επιφάνεια βαθμιαία να βαθαίνει. Για την οικονομική εκμετάλλευση του υλικού αυτού απαιτείται υπόγεια εξόρυξη. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα είναι ορισμένα κοιτάσματα της Ρωσίας (Kalaitzidis, S., G. Siavalas, et al.2013).

Στην Κίνα, υπάρχουν πολλές περιοχές που διαθέτουν βωξίτη ο οποίος βρίσκεται εξ ολοκλήρου υπόγεια σε βάθος 200 έως 300 μέτρων (Mouchos, E. et al 2016).

Οι τυπικές διεργασίες που εμπλέκονται στην εξόρυξη επιφανειακών κοιτασμάτων είναι οι εξής(Mouchos, E. et al 2016):

- Καθαρισμός της βλάστησης και συλλογή του πολύτιμου επιφανειακού εδάφους με χρήση ξύστρων και μπουλντόζας.
- Απομάκρυνση του υπερκείμενου υλικού.
- Ανατίναξη ή αποκόλληση ορισμένων τμημάτων του μεταλλεύματος που δεν μπορούν να σκαφτούν εύκολα. Αυτό περιλαμβάνει γεώτρηση και τοποθέτηση εκρηκτικών υλών, ή διάρρηξη με μεγάλες μπουλντόζες.
- Φόρτωση σε φορτηγά και μεταφορά σε εγκαταστάσεις θραύσης. Σε ορυχεία διαφορετικού μεγέθους χρησιμοποιούνται φορτηγά με μέγεθος από 30 έως 180 τόνους.
- Αποκατάσταση του τοπίου και της υφιστάμενης γης σε συνεργασία με τους κατοίκους και την τοπική κυβέρνηση.
- Θραύση και διαλογή.
- Πλύσιμο και εμπλουτισμός, εάν είναι απαραίτητο.
- Παράδοση προς εξαγωγή ή σε τοπικά διυλιστήρια.

Κάθε χρόνο εξορύσσονται περίπου 165 εκατομμύρια τόνοι βωξίτη. Ο βωξίτης μεταφέρεται γενικά στα διυλιστήρια με μεταφορείς, σιδηροδρομικές γραμμές ή πλοία. Ορισμένα διυλιστήρια αλουμίνας βρίσκονται κοντά στα ορυχεία βωξίτη τους. Τα ορυχεία βωξίτη απασχολούν συνήθως 500 έως 1000 άτομα(Mouchos, E. et al 2016).

1.3 Η σύσταση του βωξίτη

Ο βωξίτης δεν έχει συγκεκριμένη χημική σύσταση. Είναι ένα μείγμα από υδροφόρα οξείδια του αργιλίου, αργιλικά ορυκτά και αδιάλυτα υλικά όπως χαλαζία, αιματίτης, μαγνητίτης, σιδερίτης και γκαιτίτης. Τα ορυκτά του αργιλίου στον βωξίτη μπορεί να περιλαμβάνουν: γιμπσίτη $\text{Al}(\text{OH})_3$, μπουεμίτη $\text{AlO}(\text{OH})$, και, διάσπορο, $\text{AlO}(\text{OH})$ (Lyu, F. et al 2021).

1.4 Φυσικές ιδιότητες του βωξίτη

Ο βωξίτης είναι ένα μαλακό υλικό με σκληρότητα μόλις 1 έως 3 στην κλίμακα Mohs. Είναι λευκός έως γκρίζος έως ερυθροκάστανος, με ινωδολιθική δομή, γήινη λάμψη και χαμηλό ειδικό βάρος μεταξύ 2,0 και 2,5 (Μπουρκάς, Δ. 2022). Το χρώμα των βωξιτών κατά βάση εξαρτάται από τη σύστασή τους και ιδιαίτερα από την παρουσία οξειδίων ή υδροξειδίων του σιδήρου. Υπάρχουν (Mouchos, E. et al 2016):

- Κόκκινοι ή καφεκόκκινοι βωξίτες (με την παρουσία αιματίτη).
- Κίτρινοι βωξίτες (με παρουσία γκαιτίτη).
- Γκρίζοι βωξίτες με μικρό ποσοστό οξειδίων του σιδήρου.
- Λευκοί βωξίτες (με απουσία οξειδίων του σιδήρου).

Αυτές οι ιδιότητες είναι χρήσιμες για την αναγνώριση του βωξίτη- ωστόσο, δεν έχουν καμία σχέση με την αξία ή τη χρησιμότητα του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο βωξίτης εύκολα μεταποιείται σε άλλα υλικά, με φυσικές ιδιότητες που διαφέρουν πλήρως από αυτές του αρχικού πετρώματος. (Evans, K. 2016).



Εικόνα 2: Ερυθροκάστανος, διασπορικός βωξίτης («Vagonetto», Μεταλλευτικό πάρκο Φώκιδας)

2.1 Εκμετάλλευση

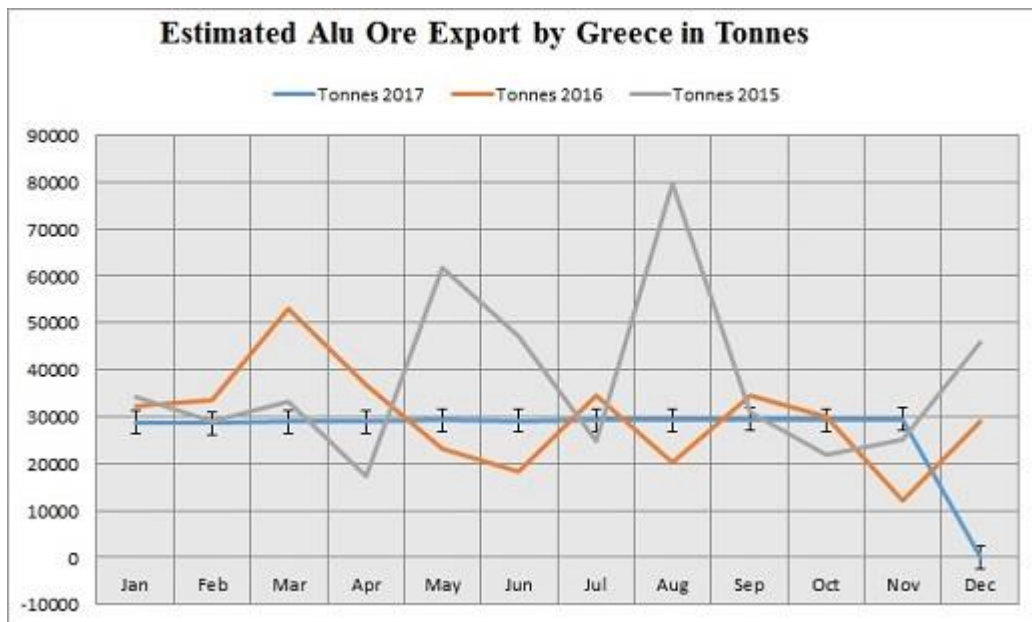
Το μέταλλευμα βωξίτη συνήθως αναφέρεται σε οποιοδήποτε υλικό περιέχει ποσοστό αλουμίνας $>32\%$ και βάση σημερινών δεδομένων αποτελεί το αφθονότερο πέτρωμα που βρίσκεται στον φλοιό της Γης. Μεταξύ των δύο βασικών τύπων βωξίτη που προαναφέρθηκαν, οι καρστικοί βωξίτες πλούσιοι σε διάσπορο $\alpha\text{-AlO(OH)}$ (μονοϋδρική μορφή αλουμινίου), αποτελούν τα τυπικά κοιτάσματα στην Ελλάδα. Η εκμετάλλευση του βωξίτη αποτελεί σημαντικό μέρος του ορυκτού πλούτου της Ελλάδας και σημαντική πηγή πρώτων υλών για την Ευρώπη. Τα κοιτάσματα βωξίτη στην Ελλάδα φιλοξενούνται κυρίως μέσα σε μια ανθρακική ακολουθία που αποτελεί μέρος της καρστικής ζώνης βωξίτη της Μεσογείου. Τα κοιτάσματα αυτά είναι εκμεταλλεύσιμα και βρίσκονται, κυρίως εντός της γεωτεκτονικής ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, στην ορεινή περιοχή του Παρνασσού, του Ελικώνα και της Γκιώνας (Μπουρκάς, Δ. 2022). Η ορυκτολογική σύσταση των βωξιτών στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας είναι:

- Διασπορος, 20-50%.
- Βοσμίτης, 10 - 30%
- Αιματίτης, 20 - 25%
- Ασβεστίτης, 1 -5%
- Καολινίτης, 1-5%

Άλλα οικονομικά σημαντικά κοιτάσματα βωξίτη αναφέρονται στον Καλλίδρομο, την Ίτη, την Όθρυο, την Εύβοια, τη Σκόπελο και την Ελευσίνα. (Kalaitzidis, S., G. Siavalas, et al.2013)

Η εκμετάλλευση του βωξιτικού μεταλλεύματος που βρίσκεται στην Ελλάδα φέρει μια σημαντική μεταλλευτική παράδοση που χρονολογείται από τις αρχές της δεκαετίας του 1930 με τα σημερινά αποθέματα να υπολογίζονται σε 600 Mt (2% του παγκόσμιου συνόλου). Η «DELPHI – DISTOMON AE», θυγατρική της Αλουμίνιον της Ελλάδος (ΑτΕ) και η «ΕΛΜΙΝ BAUXITES», είναι δύο από τους μεγαλύτερους παραγωγούς βωξίτη στην Ευρώπη οι οποίες εκφράζουν το ενδιαφέρον για έρευνες

