

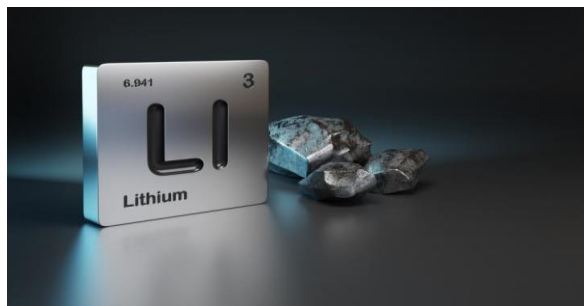


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΗΛΙΑΝΑ ΤΟΛΙΟΠΟΥΛΟΥ
ΑΕΜ 5569

Η ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΗ ΤΟΥ ΛΙΘΙΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024





ΗΛΙΑΝΑ ΤΟΛΙΟΠΟΥΛΟΥ

Η ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΗ ΤΟΥ ΛΙΘΙΟΥ

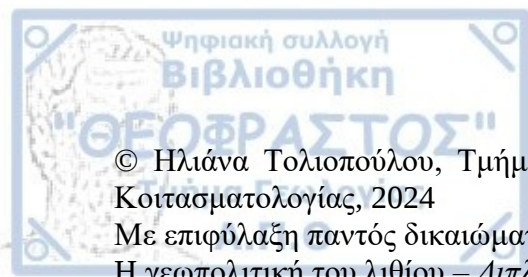
Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Βασίλης Μέλφος, Καθηγητής

© Ηλιάνα Τολιοπούλου, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.



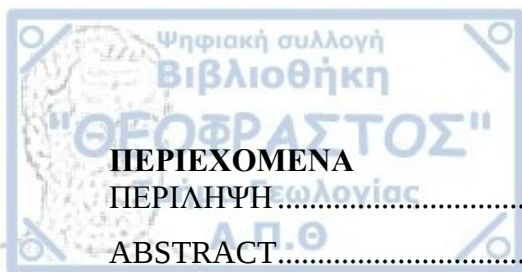
© Ηλιάνα Τολιοπούλου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Η γεωπολιτική του λιθίου – *Διπλωματική Εργασία*

© Iliana Toliopoulou, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2024
All rights reserved.
The geopolitics of lithium – *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: Από το site της INN στο άρθρο Top 9 Lithium-producing Countries ... (Updated 2024).....



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
Λίθιο.....	4
Ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα λιθίου	5
Μπαταρίες Λιθίου	6
Βιωσιμότητα μπαταριών	7
ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΟΤΗΤΑ Ο.Π.Υ	8
Γεωπολιτική	8
Συμφωνία του Παρισιού	8
Κρισιμότητα Ο.Π.Υ	9
Πολιτική και Κρισιμότητα	9
Κίνδυνοι εφοδιασμού μιας Ο.Π.Υ	10
ΕΞΟΡΥΞΗ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ	11
Παγκόσμια κατανομή των κοιτασμάτων λιθίου	11
Κύριες χώρες παραγωγής.....	12
Αυστραλία.....	12
Νότια Αμερική.....	14
Κίνα.....	15
Υπάρχουν εναλλακτικές;	16
Σερβία	16
ΕΚΤΟΡΙΤΗΣ.....	17
Συμπεράσματα	18



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γεωπολιτική του λιθίου

Ηλιάνα Τολιοπούλου

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την επιρροή που έχει το λίθιο, ως κρίσιμη ορυκτή πρώτη ύλη, στην παγκόσμια οικονομία. Η γεωπολιτική είναι μια προσέγγιση ανάλυσης της εξωτερικής πολιτικής, με σκοπό την κατανόηση, την ερμηνεία και τελικά την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των διεθνών πολιτικών παραγόντων, με βάση γεωγραφικές παραμέτρους. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν το κλίμα, τον πολιτισμό, την τοπογραφία, την δημογραφία, τους φυσικούς πόρους και τις εφαρμοσμένες επιστήμες της εξεταζόμενης περιοχής. Ο λόγος που το λίθιο έχει τόσο μεγάλο ενδιαφέρον και σχετίζεται με την γεωπολιτική οφείλεται στο γεγονός ότι είναι βασικός παράγοντας στην ύπαρξη επαναφορτιζόμενων μπαταριών, γεγονός που σχετίζεται με την ηλεκτροκίνηση και γενικότερα χαράζει τον δρόμο για την συνεχή ανάπτυξη και υλοποίηση της πράσινης ενέργειας. Λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη και τις αμέτρητες πηγές ρύπανσης, έχουν υπογραφεί συνθήκες μεταξύ των χωρών της Ε.Ε και του Ο.Η.Ε για ένα καλύτερο μέλλον, το οποίο βασίζεται στην ηλεκτροκίνηση, στην μείωση του διοξειδίου του άνθρακα και στην βελτιστοποίηση των μοντέλων ανακύκλωσης.



ABSTRACT

The geopolitics of lithium

Iliana Toliopoulou

This diploma thesis focuses on the influence that lithium, as a critical mineral raw material, has on the global economy. Geopolitics is an approach to foreign policy analysis, with the aim of understanding, interpreting and ultimately predicting the behavior of international political actors, based on geographic parameters. These parameters include the climate, culture, topography, demography, natural resources and applied sciences of the area under consideration. The reason lithium is of such great interest and relevance to geopolitics is due to the fact that it is a key factor in the existence of rechargeable batteries, which associates with electrification and generally paves the way for constant evolution and implementation of green energy. Due to global warming and countless sources of pollution, treaties have been signed between the countries of the EU and the UN for a better future, based on electrification, reduction of carbon dioxide percentage in the atmosphere and the optimization of recycling models.

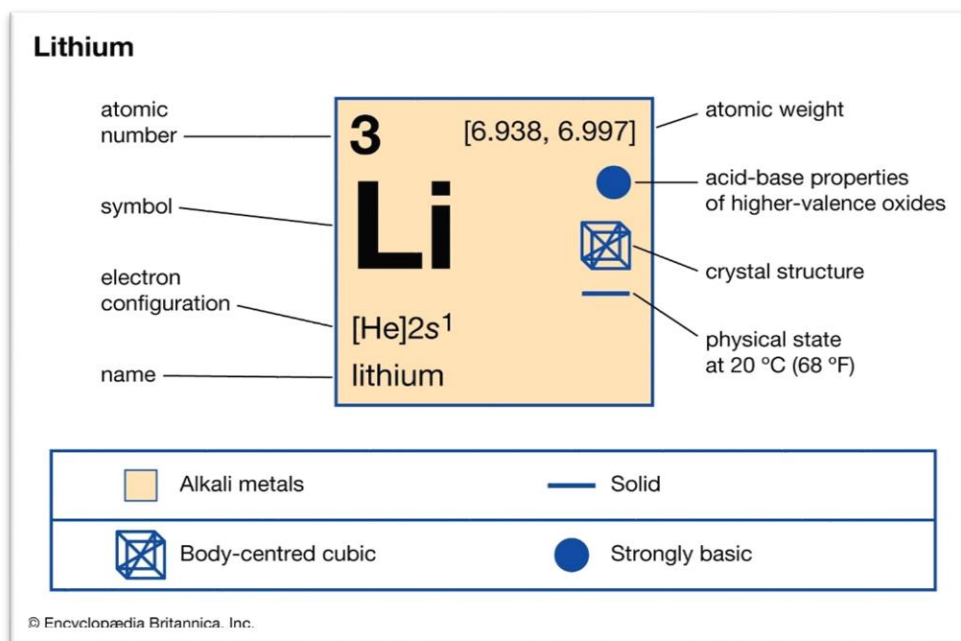


Το θέμα της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε τον Ιούνιο του 2024 από τον Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Βασίλειο Μέλφο, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την υπόδειξη του θέματος, την καθοδήγηση και τις συμβουλές του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής.

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει την επίδραση που έχει η εξαγωγή, επεξεργασία και κατοχή αποθεμάτων του λιθίου στην παγκόσμια οικονομία και στον καθορισμό χωρών σε θέση ισχύος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Καθηγητή κ. Β. Μέλφο, που ήταν ο επιβλέπων της πτυχιακής αυτής εργασίας, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, όπως και για την συνεχή βοήθειά του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, και επιπλέον την Έρικα Τζιφρή και Γιώργο Λιορή για την συνεχή τους στήριξη κατά την διάρκεια της φοίτησης και εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Το λίθιο (Li) είναι ένα χημικό στοιχείο (Σχ. 1) το οποίο ανήκει στην πρώτη ομάδα του περιοδικού πίνακα (γνωστή και ως αλκαλιμέταλλα). Υπό κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος (δηλαδή, υπό κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας) αποτελεί το ελαφρύτερο στερεό χημικό στοιχείο και επιπλέον, αναγνωρίζεται και ως το ελαφρύτερο μέταλλο. Στη φύση εμφανίζεται μόνο με την μορφή ενώσεων (συνήθως ιονικών) και ποτέ με την στοιχειακή του κατάσταση, λόγω της μεγάλης χημικής δραστηριότητας που έχει. Αν και υπάρχουν περισσότερα από 100 ορυκτά που περιέχουν λίθιο, μόνο τρία από αυτά εξορύσσονται σήμερα εμπορικά, απαντώνται σε πηγματίτες και ονομαστικά είναι τα ορυκτά σποδουμένης, πεταλίτης, λεπιδόλιθος και αμβλυγωνίτης (Meshram et al., 2014). Υπό κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος παρουσιάζει μεταλλική λάμψη αλλά, με την έκθεσή του στον ατμοσφαιρικό αέρα διαβρώνεται γρήγορα και σε τελικό στάδιο αποκτά μαύρο χρώμα.



Σχ. 1. Φυσικοχημικές ιδιότητες λιθίου.

Υπάρχουν πολλές πλευρές από τις οποίες μπορεί να εξεταστεί το λίθιο (φυσικοχημικές ιδιότητες, κρυσταλλική δομή, ιστορία και ανακάλυψη) ωστόσο, στην συγκεκριμένη εργασία αρκεί να γίνουν κατανοητά τα χαρακτηριστικά που το θέτουν σημαντικό για την παραγωγή ενέργειας. Συγκεκριμένα πρόκειται για την θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα του λιθίου οι οποίες αποτελούν τους βασικούς παράγοντες επιλογής και προτίμησής του για την κατασκευή επαναφορτιζόμενων μπαταριών.

Το λίθιο διαθέτει ένα μόνο ηλεκτρόνιο σθένους το οποίο βρίσκεται στο μέγιστο ενεργειακό του επίπεδο. Το ηλεκτρόνιο αυτό συνδέεται ασθενώς με τον ατομικό πυρήνα και παρουσιάζει έντονη τάση για κινητικότητα μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα. Έτσι, εφαρμόζοντας διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού σε ένα αγωγίμο μέσο, το οποίο σαν βάση υλικού έχει το λίθιο, τα ηλεκτρόνια ανταποκρίνονται αμέσως στο ηλεκτρικό πεδίο που προκύπτει, ρέουν εύκολα και έτσι δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα (Zhang et al., 2022). Η συμβολή του λιθίου είναι ιδιαίτερα σημαντική στην κατασκευή μπαταριών, όπου χρησιμοποιείται τόσο στους συλλέκτες ρεύματος όσο και στα ηλεκτρόδια, εξασφαλίζοντας τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της ενεργειακής αποθήκευσης. Συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές όπως επίσης ηλεκτρικά οχήματα και αποθηκευτικά συστήματα ενέργειας, χρησιμοποιούν μπαταρίες ιόντων λιθίου το οποίο είναι υπεύθυνο για την ταχύτητα φόρτισης - εκφόρτισης όπως και για την αντοχή αυτών σε πολλούς κύκλους φόρτισης (Lodders, 2003).

Στα μέταλλα, όπως το λίθιο, η μεταφορά θερμικής ενέργειας διευκολύνεται από την συντονισμένη αλληλεπίδραση των δονήσεων του κρυσταλλικού πλέγματος και από την ανεμπόδιστη κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων (Steinhardt et al., 2022). Τα ηλεκτρόνια αυτά μεταφέρουν θερμική ενέργεια στο υλικό, δημιουργώντας έναν αποτελεσματικό μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας (Sanker and Baby, 2022). Η ιδιότητα αυτή έχει ιδιαίτερη απήχηση σε εφαρμογές οι οποίες απαιτούν προσεκτική θερμική διαχείριση. Τέτοιες εφαρμογές συναντώνται σε βιομηχανίες όπως η αυτοκινητοβιομηχανία και αεροδιαστημική και χρησιμοποιούν προς όφελός τους την φυσικά θερμική αγωγιμότητα των υλικών που έχουν ως βάση το λίθιο. Έτσι, διευκολύνοντας την αποτελεσματική απαγωγή θερμότητας, τα υλικά αυτά εξασφαλίζουν την διατήρηση των ιδανικών προφίλ θερμοκρασίας και παράλληλα ενισχύουν την μακροζωία και λειτουργικότητα των πολύπλοκων συστημάτων (Koo et al., 2014).

Η μοναδική ικανότητα του λιθίου να μεταφέρει τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια του εξασφαλίζει σημαντική θέση σε πολλές βιομηχανίες. Πιο συγκεκριμένα, ο τομέας της ηλεκτρονικής αξιοποιεί σε μεγάλο βαθμό την αγωγιμότητά του, ενσωματώνοντάς στο στην ημιαγωγών, τρανζίστορ και μπαταριών. Χάρη στις εξαιρετικές αγωγίμες ιδιότητές του, το λίθιο διευκολύνει την ταχεία και αποτελεσματική μεταφορά ενέργειας και

δεδομένων, γεγονός που το καθιστά θεμελιώδες υλικό για τη λειτουργία των σύγχρονων ψηφιακών συσκευών (Zhao et al., 2016).

Επιπλέον, οι ιδιότητες της θερμικής αγωγιμότητας του λιθίου αντηχεί σε όλες τις βιομηχανίες οι οποίες χαρακτηρίζονται από περίπλοκη θερμική δυναμική. Για παράδειγμα, στην αεροδιαστημική βιομηχανία γίνεται συνεχής προσπάθεια για την επίτευξη της πιο αποτελεσματικής απαγωγής θερμότητας κατά τη διάρκεια της πτήσης. Αντίστοιχα, το τομέας της αυτοκινητοβιομηχανίας επωφελείται από την εξαιρετική θερμική αγωγιμότητα του λιθίου χρησιμοποιώντας το για την ενίσχυση της σταθερότητας των οχημάτων και τη βελτιστοποίηση των επιδόσεών τους, αποτρέποντας παράλληλα τον κίνδυνο υπερθέρμανσής τους (Madani et al., 2018).

Μπαταρίες Λιθίου

Υπάρχουν δύο είδη μπαταριών λιθίου, οι οποίες περιέχουν πολύ υψηλά επίπεδα ενέργειας και χωρίζονται ως εξής :

i. Μπαταρίες μετάλλου λιθίου που είναι μη επαναφορτιζόμενες :

Αυτές οι μπαταρίες είναι επίσης γνωστές ως πρωτογενείς μπαταρίες λιθίου. Έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν υψηλά επίπεδα ισχύος επομένως, η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύουν είναι σημαντική. Αυτό συνεπάγεται ό,τι σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, ενδέχεται να παραχθεί μεγάλη ποσότητα θερμότητας. Επιπλέον, τα χημικά συστατικά αυτών των μπαταριών μπορεί να γίνουν επικίνδυνα προκαλώντας πυρκαγιά σε περίπτωση που είτε υποστούν βλάβη, είτε έχουν ακατάλληλο σχεδιασμό ή ελλιπή συναρμολόγηση.

ii. Μπαταρίες ιόντων λιθίου που είναι επαναφορτιζόμενες (Li-ion) :

Αυτός ο τύπος μπαταρίας περιλαμβάνει αυτές που αναφέρονται ως λιθίου πολυμερούς (Li-Po) μπαταρίες. Αυτές επίσης ονομάζονται και δευτερογενείς ή δευτεροβάθμιες μπαταρίες λιθίου και είναι η κατηγορία που στην συγκεκριμένη εργασία μας ενδιαφέρει. Οι δευτερογενείς ή επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο όπως και οι πρωτογενείς, μετατρέποντας δηλαδή τη χημική τους ενέργεια σε ηλεκτρική. Ωστόσο, η βασική διαφορά τους έγκειται στην ικανότητά τους να αντιστρέφουν αυτή τη διαδικασία δηλαδή, με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να την αποθηκεύσουν εκ νέου ως χημική ενέργεια, επιτρέποντας πολλαπλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης. Βέβαια, ενώ

αυτό το είδος μπαταρίας θεωρείται το πιο αποτελεσματικό, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα. Η εξόρυξη των πρώτων υλών που απαιτούνται για την κατασκευή τους συχνά έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον ενώ ακόμα σημαντικότερο είναι το θέμα της ανακύκλωσής τους. Η απόρριψή τους απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς τα υλικά τους είναι εξαιρετικά αντιδραστικά και θεωρούνται τοξικά απόβλητα. Η ανακύκλωσή τους αποτελεί μια σύνθετη πρόκληση, δεδομένου του πολυποίκιλου συνδυασμού υλικών και της έλλειψης οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμων μεθόδων ανάκτησης.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι, οι ικανότητες του λιθίου δεν περιορίζονται μόνο στις μπαταρίες. Για την ακρίβεια, μόνο το 56% της παγκόσμιας κατανάλωσης λιθίου σχετίζεται με αυτές (U.S Geological Survey 2019) αν και πλέον το μερίδιο αυτό αυξάνεται δραματικά λόγω της αυξανόμενης παραγωγής ηλεκτρικών οχημάτων (EV).