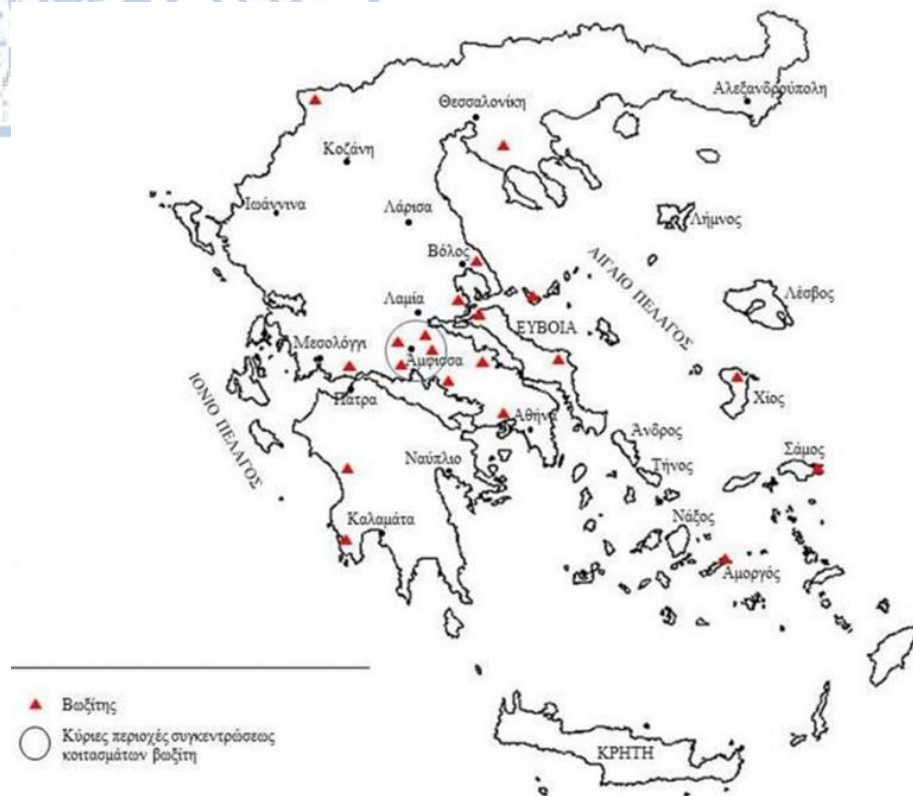
ανεύρεσης νέων κοιτασμάτων στον Ελλαδικό χώρο. Μία περιοχή έρευνας (~25km²) που θα διερευνηθεί, είναι ο Γερολέκας, η (ψηλότερη) νάρκη της Δυτικής Θεσσαλίας - Βοιωτίας, η οποία βρίσκεται με μια υπο-οριζόντια επαφή με τα υποκείμενα στρώματα επώθησης του Παρνασσού, στο δυτικό του άκρο. Η τοπογραφική διαφορά μεταξύ των ανθρακικών πετρωμάτων του Παρνασσού και τα στρώματα επώθησης της Δυτικής Θεσσαλίας - Βοιωτίας στον Γερολέκα, είναι 900 - 1.000m (Tsirambides, A., & Filippidis, A. 2012). Δυστυχώς μέχρι σήμερα, δεν υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες πληροφορίες που να αφορούν τα κοιτάσματα αυτά, κάτω από το βάθος των 400m.



Εικόνα 3: Εξαγωγές αλουμίνας (Μπουρκάς, Δ. 2022)

2.2 Σχηματισμοί

Παρά την απουσία τυπικών εμφανίσεων λατεριτικού βωξίτη, στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά κοιτάσματα και ίχνη της κατηγορίας των καρστικών βωξιτών. Τα "καρστικού" τύπου κοιτάσματα βωξίτη στην Ελλάδα είναι αποτέλεσμα της λατεριτικής εξαλλοίωσης βασικών, κυρίως, μελών (βασάλτες, διαβάσεις, γάββροι) των οφιολιθικών συμπλεγμάτων, τα οποία αφθονούν στην Υποπελαγονική Ζώνη, με τα μεγαλύτερα κοιτάσματα να βρίσκονται στην περιοχή (ενότητα) Παρνασσού-Γκιώνας (Γκιώνα-Ελικώνας, Οέτα, Παρνασσός) (Kalaitzidis, S., G. Siavalas, et al. 2013).



Εικόνα 4: Κοιτάσματα βωξίτη (Gamaletsos, P. N. et al 2017)

Αυτά έχουν σχηματιστεί σε διαφορετικές γεωλογικές περιόδους και σε διάφορες παλαιογεωγραφικές περιοχές και αποτελούν σήμερα τους χαρακτηριστικούς στρωματογραφικούς ορίζοντες που ανήκουν στο ελληνικό ορογενές (Μπουρκάς, Δ. 2022). Οι ορίζοντες του βωξίτη αποτέθηκαν στον υποκείμενο ακανόνιστου σχήματος καρστικό ασβεστολιθικό σχηματισμό με μορφή φακού και διακόπτονται από ρήγματα σε βάθη που κυμαίνονται από 70 έως 400 μέτρα. Οι αποθέσεις θεωρούνται αλλόχθονες και αποτελούν προϊόν της λατερίωσης των οφιολίθων στην ανατολική Ελλάδα, οι οποίες μεταφέρθηκαν και αποτέθηκαν στις καρστικές κοιλότητες του ασβεστόλιθου της περιοχής του Παρνασσού. Η παραπάνω διαδικασία απόθεσης έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια τριών διαφορετικών γεωλογικών περιόδων, με αποτέλεσμα σήμερα να διακρίνονται τρεις διαφορετικοί ορίζοντες βωξίτη που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια του Ιουρασικού και του Κρητιδικού. Μόνο οι δύο ανώτεροι βωξιτικοί ορίζοντες φιλοξενούν οικονομικά κοιτάσματα, με την ανώτερη ενότητα να εμπεριέχει την σημαντικότερη με διασωματώδη βωξίτη (Mouchos, E. et al 2016).

υφάλμυρο νερό κατά τη διάρκεια της επίκλησης της θάλασσας πάνω από τους ασβεστόλιθους (Mouchos, E. et al 2016).

Η βωξιτική λάσπη, τόσο κατά την παραμονή της στην καρστική κοιλότητα, όσο και μετά την κάλυψή της από ασβεστόλιθους, υπέστη μικρές ορυκτολογικές μεταβολές (π.χ. δημιουργία νέων υδροξειδίων του αργιλίου, όπως ο μποεμίτης και ο διασπορέας και σχηματισμός σιδηροπυρίτη - μαρκασίτη), ενώ υπήρξε μετακίνηση ευκίνητων ιχνοστοιχείων, από την κορυφή του κοιτάσματος προς τον πυθμένα του (π.χ. στοιχεία σπάνιων γαιών) (Mouchos, E. et al 2016).



Εικόνα 5: Βωξίτης-Αλουμίνα-Αλουμίνιο

(Gamaletsos, P. N. et al 2017)

2.3 Τα κύρια ευρήματα

Παρακάτω θα αναφερθούν βασικά συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί από τις πιο πρόσφατες έρευνες πάνω στους βωξιτικούς ορίζοντες του ελληνικού ορογενούς. (Μπουρκάς, Δ. 2022):

1. Η πολύπλοκη ινώδη και κροκαλοπαγή υφή των βωξιτών, ιδίως στον τρίτο ορίζοντα, μπορεί να εξηγηθεί μέσω μιας πολύπλοκης, κυκλικής διαδικασίας απόθεσης, ορυκτοποίησης και κατακερματισμού των βασικών και των υπερβασικών πετρωμάτων κατά τη μεταφορά τους στην καρστικοποιημένη ανθρακική πλατφόρμα. Προτείνεται ένα μοντέλο για τον σχηματισμό και τις γενετικές σχέσεις μεταξύ αυτών των υφών, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί σε παρόμοια κοιτάσματα παγκοσμίως (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020).

2. Η ορυκτολογική ανάλυση των βωξιτών από όλο το όρος Ίτι και το όρος Γκιώνα εντόπισε ένα ευρύ φάσμα φάσεων αλουμινίου (Al) και σιδήρου (Fe) εντός του δεύτερου και του τρίτου ορίζοντα, οι οποίες μπορούν να συνδεθούν κυρίως με τη μεταβλητότητα των συνθηκών οξειδοαναγωγής. Υπάρχουν επίσης στοιχεία που υποδηλώνουν ότι η κυρίαρχη φάση αλουμινίου (Al) (μποεμίτη ή διάσπορο) μέσα στους καρστικούς βωξίτες του Παρνασσού ελέγχεται κυρίως από τις συνθήκες οξειδοαναγωγής κατά την κρυστάλλωση από μια αρχική φάση γέλης βωξίτη (Δάβρης, Π. 2020).

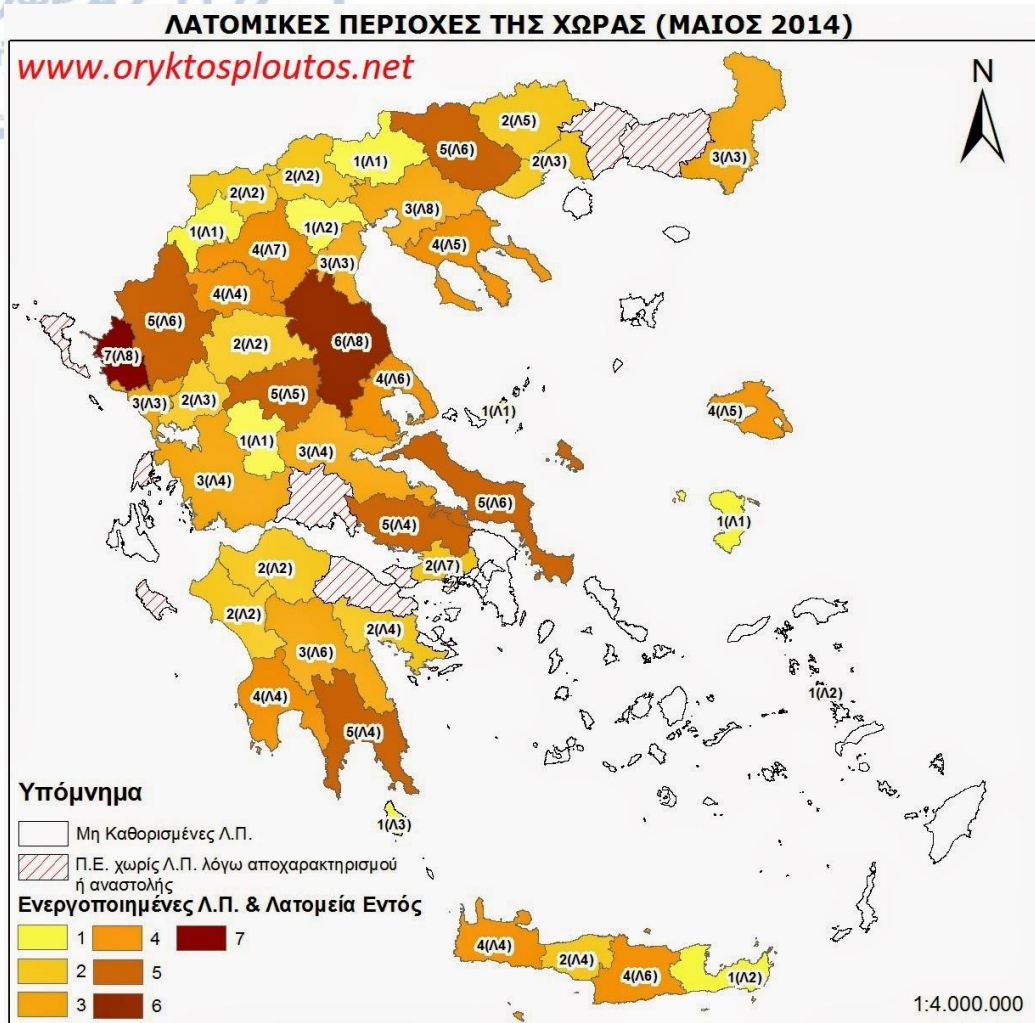
3. Τα θειούχα ορυκτά του σιδήρου που βρίσκονται εντός των βωξιτών του τρίτου ορίζοντα μπορούν να χωριστούν σε τρεις τουλάχιστον κατηγορίες: αυτοφυής πυρίτης, πυρίτης αντικατάστασης και φλεβικός πυρίτης. Αυτά έχουν σαφώς διαφορετικές συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων και συστάσεις ισοτόπων θείου, υποδεικνύοντας 3 χωριστές φάσεις σχηματισμού θειούχων. Εκτός από τον πυρίτη, εντοπίστηκαν ίχνη πεντλανδίτη, βραβοϊτη και γαληνίτη (Δάβρης, Π. 2020).

4. Σε συμφωνία με προηγούμενες έρευνες, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η οξείδωση του πυρίτη και τα όξινα ρευστά που προκύπτουν είναι υπεύθυνα για τη λευκαντική αλλοίωση που παρατηρείται στα μεταλλεύματα του τρίτου ορίζοντα. Περαιτέρω, προτείνεται μια γενετική σχέση μεταξύ της λευκαντικής αλλοίωσης και των πλούσιων σε σίδηρο αποθέσεων που βρέθηκαν στη βάση των μεταλλευτικών σωμάτων και εντός των ρηγμάτων. Αναπτύσσεται ένα μοντέλο για την κατανόηση αυτών των

αποθεμάτων σιδήρου, το οποίο εξηγεί πολλά από τα χαρακτηριστικά της υφής τους (Μπουρκάς, Δ. 2022).

5. Η διαδικασία της λεύκανσης έχει επίσης οδηγήσει στην αλλοίωση των ασβεστόλιθων που περιβάλλουν ορισμένα μεταλλευτικά σώματα του τρίτου ορίζοντα, τα οποία είναι σημαντικά εμπλουτισμένα σε σίδηρο και διάφορα ιχνοστοιχεία. Η αλλοίωση αυτή μπορεί να ανιχνευθεί σε απόσταση έως και 50 μέτρων από ένα μεταλλευτικό σώμα και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως χρήσιμο εργαλείο στη μελλοντική εξερεύνηση μεταλλευτικών σωμάτων. Ο φορητός εξοπλισμός και η ανάλυση XRF έχουν αποδειχθεί χρήσιμα στην ταχεία εκτίμηση του βαθμού εξαλλοίωσης του μεταλλεύματος και στον εντοπισμό των αλλοιώσεων γύρω από τα κοιτάσματα (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020).

6. Η ορογενετική εξέλιξη της γεωτεκτονικής ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας ελέγχει σε μεγάλο βαθμό τον προσανατολισμό, την κλίση και τη μετατόπιση των μεταλλευτικών σωμάτων. Η παρούσα έρευνα έδειξε ότι η συμπιεστική παραμόρφωση που δέχτηκε η ζώνη κατά τη διάρκεια του Ηωκαίνου, δημιούργησε στο νοτιοδυτικό της τμήμα, κεκλιμένα αντίκλινα και σύγκλινα στα ανθρακικά πετρώματα του Παρνασσού-Γκιώνας, κατά μήκος του βόρειου άκρου του όρους Ιτι. Αυτά με την σειρά τους, οδήγησαν σε κεκλιμένους, κάθετους και ακόμη και ανεστραμμένους φακούς μεταλλεύματος εντός της περιοχής αυτής, καθώς και σε δυτικά βυθιζόμενα ανεστραμμένα ρήγματα κατά μήκος της βόρειας περιοχής του όρους Γκιώνα, τα οποία βρισκόντουσαν υπό κλίση και σε επαφή με τους μεταλλευτικούς ορίζοντες. Η μεταγενέστερη εφελκυστική παραμόρφωση, κατακερμάτισε και μετατόπισε τους μεταλλευτικούς όγκους και συνέβαλε στην δημιουργία ανοιγμάτων και διακλάσεων που λειτούργησαν ως αγωγοί για την άνοδο ρευστών. Αυτά με την σειρά τους ευθύνονται για την οξείδωση του πυρίτη και τη λευκαντική αλλοίωση του βωξίτη. Η ανάλυση των γραμμών με την χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων LANDSAT 7-TM αποδείχθηκε χρήσιμη για τον εντοπισμό των κύριων τάσεων εντός της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, γεγονός που βοήθησε στην ανάπτυξη των δομικών ερμηνειών (Δάβρης, Π. 2020).



Εικόνα 6: Λατομικές περιοχές Ελλάδας Gamaletsos, P. N. et al 2017

Τα αποτελέσματα αυτών των έρευνών συνέβαλαν στην ανάπτυξη γνώσεων, σχετικά με τους βωξίτες της ενότητας Παρνασσού-Γκιώνας, τόσο από τη σκοπιά της επιστήμης των κοιτασμάτων όσο και από τη σκοπιά της εξερεύνησης μεταλλευμάτων.

Παρακάτω θα αναφερθούν προτάσεις για περαιτέρω εργασίες που θα συμπληρώσουν και θα επωφελήσουν τα ευρήματα των παραπάνω και των προηγούμενων ερευνών και θα συμβάλουν σε καλύτερες πρακτικές ερευνησεις καρστικών κοιτασμάτων βωξίτη εντός της μεσογειακής ζώνης βωξίτη (Δάβρης, Π. 2020).

1. Οι μέθοδοι ανάλυσης γραμμών θα πρέπει να εφαρμοστούν στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας στο σύνολό της, προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα η συνολική γεωλογική και τεκτονική δομή της ζώνης αυτής και να επεκταθεί το ερευνητικό

μοντέλο ώστε να περικλείει όλα τα κοιτάσματα βωξίτη στην περιοχή αυτή (Δάβρης, Π. 2020).

2. Θα πρέπει να δοκιμαστούν σύγχρονες γεωφυσικές μέθοδοι στις γεωλογικές ενότητες της περιοχής αυτής, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων που έχουν σχεδιαστεί για υπόγειες έρευνες, με σκοπό να διευκρινιστεί κατά πόσον οι μέθοδοι αυτές θα μπορούσαν να βοηθήσουν στον εντοπισμό επαφών βωξίτη-ασβεστόλιθου, επιτρέποντας έτσι την ακριβέστερη στόχευση των ερευνητικών γεωτρήσεων (Μπουρκάς, Δ. 2022).