Βιωσιμότητα μπαταριών

Τα τελευταία 20 χρόνια έχει σημειωθεί επανάσταση στην έρευνα για μπαταρίες, με αποκορύφωμα το βραβείο Νόμπελ Χημείας το 2019 για την ανάπτυξη μπαταριών λιθίου. Πρόσφατα αναπτύχθηκαν νέα υλικά μπαταριών ιόντων λιθίου με βελτιώσεις στην απόδοση. Έχουν επίσης εμφανιστεί νέες χημικές μορφές μπαταριών λιθίου, που παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα όπως για παράδειγμα Li-S, Li-μέταλλο με ηλεκτρολύτες στερεάς κατάστασης, καθώς και μπαταρίες μετάλλων ανόδου Li με μηδενικό πλεόνασμα. Πρόκειται για μεγάλη πρόοδο και κάθε χρόνο η τιμή των μπαταριών μειώνεται ενώ η απόδοσή τους αυξάνεται. Ωστόσο, οι περισσότερες έρευνες στις μπαταρίες επικεντρώνονται αποκλειστικά στην απόδοσή τους, ενώ η βιωσιμότητα όλων των συστατικών που συνθέτουν το κύτταρο, καθώς και η ίδια η χημεία της μπαταρίας παραγνωρίζονται σε μεγάλο βαθμό.

Η βιωσιμότητα στις μπαταρίες είναι ένα πολύ σύνθετο ζήτημα, που σχετίζεται στενά με την εξάντληση των φυσικών πόρων, αλλά ταυτόχρονα την υπερβαίνει κατά πολύ. Ο καλύτερος τρόπος για να εκτιμηθεί η βιωσιμότητα μιας μπαταρίας, είναι να εξεταστούν όλα τα στάδια ζωής της, συμπεριλαμβανομένης της αλυσίδας προμήθειας πρώτων υλών, της κατασκευής των εξαρτημάτων της μπαταρίας και τη φάση χρήσης. Στη φάση χρήσης εννοούνται η επίδοση και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Μόνο όταν υπάρχει θετική εξέλιξη όλων αυτών των σταδίων, μπορεί να ονομαστεί μια μπαταρία πραγματικά βιώσιμη. Επιπλέον, η βιωσιμότητα πρέπει να συμβαδίζει με χαμηλό κόστος και εξαιρετική απόδοση.

ΓΕΩΠΟΛΙΤΙΚΗ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΜΟΤΗΤΑ Ο.Π.Υ

Πριν παρουσιαστούν τα κοιτάσματα λιθίου ανά τον κόσμο και ο τρόπος εξόρυξής τους, είναι αναγκαίο να γίνει κατανοητός ο όρος γεωπολιτική και πώς μια ορυκτή πρώτη ύλη (Ο.Π.Υ) ορίζεται ως κρίσιμη.

Γεωπολιτική

Η γεωπολιτική αποτελεί έναν πολυδιάστατο κλάδο ανάλυσης, ο οποίος εξετάζει τη σύνδεση μεταξύ γεωγραφικών παραγόντων και διεθνών πολιτικών εξελίξεων. Βασίζεται στην υπόθεση ότι οι φυσικοί πόροι, η γεωγραφική θέση, το κλίμα, οι πολιτισμικές διαφορές και οι δημογραφικές τάσεις ασκούν καταλυτική επιρροή στη συμπεριφορά κρατών και άλλων διεθνών δρώντων. Μέσα από τη μελέτη αυτών των παραγόντων, η γεωπολιτική επιχειρεί να κατανοήσει, να ερμηνεύσει και συχνά να προβλέψει τις στρατηγικές κινήσεις και τις σχέσεις ισχύος στο παγκόσμιο πολιτικό πεδίο. Αντικείμενό της δεν είναι μόνο η περιγραφή της ισχύουσας παγκόσμιας τάξης, αλλά και η ανάλυση των βαθύτερων δομών και διαδικασιών που διαμορφώνουν την ιστορική πορεία των διεθνών σχέσεων. Η γεωπολιτική του λιθίου έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι, βαδίζοντας προς την πράσινη ενέργεια υπολογίζεται ότι η ζήτησή του θα ανέβει κατά 90% τις επόμενες δύο δεκαετίες, με τις τρεις διεθνείς συνθήκες (Κιότο πρωτόκολλο, συμφωνία του Παρισιού και στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης των Ηνωμένων εθνών) να πιέζουν παράλληλα για την ενσωμάτωση περισσότερων τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας και την ηλεκτροκίνηση των μεταφορών για την μείωση του διοξειδίου του άνθρακα (Tabelin et al., 2021).

Συμφωνία του Παρισιού

Η συμφωνία του Παρισιού αποτελεί το πρώτο παγκόσμιο, νομικά δεσμευτικό πλαίσιο που εστιάζει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, το οποίο υιοθετήθηκε κατά την διάσκεψη του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή, τον Δεκέμβριο του 2015. Η Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη της είναι ανάμεσα στα περίπου 190 συμβαλλόμενα μέρη που έχουν επικυρώσει τη συμφωνία, αναλαμβάνοντας δεσμεύσεις για την ουσιαστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη διαμόρφωση βιώσιμων στρατηγικών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, σε ένα παγκόσμιο πλαίσιο συνεργασίας και συλλογικής δράσης. Ουσιαστικά, στόχος της συμφωνίας είναι να περιοριστεί ο ρυθμός αύξησης της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Ο κυριότερος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η σημαντική ανάπτυξη τεχνολογιών με πολύ χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα όπως οι ανεμογεννήτριες, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά και τα ηλεκτρικά οχήματα. Βέβαια, η

ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών συνεπάγει την αύξηση ζήτησης σε λίθιο, νικέλιο και κοβάλτιο.

Κρισιμότητα Ο.Π.Υ

Μία ορυκτή πρώτη ύλη ορίζεται ως κρίσιμη όταν απειλείται η προμήθειά τους από το εξωτερικό ή όταν αποτελεί βλάβη για την εγχώρια οικονομία δηλαδή, έχει υψηλό κίνδυνο προσφοράς και είναι υψηλής οικονομικής σημασίας. Σε περίπτωση που εμφανιστούν εμπόδια για την προμήθεια μιας Ο.Π.Υ, αυτό θα έχει αντίκτυπο σε ολόκληρη την οικονομία της Ε.Ε. Επομένως, έχουν καθιερωθεί κάποια κατώτατα όρια που χρησιμοποιούνται για την οικονομική αξία και την δυσκολία προμήθειας μιας Ο.Π.Υ. Επιπλέον, υπάρχουν κάποιοι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την κρισιμότητα μιας Ο.Π.Υ και είναι οι εξής :

- i. Η οικονομική σημασία της εκάστοτε εξεταζόμενης Ο.Π.Υ και ο κίνδυνος εφοδιασμού της.
- ii. Η ικανότητα μιας Ο.Π.Υ. να αντικατασταθεί από μια άλλη, με ανεμπόδιστη προμήθεια, μειώνει τον κίνδυνο διακοπής της εφοδιαστικής αλυσίδας. Όταν η αντικατάσταση μιας κρίσιμης πρώτης ύλης είναι εύκολη, ο κίνδυνος περιορισμένης προσφοράς μειώνεται ανάλογα, οδηγώντας σε χαμηλότερο βαθμό ευπάθειας για την οικονομία.
- iii. Λαμβάνονται υπ' όψη τόσο οι πρωτογενείς όσο και οι δευτερογενείς Ο.Π.Υ υπολογίζοντας τις δευτερογενείς ως εγχώριο ευρωπαϊκό πόρο.