3. Περαιτέρω έρευνες θα πρέπει να διεξαχθούν σε δείγματα πυρήνων γεωτρήσεων που εκτείνονται μακριά από τα μεταλλευτικά σώματα βωξίτη, ώστε να προσδιοριστεί και ενδεχομένως να μοντελοποιηθεί με τη χρήση ειδικού λογισμικού γεωτρήσεων, η έκταση και ο βαθμός της αλλοίωσης του ασβεστόλιθου του υποστρώματος γύρω από τον τρίτο ορίζοντα (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020).

2.3 Περιφερειακό υπόβαθρο

Η Ελλάδα, όπως και το μεγαλύτερο μέρος της Μεσογείου, έχει μια πολύπλοκη γεωλογική δομή που προέκυψε κυρίως από τη σύγκλιση της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής ηπειρωτικής πλάκας κατά τη διάρκεια του πρώιμου Παλαιογενούς, γνωστής ευρύτερα ως Αλπική ορογένεση. Ως εκ τούτου, η ελληνική ξηρά αποτελεί μέρος μιας από τις σημαντικότερες ορεινές αλυσίδες του αλπικού συστήματος, τις Ελληνίδες, οι οποίες εκτείνονται σε μήκος 1100 χιλιομέτρων από την άκρη των Δειναρίδων οροσειρών στο Βορρά έως τις Ταυρίδες οροσειρές στη νότια Τουρκία (Δάβρης, Π. 2020).

Όπως και το μεγαλύτερο μέρος του αλπικού συστήματος, οι Ελληνίδες έχουν χωριστεί σε γεωτεκτονικές ζώνες και υποζώνες (Ελληνίδες ζώνες), οι οποίες είναι ευρέως διαδεδομένες ομάδες πετρωμάτων που έχουν κοινή ιστορία σχηματισμού ή/και παραμόρφωσης. Βάση της θεωρίας του Aubouin (1965) ο Ελλαδικός χώρος διαιρείται σε ζώνες ακολουθώντας ένα Αλπικό παλαιογεωγραφικό σύστημα που αποτελείται από εναλλαγές ραχών και αυλάκων. Δηλαδή οι «Ελληνίδες ζώνες» αποτελούσαν ηπειρωτικά περιθώρια και ηπειρωτικά θραύσματα, που χωρίζονταν από βαθιές κοιλάδες ή ωκεάνιες λεκάνες, οι οποίες μπορεί να είχαν μήκος εκατοντάδων

χιλιομέτρων και πάχος αρκετών χιλιομέτρων. Οι ζώνες αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε γενικές γραμμές σε δύο κατηγορίες: τις εσωτερικές (ή «εσωτερικές Ελληνίδες») και τις εξωτερικές (ή «εξωτερικές Ελληνίδες») ζώνες. Βασική τους διαφορά είναι ότι οι εσωτερικές ζώνες είναι άμεσα επηρεασμένες από την πρώιμη Αλπική ορογενετική δράση του Άνω Ιουρασικού, ενώ οι εξωτερικές ζώνες όχι.

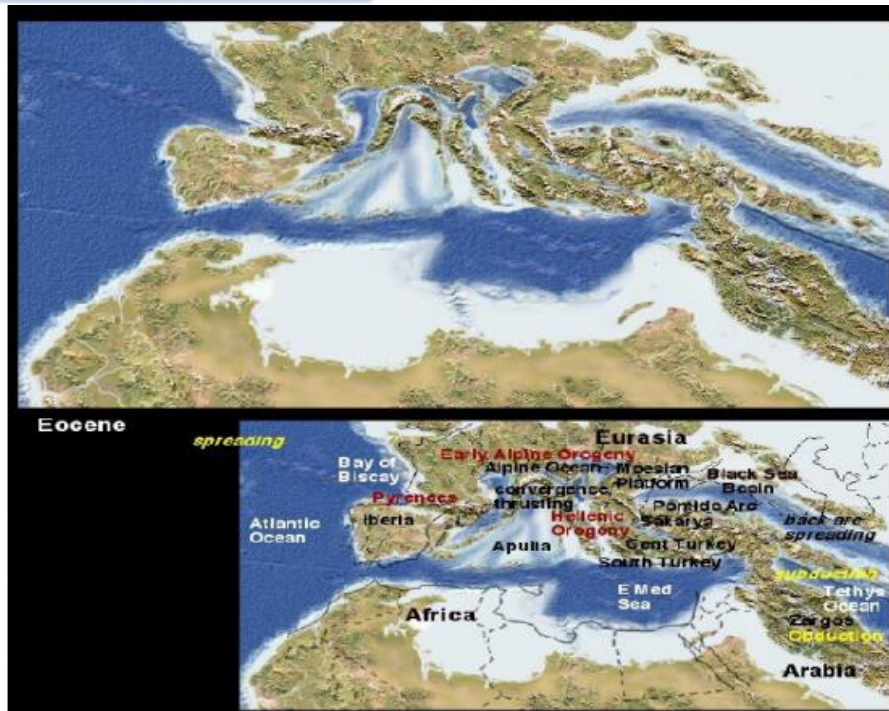
Οι εσωτερικές ζώνες ήταν κατά κύριο λόγο ηπειρωτικά τεμάχια της Ευρασιατικής πλάκας οι οποίες χωρίζονταν από μια μεγάλη αύλακα που σήμερα αντιπροσωπεύεται από την ωκεάνια περιοχή της ζώνης του Αξιού. Σήμερα οι ζώνες αυτές αποτελούνται κυρίως από μεταμορφωμένα προαλπικά πετρώματα (γνεύσιοι, μάρμαρα), ιζηματογενή πετρώματα ηλικίας Τριαδικού - Ιουρασικού και ηφαιστειακά πετρώματα ηλικίας Παλαιοζωικού – Μεσοζωικού – Τριτογενούς (Μπουρκάς, Δ. 2022).

Οι εξωτερικές ζώνες αναπτύχθηκαν στο περιθώριο της Μικροηπείρου της Απουλίας, μιας εκτεταμένης Μεσοζωικής, ρηχής έως βαθιάς θάλασσας, ανθρακικής σύστασης πλατφόρμας που υποδιαιρέθηκε από ρήγματα σε βαθιές λεκάνες και ρηχές ανθρακικές ράχες στα τέλη του Ιουρασικού. Αυτά τα διαιρεμένα τμήματα αποτέλεσαν τις γεωτεκτονικές ζώνες των Εξωτερικών Ελληνίδων (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020).

Στα ανατολικά της Απουλίας πλάκας υπήρχε ένα παθητικό ηπειρωτικό περιθώριο που συνόρευε με τον ωκεανό της Πίνδου, γνωστό σήμερα ως ζώνη της Πίνδου, η οποία χώριζε την Απούλια και την Ευρασιατική πλάκα. Το κλείσιμο του Ωκεανού της Πίνδου ήταν αυτό που οδήγησε στη σύγκρουση αυτών των δύο περιθωρίων, λείψανα των οποίων βρίσκονται κατά μήκος της ζώνης ραφής των εσωτερικών και εξωτερικών Ελληνίδων (Δάβρης, Π. 2020).

Η γεωτεκτονική ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας διαφέρει από τις άλλες ζώνες των εξωτερικών Ελληνίδων, καθώς καλύπτει μόνο ένα σχετικά μικρό τμήμα της κεντρικής Ελλάδας, μεταξύ της Πελαγονικής ζώνης στα ανατολικά και της ζώνης της Πίνδου στα δυτικά. Στα βόρεια η ζώνη οριοθετείται από την τάφρο της κοιλάδας του Σπερχειού και στα νότια από την τάφρο του Κορινθιακού κόλπου. Η ζώνη σχηματίζει μια τοπογραφική ράχη εντός των Ελληνίδων και έχει τεκτονική επαφή με τις παρακείμενες ενότητες. Η εξαφάνισή της στις βόρειες περιοχές της Ελλάδας μπορεί

να οφείλεται σε τεκτονική επικάλυψη από τις εσωτερικές ζώνες (Μπουρκάς, Δ. 2022).

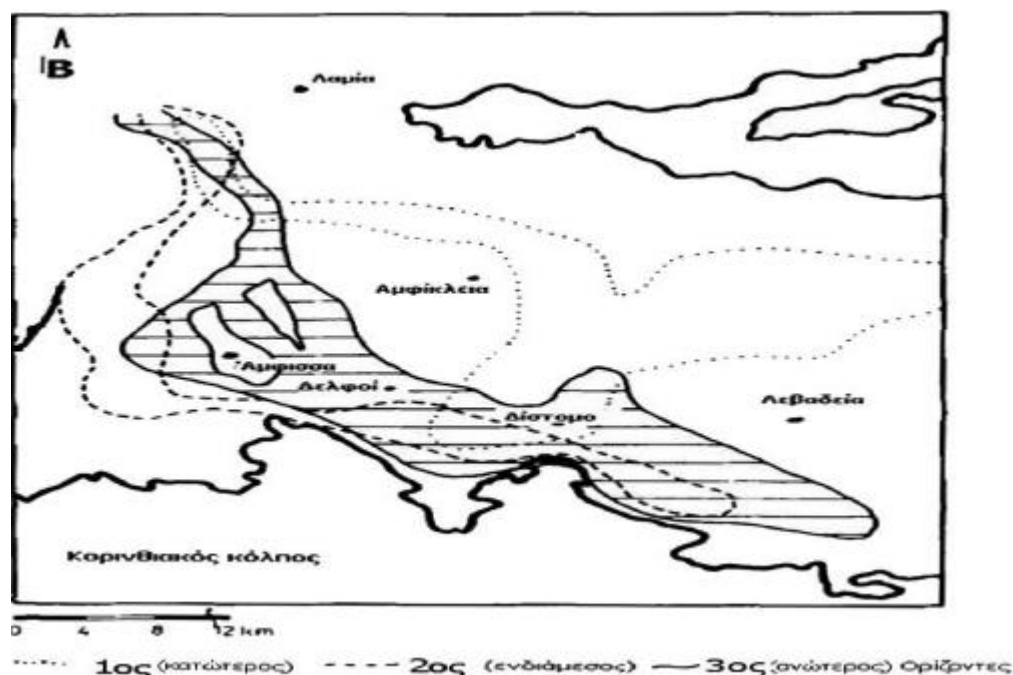


Εικόνα 7: Αλπική ορογένεση, Ηώκαινο (Dr. Ron Blaket, «Γεωλογικές αναπαραστάσεις»)

Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας αντιπροσωπεύει μια ακολουθία πάχους 1800 έως 2000 μέτρων που αποτελείται από παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους και δολομίτες ρηχών υδάτων, νηριτικής ή πελαγικής φάσης, ηλικίας από το Τριαδικό έως το Κρητιδικό. Θεωρείται ότι σχηματίστηκε ως μια απομονωμένη ανθρακική πλατφόρμα στον ωκεανό της Πίνδου, η οποία καλύφθηκε από ωκεάνια ιζήματα βαθιάς θαλάσσης του Τριαδικού (Δάβρης, Π. 2020).

Τα ανθρακικά πετρώματα επικαλύπτονται από μία ηωκαινική ακολουθία φλύσχη και μολάσσας η οποία αποτελείται από εναλλαγές αργίλου, άμμου και κροκαλοπαγών στρωμάτων. Αυτά σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της ορογενετικής δραστηριότητας από το Παλαιόκαινο έως το Ηώκαινο. Ακολουθίες πετρωμάτων της Πελαγονικής ζώνης έχουν επωθηθεί με ΒΑ κατεύθυνση πάνω στα στρώματα των ασβεστολίθων και του φλύσχη. Σήμερα, το κάλυμμα της Πελαγονικής ζώνης καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του όρους Ίτι και τμήματα του όρους Παρνασσός. Αυτή η ακολουθία περιέχει νηριτικά ανθρακικά πετρώματα Ιουρασικής ηλικίας και

στρώματα φλύσχη, και αποτελεί βασική μονάδα της οφιολιθικής ακολουθίας του ωκεάνιου φλοιού μέσο-Τριαδικής ηλικίας στην Πελαγονική ζώνη. Η ακολουθία οφιολίθων αποτελείται κυρίως από λερζολίθους και αρζβουργίτες και είναι γνωστή ως οφιόλοθος της Ίτης- μία από τις πολλές οφιολιθικές ακολουθίες που απαντώνται σε όλη την Ελλάδα. Αυτές οι ακολουθίες πελαγονικών καλυμμάτων πιστεύεται ότι έχουν επωθηθεί ως μία ενιαία μονάδα κατά τη διάρκεια της τελικής ορογένεσης κατά το Ηώκαινο (Δάβρης, Π. 2020).



Εικόνα 8: Τρεις βωξιτικοί ορίζοντες, κεντρική Ελλάδα (Γρίβα Ε. 2012)

Η ακολουθία που ακολουθεί έχει προκύψει κυρίως από πληροφορίες από τους γεωλογικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 της Άμφισσας και της Λαμίας που παρέχονται από το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), καθώς και από γεωλογικές πληροφορίες από διάφορες μελέτες για την περιοχή. Τα πάχη είναι προσεγγιστικά με βάση προηγούμενες μελέτες (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020):

- Η βασική ενότητα της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας αποτελείται από κρυσταλλικό δολομίτη, δολομιτικό ασβεστόλιθο ή ασβεστόλιθο λευκού ή γκριζού χρώματος και έχει πάχος 600 μέτρα (Άνω Τριαδικό). Η ενότητα αυτή αποτελεί μια μικρή μόνο

εμφάνιση στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης κοντά στην πόλη της Άμφισσας. Δεν έχει άμεση σχέση και επαφή με τα κοιτάσματα βωξίτη (Μπουρκάς, Δ. 2022).

- Η ακολουθία συνεχίζει με ένα μεσαίου πάχους (500 μέτρων) στρώμα σκουρόχρωμου, τεφρού, συμπαγούς και κρυσταλλικού ασβεστόλιθου Ιουρασικής ηλικίας και ο οποίος σταδιακά προς τα ανώτερα στρώματα αποκτά ωολιθική δομή. Τα μεσαία και κατώτερα στρώματα περιέχουν απολιθώματα γαστερόποδων και διθύρων (τα είδη δεν προσδιορίζονται). Η επαφή με τα ανώτερα στρώματα δεν είναι καλά προσδιορισμένη, καθώς ακολουθούν φακοί βωξίτη (Δάβρης, Π. 2020).

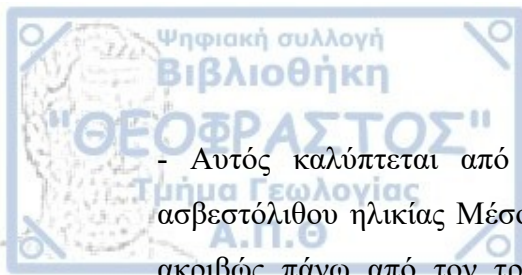
- Πάνω στους ωολιθικούς ασβεστόλιθους έχουμε την εμφάνιση του κατώτερου (πρώτου) βωξιτικού ορίζοντα ηλικίας Άνω Ιουρασικού (Δάβρης, Π. 2020).

- Ακολουθεί ένα στρώμα πάχους 300 μέτρων από συμπαγείς, πυκνά στρωμένους, σκούρους τεφρούς ασβεστόλιθους, ηλικίας Άνω Ιουρασικού (Κιμμερίδιο). Η κατώτερη επαφή με τον πρώτο βωξιτικό ορίζοντα δεν είναι κανονική ενώ η ανώτερη επαφή είναι επιφάνεια διάβρωσης η οποία παρουσιάζει έντονη καρστικοποίηση σχηματίζοντας κυμματιστές δομές στον πυθμένα των υπερκείμενων φακών (Δάβρης, Π. 2020).

- Πάνω από τον ασβεστόλιθο του Κιμμεριδίου βρίσκεται ο μεσαίος (δεύτερος) βωξιτικός ορίζοντας, ηλικίας Τιθωνίου (Δάβρης, Π. 2020).

- Ο δεύτερος βωξιτικός ορίζοντας καλύπτεται από ασβεστόλιθους πάχους 400 μέτρων, ηλικίας Τιθωνίου έως Κενομανίου. Οι συγκεκριμένη ανθρακική ακολουθία έχει λάβει την ονομασία «ενδιάμεση» καθώς παρεμβάλλεται μεταξύ δύο βωξιτικών οριζόντων. Εμφανίζονται είτε με την μορφή λεπτών στρωμάτων είτε ως μεγάλου μεγέθους μπλόκα. Η επαφή με τον δεύτερο βωξιτικό ορίζοντα δεν είναι κανονική και τα στρώματα αποτελούνται από κοκκινωπούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους καθώς και κροκαλοπαγή. Τα μεσαία στρώματα αποτελούνται από ωολιθικούς ασβεστόλιθους, ενώ η επαφή με τον τρίτο βωξιτικό ορίζοντα είναι επιφάνεια διάβρωσης και τα στρώματα αποτελούνται από λευκούς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους. (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020).

- Συνεχίζει ο ανώτερος (τρίτος) βωξιτικός ορίζοντας, ηλικίας Κενομανίου (Δάβρης, Π. 2020).



- Αυτός καλύπτεται από ένα στρώμα πάχους 80 μέτρων μικροκρυσταλλικού ασβεστόλιθου ηλικίας Μέσου Κρητιδικού. Τα κατώτερα στρώματα, που βρίσκονται ακριβώς πάνω από τον τρίτο βωξιτικό ορίζοντα, είναι σκουρόχρωμοι (γκρι έως μαύροι) ασβεστόλιθοι, πλούσιοι σε ρουδιστές. Τα ανώτερα στρώματα αποτελούνται από λευκούς και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους (Δάβρης, Π. 2020).
- Ακολουθεί ένα λεπτό στρώμα πάχους 50 έως 70 μέτρων, λευκού ασβεστόλιθου, ο οποίος εξελίσσεται προς τα ανώτερα στρώματα σε ερυθρούς, πρασινωπούς και κονδυλώδεις ασβεστόλιθους και σε κροκαλοπαγή (Σενώνιο έως Παλαιόκαινο). (Μπουρκάς, Δ. 2022).
- Η ακολουθία ολοκληρώνεται με τον φλύσχη του Παλαιοκαίνου. Αποτελεί 70-100m αποθέσεις που εμπεριέχουν ασβεστομαργαικά ερυθρά στρώματα, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή, με κροκάλες ασβεστόλιθου, σερπεντινίτη, γρανίτη και διορίτη. (Δάβρης, Π. 2020).