Πολιτική και Κρισιμότητα

Εντοπίζονται τέσσερα επίπεδα πολιτικής μέσω των οποίων διαπιστώνεται η κρισιμότητα του λιθίου, δίνοντας παραδείγματα από την ΕΕ. Αρχικά, πολλές χώρες έχουν εκδώσει πολιτικές γύρω από τη βιωσιμότητα και την κινητικότητα ειδικότερα. Η βασική πολιτική στην ΕΕ είναι η Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ του 2019, η οποία θέτει τον γενικό στόχο της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 και, μεταξύ άλλων, στοχεύει σε έναν δραστικά λιγότερο ρυπογόνο τομέα μεταφορών με την προώθηση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Το πιο σημαντικό από αυτή την άποψη είναι η νομοθετική πρόταση «Fit for 55» του 2021, η οποία απαιτεί όλα τα νέα αυτοκίνητα που ταξινομούνται στην ΕΕ να είναι μηδενικών εκπομπών έως το 2035. Δεύτερον, υπάρχουν πολιτικές που υποστηρίζουν ειδικά την εθνική παραγωγή μπαταριών. Στην ΕΕ, η ανανεωμένη βιομηχανική στρατηγική (2017, ανανεωμένη το 2021) υπογραμμίζει τη στρατηγική σημασία των επενδύσεων σε μπαταρίες και το στρατηγικό σχέδιο δράσης για τις μπαταρίες του 2018 καθορίζει μέτρα για τη στήριξη

όλων των πτυχών της αλυσίδας αξίας των μπαταριών. Αυτό περιλαμβάνει επίσης δύο σημαντικά έργα κοινού ευρωπαϊκού ενδιαφέροντος (IPCEI), τα οποία επιτρέπουν την πρόσβαση σε δημόσια χρηματοδότηση, το 2019 IPCEI για τις μπαταρίες και το 2021 IPCEI για την ευρωπαϊκή καινοτομία στις μπαταρίες. Τρίτον, οι πολιτικές στοχεύουν στην παγκόσμια πρόσβαση και την εγχώρια εξόρυξη πρώτων υλών. Η πρωτοβουλία της ΕΕ για τις πρώτες ύλες επικεντρώνεται στην πρόσβαση σε παγκόσμιες πρώτες ύλες, στην παραγωγή στην ΕΕ (onshoring) και στην ανακύκλωση (Küblbock 2013, Riofrancos 2022). Από το 2011 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει δημοσιεύσει κατάλογο κρίσιμων πρώτων υλών, ο οποίος περιλαμβάνει επί του παρόντος το λίθιο (προστίθεται το 2020) μαζί με 33 άλλα υλικά. Η ΕΕ διακρίνει επίσης 16 στρατηγικές πρώτες ύλες (συμπεριλαμβανομένου του λιθίου), με βάση τη σημασία τους για πέντε στρατηγικούς τομείς της ΕΕ. Και τέλος, τα έργα βιωσιμότητας υποστηρίζονται μέσω χρηματοδοτικών μέσων και της δημόσιας αποεπένδυσης των ιδιωτικών επενδύσεων. Το 2019, μαζί με άλλα κράτη, η ΕΕ εγκαινίασε τη Διεθνή Πλατφόρμα για τη Βιώσιμη Χρηματοδότηση (IPSF), πρωταρχικός στόχος της οποίας είναι η ενίσχυση της ανάπτυξη ιδιωτικών κεφαλαίων για περιβαλλοντικά βιώσιμες επενδύσεις. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημιούργησε ήδη από το 2017 τη συμμαχία μπαταριών της ΕΕ για τη διάθεση δημόσιων κεφαλαίων σε ιδιωτικούς φορείς. Το 2019 και 2021, ενέκρινε πάνω από 7 δισεκατομμύρια δολάρια (6,4 δισεκατομμύρια ευρώ) σε χρηματοδότηση από τα κράτη μέλη για την οικοδόμηση της αλυσίδας εφοδιασμού μπαταριών, συμπεριλαμβανόμενης της εξόρυξης και επεξεργασίας πρώτων υλών (Riofrancos 2022).

Κίνδυνοι εφοδιασμού μιας Ο.Π.Υ

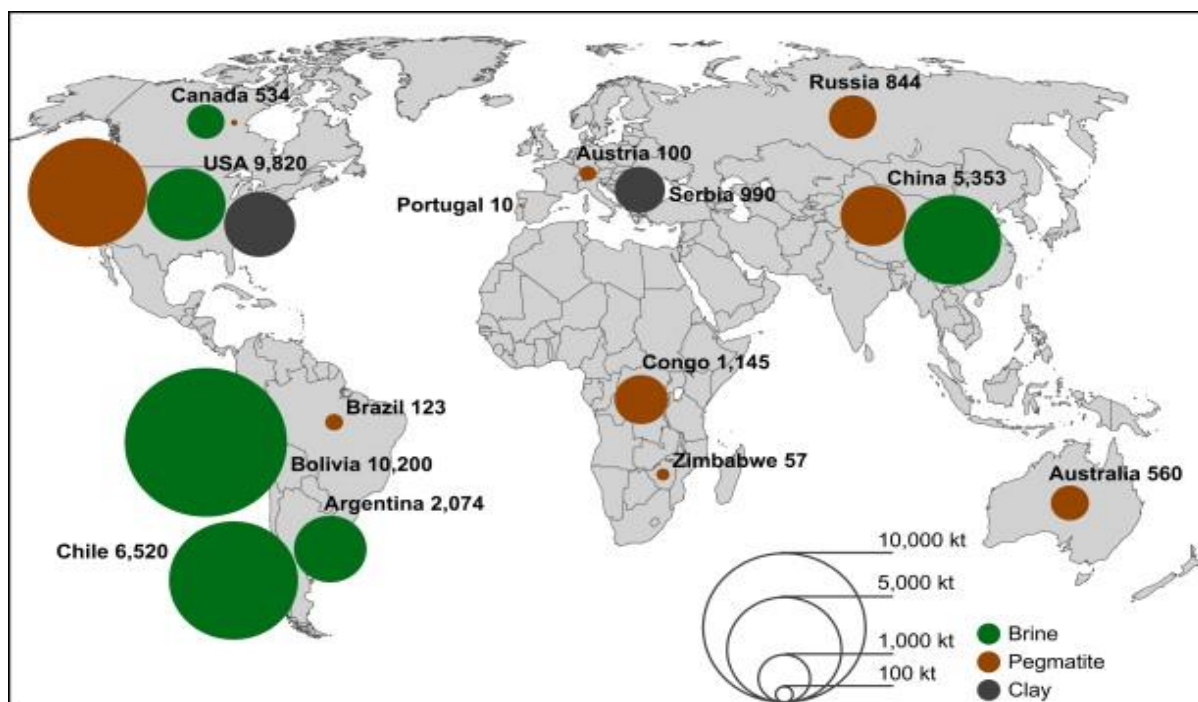
Εάν μια πρώτη ύλη παράγεται σε περιορισμένη ποσότητα, ο κίνδυνος εφοδιασμού αυξάνεται. Επίσης, εάν η παγκόσμια παραγωγή είναι συγκεντρωμένη σε λίγες χώρες, τότε και πάλι ο κίνδυνος εφοδιασμού είναι υψηλός. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή μιας Ο.Π.Υ. και διανέμεται σε πολλές χώρες, τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος εφοδιασμού της. Κίνδυνοι προσφοράς μπορούν επίσης να προκύψουν όταν η παραγωγή συγκεντρώνεται σε μία μόνο εταιρεία. Για παράδειγμα, η συγκέντρωση της παραγωγής ορυχείων για νιόβιο, ταντάλιο και τα μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου είναι υψηλή, γεγονός που σημαίνει ότι μόνο λίγες εταιρείες ελέγχουν την παγκόσμια αγορά. Παρόμοια κατάσταση παρατηρείται και με τις σπάνιες γαίες, όπου η Κίνα συγκεντρώνει όλη την παραγωγή τους και η διάθεσή τους πραγματοποιείται αποκλειστικά από κινεζικές εταιρείες.

ΕΞΟΡΥΞΗ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

Πριν συζητήσουμε την παγκόσμια διαθεσιμότητα λιθίου, είναι σημαντικό να εξετάσουμε τη διαφορά μεταξύ αποθεμάτων και πόρων και να αξιολογήσουμε τη διαθέσιμη ποσότητα λιθίου ανάλογα. Οι πόροι είναι το γεωλογικό απόθεμα που έχει εντοπιστεί και θα μπορούσε να εξορυχθεί με καλύτερη τεχνολογία, ενώ τα αποθέματα αναφέρονται στην ποσότητα λιθίου που είναι διαθέσιμη για εκμετάλλευση με τις υπάρχουσες τεχνολογικές και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες. Επομένως, τα αποθέματα λιθίου είναι οι υπάρχουσες πηγές για την παραγωγή λιθίου που υπάρχουν στον κόσμο.