2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ

3.1 Χρήσεις

Ο βωξίτης αποτελεί τη μοναδική πρώτη ύλη για την παραγωγή αλουμίνας και αλουμινίου και είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τη χώρα μας. (Mouchos, E. et al 2016). Η Ελλάδα κατέχει μια πολύ σημαντική θέση, όχι μόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς είναι μια από τις σημαντικότερες χώρες παραγωγής βωξίτη. Το 90% της εξόρυξης βωξίτη στη χώρα μας πραγματοποιείται σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις και το 10% σε υπαίθριες. Οι μετρούμενες ποσότητες βωξίτη στην Ελλάδα ανέρχονται σε περίπου 130.000.000 τόνους και η ετήσια παραγωγή ξεπερνά τους 2.000.000 τόνους (Gamaletsos, P. N. et al 2017). Η βιομηχανία αλουμινίου καταναλώνει περίπου το 90% του συνόλου του βωξίτη που εξορύσσεται παγκοσμίως, καθώς ο βωξίτης είναι επί του παρόντος η μόνη εξορυγμένη πηγή μετάλλου αλουμινίου. Ωστόσο, ο βωξίτης έχει πολλές πρόσθετες χρήσεις στην ακατέργαστη μορφή του, όπως η παραγωγή τσιμέντου, η μεταλλουργική ροή, τα πυρίμαχα υλικά και τα λειαντικά (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020). Η αλουμίνα είναι καθαρά λευκή, έχει σκληρότητα Mohs 9, είναι χημικά αδρανής, θερμικά αγωγίμη και είναι ηλεκτρικός μονωτής. Χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανικές εφαρμογές προσφέροντας συχνά ένα φθηνότερο υποκατάστατο υλικών υψηλού κόστους, όπως τα βιομηχανικά διαμάντια στα λειαντικά (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020).

Το αλουμίνιο είναι ένα από τα σημαντικότερα μέταλλα που χρησιμοποιούνται από τις σύγχρονες κοινωνίες. Ο συνδυασμός των φυσικών ιδιοτήτων του επιτρέπει τη χρήση του σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, πολλά από τα οποία είναι απαραίτητα για τη σύγχρονη ζωή. Είναι ελαφρύ και ηλεκτρικά αγωγίμο, επιτρέποντας τη χρήση του ως σύρμα αλουμινίου στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Η αντοχή και το μικρό βάρος του αλουμινίου έχουν οδηγήσει στην αυξημένη χρήση του σε συστήματα μεταφορών, όπως για παράδειγμα τα ελαφριά οχήματα, τα σιδηροδρομικά βαγόνια και τα αεροσκάφη, καθώς έχουν αυξηθεί οι προσπάθειες για μείωση της κατανάλωσης καυσίμων. Τέλος, η ελαστικότητα του ως υλικό, επιτρέπει

την έλαση και τη διαμόρφωσή του σε πολύ λεπτά φύλλα που ύστερα χρησιμοποιούνται σε διάφορες συσκευασίες (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020). Μόλις εξαχθεί το αλουμίνιο, βρίσκει πολλές εφαρμογές και στα ηλεκτρονικά, στις κατασκευές, στα οχήματα και στα σκεύη (Mouchos, E. et al 2016).

Τα συμβατικά στάδια παραγωγής του αλουμινίου βασίζονται στη διαδικασία Bayer, όπου ο βωξίτης μετατρέπεται σε αλουμίνα και μέσω μιας ιδιαίτερα πολύπλοκης διεργασίας (hall heroult), παράγεται το αλουμίνιο. Σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία, 4 έως 5 τόνοι αποξηραμένου βωξίτη μπορούν να δώσουν 2 τόνους αλουμίνιας και αντίστοιχα αυτό το ποσό να δώσει έναν τόνο αλουμινίου (Kalaitzidis, S., G. Siavalas, et al.2013).

Παρακάτω θα αναλυθούν κάποιες από τις βασικότερες χρήσεις του βωξίτη:

- Η παραγωγή χημικών προϊόντων αλουμινίου, όπως θεικό αργίλιο, χλωριούχο αργίλιο, φθοριούχο αργίλιο, αλουμινικό νάτριο κ.λπ. είναι μια σημαντική χρήση του βωξίτη. Ο βωξίτης χρησιμοποιείται άμεσα για την παραγωγή θεικού αργιλίου, το οποίο λειτουργεί ως κροκιδωτικό μέσο στο νερό και στα λύματα. Το άνυδρο χλωριούχο αργίλιο $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ χρησιμοποιείται ως καταλύτης σε οργανικές αντιδράσεις και έχει εφαρμογές στη μεταλλουργία και στο φινίρισμα μετάλλων. Το αλουμινικό νάτριο χρησιμοποιείται για την επεξεργασία βιομηχανικού νερού (Mouchos, E. et al 2016).
- Ο βωξίτης χρησιμοποιείται επίσης ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πυρίμαχων προϊόντων, καθώς έχει σημείο τήξης από 1740 έως 18200C. Η κύρια χρήση του πυρίμαχου βωξίτη είναι η παραγωγή πυρίμαχων υλικών αλουμίνιας (περιέχουν 75 έως 90% αλουμίνα)- αυτά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τούβλων, για την επένδυση της οροφής των υψικαμίνων, των ηλεκτρικών κλιβάνων και των κλιβάνων παραγωγής χάλυβα. Επιπλέον, τα πυρίμαχα υλικά με υψηλά ποσοστά αλουμίνιας, χρησιμοποιούνται σε αναβράζοντες κλιβάνους για τη βιομηχανία χαλκού καθώς και για την βιομηχανία γυαλιού. (Kalaitzidis, S., G. Siavalas, et al.2013).
- Ο βωξίτης χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες λείανσης. Ο λειαντικός κόκκος παράγεται είτε με τη σύντηξη χημικά καθαρισμένης αλουμίνιας είτε από πυρωμένο βωξίτη. Το προϊόν που προκύπτει από το λιωμένο πυρωμένο βωξίτη ονομάζεται καστανή λιωμένη αλουμίνα. Η καστανή λιωμένη αλουμίνα αντιπροσωπεύει το 80-

90% της λιωμένης αλουμίνας στη βιομηχανία λείανσης. Εφαρμόζεται σε λειαντικά, όπως τροχοί λείανσης, φύλλα ιμάντων και σφουγγαρίστρες. Η λιωμένη αλουμίνα χρησιμοποιείται επίσης για τη λείανση υλικών υψηλής αντοχής, όπως ο χαλκός και ο χάλυβας (Tsirambides, A., & Filippidis, A. 2012).

- Το τσιμέντο υψηλής αλουμίνας λαμβάνεται με την ανάμιξη επιλεγμένων ποιοτήτων βωξίτη με ασβεστόλιθο. Αυτά τα τσιμέντα είναι γνωστά για την ποιότητα και τον γρήγορο χρόνο πήξης τους. Το τσιμέντο υψηλής αλουμίνας πήζει μέσα σε 3 έως 4 ώρες και γίνεται ισχυρό μετά από 24 ώρες. Είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και ανθεκτικό στα θειικά άλατα και αραιώνει τα οξέα που υπάρχουν στο έδαφος. Γι' αυτό το τσιμέντο υψηλής αλουμίνας χρησιμοποιείται για την κατασκευή σηράγγων, τσιμεντένιων πασσάλων κ.λπ (Balomenos, E. et al 2018).

- Ο βωξίτης χρησιμοποιείται ως μέσο ξήρανσης αερίων και οργανικών υγρών και είναι κατάλληλος για χρήση στη βιομηχανία πετρελαίου. Χρησιμοποιείται ως απορροφητικό μέσο για διάφορες ενώσεις που έχουν βάση το θείο και το φθόριο. Έχει επίσης εφαρμογές στους τομείς της κατάλυσης και της διήθησης (Mouchos, E. et al 2016).

- Στη χαλυβουργία, ο βωξίτης χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αποθείωσης και της ρευστότητας της σκωρίας και παρέχει υλικό για τους ψυκαμίνους του τσιμέντου κατά την παραγωγή σιδήρου. Χρησιμοποιείται επίσης στους φούρνους οξυγόνου ως πρόσθετο υλικό, για τον έλεγχο του ιξώδους της σκωρίας. Εδώ ο βωξίτης χρησιμοποιείται ως πηγή αλουμίνας για τον έλεγχο του ιξώδους (Balomenos, E. et al 2018).

- Ο βωξίτης είναι ένα εύχρηστο υποκατάστατο για οικοδομικά υλικά. Ο πυρωμένος βωξίτης χρησιμοποιείται ως αντιολισθητικό για οδικά δίκτυα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επιλεγμένα σημεία για την πρόληψη οδικών ατυχημάτων. Η χρήση του πυρωμένου βωξίτη στους δρόμους θεωρείται ως εκ τούτου σημαντική χρήση του βωξίτη (Kalaitzidis, S., G. Siavalas, et al. 2013).

- Ο βωξίτης χρησιμοποιείται επίσης σε πολλές άλλες βιομηχανίες όπως η βιομηχανία καουτσούκ, πλαστικών, καλλυντικών και χρωμάτων ως υλικό πλήρωσης. (Mouchos, E. et al 2016).