Παγκόσμια κατανομή των κοιτασμάτων λιθίου

Η πιο πρόσφατη εκτίμηση των πηγών λιθίου, σε παγκόσμια κλίμακα, δημοσιεύτηκε το 2020 από την USGS (Σχ. 2) υπολογίζοντας πως οι παγκοσμίως γνωστές πηγές λιθίου έχουν μια βάση περίπου της τάξης των 80 Mt (εκφρασμένη σε περιεκτικότητα Li - μέταλλο). Η εμφάνιση του λιθίου στη φύση είναι αρκετά συχνή, ωστόσο οι κατάλληλα υψηλές συγκεντρώσεις για οικονομική εκμετάλλευση είναι απολύτως άνισα κατανεμημένες σε όλη την υδρόγειο. Πιο συγκεκριμένα βρίσκονται στις χώρες Αυστραλία, Αργεντινή, Βολιβία, Χιλή, Η.Π.Α και Κίνα και κατηγοριοποιούνται σε τρεις τύπους κοιτασμάτων: Άλμες πλούσιες σε λίθιο, σκληρά πηγματιτικά μεταλλεύματα λιθίου και αργίλους ή ιζηματογενή πετρώματα πλούσια σε λίθιο.



Σχ. 2. Γεωγραφική κατανομή και τύποι κοιτασμάτων των παγκόσμιων πηγών λιθίου (Grosjean et al. 2022)

Τα ηπειρωτικά κοιτάσματα άλμης, τα οποία είναι συσσωρεύσεις αλατούχων υπόγειων υδάτων εμπλουτισμένα σε διαλυμένο λίθιο, αντιπροσωπεύουν περίπου το 66% των παγκόσμιων πόρων λιθίου. Τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται σε αλυκές στη Νότια Αμερική, κυρίως στην Χιλή και την Αργεντινή, στο λεγόμενο “τρίγωνο του λιθίου”, το οποίο αντιπροσωπεύει τα μισά από τα παγκόσμια αποθέματα λιθίου.

Ενώ η εξόρυξη του λιθίου από σκληρά πετρώματα και αργίλους γίνεται με συμβατικές μεθόδους, τα κοιτάσματα άλμης έχουν ένα πλεονέκτημα έναντι αυτών. Δηλαδή, η εξόρυξη του λιθίου γίνεται με διαδικασίες εξατμικής σε τεχνητές λίμνες αν και ο ρυθμός εμπλουτισμού που επιτυγχάνεται με την ηλιακή ακτινοβολία είναι αργός (Choubey et al., 2016).

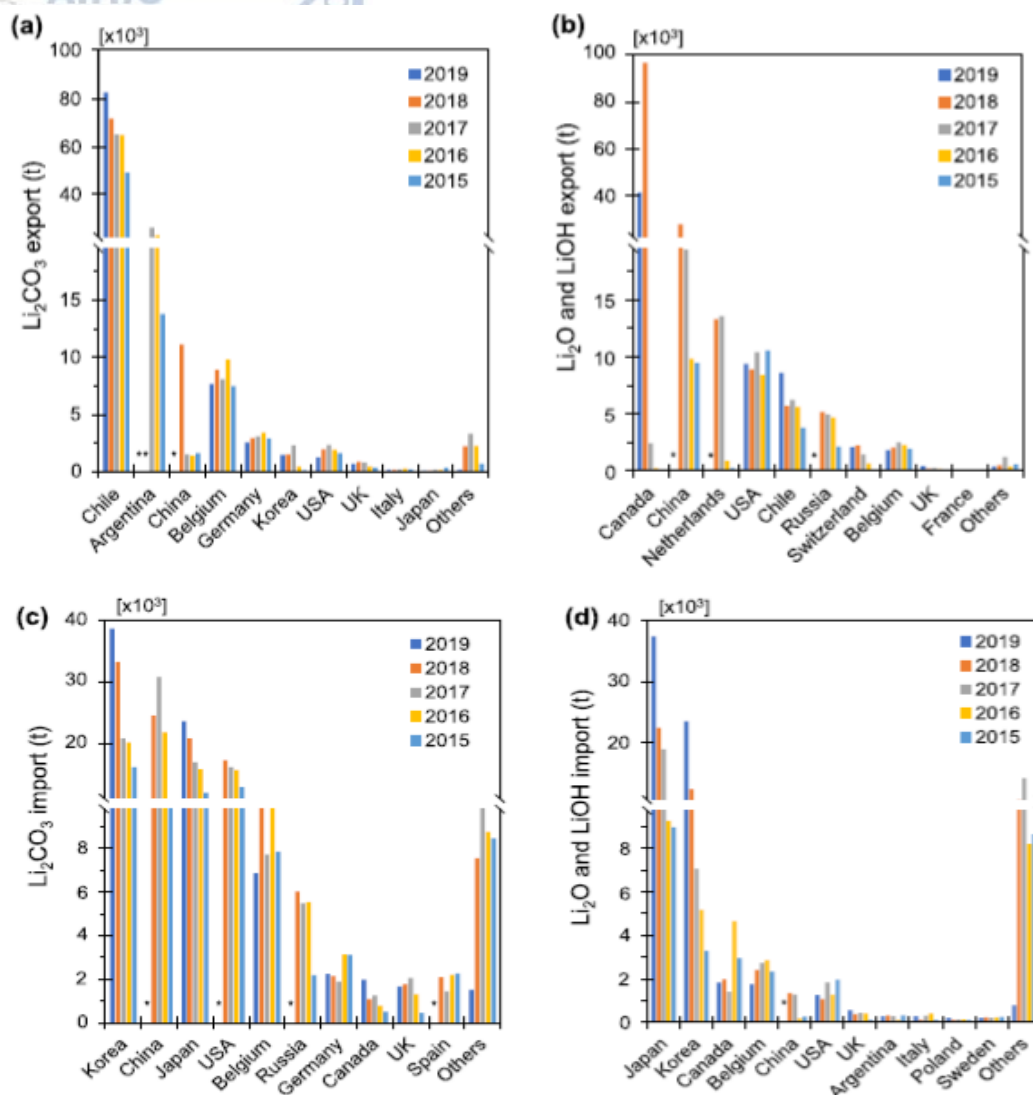
Κύριες χώρες παραγωγής

Η παγκόσμια παραγωγή λιθίου υπερδιπλασιάστηκε από περίπου 15.000 τόνους το 2001 σε 69.000 το 2017, με τους τέσσερις κορυφαίους παραγωγούς να είναι η Αυστραλία στους 40.000 τόνους, η Χιλή στους 14.200, η Κίνα στους 6.800 και τέλος η Αργεντινή στους 5.700 τόνους (U.S Geological Survey 2019) (Σχ. 3). Το 2015, μόνο τρεις εταιρίες αντιπροσώπευαν το 53% της παγκόσμιας παραγωγής λιθίου και ήταν οι εξής: Albermarle Corporation, FMC Corporation και Sociedad Quimica y Minera de Chile. Ωστόσο η κατάσταση αυτή αλλάζει γρήγορα. Τα τελευταία 20 χρόνια η Κίνα έχει καταφέρει να παίζει σημαντικό ρόλο στην αγορά λιθίου, ελέγχοντας σήμερα περίπου το 40% της αγοράς έπειτα από τη μείωση του ολιγοπωλίου που κατείχαν οι προαναφερθείσες εταιρίες από 85% το 2004. Μόνο η Κίνα αντιπροσώπευε το 50% της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης λιθίου το 2015, εξαρτώμενη σε μεγάλο βαθμό από τις εισαγωγές των συγκεντρώσεων του σποδουμένη από την Αυστραλία (Hao et al., 2017).

Αυστραλία

Το αργιλοπυριτικό ορυκτό του σποδουμένη είναι το κύριο ορυκτό ενδιαφέροντος για λίθιο στους πηγματίτες. Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα σποδουμένη στον κόσμο βρίσκονται στην Αυστραλία, με συνολικό απόθεμα ισοδύναμο με 5,58 Mt και συγκεκριμένα στα ορυχεία των: Greenbushes, Mount Holland, Wodgina, Pilgangoora-Pilbara, Mount Marion, Pilgangoora-Altura (Karrech et al., 2020). Μεταξύ του 2018 και του 2019, η παραγωγή σποδουμένη της Αυστραλίας ανήλθε σε σχεδόν 1,3 Mt. Βέβαια, παρά το γεγονός ότι η Αυστραλία είναι η μεγαλύτερη παραγωγός λιθίου παγκοσμίως, μέχρι και το 2019 εξήγαγε το

λίθιο ως ορυκτό σποδουμένη χωρίς καμία επεξεργασία γεγονός που επωφελούνε κυρίως την Κίνα και τις γειτονικές χώρες για την επεξεργασία και έπειτα εξαγωγή του.



Σχ. 3. Στοιχεία εξαγωγών-εισαγωγών ανθρακικού λιθίου και οξειδίου/υδροξειδίου του λιθίου από το 2015 έως το 2019 από τις 10 μεγαλύτερες χώρες εξαγωγής-εισαγωγής (U.N Comtrade, 2020).

Η Αυστραλία έχει εμπλακεί σε μια τολμηρή ολοκλήρωση των αλυσίδων των διαφόρων κρίσιμων ορυκτών της (λίθιο, νικέλιο, κοβάλτιο, σπάνιες γαίες, κ.λπ.) που συνδέεται στενά με μια γεωπολιτική προσπάθεια να εξασφαλίσει την κυριαρχία της και μέρος της «δυτικής» κυριαρχίας καθώς οι χώρες της Ανατολικής Ασίας συγκεντρώνουν τις βιομηχανίες μετασχηματισμού, ακόμη και αν η αυστραλιανή εκβιομηχάνιση βασίζεται επίσης σε κινεζικούς παράγοντες. Το φαινόμενο θα μπορούσε επίσης να θεωρηθεί ως στρατηγική διαφοροποίησης των κινεζικών εταιρειών για να μειώσουν τη γεωπολιτική τους εξάρτηση από έναν τόπο μετασχηματισμού (Ανατολική Ασία).

Σε διαφορετικά στάδια και βαθμούς, τόσο η περίπτωση της Αυστραλίας όσο και της Χιλής καταδεικνύουν μια προσπάθεια να κλείσει ο κύκλος της ενεργειακής μετάβασης. Οι στρατηγικές αυτές βασίζονται στην εκμετάλλευση και μερική βιομηχανοποίηση των κοιτασμάτων των διαφόρων ορυκτών που απαιτούνται για την ενεργειακή μετάβαση, ιδίως για τις μπαταρίες που είναι απαραίτητες για την ηλεκτροκίνηση και τις εθνικές και δυτικές πολιτικές ενεργειακής μετάβασης. Μια παρόμοια δυναμική παρατηρείται στην Ευρώπη (Green New Deal) και στις Ηνωμένες Πολιτείες (Inflation Reduction Act). Και οι δύο περιοχές συμμετέχουν σε μια κάθετη ολοκλήρωση των παγκόσμιων δικτύων παραγωγής λιθίου μέσω μιας εθνικής εξόρυξης του πόρου και της ανάπτυξης μεγάλων εργοστασίων για την παραγωγή μπαταριών και μονάδων ανακύκλωσης.

Νότια Αμερική

Τα κοιτάσματα άλμης της Νότιας Αμερικής βρίσκονται σε μεγάλα υψόμετρα, μια τοποθεσία η οποία ευνοεί την εξάτμιση και οδηγεί σε μερικά από τα καλύτερα κοιτάσματα λιθίου στον κόσμο. Για παράδειγμα, τα κοιτάσματα Salar de Olaroz και Salar del Hombre Muerto που βρίσκονται στην Αργεντινή περιέχουν 620-690 mg/L Li⁺, ενώ η συγκέντρωση στο Salar de Atacama της Χιλής είναι υψηλότερη, περίπου 1500 mg/L. Συλλογικά, ο συνδυασμός των κοιτασμάτων αυτών στο τρίγωνο - Αργεντινή, Βολιβία και Χιλή - αποτελούν περίπου το 59% της παγκόσμιας αναγνωρισμένης βάσης πηγών λιθίου το 2019.

Το μεγαλύτερο μέρος του λιθίου που παράχθηκε από την εξόρυξη σε άλμες το 2019 προήλθε από πέντε μόνο επιχειρήσεις (U.S. Geological Survey, 2020) εκ των οποίων οι δύο στη Χιλή (Sociedad Quimica y Minera de Chile S.A. και Albermarle) με συνδυασμένη παραγωγική ικανότητα 75.000 t/έτος Li₂CO₃ και 10.500 t/έτος LiCl και οι άλλες δύο στην Αργεντινή που λειτουργούν από τις Sales de Jujuy και FMC Lithium με συνολική παραγωγική ικανότητα 29.500 t/έτος Li₂CO₃ και 13.730 t/έτος LiCl, αντίστοιχα. Και οι δύο χώρες έχουν επικεντρωθεί στην βελτιστοποίηση των στρατηγικών τους για την μεγιστοποίηση των εσόδων τους από την εξαγωγή λιθίου.

Συγκεκριμένα για την Χιλή, η στρατηγική της για το λίθιο βασίζεται σε ιδιωτικούς φορείς που προμηθεύουν τις παγκόσμιες αγορές. Το 2023 ανακοινώθηκε ένα ταμείο αποταμίευσης ως μέρος της Εθνικής Στρατηγικής Λιθίου, προκειμένου να συλληφθούν τα υψηλά έσοδα από την εξόρυξη λιθίου για τη χρηματοδότηση κοινωνικών, τεχνολογικών και βιομηχανικών επενδύσεων, καθώς και η δημιουργία μιας Εθνικής Εταιρείας Λιθίου, η οποία λέγεται ότι θα συντονίζει τις μελλοντικές συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα,

αυξάνοντας την παραγωγή λιθίου στη Χιλή, προσελκύοντας νέους παίκτες και επεκτείνοντας τον κλάδο μέσω κοινοπραξιών.

Ωστόσο, η νέα πολιτική δήλωση του προέδρου Μπόριτς καταδεικνύει την επιστροφή του κράτους στη διακυβέρνηση του πόρου. Επιχειρεί επίσης να διαπραγματευτεί το ρόλο του κράτους στα παγκόσμια δίκτυα παραγωγής ως νέου στρατηγικού εταίρου παράλληλα με τις αλυσίδες αξίας. Από την εξόρυξη στον μετασχηματισμό, επιδιώκει να σχηματίσει μια κρατική μεταλλευτική εταιρεία που θα συνεργάζεται με τους μεταλλωρύχους για την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων και τα βιομηχανικά κόμματα για τον τοπικό μετασχηματισμό του πόρου

Κίνα

Η Κίνα έχει επενδύσει σημαντικά στη βιομηχανία λιθίου, τόσο στην εξόρυξη όσο και στην επεξεργασία, καθώς και στην κατασκευή μπαταριών. Έχει αναπτύξει στρατηγικές για την εξασφάλιση των πρώτων υλών και την κυριαρχία στην αγορά μπαταριών, γεγονός που της επιτρέπει να ελέγχει μεγάλο μέρος της παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Εκτός της Νότιας Αμερικής, η Κίνα διαθέτει τα δεύτερα μεγαλύτερα κοιτάσματα λιθίου που βρίσκονται σε τρεις αλμυρές λίμνες και ονομαστικά είναι οι Chaerhan, West Taijinar και Zhabuye.

Η σημαντική αύξηση της ζήτησης μπαταριών λιθίου είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών του λιθίου από το 2013 έως το 2018 (Baur and Gan, 2018). Πριν από το 2013, οι τιμές του λιθίου ήταν μεταβλητές. Από το 2002 μέχρι και το 2007 ο ρυθμός αύξησης της τιμής του ήταν σταθερός ενώ, μειώθηκε ραγδαία το 2008 λόγω της οικονομικής κρίσης φτάνοντας στην χαμηλότερη τιμή το 2010 (Martin et al., 2017). Πέντε χρόνια μετά, η τιμή του λιθίου ανέκαμψε κατά 56% (Martin et al., 2017).

Ωστόσο, η υπερπροσφορά από το 2018 σε συνδυασμό με την περικοπή των επιδοτήσεων για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα το 2019 στην Κίνα έριξαν την τιμή του λιθίου αναγκάζοντας πολλές εταιρείες εξόρυξης, κυρίως στην Αυστραλία, να μειώσουν την παραγωγή και να επανεξετάσουν τα σχέδια επέκτασής τους. Τέλος, το 2022 σημειώθηκε μια πρωτοφανής αύξηση των τιμών του λιθίου κυρίως λόγω του σημαντικού ελλείμματος στην προσφορά.