3.2 Χρήση του βωξίτη ως προσθετικό υλικό

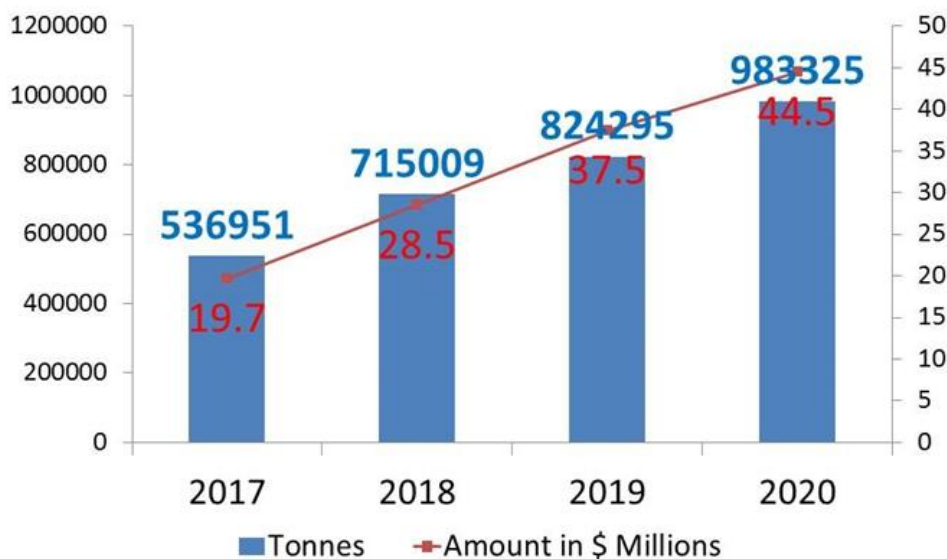
Ο πυροσυσσωματωμένος βωξίτης χρησιμοποιείται επίσης ως βοηθητικό υλικό σε πετρελαιοπηγές. Κατά τη γεώτρηση για πετρέλαιο και φυσικό αέριο, το πέτρωμα του ταμιευτήρα συχνά θραύεται με την άντληση ρευστών στο πηγάδι υπό πολύ υψηλές πιέσεις. Η πίεση συσσωρεύεται σε πολύ υψηλά επίπεδα που προκαλούν θραύση του σχιστολιθικού πετρώματος του ταμιευτήρα. Όταν συμβαίνει η θραύση, νερό και αιωρούμενα σωματίδια γνωστά ως "proppants" εισέρχονται στις ρωγμές και τις ωθούν να ανοίξουν. Όταν κλείνουν οι αντλίες, οι ρωγμές κλείνουν, παγιδεύοντας τα σωματίδια του προωθητικού υλικού στον ταμιευτήρα. Εάν ένας επαρκής αριθμός σωματιδίων ανθεκτικών στη σύνθλιψη παραμείνει στον ταμιευτήρα, οι ρωγμές θα ανοίξουν, επιτρέποντας τη ροή πετρελαίου ή φυσικού αερίου έξω από τα πετρώματα και μέσα στη γεώτρηση. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως υδραυλική ρωγμάτωση (Lyu, F. et al 2021).

Ο βωξίτης σε σκόνη μπορεί να λιώσει και να μετατραπεί σε μικροσκοπικές χάντρες κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Αυτά τα σφαιρίδια έχουν πολύ υψηλή αντοχή στη σύνθλιψη και αυτό τα καθιστά κατάλληλα ως βοηθητικό υλικό. Μπορούν να παραχθούν σχεδόν σε οποιοδήποτε μέγεθος και σε ένα εύρος ειδικού βάρους. Το ειδικό βάρος των σφαιριδίων και το μέγεθός τους μπορούν να προσαρμοστούν στο ιζώδες του υγρού υδραυλικής διάρρηξης και στο μέγεθος των ρωγμών που αναμένεται να αναπτυχθούν στο πέτρωμα. Τα κατασκευασμένα proppants παρέχουν μια ευρεία επιλογή μεγέθους κόκκων και ειδικού βάρους σε σύγκριση με ένα φυσικό proppant γνωστό ως frac sand (Gamaletsos, P. N. et al 2017).

3.3 Παραγωγή

Το 2012, βωξίτης εξορύχτηκε σε 27 χώρες, με συνολική παραγωγή 263 εκατομμυρίων τόνων. Το 90% της παραγωγής προήλθε από εννέα χώρες, με τις άλλες δεκαοκτώ να συνεισφέρουν λιγότερο από 1% η καθεμία. Για αρκετές από τις χώρες με την υψηλότερη παραγωγή, ο βωξίτης συνεισφέρει σημαντικό ποσοστό στο ΑΕΠ (Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν) τους (Τζαμάικα, Γουινέα, Γουιάνα - περίπου 10%, Σουρινάμ - περίπου 30%) (Balomenos, E. et al 2018).

Bauxite importation of Greece 2017-20 (Tonnes & \$ Millions)



Εικόνα 9: Αύξηση των εισαγωγών βωξίτη στην Ελλάδα (Mouchos, E. et al 2016)

Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης, η παγκόσμια παραγωγή βωξίτη αυξήθηκε σημαντικά τα τελευταία 40 χρόνια, από 58 εκατ. τόνους το 1970 σε 263 εκατ. τόνους το 2012. Μεταξύ 1970 και 1999 η κατανάλωση βωξίτη δεν ξεπέρασε ποτέ τα 22 κιλά ανά κάτοικο, με μέσο όρο 19,5 κιλά ανά κάτοικο (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020). Από το 1999, η κατανάλωση αυξήθηκε σταδιακά, φθάνοντας τα 35,6 kg ανά κάτοικο το 2011. Κατά τη διάρκεια των 10 ετών από το 1998 έως το 2008, πριν από την παγκόσμια ύφεση του 2009, η κατανάλωση βωξίτη αυξανόταν με μέσο ρυθμό 5,25% ετησίως, με ετήσια αύξηση που κυμαινόταν μεταξύ <1% και 12%. Μεταξύ 1970 και 2011, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξήθηκε σταθερά κατά περίπου 1-2% ετησίως και έτσι αυτή η πρόσφατη αύξηση αντιπροσωπεύει μια πιθανή αυξανόμενη ζήτηση βωξίτη (Balomenos, E. et al 2018).

Η κατανάλωση βωξίτη και αλουμινίου σε μια χώρα σχετίζεται με το κατά κεφαλήν ΑΕΠ της χώρας. Χώρες με κατά κεφαλήν ΑΕΠ μικρότερο από 5000 δολάρια καταναλώνουν λιγότερα από 5 κιλά αλουμινίου. Αντίστοιχα χώρες με ΑΕΠ, μεταξύ 5000 και 15000 δολαρίων καταναλώνουν 5 και 10 κιλά κατά κεφαλήν και χώρες με

25000 δολάρια ή περισσότερο καταναλώνουν 15 και 35 κιλά αλουμινίου κατά κεφαλήν (Ατσάλου, Μ. Δ. 2020).

Η μεταβολή της κατανάλωσης αλουμινίου που συνοδεύεται από την αύξηση του ΑΕΠ μπορεί να είναι δραματική. Η παγκόσμια ύφεση του 2009 είναι μια έντονη παγκόσμια οικονομική ύφεση που προκάλεσε πτώση του διεθνούς εμπορίου και μείωση των τιμών των βασικών εμπορευμάτων. Η παγκόσμια παραγωγή βωξίτη επηρεάστηκε από το 2008, η οποία παρουσίασε μόνο μια μικρή αύξηση της τάξης του 0,5% σε σύγκριση με την αύξηση του 12% του προηγούμενου έτους. Ακολούθησε πτώση της παγκόσμιας παραγωγής κατά 8%. Στα τρία έτη που ακολούθησαν το 2009, η παραγωγή αυξήθηκε κατά 12,4%, 8,8% και 5,7% για τα έτη 2010, 2011 και 2012 αντίστοιχα, γεγονός που φαίνεται να σηματοδοτεί την επιστροφή στα προ της ύφεσης επίπεδα ανάπτυξης (Balomenos, E. et al 2018).

3.4 Μελλοντική ζήτηση βωξίτη

Βραχυπρόθεσμα, οι Menzie et al., (2010) εκτίμησαν ότι η παραγωγή βωξίτη θα αυξηθεί κατά περίπου 4,4% ετησίως από 226 εκατ. τόνους το 2010 σε 270 εκατ. τόνους το 2023. Από τη δημοσίευση της έκθεσής τους η αύξηση της παραγωγής έχει μέχρι στιγμής ξεπεράσει τις εκτιμήσεις τους, με παραγωγή 248 εκατ. τόνων το 2011 και 263 εκατ. τόνων το 2012, σε σύγκριση με τις προβλέψεις 235 εκατ. τόνων και 246 εκατ. τόνων αντίστοιχα (Tsirambides, A., & Filippidis, A. 2012).

Μακροπρόθεσμα, η πρόβλεψη είναι πιο δύσκολη λόγω του συνδυασμού πολλών άγνωστων μεταβλητών- ωστόσο οι Menzie et al., (2010) προέβλεψαν ζήτηση 91,9Mt αλουμινίου το 2023 και 119Mt το 2025. Με δεδομένη την τρέχουσα αναλογία παραγωγής πρωτογενούς αλουμινίου/βωξίτη περίπου 0,18, αυτό θα ισοδυναμεί με ζήτηση 380 εκατ. τόνων βωξίτη το 2023 και 490 εκατ. τόνων το 2025, υποθέτοντας ότι ένα σταθερό 25% της ζήτησης αλουμινίου τροφοδοτείται από δευτερογενές αλουμίνιο (Economou-Eliopoulos, M. et al 2022).