Το μοντέλο εφοδιασμού του λιθίου, το οποίο βασίζεται σε μακροχρόνιες συμφωνίες, σε συνδυασμό με την έλλειψη προσφοράς εκτόξευσαν τις τιμές του λιθίου σε πενταπλάσιες. Αυτή η τάση συνεχίστηκε μέχρι τα μέσα του έτους, όταν η Κίνα επέβαλε ξανά καθολικό lockdown λόγω της αύξησης των κρουσμάτων COVID-19, προκαλώντας μια προσωρινή επιβράδυνση της οικονομίας. Πλέον, η κινέζικη εταιρεία Ganfeng είναι σημαντικός παίκτης

στην αγορά λιθίου, με δραστηριότητες που εκτείνονται από την εξόρυξη μέχρι την παραγωγή μπαταριών. Το ολοκληρωμένο επιχειρηματικό μοντέλο της εταιρείας της επιτρέπει να ελέγχει ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, εξασφαλίζοντας σταθερό εφοδιασμό και ανταγωνιστικές τιμές.

Άλλη μία κινέζικη εταιρία, η Tianqi, έχει σημαντικά μερίδια σε επιχειρήσεις εξόρυξης λιθίου σε παγκόσμιο επίπεδο, συμπεριλαμβανομένου του ορυχείου Greenbushes στην Αυστραλία. Οι στρατηγικές επενδύσεις και οι συνεργασίες της εταιρείας την έχουν τοποθετήσει ως βασικό προμηθευτή στην παγκόσμια αγορά.

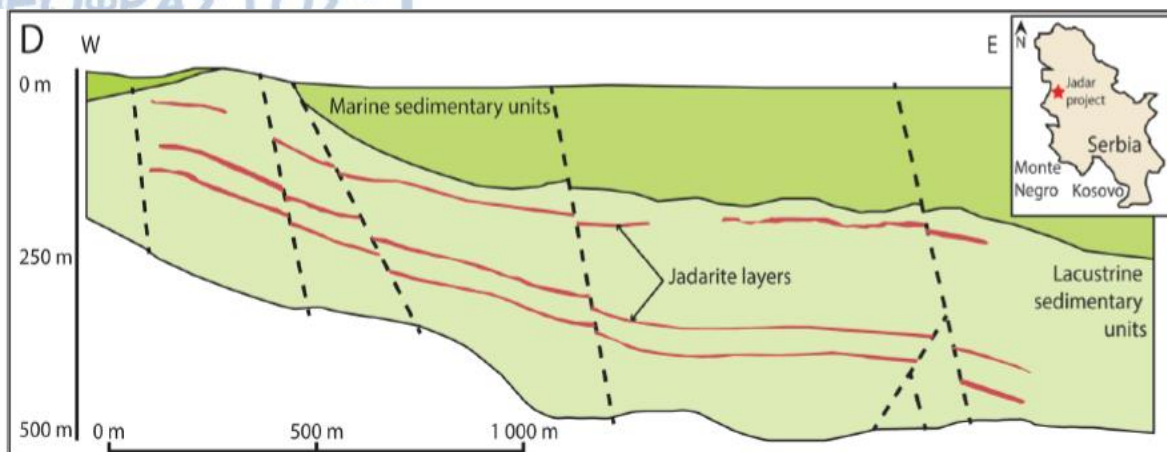
Υπάρχουν εναλλακτικές;

Παρόλο που η εκτίμηση των αποθεμάτων λιθίου το 2018 έχει σχεδόν διπλασιαστεί από το 2013, η παγκόσμια ετήσια παραγωγή, που υπολογίζεται στα 100 εκατ. ηλεκτρικά οχήματα, θα επιτευχθεί περίπου 20 χρόνια νωρίτερα με βάση τις πιο πρόσφατες εκτιμήσεις του ΔΟΕ. Αυτό σημαίνει ότι η μαζική αύξηση της παγκόσμιας κατανάλωσης λιθίου τα επόμενα χρόνια μπορεί να εξαντλήσει γρήγορα τα αποθέματα λιθίου, εκτός εάν ανακαλυφθούν νέες πηγές και μεγάλα κοιτάσματα.

Σερβία

Το 2007 ανακοινώθηκε ένα νέο αναγνωρισμένο ορυκτό που περιέχει λίθιο το οποίο ονομάστηκε Jadarite από τη λεκάνη Jadar στη Loznica της Σερβίας (Σχ. 4), όπου ανακαλύφθηκε (Stanley, 2007). Το κοιτάσμα jadarite στη Σερβία σχηματίστηκε σε μια λιμναία εβαποριτική ιζηματογενή ακολουθία που επηρεάστηκε έντονα από την ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπως αποδεικνύεται από την παρουσία παρεμβλλόμενων στρωμάτων τόφφων (Christmann et al., 2015).

Η Rio Tinto έχει επενδύσει περισσότερα από 100 εκατ. δολάρια για την ανάπτυξη αυτού του κοιτάσματος jadarite, ένα ορυχείο που αναμενόταν να ξεκινήσει την παραγωγή έως το 2023 ή το 2024 (Rio Tinto, 2018). Από το 2016, η Rio Tinto έχει εκτιμήσει τους ορυκτούς πόρους του Jadar στη Σερβία σε 136 Mt, βέβαια πλέον εν έτη 2024 η Rio Tinto έρχεται αντιμέτωπη με τους πολίτες της Σερβίας καθώς πάνω από το ένα τρίτο του πληθυσμού είναι κατά της έναρξης εξόρυξης καθαρά για περιβαλλοντικούς λόγους.



Σχ. 4. Λεκάνη Jadar στην Σερβία και η τοποθεσία των στρωμάτων Jadarite (Stanley et al. 2007).

ΕΚΤΟΡΙΤΗΣ

Ένα άλλο ορυκτό με αυξημένη περιεκτικότητα σε λίθιο είναι ο εκτορίτης (hectorite), όπου βρίσκεται σε μια λιθιοφόρα σμεκκίτική άργιλο η οποία δημιουργείται όταν κλαστικά ιζηματογενή και ηφαιστειακά υλικά αλληλοεπιδρούν με υδροθερμικά διαλύματα ή εβαποριτικές άλμες πλούσιες σε λίθιο (Kesler et al., 2012). Μέχρι στιγμής, υπάρχουν δύο γνωστά κοιτάσματα εκτορίτη σε ανάπτυξη. Το Kings Valley στην Νεβάδα, Η.Π.Α και το κοιτάσμα λιθίου Sonora στο Μεξικό. Το κοιτάσμα Kings Valley ανακαλύφθηκε τη δεκαετία του 1980 στο δυτικό άκρο της καλδέρας McDermitt ως στρώματα εκτορίτη μήκους 20 km, πάχους 1 έως 90 m και εκτεινόμενων για αρκετά km (Carew et al., 2014). Αυτό το κοιτάσμα περιέχει περίπου 70% εκτορίτη με αποδεδειγμένο και πιθανό απόθεμα 27 Mt μεταλλεύματος υπολογίζοντας κατά μέσο όρο 0,395% Li (Kesler et al., 2012).

Σε πρόσφατη μελέτη, αναφέρθηκε η πιθανή εμφάνιση κοιτασμάτων εκτορίτη πλούσιων σε λίθιο όχι μόνο στην Κινγκς Βάλεϊ και τη Σονόρα, αλλά και σε όλο τον κόσμο. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις λιθίου σε μάγματα που σχηματίστηκαν υπό διάφορες τεκτονικές συνθήκες, διαπίστωσαν μέτριους έως ακραίους εμπλουτισμούς λιθίου σε μάγματα που περικλείουν ηπειρωτικούς φλοιούς πλούσιους σε πυρίτιο. Τέτοια μάγματα είναι ευρέως διαδεδομένα σε καλδέρες του καινοζωικού αιώνα και σε άλλες ενδοηπειρωτικές περιοχές, πράγμα που σημαίνει ότι αποτελούν καλούς στόχους εξερεύνησης για νέα κοιτάσματα αργίλου που περιέχουν λίθιο και έχουν πιθανή οικονομική αξία (Benson et al., 2017). Μόνο στις ΗΠΑ υπάρχουν πάνω από 100 μεγάλες καλδέρες του Καινοζωικού που ενδέχεται να περιέχουν αργίλικα ορυκτά που περιέχουν λίθιο (Henry and John, 2013).

Συμπεράσματα

Αν και η στροφή στην πράσινη ενέργεια άργησε να θεμελιωθεί, είναι θετικό το γεγονός ότι μέσα σε λίγα χρόνια συνέβησαν σημαντικές ανακαλύψεις κοιτασμάτων ορυκτών πρώτων υλών και τέθηκαν σε λειτουργία αρκετά σχέδια για ένα καλύτερο και πολύ λιγότερο ρυπογόνο μέλλον. Ωστόσο, όσο σημαντική είναι η έρευνα για την εξόρυξη ορυκτών πρώτων υλών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, άλλο τόσο σημαντική είναι η έρευνα και η επιστήμη για την ανακύκλωση αυτών και των προϊόντων που παράγονται μετά την επεξεργασία τους.

Βέβαια, γίνεται κατανοητό πως ο κόσμος της πολιτικής έχει τεράστια επιρροή. Ανάλογα την οικονομική ισχύ, την τοποθεσία, τα οικονομικά συμφέροντα και τις συμφωνίες μεταξύ των πολιτικών κάθε χώρας, δημιουργείται μια αλληλεξάρτηση των χωρών χωρίς όμως να υπάρχει ισότητα μεταξύ τους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η κατανομή των γνωστών αποθεμάτων λιθίου είναι μοιρασμένη σε συγκεκριμένες χώρες, πράγμα που τις καθιστά ηγέτες στην εξόρυξη, επεξεργασία και εξαγωγή του αφήνοντας τις υπόλοιπες χώρες σε πλήρη εξάρτηση. Έχουν βρεθεί και μερικές πηγές λιθίου στην Ευρώπη όπου, φαίνεται να είναι καλά κατανοημένες ωστόσο οι έρευνες είναι σε σχετικά πρώιμα στάδια.

Γενικότερα, ο ρυθμός εξέλιξης της κοινωνίας εν έτη 2024 είναι τόσο γρήγορος που πολλά ζητήματα είναι ακόμα υπό έρευνα και επεξεργασία. Η ζήτηση και η ανάγκη εφοδιασμού για λίθιο αποτελούν φλέγοντα ζητήματα και πρέπει να διευρυνθούν οι μελέτες εξόρυξής του όπως και οι μελέτες για την εξόρυξη υποκατάστατων αυτού πριν είναι πολύ αργά.

Βιβλιογραφία

- Baur, D. G., & Gan, D. (2018). Electric vehicle production and the price of lithium. SSRN 3289169.
- Benson, T. R., Coble, M. A., Rytuba, J. J., & Mahood, G. A. (2017). Lithium enrichment in intracontinental rhyolite magmas leads to Li deposits in caldera basins. *Nature communications*, 8(1), 270.
- Boxall, N. J., King, S., Cheng, K. Y., Gumulya, Y., Bruckard, W., & Kaksonen, A. H. (2018). Urban mining of lithium-ion batteries in Australia: Current state and future trends. *Minerals Engineering*, 128, 45-55.
- Bruno, M., & Fiore, S. (2024). Review of lithium-ion batteries' supply-chain in Europe: Material flow analysis and environmental assessment. *Journal of Environmental Management*, 358, 120758.
- Choubey, P. K., Kim, M. S., Srivastava, R. R., Lee, J. C., & Lee, J. Y. (2016). Advance review on the exploitation of the prominent energy-storage element: Lithium. Part I: From mineral and brine resources. *Minerals Engineering*, 89, 119-137.
- Christmann, P., Gloaguen, E., Labbé, J. F., Melleton, J., & Piantone, P. (2015). Global lithium resources and sustainability issues. In *Lithium process chemistry* (pp. 1-40). Elsevier.
- Flexer, V., Baspineiro, C. F., & Galli, C. I. (2018). Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of the Total Environment*, 639, 1188-1204.
- Gourcerol et al (2019) European lithium resource potential.
- Garcia, L. V., Ho, Y. C., Myo Thant, M. M., Han, D. S., & Lim, J. W. (2023). Lithium in a sustainable circular economy: A comprehensive review. *Processes*, 11(2), 418.
- Gourcerol, B., Gloaguen, E., Melleton, J., Tuduri, J., & Galiege, X. (2019). Re-assessing the European lithium resource potential—A review of hard-rock resources and metallogeny. *Ore Geology Reviews*, 109, 494-519.
- Sterba et al (2019) Lithium mining.
- Grosjean, C., Miranda, P. H., Perrin, M., & Poggi, P. (2012). Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1735-1744.
- Hao, H., Liu, Z., Zhao, F., Geng, Y., & Sarkis, J. (2017). Material flow analysis of lithium in China. *Resources Policy*, 51, 100-106.



Henry, C. D., & John, D. A. (2013). Magmatism, ash-flow tuffs, and calderas of the ignimbrite flareup in the western Nevada volcanic field, Great Basin, USA. *Geosphere*, 9(4), 951-1008.

Kesler, S. E., Gruber, P. W., Medina, P. A., Keoleian, G. A., Everson, M. P., & Wallington, T. J. (2012). Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore geology reviews*, 48, 55-69.

Koo, B., Goli, P., Sumant, A. V., dos Santos Claro, P. C., Rajh, T., Johnson, C. S., ... & Shevchenko, E. V. (2014). Toward lithium ion batteries with enhanced thermal conductivity. *ACS nano*, 8(7), 7202-7207.

Küblböck, K., Radhuber, I., & Rodríguez, G. H. Unfair Connections? Tantalum for the high-tech-industries and the consequences of its extraction in Bolivia. *DKA Austria*, 41 p.

Madani, S. S., Schaltz, E., & Knudsen Kær, S. (2018). Review of parameter determination for thermal modeling of lithium ion batteries. *Batteries*, 4(2), 20.

Martin, G., Rentsch, L., Höck, M., & Bertau, M. (2017). Lithium market research—global supply, future demand and price development. *Energy Storage Materials*, 6, 171-179.

Meshram, P., Pandey, B. D., & Mankhand, T. R. (2014). Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review. *Hydrometallurgy*, 150, 192-208.

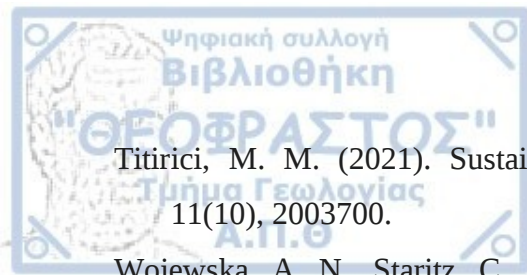
Riofrancos, T. (2022). Shifting mining from the global south misses the point of climate justice. *Foreign Policy*, 7.

Sanker, S. B., & Baby, R. (2022). Phase change material based thermal management of lithium ion batteries: A review on thermal performance of various thermal conductivity enhancers. *Journal of Energy Storage*, 50, 104606.

Stanley, C. J., Jones, G. C., Rumsey, M. S., Blake, C., Roberts, A. C., Stirling, J. A., ... & Lepage, Y. (2007). Jadarite, $\text{LiNaSiB}_3\text{O}_7(\text{OH})$, a new mineral species from the Jadar Basin, Serbia. *European Journal of Mineralogy*, 19(4), 575-580.

Steinhardt, M., Barreras, J. V., Ruan, H., Wu, B., Offer, G. J., & Jossen, A. (2022). Meta-analysis of experimental results for heat capacity and thermal conductivity in lithium-ion batteries: A critical review. *Journal of Power Sources*, 522, 230829.

Tabelin, C. B., Dallas, J., Casanova, S., Pelech, T., Bournival, G., Saydam, S., & Canbulat, I. (2021). Towards a low-carbon society: A review of lithium resource availability, challenges and innovations in mining, extraction and recycling, and future perspectives. *Minerals Engineering*, 163, 106743.



Titirici, M. M. (2021). Sustainable batteries—quo vadis?. *Advanced Energy Materials*, 11(10), 2003700.

Wojewska, A. N., Staritz, C., Tröster, B., & Leisenheimer, L. (2024). The criticality of lithium and the finance-sustainability nexus: Supply-demand perceptions, state policies, production networks, and financial actors. *The Extractive Industries and Society*, 17, 101393.

Zhang, L., Zhu, C., Yu, S., Ge, D., & Zhou, H. (2022). Status and challenges facing representative anode materials for rechargeable lithium batteries. *Journal of Energy Chemistry*, 66, 260-294.

Zhao, Y., Li, X., Yan, B., Xiong, D., Li, D., Lawes, S., & Sun, X. (2016). Recent developments and understanding of novel mixed transition-metal oxides as anodes in lithium ion batteries. *Advanced Energy Materials*, 6(8), 1502175.