Η μελλοντική ζήτηση βωξίτη θα οφείλεται στην αύξηση του πληθυσμού και στην αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης βωξίτη. Καθώς η κατά κεφαλήν κατανάλωση παρέμεινε σταθερή μέχρι το 1999, η αύξηση της ζήτησης μέχρι τότε είναι πιθανό να οφείλεται στην αύξηση του πληθυσμού. Μετά το 1999, η σημαντική

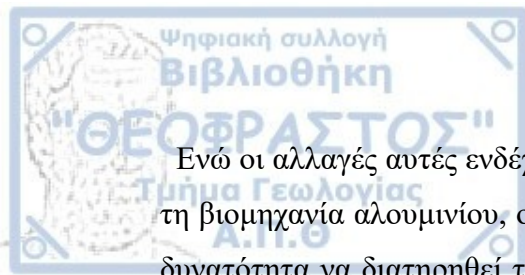
αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης είναι πιθανό να οφείλεται στην ανάπτυξη των οικονομιών πολλών χωρών και στην αύξηση της κατανάλωσης βωξίτη που συνοδεύει την ανάπτυξη αυτή, ιδίως των χωρών BRIC (Βραζιλία, Ρωσία, Ινδία και Κίνα), οι οποίες είναι σήμερα υπεύθυνες για το 27% περίπου της παγκόσμιας κατανάλωσης, αλλά προβλέπεται ότι θα καταναλώνουν περίπου το 45% μέχρι το 2025 (Economou-Eliopoulos, M. et al 2022).

Θεωρητικά, καθώς όλο και περισσότερες χώρες αναπτύσσονται, αποκτούν υψηλότερο ΑΕΠ και κατασκευάζουν καλύτερες και μεγαλύτερης διάρκειας υποδομές, η χρήση του βωξίτη παγκοσμίως θα μετακινηθεί από εφαρμογές μακράς διάρκειας ζωής, όπως οι υποδομές, σε εφαρμογές μικρότερης διάρκειας ζωής, όπως οι μεταφορές. Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα δευτερογενούς αλουμινίου θα μειώσει τη ζήτηση βωξίτη, καθώς και τη μείωση της ζήτησης ενέργειας, του κόστους κεφαλαίου και της παραγωγής αποβλήτων που συνδέονται με την παραγωγή αλουμινίου. Μέχρι να συμβεί αυτό, η αυξανόμενη ζήτηση για βωξίτη και αλουμίνιο θα πρέπει να καλυφθεί με την αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής αλουμινίου και της παραγωγής των ορυχείων βωξίτη (Economou-Eliopoulos, M. et al 2022).

3.5 Μελλοντικές τάσεις παραγωγής βωξίτη

Οι μελλοντικές τάσεις της κατανάλωσης βωξίτη διερευνήθηκαν από τον Meyer (2004) με την ανάλυση των αρχείων 70 κοιτασμάτων βωξίτη που λειτουργούν σήμερα και του δημοσιευμένου υλικού για 100 κοιτάσματα βωξίτη που βρίσκονται υπό έρευνα, προκειμένου να διερευνηθούν και να συγκριθούν οι "γεωλογικές υπογραφές" των κοιτασμάτων βωξίτη. Ο Meyer διαπίστωσε ότι, σε σύγκριση με τα κοιτάσματα που λειτουργούν σήμερα, οι μελλοντικοί πόροι θα έχουν τα εξής (Tsirambides, A., & Filippidis, A. 2012):

- Χαμηλότερη περιεκτικότητα σε μεταλλεύματα με τη μέση τιμή να κινείται από 45,6 σε 42,3 Al_2O_3 Wt%, και υψηλότερη αναλογία βωξίτη/απορροφήσιμου Al_2O_3 .
- Τα μελλοντικά ορυχεία θα έχουν ενδεχομένως μεγαλύτερα μέσα αποθέματα βωξίτη, ωστόσο θα απαιτήσουν μεγαλύτερη χρήση γης.
- Η περιεκτικότητα σε SiO_2 και TiO_2 μπορεί επίσης να είναι μεγαλύτερη στα μελλοντικά κοιτάσματα βωξίτη.



Ενώ οι αλλαγές αυτές ενδέχεται να επηρεάσουν την ετήσια ζήτηση βωξίτη, ιδίως για τη βιομηχανία αλουμινίου, ο Meyer καταλήγει στο συμπέρασμα ότι υπάρχει επαρκής δυνατότητα να διατηρηθεί το σημερινό επίπεδο ποσότητας και ποιότητας βωξίτη για τα επόμενα 20 χρόνια από τα γνωστά σήμερα αποθέματα (Economidou-Eliopoulos, M. et al 2022).

Εικόνα 1: Gamaletsos, P. N., Godelitsas, A., Kasama, T., Church, N. S., Douvalis, A. P., Göttlicher, J., ... & Filippidis, A. (2017). Nano-mineralogy and-geochemistry of high-grade diasporic karst-type bauxite from Parnassos-Ghiona mines, Greece. *Ore Geology Reviews*, 84, 228-244.

Εικόνα 2: «Vagonetto», Μεταλλευτικό πάρκο Φωκίδας, <http://vagonetto.gr/>

Εικόνα 3: Μπουρκάς, Δ. (2022). Αποτύπωση της παραγωγής και διαχείρισης των καταλοίπων βωξίτη σε Ελλάδα και Ευρώπη-Καινοτόμες πρακτικές για αξιοποίηση.

Εικόνα 4: Gamaletsos, P. N., Godelitsas, A., Kasama, T., Church, N. S., Douvalis, A. P., Göttlicher, J., ... & Filippidis, A. (2017). Nano-mineralogy and-geochemistry of high-grade diasporic karst-type bauxite from Parnassos-Ghiona mines, Greece. *Ore Geology Reviews*, 84, 228-244.

Εικόνα 5: Gamaletsos, P. N., Godelitsas, A., Kasama, T., Church, N. S., Douvalis, A. P., Göttlicher, J., ... & Filippidis, A. (2017). Nano-mineralogy and-geochemistry of high-grade diasporic karst-type bauxite from Parnassos-Ghiona mines, Greece. *Ore Geology Reviews*, 84, 228-244.

Εικόνα 6: Gamaletsos, P. N., Godelitsas, A., Kasama, T., Church, N. S., Douvalis, A. P., Göttlicher, J., ... & Filippidis, A. (2017). Nano-mineralogy and-geochemistry of high-grade diasporic karst-type bauxite from Parnassos-Ghiona mines, Greece. *Ore Geology Reviews*, 84, 228-244.

Εικόνα 7: Dr. Ron Blaket «Γεωλογικές αναπαραστάσεις», Department of Geology, Northern Arizona University, <http://jan.ucc.nau.edu/~rcb7/index.html>

Εικόνα 8: Γρίβα Ε. (2012). Βωξίτης Παρνασσού, Θησαυρός ή πληγή για τον νομό Φωκίδας

Εικόνα 9: 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.



Ατσάλου, Μ. Δ. (2020). Γεωχημική έρευνα για την ύπαρξη σπάνιων γαιών σε καρστικούς βωξίτες= Geochemical research on the findings of rare earth elements in karst bauxites. Προ/Μεταπτυχιακές Διατριβές στη Βιβλιοθήκη Θεόφραστος του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ.

Δάβρης, Π. (2020). Εκχύλιση σπανίων γαιών από κατάλοιπα βωξίτη και φτωχό μέταλλευμα βαστανιζίτη με ιοντικά υγρά (Doctoral dissertation, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών. Τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών).

Μπουρκάς, Δ. (2022). Αποτύπωση της παραγωγής και διαχείρισης των καταλοίπων βωξίτη σε Ελλάδα και Ευρώπη-Καινοτόμες πρακτικές για αξιοποίηση.

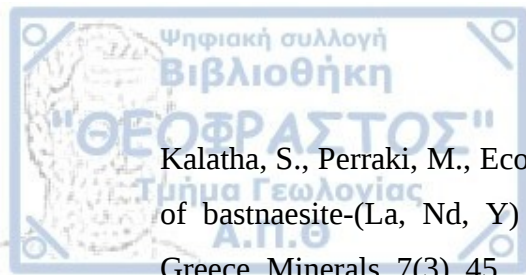
Balomenos, E., Davris, P., Pontikes, Y., Panias, D., & Delipaltas, A. (2018, May). Bauxite residue handling practice and valorisation research in aluminium of Greece. In Proceedings of the 2nd International Bauxite Residue Valorisation and Best Practices Conference, Athens, Greece (pp. 7-10).

Economou-Eliopoulos, M., Kontou, M., & Megremi, I. (2022). Biogeochemical Redox Processes Controlling the Element Cycling: Insights from Karst-Type Bauxite, Greece. *Minerals*, 12(4), 446.

Evans, K. (2016). The history, challenges, and new developments in the management and use of bauxite residue. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 2(4), 316-331.

Gamaletsos, P. N., Godelitsas, A., Kasama, T., Church, N. S., Douvalis, A. P., Göttlicher, J., ... & Filippidis, A. (2017). Nano-mineralogy and-geochemistry of high-grade diasporic karst-type bauxite from Parnassos-Ghiona mines, Greece. *Ore Geology Reviews*, 84, 228-244.

Kalaitzidis, S., G. Siavalas, et al., (2013). Late Cretaceous coal overlying karstic bauxite deposits in the Parnassus-Ghiona Unit, Central Greece: Coal characteristics and depositional environment. *International Journal of Coal Geology* 81(4): 211-226.



Kalatha, S., Perraki, M., Economou-Eliopoulos, M., & Mitsis, I. (2017). On the origin of bastnaesite-(La, Nd, Y) in the Nissi (Patitira) bauxite laterite deposit, Lokris, Greece. *Minerals*, 7(3), 45.

Lyu, F., Hu, Y., Wang, L., & Sun, W. (2021). Dealkalization processes of bauxite residue: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123671.

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.

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